

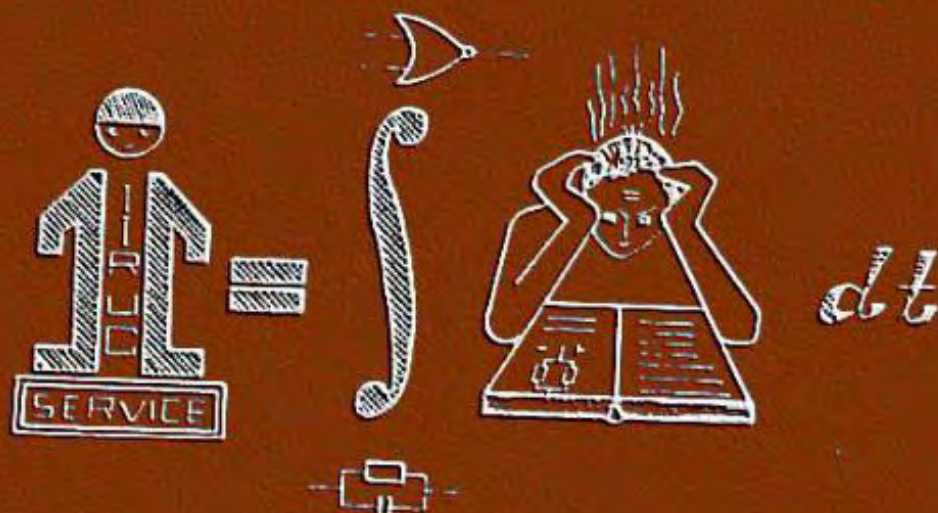


INTREPRINDEREA PENTRU INTRETINEREA
SI REPARAREA UTILAJELOR DE CALCUL
SI DE ELECTRONICA PROFESIONALA

I. I. R. U. C.

APARATE DE MĂSURĂ ȘI CONTROL

VOLUMUL 2



ing. DONCESCU DUMITRU

**APARATE DE MĂSURĂ
ȘI CONTROL
VOLUMUL 2**

1986

PREFATA

Această lucrare face parte din seria de manuale I.I.R.U.C. și conține descrierea mărimilor și aparatelor de măsurat electrice și electronice necesare în activitatea de service. Este o continuare a manualului I.I.R.U.C. "Aparate de măsură și control - Volumul 1", ediția 1985.

Modul de prezentare al capitolelor - mărimi de măsurat, unitate de măsură, mijloc de măsurat - facilitează accesul și stimulează interesul cititorului pentru studierea părților conexe activității sale profesionale.

Prin descrierea aparatelor de măsurat universale - multimetrele - și osciloscoapelor utilizate la I.I.R.U.C., se răspunde la o solicitare mai veche exprimată și repetată de oamenii muncii din întreprinderea noastră.

Similar manualelor lansate în ultima perioadă și această ediție poate și trebuie folosită pentru predarea disciplinei de specialitate la cursurile de perfecționare a pregătirii profesionale și la organizarea examenelor periodice de categorie.

Apariția și difuzarea în I.I.R.U.C. a volumului 2 din "Aparate de măsură și control" constituie o contribuție la realizarea unui service eficient în țara noastră.

DIRECTOR,
ing. C. MOLDOVAN

CUPRINS

	Pag.
CAP. 1 - NOTIUNI INTRODUCATIVE.....	19
1.1. Generalități.....	19
1.1.1. Măsurare. Mărime. Unitate de măsură.....	19
1.2. Sistemul Internațional de Unități - SI.....	20
1.2.1. Unități SI fundamentale.....	20
1.2.2. Unități SI derivate.....	21
1.2.3. Unități SI suplimentare.....	23
1.3. Procesul de măsurare.....	24
1.3.1. Mărimea de măsurat. Mărimi active. Mărimi pasive.....	24
1.3.2. Metoda electrică de măsurare. Metode de măsurare prin deviație. Metode de măsurare prin comparație. Metode de măsurare diferențiale.....	25
1.3.3. Mijlocul electric de măsurat. Măsurări. Instrumente de măsurat. Aparatură de măsurat. Instalații de măsurat. Sisteme de măsurat.....	27
1.4. Caracteristicile metrologice și de fiabilitate metrologică ale mijloacelor de măsurat.....	30
1.4.1. Caracteristici metrologice.....	31
1.4.2. Caracteristici de fiabilitate metrologică.....	32
1.5. Erori de măsurare.....	36
1.5.1. Erori sistematice.....	37
1.5.2. Erori aleatoare (accidentale sau întâmplătoare).....	38

	Pag.
1.5.3. Erozi grosolane (greșeli).....	38
1.5.4. Aplicație.....	41
CAP. 2 - CLASIFICAREA APARATELOR DE MASURAT DIN DOMENIUL ELECTRIC.....	43
2.1. Generalități.....	43
2.1.1. Clasificarea aparatelor de măsurat.....	44
2.2. Dispozitivele de măsurat ale aparatelor.....	47
2.2.1. Dispozitivul magnetoelectric.....	47
2.2.2. Dispozitivul feromagnetic.....	49
2.2.3. Dispozitivul electrodinamic.....	52
2.2.4. Dispozitivul cu inducție.....	55
2.2.5. Dispozitivul electrostatic.....	56
CAP. 3 - MASURAREA REZISTENTELOR ELECTRICE.....	58
3.1. Generalități.....	58
3.1.1. Rezistența electrică.....	58
3.1.2. Conductanța electrică.....	61
3.2. Unități de măsură. Ohm. Siemens. Ohmmetru.....	61
3.3. Mijloace de măsurat ale rezistențelor electrice.....	63
3.3.1. Etaloane de rezistență.....	63
3.3.2. Cutii cu rezistențe.....	66
3.3.3. Sunturi.....	66
3.3.4. Ohmmetre analogice, Ohmmetrul cu schemă serie. Ohmmetrul cu schemă derivație. Multi- metrul MAVO-1 - ohmmetru -	67
3.3.5. Ohmmetre numerice.....	71
3.3.6. Megohmmetre.....	73

3.3.7. Punți electrice. Puntea Wheatstone. Puntea RCL tip EO-704. Puntea Thomson. Punți pentru rezistențe mari. Punți neechilibrate.....	75
3.4. Metode pentru măsurarea rezistențelor electrice.....	82
3.4.1. Metoda voltmetrului și ampermetrului.....	82
3.4.2. Metoda comparației.....	85
3.4.3. Metoda substituției.....	86
3.5. Aplicație. Măsurarea rezistenței interioare a pililor și acumulatorilor.....	86
CAP. 4 - MASURAREA INDUCTIVITĂȚILOR ELECTRICE.....	89
4.1. Generalități.....	89
4.1.1. Inductivitatea proprie.....	89
4.1.2. Inductivitatea mutuală.....	90
4.1.3. Tensiunea electromotoare de autoinducție și inducție mutuală.....	91
4.1.4. Energia magnetică. Factorul de calitate.....	92
4.2. Unități de măsură. Henry; milihenry; microhenry.....	94
4.3. Mijloace de măsurat ale inductivităților proprii și mutuale.....	95
4.3.1. Inductivități etalon. Variometre.....	96
4.3.2. Cutii cu inductivități.....	98
4.3.3. Inductanțmetru.....	98
4.3.4. Punți electrice. Puntea Maxwell-Wien. Puntea RCL tip EO-704. Puntea Owen serie. Puntea Hay. Puntea Anderson. Puntea de rezonanță. Puntea cu transformatoare. Puntea Carey-Foster.....	99
4.4. Metode pentru măsurarea inductivităților electrice.....	105

	Pag.
4.4.1. Metoda comparației pentru măsurarea inductivităților mutuale.....	105
4.4.2. Metoda ampermetrului și voltmetrului pentru măsurarea inductivităților proprii	106
CAP. 5 - MASURAREA CAPACITATILOR ELECTRICE.....	107
5.1. Generalități.....	107
5.1.1. Capacitatea electrică.....	107
5.2. Unități de măsură. Farad; milifarad; microfarad; nanofarad; picofarad.....	116
5.3. Mijloace de măsurat ale capacităților electrice.....	117
5.3.1. Condensatoare etalon.....	118
5.3.2. Cutii de capacități.....	119
5.3.3. Faradmetru.....	119
5.3.4. Capacimetru.....	121
5.3.5. Punți electrice. Puntea Sauty. Puntea RCL tip EO-704. Puntea Wien. Puntea Schering. Puntea Nernst. Puntea pentru măsurarea capacității condensatoarelor electrolitice.....	122
5.4. Metode pentru măsurarea capacităților electrice.....	128
5.4.1. Metoda voltmetrului și ampermetrului.....	128
5.4.2. Metoda ampermetrului și releului polarizat.....	129
5.4.3. Metoda comparației.....	130
5.4.4. Metoda galvanometrului balistic.....	130
5.4.5. Metoda multimetrului. Aplicație.....	132
CAP. 6 - MASURAREA CURENTULUI SI TENSIUNII ELECTRICE.....	134
6.1. Generalități.....	134
6.1.1. Curentul electric. Curentul continuu. Curentul electric variabil. Curentul electric periodic. Curentul electric tranzitoriu. Curentul electric în impulsuri.....	134

6.1.2. Tensiunea electrică. Tensiunea electrică continuă. Tensiunea electrică variabilă. Tensiunea electrică periodică. Tensiunea electrică tranzitorie. Tensiunea electrică în impulsuri.....	139
6.1.3. Caracteristicile curentului și tensiunii electrice sinusoidale. Valoarea maximă I și U . Fază, faza inițială. Valoarea medie I_{med} și U_{med} . Valoarea efectivă I și U . Factorul de formă k_f . Factorul de vîrf k_v . Defazajul.....	142
6.2. Unități de măsură.....	144
6.2.1. Unități de măsură pentru curent electric. Amper; kiloamper; miliamper; microamper.....	144
6.2.2. Unități de măsură pentru tensiune electrică. Volt; kilovolt; milivolt; microvolt.....	145
6.3. Mijloace de măsurat ale curentului și tensiunii electrice.....	146
6.3.1. Măsurarea curentului continuu.....	147
- Galvanometre de curent continuu.....	149
- Picoampermetre.....	151
- Ampermetre magnetoelectrice.....	152
- Ampermetre electrodinamice.....	153
6.3.2. Măsurarea curentului continuu de foarte mare intensitate.....	154
- Ampermetre magnetoelectrice cu șunt exterior.....	154
- Ampermetre cu traductor Hall.....	157
- Ampermetre cu transformator de curent continuu.....	160
6.3.3. Măsurarea curenților alternativi.....	161
- Ampermetre magnetoelectrice cu redresor.....	161
- Ampermetre feromagnetice.....	163
- Ampermetre electrodinamice.....	164

6.3.4. Măsurarea curenților de înaltă frecvență.....	165
- Milliampere cu termocuplu.....	165
- Ampere cu termocuplu.....	166
6.3.5. Măsurarea curenților intensi cu variație rapi- dă.....	167
6.3.6. Ampere numerice.....	169
6.3.7. Măsurarea tensiunii continue.....	170
- Milivoltmetre magnetoelectrice.....	173
- Voltmetre magnetoelectrice.....	173
- Voltmetre electronice pentru tensiune continuă.....	174
- Voltmetre electrodinamice.....	175
- Voltmetre electrostatice.....	176
6.3.8. Măsurarea tensiunii alternative.....	177
- Voltmetre magnetoelectrice cu redresor.....	177
- Voltmetre feromagnetice.....	180
- Voltmetre electrodinamice.....	182
- Voltmetre electrostatice.....	182
- Voltmetre electronice pentru tensiuni alter- native.....	183
- Voltmetre de bandă largă.....	183
- Voltmetre selective.....	183
- Voltmetre electronice de valori medii.....	183
- Voltmetre electronice de valori maxime.....	184
- Voltmetre electronice de valori efective.....	185
- Voltmetre electronice de curent alternativ de tip detector-amplificator.....	186
- Voltmetre electronice de curent alternativ de tip amplificator-detector.....	187
6.3.9. Voltmetre numerice.....	188
- Voltmetrul numeric cu aproximații succesive.....	188
- Voltmetrul numeric cu rampă.....	190
- Voltmetrul numeric cu convertor tensiune-frecvență... ..	192
- Voltmetrul numeric cu integrare cu dublă pantă.....	195
- Voltmetre numerice pentru tensiuni alterna- tive.....	197

- Alegerea voltmetrelor numerice.....	198
- Voltmetre numerice cu microprocesoare.....	198
6.3.10. Măsurarea tensiunii cu osciloscopul catodic.....	199
6.3.11. Măsurarea curentului cu osciloscopul catodic.....	202
6.4. Multimetre.....	203
6.4.1. Măsurarea curenților continui și alternativi.....	204
6.4.2. Măsurarea tensiunilor continue și alternative.....	204
6.4.3. Măsurarea rezistențelor electrice.....	205
6.5. Multimetre utilizate în activitatea de service I.I.R.U.C.	205
6.5.1. CITO 38.....	205
6.5.2. Metrix MX 209 A.....	211
6.5.3. Normatest.....	225
6.5.4. LAVO-2.....	233
6.5.5. LAVO-3.....	237
6.5.6. Aparatul universal UM-3B.....	245
6.5.7. MAVO-1.....	253
6.5.8. Multimetrul MF-35.....	257
6.5.9. Multimetrul numeric E-0302.....	262
6.6. Aplicații.....	273
CAP. 7 - MASURAREA PUTERII SI ENERGIEI ELECTRICE.....	286
7.1. Generalități.....	286
7.1.1. Puterea electrică în curent continuu.....	287
7.1.2. Puterea electrică în curent alternativ sinusoidal.....	288
7.1.3. Puterea instantanee p.....	289
7.1.4. Puterea activă P.....	289

	Pag.
7.1.5. Puterea reactivă Q	290
7.1.6. Puterea aparentă S	291
7.1.7. Factorul de putere $\cos \varphi$	291
7.1.8. Puterea în audiofrecvență și în radiofrecvență. Puterea de ieșire. Puterea nominală. Puterea de ieșire standard P_s . Coeficientul de amplificare al puterii k_p	291
7.1.9. Energia electrică.....	294
7.2. Unități de măsură.....	295
7.2.1. Unități de măsură pentru puterea electrică.....	295
- Putere activă. Watt ; kilowatt ; megawatt ; miliwatt.....	295
- Putere reactivă. Var ; kilovar ; megavar.....	296
- Putere aparentă. Voltamper ; kilovoltamper ; megavoltamper.....	296
- Putere în audiofrecvență și radiofrecvență. Bel ; decibel.....	297
7.2.2. Unități de măsură pentru energie electrică. Wattsecunda ; wattora ; kilowattora.....	297
7.3. Mijloace și metode pentru măsurarea puterii și energiei electrice.....	298
7.3.1. Măsurarea puterii în curent continuu.....	298
- Metoda voltmetrului și ampermetrului.....	298
- Wattmetrul.....	300
7.3.2. Măsurarea puterii active în curent alternativ monofazat.....	303
- Wattmetrul.....	303
- Metoda indirectă a osciloscopului catodic.....	305
7.3.3. Măsurarea puterii reactive în curent alternativ monofazat.....	306

- Metoda celor trei aparate.....	307
- Metoda wattmetrului.....	309
- Varmetrul.....	310
7.3.4. Măsurarea puterii aparente în curent alternativ monofazat.....	310
- Metoda voltmetrului și ampermetrului.....	310
7.3.5. Măsurarea puterii în curent alternativ trifazat.....	312
7.3.6. Măsurarea puterii în audiofrecvență și radiofrecvență.....	312
- Wattmetrul de ieșire.....	313
- Wattmetrul de ieșire PWT-5B.....	313
- Aparatul universal de măsurare a radiotelefoanelor ZPFM-3.....	319
7.3.7. Măsurarea energiei electrice.....	322
- Contorul cu inducție pentru energie electrică.....	322
- Contorul cu dublu tarif.....	325
- Contorul cu triplu tarif.....	325
- Contorul cu plată anticipată.....	325
- Contorul cu indicator de maxim.....	326
CAP. 8 - MASURAREA FRECVENTEI.....	327
8.1. Generalități.....	327
8.1.1. Frecvență.....	328
8.1.2. Perioadă.....	329
8.1.3. Frecvența unghiulară.....	329
8.2. Unități de măsură, Hertz ; kilohertz ; megahertz ; radian/secundă.....	329
8.3. Mijloace și metode de măsurare a frecvenței.....	331
8.3.1. Frecvențmetre.....	331

	Pag.
- Frecvențmetrul cu lamele vibratoare.....	332
- Frecvențmetrul logometric.....	334
- Frecvențmetrul cu condensator.....	335
- Frecvențmetrul numeric.....	339
8.3.2. Metode de punte.....	349
- Puntea de rezonanță.....	349
- Puntea Wien-Robinson.....	350
8.3.3. Metode de comparație.....	352
- Metoda osciloscopului. Figurile Lissajous. Modularea anodică. Modularea spotului în intensitate. Sincronizarea bazei de timp.....	352
- Măsurarea frecvenței cu osciloscopul CRC (Schlumberger) OCT 569 A.....	360
- Metoda stroboscopică.....	367
- Metoda contorului mecanic și electronic.....	368
8.3.4. Metoda de rezonanță.....	369
8.3.5. Metoda absorbției.....	371
8.3.6. Metoda heterodinării.....	372
8.4. Frecvențmetre utilizate în activitatea de service I.I.R.U.C.	374
8.4.1. Frecvențmetrul numeric E-0204.....	374
8.4.2. Versatester tip E-0502.....	382
8.4.3. Aparatul universal de măsurare a radiotelefoa- nelor ZPFM-3.....	382
8.5. Aplicații.....	383
CAP. 9 - MASURAREA MĂRIMILOR ELECTRICE VARIA- BILE ÎN TIMP.....	387
9.1. Generalități.....	387
9.2. Mijloace de măsurare a mărimilor electrice variabile în timp.....	388

9.2.1. Aparate înregistratoare. Aparate de înregistrat electromecanice. Aparate de înregistrat magnetice.....	388
9.2.2. Oscillograful electromecanic.....	391
9.2.3. Oscillograful catodic.....	393
- Schema bloc a osciloscopului catodic.....	394
- Tubul catodic.....	397
- Deflexia pe verticală și pe orizontală a fascicolului de electroni.....	403
- Linia de întârziere.....	406
- Deflexia pe verticală a fascicolului de electroni.....	407
- Deflexia pe verticală a două fascicole de electroni.....	408
- Deflexia pe orizontală a fascicolului de electroni.....	412
- Baza de timp.....	412
- Generator de baleiaj cu tub cu neon.....	413
- Generator de baleiaj cu tuburi electronice.....	414
- Generator de baleiaj cu integrator Miller.....	415
- Extensia coeficientului de baleiaj.....	416
- Sursa semnalului de sincronizare.....	416
- Selectarea frecvenței de sincronizare.....	419
- Reglajul nivelului de sincronizare.....	419
- Sincronizarea cu frontul impulsului.....	419
- Declanșarea automată a bazei de timp.....	420
- Aprinderea spotului electronic.....	421
- Reglajul coeficientului de deflexie pe orizontală.....	421
- Sistem de deflexie cu două baze de timp.....	421
- Calibrarea osciloscopului.....	424
- Sonde pentru osciloscopul catodic.....	425
- Sonda de măsurat fără atenuator (1/1).....	425
- Sonda de măsurat cu atenuator (1/10).....	425
- Reglarea sondei cu atenuator (1/10).....	429
- Tipuri de oscilloscoape. Oscilloscoape catodice în timp real. Oscilloscoape cu eşantionare. Oscilloscoape cu microprocesoare. Analizoare spectrale. Oscilloscoape cu mai multe canale. Oscilloscoape cu memorie.....	429

9.2.4. Modul de utilizare a osciloscoapelor catodice.....	430
- Comenzile tubului catodic.....	431
- Intrare semnal A și B.....	432
- Baza de timp B_1 și B_2 ; sincronizarea bazei de timp.....	433
- Punerea sub tensiune a osciloscopului.....	434
- Reglajul trasei fascicolului de electroni.....	435
- Echilibrarea amplificatorului vertical A și B.....	435
- Legarea în cascadă a intrării A cu intrarea B.....	436
- Funcționarea alternată a intrării A cu intrarea B.....	436
- Funcționarea comutată a intrării A cu intrarea B.....	436
- Adunarea algebrică a intrării A cu intrarea B.....	436
- Sincronizarea bazei de timp B_1	437
- Sincronizarea bazei de timp B_2	438
- Mărirea dimensiunii pe orizontală (Expansion).....	438
- Baleiajul întârziat al bazelor de timp B_1 și B_2	438
- Baleiajul monodeclanșat (un singur baleiaj).....	439
- Amplificatorul X.....	439
- Aducerea trasei pe mijlocul ecranului.....	440
- Modulația externă (Mod Ext).....	440
9.2.5. Aplicații ale osciloscoapelor catodice.....	442
- Măsurarea tensiunii electrice: Măsurare directă. Măsurarea prin comparație cu o tensiune calibrată. Măsurarea prin suprapunere. Măsurarea tensiunii vîrf la vîrf. Măsurarea tensiunii continue. Măsurarea tensiunii prin comparație.....	442
- Măsurarea perioadei unui semnal variabil în timp.....	447
- Măsurarea frecvenței unui semnal variabil în timp.....	448
- Măsurarea frontului impulsului.....	448
- Măsurarea diferenței de timp între două impulsuri.....	450
- Măsurarea instabilității frontului unui impuls.....	452
- Măsurarea defazajului dintre două semnale.....	454

	Pag
9.2.6. Osciloscopae catodice utilizate în activitatea de service I.I.R.U.C.....	455
- Osciloscopul (miniscop) tip E-0104.....	456
- Osciloscopul de laborator tip E-0103.....	458
- Osciloscopul CRC "Schlumberger" OCT569A.....	460
- Osciloscopul TESLA BM 464.....	462
- Osciloscopul UNITRA OS 150.....	465
- Osciloscopul KABID-DT-516A.....	466
- Osciloscopul universal S1-79.....	468
CAP. 10 MASURAREA DISTORSIUNILOR.....	471
10.1. Generalități.....	471
10.2. Mijloace de măsurare a distorsiunilor.....	481
10.2.1. Distorsiometrul cu aparat indicator eta- lonat în grade de distorsiune.....	481
CAP. 11 - MASURAREA ELEMENTELOR ELECTRONICE DE CIRCUIT.....	483
11.1. Generalități.....	483
11.2. Măsurarea diodelor semiconductoare.....	483
11.2.1. Măsurarea diodelor semiconductoare scoase din circuit.....	484
11.2.2. Măsurarea diodelor semiconductoare conectate în circuit.....	485
11.3. Măsurarea tranzistoarelor bipolare.....	485
11.3.1. Măsurarea tranzistoarelor scoase din circuit.....	486
11.3.2. Măsurarea tranzistoarelor conectate în circuit.....	487
11.4. Tranzistormetrul E-0702.....	488
Bibliografie.....	495

CAPITOLUL 1

NOTIUNI INTRODUCTIVE

1.1. GENERALITĂȚI

În cartea "Informație și incertitudine în măsurări" de Dr.ing. Aurel Miltea din colecția "Știință și tehnică pentru toți" se prezintă importanța măsurării printr-un exemplu foarte semnificativ referitor la asigurarea interschimbabilității pieselor care compun subansamble sau utilaje deosebit de complicate. După exemplificare, autorul concluzionează: "... azi sîntem obișnuiți ca diferite piese de asamblat să se potrivească între ele, un șurub cu o piuliță, un piston cu un cilindru etc., chiar dacă aceste piese sînt fabricate în întreprinderi diferite sau chiar în țări diferite. Acest lucru este posibil numai dacă este asigurată atît precizia măsurărilor - erori sub cele tolerate la prelucrarea și controlul lor - cît și uniformitatea măsurărilor - fiecare fabricant să folosească riguros aceeași unitate de măsură".

În această introducere, s-au folosit expresii ca măsurare și unitate de măsură. Ce semnificație au aceste noțiuni?

1.1.1. Măsurare. Mărime. Unitate de măsură.

Măsurarea este o experiență efectuată pentru a obține informații referitoare la anumite proprietăți ale unui obiect, sistem etc., denumite mărimi. Experiența constă din compararea unei mărimi necunoscute cu o altă mărime cunoscută și de aceeași natură ca prima și care se numește unitate.

de măsură. Compararea se realizează cu mijloace tehnice cunoscute sub numele de măsuri, instrumente de măsurat, aparate de măsurat, instalații de măsurat sau sisteme de măsurat.

Măsurarea intervine în două din cele trei etape fundamentale ale procesului de cunoaștere:

- observarea și experimentul;
- ipoteza și raționamentul;
- verificarea rezultatului.

1.2. SISTEMUL INTERNATIONAL DE UNITATI - SI

1.2.1. Unități SI fundamentale

În 1960, s-a adoptat de Conferința Generală de Măsuri și Greutăți, Sistemul Internațional de Unități de Măsură (prescurtat SI) ca sistem de unități legal și obligatoriu în toate țările membre din care face parte și România.

Sistemul Internațional SI se bazează pe unitățile fundamentale din tabelul 1.1.

Tabelul 1.1

Unități SI fundamentale

Mărimea	Denumirea	Simbolul
lungime	metru	m
masă	kilogram	kg
timp	secundă	s
intensitatea curentului electric	amper	A
temperatură termodinamică	kelvin	K
cantitate de substanță	mol	mol
intensitate luminoasă	candela	cd

Tot Sistemului Internațional aparțin unitățile SI derivate și unitățile SI suplimentare.

1.2.2. Unități SI derivate

Sînt obținute din expresii valorice care utilizează simboluri matematice de înmulțire și împărțire (tabelul 1.2.) sau poartă o denumire specială și un anumit simbol (tabelul 1.3.) sau pot fi folosite pentru exprimarea altor unități derivate (tabelul 1.4.).

Tabelul 1.2

Unități SI derivate exprimate în funcție de unitățile fundamentale (exemple)

Mărimea	Unitatea SI	
	Denumirea	Simbolul
arie	metru pătrat	m^2
volum	metru cub	m^3
viteză	metru pe secundă	m/s
acelerație	metru pe secundă la pătrat	m/s^2
densitate	kilogram pe metru cub	kg/m^3
densitate de curent	amper pe metru pătrat	A/m^2
cîmp magnetic	amper pe metru	A/m

Tabelul 1.3

Unități SI derivate cu denumiri speciale (exemple)

Mărimea	Unitatea SI		
	Denumirea	Simbolul	Expresie în unități SI
frecvență	hertz	Hz	$1/s$
tensiune electrică, potențial electric, t.e.m.	volt	V	W/A
forță	newton	N	$kg \cdot m/s^2$

continuare tabelul 1.3

Mărimea	Unitatea SI		
	Denumirea	Simbolul	Expresie în unități SI
presiune	pascal	Pa	N/m^2
energie, lucru mecanic, cantitate de căldură	joule	J	Nm
putere	watt	W	J/s
inducție magnetică	tesla	T	Wb/m^2
fluxul inducției magnetice	weber	Wb	V.s
cantitate de electricitate, sarcină	coulomb	C	A.s
rezistență electrică	ohm	Ω	V/A
conductanță electrică	siemens	S	A/V
capacitate electrică	farad	F	C/V
inductanță	henry	H	Wb/A

Tabelul 1.4

Unități SI derivate exprimate prin alte denumiri speciale
(exemple)

Mărimea	Unitatea SI	
	Denumirea	Simbolul
intensitatea câmpului electric	volt pe metru	V/m
sarcina electrică de volum	coulomb pe metru cub	C/m^3
deplasare electrică	coulomb pe metru pătrat	C/m^2
permitivitate	farad pe metru	F/m
permeabilitate	henry pe metru	H/m

1.2.3. Unități SI suplimentare

Sînt două: unitatea SI de unghi plan, radianul și unitatea SI de unghi solid, steradianul (tabelul 1.5).

Tabelul 1.5

Unități SI suplimentare

Mărimea	Unitatea SI	
	Denumirea	Simbolul
unghi plan	radian	rad
unghi solid	steradian	sr

Pentru extinderea gamei de măsură a unităților SI s-au adoptat multipli și submultipli zecimali ai unităților SI (tabelul 1.6).

Tabelul 1.6

Factorul de multiplicare	Prefixul	Simbolul
$1\ 000\ 000\ 000\ 000 = 10^{12}$	tera	T
$1\ 000\ 000\ 000 = 10^9$	giga	G
$1\ 000\ 000 = 10^6$	mega	M
$1\ 000 = 10^3$	kilo	k
$100 = 10^2$	hecto	h
$10 = 10^1$	deca	da
$0,1 = 10^{-1}$	deci	d
$0,01 = 10^{-2}$	centi	c
$0,001 = 10^{-3}$	milli	m
$0,000\ 001 = 10^{-6}$	micro	μ
$0,000\ 000\ 001 = 10^{-9}$	nano	n
$0,000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-12}$	pico	p
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-15}$	femto	f
$0,000\ 000\ 000\ 000\ 000\ 001 = 10^{-18}$	atto	a

1.3. PROCESUL DE MASURARE

În procesul de măsurare prin care se realizează experiența necesară intervin următoarele elemente:

- mărimea de măsurat (măsurandul);
- metoda electrică de măsurare;
- mijlocul electric de măsurat.

1.3.1. Mărimea de măsurat. Mărimi active. Mărimi pasive.

Mărimea de măsurat reprezintă mărimea fizică cu anumite proprietăți care se pot determina prin operația de măsurare.

Se stabilește în mod convențional o corespondență biunivocă între mulțimea numerelor reale și mulțimea valorilor mărimii fizice; corespondența se numește convenție de scară. Tot prin aceasta se determină unitatea de măsură. Prin urmare, rezultatul final obținut pentru oricare măsurare reprezintă o anumită proprietate a mărimii măsurate redată printr-un număr însoțit de unitatea de măsură.

Mărimile de măsurat se clasifică în două categorii: active și pasive.

Mărimile active permit eliberarea unei cantități de energie capabilă să furnizeze un semnal necesar măsurării. De exemplu, tensiunea electrică la bornele unui termocuplu.

Mărimile pasive nu eliberează energie; pentru măsurare este necesară utilizarea unei surse de energie auxiliară. De exemplu, măsurarea rezistenței electrice.

Valoarea A a unei mărimi măsurate este dată de produsul dintre un număr N și unitatea de măsură folosită U_A .

$$A = N U_A \quad (1.1)$$

(de exemplu, capacitatea electrică a unui condensator electric $A = 470 \mu F$;
 $N = 470$ și $U_A = \mu F$).

1.3.2. Metoda electrică de măsurare este o succesiune logică de folosire a mijloacelor de măsurare în procesul de măsurare.

Metodele electrice de măsurare - clasificate după tehnica de obținere a rezultatului măsurării - sînt următoarele:

- metode de măsurare prin deviație;
- metode de măsurare prin comparație;
- metode de măsurare diferențiale.

Metode de măsurare prin deviație constă în obținerea deviației unui ac indicator dintr-un aparat de măsurat, dintr-o poziție de echilibru (mărimea de măsurat lipsește) într-o nouă poziție de echilibru (mărimea de măsurat este prezentă).

Metode de măsurare prin comparație constă în compararea cu ajutorul aparatelor de măsurat a mărimii de comparație - furnizată de etaloane - cu mărimea de măsurat.

Metodele de măsurare prin comparație se bazează pe - comparația directă cu mărimea de măsurat (exemplu: metoda de compensare pentru măsurarea unei tensiuni);

- comparația cu un semnal proporțional cu mărimea de măsurat (exemplu: metoda de punte);

- comparația cu un semnal funcție de mărimea de măsurat (exemplu: măsurarea mărimilor neelectrice prin metoda punții alimentată în curent continuu sau alternativ);

- comparația automată directă cu un semnal proporțional sau funcție de mărimea de măsurat (exemplu, metoda de punte cu servomecanism pentru echilibrare).

Dintre metodele de măsurare prin comparație cele mai utilizate sînt:

- metoda de zero ;
- metoda de substituție ;
- metoda de coincidență ;
- metoda de baletaj .

- metoda de zero constă din acțiunea simultană dar de sens contrar a mărimii de comparație și a mărimii de măsurat asupra sistemului mobil al aparatului detector de nul ;

- metoda de substituție constă din introducerea succesivă a mărimilor de măsurat și de comparație în aparatul folosit ca element de comparație ; se determină indicația produsă de mărimea de măsurat ; se înlocuiește mărimea de măsurat și se reglează pînă se obține aceeași indicație ; rezultatul măsurării va fi valoarea mărimii de comparație pentru care s-a obținut indicație egală cu a mărimii de măsurat ;

- metoda de coincidență constă în suprapunerea peste mărimea de măsurat a mărimii de comparație pînă cînd se observă o coincidență (exemplu, măsurarea frecvenței unei tensiuni variabile cu figurile Lissajous) ;

- metoda de baletaj constă în comparația dintre mărimea de măsurat X și o mărime cunoscută Y liniar variabilă sub formă de dinți de ferăstrău (exemplu, voltmetre numerice cu rampă liniară) ;

Metode de măsurare diferențiale sînt o combinație a metodei de deviație și a metodei de zero (exemplu, măsurarea de precizie ale mărimilor electrice și neelectrice cu compensatoare funcționînd în regim dezechilibrat) .

O altă clasificare a metodelor de măsurare constă în numărul de mărimi care se determină pentru a se obține valoarea mărimii măsurate :

- metode directe de măsurare ;
- metode indirecte de măsurare ;

- metode directe de măsurare constă în determinarea unei singure mărimi - mărimea de măsurat ; se folosesc aparate special construite ; voltmetre, ampermetre, wattmetre etc .

- metode indirecte de măsurare constă în măsurarea a două sau mai multe mărimi și calcularea în funcție de acestea a valorii mărimii studiate (exemplu, măsurarea rezistivității unui conductor);

În fine o altă clasificare se face în funcție de precizia determinărilor:

- metode de laborator;
- metode industriale;

- metode de laborator sînt caracterizate prin precizie ridicată; se estimează erorile și se corectează rezultatele.

Camerele destinate măsurărilor sînt special amenajate.

Aceste metode se utilizează în cercetarea științifică pentru investigarea unui material nou, la etalonarea și verificarea mijloacelor de măsurat, la transmiterea unității de măsură;

- metode industriale sînt caracterizate prin rapiditatea determinării rezultatului. Se impune o precizie ridicată dar nu se estimează erorile. Se folosesc aparate mai puțin sensibile dar robuste.

1.3.3. Mijlocul electric de măsurat.

Este un ansamblu tehnic prin care se materializează, conservă unitățile de măsură și se emit semnale necesare măsurării.

Mijloacele electrice de măsurat se clasifică în:

- măsurii;
- instrumente de măsurat;
- aparate de măsurat;
- instalații de măsurat.

- măsurii sînt mijloace de măsurat prin care se materializează unitatea de măsură, multiplii sau submultiplii acesteia (exemplu, rezistoare electrice, condensatoare electrice etc.).

Materializarea este posibilă numai pentru unele unități de măsură. Cînd măsura se folosește la definirea, materializarea, conservarea sau repro-

ducerea unității de măsură numai în scopul transmiterii acesteia către alte mijloace de măsurare se numește măsură etalon sau prescurtat etalon.

Există măsuri etalon sau etaloane internaționale adoptate în urma unui acord internațional și recunoscute de statele membre ca bază la stabilirea valorii etaloanelor naționale.

Etalonul național denumit și etalon primar servește prin intermediul unor instalații și metode corespunzătoare pentru transmiterea unității de măsură la etaloanele secundare de ordinul doi și așa mai departe.

Etaloanele folosite în laboratoarele din întreprinderi pentru transmiterea unității de măsură, se numesc etaloane uzinale.

Există mărimi fizice pentru care unitățile lor de măsură pot fi materializate sub formă de măsuri care să reproducă în mod invariabil și exact unitatea de măsură sau multiplii acesteia.

În cazul acestor mărimi, unitățile lor de măsură se determină prin metode indirecte de măsurare adică - după cum s-a prezentat - prin măsurarea a două sau mai multe mărimi și calcularea în funcție de acestea a valorii mărimii măsurate:

- instrumente de măsurat sînt ansamble de mai multe elemente care pot furniza semnale de măsurare; mărimea măsurată este indicată printr-o scară de repere (exemplu, microampermetrul, microvoltmetrul etc.); instrumentele de măsurat se numesc și dispozitive de măsurat;

- aparate de măsurat sînt mijloace de măsurat realizate pe baza unei scheme electrice de conversie a energiei și a unui instrument de măsurat (exemplu, termometrul electric, ampermetrul etc.).

Un aparat de măsurat primește o mărime de intrare și furnizează o mărime de ieșire.

Mărimea de ieșire nu depinde numai de mărimea de intrare; în cazul general, depinde și de alte mărimi denumite mărimi de influență (temperatură, presiune, umiditate, cîmpuri electrice și magnetice etc.). De asemenea, mărimea de ieșire a aparatului depinde și de comenzile care au fost date aparatului din exterior. Reprezentarea generală a aparatului de măsurat și a mărimilor, comenzilor, mărimilor de ieșire s-a schițat în fig. 1.1.

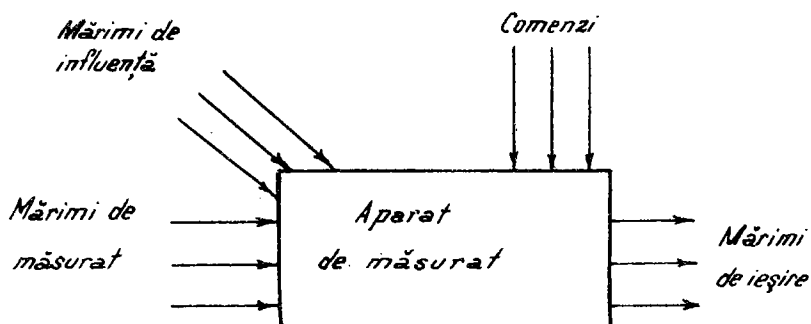


Fig. 1.1. Reprezentarea generală a aparatului de măsurat.

Mărimile de intrare ale aparatului de măsurat sînt caracterizate prin:

- natura mărimii (temperatură, tensiune, curent etc.);
- intervalul de valori măsurabile (valoarea minimă, valoarea maximă);
- variația în timp (mărimi constante, mărimi variabile).

Comenzile primite din exterior de un aparat de măsurat pot fi:

- funcțiune (măsurarea timpului, temperaturii, curentului, tensiunii etc.);

- game de măsurare;
- calibrare internă;
- reglarea zeroului;
- echilibrare (la compensatoare, punți);
- repetarea măsurării.

În general, comenzile aparatelor de măsurat pot fi grupate astfel:

- pentru introducerea de date;
- pentru manevrarea aparatului.

Ambele grupe de comenzi pot fi automatizate parțial sau complet. Mărimile de ieșire ale unui aparat de măsurat pot fi recepționate de om sau de un dispozitiv conectat aparatului (înregistrare, comandă, prelucrare ulterioară etc.).

Aparatele de măsurat - după felul cum furnizează mărimea de ieșire - pot fi:

- aparate analogice;
- aparate numerice (digitale).

Aparatul analogic furnizează informația de măsurare sub forma unei mărimi fizice variabile continuu și omul apreciază indicația aparatului exprimând-o sub forma unui număr.

Aparatul numeric prezintă rezultatul măsurării la ieșire direct sub forma unui număr care este citit de om.

- instalații de măsurat sînt tot mijloace de măsurat constituite din măsuri, aparate de măsurat, diferite dispozitive conectate între ele printr-o schemă sau metodă comună și care se folosesc la măsurarea uneia sau mai multor mărimi (exemplu, instalația de măsurat a temperaturii);

- sisteme de măsurat sînt ansambluri complexe de instalații, aparate de măsurat grupate după obiectul supus măsurării sau după prelucrarea centralizată a informațiilor obținute în urma măsurării (exemplu, ansamblul de instalații de măsurat conectat la un sistem de prelucrare a acestor informații de către un calculator electronic).

1.4. CARACTERISTICILE METROLOGICE SI DE FIABILITATE METROLOGICA ALE MIJLOACELOR DE MASURAT

Datele referitoare la aparatul de măsurat sînt redată complet de caracteristicile metrologice și de fiabilitate ale sale. Aceste caracteristici se referă la comportarea aparatului față de mărimea de măsurat, față de operatorul uman și de mediul ambiant precum și la modul de comportare în exploatare.

1.4.1. Caracteristici metrologice

Intervalul de măsurare reprezintă intervalul dintre valoarea minimă și valoarea maximă care pot fi măsurate cu un aparat.

Capacitatea de suprasarcină este capacitatea unui aparat de măsurat de a rezista la o suprasarcină astfel ca după suprasarcină să funcționeze normal.

Rezoluție (prag de sensibilitate) este cea mai mică valoare a mărimii de intrare prin care se poate determina o variație sesizabilă a mărimii de ieșire. Rezoluție - ca termen - se utilizează pentru mijloacele de măsurare numerice la care mărimea de ieșire variază discontinuu.

Sensibilitate este raportul dintre variația mărimii de ieșire și variația corespunzătoare a mărimii de intrare (se notează cu S).

Constanta este mărimea inversă a sensibilității:

$$C = \frac{1}{S} ; \quad (1.2)$$

se exprimă în °C/diviziune, volți/diviziune, amperi/diviziune etc.

Precizie este calitatea aparatului de a da rezultate cât mai apropiate de valoarea adevărată a mărimii de măsurat.

Precizia ridicată corespunde unei erori mici, respectiv precizia scăzută unei erori mari. Pentru gruparea aparatelor de măsurat pe baza erorilor tolerate se folosește noțiunea de clasă de precizie sau clasa aparatului. Clasele de precizie utilizate la aparatele de măsurat sînt: 0,001; 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2,5; 5.

Putere consumată este puterea absorbită de aparatul de măsurat de la mărimea de măsurat în procesul de măsurare.

Timp de măsurare este intervalul de timp care se scurge de la aplicarea unui semnal treaptă la intrarea unui mijloc de măsurat și pînă la sta-

bilirea semnalului de ieşire cu o abatere egală cu eroarea limită de măsurare, faţă de valoarea staţionară a acestuia.

Stabilitate este calitatea unui aparat numeric de a-şi păstra timp îndelungat caracteristicile prin conservarea zeroului şi instabilitatea la variaţiile de temperatură, umiditate şi paraziţi electromagnetici. Se mai numeşte fidelitate.

Compatibilitate cu un sistem automat de măsurare reprezintă posibilitatea de conectare la magistrala sistemului pentru a primi comenzi şi a furniza date în cod.

Pentru conectare, aparatul de măsurat este prevăzut cu o interfaţă pentru intrare-ieşire.

1.4.2. Caracteristici de fiabilitate metrologică

Fiabilitate metrologică este calitatea unui mijloc de măsurat de a funcţiona un interval de timp fără să depăşească erorile limită. Se notează cu $R(t)$ şi această funcţie ia valori egale cu probabilitatea de bună funcţionare metrologică pentru timpul t .

Fiabilitatea metrologică este caracterizată prin următorii indicatori de fiabilitate:

- funcţia de fiabilitate $R(t)$;
- media timpului de bună funcţionare ;
- media timpului de reparaţie ;
- rata defectărilor ;
- rata reparaţiilor ;
- disponibilitatea metrologică.

Media timpului de bună funcţionare este media aritmetică a intervalor de timp t_1 în care mijlocul de măsurat funcţionează cu erori inferioare erorilor limită de măsurare .

$$MTBF = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t'_i \quad (1.3)$$

în care:

n este numărul intervalelor de timp;

t'_i - durata intervalului de timp i în care mijlocul de măsurat funcționează cu erori inferioare limitei.

Media timpului de reparație este media aritmetică a intervalelor de timp în care mijlocul de măsurat este supus reparării

$$MTR = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} t''_i \quad (1.4)$$

în care:

n este numărul intervalelor de timp;

t''_i - durata intervalului de timp i în care mijlocul de măsurat este supus reparării.

O explicare mai clară a intervalelor de funcționare și de reparație ale unui mijloc de măsurat este în fig. 1.2.

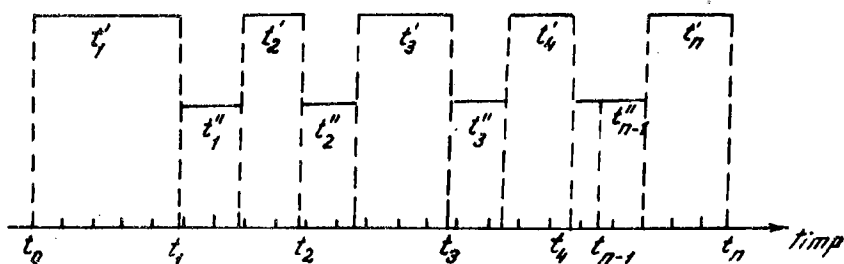


Fig. 1.2. Intervalele de funcționare t'_i și de reparație t''_i ale unui aparat de măsurat.

Disponibilitate metrologică este raportul

$$D = \frac{MTBF}{MTBF + MTR} \quad (1.5)$$

în care: MTBF și MTR au fost definite mai sus.

Disponibilitatea metrologică se folosește pentru determinarea numărului de mijloace de măsurare necesare într-un proces tehnologic.

Rata reparațiilor este inversul mediei timpului de reparație

$$\mu = \frac{1}{MTR} \quad (1.6)$$

Rata defectărilor metrologice este inversul mediei timpului de bună funcționare

$$\lambda = \frac{1}{MTBF} \quad (1.7)$$

Acest indicator de fiabilitate este unul din principalii indicatori de fiabilitate.

În fig. 1.3 este reprezentată λ - rata defectărilor metrologice - în funcție de timp. Tot pe acest grafic s-au marcat perioadele din "viața" unui mijloc de măsurat.

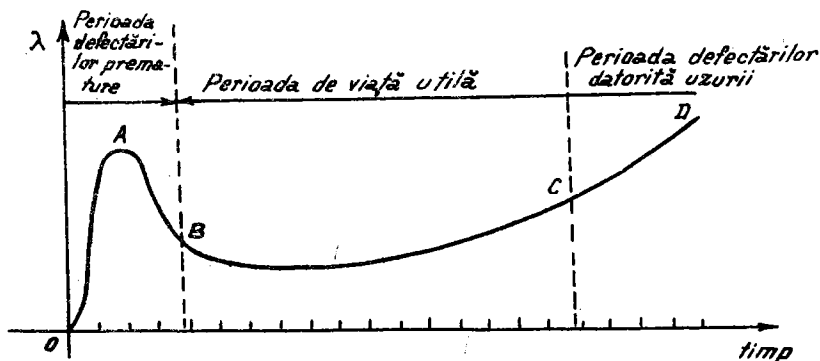


Fig. 1.3. Evoluția indicatorului de fiabilitate λ în timp.

Semnificația fiecărei perioade este:

- perioada defectărilor premature (porțiunea OAB) există din cauza deficiențelor de proiectare, nerespectarea tehnologiei de execuție, controlului insuficient în timpul fabricației sau la controlul final;

- perioada de viață utilă (porțiunea BC) este intervalul de timp în care rata defectărilor s-a stabilizat la o valoare constantă și defectările apar întâmplător astfel că frecvența lor de apariție poate fi predeterminată prin calcul;

- perioada defectărilor masive (porțiunea CD) apare din cauza uzurii; defectele dispar când se înlocuiesc elementele uzate.

Fiabilitatea metrologică a mijloacelor de măsurat se determină numai pentru perioada de viață utilă. Pentru această perioadă, fiabilitatea se calculează din

$$R(t) = e^{-\lambda t} \quad (1.8)$$

în care:

$R(t)$ este fiabilitatea metrologică;

e - baza logaritmilor naturali;

t - timpul.

Pentru un mijloc electric de măsurat complex, fiabilitatea este dată de produsul fiabilităților fiecărui element component:

$$R(t) = R_1(t) \times R_2(t) \times \dots \times R_n(t) = e^{-(\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n)} \quad (1.9)$$

Legislația metrologică în vigoare prevede că normele interne ale mijloacelor electrice de măsurat trebuie să conțină cel puțin unul dintre indicatorii de fiabilitate următori:

- $R_{\min}(t)$ - valoarea minimă a fiabilității metrologice;
- $MTBF_{\min}$ - valoarea minimă a mediei timpului de bună funcționare metrologică.

1.5. ERORI DE MASURARE

Rezultatul final obținut în urma unei măsurări nu este cel adevărat, acesta este influențat de diferiți factori perturbatori sau erori de măsurare.

Sub formă de relație matematică eroarea de măsurare se exprimă astfel:

$$\Delta X = X_m - X \quad (1.10)$$

în care:

ΔX este eroarea de măsurare;

X_m - rezultatul final obținut în urma măsurării;

X - valoarea reală sau adevărată;

Principalele erori care intervin în procesul de măsurare sînt determinate de elementele componente ale acestui proces:

- erori provocate de mărimea de măsurat;
- erori ale măsurilor;
- erori ale aparatelor de măsurat;
- erori de metodă de măsurat;
- erori determinate de mediul înconjurător: temperatură, câmpuri electrice și magnetice, iluminare etc.;
- erori introduse de observatorul uman (atenție, acuitate vizuală, aprecieri, viteză de reacție, capacitate de acomodare etc.).

Pentru a se ține seama de aceste erori, trebuie ca metoda, mijlocul și condițiile de măsurare să fie stabilite în urma unei analize temeinice.

Clasificarea erorilor de măsurare. Erorile de măsurare se clasifică în:

- erori sistematice;
- erori aleatoare;
- erori grosolane.

1.5.1. Erori sistematice - se notează cu Δ_s -. Sînt erorile care au în fiecare caz o valoare determinată - constantă sau variabilă - și un semn bine precizat. Aceste erori sînt sensibil constante pentru un șir de măsurări efectuate asupra aceleiași mărimi în aceleași condiții și sînt totdeauna în același sens. Se deosebesc următoarele erori sistematice:

- erori de aparat; reprezintă erorile mijlocului de măsurat provocate de imperfecțiunile constructive; erori de divizare ale scărilor gradate, erori provocate de ecranarea imperfectă, erori introduse de elementele componente ale mijlocului de măsurat etc.; pentru eliminarea acestor erori, unele aparate sînt prevăzute cu dispozitive de ajustare, aparatele de mare precizie sînt prevăzute cu dispozitive pentru eliminarea erorilor;

- erori de metodă; reprezintă erorile provocate de lipsa de precizie a metodei de măsurare și aplicarea unei formule de calcul aproximative. (de exemplu, măsurarea rezistențelor electrice prin metoda amonte și aval);

- erori produse de factori externi; reprezintă erorile provocate în principal de temperatură și câmpuri electrice și magnetice exterioare; temperatura determină modificarea mărimii de măsurat (lungime, rezistență electrică etc.); cînd mărimea de măsurat, măsura sau aparatul de măsurat au o altă temperatură care diferă de temperatura de referință de 20°C (68°F) trebuie să se aducă elementele la temperatura de referință de 20°C și apoi să se realizeze procesul de măsurare sau să se introducă unele corecții la rezultatele finale obținute;

câmpurile magnetice exterioare chiar cel terestru provoacă erori sistematice care pot fi evitate prin ecranare, astaticizare sau verificare la un reper al scării pentru două senzori de variație ale mărimii de studiat;

- erori de instalare; reprezintă erorile determinate de așezarea sau reglarea greșită a aparatelor de măsurat sau a altor dispozitive de măsurat, modificarea condițiilor exterioare etc.;

- erori ale operatorului uman; reprezintă erorile introduse de unele defecte ale experimentatorului: oboseală, stări psihice care îi diminuează aptitudinile, deficiențe ale organelor de percepție sau de lucru în condiții nefavorabile.

Pentru eliminarea erorilor sistematice trebuie să se respecte următoarele:

- aparatul de măsurat să se așeze într-o poziție corectă de funcționare conform prescripțiilor tehnice;
- aparatul de măsurat să fie verificat în prealabil pentru o funcționare corectă;
- spațiul în care se fac măsurările să fie cu temperatură constantă și în afara câmpurilor perturbatoare;
- la măsurări de precizie să se utilizeze curbe de erori sau corecții;
- să se utilizeze metoda de măsurare care să elimine erorile sistematice.

1.5.2. Erori aleatoare (accidentale sau întâmplătoare). Sînt provocate de mărimi de influență cu variație rapidă și care au valori întâmplătoare în timpul unei măsurări repetate. Erorile aleatoare variază într-un mod imprevizibil ca valoare și semn la repetarea măsurării în condiții practic neschimbate. Acestea se manifestă prin indicații diferite ale aparatului la măsurarea repetată ale aceeași mărimi. Limitele între care se află erorile aleatoare se pot determina - cu o probabilitate oarecare - prin mai multe măsurări efectuate în condiții identice.

1.5.3. Erori grosolane (greșeli). Sînt o consecință a unui montaj incorect, alegerii greșite a metodei de măsurare, manipulării greșite, citirii și scrierii indicațiilor aparatului de măsurat, calculelor inexacte etc. Greșelile denaturează foarte mult rezultatele măsurărilor. Pentru eliminarea erorilor grosolane, se aplică criterii astfel ca rezultatele finale să fie afectate numai de erori sistematice sau aleatoare.

După modul de exprimare, erorile pot fi:

- absolute;
- relative;

- eroarea absolută - se notează cu Δ - este diferența dintre valoarea măsurată a mărimii (obținută prin măsurare) și valoarea de referință determinată cu o precizie superioară valorii măsurate:

$$\Delta = x - X_0 \quad (1.11)$$

în care:

Δ este eroarea absolută;

x - valoarea măsurată printr-o măsurare oarecare;

X_0 - valoarea de referință determinată cu o precizie superioară valorii măsurate x ;

Valoarea de referință X_0 poate fi:

- valoarea convențional-reală a mărimii (dată prin documentația de execuție a obiectului de măsurat);

- rezultatul unei măsurări obținut cu ajutorul unui aparat de măsurat de clasă de precizie superioară;

- media aritmetică a rezultatelor unei serii de măsurări efectuate asupra aceleiași mărimi sau obiect; se folosește relația

$$X_0 = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (1.12)$$

în care:

x_i este o valoarea individuală i măsurată dintre cele n valori individuale din seria de măsurări;

n - numărul măsurărilor aparținând seriei de măsurări.

Corecția C este eroarea absolută Δ cu semnul schimbat:

$$C = -\Delta$$

Dezavantajul erorii absolute este că nu exprimă gradul de precizie. De exemplu, dacă eroarea absolută de $0,1 \Omega$ a fost făcută la măsurarea unei rezistențe de $10\ 000 \Omega$, se poate considera că determinarea este foarte precisă: dacă la măsurarea unei rezistențe de $0,5 \Omega$ s-a comis o eroare absolută de $0,1 \Omega$ determinarea nu mai este precisă (eroarea absolută este de același ordin de mărime cu valoarea măsurată).

Pentru a reda gradul de precizie al unei măsurări se introduce eroarea relativă.

Eroarea relativă - se notează cu Δ_r - este raportul dintre eroarea absolută și valoarea de referință adoptată:

$$\Delta_r = \frac{\Delta}{X_0} = \frac{x - X_0}{X_0} \quad (1.13)$$

în care:

Δ_r este eroarea relativă;

Δ - eroarea absolută;

x - valoarea măsurată printr-o măsurare oarecare;

X_0 - valoarea de referință determinată cu o precizie superioară valorii măsurate x .

Eroarea relativă - ca raport a două mărimi de aceeași natură - este un număr care se poate exprima și în procente.

În acest caz:

$$\Delta_{r\%} = \frac{\Delta}{X_0} \cdot 100 = \frac{x - X_0}{X_0} \cdot 100 \quad (1.14)$$

Cu cât eroarea relativă este mai mică cu atât măsurarea este mai precisă.

Clasa de precizie sau indicele clasei de precizie c este raportul dintre eroarea absolută maximă și valoarea maximă care se poate măsura cu aparatul de măsurare; se exprimă în procente:

$$c = \frac{\Delta_{\max}}{X_{\max}} 100 \quad (1.15)$$

în care:

- c este clasa de precizie în procente;
- Δ_{\max} - eroarea absolută maximă;
- X_{\max} - valoarea maximă care se poate măsura cu aparatul de măsurat.

1.5.4. Aplicație

La verificarea metrologică a unui ampermetru magnetoelectric de tablou cu ajutorul unui ampermetru etalon s-au obținut indicațiile din tabelul 1.7.

Limita de măsurare maximă a aparatului de verificat $I_{\max} = 1$ A iar clasa de precizie $c = 1,5$.

Se cere:

a) Clasa de precizie a ampermetrului etalon știind că instrucțiunile de verificare metrologice prevăd că trebuie să fie de 5 ori mai mică decât clasa de precizie a ampermetrului supus verificării.

b) Să se calculeze și să se tabeleze erorile absolute ale ampermetrului magnetoelectric.

c) Să se afle dacă aparatul de verificat se încadrează în clasa de precizie 1.5.

Tabelul 1.7.

Indicații ampermetrul tablou I_t (A)	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Indicații ampermetrul etalon I_e (A) (sens ↗)	0,21	0,43	0,64	0,82	0,99
Indicații ampermetrul etalon I_e (A) (sens ↘)	0,18	0,39	0,61	0,78	0,97

Rezolvare:

a) Clasa de precizie a ampermetrului etalon este

$$c_e \leq \frac{c}{5} = \frac{1,5}{5} = 0,3$$

Ampermetrul etalon este de clasă de precizie 0,2 sau 0,1.

b) Erorile absolute ale ampermetrului de tablou - supus verificării - se calculează cu relația (1.11).

$$\Delta = x - X_o \text{ sau } \Delta = I_t - I_e$$

pentru că valoarea măsurată x este chiar I_t iar valoarea de referință X_e este I_e .

Rezultatele obținute s-au tabelat în tabelul 1.8.

Tabelul 1.8.

Indicații ampermetrul tablou I_t (A)	0,2	0,4	0,6	0,8	1
Δ (sens ↗)	-0,01	-0,03	-0,04	-0,02	0,01
Δ (sens ↘)	0,02	0,01	-0,01	0,02	0,03

c) Clasa de precizie a aparatului de verificat se determină din relația (1.15):

$$c = \frac{\Delta_{\max}}{X_{\max}} 100 \text{ sau } c = \frac{\Delta_{\max}}{I_{\max}} 100$$

în care eroarea maximă absolută $\Delta_{\max} = |-0,04| = 0,04$ din tabelul 1.8 iar valoarea maximă care se poate măsura cu ampermetrul de tablou este $I_{\max} = 1$ A. Rezultă:

$$c = \frac{0,04}{1} 100 = 4\% > 1,5\%$$

aparatur nu se încadrează în clasa de precizie 1,5.

CAPITOLUL 2

CLASIFICAREA APARATELOR DE MASURAT DIN DOMENIUL ELECTRIC

2.1. GENERALITATI

Aparatele de măsurat din domeniul electric cu indicarea continuă a mărimii măsurate sînt formate din următoarele elemente componente:

- dispozitivul de măsurat;
- elementele de prelucrarea semnalelor;
- traductorul;
- elementele de referință;
- elementele auxiliare.

- dispozitivul de măsurat este subansamblul care produce mișcarea sistemului mobil iar mișcarea depinde de mărimea de măsurat; dispozitivul de măsurat se numește și instrument de măsurat;

- elementele de prelucrare a semnalelor sînt părți ale aparatului care modifică semnalul sau execută operații matematice asupra semnalelor;

- traductorul transformă mărimea de măsurat într-o mărime electrică (exemplu: termocuplul);

- elementele de referință furnizează mărimi electrice de precizie necesare în aparat pentru măsurare (exemplu: rezistența de precizie într-o punte de măsură);

- elementele auxiliare sînt componente ale aparatului de măsurare necesare funcționării (exemplu: surse de alimentare, ecrane magnetice, conductoare calibrate, borne etc.).

2.1.1. Clasificarea aparatelor de măsurat

Aparatele de măsurat se clasifică în două mari grupe:

- aparate cu citire directă;
- aparate de comparație.

Aparatele cu citire directă indică valoarea numerică a mărimii de măsurat printr-o simplă lectură (exemple: ampermetre, voltmetre etc.).

Aparatele de comparație sau comparatoarele permit compunerea mărimii de măsurat cu o mărime etalon. La echilibru se determină mărimea de măsurat necunoscută (exemplu: punțile de măsură).

Cele mai răspândite sînt aparatele cu citire directă pentru că sînt simple, au preț scăzut și timpul de măsurare este mic. Aparatele de comparație se folosesc pentru măsurări la care se cere o precizie ridicată.

Aparatele de măsurare se mai pot clasifica și după:

- modul de indicare al mărimii măsurate;
- mărimea de măsurat;
- principiul de funcționare;
- clasa de precizie și destinația.

Modul de indicare al mărimii măsurate. Indicarea într-un aparat de măsurat poate fi continuă (exemplu: aparatele cu ac indicator) și discontinuă (exemplu: aparatele cu afișaj numeric sau digital).

Mărimea de măsurat. După mărimea de măsurat, aparatele pot fi: ampermetre - pentru curent electric - voltmetre - pentru tensiune electrică - wattmetre - pentru putere electrică - frecvențmetre - pentru frecvență - ohmmetre - pentru rezistența electrică etc.

Principiul de funcționare. Determină o grupare a aparatelor de măsurat mult mai largă. Clasificarea după acest criteriu este impusă - în primul rînd - de principiul de funcționare al dispozitivului de măsurat. Aparatele de măsurat și dispozitivele lor de măsurat sînt magnetoelectrice, feromagnetice, electrodinamice, de inducție, termice, electrostatice, cu vibrație, magnetoelec-

trice cu termoelemente, numerice. Pentru indicarea principiului de funcționare al dispozitivului de măsurat al aparatului se utilizează simbolurile din fig. 2.1. înscrise totdeauna pe cadranul aparatului de măsurat.

Clasa de precizie și destinație. După acest criteriu aparatele se împart astfel:

- aparate de laborator; clase de precizie 0,5; 0,2; 0,1 și $< 0,1$;
- aparate de exploatare; clase de precizie 0,5; 1; 1,5; 2,5 și 5.
(de serviciu sau de tablou)













Nr. crt.	Denumire	Simbol	Nr. crt.	Denumire	Simbol
1.	Magnetoelectric cu cadru mobil		7.	Electrostatic	
2.	Magnetoelectric cu magnet mobil		8.	Termic cu fir cald	
3.	Feromagnetic		9.	Termic cu bimetal	
4.	Electrodinamic		10.	Cu lamele vibrante	
5.	Ferodinamic		11.	Magnetoelectric cu redresoare	
6.	De inducție		12.	Magnetoelectric cu termocuplu	

Fig. 2.1. Simbolurile principiului de funcționare.

Pentru informarea utilizatorilor, aparatele de măsurat au înscrise pe cadranul lor, diferite simboluri și inscripții referitoare la:

- principiul de funcționare (prezentate în fig. 2.1);
- natura curentului (fig. 2.2);
- clasa de precizie (fig. 2.3);
- poziția normală de funcționare (fig. 2.4);
- tensiunea de încercare (fig. 2.5);
- aducerea la zero (fig. 2.6).

În fig. 2.7 s-a prezentat cadranul unui voltmetru de tablou pe care sînt trecute simboluri și inscripții necesare informării cu privire la caracteristicile aparatului.

Nr. crt.	Denumire	Simbol
1.	Curent continuu	—
2.	Curent alternativ monofazat	~
3.	Curent continuu și alternativ monofazat	⎓
4.	Curent alternativ trifazat cu două sisteme de măsură	⏚

Fig. 2.2. Natura curentului.

Nr. crt.	Denumire	Simbol
1.	Procente din valoarea maximă a domeniului de măsurare	0,5
2.	Procente din lungimea scării gradate	∇0,5
3.	Procente din valoarea măsurată	⊙0,5

Fig. 2.3. Clasa de precizie.

Nr. crt.	Denumire	Simbol
1.	Verticală	⊥
2.	Orizontală	⌊
3.	Inclinată față de orizontală (de exemplu 60°)	∠60°

Fig. 2.4. Poziția normală de funcționare.

Nr. crt.	Denumire	Simbol
1.	500 V	☆
2.	Peste 500 V (de exemplu 2 kV)	☆2
3.	Fără încercare dielectrică	☆○

Fig. 2.5. Tensiunea de încercare.



Fig. 2.6. Aducerea la zero.

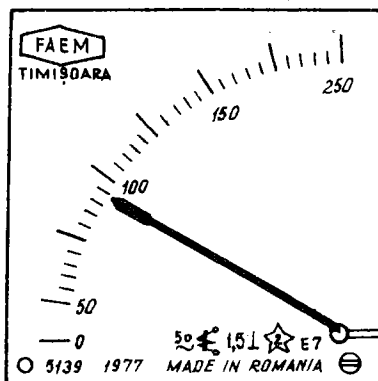


Fig. 2.7. Cadran cu simboluri și inscripții.

2.2. DISPOZITIVEL DE MASURAT ALE APARATELOR

Clasificarea aparatelor de măsurat din domeniul electric - frecvent folosită - are la bază principiul de funcționare al dispozitivelor de măsurat. Se vor prezenta dispozitivele de măsurat împărțite după principiul lor de funcționare și care sînt utilizate în aparatele de măsurat descrise în acest manual.

2.2.1. Dispozitivul magnetoelectric (fig. 2.8)

Dispozitivul este prevăzut cu un circuit magnetic format dintr-un magnet permanent 1, piese polare 2 și un miez cilindric 3.

Între piesele polare și miezul cilindric se află spirele bobinei mobile 4 înfășurate pe un cadru din aluminiu rotitor. Cadrul de aluminiu amortizează mișcarea de rotație prin curenții induși în el. Se execută bobine mobile fără cadrul suport, rolul de amortizare fiind îndeplinit de cîteva spire în scurtcircuit.

Bobina mobilă este fixată pe semiaxele 5 și 6 - din oțel - ascuțite la capete și sprijinite în lagăre special construite.

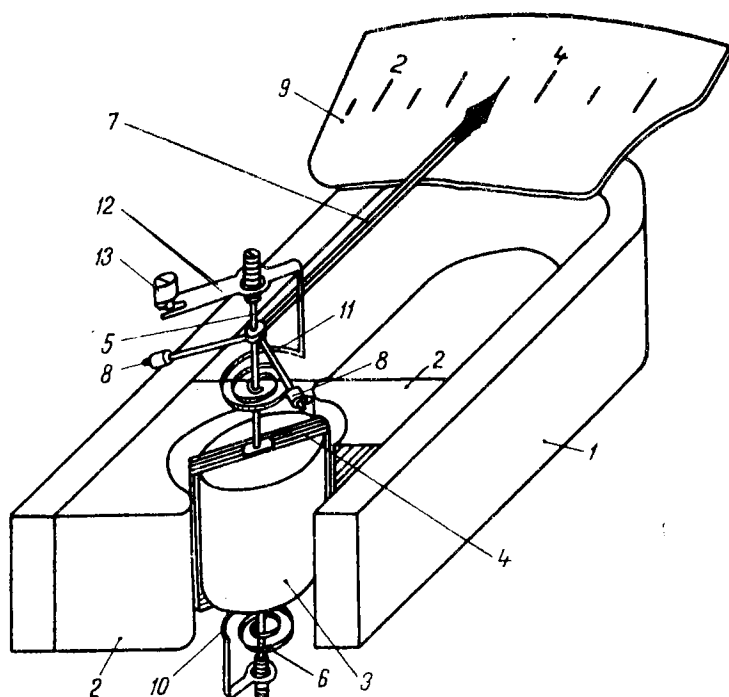


Fig. 2.8. Dispozitivul magnetoelectric.

Pe semiaxul 5 se află fixat acul indicator 7 echilibrat de contra-greutățile 8. Vîrful acului indicator se deplasează în fața scării gradate 9 de pe cadranul aparatului.

Dispozitivul mai are două arcuri spirale plane 10 și 11; arcul spiral 10 are un capăt fixat la partea fixă a aparatului iar celălalt capăt de semiaxul 6; arcul spiral 11 are un capăt fixat de semiaxul 5 iar celălalt la corectorul de zero format din pîrghia 12 și piesa excentrică 13. Corectorul de zero este folosit pentru a fixa poziția acului indicator în dreptul reperului zero al scării.

În ultimul timp s-au realizat dispozitive magnetoelectrice cu suspensiile pe bandă întinsă (fig. 2.9) în locul semiaxelor.

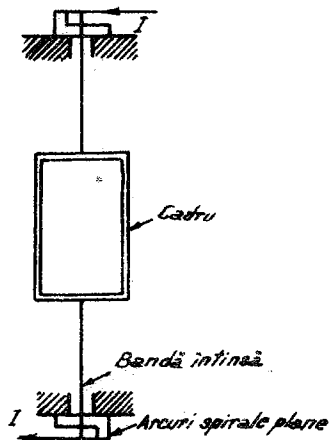


Fig. 2.9. Suspendarea bobinei mobile cu bandă întinsă.

În acest caz, un capăt al fiecărei benzi întinse se fixează de cadru iar celălalt de arcurile spirale plane care asigură întinderea benzilor.

Dispozitivul magnetoelectric se conectează numai în circuit de curent continuu cu respectarea polarității. Pentru folosirea lui în curent alternativ, se folosește un circuit de redresare care aparține schemei electrice a aparatului magnetoelectric.

2.2.2. Dispozitivul feromagnetic

În principiu, dispozitivul feromagnetic se compune dintr-o piesă mobilă feromagnetică plasată în interiorul unei bobine fixe străbătută de curent sau dintr-o piesă fixă magnetizată de curentul care parcurge o bobină rotundă. Primul dispozitiv este cu atracție iar cel de al doilea, cu respingere.

Dispozitivul feromagnetic cu atracție (fig. 2.10)

Dispozitivul este prevăzut cu o bobină fixă 1 prevăzută cu fantă în care se deplasează elementul mobil 2 - din oțel moale - fixat excentric pe axul 3 al dispozitivului.

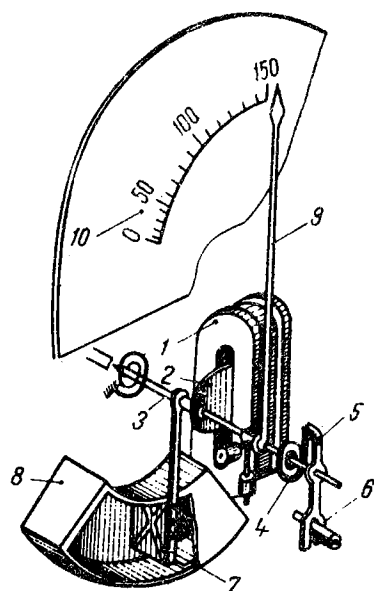


Fig. 2.10. Dispozitivul feromagnetic cu atracție.

Cuplul rezistent este creat de resortul 4 fixat cu un capăt pe axul 3 iar cu celălalt pe corectorul de zero format din pîrghia 5 și șurubul de reglaj 6.

Ansamblul mobil este amortizat de camera pneumatică formată din paleta 7 și incinta 8.

Pe axul 3, este fixat acul indicator 9 care se deplasează în fața cadranului 10 cînd prin bobina 1 circulă curent.

Scala aparatului feromagnetic cu atracție este patratică (fig. 2.11) pentru că indicațiile sînt proporționale cu patratul curentului.

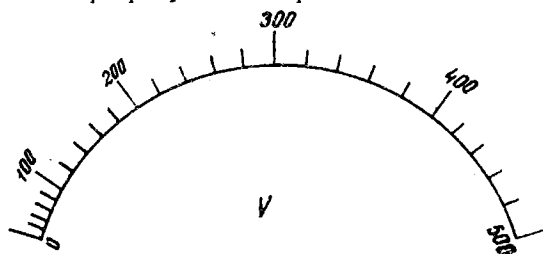


Fig. 2.11. Scala unui aparat feromagnetic cu atracție.

Din această cauză, aparatele feromagnetice se folosesc pentru măsurări în curent continuu și curent alternativ fără circuite de redresare sau comutări de curenți.

Dispozitivul feromagnetic cu respingere (fig. 2.12)

Este prevăzut cu o bobină rotundă 1 și o piesă fixă 2 plasată în interiorul bobinei.

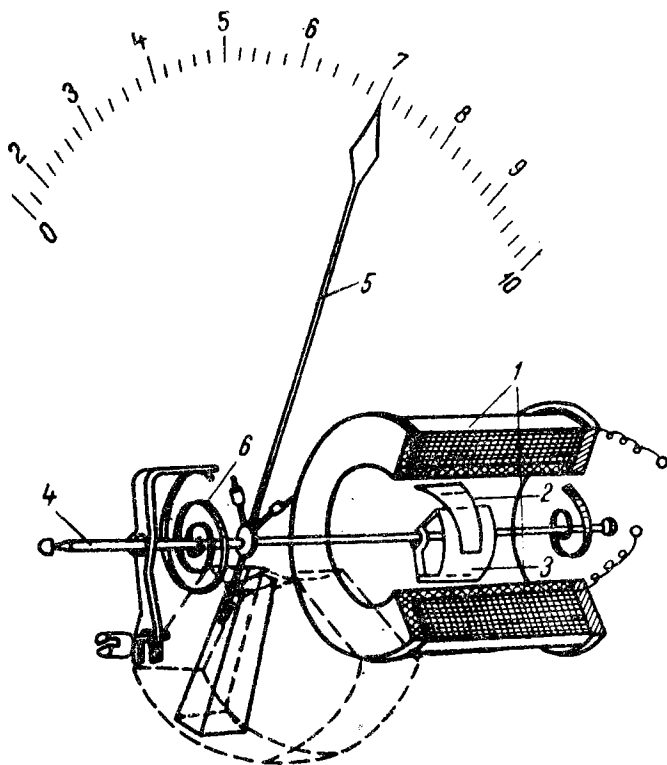


Fig. 2.12. Dispozitivul feromagnetic cu respingere.

Tot în interiorul bobinei există o piesă mobilă 3 fixată excentric pe axul 4 al dispozitivului.

La trecerea curentului prin spirele bobinei, piesele 2 și 3 se magnetizează la fel și deci se vor respinge. Forța de respingere va depinde de mărimea curentului care parcurge bobina.

Dacă prin bobină nu trece curent, acul indicator 5 va sta în dreptul reperului zero de pe cadran din cauza resortului spiral 6. Acest resort creează cuplul rezistent.

Scala aparatelor feromagnetice echipate cu dispozitive cu respingere, este gradată mai uniform printr-o alegere potrivită a formei pieselor 2 și 3.

Aparatele feromagnetice - care se construiesc și la noi în țară (F.A.E.M.-Timișoara) - au multe avantaje: se folosesc în curent continuu și alternativ, sînt simple, sigure în exploatare, stabile termic și pot fi gradate uniform. Clasele de precizie obținute la aceste aparate sînt înalte - 0,1 - 0,5; de asemenea sînt sensibile - 0,5 V pentru voltmetre și 5 mA pentru miliampermetre.

Se folosesc în laboratoare dar mai ales în exploatare ca aparate de tablou.

2.2.3. Dispozitivul electrodinamic (fig. 2.13)

În principiu, funcționarea dispozitivului electrodinamic se bazează pe interacțiunea a două bobine parcurse de curenți, din care una este fixă iar cealaltă mobilă; dispozitivul nu conține piese feromagnetice.

Dispozitivul electrodinamic se compune din bobina fixă 1 și din bobina mobilă 2 plasată în interiorul bobinei fixe.

Bobina fixă este formată din două părți identice, legate în serie. Bobina mobilă este montată pe axul 3. Tot pe acest ax sînt montate acul indicator 4, paleta 5 a camerei pneumatice de amortizare 9 și două arcurispirale 6 care creează cuplul rezistent dar și legătura pentru aducerea curentului la bobina mobilă 2.

Vîrfurile acului 4 se deplasează în fața scalei aparatului 7. Tot pe axul 3 sînt montate contragreutățile 8 necesare la echilibrarea echipajului mobil.

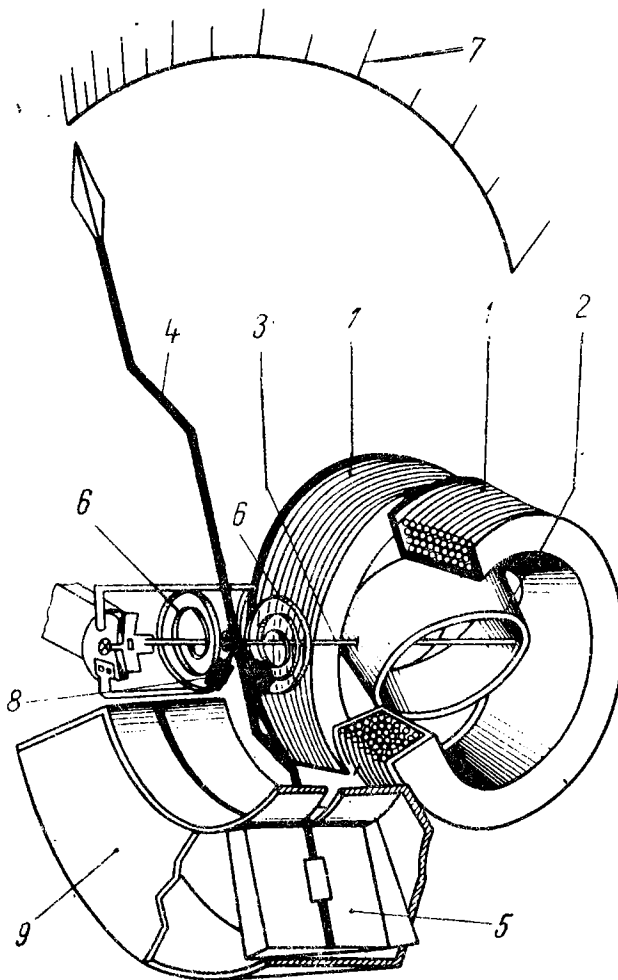


Fig. 2.13. Dispozitivul electrodinamic.

Principalul dezavantaj al dispozitivului electrodinamic îl constituie influența câmpurilor magnetice externe.

Aparatele electrodinamice prevăzute cu acest tip de dispozitiv sînt foarte mult utilizate pentru măsurarea tensiunii, curentului și puterii în curent alternativ: ampermetre, voltmere, wattmetre.

Se construiesc aparate electrodinamice universale pentru măsurarea celor trei mărimi cunoscute sub denumirea de amper-volt-wattmetre.

Clasa de precizie este ridicată, 0,1. Principalul avantaj al aparatelor electrodinamice îl constituie lipsa erorii introdusă de forma curbei de curent și tensiune la frecvență joasă. Cu măsuri constructive speciale, aparatele electrodinamice se utilizează până la 3 000 Hz. Cu erori mai mari se pot efectua măsurări până la 10 - 20 kHz.

În fig. 2.14 a, b și c sînt prezentate schemele de conectare ale bobinelor aparatului electrodinamic pentru funcționarea ca ampermetru, voltmetru și wattmetru. S-a notat cu B_f - bobina fixă, B_m - bobina mobilă, R_{ad} - rezistența adițională și R_s - rezistența de sarcină.

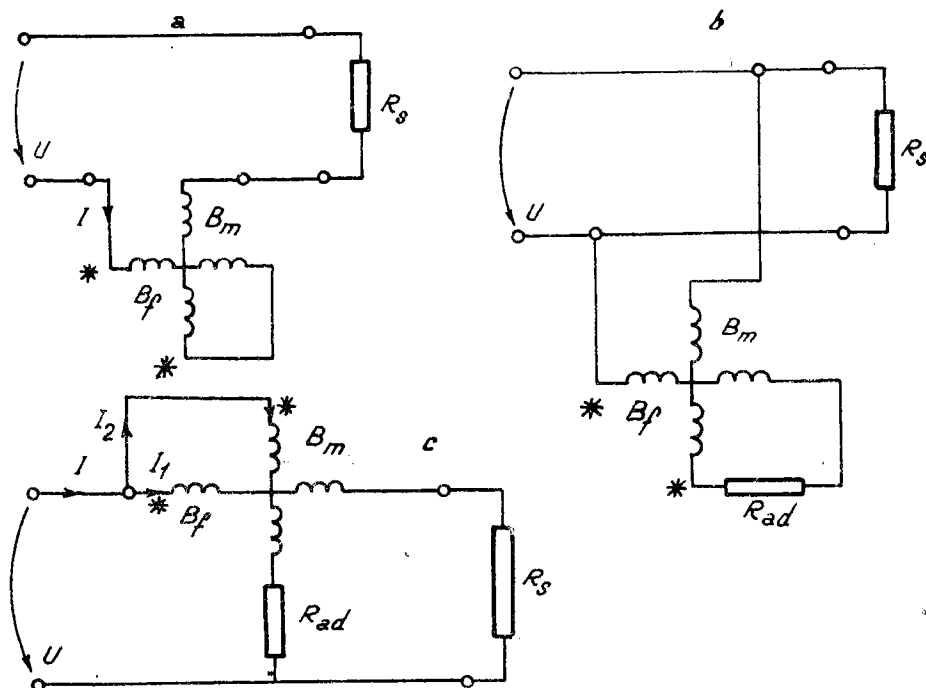


Fig. 2.14. Scheme de conectare ale aparatului electrodinamic: a - ampermetru b - voltmetru și c - wattmetru.

Aparatele electrodinamice de laborator și portabile se construiesc pentru mai multe limite de măsurare. Limitele de măsurare se realizează printr-una din metodele: comutarea secțiunilor bobinelor, comutarea rezistențelor adiționale sau comutarea secțiunilor transformatorului încorporat.

2.2.4. Dispozitivul cu inducție (fig. 2.15)

În principiu, funcționarea acestui dispozitiv se bazează pe acțiunea dintre câmpul magnetic al bobinelor fixe și curenții induși de acest câmp în piese metalice mobile.

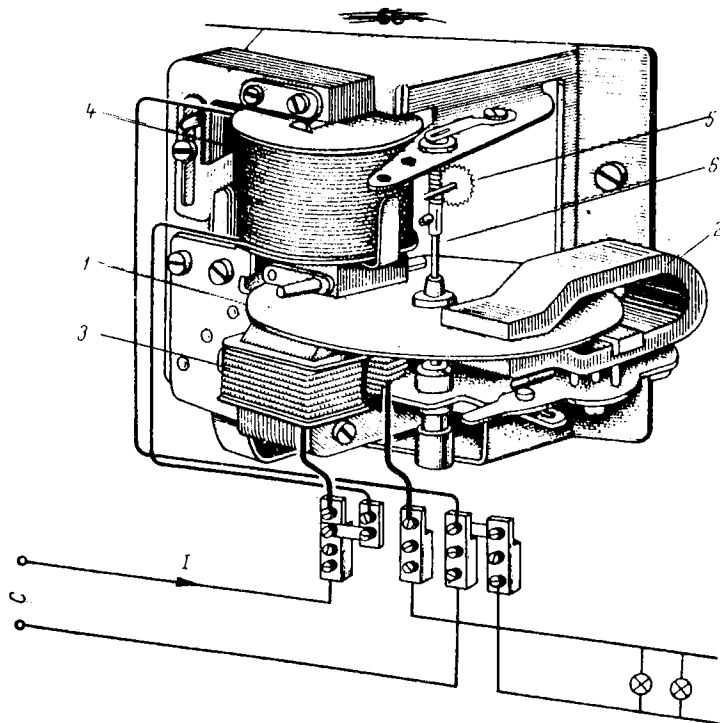


Fig. 2.15. Dispozitivul cu inducție.

Dispozitivul cu inducție se compune dintr-un disc de aluminiu 1, un magnet permanent de frână 2, bobina 3 conectată în serie cu sarcina, bobina 4 conectată în paralel cu sarcina și roata dințată 5 care cuplează axul 6 al discului cu mecanismul de înregistrare (fig. 2.16).

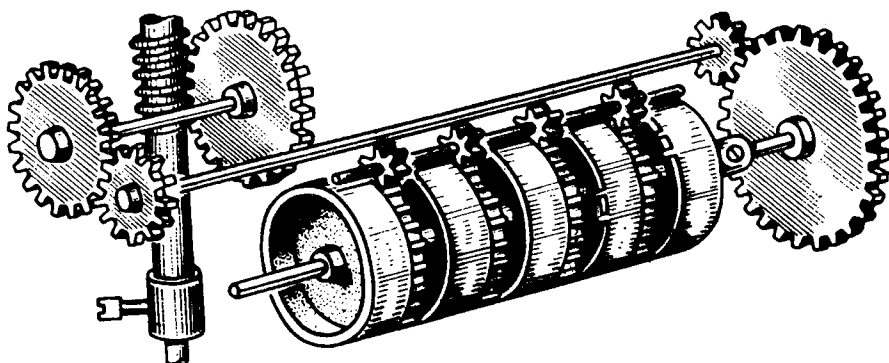


Fig. 2.16. Mecanismul de înregistrare.

Viteza de rotație a discului se reglează prin apropierea sau îndepărtarea magnetului de frînare 2.

Dispozitivul cu inducție prezentat se utilizează în aparatele cu inducție pentru măsurarea energiei în curent alternativ.

Există însă dispozitive de inducție - mai simple - utilizate la realizarea ampermetrelor și voltmetrelor cu inducție.

În țara noastră - la F.A.E.M.-Timișoara - se construiesc contoare electrice cu dispozitiv cu inducție pentru energie activă monofazată și trifazată sau pentru energie reactivă.

Clasele de precizie ale contoarelor cu inducție sînt 1,5 și 2,5.

2.2.5. Dispozitivul electrostatic (fig. 2.17)

În principiu, funcționarea acestui dispozitiv se bazează pe interacțiunea dintre forțele electrostatice create de un sistem de plăci fixe și altele mobile. Ansamblul acestor plăci constituie armăturile unui condensator variabil alimentat de la o tensiune necunoscută care se cere a fi măsurată.

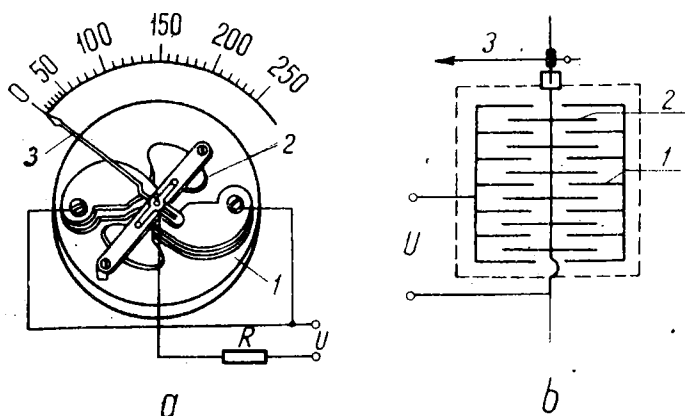


Fig. 2.17. Dispozitivul electrostatic.
a - cu o celulă; b - cu mai multe celule.

Dispozitivul electrostatic este format din plăcile fixe 1 și placa mobilă 2.

Placa mobilă 2 este fixată pe ax împreună cu acul indicator 3.

La aceste dispozitive, cuplul rezistent este produs de un resort spiral sau de firele de suspensie ale sistemului mobil iar amortizarea oscilațiilor se face cu amortizoare cu aer comprimat.

Pentru a obține o sensibilitate mai mare a dispozitivelor electrostatice, se execută construcții multicelulare (fig. 2.17 b) unde prin suprapunerea mai multor celule se mărește capacitatea întregului sistem.

Dispozitivele electrostatice echipează voltmetrele electrostatice folosite în curent continuu sau în curent alternativ. În ultima aplicație se introduce un circuit de redresare.

Calitatea primordială a voltmetrelor electrostatice o reprezintă consumul redus de putere și rezistența mare de intrare ($10^{10} \dots 10^{15} \Omega$).

Pentru extinderea limitelor de măsurare ale voltmetrelor electrostatice se utilizează divizoare de tensiune capacitive sau divizoare de tensiune rezistive.

Dezavantajele aparatelor electrostatice constă într-o sensibilitate redusă (clasă de precizie 1 sau 1,5) și influență din partea câmpurilor exterioare.

CAPITOLUL 3

MASURAREA REZISTENTELOR ELECTRICE

3.1. GENERALITATI

Rezistența electrică este un parametru important al circuitelor, aparatelor și diferitelor sisteme electrice și electronice.

Valoarea acestei mărimi fizice se determină prin calcul dar în aplicațiile practice se obține prin măsurări. Deoarece intervalul de măsură este foarte mare - de la $10^{-8} \Omega$ (rezistențe de contact, rezistența unor conductoare electrice masive) până la $10^{18} \Omega$ (rezistența unor izolanți de calitate) - trebuie să se utilizeze diverse metode și diferite instrumente de măsură.

3.1.1. Rezistența electrică (simbol R)

Se definește ca fiind cauza care se opune trecerii curentului electric printr-un conductor electric - componentă, circuit electric etc. - atunci când se aplică o tensiune electrică între două puncte ale conductorului - terminalele componente, bornele circuitului electric etc.

Conform legii lui Ohm, rezistența electrică R este egală cu

$$R = \frac{U}{I} \quad (3.1)$$

în care:.

R este rezistența electrică;

U - tensiunea electrică aplicată între cele două puncte ale conductorului;

I - curentul electric care trece prin conductor.

În schemele electrice și electronice, rezistența este reprezentată ca în fig. 3.1.

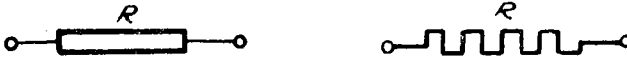


Fig. 3.1. Reprezentarea rezistenței electrice în scheme.

Materializarea rezistenței electrice, sub formă de element fizic, se prezintă în montaje ca o componentă; în cazul acesta se numește rezistor electric.

Dacă rezistența electrică a unui rezistor nu este influențată de factori externi (temperatură, frecvență, curent electric etc.), rezistorul este ideal. În schimb, dacă această rezistență electrică se modifică din cauze diferite, rezistorul este real. Nu există rezistori ideali: în anumite limite de temperatură ambiantă sau de frecvență a curentului care trece printr-un rezistor real, se poate considera că acesta este ideal.

De exemplu, la frecvențe înalte, pe lângă rezistență, mai apar elemente parazite - capacități C_p , inductivități L_p ș.a. - care în curent continuu sau în curent alternativ de frecvență pînă la 100... 1000 Hz se neglijează; se spune că în prima situație, rezistorul este ideal iar în a doua, este real. (fig. 3.2 a și b).

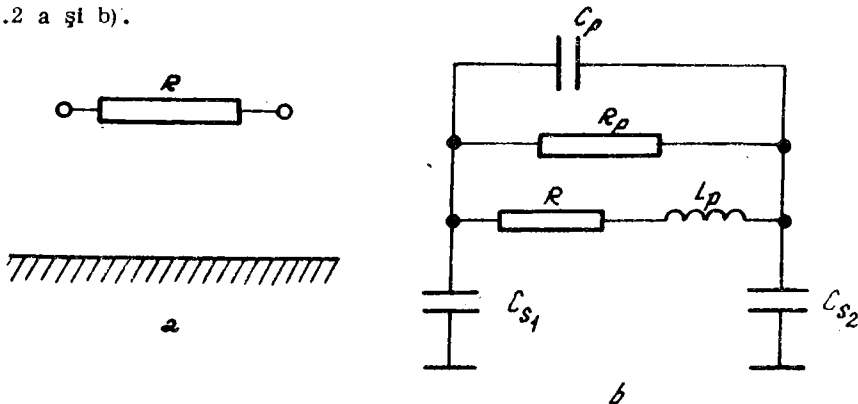


Fig. 3.2. Schema echivalentă a unei rezistențe electrice.

De aceea la măsurarea rezistențelor electrice este necesar să se cunoască în prealabil condițiile de lucru și apoi să se aplice metoda și să se folosească aparatul de măsurat potrivit. În cataloagele de componente pentru rezistoarele destinate circuitelor de frecvență înaltă se trece pe lângă valoarea nominală a rezistenței și valorile elementelor parazite.

Rezistența electrică a unui conductor cu o geometrie mai simplă se poate determina prin calcul cu ajutorul relației

$$R = \rho \frac{l}{A} \quad (3.2)$$

în care:

R este rezistența electrică a conductorului exprimată în Ω ;

ρ - rezistivitatea ($\frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}}$);

l - lungimea conductorului (m);

A - secțiunea conductorului (mm^2).

Experimental, se constată că rezistivitatea ρ variază cu temperatura după relația

$$\rho_t = \rho_0 [1 + \alpha(t - t_0)] \quad (3.3)$$

în care:

ρ_t este rezistivitatea la temperatura t ;

ρ_0 - rezistivitatea la temperatura t_0 ;

α - coeficientul de variație al rezistivității cu temperatura ($1/^\circ\text{C}$).

Valorile rezistivității electrice ρ_0 și coeficientul de variație cu temperatura α sînt date în tabele pentru temperatura de 20°C . De exemplu, pentru cupru aceste valori sînt:

$$\rho_{20^\circ} = \frac{1}{57} \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} \quad \text{și} \quad \alpha_{20^\circ} = 0,004 \frac{1}{^\circ\text{C}}$$

3.1.2. Conductanța electrică (simbol G)

Este valoarea inversă a rezistenței R;

$$G = \frac{1}{R} \quad (3.4)$$

Conductanța G se mai numește conductivitate electrică.

3.2. UNITATI DE MASURA

Rezistența electrică are următoarele unități de măsură:

Ohm (simbol Ω) este rezistența electrică dintre două puncte ale unui conductor când o diferență de potențial constantă de 1 volt aplicată între cele două puncte, produce - în conductor - un curent electric de 1 amper, conductorul nefiind sediul unei tensiuni electromotoare. Prin urmare:

$$1 \text{ ohm} = \frac{1 \text{ volt}}{1 \text{ amper}} \quad \text{sau} \quad 1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

Ohmul este o unitate derivată în Sistemul Internațional SI.

Submultipli și multipli ohmului sînt:

- miliohm (simbol $\text{m}\Omega$) este egal cu $10^{-3} \Omega$

$$1 \text{ m}\Omega = 10^{-3} \Omega ;$$

- kiloohm (simbol $\text{k}\Omega$) este egal cu $10^3 \Omega$,

$$1 \text{ k}\Omega = 10^3 \Omega ;$$

- megaohm (simbol $M \Omega$) este egal cu $10^6 \Omega$,

$$1 M \Omega = 10^6 \Omega ;$$

- gigaohm (simbol $G \Omega$) este egal cu $10^9 \Omega$,

$$1 G \Omega = 10^9 \Omega ;$$

- teraohm (simbol $T \Omega$) este egal cu $10^{12} \Omega$,

$$1 T \Omega = 10^{12} \Omega .$$

Pentru conductanță electrică se folosesc următoarele unități de măsură:

Siemens (simbol S) este conductanța unui circuit a cărui rezistență este 1Ω (respectiv un amper pe volt).

$$1 S = \frac{1}{1 \Omega} = \Omega^{-1} \text{ sau } 1 S = \frac{1 A}{1 V}$$

Siemens este o unitate derivată în Sistemul Internațional SI.

Rezistivitatea electrică are următoarea unitate de măsură:

Ohmometru (simbol Ωm) este rezistivitatea materialului izotrop din care un conductor cu o lungime de un metru și secțiunea de un metru pătrat are rezistența electrică de 1Ω .

În practică se mai folosește pentru rezistivitatea electrică, unitatea de măsură:

$$\frac{\Omega_{mm}^2}{m}$$

Între această unitate și ohmometru, există relația:

$$1 \frac{\Omega \text{ mm}^2}{\text{m}} = 10^{-6} \Omega \text{ m}.$$

3.3. MĂLOACE DE MASURAT ALE REZISTENȚELOR ELECTRICE

3.3.1. Etaloane de rezistență

Sînt rezistoare speciale, construite astfel încît rezistența lor să fie stabilă în timp și să se modifice cît mai puțin în funcție de temperatură, frecvență (etaloane de curent alternativ), mod de conectare în circuit.

Stabilitatea în timp și la variații de temperatură se realizează prin folosirea unor materiale potrivite la confecționarea rezistorului. Independența de umiditate și de frecvență depinde însă numai de construcție.

După modul de conectare în circuit, etaloanele de rezistență se împart în (fig. 3.3):

- a) etaloane cu două borne (dipolar);
- b) etaloane cu trei borne (tripolar);
- c) etaloane cu patru borne (cuadripolar).

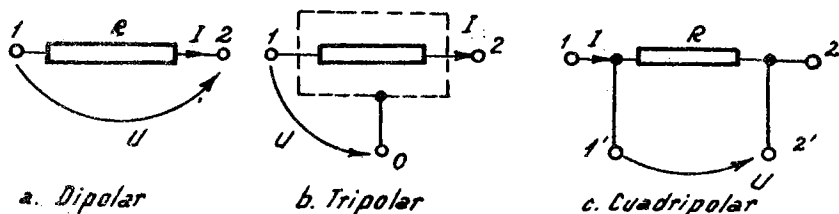


Fig. 3.3. Modul de conectare al etaloanelor de rezistență în circuit.

Etalonul cu două borne prezintă dezavantajul că este influențat de următoarele elemente parazite: rezistența de izolație între borne, rezistențele de izolație față de masă, rezistențele de contact la borne. Prezența rezistențelor de izolație se observă la etaloanele de valori mari iar a celor de contact la etaloane de valori mici.

Etalonul cu trei borne înlătură influența rezistențelor de izolație față de masă pentru că borna zero (bornă neutră sau bornă de masă) se leagă la masă.

În fine, etalonul cu patru borne înlătură influența rezistențelor de contact și de conexiune prin folosirea a patru borne: două de curent (1 și 2) și două de tensiune (1' și 2').

Practic, etaloanele de rezistență peste 100 000 Ω se construiesc ca rezistoare cu trei borne iar etaloanele sub 1 000 Ω ca rezistoare cu patru borne. Ambele tipuri de rezistoare pot fi întrebuințate ca rezistoare cu două borne atunci când nu se cere o precizie ridicată.

Materialele întrebuințate pentru etaloanele de rezistență trebuie să îndeplinească anumite cerințe:

- stabilitate în timp;
- variație mică a rezistivității cu temperatura;
- rezistență mare la coroziune;
- rezistivitate mare;
- tensiune termoelectromotoare mică față de cupru.

Pînă acum, nu s-a realizat un material care să îndeplinească aceste condiții. Totuși, sînt anumite aliaje - manganină, constantan, karma și evanohm - care satisfac într-o măsură suficientă aceste cerințe.

În tabelul 3.1 sînt prezentate proprietățile importante ale acestor aliaje.

Tabelul 3.1.

Denumirea aliajului	Componente	Rezistivitate ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)	Tensiune termoelectromotoare ($\mu\text{V}/^\circ\text{C}$)	Coeficientul de temperatură $\alpha \left(\frac{1}{^\circ\text{C}} \right)$
Manganină	Cu, Mn, Ni	0,44	2... 3	$(1... 2) \cdot 10^{-5}$
Constantan	Cu, Ni	0,48	38... 42	$1 \cdot 10^{-5}$
Karma	Fe, Al, Cr, Ni	1,30	2	$(0,5... 2) \cdot 10^{-5}$
Evanohm	Cu, Al, Cr, Ni	1,30	2	$(0,5... 2) \cdot 10^{-5}$

Dintre aceste materiale - după cum se observă și din tabel - constantanul are dezavantajul că valoarea tensiunii termoelectromotoare față de cupru este mare și de aceea se folosește numai la rezistoare utilizate în curent alternativ.

Etaloanele au clasă de precizie ridicată. Pentru aceste elemente de măsură, clasa de precizie indică abaterea maximă admisibilă în procente a rezistenței la 20°C față de valoarea nominală.

În tabelul 3.2 este prezentată clasa de precizie a rezistenței etaloanelor. Tot în tabel s-a trecut și variația maximă a rezistenței în cursul unui an.

Tabelul 3.2.

Clasa de precizie a rezistorului	Abaterea maximă a valorii rezistenței față de valoarea nominală	Variația maximă a rezistenței în cursul unui an
0,001	$\pm 0,001\%$	$\pm 0,0002\%$
0,002	$\pm 0,002\%$	$\pm 0,0005\%$
0,005	$\pm 0,005\%$	$\pm 0,001\%$
0,01	$\pm 0,01\%$	$\pm 0,002\%$
0,02	$\pm 0,02\%$	$\pm 0,005\%$
0,05	$\pm 0,05\%$	$\pm 0,02\%$

Curentul electric care parcurge rezistorul etalon la măsurare nu trebuie să disipe o putere mai mare de 0,01 W în aer și 0,1 W în ulei. Pentru utilizarea în curent continuu, rezistoarele etalon de rezistență mică ($< 1\Omega$) sînt din sîrmă groasă sau din bară de manganină, fără carcasă izolantă. Etaloanele de valori mai mari ca 10Ω se bobinează pe suporturi metalice sau din ceramică cu sîrmă de manganină izolată cu email sau mătase. După bobinare se execută un tratament termic și apoi se face o impregnare.

Pentru valori între 1... 1 000 M Ω , etaloanele de rezistență se execută din "microsîrmă", un conductor de manganină extrem de subțire, izolat în sticlă.

Etaloanele de rezistență electrică destinate utilizării în curent alternativ, trebuie să îndeplinească suplimentar și alte condiții față de condițiile cerute celor din curent continuu; bobinaje speciale cu inductanțe și capacități parazite cît mai reduse, piese metalice subțiri, părți dielectrice cu pierderi mici etc.

3.3.2. Cutii cu rezistențe

Sînt formate din rezistențe etalon cu valori în trepte cuprinse între anumite limite. Pentru reglarea treptelor se folosesc fișe cu borne sau comutatoare rotative.

Se utilizează în curent continuu la verificarea aparatelor de măsurat din domeniul electric sau electronic. Clasele de precizie a cutiilor cu rezistențe sînt: 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5.

3.3.3. Sunturi

Sînt tot rezistențe electrice care se montează în paralel cu un aparat electric de măsurat și are rolul de a diviza curentul electric prin acest aparat; se obține astfel extinderea domeniului de măsurare al aparatului. Clasele de precizie ale șunturilor sînt cuprinse între 0,05 și 1. Condițiile în

care se utilizează șunturile electrice corespund aparatelor pe care sînt montate. Pentru că modul de conectare al șunturilor cu aparatele de măsură pot provoca erori, se prezintă în fig. 3.4. variantele corecte și greșite ale acestor conexiuni.

În țara noastră, se fabrică șunturi pentru curent continuu și cabluri de legătură calibrate pentru ampermetre, la întreprinderea "Electromagnetica". Conform STAS 54640-61, șunturile sînt calibrate pentru tensiuni de 60 și 75 mV și pentru curenți cuprinși între 10 și 1500 A.

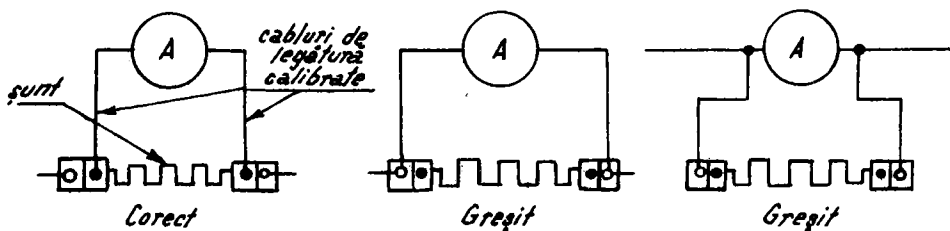


Fig. 3.4. Conectarea șuntului exterior cu ampermetrul.

3.3.4. Ohmmetre analogice

Sînt aparate magneto-electrice cu bobină mobilă alimentate cu o sursă de curent continuu de 1,5... 4,5 V. Ohmmetrele se clasifică - după schema de montaj - în ohmmetre serie și paralel.

Ohmmetrul cu schemă serie (fig. 3.5) are miliampermetrul mA conectat în serie cu rezistența de măsurat R_x . Circuitul electric este alimentat din sursa de curent continuu E.

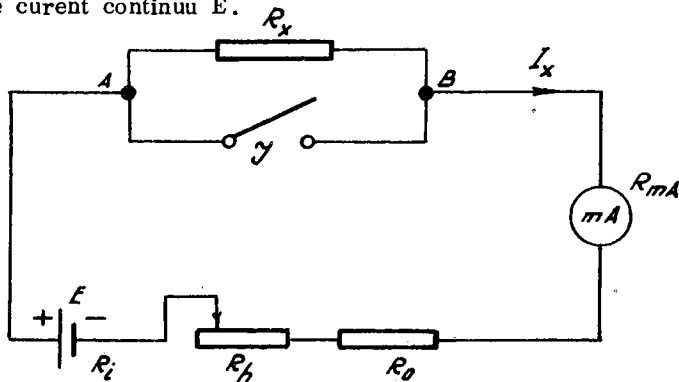


Fig. 3.5. Ohmmetrul cu schemă serie.

Dacă întreruptorul \mathcal{Y} este deschis, prin circuitul electric se stabilește curentul:

$$I_x = \frac{E}{R_x + R_h + R_i + R_{mA} + R_o} \quad (3.5)$$

în care:

- R_x este rezistența de măsurat;
- R_h - rezistența de compensare;
- R_i - rezistența internă a sursei;
- R_{mA} - rezistența internă a miliampermetrului;
- R_o - rezistența adițională.

Curentul I_x care trece prin miliampermetru este maxim când $R_x = 0$ (întreruptorul \mathcal{Y} închis) și acul indicator al miliampermetrului arată zero ohmi. Dacă \mathcal{Y} este deschis și rezistența de măsurat R_x nu este conectată în circuit, rezistența circuitului este infinită (∞), prin miliampermetrul magnetoelectric nu trece curent și acul indicator se află pe indicația ∞ .

Prin urmare, scala miliampermetrului - gradată în ohmi - va fi inversă aparatelor de măsură obișnuite al căror ac indicator se află pe indicația zero, atunci când nu sînt parcurse de curent electric.

Ohmmetrul cu schemă derivație (fig. 3.6) are miliampermetrul conectat în derivație cu rezistența de măsurat R_x .

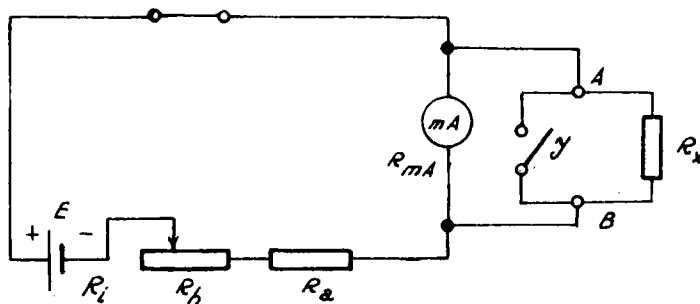


Fig. 3.6. Ohmmetrul cu schemă derivație.

Dacă se închide întreruptorul \mathcal{J} , miliampermetrul este scurtcircuitat și curentul va trece numai prin întreruptor \mathcal{J} ; acul indicator se află pe reperul zero. Când se introduce în circuit - între bornele A și B - rezistența R_x (întreruptorul \mathcal{J} deschis), curentul se ramifică și o parte va trece prin miliampermetrul mA.

Pentru $R_x = \infty$, tot curentul debitat de sursa E va parcurge instrumentul de măsurat. Rezistența de compensare R_h reglează curentul din circuit atunci când tensiunea la bornele sursei de curent continuu E s-a micșorat din cauza descărcării. De aceea - la folosirea ohmmetrului - se reglează curentul electric în circuit cu R_h până la aducerea acului indicator pe reperul zero.

Scara ohmmetrelor nu este liniară, reperele fiind mai dese pentru valorile mari ale rezistenței de măsurat. Clasa de precizie a ohmmetrelor este cuprinsă între $\pm 1\%$ și $\pm 3\%$. Ohmmetrele cu schemă serie sînt folosite pentru măsurarea rezistențelor mari cuprinse între $10^3 \dots 10^5 \Omega$ iar cele cu schemă paralel pentru rezistențe inferioare acestor valori.

Se va prezenta în continuare, schema ohmmetrului (fig. 3.7) din aparatul de măsurat - MULTIMETRUL Tip MAVO-1 - produs de I.A.E.M.-Timișoara (fig. 3.8).

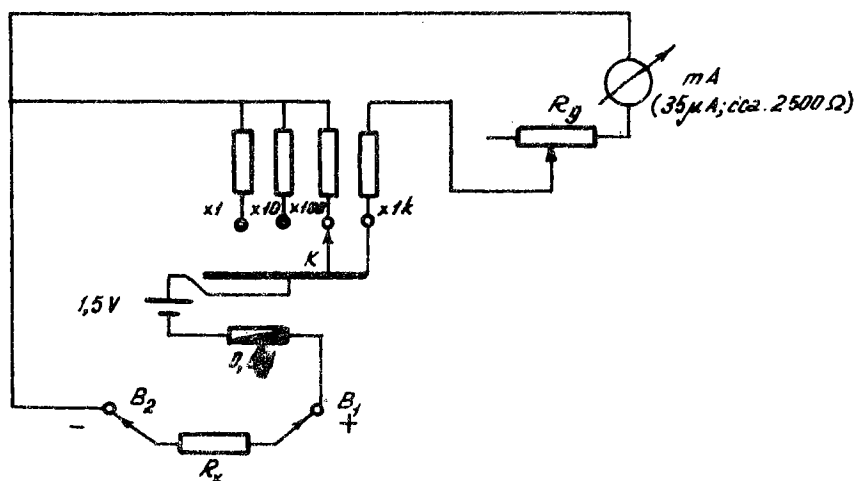


Fig. 3.7. Schema de măsurare a rezistențelor cu multimetrul MAVO-1.

La acest instrument de măsurat-pentru ohmmetru - se utilizează schema serie. Alimentarea circuitului de măsurat al ohmmetrului se realizează cu o baterie R6 de 1,5 V tensiune nominală, introdusă în interiorul aparatului.

Comutatorul K se poziționează pe unul din domeniile de măsurare: $\times 1 \Omega$; $\times 10 \Omega$; $\times 100 \Omega$ sau $1 k \Omega$. Se scurtcircuitează bornele de contact cu capetele de probă ale cordoanelor similar cu închiderea întreruptorului \mathcal{Y} din fig. 3.5.

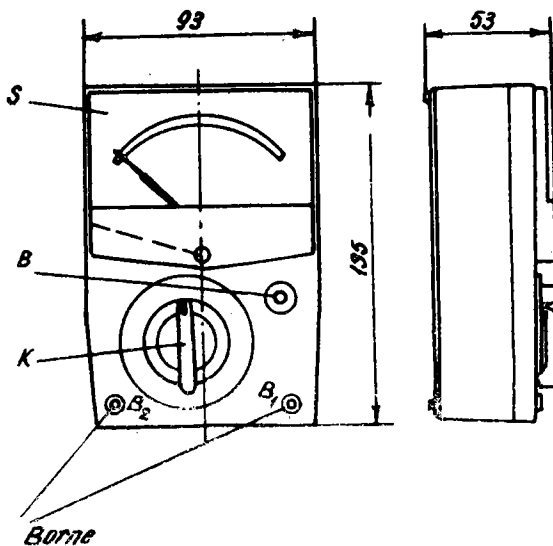


Fig. 3.8. Multimetrul MAVO-1 (aspect exterior).

Cu ajutorul potențiometrului R9 (fig. 3.7) manevrat prin butonul de ajustare zero ohmi-B- (fig. 3.8) se aduce acul indicator al instrumentului mA pe reperul zero de pe scala S. După această operație de reglare a curentului în circuitul de măsurat se pun capetele de probă ale cordoanelor - izolate de mâinile operatorului - pe terminalele rezistenței necunoscute R_x .

Pe scala S se citește numărul de diviziuni arătate de acul indicator.

Valoarea în ohmi a rezistenței R_x se determină cu formula

$$R_x = M \alpha \quad (3.6)$$

în care:

M este coeficientul de multiplicare al domeniului egal cu $x \cdot 1 \Omega$;
 $x \cdot 10 \Omega$; $x \cdot 100 \Omega$ sau $x \cdot 1 k \Omega$ (Ω / div) ;

- numărul de diviziuni arătate de acul indicator (div).

De exemplu, pentru măsurarea unei rezistențe necunoscute R_x , se poziționează comutatorul K pe domeniul de măsură $x \cdot 100 \Omega$ ($M = 100 \Omega / \text{div}$) și acul indicator arată 15 diviziuni ($\alpha = 15 \text{ div}$).

Rezultă:

$$R_x = M \alpha = 100 \Omega / \text{div} \times 15 \text{ div} = 150 \Omega$$

Clasa de precizie a multimetrului tip MAVO-1 este - pentru utilizarea ca ohmmetru - egală cu $\pm 2,5\%$ din lungimea scalei.

3.3.5. Ohmmetre numerice

Se aseamănă cu ohmmetrele analogice însă aparatul indicator din schemă este numeric.

În fig. 3.9 este prezentată schema unui ohmmetru numeric cu trei domenii de măsurare.

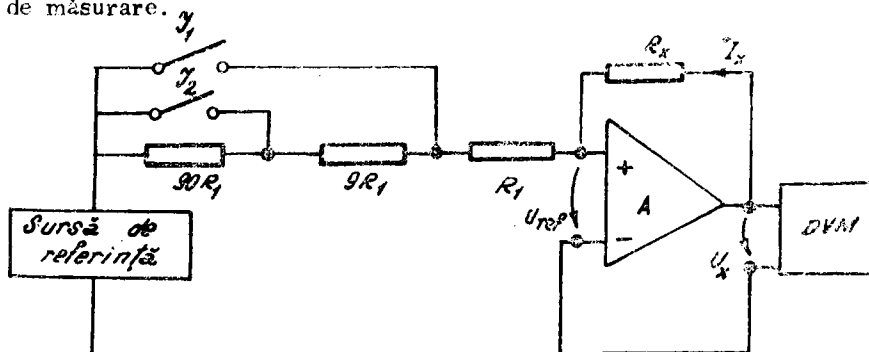


Fig. 3.9. Schema unui ohmmetru numeric cu trei domenii de măsurare.

Sursa de referință alimentează circuitul de intrare al amplificatorului operațional A printr-un grup serie de trei rezistențe etalon. Manevrând cele două întreruptoare \mathcal{Y}_1 și \mathcal{Y}_2 se obțin trei domenii de măsurare. Tot în schemă se utilizează instrumentul indicator numeric DVM. Rezistența necunoscută de măsurat R_x se conectează în circuitul de reacție al amplificatorului operațional A.

Dacă se notează cu R_{ref} rezistența din circuitul de intrare al amplificatorului operațional, curentul care trece prin rezistența necunoscută R_x va fi:

$$I_x = \frac{U_{ref}}{R_{ref}} \quad (3.7)$$

iar tensiunea de la bornele lui R_x indicată de instrumentul de măsurat numeric DVM va fi:

$$U_x = R_x I_x = R_x \frac{U_{ref}}{R_{ref}} \quad (3.8)$$

Din a doua egalitate se obține valoarea rezistenței necunoscute:

$$R_x = R_{ref} \frac{U_x}{U_{ref}} \quad (3.9)$$

Prin urmare, instrumentul va indica o mărime proporțională cu rezistența necunoscută R_x ceea ce va permite etalonarea în unități de rezistență. Pentru aceeași valoare a tensiunii U_{ref} generată de sursa de referință și pentru $R_{ref} = R_1$ (\mathcal{Y}_1 închis), $R_{ref} = 10 R_1$ (\mathcal{Y}_2 închis, \mathcal{Y}_1 deschis) sau $R_{ref} = 100 R_1$ (\mathcal{Y}_1 și \mathcal{Y}_2 deschise) aparatul va funcționa în trei domenii de măsurare vizualizate prin mutarea virgulei pe elementul de afișaj.

Aceste instrumente de măsurat prezintă avantaje față de ohmmetrele analogice pentru că au precizie mai bună ($\pm 0,05\%$ până la $\pm 0,2\%$ din domeniul de măsurare) viteza de lucru este mai mare și rezultatele se pot memora sau transmite la distanță.

Ohmmetrele numerice se utilizează mai rar ca instrument separat, în majoritatea cazurilor se includ în multimetre numerice. În țara noastră, se fabrică la I.E.M.I.-București multimetre numerice cu ohmmetru inclus. Cu aceste multimetre numerice (grupa E-03) se măsoară rezistențe electrice în intervalul $0,1 \dots 2 \cdot 10^6 \Omega$ (multimetrul numeric E-0303) și $10^{-4} \dots 2 \cdot 10^7$ (multimetrul numeric E-0304) cu o precizie de $\pm 0,1\%$ și $\pm 0,2\%$ din domeniul de măsurare.

3.3.6. Megohmmetre

Se aseamănă ca schemă cu ohmmetrele serie.

Sursa de alimentare la acest tip de aparate este un generator (inductor) de 500 - 1 000 sau 2 500 V acționat manual sau este un convertor electronic care transformă tensiunea continuă dată de o baterie de 9 V într-o tensiune alternativă ridicată la valoarea necesară apoi redresată și filtrată.

Aparatul indicator dintr-un megohmmetru este un logometru magnetoelectric (fig. 3.10) compus din două bobine decalate între ele cu un anumit unghi și fixate pe același ax fără resoarte spirale deci fără cuplu antagonist.

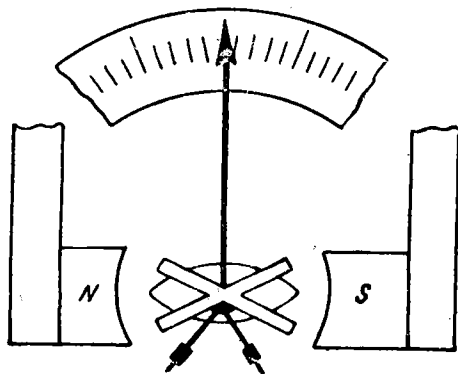


Fig. 3.10. Logometrul magnetoelectric.

Lipsa cuplului antagonist permite acului indicator, atunci cînd bobinele nu sînt parcurse de curent, să rămînă într-o poziție nedefinită a scalei aparatului.

Schema electrică a unui megohmmetru este prezentată în fig. 3.11.

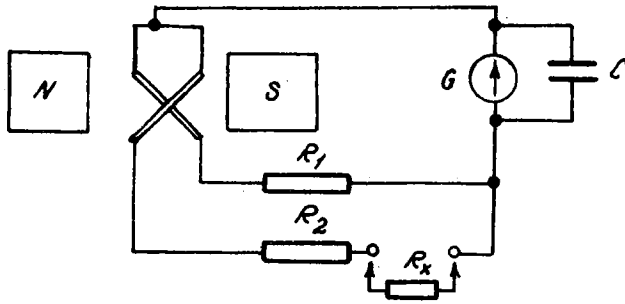


Fig. 3.11. Schema electrică a megohmmetrului.

În circuitul uneia din bobine este montată rezistența de protecție R_2 în serie cu rezistența necunoscută R_x iar în circuitul celei de a doua bobine este înseriată bobina R_1 .

Sistemul mobil format de ambele bobine se deplasează sub acțiunea celor două cupluri produse de curenții din bobine. La echilibru, acul indicator nu se mai deplasează și indicația de pe scală reprezintă valoarea rezistenței R_x . Indicația de pe scală este independentă de tensiunea sursei, adică de viteza de rotație a manivelei inductorului.

Domeniul de măsurare a megohmmetrelor este cuprins în intervalul $0,02 \dots 0,2 \text{ M}\Omega$ până la $50 \dots 500 \text{ M}\Omega$ dar se construiesc megohmmetre cu limita superioară a scalei de $10\,000 \text{ M}\Omega$. Cea mai bună clasă de precizie a acestor instrumente este de $\pm 1\%$.

În fig. 3.12 este prezentat un megohmmetru alimentat printr-un convertor tranzistorizat alimentat cu o baterie de 4,5 V. Tranzistoarele T_1 și T_2 formează un oscilator în contratimp care schimbă tensiunea continuă dată de bateria E în tensiune alternativă; aceasta este transformată cu transformatorul T_r în tensiune înaltă; urmează apoi redresarea cu redresorul dublă alternanță format din diodele D_1, D_2 și filtrarea cu condensatoarele C_1 și C_2 . Becul cu neon N_e indică funcționarea aparatului.

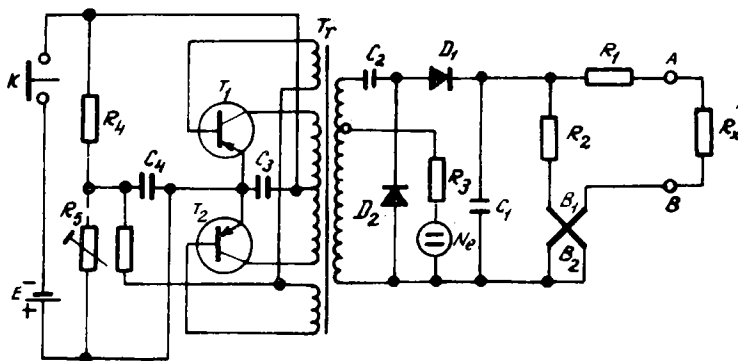


Fig. 3.12. Megohmmetrul cu convertor tranzistorizat.

În țara noastră, la I.R.M.E.-București, se fabrică megohmmetre tranzistorizate pentru tensiuni de 500/1000 V respectiv 2 500 V. Domeniul de măsură este pînă la 100 M Ω și clasa de precizie de $\pm 2,5\%$.

3.3.7. Punți electrice

Sînt mijloace de măsurare a rezistențelor electrice în curent continuu. Prima punte electrică - puntea Wheatstone - a fost inventată de fizicianul englez Ch. Wheatstone în 1843. Termenul de "punte" s-a atribuit pe motivul că pe una din diagonalele circuitului electric, indicatorul de nul formează o punte. Aceste instrumente de măsurat, foarte răspîndite în aplicațiile industriale și de laborator, se clasifică în trei grupe mari:

- punți pentru măsurarea rezistențelor de valori medii cu două borne de acces (punți Wheatstone);
- punți pentru măsurarea rezistențelor de valori mici cu patru borne de acces (punți Thomson);
- punți pentru măsurarea rezistențelor de valori mari cu trei borne de acces (variante ale punții Wheatstone);

Puntea Wheatstone. Schema de principiu a punții este prezentată în fig. 3.13.

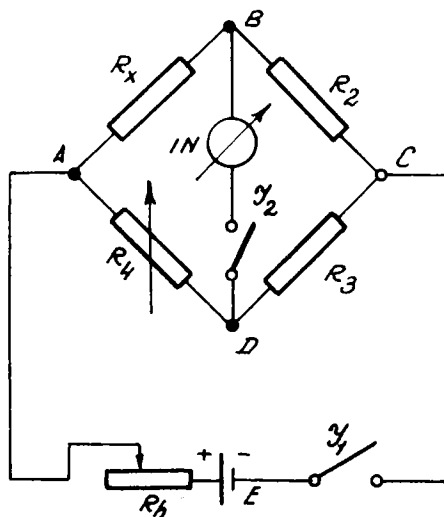


Fig. 3.13. Schema de principiu a punții Wheatstone.

Prin modificarea rezistenței variabile R_4 se obține echilibrarea punții vizualizată la indicatorul de nul IN și exprimată astfel:

$$R_x R_3 = R_2 R_4 \quad \text{sau} \quad R_x = R_4 \frac{R_2}{R_3} \quad (3.10)$$

în care R_x este rezistența necunoscută.

Din expresia matematică a rezistenței necunoscute R_x se constată că valoarea acesteia nu este influențată de tensiunea electromotoare și de rezistența internă a sursei de alimentare, de sensibilitatea și de rezistența internă a indicatorului de nul.

Mai în detaliu, puntea se echilibrează în modul următor:

- se aduce reostatul R_h la valoarea maximă și se închide γ_1 ;
- se fixează R_2 și R_3 în așa fel ca raportul lor să fie unitar;
- se închide γ_2 ;
- se echilibrează puntea prin manevrarea rezistenței R_4 ;

- se mărește curentul din punte cu ajutorul reostatului R_h pentru obținerea unei precizii ridicate. Dacă puntea nu se echilibrează, se schimbă raportul R_2/R_3 .

În fig. 3.14 este prezentată schema practică a punții Wheatstone.

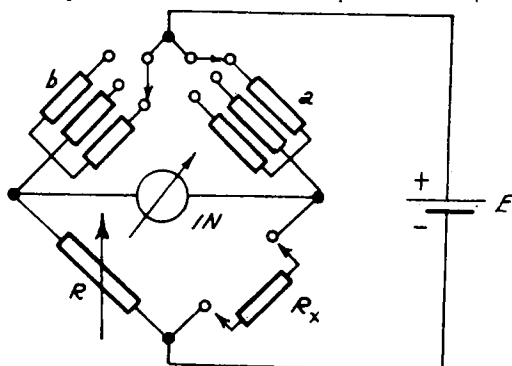


Fig. 3.14. Schema practică a punții Wheatstone.

La echilibrul punții se poate deduce valoarea rezistenței necunoscute

$$R_x = \frac{a}{b} R \quad (3.11)$$

în care:

R este o cutie de rezistențe cu 3 pînă la 6 decade înseriate cu un rezistor variabil continuu;

$\frac{a}{b}$ sînt rezistoare fixe comutabile în valori de 10^{-3} pînă la 10^{+3}

Prin urmare, R_x este egal cu valoarea rezistenței R multiplicată printr-un factor multiplu de zece.

Precizia punții Wheatstone este maximă pentru valori medii ale rezistenței R_x ; cînd R_x are valori mici, precizia scade din cauza influenței rezistențelor de conexiune iar pentru valori mari, precizia scade de asemenea din cauza influenței rezistențelor de izolație. Aceasta face ca domeniul de măsură al punții Wheatstone să se limiteze de la 1Ω pînă la $1\text{ M}\Omega$

Sursa de alimentare pentru o punte Wheatstone poate fi un redresor-alimentat de la rețea - sau o baterie. Cînd alimentarea punții se face de la rețea, se folosesc transformatoare de rețea ecranate pentru izolare.

Pentru indicarea echilibrului se folosește un galvanometru magneto-electric sau un indicator electronic.

Precizia de măsurare este cuprinsă între 1... 2% pentru punțile simple și 0,001% pentru punțile speciale de laborator.

Pentru obținerea unor rezultate mai precise, la măsurarea rezistențelor de valori mici se face o echilibrare a punții Wheatstone cu bornele de măsură scurtcircuitate prin intermediul cordonelor de legătură; valoarea găsită se va scădea din rezultatul măsurării lui R_x . Procedul elimină astfel, numai influența rezistenței conexiunilor dar nu înlătură efectul rezistențelor de contact.

În țara noastră, se construiesc punți Wheatstone incluse în instrumentele de măsurat. Astfel, PUNTEA RCL TIP EO-704 produsă de I.E.M.I.-București conține o punte Wheatstone pentru rezistențe cu indicator de nulelectronic (fig. 3.15).

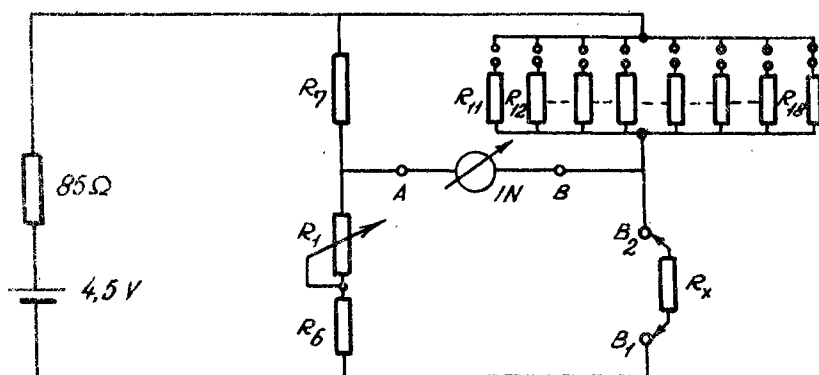


Fig. 3.15. Schema punții Wheatstone din - PUNTEA RCL TIP EO-704.

Rezistența necunoscută R_x se determină, la echilibrarea punții, din relația:

$$R_x = (R_1 + R_6) \frac{(R_{11} \div R_{18})}{R_7} \quad (3.12)$$

Elementele variabile din circuitul de măsurat sînt potențimetrul R_1 manevrat continuu de axul cadranului indicator și grupul de rezistoare $R_{11} \dots R_{18}$ selectate prin intermediul comutatorului cu 8 poziții. Cadranul și comutatorul sînt plasate pe panoul din față al punții RCL.

Tensiunea continuă de dezechilibru obținută în diagonala de măsură AB a punții este transformată în tensiune alternativă cu ajutorul unui chopper mecanic (releu polarizat la 50 Hz) și aplicată unui transformator de măsură. Tensiunea din secundarul acestui transformator este măsurată de un instrument magnetoelectric - indicator de nul IN - prin intermediul unui amplificator de curent alternativ neliniar.

Rezistențele necunoscute care se pot măsura sînt cuprinse între $0,5 \Omega$ pînă la $100 \text{ M}\Omega$;

Tot cu această punte RCL se măsoară comparativ rezistențele electrice de 1Ω pînă la $100 \text{ M}\Omega$ între -20% și $+20\%$ cu o eroare de $\pm 5\%$ și $\pm 20\%$ pentru valori mari. Schema de comparare este realizată tot cu o punte Wheatstone (fig. 3.16).

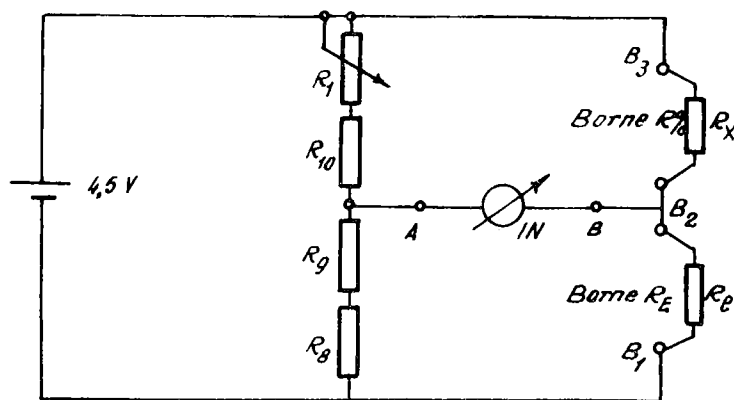


Fig. 3.16. Schema de comparare a rezistențelor cu PUNTEA RCL TIP EO-704.

La bornele B_1 și B_2 - borne R_E - se conectează rezistența etalon R_e iar la bornele B_2 și B_3 - borne R_x - rezistența necunoscută R_x . După

echilibrarea punții cu potențimetrul R_1 de pe axul cadranului se citește pe scara procentuală de pe discul cadranului, abaterea în procente a valorii rezistenței R_x față de valoarea rezistenței etalon R_e .

Schema de măsurat a rezistențelor în conexiune Wheatstone este alimentată de la o sursă internă de curent continuu obținută dintr-un redresor alimentat extern de la rețeaua de 220 V curent alternativ.

Puntea Thomson - se mai numește punte dublă - măsoară rezistențe de valori cuprinse între 1Ω și $10^{-6}\Omega$. La acest tip de punte, rezistențele de contact și de legătură ale rezistenței de măsurat sînt plasate într-un circuit auxiliar folosindu-se în acest scop conexiunea cu patru borne a rezistenței de măsurat.

În fig. 3.17 este dată schema punții Thomson. Când indicatorul de nul IN nu este parcurs de curent, puntea se află în echilibru și între rezistențe există relația matematică

$$R_x = R \frac{R_1}{R_2} + R_0 \frac{R_1 R_4 - R_2 R_3}{R_2 (R_3 + R_4 + R_0)} \quad (3.13)$$

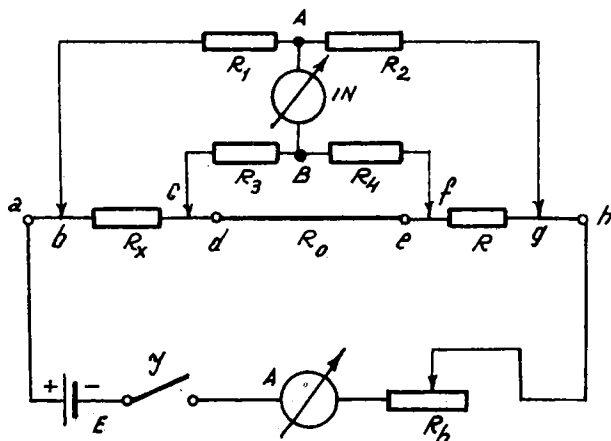


Fig. 3.17. Schema de principiu a punții duble Thomson.

Dar la echilibrarea punții, se îndeplinește și condiția:

$$R_1 R_4 - R_2 R_3 = 0, \quad (3.14)$$

astfel că relația (3.13) devine:

$$R_x = R \frac{R_1}{R_2}. \quad (3.15)$$

Din motive constructive, $R_1 R_4 - R_2 R_3$ nu este chiar zero dar al doilea termen din (3.13) se poate diminua și mai mult prin micșorarea rezistenței firului de legătură R_0 dintre R_x și R .

Constructiv, la punțile Thomson, raportul $\frac{R_1}{R_2} = \frac{R_3}{R_4}$ poate varia prin reglarea rezistențelor R_1 și R_3 , constituite ca o rezistență dublă în decade și cu manete. Rezistențele R_2 și R_4 se fixează cu ajutorul unor fișe iar rezistența R este un rezistor etalon montat în circuitul exterior al punții. Rezistența R se poate realiza și sub forma unui conductor calibrat pe care se deplasează un cursor.

Deoarece la bornele rezistențelor R_x și R , căderile de tensiune sînt de ordinul milivolților, pot apare unele erori din cauza tensiunilor termoelectromotoare de la contactul rezistenței necunoscute cu bornele etalon. Pentru eliminarea lor, se recomandă efectuarea unei a doua măsurări cu același curent dar sens schimbat și apoi calcularea rezultatului ca medie a celor două măsurători.

Puntea Thomson se folosește la măsurarea rezistențelor de contact, rezistențelor interne ale ampermetrelor, șunturilor, bobinelor, siguranțelor fuzibile și la determinarea rezistivității conductoarelor

$$\left[\rho = \frac{RS}{l} \left(\Omega \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \right) \right]$$

Punți pentru rezistențe mari. Pentru a extinde domeniul de măsură al punții Wheatstone peste $1\text{ M}\Omega$ se modifică schema punții simple - descrisă mai sus - și se utilizează indicatoare de nul cu rezistențe de intrare foarte mari realizate din amplificatoare de curent alternativ sau de curent continuu cu intrarea pe tranzistoare cu efect de câmp, diode varicap etc.

Măsurarea rezistențelor de valori mari se face cu tensiuni de 500... 1 000 V și se repetă cu inversarea tensiunii aplicate pentru a diminua erorile de decalare și de neliniaritate.

Punți neechilibrate. Sînt punți Wheatstone sau Thomson utilizate în regim neechilibrat pentru evaluarea abaterilor rezistenței de măsurat față de valoarea nominală pentru care puntea este în echilibru. Pe scala indicatorului de nul, se trec reperele limită care indică abaterile minime și maxime ale valorii rezistenței de măsurat. Ca urmare, astfel de punți se numesc "punți limită" sau punți de toleranță.

3.4. METODE PENTRU MASURAREA REZISTENTELOR ELECTRICE

3.4.1. Metoda voltmetrului și ampermetrului

După modul în care se realizează legarea ampermetrului și voltmetrului se disting două scheme de montaj:

- schema aval;
- schema amonte.

La schema de montaj aval, voltmetrul se conectează la bornele rezistenței necunoscute R_x (fig. 3.18).

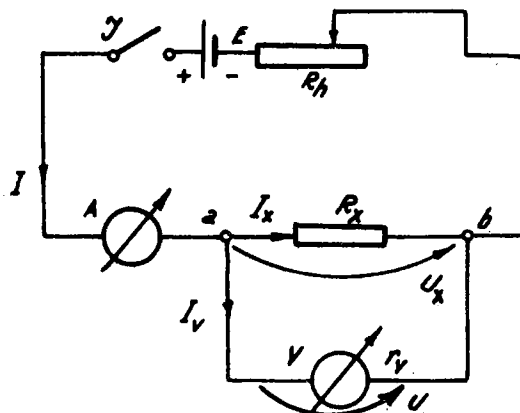


Fig. 3.18. Montaj aval.

Pentru acest caz, valoarea rezistenței R_x se determină din raportul

$$R_x = \frac{U}{I} \quad (3.16)$$

în care:

U este valoarea tensiunii indicate de voltmetru ;

I - valoarea curentului indicat de ampermetru .

Dar adevărata valoare a rezistenței necunoscute R_x este

$$R_x = \frac{\frac{U_x}{I_x}}{\frac{U}{I - I_v}} = \frac{U}{I - \frac{U}{r_v}} \quad (3.17)$$

în care:

U_x este tensiunea la bornele lui R_x ;

I_x - curentul care trece prin R_x ;

U - tensiunea indicată de voltmetru ($U = U_x$) ;

I - curentul indicat de ampermetru ;

I_v - curentul care trece prin voltmetru ;

r_v - rezistența internă a voltmetrului .

Din compararea expresiilor (3.16) și (3.17) se deduce că măsurarea rezistențelor cu montajul aval se face cu eroare - denumită eroare de metodă - provocată de termenul $\frac{U}{r_v}$.

Cînd valoarea acestui raport este mic - deci rezistența r_v , mare - eroarea de metodă nu este importantă. În consecință, montajul amonte este indicat la măsurarea rezistențelor de valori mici ($< 10 \Omega$) cu voltmetre de rezistență internă r_v mare. Foarte potrivite sînt multimetrele ($r_v = 100\,000 \Omega/V$) sau voltmetrele electronice.

Deosebirea între schema aval și schema amonte - descrisă în continuare - constă în modul de conectare al voltmetrului; la montajul amonte, voltmetrul va indica suma tensiunilor de la bornele ampermetrului și voltmetrului (fig. 3.19).

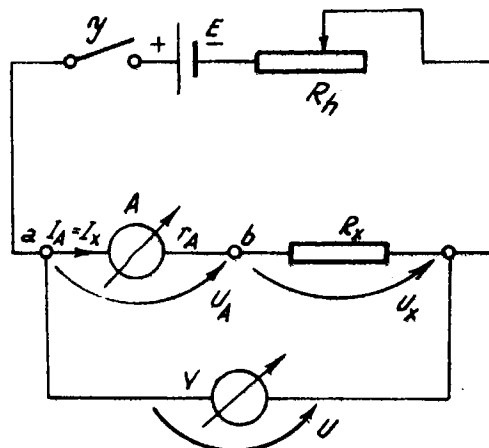


Fig. 3.19. Montaj amonte.

Rezistența R_x - în acest caz - se calculează din expresia

$$R_x = \frac{U_x}{I_x} = \frac{U - U_A}{I_A} = \frac{U}{I_A} - r_A \quad (3.18)$$

în care:

U_x - este tensiunea la bornele lui R_x ;

I_x - curentul prin R_x ;

U - tensiunea indicată de voltmetru;

U_A - tensiunea la bornele ampermetrului;

I_A - curentul indicat de ampermetru ($I_A = I_x$);

r_A - rezistența internă a ampermetrului.

Si în acest caz se introduce o eroare de metodă exprimată prin termenul r_A din (3.18). Când valoarea r_A este mică față de rezistența necunoscută R_x , eroarea de metodă se poate neglija.

Se deduce de aici, că acest montaj este indicat la măsurarea rezistențelor de valori mari ($>10 \Omega$) cu ampermetre de rezistență mică.

3.4.2. Metoda comparației

Se bazează pe compararea rezistenței necunoscute R_x cu o rezistență cunoscută R_0 de același ordin de mărime (fig. 3.20).

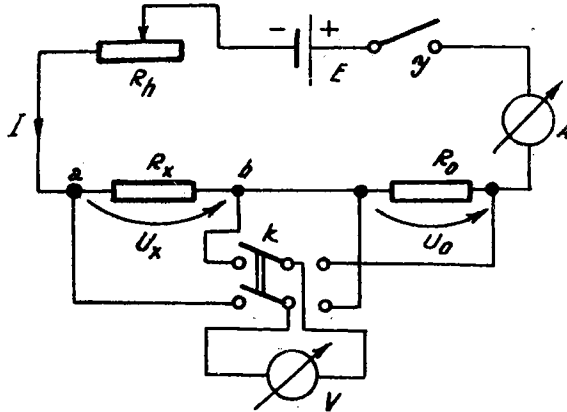


Fig. 3.20. Măsurarea rezistenței prin metoda comparației.

Alternând comutatorul K în cele două poziții, se măsoară succesiv tensiunea U_x la bornele rezistenței R_x și tensiunea U_0 la bornele rezistenței R_0 .

Aplicînd legea lui Ohm se obține:

$$I = \frac{U_0}{R_0} = \frac{U_x}{R_x} ; \quad (3.19)$$

rezultă

$$R_x = R_0 \frac{U_x}{U_0} . \quad (3.20)$$

Această metodă se utilizează la măsurarea rezistențelor de valoare mică.

3.4.3. Metoda substituției

Se folosește tot un comutator pentru alimentarea succesivă a rezistenței necunoscute R_x și a rezistenței etalon variabile R_o (fig. 3.21).

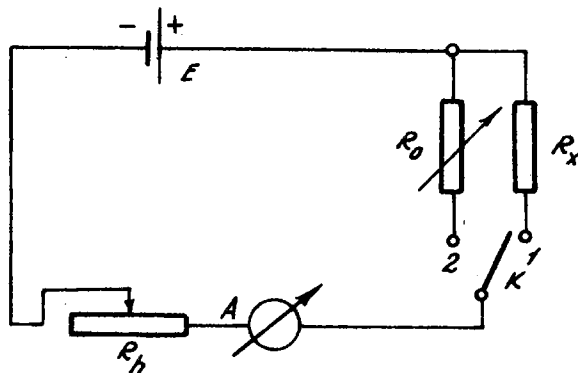


Fig. 3.21. Măsurarea rezistenței prin metoda substituției.

Se pune comutatorul K pe contactul 1 și se măsoară curentul prin circuit cu ampermetrul A; apoi se schimbă comutatorul K de pe contactul 1 pe 2 și se modifică rezistența etalon R_o pînă cînd se obține prin ampermetru același curent I.

În această situație, rezistența etalon R_o a egalat în valoare rezistența necunoscută R_x :

$$R_o = R_x \quad (3.21)$$

și măsurarea este încheiată.

Metoda este avantajoasă pentru că măsurările nu sînt influențate de clasa de precizie a instrumentului indicator întrebuințat.

3.5. APLICATIE

Măsurarea rezistenței interioare a pilelor și acumulateorilor. După un timp de funcționare îndelungat al pilelor și acumulateorilor se observă o

creștere a rezistenței lor interne. Prin măsurarea acestui parametru caracteristic, se poate determina gradul de uzură al acestor surse de energie electrică. În acest scop, se aplică metoda ampermetrului și voltmetrului.

În fig. 3.22 a și b, sînt prezentate schemele de măsurare a rezistenței interne a acumulatorilor și pilelor electrice prin această metodă.

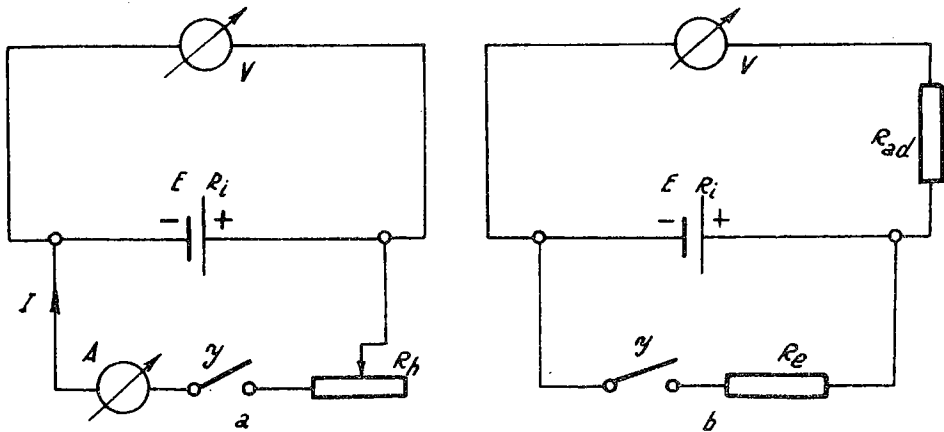


Fig. 3.22. Schema de măsurare a rezistenței interne prin metoda ampermetrului și voltmetrului: a - pentru acumulatori; b - pentru pile electrice.

În cazul acumulatorilor, se măsoară cu voltmetrul V tensiunea în gol U_0 (întreruptorul γ deschis) și apoi tensiunea în sarcină U (γ închis). Curentul I produs de acumulator se reglează cu reostatul R_h și se citește cu ampermetrul A .

Indicațiile aparatelor de măsurat, U_0 , U și I sînt suficiente la stabilirea rezistenței interne R_i ; aceasta se calculează cu expresia următoare:

$$R_i = \frac{U_0 - U}{I} \quad (3.22)$$

Pentru pile electrice, rezistența internă se determină cu montajul din fig. 3.22 b și se calculează cu expresia:

$$R_i = \frac{U_0 - U}{U} R_e \quad (3.23)$$

În schemă, se remarcă substituirea ampermetrului cu rezistența etalon R_e . Rezistența adițională R_{ad} din circuitul voltmetrului se utilizează pentru voltmetre cu rezistență internă mică.

CAPITOLUL 4

MASURAREA INDUCTIVITATILOR ELECTRICE

4.1. GENERALITATI

Experimental, s-a observat că în jurul unui fir conductor parcurs de curent electric se generează un câmp magnetic. Când se realizează o bobină electrică prin înfășurarea firului sub formă de cerc, dreptunghi, pătrat etc., câmpul din interior devine mai intens deoarece se însumează câmpurile produse de curentul care străbate fiecare spirală a bobinei.

Dependența dintre curentul electric și câmpul magnetic generat se evidențiază printr-o constantă denumită inductivitate electrică sau inductanță.

Pentru o bobină electrică, se definesc două inductivități: inductivitatea proprie și inductivitatea mutuală.

4.1.1. Inductivitatea proprie (simbol L)

Este raportul dintre fluxul magnetic calculat prin suprafața unei spire a bobinei și curentul care produce acest flux. Matematic, acest raport se exprimă prin relația

$$L = \frac{\Phi}{i} \quad (4.1)$$

în care:

L este inductivitatea proprie a bobinei;

i - curentul electric prin bobină;

Φ - fluxul magnetic generat de curentul i.

Inductivitatea (inductanța) proprie se mai numește autoinductanță sau coeficient de inducție proprie.

4.1.2. Inductivitatea mutuală (simbol M)

Este raportul dintre fluxul magnetic calculat prin suprafața unei spire a bobinei L_2 și curentul i_1 care produce acest flux și circulă prin bobina L_1 din apropierea bobinei L_2 .

Matematic, se exprimă prin relația

$$M = \frac{\Phi_{21}}{i_1} \quad (4.2)$$

în care:

M este inductivitatea mutuală dintre bobinele L_1 și L_2 ;

i_1 - curentul electric prin bobina L_1 ;

Φ_{21} - fluxul magnetic produs de i_1 și care trece prin bobina L_2 .

Inductivitatea (inductanța) mutuală se mai numește coeficient de inducție mutuală.

Între inductivitatea bobinei L_1 , inductivitatea bobinei L_2 și inductivitatea mutuală a celor două bobine există relația matematică

$$M = k \sqrt{L_1 L_2} \quad (4.3)$$

în care:

k este coeficientul de cuplaj cu valori cuprinse între unu și zero.

Grafic, bobinele electrice caracterizate prin inductivități proprii și mutuale se reprezintă conform fig. 4.1 și 4.2:



Fig. 4.1. Simbolul grafic pentru bobină electrică:
a) ideală; b) reală.

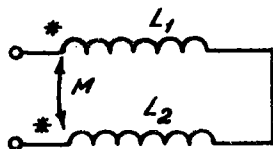


Fig. 4.2. Simbolul grafic pentru bobine electrice cuplate.

Simbolul R din fig. 4.1 b semnifică rezistența electrică a bobinei reale iar bornele marcate cu semnul * în fig. 4.2 semnifică sensul de înfășurare al bobinelor respectiv al fluxului mutual dintre cele două bobine.

Cu ajutorul inductivităților electrice se pot exprima mai multe mărimi electrice.

4.1.3. Tensiunea electromotoare de autoinducție și inducție mutuală

Cînd curentul electric este variabil, cîmpul magnetic creat de acesta induce în conductorul sau bobina electrică prin care trece curentul, o tensiune electromotoare de autoinducție

$$e_L = L \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (4.4)$$

în care:

e_L este tensiunea electromotoare autoindusă;

L - inductivitatea conductorului sau bobinei electrice;

Δi - variația curentului i în intervalul de timp Δt .

Dacă în acest cîmp magnetic variabil se plasează un alt conductor sau bobină electrică, se va induce în aceste elemente de circuit o tensiune electromotoare de inducție mutuală

$$e_M = M \frac{\Delta i}{\Delta t} \quad (4.5)$$

în care:

- \mathcal{E}_M este tensiunea electromotoare indusă în conductorul sau bobina electrică plasate în câmpul magnetic;
- M - inductivitatea mutuală a conductorului sau bobinei electrice în raport cu conductorul sau bobina inductoare;
- Δi - variația curentului i în intervalul de timp Δt prin conductorul sau bobina inductoare.

4.1.4. Energia magnetică. Factorul de calitate.

În câmpul magnetic din jurul unui conductor sau dintr-o bobină electrică, se acumulează energie capabilă să exercite forțe asupra corpurilor cu proprietăți magnetice din apropiere. Această energie magnetică depinde și se exprimă prin inductivitatea L și curentul i din conductor sau bobina electrică

$$w_m = L \frac{i^2}{2} \quad (4.6)$$

în care:

- w_m reprezintă energia din câmpul magnetic creat de conductor sau bobina electrică;
- L - inductivitatea conductorului sau bobinei electrice;
- i - curentul electric din conductor sau din bobina electrică.

Păstrarea energiei magnetice într-un element de circuit - de exemplu, o bobină - este însoțită de pierderi prin efect Joule-Lenz. Aceste pierderi apar din cauza rezistenței electrice a bobinei sau - la bobinele cu miez feromagnetic - din cauza efectului hysterezis sau curenților turbionari din miezul feromagnetic.

Existența acestor pierderi a condus la necesitatea ca schema electrică a bobinelor să conțină pe lângă inductivitatea proprie L , rezistența proprie R și rezistențe echivalente pierderilor R_f . În anumite condiții de funcționare a

bobinei - de exemplu la frecvențe ridicate - se constată că se acumulează energie electrică în capacitățile parazite dintre spirele bobinei. Ca urmare, schema electrică se va completa și cu o capacitate parazită C_p echivalentă a capacităților parazite dintre spirele bobinei.

În fig. 4.3 sînt reprezentate scheme echivalente ale bobinelor electrice.

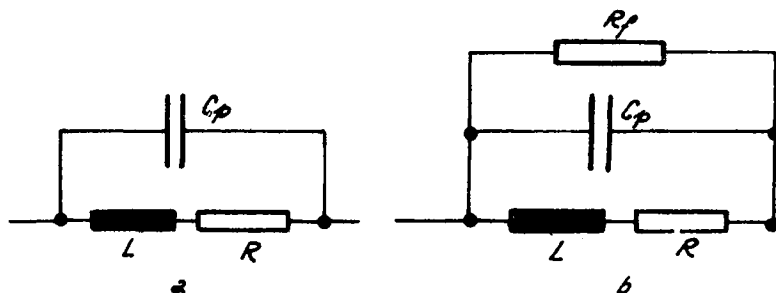


Fig. 4.3. Schema electrică echivalentă a bobinelor electrice: a) bobină fără miez; b) bobină cu miez feromagnetic.

Pentru a evidenția calitatea unei bobine electrice de a acumula o cantitate de energie magnetică cât mai mare cu pierderi prin efect Joule-Lenz cât mai mici s-a introdus factorul de calitate

$$Q = \frac{\omega L}{R} = \frac{2\pi f L}{R} = \frac{X_L}{R} \quad (4.7)$$

în care:

- ω reprezintă pulsația sau frecvența unghiulară a curentului prin bobină (rad/s);
- L - inductivitatea proprie a bobinei (H);
- R - rezistența electrică a bobinei (Ω);
- f - frecvența curentului (Hz);
- X_L - reactanța inductivă (Ω).

Pentru a obține bobine cu inductanță mare și cu factor de calitate cât mai ridicat se folosesc bobinele cu miez feromagnetic. Aceste bobine - pentru frecvențe cuprinse de la 10 la 10 000 Hz - au proprietatea că valoarea maximă a factorului de calitate este independentă de inductivitatea L . În consecință, variindu-se întrefierul, se modifică inductivitatea și frecvența la care factorul de calitate este maxim.

În aplicațiile practice, bobinele electrice sînt foarte răspîndite. Aceste dispozitive intră în compunerea transformatoarelor, electromagneților, filtrelor electrice, releelor, instrumentelor de măsurat, aparatelor electrice și electronice etc.

La proiectarea sau la realizarea acestor elemente generatoare de cîmp magnetic, intervin parametrii caracteristici: inductivitățile proprii și mutuale. Determinarea lor este posibilă fie pe bază de calcul fie prin măsurări electrice sau electronice cînd este necesar a se ține seama de regimul de funcționare. De exemplu, în cazul bobinelor cu miez de fier, inductivitatea proprie L și inductivitatea mutuală M variază în funcție de curent datorită permeabilității magnetice dependente de cîmp. Înalta frecvență provoacă apariția inductivităților și capacităților parazite (inductivitatea firelor de legătură, capacități față de pămînt, capacități între spirele bobinelor etc.). În cazul bobinelor fără miez feromagnetic și la frecvențe joase, inductivitățile nu mai sînt influențate de condițiile de funcționare și atunci măsurările se pot face în alte condiții.

4.2. UNITATI DE MASURA

Inductivitatea proprie L și inductivitatea mutuală M au următoarele unități de măsură:

Henry (simbol H) este inductivitatea unei spire în care ia naștere un flux magnetic de un weber (1 Wb) cînd spira este parcursă de un curent de un amper (1 A).

Tot această unitate de măsură se mai definește ca fiind inductivitatea unui circuit în care o variație continuă de un amper pe secundă (1 A/1 s) a curentului, produce o tensiune electromotoare de inductivitate mutuală de un volt (1 V). Prin urmare:

$$1 \text{ henry} = \frac{1 \text{ weber}}{1 \text{ amper}} \text{ sau } 1 \text{ H} = \frac{1 \text{ Wb}}{1 \text{ A}}$$

respectiv

$$1 \text{ henry} = \frac{1 \text{ amper pe secundă}}{1 \text{ volt}} \text{ sau } 1 \text{ H} = \frac{1 \text{ A/1 s}}{1 \text{ V}}$$

În Sistemul Internațional SI este unitate derivată.

Submultiplii henry-ului sînt:

milihenry (simbol mH) este egal cu 10^{-3} H,

$$1 \text{ mH} = 10^{-3} \text{ H};$$

microhenry (simbol μH) este egal cu 10^{-6} H,

$$1 \mu\text{H} = 10^{-6} \text{ H}$$

4.3. MIJLOACE DE MASURAT ALE INDUCTIVITATILOR PROPRII SI MUTUALE

Inductivitatea se măsoară în intervale foarte largi de valori ale frecvenței - de la zero (curent continuu) pînă la frecvențe de 1 000 MHz, în microunde etc. Măsurarea mai este influențată foarte mult de materialele din care sînt confecționate bobinele precum și de câmpurile magnetice din apropiere. Pentru acoperirea diferitelor regimuri de funcționare s-au conceput și realizat diverse mijloace de măsurare. În această lucrare se vor prezenta cele mai reprezentative instrumente de măsurat destinate măsurărilor de inductivități.

4.3.1. Inductivități etalon

Sînt destinate verificării și etalonării instrumentelor de măsurat. Se folosesc, de asemenea, pentru compararea cu inductivități supuse verificărilor. După domeniul de frecvență, inductivitățile etalon se construiesc pentru frecvențe joase și frecvențe înalte.

Inductivitățile etalon pentru frecvențe joase - pînă la 10 kHz - se realizează sub formă de bobine, fără miez de fier, cu o rezistență ohmică redusă. Valoarea inductivității nu trebuie să fie influențată de frecvență, de temperatură și să fie stabilă în timp. Bobina pentru inductivitatea etalon se execută din sîrmă de liță împletită dintr-un număr mare de fire subțiri din cupru izolate; se realizează într-un singur strat pe carcasă nemagnetică din porțelan sau din marmură. Valorile pentru care se construiesc sînt cuprinse între 0,0001 H și 10 H.

Factorul de calitate Q este cuprins între 2 și 20. Variația cu frecvența a inductivității este determinată în mare măsură de capacitățile parazite dintre spirele bobinei. Acestea dau o capacitate echivalentă între bornele bobinei egală cu 20... 150 pF. De exemplu, inductivitatea unei bobine $L=1$ H, (capacitate parazită $C_p = 100$ pF) la frecvența zero, crește cu 0,4% la frecvența de 1 kHz.

Inductivitățile etalon pentru frecvențe înalte se ecranează pentru a elimina cuplajele electromagnetice cu circuitele exterioare.

Valorile inductivităților etalon se înscriu pe bobine iar pentru cele de frecvență înaltă se mai înscrie valoarea factorului de calitate Q și frecvența de referință.

În fig. 4.4 sînt prezentate mai multe inductivități etalon:

a) bobină de inductivitate proprie etalon realizată dintr-o înfășurare de cupru izolat (w) așezată pe o carcasă cilindrică din porțelan, marmură etc. (D);

b) bobină de inductivitate etalon toroidală;

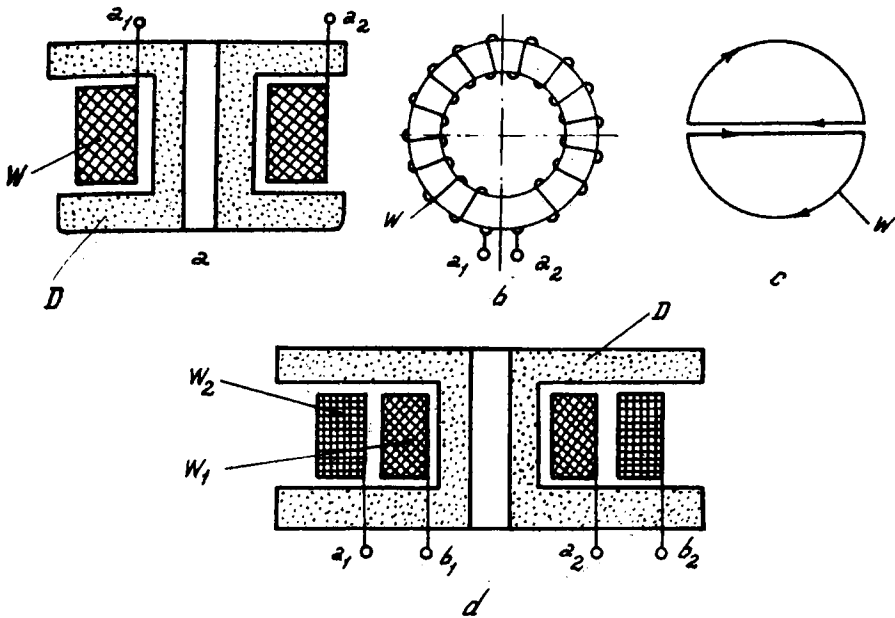


Fig. 4.4. Inductivități etalon.

c) bobină de inductivitate etalon cu înfășurare în dublu D.

d) bobină de inductivitate mutuală, realizată ca o bobină de inductivitate proprie (a) dar cu două înfășurări w_1 și w_2 .

Variometre (fig. 4.5) sînt inductivități proprii sau mutuale etalon după cum cele două bobine 1 și 2 se conectează în serie sau nu.

Bobina mobilă este coaxială cu bobina fixă fiind situată în interiorul ei, fixată pe un ax, cu ajutorul căruia poate fi rotită cu un unghi de 360° . Valorile inductivității se citește pe o scală cu ajutorul unui indicator 3 fixat de axul bobinei.

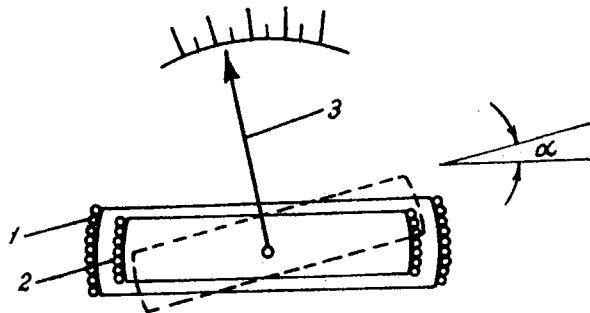


Fig. 4.5. Variometru.

4.3.2. Cutii cu inductivități (fig. 4.6)

Cuprind inductivități de valori diferite care permit să se obțină o inductivitate variabilă în decade. Sînt cu fișe sau cu manetă. Aceste cutii sînt astfel concepute încît rezistența să fie constantă, indiferent de valoarea inductivității.

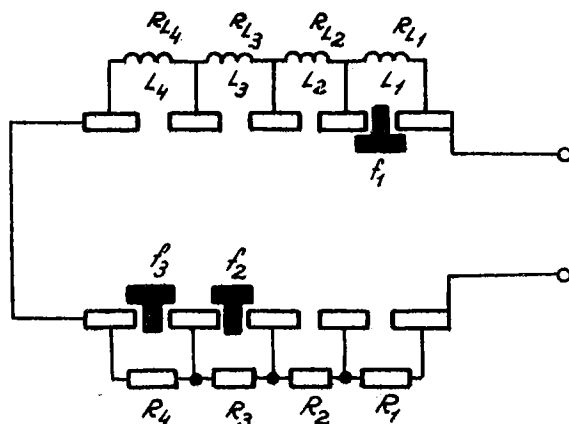


Fig. 4.6. Cutii cu inductivități.

4.3.3. Inductanțmetru (fig. 4.7)

Măsoară inductivitatea L_x prin intermediul tensiunii U_L de la bornele sale. Curentul prin inductivitate este dat de un generator printr-o rezistență R de valoare mare (pentru a obține curent constant). Tensiunea U_L rezultă din:

$$U_L = \omega L_x \frac{U}{R} = K L_x$$

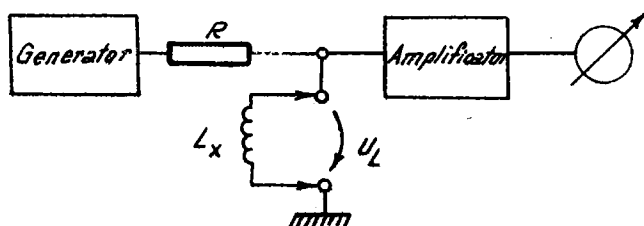


Fig. 4.7. Inductanțmetru.

Scala aparatului este liniară, domeniile se schimbă prin modificarea frecvenței și a rezistenței R fiind cuprinse în gama $10 \mu\text{H}$ până la 100 H cu o precizie de 0,5 la 3%.

Inductanțmetrele se realizează împreună cu capacimetre formând instrumentele LC-metre. Mai sînt cunoscute și sub denumirea de henrymetre.

4.3.4. Punți electrice

Pentru măsurarea inductivităților, se folosesc punți de curent alternativ. Acestea provin din schema punții Wheatstone la care s-au înlocuit rezistențele din laturi cu impedanțe, sursa de alimentare este de curent alternativ iar indicatorul de nul este tot pentru curent alternativ.

Există punți de curent alternativ care se deosebesc foarte mult de puntea Wheatstone. Acestea conțin impedanțe în două laturi iar în celelalte două sînt plasate înfășurări de transformatoare sau divizoare de tensiune inductive; se numesc punți cu transformatoare.

Puntea Maxwell-Wien. Se folosește la măsurarea inductivităților proprii cu factor de calitate mic sau mijlociu (fig. 4.8).

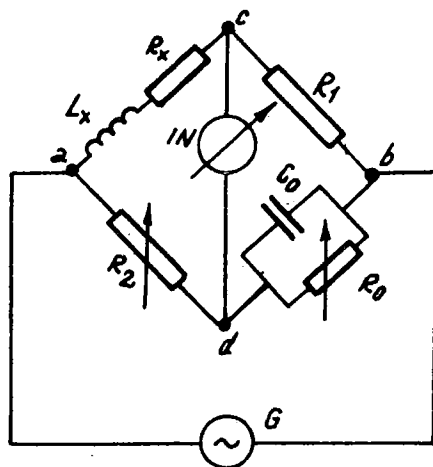


Fig. 4.8. Schema punții Maxwell-Wien.

Echilibrarea punții este realizată când prin indicatorul de nul IN nu trece curent. Din condițiile de echilibru rezultă:

- inductivitatea bobinei este

$$L_x = R_1 R_2 C_0; \quad (4.8)$$

- rezistența bobinei,

$$R_x = \frac{R_1}{R_0} R_2; \quad (4.9)$$

- factorul de calitate al bobinei,

$$Q_x = \omega C_0 R_0. \quad (4.10)$$

Puntea Maxwell-Wien este cea mai răspândită punte pentru măsurarea inductivității mai ales la frecvențe joase.

Când R_0 și C_0 sînt variabile, se măsoară L_x și R_x iar dacă R_0 și R_1 (sau R_2) sînt variabile, puntea măsoară L_x și Q_x .

Acest tip de punte se folosește la I.I.R.U.C. și este inclusă în PUNTEA RCL TIP EO-704, produsă de I.E.M.I.-București (fig. 4.9).

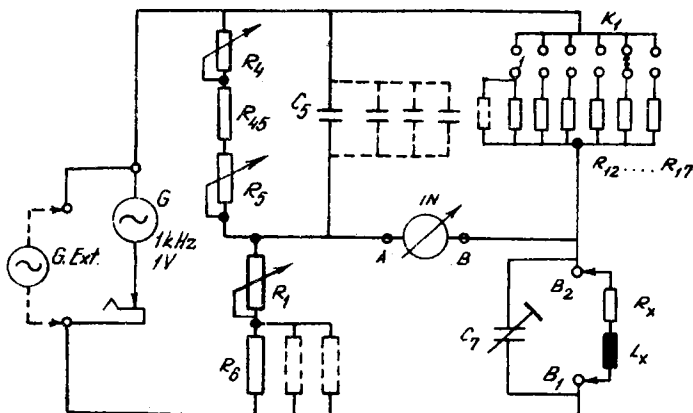


Fig. 4.9. Schema punții Maxwell-Wien din PUNTEA RCL TIP EO-704.

În fig. 4.10 este prezentat panoul frontal și elementele de reglare și semnalizare ale punții RCL.

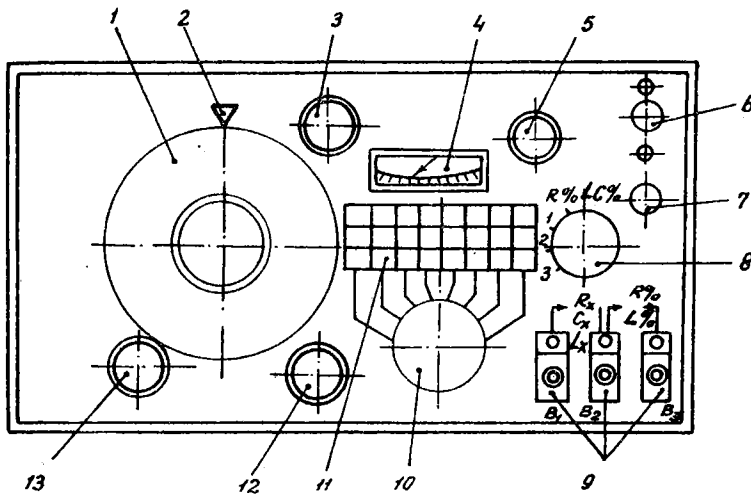


Fig. 4.10. Panoul frontal (PUNTEA RCL TIP EO-704).

Pentru echilibrarea punții, se selectează o rezistență din grupul $R_{12,17}$ cu ajutorul comutatorului de game (10) și se reglează rezistențele R_4 și R_5 cu ajutorul butoanelor negru și roșu (12) notate pe panou cu Q_L ; butonul negru este pentru reglajul brut iar cel roșu pentru reglajul fin. Tot pentru echilibrare se reglează rezistența R_1 manevrată de cadranul indicator (1) și de butonul demultipliator al cadranului indicator (13).

La echilibrare, curentul este minim prin indicatorul de nul (4) și acul acestuia este la minim spre stînga. Parametrii bobinei vor fi în acest caz:

$$L_x = R_1 C_5 R_{12,17} \quad (4.11)$$

și

$$Q_x = \frac{\omega L_x}{R_x} \quad (4.12)$$

Valoarea inductivității L_x se determină din indicația comutatorului de game cu 8 poziții (10) și a cadranelui indicator (1).

Factorul de calitate Q_x se calculează din (4.12) cunoscând că frecvența sursei de alimentare internă este 1 kHz, L_x este inductivitatea bobinei măsurată iar R_x , rezistența bobinei măsurată cu puntea Wheatstone.

Comutatorul de funcțiuni (8) se fixează pe poziția L (măsurare inductivități).

Celelalte elemente de reglare și semnalizare de pe panoul frontal (fig. 4.10) au următoarele denumiri:

2 - reper; 3 - buton prin care se compensează pierderile la condensatoare (se întrebuințează la măsurarea condensatoarelor); 5 - buton pentru reglarea sensibilității (potențiometrul R_{33}); 6 - întrerupător de rețea; 7 - bec indicator de alimentare la rețea; 11 - gamele de măsură.

Sursa de alimentare internă are tensiunea de 1 V_{ef} și frecvența de 1 kHz dar puntea se poate alimenta și din exterior cu 2 V_{ef} și 10 kHz prin două borne plasate în spatele instrumentului de măsurat.

Domeniul de măsură al punții este cuprins între 50 μH și 105 H în șase game:

gama 100 μH pentru 50 μH - 1,05 mH;

gama 1 mH pentru 0,5 mH - 10,5 mH;

gama 10 mH pentru 5 mH - 105 mH;

gama 100 mH pentru 50 mH - 1,05 H;

gama 1 H pentru 0,5 H - 10,5 H;

gama 10 H pentru 5 H - 105 H.

Eroarea de măsurare este sub 2% -

Tot pentru măsurarea inductivităților proprii ale bobinelor se folosesc și punțile prezentate în continuare.

Puntea Owen serie. Se folosește pentru măsurări cu precizie mare și factor de calitate ridicat.

Puntea Hay. Se folosește pentru măsurarea inductivității la frecvențe joase. Este asemănătoare punții Maxwell-Wien cu deosebire că poate măsura și

valori mari ale factorului de calitate Q_x . Puntea se folosește și la măsurări de inductivități ale bobinelor premagnetizate în curent continuu.

Puntea Anderson. Aparține punților cu mai mult de patru laturi dar prin metode de calcul se poate reduce la schema punții simple. Se folosește la măsurarea inductivității proprii a bobinelor în joasă frecvență.

Puntea de rezonanță. Se folosește mai rar însă cu ajutorul acesteia se poate măsura inductivitatea bobinei sau frecvenței din relația de echilibru

$$L_x C \omega^2 = 1 \quad (4.13)$$

Puntea cu transformatoare. Se compune din două brațe alăturate constituite din bobine cuplate între ele, înfășurate pe un miez feromagnetic toroidal. Puntea se poate echilibra într-o bandă largă de frecvențe limitată superior de apariția reactanțelor parazite.

Cu ajutorul punților de măsură prezentate se pot măsura și inductivitățile mutuale dintre două bobine cuplate magnetic. Se procedează la măsurarea inductivității totale a bobinelor montate în serie, odată adițional și a doua oară, diferențial (fig. 4.11). Rezultă:

$$L' = L_1 + L_2 + 2 M_x \quad \text{și} \quad L'' = L_1 + L_2 - 2 M_x$$

Din aceste două relații, rezultă valoarea inductivității mutuale necunoscute:

$$M_x = \frac{L' - L''}{4} \quad (4.14)$$

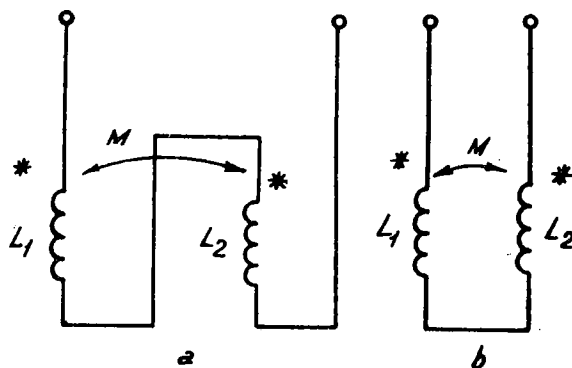


Fig. 4.11. Conectarea bobinelor pentru măsurarea inductivității mutuale. a - aditional; b - diferențial.

Inductivitățile mutuale se pot măsura și cu ajutorul punților electrice de construcție specială. Se va prezenta puntea electrică frecvent utilizată în acest scop.

Puntea Carey-Foster (fig. 4.12). Are una din laturi cuplată cu ajutorul căreia se determină inductivitatea mutuală M_x precum și inductivitatea uneia dintre bobine, de exemplu L_1 .

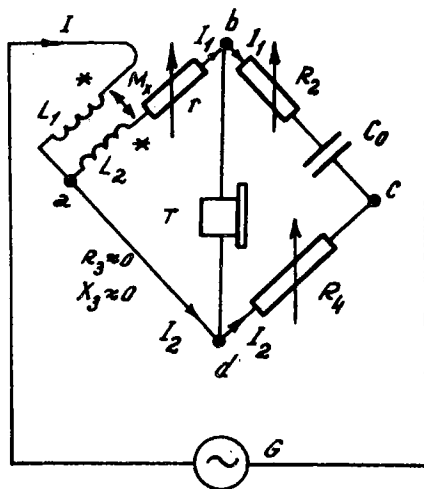


Fig. 4.12. Schema punții Carey-Foster.

Elementul principal de comparație este capacitatea etalon C_0 . Prin fixarea valorilor lui C_0 și R_4 iar apoi prin manevrarea rezistențelor variabile

r , R_2 și R_4 se obține echilibrul punții constat prin dispariția sunetului din casca telefonică T. Relațiile de echilibru prin care se determină inductivitatea mutuală necunoscută M_x și inductivitatea proprie L_1 sînt următoarele:

$$M_x = C_o R_4 R_2 \quad (4.15)$$

și

$$L_1 = M \left(1 + \frac{R_2}{R_4} \right) \quad (4.16)$$

4.4. METODE PENTRU MĂSURAREA INDUCTIVITĂȚILOR ELECTRICE

4.4.1. Metoda comparației pentru măsurarea inductivităților mutuale

Metoda este cunoscută sub denumirea de metoda Felici și se bazează pe compararea unei inductivități mutuale etalon M_e (variometru) cu inductivitatea mutuală necunoscută (fig. 4.13).

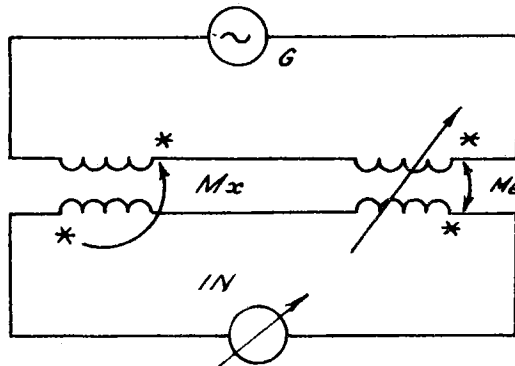


Fig. 4.13. Schema de măsură a inductivităților mutuale cu metoda Felici.

Înfășurările primare ale inductivităților mutuale M_x și M_e sînt conectate în serie iar cele secundare în opoziție.

Se folosește ca indicator de nul al schemei IN o cască telefonică. Sunetul din casca telefonică dispăre cînd

$$M_x = M_e \quad (4.17)$$

4.4.2. Metoda ampermetrului și voltmetrului pentru măsurarea inductivităților proprii

Pentru măsurarea inductivităților proprii prin metoda ampermetrului și voltmetrului se folosește schema din fig. 4.14.

Se determină mai întîi impedanța Z și apoi rezistența R a bobinei. Se calculează apoi inductivitatea necunoscută L_x cu ajutorul relației:

$$L_x = \frac{1}{2\pi f} \sqrt{Z^2 - R^2} \quad (4.18)$$

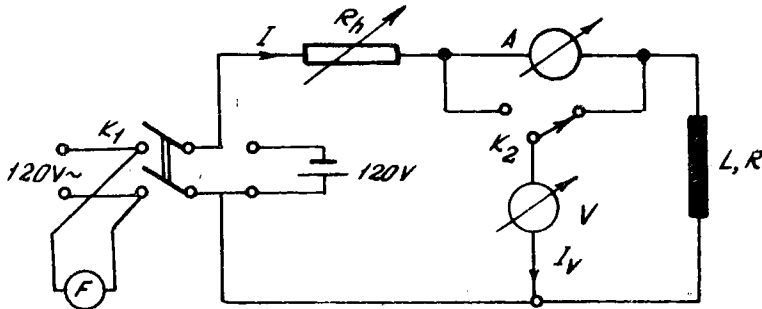


Fig. 4.14. Schema de măsurat a inductivităților proprii prin metoda ampermetrului și voltmetrului.

Schema din figură permite măsurarea atât în montaj amonte cît și în montaj aval, corespunzător valorii impedanței Z . Frecvențmetrul F se întrebuițează în schemă pentru determinarea frecvenței tensiunii de alimentare.

CAPITOLUL 5

MASURAREA CAPACITATILOR ELECTRICE

5.1. GENERALITATI

S-a constatat că între două conductoare încărcate cu sarcini electrice de semne contrare $+q$ și $-q$, izolate printr-un dielectric, se naște un câmp electric respectiv o diferență de potențial. Dacă aceste două conductoare sau armături se realizează de o anumită formă și se dispun față în față la o anumită distanță, se formează un dispozitiv care se numește condensator electric. Dependența dintre sarcina electrică pozitivă $+q$ și diferența de potențial dintre cele două armături U se evidențiază printr-o constantă denumită capacitate electrică.

5.1.1. Capacitatea electrică (simbol C)

Este raportul dintre sarcina electrică pozitivă de pe armătura unui condensator și diferența de potențial dintre cele două armături ale condensatorului. Matematic acest raport se exprimă prin relația

$$C = \frac{q}{U} \quad (5.1)$$

în care:

C este capacitatea condensatorului electric;

q - sarcina electrică pozitivă a condensatorului;

U - diferența de potențial dintre armăturile condensatorului electric.

Condensatoarele electrice se reprezintă în diferite moduri corespunzător destinației lor. În fig. 5.1 sînt redată simbolurile prin care se reprezintă condensatoarele în schemele electrice.

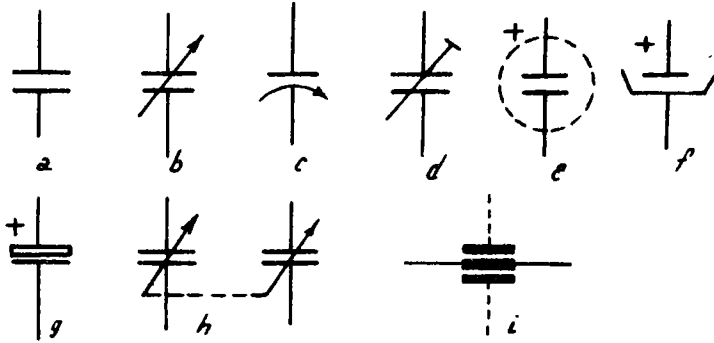


Fig. 5.1. Simboluri utilizate pentru reprezentarea condensatoarelor în scheme.

Fiecare simbol are semnificația următoare:

- a - condensator fix în general;
- b - condensator cu capacitate variabilă;
- c și d - condensator ajustabil (trimer);
- e, f și g - condensator electrolitic;
- h - bloc de condensatoare cu capacitate variabilă;
- i - condensator de trecere.

Pentru creșterea capacității electrice a unui condensator, se introduce între armăturile acestuia un dielectric (material electroizolant).

Dacă dielectricul are permitivitatea relativă ϵ_r , capacitatea va crește de ϵ_r conform relației

$$C = \epsilon_r C_0 \quad (5.2)$$

în care

C este capacitatea condensatorului cu dielectric ϵ_r ;

ϵ_r - permitivitatea relativă a dielectricului dintre armăturile condensatorului;

C_0 - capacitatea condensatorului cu dielectric vid.

Condensatoarele electrice se leagă în diferite moduri dar uzual se întrebuițează legarea serie și legarea paralel.

Capacitatea echivalentă a două condensatoare legate în serie (fig. 5.2 a) este

$$C_e = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} \quad (5.3)$$

iar capacitatea lor echivalentă cînd sînt legate în paralel (fig. 5.2 b) este

$$C_e = C_1 + C_2 \quad (5.4)$$

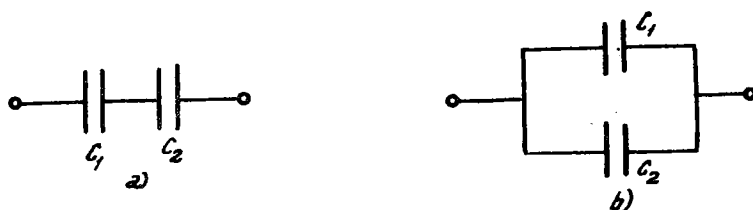


Fig. 5.2. Legarea a două condensatoare electrice: a - serie; b - paralel.

Condensatoarele electrice se utilizează în circuite de curent continuu dar sînt mai răspîndite în circuite de curent alternativ. În curent continuu, condensatorul electric separă circuitul electric dar în curent alternativ se comportă ca o "rezistență" ce se opune trecerii curentului. Această rezistență se numește reactanță capacitivă (simbol X_c) și se măsoară în ohmi (Ω). Expresia matematică a acestei mărimi este

$$X_c = \frac{1}{\omega C} \quad (5.5)$$

în care:

- X_c este reactanța capacitivă a condensatorului din circuit;
- $\omega = 2\pi f$ - pulsația sau frecvența unghiulară a curentului alternativ; f - frecvența curentului alternativ;
- C - capacitatea condensatorului electric.

În aplicațiile practice de electronică s-a observat că nici un condensator nu este ideal. Acesta este însoțit de pierderi de energie electrică echivalente unor rezistențe electrice parazite, de acumulări de energie magnetică echivalente unor inductivități electrice parazite sau de acumulări de sarcini electrice, suplimentare, corespunzătoare unor capacități electrice parazite.

În fig. 5.3 este prezentată schema echivalentă a unui condensator real pentru care s-au neglijat capacitățile parazite ale armăturilor față de pământ.

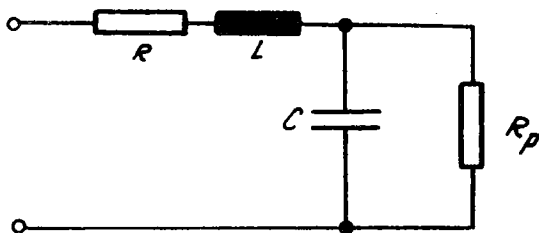


Fig. 5.3. Schema echivalentă a unui condensator real.

Caracteristicile condensatoarelor sînt următoarele:

- C_n - capacitatea nominală a condensatorului a cărei valoare se scrie sau se marchează în codul culorilor pe corpul condensatorului (F);
- % - toleranța capacității nominale;
- U_n - tensiunea nominală care se poate aplica în mod continuu la bornele condensatorului într-un anumit domeniu de temperatură (V);
- T_n - temperatura nominală - temperatura ambiantă maximă la care se poate aplica tensiunea nominală în mod permanent ($^{\circ}\text{C}$);
- R_{iz} - rezistența de izolație - raportul dintre tensiunea continuă aplicată condensatorului și curentul ce trece prin el, măsurat după un anumit timp și la o temperatură precizată (Ω);

I_f - curentul de fugă - curentul de conducție care trece prin condensator în regi în permanent, atunci cînd o tensiune continuă este aplicată la bornele sale (A); cu cît curentul de fugă este mai mic, cu atît mai mult se păstrează un condensator cu sarcină electrică după ce a fost încărcat;

V_{cc} - rigiditatea dielectrică - valoarea tensiunii continue maxime pe care trebuie să o suporte condensatorul timp de un minut fără să apară străpungeri sau conturnări (V);

$\text{tg } \delta$ - tangenta unghiului de pierderi - raportul dintre puterea disipată în condensator și puterea reactivă furnizată de acesta, cînd i se aplică o tensiune sinusoidală de frecvență precizată (exemplu: 1 kHz) la o temperatură precizată (exemplu: 20°C).

Acest parametru indică pierderile în dielectricul condensatorului. Din cauza acestor pierderi, curentul din condensator nu mai este defazat cu 90° înaintea tensiunii aplicate; unghiul de defazare φ este mai mic (fig. 5.4) și egal cu:

$$\varphi = 90^\circ - \delta \quad (5.6)$$

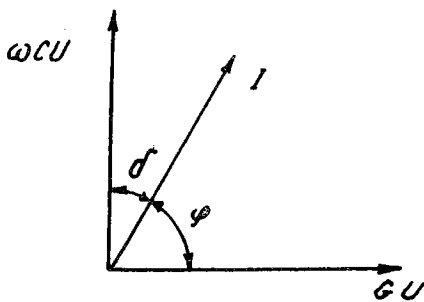


Fig. 5.4. Unghiul de pierderi

Dacă se notează cu R_d , rezistența corespunzătoare pierderilor în dielectric, atunci circuitul echivalent serie al condensatorului este conform fig. 5.5 iar unghiul de pierderi este

$$\text{tg } \delta = \omega C R_d \quad (5.7)$$

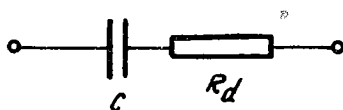


Fig. 5.5. Schema echivalentă serie a condensatorului.

Între factorul de calitate Q_C și tangenta unghiului de pierderi $\text{tg } \delta$ ale unui condensator, există următoarea relație:

$$Q_C = \frac{1}{\text{tg } \delta} \quad (5.8)$$

Asupra mărimii pierderilor, o influență semnificativă o au temperatura, umiditatea și frecvența; cu creșterea acestor factori, pierderile în condensatoare cresc. Condensatoarele actuale - cu excepția condensatoarelor electrolitice - au pierderi foarte mici; $\text{tg } \delta = (1 \div 0,1)\%$, $Q_C = 100 \div 1\,000$.

O altă caracteristică este constanta de timp a condensatorului;

τ - constanta de timp este produsul dintre rezistența de izolație R_{iz} și capacitatea nominală C_n a condensatorului [s].

Altfel exprimat, constanta de timp τ reprezintă timpul - măsurat în secunde - în care se încarcă un condensator de capacitate nominală C_n cu 63% din tensiunea aplicată la borne. Această mărime se mai definește și în alt mod: tensiunea aplicată la bornele unui condensator devine egală cu tensiunea sursei de alimentare după 5τ de la aplicare.

Considerînd schema echivalentă serie a unui condensator (fig. 5.6) alimentată dintr-o sursă de tensiune electromotoare E , se determină constanta de timp τ cu expresia

$$\tau = R_{iz} C_n \quad (5.9)$$

în care:

R_{iz} este rezistența de izolație a condensatorului;

C_n - capacitatea nominală a condensatorului.

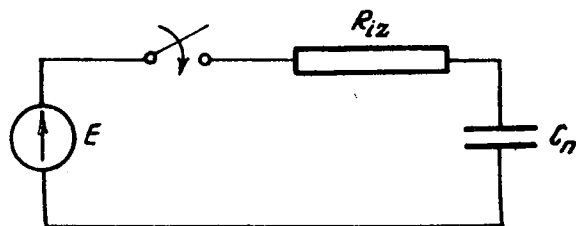


Fig. 5.6. Circuitul echivalent serie al unui condensator alimentat de la sursa E .

Pentru măsurarea exactă a valorii capacității condensatoarelor, se recomandă respectarea condițiilor de lucru. Dacă aceste condiții nu influențează valoarea capacității, se pot adopta și alte condiții în care să se facă măsurarea mai simplu. Totuși, în orice situație este important să se țină seama de următoarele:

- prezența în apropiere a unui aparat, mâna operatorului, corpuri metalice etc. influențează capacitatea unui condensator iar dacă măsurarea se face în apropierea pământului, situația se complică și mai mult; adeseori se folosește - ca remediu - ecranarea condensatorului astfel ca ecranul să înbrăce complet armăturile condensatorului (fig. 5.7);

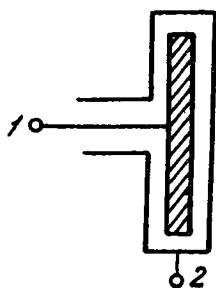


Fig. 5.7. Condensator ecranat.

- pentru eliminarea influenței firelor de conexiune se utilizează măsurarea dublă cu și fără condensator (pentru $C < 10\,000$ pF); când se folosesc conectoare speciale nu mai este necesară această precauție.

Pierderile condensatoarelor sînt puternic influențate de frecvență, se impune utilizarea materialelor electroizolante ca dielectric pentru condensatoare în funcție de frecvență conform fig. 5.8.

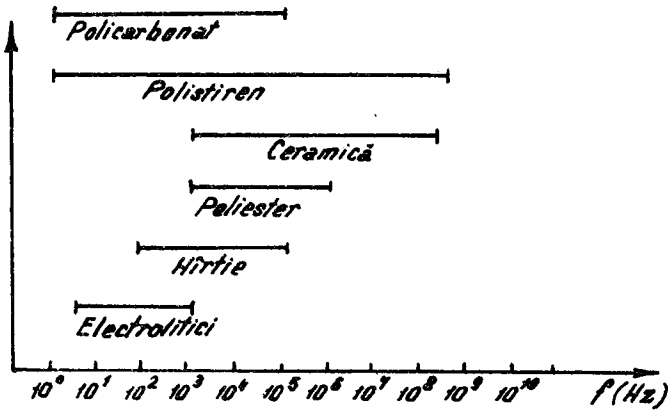


Fig. 5.8. Domeniul de utilizare al condensatoarelor în funcție de frecvență.

O categorie foarte utilizată în practică este reprezentată de condensatoarele electrolitice. Dielectricul acestor condensatoare este depus pe anod și realizat dintr-un strat de oxid de aluminiu (Al_2O_3) - pentru condensatoarele cu aluminiu - sau de pentoxid de tantal (Ta_2O_5), la cele cu tantal. Celălalt electrod - catodul - constă dintr-un electrolit păstrat într-o hîrtie poroasă respectiv dintr-un semiconductor obținut din bioxid de magneziu (MnO_2) la cele cu tantal. Stratul de oxid al condensatoarelor electrolitice polarizate are proprietăți electroizolante numai cînd tensiunea se aplică cu plusul pe anod și cu minusul pe catod. Dacă se inversează polaritatea, se produce oxidarea catodului printr-un proces electrochimic, condensatorul se încălzește și apoi se distruge. Există totuși o tensiune de polaritate inversă critică pentru care nu se oxidează catodul. Această proprietate permite folosirea condensatoarelor electrolitice polarizate la filtrarea tensiunii redresate; acestea suportă pe lîngă componenta continuă - care le polarizează normal - și o componentă alternativă.

Pentru utilizarea și în curent alternativ s-au realizat condensatoare electrolitice nepolarizate; în acest caz, ambele armături au aceeași struc-

tură. În aplicații sau în proiectări de circuite electrice, interesează schema electrică echivalentă a condensatorului electrolitic (fig. 5.9).

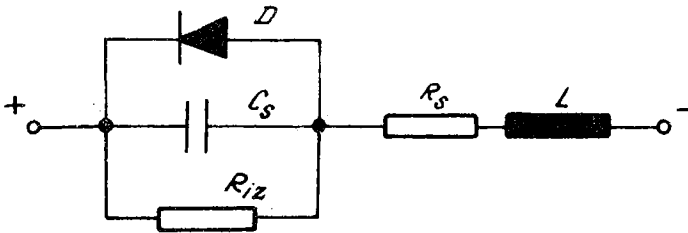


Fig. 5.9. Schema electrică echivalentă a condensatorului electrolitic.

Elementele de circuit din schemă au următoarele semnificații:

C_s reprezintă capacitatea serie a condensatorului;

R_{iz} - rezistența de izolație a condensatorului;

R_s - rezistența echivalentă serie care include rezistențele terminalelor, contactelor, armăturilor dielectricului și electrolitului;

L - inductivitatea condensatorului;

D - diodă prin care se reprezintă caracterul unidirecțional pentru dielectric; rezistența de izolație a dielectricului devine zero dacă se inversează polaritatea tensiunii aplicate.

Utilizarea în tehnică a condensatoarelor este determinată de caracteristicile constructive și în primul rând de natura dielectricului. Grupate după acest criteriu, condensatoarele se împart în mai multe categorii.

Condensatoare cu dielectric hîrtie (marcate cu H); se întrebuintează în circuite de curent continuu, radioreceptoare și televizoare pentru cuplări, decuplări, filtre, circuite de baleiaj pe orizontală, instalații de iluminat cu lămpi cu descărcări în gaze, circuite de redresare, pornirea și funcționarea motoarelor asincrone monofazate, antiparazitarea micromotoarelor (bormașini, ventilatoare etc.) antiparazitarea instalațiilor de alimentare a aparaturii de radiocomunicații, circuite de defazare pentru motoare asincrone monofazate, circuite de deflexie din televizoare.

Condensatoare cu dielectric din plastic - mylar, stiroflex - (marcate cu P); se utilizează în radioreceptoare, televizoare și aparatură industrială și de telecomunicații, antiparazitarea autovehiculelor, automatizări, telecomunicații, radioelectronică.

Condensatoare electrolitice cu aluminiu și tantal (marcate cu E); se folosesc în circuite de cuplare și decuplare în aparatura specială, radioreceptoare și televizoare, circuite de filtrare ale redresoarelor pentru alimentarea aparaturii tranzistorizate, circuite de filtrare ale redresoarelor de înaltă tensiune, pentru implantare.

Condensatoare ceramice (marcate cu C); se folosesc în echipamente de telecomunicații electronice, în domeniul radiofrecvențelor (au pierderi mici și stabile cu temperatura) în circuite în care se cer gabarite reduse ale componentelor.

Condensatoare cu mica - pentru că au pierderi reduse și capacitate stabilă - se folosesc în circuite de radiofrecvență, în circuite de blocare, de decuplare, de filtrare, de cuplaj etc.

Condensatoare variabile; sînt larg răspîndite în construcția radioreceptoarelor, radioemițătoarelor, aparatelor de măsură și control. Dielectricul la aceste condensatoare poate fi aerul, mica, pertinaxul, stiroflexul etc.

Condensatoare ajustabile (trimeri); sînt utilizate mai ales în domeniul radiotehnicii. Asupra lor se acționează foarte rar, cu ajutorul unei șurubelnițe sau chei speciale. Se folosesc mai ales pentru compensarea capacităților parazite sau în circuitele oscilante din etajele de radiofrecvență ale emițătoarelor de mică putere.

5.2. UNITATI DE MASURA

Valoarea capacității electrice se exprimă cu ajutorul următoarelor unități de măsură:

Farad (simbol F) este capacitatea unui condensator electric care sub o tensiune de un volt între armăturile lui se încarcă cu o sarcină electrică de un coulomb.

$$1 \text{ farad} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ volt}} \quad \text{sau} \quad 1 \text{ F} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ V}}$$

În Sistemul Internațional SI este unitate derivată.

Submultiplii farad-ului sînt:

- milifarad (simbol mF) ; este egal cu 10^{-3} F,

$$1 \text{ mF} = 10^{-3} \text{ F} ;$$

- microfarad (simbol μF) ; este egal cu 10^{-6} F,

$$1 \mu\text{F} = 10^{-6} \text{ F} ;$$

- nanofarad (simbol nF) ; este egal cu 10^{-9} F,

$$1 \text{ nF} = 10^{-9} \text{ F} ;$$

- picofarad (simbol pF) ; este egal cu 10^{-12} F,

$$1 \text{ pF} = 10^{-12} \text{ F}$$

5.3. MIILOACE DE MASURAT ALE CAPACITATILOR ELECTRICE

Capacitatea condensatoarelor electrice se măsoară - ca și inductivitățile electrice - cu diverse mijloace și aparate de măsurat.

5.3.1. Condensatoare etalon

Se întrebuițează la verificarea și etalonarea instrumentelor de măsurat, la compararea lor cu condensatoare a căror capacitate trebuie determinată.

Capacitatea condensatoarelor etalon trebuie să prezinte o bună stabilitate la variații de temperatură și de frecvență. Pentru eliminarea acestor influențe nedorite se adoptă diferite soluții constructive (dielectrice de calitate, ecranarea condensatoarelor etalon etc.).

Din punct de vedere al dielectricului întrebuițat, condensatoarele etalon sînt cu dielectric gazos și dielectric solid. Stabilitatea acestora în timp este determinată de deformările armăturilor, pieselor de susținere etc. sau de schimbarea compoziției și proprietăților gazului dielectric precum și de alterarea suprafețelor armăturilor metalice.

La condensatoarele neînchise etanș, cu dielectric aer, o influență nefavorabilă asupra modificării capacității o are aerul. Pentru alți dielectrice gazeși, condensatoarele etalon se ermetizează și se păstrează în încăperi fără variații de temperatură. Cele mai bune condensatoare etalon cu dielectric gazos sînt realizate din aliaje care nu se dilată - invar - închise etanș și umplute cu azot uscat. Precizia condensatoarelor etalon cu dielectric este ridicată, variind cu frecvența, temperatura și în timp prin procesul de îmbătrînire.

Condensatoarele etalon cu dielectric solid sînt caracterizate printr-o stabilitate ridicată ($0,001 \div 0,01\%$ într-un an), variația redusă în funcție de temperatură și a unghiului de pierderi în funcție de frecvență. Dacă sînt neetanșe, se observă o influență mare a umidității asupra capacității condensatorului care se constată după zile sau săptămîni. Ca materiale dielectrice se întrebuițează mica, polistiren plasticizat (stiroflex), cuarț topit. De exemplu, condensatoarele cu dielectric constituit din **cuarț** topit prezintă valori de la 10 pF la 100 pF și o stabilitate anuală de $10^{-6} \dots 10^{-7}$. Din acest motiv se întrebuițează ca etaloane de mare precizie în laboratoare de metrologie.

O atenție deosebită trebuie acordată construcției condensatoarelor etalon pentru frecvențe înalte ($1 \div 100$ MHz). Aceste condensatoare etalon trebuie să nu prezinte inductanțe parazite iar conectarea lor în circuit trebuie făcută cu multă grijă pentru înlăturarea capacităților parazite. Se folosește în acest scop un conector coaxial de precizie cu capacitate parazită foarte mică.

5.3.2. Cutii de capacități

Sînt realizate din serii de capacități cu valoare mică dispuse decadal. Combinația de valori se realizează prin intermediul unor comutatoare cu zece poziții.

Dielectricul condensatoarelor din cutie este constituit din mica iar armăturile din argint depus pe plăcuțele de mica.

Laboratorul de metrologie din I.I.R.U.C. utilizează o cutie decadică de capacități produsă de firma GenRad din S.U.A. Domeniul de măsură este cuprins de la 0 la $1,1111 \mu\text{F}$. Prezintă o stabilitate anuală de $\pm (0,01\% + 0,1 \text{ pF})$. Se întrebuințează într-un domeniu de frecvențe de la 0 la 1 MHz. Are șase decade cu următorii pași: 1, 10, 100, 1 000 pF și 0,01, 0,1 μF .

5.3.3. Faradmetru (fig. 5.10)

Este aparat electric de tip logometric asemănător megaohmmetrului. Aparatul indicator de tip logometric este alcătuit din două bobine cu miezurile mobile fixate pe același ax cu acul indicator; în serie cu o bobină se montează un condensator etalon iar pe aparat se află bornele pentru conectarea în serie cu cealaltă bobină a condensatorului de capacitate necunoscută.

Unghiul de deviație α al echipajului mobil este funcție de raportul curenților din bobine I_1 și I_2 .

$$\alpha = f \left(\frac{I_1}{I_2} \right) \quad (5.10)$$

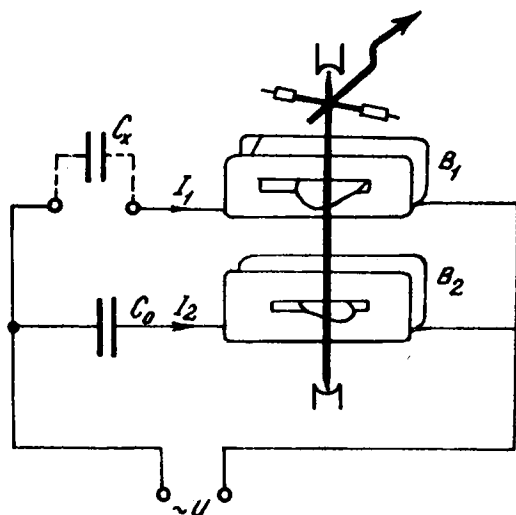


Fig. 5.10. Faradmetru.

Dar

$$I_1 = UC_x \omega \text{ și } I_2 = UC_o \omega \quad (5.11)$$

în care

U este tensiunea alternativă a sursei de alimentare ;

ω - pulsația tensiunii alternative ;

C_o - capacitatea condensatorului etalon ,

C_x - capacitatea condensatorului necunoscut.

Rezultă

$$\alpha = f \left[\frac{UC_x \omega}{UC_o \omega} \right] \quad (5.12)$$

sau

$$\alpha = f (C_x) \quad (5.13)$$

Aparatul are scara gradată în microfarazi (μF).

5.3.4. Capacimetru (fig. 5.11)

Este alimentat dintr-o sursă G_1 de joasă frecvență (50... 120 Hz) care generează o tensiune în dinți de fierăstrău. Această tensiune se aplică condensatorului de măsurat C_x la bornele inversoare ale unui amplificator operațional cu montaj derivativ. Tensiunea u_o de la ieșirea aparatului - de formă dreptunghiulară - are amplitudinea proporțională cu C_x și cu suma pantelor de creștere m_1 și descreștere m_2 a tensiunii în dinți de fierăstrău:

$$u_o = (m_1 + m_2) R C_x = K C_x \quad (5.14)$$

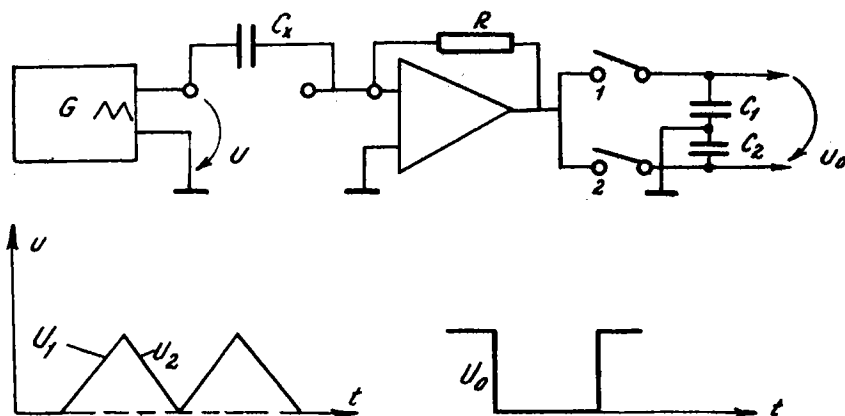


Fig. 5.11. Capacimetrul.

Tensiunea u_o se păstrează pe condensatoarele C_1 și C_2 fiind transmisă prin întreruptoarele 1 și 2 constituite din tranzistoare cu efect de câmp, comandate sincron de semnalul furnizat de sursa de alimentare. Cu ajutorul acestui instrument se pot măsura capacități de la 0,01 pF la 200 μF cu o precizie de 0,1 la 1%.

5.3.5. Punți electrice

Cu ajutorul acestora se măsoară capacitățile electrice; sînt punți alimentate în curent alternativ.

Indicatorul de nul este de asemenea pentru curent alternativ.

Puntea Sauty este întrebuințată pentru măsurarea capacităților condensatoarelor cu pierderi mici în dielectric (fig. 5.12).

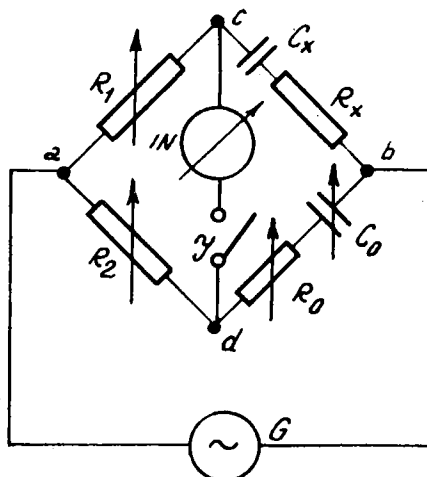


Fig. 5.12. Schema punții Sauty.

Condensatorul de măsurat se echivalează cu o capacitate C_x - fără pierderi - în serie cu o rezistență R_x echivalentă pierderilor iar condensatorul etalon C_o - fără pierderi - se înseriază cu o rezistență de precizie, variabilă, R_o .

Pentru echilibrarea punții se variază rezistența R_o și capacitatea C_o după ce s-a fixat în prealabil un anumit raport $\frac{R_2}{R_1}$.

La echilibrare, se obțin valorile capacității C_x și a rezistenței R_x :

$$C_x = \frac{R_2}{R_1} C_o \quad \text{și} \quad R_x = \frac{R_1}{R_2} R_o \quad (5.15)$$

Tangenta unghiului de pierderi rezultă:

$$\operatorname{tg} \delta_x = R_x C_x \omega = R_o C_o \omega \quad (5.16)$$

Se observă că relațiile de echilibru (5.15) sînt independente de frecvență ceea ce permite ca puntea să se alimenteze fie în curent alternativ sau în curent continuu.

Acest tip de punte - puntea Sauty - se folosește la I.I.R.U.C. și este inclusă în puntea universală RCL cunoscută sub denumirea de PUNTE RCL TIP EO-704 și produsă de I.E.M.I.-București (fig. 5.13).

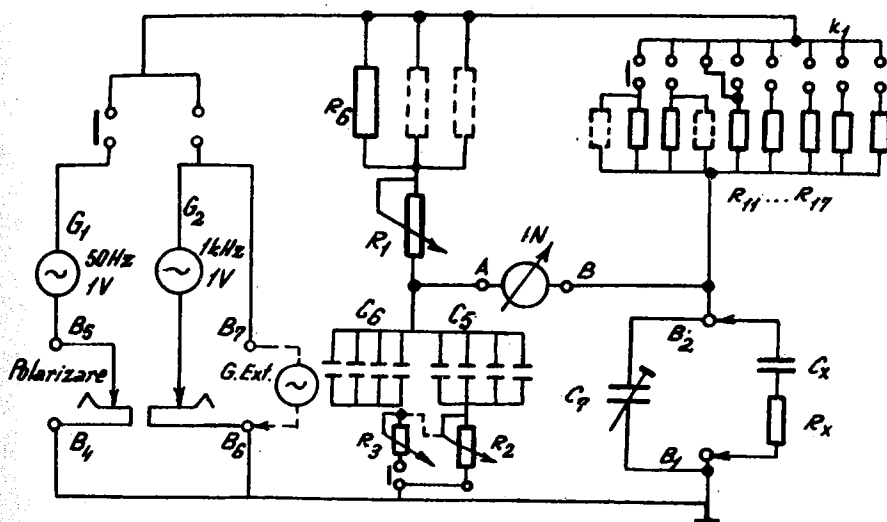


Fig. 5.13. Schema punții Sauty din PUNTEA RCL TIP EO-704.

În fig. 5.17 este prezentat - pentru a înlesni explicațiile - panoul frontal și elementele de reglare și semnalizare ale punții RCL.

Pentru echilibrarea punții se selectează o rezistență din grupul $R_{11,17}$ cu ajutorul comutatorului de game (10) și se reglează rezistențele R_2 și R_3 cu ajutorul butonului negru (3) notat pe panou cu $\operatorname{tg} \delta$. Tot pentru echilibrare se reglează rezistența R_1 , manevrată de cadranul indicator (1) și de butonul de multiplicator al cadranului indicator (13).

La echilibrare, curentul prin indicatorul de nul (4) este minim și acul acestuia este la minim - spre stînga.

Capacitatea necunoscută este

$$C_x = (R_1 + R_6) \frac{C_6}{R_{11, 17}} \quad (5.17)$$

Valoarea capacității C_x se determină din indicația comutatorului de game cu 8 poziții (10) și a cadranelor indicator (1). Comutatorul de funcțiuni (8) se fixează pe poziția C (măsurare capacități).

Din rezultatul obținut, se scade capacitatea proprie a bornelor B_1 și B_2 la care s-a conectat condensatorul supus măsurării ($C_{\text{borne}} = 10 \text{ pF}$). Această corecție se recomandă pentru condensatoare cu capacități mici ($< 5000 \text{ pF}$).

Sursa de alimentare internă are tensiunea de $1 V_{\text{ef}}$ și frecvența de 50 Hz pentru gama $100, 10$ și $1 \mu\text{F}$ iar pentru celelalte game: $100, 10, 1 \text{ nF}$ și $100, 10 \text{ pF}$, frecvența este de 1 kHz . Puntea se poate alimenta și din exterior cu o sursă de $2 V_{\text{ef}}$ (maxim) și o frecvență maximă de 10 kHz prin două borne plasate în spatele aparatului de măsurat. Pentru polarizarea condensatoarelor electrolitice, puntea se alimentează din exterior cu maxim 10 V c.c. prin alte două borne din spatele aparatului de măsurat.

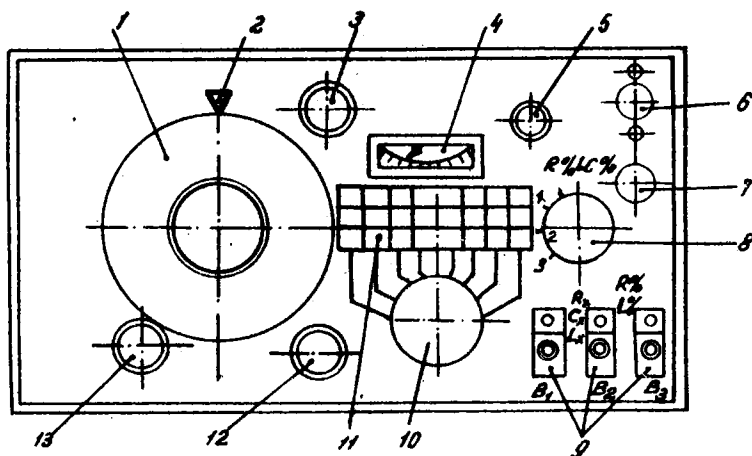


Fig. 5.14. Panoul frontal (PUNTEA RCL TIP EO-704).

Domeniul de măsură al punții este cuprins între 1 pF și 1050 μ F în următoarele game și limite de măsură:

Gama	Limite de măsură
10 pF	1 pF..... 105 pF
100 pF	50 pF..... 1050 pF
1 nF	0,5 nF..... 10,5 nF
10 nF	5 nF..... 105 nF
100 nF	50 nF..... 1050 nF
1 μ F	0,5 μ F..... 10,5 μ F
10 μ F	5 μ F..... 105 μ F
100 μ F	50 μ F..... 1050 μ F

Eroarea de măsurare este sub $\pm 5\%$, eroarea mai mare fiind pentru valori mari ale capacităților supuse măsurării.

Cu ajutorul punții RCL EO-704 se pot măsura capacitățile prin comparație cu un condensator etalon într-un domeniu $\pm 20\%$ pentru valori de condensatoare cuprinse între 10 pF și 1 000 μ F.

Puntea se pregătește pentru măsurarea condensatoarelor în modul următor:

- se conectează aparatul la rețeaua de tensiune 220 V/50 Hz;
- se basculează întreruptorul de rețea (6) pentru alimentare; se va aprinde imediat becul indicator (7);
- borna B_2 se lasă liberă;
- comutatorul de funcțiuni (8) se fixează pe poziția C (măsurare capacități);
- comutatorul de game (10) se pune pe gama 10 pF;
- cadranul indicator (1) se poziționează la diviziunea X_1 ;
- sensibilitatea se reduce la minimum cu potențiometrul (5);
- se crește sensibilitatea echilibrând puntea cu ajutorul butonului (3) "g" și al reductorului (13). După terminarea echilibrării, se citește capa-

citătea proprie a bornelor $B_1 - B_2$ pe cadranul indicator ; aceasta trebuie să fie de $10 \text{ pF} \pm 0,25 \text{ pF}$ (în caz contrar, se ajustează trimerul C_7 , accesibil prin capacul de fund al aparatului).

Puntea RLC are posibilitatea utilizării unui indicator extern (B_8 și B_9) în spatele aparatului - selectiv (analizor) sau neselectiv (milivoltmetru de c.a.) cu impedanță de intrare $> 10 \text{ k}\Omega$ (borna B_8 se leagă la masă).

Obs. Celelalte elemente de reglare și semnalizare de pe panoul frontal din fig. 5.14 au fost explicate în capitolul 4 "Măsurarea inductivității electrice".

Tot pentru măsurarea capacităților electrice ale condensatoarelor se folosesc și punțile prezentate în continuare.

Puntea Wien se recomandă a se utiliza atunci când se măsoară capacități ale condensatoarelor cu pierderi mijlocii în dielectric.

Puntea Schering se folosește la măsurarea capacității și unghiului de pierderi al condensatoarelor de înaltă tensiune, a cablurilor, izolatoarelor, a înfășurărilor de înaltă tensiune ale transformatoarelor. În acest scop, puntea se alimentează la o sursă de înaltă tensiune.

Puntea lucrează cu frecvențe industriale, audio sau radio.

Puntea Nernst se folosește la măsurarea capacității condensatoarelor cu pierderi mari în dielectric care se poate echivala printr-o capacitate C_x (fără pierderi) în paralel cu o rezistență R_x echivalentă pierderilor.

Puntea pentru măsurarea capacității condensatoarelor electrolitice.
Schema de principiu a punții de măsurare a capacității condensatoarelor electrolitice este prezentată în fig. 5.15. Puntea se alimentează de la o sursă de curent alternativ G, la frecvența de 50 Hz însoțită de o componentă continuă, furnizată de sursa E (sursă de polarizare).

Rolul condensatorului C este de a permite trecerea curentului alternativ, evitându-se astfel trecerea acestuia prin sursa de polarizare.

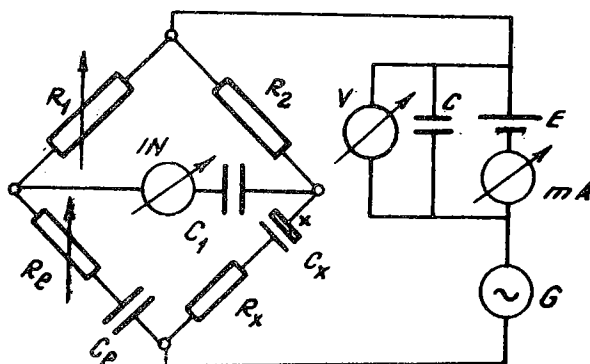


Fig. 5.15. Schema de principiu pentru măsurarea capacității condensatoarelor electrolitice.

Miliampermetrul mA montat în serie cu sursa de polarizare E măsoară curentul de fugă al condensatorului electrolitic; voltmetrul V de la bornele acestei surse, indică tensiunea de polarizare. Pentru echilibrarea punții, se manevrează rezistențele variabile R_1 și R_e . La echilibru, se calculează capacitatea C_x și rezistența R_x , cu ajutorul relațiilor:

$$C_x = C_e \frac{R_1}{R_2} ; R_x = R_e \frac{R_2}{R_1} \quad (5.18)$$

Rolul condensatorului C_1 este să nu permită curentului continuu să circule prin instrumentul indicator al punții.

Pe un principiu asemănător se bazează funcționarea punții RCL EO-704 la măsurarea condensatoarelor electrolitice.

După cum s-a precizat, sursa de polarizare a condensatoarelor electrolitice trebuie conectată din exterior la acest tip de punte.

5.4. METODE PENTRU MĂSURAREA CAPACITĂȚILOR ELECTRICE

5.4.1. Metoda voltmetrului și ampermetrului

Această metodă se poate aplica numai în cazul condensatoarelor de capacități $C \geq 1 \mu\text{F}$ deoarece curentul capacitiv $I = \omega CU$, la frecvența industrială - 50 Hz - și tensiuni $U = 120 \dots 220 \text{ V}$ are valori mici care nu pot fi măsurate direct dacă $C < 1 \mu\text{F}$ (de exemplu pentru $C = 0,1 \mu\text{F}$, $U = 120 \text{ V}$ și $f = 50 \text{ Hz}$, curentul este aproximativ 4 mA).

Montajele folosite sînt aval și amonte (fig. 5.16). La montajul aval, capacitatea necunoscută este

$$C_x = \frac{\sqrt{I^2 - I_v^2}}{2\pi f U} \quad (5.19)$$

iar la montajul amonte

$$C_x = \frac{1}{2\pi f \sqrt{\frac{U^2}{I^2} - R_A^2}} \quad (5.20)$$

În aceste expresii, termenii au următoarele semnificații:

$I_v = \frac{U}{R_v}$ este curentul care trece prin voltmetrul V de rezistență R_v ;

R_A - rezistența internă a ampermetrului;

f - frecvența sursei de alimentare indicată de frecvențmetrul F.

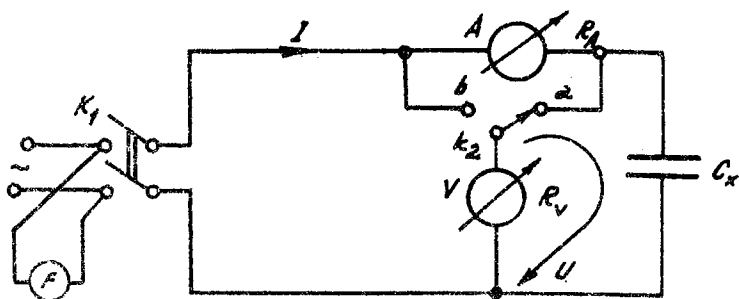


Fig. 5.16. Măsurarea capacităților prin metoda voltmetrului și ampermetrului: K_2 în poz. a; montaj aval; K_2 în poz. b; montaj amonte;

5.4.2. Metoda ampermetrului și releului polarizat (fig. 5.17)

Prin înfășurarea releului polarizat R circulă un curent de frecvență f generat de sursa G. Prin contactul de comutație al releului R se încarcă condensatorul C_x și apoi acesta se descarcă prin ampermetrul A de f ori în care f este frecvența sursei G.

Curentul care trece prin ampermetru este:

$$I = fQ = fEC_x \quad (5.21)$$

de unde rezultă

$$C_x = \frac{I}{Ef} \quad (5.22)$$

În aceste expresii:

f este frecvența cu care vibrează paleta releului;

Q - cantitatea de electricitate cu care se încarcă condensatorul C_x .

E - tensiunea sursei de curent continuu, de la care se încarcă condensatorul C_x .

Măsurarea prin această metodă este cu atât mai precisă cu cât clasa de precizie a ampermetrului este mai ridicată. Dacă se folosește un galvanometru sensibil se pot măsura capacități de 5 pF.

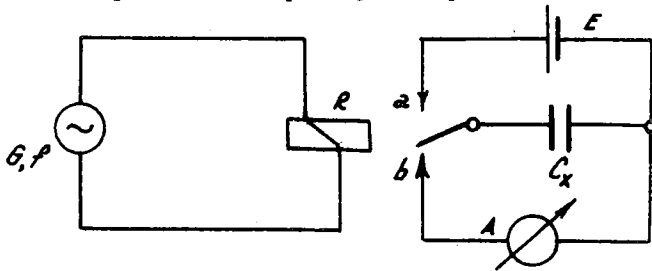


Fig. 5.17. Schemă de măsurare a capacităților prin metoda ampermetrului și releului polarizat.

5.4.3. Metoda comparației

Această metodă constă în măsurarea tensiunilor alternative U_{cx} și U_{co} la bornele condensatorului a cărui capacitate C_x se determină și la bornele condensatorului etalon de capacitate C_o (fig. 5.18).

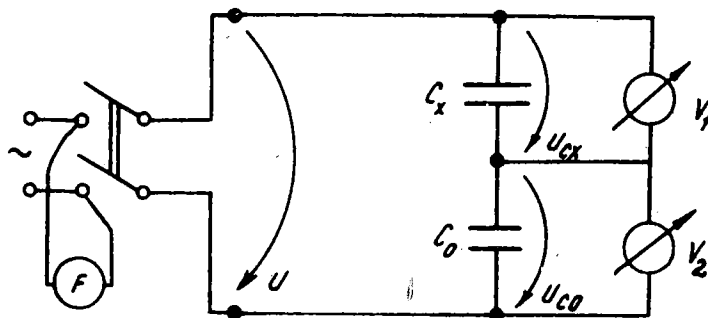


Fig. 5.18. Măsurarea capacităților prin metoda comparației.

Relația de calcul pentru capacitatea necunoscută este:

$$C_x = \frac{U_{cx}}{U_{co}} C_o \quad (5.23)$$

în care:

C_x este capacitatea condensatorului a cărui capacitate se determină;

C_o - capacitatea condensatorului etalon;

U_{cx} - tensiunea alternativă la bornele lui C_x ;

U_{co} - tensiunea alternativă la bornele lui C_o .

Metoda se aplică numai în cazul condensatoarelor care funcționează în curent alternativ și au pierderi mici.

5.4.4. Metoda galvanometrului balistic

Cu ajutorul galvanometrului balistic se compară cantitățile de electricitate acumulate la bornele unui condensator de capacitate necunoscută C_x , respectiv la bornele unui condensator de capacitate cunoscută C_o cu ajutorul galvanometrului balistic (fig. 5.19).

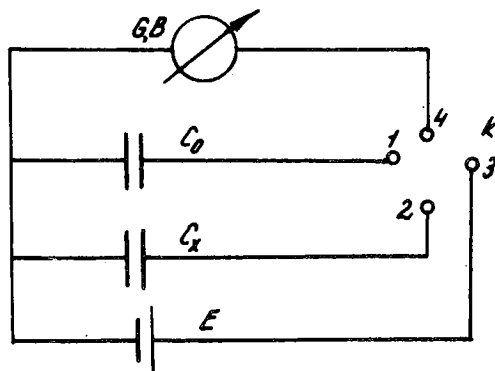


Fig. 5.19. Măsurarea capacităților prin metoda galvanometrului balistic.

Comutatorul cu patru poziții K se fixează pe poziția 1-3 pentru a se încărca condensatorul etalon C_0 de la sursa de tensiune continuă E (sursă stabilizată de 12... 24 V) cu cantitatea de electricitate

$$Q_0 = C_0 E \quad (5.24)$$

Se descarcă apoi C_0 prin trecerea comutatorului K pe poziția 1-4. Galvanometrul capătă o deviație α_0 proporțională cu cantitatea de electricitate

$$Q_0 = C_b \alpha_0 \quad (5.25)$$

în care:

C_b este constanta galvanometrului balistic.

Se procedează asemănător cu condensatorul de capacitate necunoscută. La încărcare - K pe poziția 3-2 - pe armăturile lui C_x se acumulează sarcina

$$Q_x = C_x E \quad (5.26)$$

La descărcare galvanometrul va devia cu α_x , deviație proporțională cu cantitatea de electricitate

$$Q_x = C_b \alpha_x \quad (5.27)$$

Dacă se face raportul celor două cantități de electricitate Q_0 și Q_x se obține expresia capacității necunoscute

$$C_x = C_0 \frac{\alpha_x}{\alpha_0} \quad (5.28)$$

5.4.5. Metoda multimetrului

Prin această metodă se pot măsura cu aproximație capacități de valori cuprinse într-un domeniu foarte larg. Se va prezenta utilizarea multimetrului românesc MAVO-1 produs la I.A.E.M.-Timișoara pentru măsurarea capacităților de la 1 μF până la 15 000 μF .

În acest scop se alege un domeniu de măsurare pentru rezistențe în funcție de valoarea capacității de măsurat conform scării de conversie din fig. 5.20.

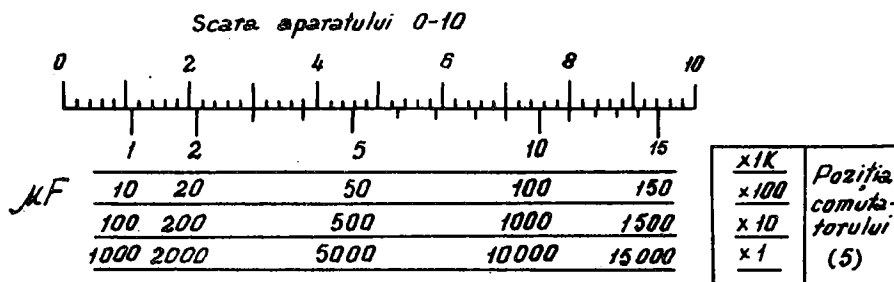


Fig. 5.20, Scara de conversie pentru măsurarea capacităților electrice cu multimetrul MAVO-1.

Se scurtcircuitează fișele cordoanelor de măsurat și cu ajutorul butonului de pe capacul aparatului se aduce acul indicator pe reperul zero ohmi (asemănător ca la măsurarea rezistențelor). Condensatorul supus măsurării trebuie descărcat în prealabil prin scurtcircuitare. Se realizează apoi contactul între fișele cordoanelor de măsurat și terminalele condensatorului urmărind în același timp deviația acului indicator.

La început, acul va devia spre dreapta după care va reveni spre stînga în poziție de repaus; pentru un condensator de calitate (fără pierderi) poziția de repaus va fi zero pe scara aparatului $0 \div 10$ diviziuni. Apoi se inversează imediat fișele cordoanelor de măsurat pe terminalele condensatorului constatîndu-se că acul indicator va devia din nou spre dreapta - mai mult ca prima dată - după care va reveni din nou pe poziția zero. Se reține valoarea deviației maxime a acului indicator (citită pe scala $0 \div 10$) și cu ajutorul scării de conversie din fig. 5.20 se determină valoarea capacității.

Aplicație

La măsurarea capacității unui condensator se procedează astfel:

- se verifică mai întîi dacă nu este străpuns condensatorul; verificarea se face în mod similar ca la o rezistență electrică;
- se selectează domeniul - ohmi $\times 1 K$ - și procedîndu-se ca mai sus, se obține o deviație a acului indicator, dincolo de capătul scării aparatului;
- se trece pe domeniul mai mic - ohmi $\times 100$ - și procedînd ca mai sus se obține o deviație a acului indicator pînă în dreptul cifrei 8 pe scara $0 - 10$;
- se citește pe scara de conversie din fig. 5.20 valoarea aproximativă de $110 \mu F$.

CAPITOLUL 6

MASURAREA CURENTULUI SI TENSIUNII ELECTRICE

6.1. GENERALITATI

Curentul și tensiunea electrică sînt mărimi care apar la descrierea și explicarea fenomenelor electromagnetice.

6.1.1. Curentul electric

Este constituit din purtători de sarcină electrică ce se deplasează în unitatea de timp printr-un fir conductor.

În cazul metalelor și vidului, purtătorii sînt electronii încărcăți cu sarcină electrică negativă.

În alte medii - de exemplu în electroliți - curentul electric este mixt; o parte din purtători - ionii pozitivi - au sarcină pozitivă și se deplasează într-un sens, de la potențialul mai ridicat spre potențialul mai scăzut, iar o parte - ionii negativi - au sarcină negativă și circulă în sens contrar.

În gaze, curentul electric este rezultatul deplasării într-un sens a purtătorilor de sarcină pozitivă - ionii pozitivi - și deplasării în sens invers a purtătorilor de sarcină negativă - ionii negativi și electronii.

La semiconductoare, spre deosebire de mediile conductoare descrise mai sus, curentul electric este creat de mișcarea electronilor din zona liberă și de mișcarea golurilor din zona de valență. Curentul electric din semiconductoare se aseamănă cu cel din electroliți și gaze; este un curent electric mixt

constituit din purtători de sarcină pozitivă și purtători de sarcină negativă.

Convențional, s-a adoptat ca sens pozitiv, sensul de mișcare al purtătorilor de sarcină pozitivă de la potențialul mai ridicat la potențialul mai scăzut.

După modul în care variază în timp, curentul din circuitele electrice se clasifică în:

- curent electric staționar sau curent continuu;

- curent electric variabil în timp.

- Curentul continuu este o mișcare ordonată și uniformă în timp a purtătorilor de sarcină electrică.

- Curentul electric variabil este tot o mișcare ordonată a purtătorilor de sarcină dar variabilă în timp. Acest curent electric variabil se clasifică la rândul său după modul în care se modifică deplasarea purtătorilor de sarcină electrică, în:

- curent electric periodic;

- curent electric tranzitoriu;

- curent electric în impulsuri.

- Curentul electric periodic este o mărime variabilă ale cărei valori se repetă după intervale de timp egale.

În aplicațiile practice, curentul periodic cel mai utilizat este curentul alternativ sinusoidal (fig. 6.1):

$$i = I_m \sin (\omega t + \varphi) = \sqrt{2} I \sin (\omega t + \varphi) \quad (6.1)$$

în care:

i este valoarea instantanee a curentului la timpul t ;

I_m - valoarea maximă a curentului (A);

ω - pulsația sau frecvența unghiulară (rad/s);

t - timpul (s);

φ este faza inițială (rad);

I - valoarea eficace a curentului (A).

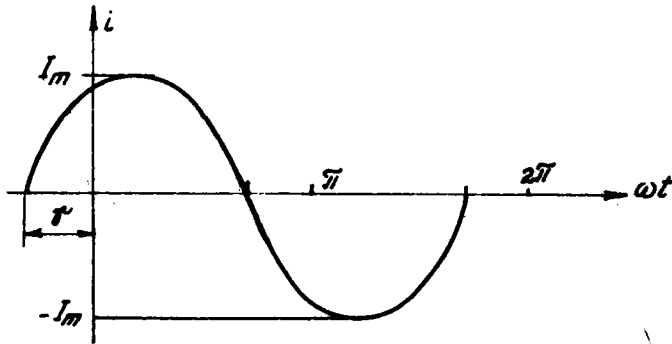


Fig. 6.1. Reprezentarea grafică a curentului alternativ sinusoidal: $i = I_m \sin (\omega t + \varphi)$.

Pulsanța ω este

$$\omega = 2 \pi f = \frac{2 \pi}{T} \quad (6.2)$$

în care:

f este frecvența (Hz);

T - perioada (s).

Tot în practică, se întâlnesc mărimi variabile în timp, periodice și de altă formă. În electronică - de exemplu - se folosește curentul în dinți de fierăstrău (fig. 6.2).

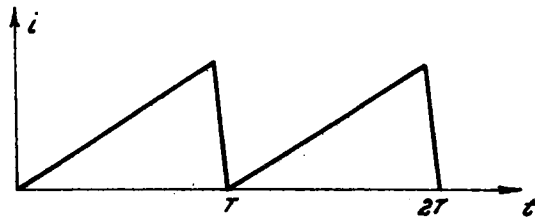


Fig. 6.2. Curentul electric în dinți de fierăstrău.

- Curentul electric tranzitoriu apare în circuitele electrice atunci când se trece de la un regim permanent la alt regim permanent de funcționare.

De exemplu, curentul electric într-un circuit compus dintr-o rezistență R și o inductivitate L alimentat de la o sursă de tensiune electromotoare E , variază - la închiderea circuitului - astfel (fig. 6.3):

$$i(t) = \frac{E}{R} (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}) \quad (6.3)$$

în care:

$i(t)$ este valoarea instantanee a curentului electric prin circuitul RL la timpul t (A);

E - tensiunea electromotoare a sursei de curent continuu (V);

R - rezistența electrică din circuit (Ω);

L - inductivitatea bobinei din circuit (H);

$\tau = \frac{L}{R}$ - constanta de timp (s);

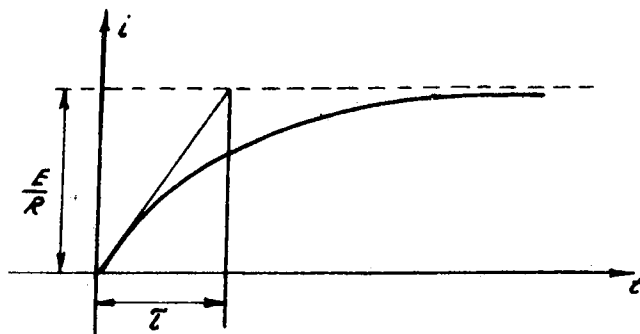


Fig. 6.3. Curentul tranzitoriu la închiderea unui circuit RL.

Dacă circuitul electric este format dintr-o rezistență R și o capacitate C , atunci curentul electric variază - la închiderea circuitului - astfel (fig. 6.4):

$$i(t) = \frac{E}{R} e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6.4)$$

în care:

$i(t)$ este valoarea instantanee a curentului electric prin circuitul RC la timpul t (A);

E - tensiunea electromotoare a sursei de curent continuu (V);

R - rezistența electrică din circuit (Ω);

C - capacitatea condensatorului din circuit (F);

$\tau = RC$ - constanta de timp a circuitului RC (s).

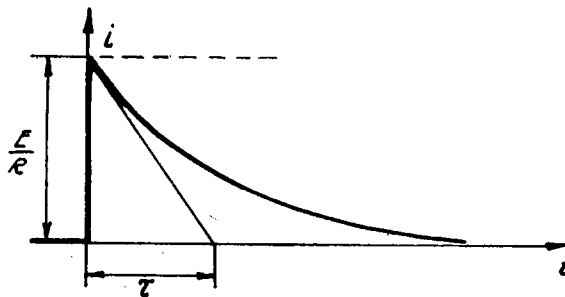


Fig. 6.4. Curentul tranzitoriu la închiderea unui circuit RC.

- Curentul electric în impulsuri. Când timpul de creștere sau de scădere a curentului într-o semiperioadă se reduce foarte mult - până la nanosecunde - atunci curentul periodic devine un curent în impulsuri. Acesta păstrează caracteristicile unui curent electric periodic: amplitudine, perioadă, frecvență.

Ca exemplu, se prezintă curentul electric în impulsuri cu variație dreptunghiulară - folosit în tehnica de calcul (fig. 6.5).

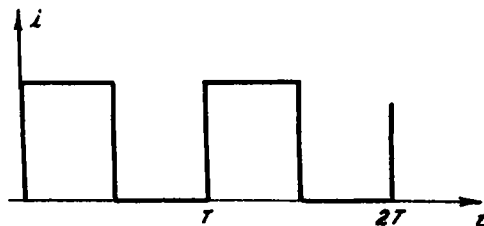


Fig. 6.5. Curentul electric cu variație dreptunghiulară în timp.

6.1.2. Tensiunea electrică - denumită și diferență de potențial - este produsul dintre intensitatea medie a câmpului electric și lungimea liniei de-a lungul căreia se determină tensiunea; produsul se calculează în direcția intensității câmpului electric.

Tensiunea electrică se notează prescurtat cu U , u .

După modul în care variază în timp, tensiunea - ca și curentul electric - poate fi:

- tensiunea electrică continuă;
- tensiunea electrică variabilă în timp.

- Tensiunea electrică continuă se caracterizează printr-o valoare constantă în timp.

- Tensiunea electrică variabilă se modifică în funcție de timp și poate fi:

- tensiune electrică periodică;
- tensiune electrică tranzitorie;
- tensiune electrică în impulsuri.

- Tensiunea electrică periodică - frecvent utilizată - este tensiunea alternativă sinusoidală (fig. 6.6);

$$u = U_m \sin (\omega t + \beta) = \sqrt{2} U \sin (\omega t + \beta) \quad (6.5)$$

în care:

u este valoarea instantanee a tensiunii electrice la timpul t ;

U_m - valoarea maximă a tensiunii (V);

ω - pulsația sau frecvența unghiulară (rad/s);

t - timpul (s);

β - faza inițială;

U - valoarea eficace a tensiunii (V).

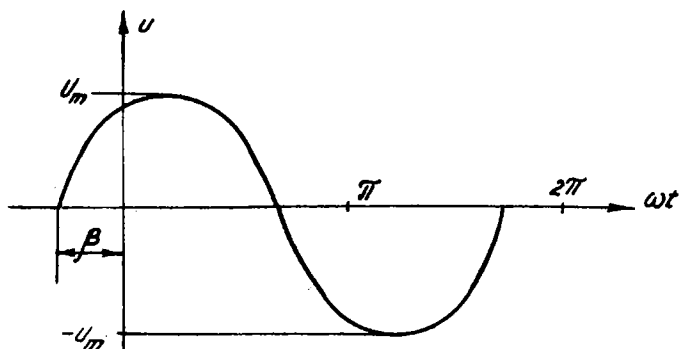


Fig. 6.6. Reprezentarea grafică a tensiunii alternative sinusoidale: $u = U_m \sin (\omega t + \beta)$.

În tehnică, se întâlnesc tensiuni electrice variabile și de altă formă. De exemplu, în electronică, se obține după **redresare** o tensiune electrică pulsatorie (fig. 6.7).

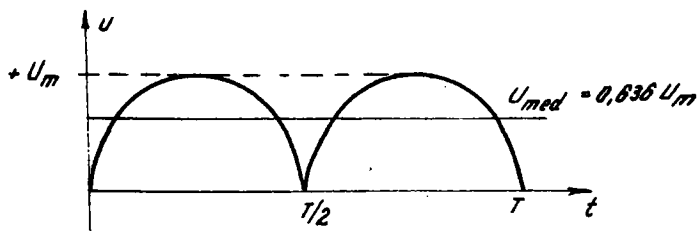


Fig. 6.7. Tensiune electrică pulsatorie obținută după redresarea ambelor alternanțe.

- Tensiunea electrică tranzitorie apare ca și curentul electric, în circuitele electrice, când se trece de la un regim permanent de funcționare la alt regim permanent de funcționare.

De exemplu, tensiunea electrică dintr-un circuit compus dintr-o rezistență R și o inductivitate L alimentat de la o sursă de tensiune electromotoare E , variază la închiderea circuitului, astfel (fig. 6.8):

$$u_L(t) = E e^{-\frac{t}{\tau}} \quad (6.6)$$

în care:

$u_L(t)$ este valoarea instantanee a tensiunii electrice de la bornele bobinei din circuitul RL la timpul t (V);

E - tensiunea electromotoare a sursei de curent continuu (V);

$\tau = \frac{L}{R}$ - constanta de timp (s);

L - inductivitatea bobinei din circuit (H);

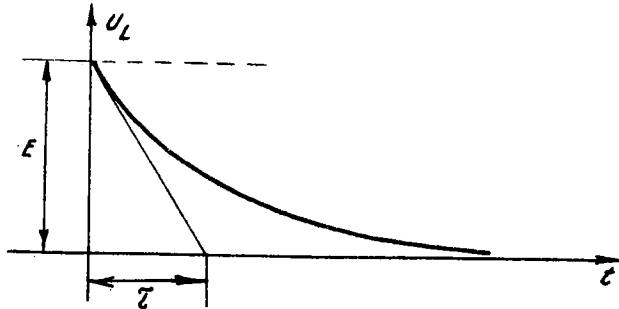


Fig. 6.8. Tensiunea electrică tranzitorie la bornele bobinei dintr-un circuit RL.

Dacă circuitul electric este format dintr-o rezistență R și o capacitate C , atunci tensiunea electrică variază la închiderea circuitului, astfel (fig. 6.9):

$$u_C(t) = E \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}} \right) \quad (6.7)$$

în care:

$u_C(t)$ este valoarea instantanee a tensiunii electrice la bornele condensatorului din circuitul RC la timpul t (V);

E - tensiunea electromotoare a sursei de curent continuu (V);

$\tau = RC$ - constanta de timp a circuitului RC (s);

R - rezistența electrică din circuit (Ω);

C - capacitatea condensatorului din circuit (F).

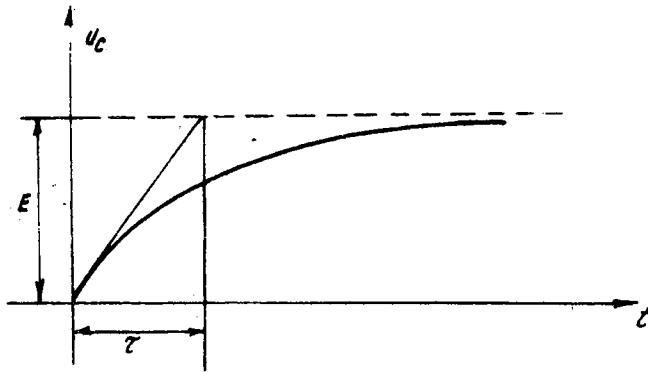


Fig. 6.9. Tensiunea electrică tranzitorie la bornele condensatorului dintr-un circuit RC.

Tensiunea electrică în impulsuri se întâlnește în diferite aplicații tehnice. De exemplu - asemănător curentului electric - se folosește în tehnica de calcul, tensiunea electrică în impulsuri cu variație dreptunghiulară (fig. 6.10).

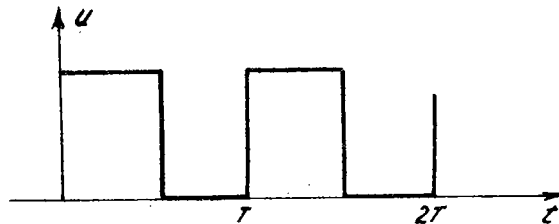


Fig. 6.10. Tensiunea electrică cu variație dreptunghiulară în timp.

6.1.3. Caracteristicile curentului și tensiunii electrice sinusoidale

Sînt următoarele:

Valoarea maximă I_m și U_m este cea mai mare valoare instantanee. Se mai numește și amplitudine.

Faza reprezintă argumentul sinusului, adică unghiul $\omega t + \varphi$ respectiv $\omega t + \beta$ pentru tensiunea electrică. Se măsoară în radiani (rad).

Faza inițială este valoarea fazei la momentul inițial ($t = 0$). Pentru curent, faza inițială se notează cu α iar pentru tensiunea electrică, cu β .

Valoarea medie I_{med} și U_{med} pentru variație sinusoidală și într-un interval de timp egal cu o perioadă este nulă.

$$I_{med} = 0 ; U_{med} = 0 ; \text{ pentru } t = T \quad (6.8)$$

Pentru o semiperioadă ($t = \frac{T}{2}$),

$$I_{med} = \frac{2 I_m}{\pi}$$

și

$$U_{med} = \frac{2 U_m}{\pi} \quad (6.9)$$

Valoarea efectivă I și U a curentului și tensiunii electrice sinusoidale este

$$I = \frac{I_m}{\sqrt{2}} \quad \text{și} \quad U = \frac{U_m}{\sqrt{2}} \quad (6.10)$$

Factorul de formă k_f al curentului și tensiunii electrice sinusoidale este

$$k_f = \frac{\pi}{2 \sqrt{2}} = 1,11 \quad (6.11)$$

Factorul de vîrf k_v al curentului și tensiunii electrice sinusoidale este

$$k_v = \sqrt{2} \quad (6.12)$$

Defazajul dintre doi curenți, două tensiuni sau dintre o tensiune și un curent electric este egal cu diferența celor două faze ale mărimilor respective.

De exemplu, defazajul dintre un curent și o tensiune electrică sinusoidală (fig. 6.11) de aceeași pulsație ω :

$$i = \sqrt{2} I \sin (\omega t + \theta)$$

și

$$u = \sqrt{2} U \sin (\omega t + \beta)$$

este

$$\varphi = (\omega t + \theta) - (\omega t + \beta) = \theta - \beta \quad (6.13)$$

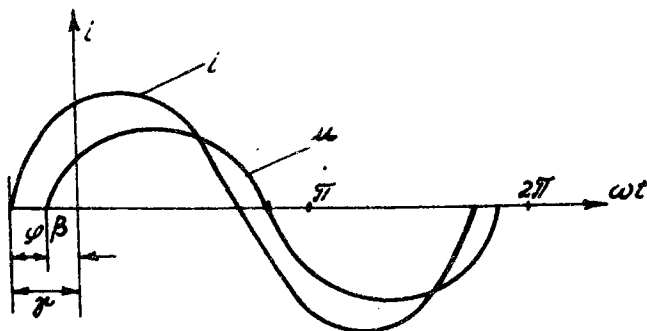


Fig. 6.11. Defazajul dintre un curent și o tensiune electrică sinusoidală.

6.2. UNITATI DE MASURA

6.2.1. Unități de măsură pentru curent electric

- Amper (simbol A) este intensitatea unui curent electric constant care, menținut în două conductoare paralele, rectilinii, cu lungime infinită și

cu secțiune circulară neglijabilă, așezate în vid la o distanță de 1 metru unul de altul, ar produce între aceste conductoare o forță de 2×10^{-7} newtoni pe o lungime de 1 metru.

Amperul este unitate de măsură fundamentală în Sistemul Internațional SI.

Amperul se mai definește ca raportul

$$1 \text{ amper} = \frac{1 \text{ coulomb}}{1 \text{ secundă}} ; 1 \text{ A} = \frac{1 \text{ C}}{1 \text{ s}}$$

și reprezintă sarcina electrică de un coulomb care traversează într-o secundă, secțiunea din conductor considerată.

Multiplii și submultiplii amperului sînt:

- kiloamper (simbol kA) este

$$1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A} ;$$

- miliamper (simbol mA) este

$$1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A} ;$$

- microamper (simbol μA) este

$$1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A} .$$

6.2.2. Unități de măsură pentru tensiune electrică

- Volt (simbol V) este diferența de potențial electric care există între două puncte ale unui conductor prin care trece un curent electric constant de 1 amper, cînd puterea disipată între cele două puncte este egală cu 1 watt.

Voltul este unitatea de măsură derivată în Sistemul Internațional SI. Multipli și submultipli voltului sînt următorii:

- kilovolt (simbol kV) este

$$1 \text{ kV} = 10^3 \text{ V};$$

- milivolt (simbol mV) este

$$1 \text{ mV} = 10^{-3} \text{ V};$$

- microvolt (simbol μV) este

$$1 \mu\text{V} = 10^{-6} \text{ V}.$$

6.3. MĂSURI DE MASURAT ALE CURENTULUI ȘI TENSIUNII ELECTRICE

În aplicațiile practice industriale sau de laborator, se cere ca măsurarea curenților și tensiunilor să se realizeze pentru domenii foarte largi de valori, de la ordinul microamperilor și microvolților pînă la mii de amperi sau volți, frecvența acestor mărimi putînd să ia valori de la zero (curent continuu) pînă la sute de megahertzi.

Pentru cunoașterea unei game largi de valori și frecvențe ale acestor două mărimi, s-au dezvoltat tehnici de măsurare foarte variate.

Astfel, pentru măsurarea curenților ($10^{-6} \dots 10^{-11}$ A) și tensiunilor ($10^{-4} \dots 10^{-8}$ V) foarte mici se folosesc galvanometre de curent continuu și curent alternativ.

Pentru valori mai mari ale acestor două mărimi, se întrebunează ampermetre și voltmetre al căror domeniu de măsură se extinde - în curent continuu - prin folosirea șunturilor și rezistențelor adiționale iar în curent alternativ, a transformatoarelor de măsură.

La frecvențe ridicate, cele mai precise aparate de măsurat sînt aparatele electronice și cele cu termocuplu.

Pentru măsurarea tensiunilor înalte se întrebuițează în curent continuu voltmetrele electrostatice.

În tehnica măsurării curentului și tensiunii electrice, mijloacele de măsurat folosite sînt foarte numeroase dar în acest manual se vor prezenta cele mai răspîndite instrumente de măsurat, întîlnite în cea mai mare parte a lor și în activitatea de service.

6.3.1. Măsurarea curentului continuu

Pentru măsurarea curentului electric este necesară întreruperea circuitului electric și apoi introducerea în acest circuit a unui aparat de măsurat (fig. 6.12), în general, un ampermetru (simbol A).

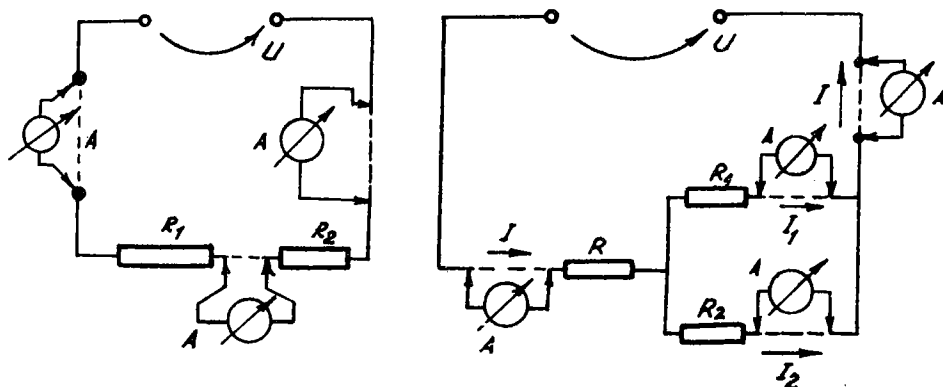


Fig. 6.12. Conectarea ampermetrului într-un circuit electric.

Curentul electric I care trece prin circuitul electric înainte de introducerea ampermetrului A (fig. 6.13) este

$$I = \frac{U_0}{R_t} = \frac{U_0}{R_G + R_r} \quad (6.14)$$

în care:

- U_o este tensiunea de funcționare în gol a generatorului G când $I = 0$;
 R_t - rezistența totală a circuitului electric;
 R_G - rezistența circuitului pasivizat;
 R_r - rezistența ramurii parcurse de curentul I .

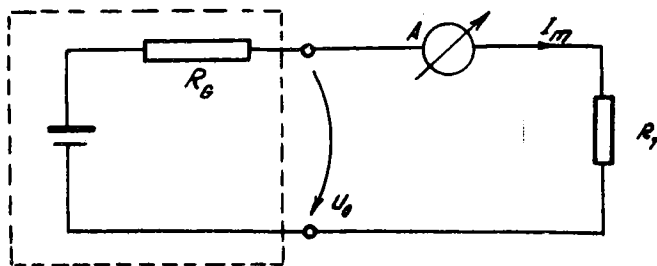


Fig. 6.13. Efectul introducerii ampermetrului în circuitul de măsurare.

După introducerea ampermetrului A, curentul electric se modifică -
 - devine un curent măsurat I_m - egal cu

$$I_m = \frac{U_o}{R_t + r_A} = \frac{U_o}{R_G + R_r + r_A} \quad (6.15)$$

în care

r_A este rezistența internă a ampermetrului.

Din expresiile (6.14) și (6.15) se deduce că rezistența r_A a ampermetrului A trebuie să fie cât mai mică față de rezistența totală a circuitului R_t pentru ca diferența dintre curentul I din circuit și curentul măsurat I_m să fie cât mai mică.

S-au realizat scheme de conectare a ampermetrelor în circuitul electric (la echipamentele de calcul ARITMA) fără să fie necesară întreruperea circuitului electric (fig. 6.14).

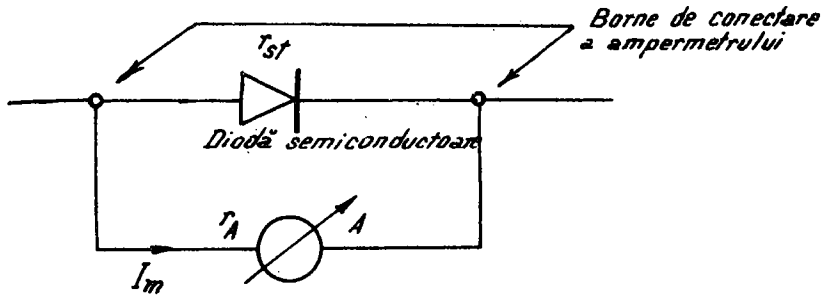


Fig. 6.14. Schemă de măsurare a curentului fără deconectarea circuitului electric.

Pentru ca eroarea de măsurare să fie mică, trebuie respectată condiția:

$$r_A < r_{st} \quad (6.16)$$

în care:

r_A este rezistența internă a ampermetrului;

r_{st} - rezistența statică a diodei.

- Galvanometre de curent continuu. Sînt aparate de tip magneto-electric, realizate dintr-un magnet permanent cu inducție magnetică B ridicată în întrefier și bobină mobilă cu număr mare de spire N .

Pentru micșorarea cuplului rezistent, se folosesc suspensii libere sau suspensii pe benzi elastice și bune conducătoare din punct de vedere electric.

Sistemul de indicație este realizat optic cu reflexie simplă sau multiplă, necesară amplificării deviației spotului luminos.

Bobina mobilă nu are carcasă; spirele sînt consolidate printr-un lac izolant. Amortizarea echipajului mobil este provocată de curenții induși în bobina mobilă cînd aceasta este conectată printr-o rezistență exterioară sau este

scurtcircuitată la borne. Amortizarea se aplică chiar în timpul transportului prin scurtcircuitarea bornelor galvanometrului.

Pentru ca echipajul mobil să aibă o amortizare sau o mișcare aperioidică amortizată - caz în care spotul indicator ajunge pe indicația respectivă într-un timp minim - rezistența exterioară trebuie să fie critică (R_c). Dacă rezistența exterioară este mai mare ca rezistența critică R_c , mișcarea este oscilatorie amortizată (spotul oscilează în jurul indicației) iar dacă rezistența exterioară este inferioară rezistenței critice, atunci mișcarea echipajului mobil este aperioidică, supraamortizată, spotul luminos ajunge la indicația respectivă într-un timp foarte mare.

Este important la măsurări de curenți cu acest instrument, să se realizeze în circuitul de măsură, rezistența critică R_c înscrisă ca valoare pe cadranul galvanometrului.

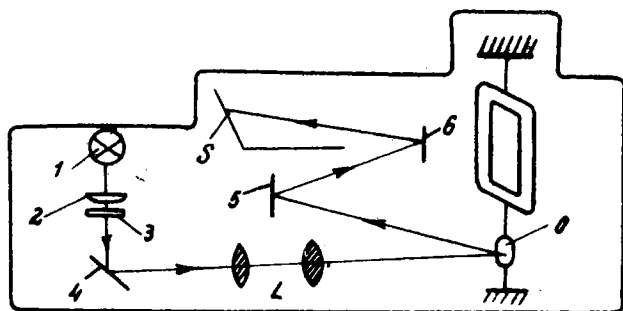


Fig. 6.15. Galvanometrul de curent continuu cu dublă suspensie.

Acesta se compune din (fig. 6.15):

- 1 - bec cu incandescență;
- 2 - lentilă;
- 3 - diafragmă cu reticul;
- 4, 5 și 6 - sistem de oglinzi;
- L - lentile;

O - oglindă montată pe firul de suspensie;

S - scară gradată.

Adaptarea galvanometrelor de curent continuu se realizează pentru extinderea domeniului de măsură peste limita corespunzătoare deviației maxime. Se folosesc în acest scop, reductoare de sensibilitate (fig. 6.16) cu ajutorul cărora se realizează următoarele:

- reducerea sensibilității galvanometrului la o valoare corespunzătoare curentului din circuitul de măsură;
- închiderea galvanometrului pe rezistența critică pentru reducerea la minimum a timpului de răspuns.

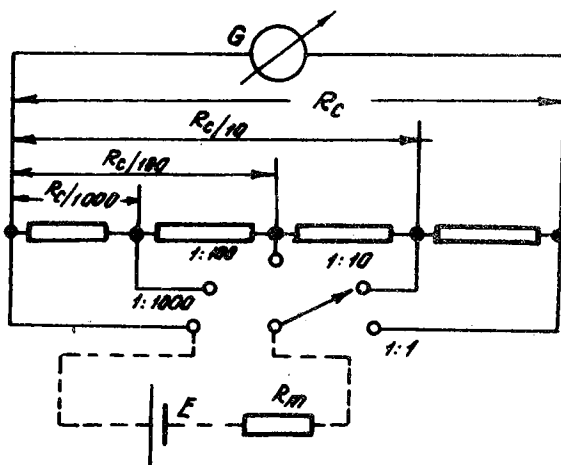


Fig. 6.16. Reductorul de sensibilitate.

- Picoampermetre. Se folosesc pentru măsurarea curenților foarte mici care străbat rezistența dielectricilor, curenților din camerele de ionizare, curenților fotoelectrici ($10^{-12} \dots 10^{-17}$) A.

Picoampermetrele sînt milivoltmetre electrometrice care conțin în schema lor și un amplificator. Milivoltmetrele electrometrice măsoară tensiuni foarte mici ale unor surse cu rezistență interioară foarte mare.

Se construiesc picoampermetre care permit măsurarea unor curenți de $10^{-12} \dots 10^{-17}$ A cu o precizie cuprinsă între 0,5 și 10%.

Picoampermetrele - ca și galvanometrele - de curent continuu se întrebuințează și ca indicator de zero în punțile electrice și electronice RCL.

- Ampermetre magnetoelectrice sînt aparate care conțin în schema de măsurare un dispozitiv magnetoelectric. Se folosesc numai în curent continuu.

După intervalul de măsurare aceste aparate se clasifică în:

- micro și miliampermetre magnetoelectrice pentru curenți relativ mici ($10 \mu A \dots 100 \text{ mA}$);
- ampermetre magnetoelectrice ($0,1 \text{ A} \dots 10 \text{ A}$).

Microampermetrele și miliampermetrele sînt constituite numai din dispozitivul magnetoelectric (vezi capitolul 2 - § 2.2.1) conectat în serie astfel ca prin bobina mobilă și prin resorturile spirale să treacă întreg curentul de măsurat (fig. 6.17).

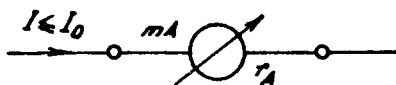


Fig. 6.17. Schema unui miliampermetru magnetoelectric.

Bobina mobilă se înfășoară pe un cadru suport din aluminiu. În acest cadru de aluminiu - echivalent cu o spirală în scurtcircuit - apar curenți induși atunci cînd cadrul se mișcă și determină cuplul de amortizare a întregului echipaj mobil.

Cadrul suport al bobinei mobile se suspendă prin benzi tensionate sau prin pivoți și paliere; este prevăzut de asemenea cu indicator optic sau cu ac indicator.

Curentul nominal care trece prin bobina mobilă este limitat superior (maxim 100 mA) de efectul caloric ce se naște în resorturile spirale care aduc curentul la bobina mobilă și care se pot deforma ireversibil.

Ampermetrele magnetoelectrice sînt realizate dintr-un microampermetru sau miliampermetru conectat la bornele unui șunt - rezistență de valoare mică și constantă.

Pentru valori ale curentului cuprinse între 0,1 A și câteva zeci de amperi, șuntul se montează împreună cu microampermetrul sau miliampermetrul magnetoelectric în interiorul aceleiași carcase formînd aparatul de măsurat denumit ampermetru magnetoelectric.

În fig. 6.18 este prezentată schema unui astfel de ampermetru magnetoelectric.

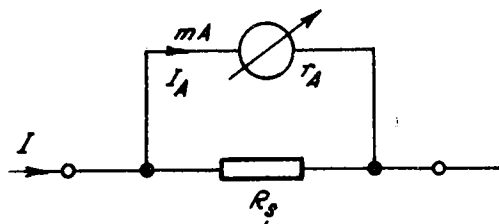


Fig. 6.18. Schema electrică a ampermetrului magnetoelectric.

- Ampermetre electrodinamice. Sînt utilizate mai mult în laboratoare pentru că funcționează în clase de precizie ridicată (0,5, 0,2 și chiar 0,1) și pentru ambii curenți: continuu și alternativ. În aceste aparate de măsurat se folosește dispozitivul electrodynamic prezentat în capitolul 2 § 2.2.3.

Pentru că deviația α a echipajului mobil este proporțională cu pătratul curentului I care străbate dispozitivul electrodynamic

$$\alpha = k I^2 \quad (6.17)$$

scara aparatului este patratică.

Prin artificii constructive, se obține însă liniarizarea scării. La curenți de măsură mai mici de 0,5 A bobinele dispozitivului electrodynamic se înseriază astfel că ambele bobine și resorturi spirale sînt parcurse de același curent (fig. 6.19).

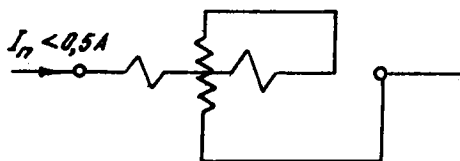


Fig. 6.19. Schema electrică a ampermetrului electrodynamic serie.

Pentru curenți pînă la 1 A, cele două bobine, mobilă și fixă se conectează în paralel (6.20).

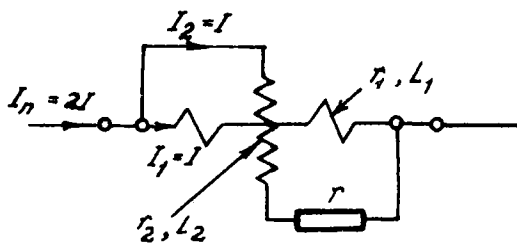


Fig. 6.20. Schema electrică a ampermetrului electrodinamic paralel.

Prin conectarea serie și paralel a bobinelor, ampermetrul electrodinamic poate avea două game de măsurare: de 0,5 A și 1 A.

Ampermetrele electrodinamice pot măsura curenți mai mari de 1 A dar trebuie în acest caz să se inserieze bobina fixă cu un șunt iar bobina mobilă să se lege în derivație la acest șunt (fig. 6.21).

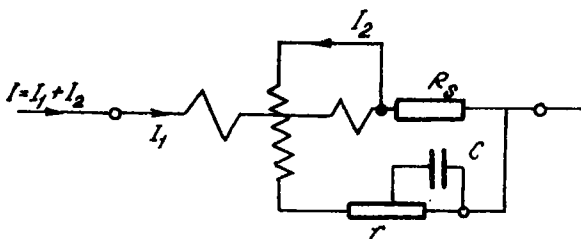


Fig. 6.21. Ampermetru electrodinamic cu șunt.

Ampermetrele electrodinamice se construiesc numai ca aparate etalon de clasă 0,2 sau 0,1 pentru curenți nominali cuprinși între 25 mA și 10 A. Aparatele au două game de măsurare. Exemplu: 0,5 și 1 A; 2,5 și 5 A; 5 și 10 A.

Consumul este cuprins de la 3 la 20 VA.

6.3.2. Măsurarea curentului continuu de foarte mare intensitate

- Ampermetre magnetoelectrice cu șunt exterior. Pentru curenți intensi - pînă la 20 kA - șunturile se montează în exteriorul aparatului de mă-

surat, în interiorul acestuia se plasează numai dispozitivul de măsurat - miliampermetrul.

În fig. 6.22 este prezentat un ampermetru magnetoelectric cu șunt exterior pentru măsurarea curenților intensi.

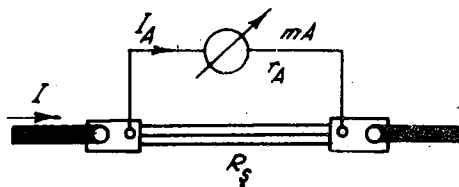


Fig. 6.22. Ampermetru magnetoelectric cu șunt exterior pentru curenți intensi.

Sunturile se construiesc din fire, benzi sau bare de manganină, material cu rezistivitate mare, coeficient de temperatură redus și tensiunea electromotoare de contact față de cupru neglijabilă.

Pe șunt se scrie curențul nominal și căderea de tensiune nominală ceea ce permite utilizarea șuntului cu orice miliampermetru care posedă o cădere de tensiune proprie egală cu aceea înscrisă pe șunt.

Între rezistența electrică a șuntului $R_{\text{ș}}$ și rezistența internă a miliampermetrului r_A , există o relație care se cere îndeplinită pentru ca indicațiile să fie corecte.

Această relație este

$$R_{\text{ș}} = \frac{r_A}{n - 1} \quad (6.18)$$

în care:

$R_{\text{ș}}$ este rezistența șuntului;

r_A - rezistența internă a miliampermetrului;

$n = \frac{I}{I_A}$ - coeficientul de multiplicare al șuntului,

Semnificația curenților I și I_a este următoarea:

I este curentul de măsurat;

I_a - curentul nominal care trece prin miliampermetru.

Pentru eliminarea rezistențelor de contact, șunturile posedă două perechi de borne; o pereche de borne de curent prin care se leagă în circuit șuntul și o pereche de borne de tensiune - mai mici - prin care se conectează la șunt, miliampermetrul.

Pentru că, frecvent, se confundă cele două perechi de borne, în fig. 6.23 se prezintă modurile corect și greșit de legare a șunturilor în circuit.

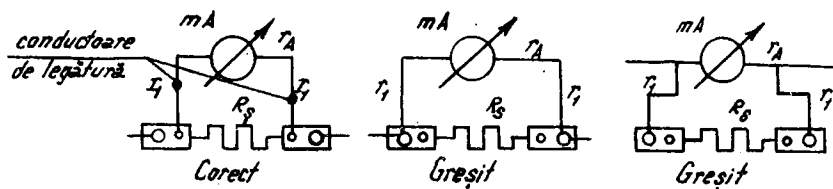


Fig. 6.23. Conectarea șuntului exterior la miliampermetrul magnetoelectric.

Miliampermetrele magnetoelectrice se leagă la șunturi prin intermediul a două conductoare de rezistențe electrice egale și calibrate.

În țara noastră se fabrică șunturi calibrate de 75 mV și curenți de 10 A până la 1 500 A în clasa de precizie 0,5.

Pentru destinații speciale se construiesc șunturi calibrate de 60 mV și curenți de 5... 1 500 A în clasele de precizie 0,5 și 1.

Cînd curenții de măsurat sînt de ordinul miilor sau zecilor de mili de amperi, rezistența șuntului se calculează cu formula

$$R_{\text{ș}} = \frac{r_A + 2 r_1}{n - 1} \quad (6.19)$$

în care:

r_1 este rezistența unuia din cele două conductoare de legătură ale miliampermetrului cu șuntul, ceilalți termeni sînt cunoscuți din relația (6.18).

Rezistența șuntului R_Σ are o valoare foarte mică dar pentru că intensitatea curentului electric care îl străbate este foarte intens, cantitatea de căldură disipată este foarte mare. De exemplu, într-un șunt de 100 mV prin care trece un curent de 20 kA, se produce o putere electrică de 2 kW care se disipă, ireversibil, sub formă de căldură. Pentru a evacua toată căldura produsă, șunturile se construiesc din plăci sau bare de manganină sudate la capete în blocuri masive de cupru (fig. 6.24).

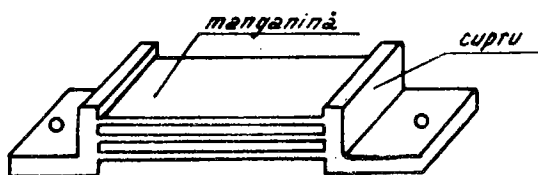


Fig. 6.24. Sunt format din plăci de manganină pentru curenți intensi.

Utilizarea șunturilor pentru curenți continui de mare intensitate prezintă și unele dezavantaje:

- nu se pot folosi la tensiuni înalte pentru că nu separă circuitul miliampermetrului (accesibil operatorului);
- volumul și greutatea șuntului crește foarte mult când curentul de măsurat este intens; de exemplu, greutatea unui șunt pentru 10 A este 40 kg;
- conductoarele parcurse de curenți intensi, legate la șunt, produc în jurul lor un câmp magnetic foarte puternic ce poate influența funcționarea aparatelor de măsurat din apropiere.
- Ampermetre cu traductor Hall. Curentul continuu de intensitate mare se poate măsura prin intermediul câmpului magnetic produs de acesta

într-un circuit magnetic auxiliar care înconjoară conductorul parcurs de curentul continuu de mare intensitate.

Circuitul magnetic întrebuințat în acest scop este format dintr-un miez feromagnetic prevăzut cu întrefier pentru introducerea elementului sensibil în prezența câmpului magnetic. Elementul sensibil la câmpul magnetic este un traductor bazat pe efectul Hall (vezi ELECTROTEHNICA IIRUC 1984) realizat dintr-un material semiconductor (indiu-arsen, indiu-stibiu).

Efectul Hall constă în apariția unei tensiuni U_H - tensiunea Hall - între două puncte ale unei plăcuțe semiconductoare prin care trece un curent electric - curentul de comandă I_C - când este plasată într-un câmp magnetic de inducție B (fig. 6.25).

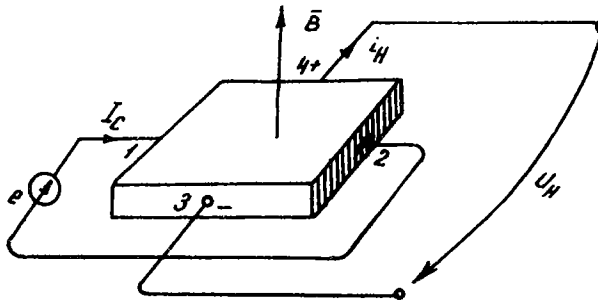


Fig. 6.25. Sonda Hall.

Pentru a fi utilizată, sonda Hall este prevăzută cu doi electrozi plăți 1 și 2 pentru curentul de comandă I_C și doi electrozi punctuali 3 și 4 pentru preluarea tensiunii Hall U_H și care se poate măsura apoi cu un instrument de măsurat.

Se demonstrează că tensiunea Hall U_H este perpendiculară pe direcția curentului I_C și pe direcția inducției B și are expresia

$$U_H = K_H B I_C \quad (6.20)$$

în care:

K_H este constanta Hall, funcție de natura materialului sondei și dimensiunile sale geometrice;

B - inducția magnetică;

I_C - curentul de comandă.

Schema de principiu a unui ampermetru cu traductor Hall este redată în fig. 6.26.

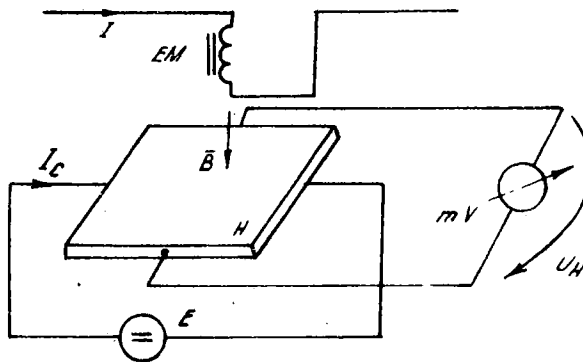


Fig. 6.26. Ampermetru cu traductor Hall.

Un astfel de ampermetru se compune dintr-un electromagnet EM prin bobina căruia trece curentul de măsurat I , dintr-o plăcuță Hall - notată cu H - plasată în întrefierul electromagnetului EM, dintr-o sursă stabilizată de curent continuu E care produce curentul de comandă constant I_C și dintr-un milivoltmetru magnetoelectric mV . Deoarece curentul I_C este păstrat constant și inducția B este proporțională cu curentul de măsurat I ($B = K_I I$) tensiunea U_H măsurată de milivoltmetrul mV va fi

$$U_H = K_H B I_C = K_H \cdot K_I I \cdot I_C = K I \quad (6.21)$$

Deci, **scara** milivoltmetrului mV se poate grada în valori ale curentului de măsurat.

Ampermetrele cu traductor Hall sînt utilizate în practică pentru următoarele avantaje:

- aparatul de măsurat este izolat galvanic de circuitul parcurs de curentul măsurat ceea ce permite folosirea acestuia și în circuite de tensiune ridicată fără pericol de electrocutare;

- circuitul magnetic se poate realiza din două părți, astfel că la montarea sa nu este necesară întreruperea circuitului prin care trece curentul de măsurat; unele ampermetre se construiesc sub formă de clește având traductorul Hall încorporat în fălcile cleștelui;

- aparatul nu absoarbe putere de la circuitul de măsurat iar puterea primită de la sursa auxiliară este mică, de ordinul a 10 W.

- precizia de măsurare nu este influențată de câmpuri magnetice externe iar influența variațiilor de temperatură este mică.

Cu ajutorul ampermetrelor cu traductor Hall se pot măsura curenți continui pînă la 100-200 kA cu erori de 0,5... 0,2%.

- Ampermetre cu transformator de curent continuu. Se folosesc tot pentru măsurarea curenților continui de intensități foarte mari. Transformatorul de curent continuu se compune din două miezuri feromagnetice A și B din permalloy și două înfășurări primare conectate în serie - adițional - și parcurse de curentul continuu de măsurat I_1 . Dacă I_1 este de intensitate mare, primarul este constituit dintr-o bară de curent care trece prin cele două miezuri A și B (fig. 6.27).

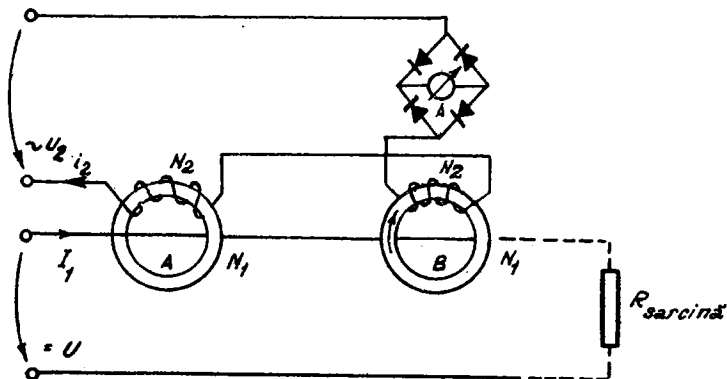


Fig. 6.27. Schema ampermetrului cu transformator de curent continuu.

Înfășurările secundare, cu număr mare de spire, sînt conectate în serie, diferențial și alimentate de la o sursă auxiliară de curent alternativ prin intermediul unui ampermetru magnetoelectric cu redresor.

Se demonstrează că între curentul continuu din primar și curentul mediu măsurat de ampermetrul din secundar, există relația

$$I_1 = K I_{2med} \quad (6.22)$$

în care:

I_1 este curentul continuu din primar;

K - raportul de transformare;

I_{2med} - curentul mediu măsurat de ampermetrul din secundar.

În baza relației (6.22) ampermetrul A se gradează direct în valori ale curentului continuu de foarte mare intensitate din primar (kA).

Se construiesc transformatoare de curent continuu pentru curenți nominali pînă la 200 kA și erori de 0,5%.

6.3.3. Măsurarea curenților alternativi

- Ampermetre magnetoelectrice cu redresor. Sînt mijloace de măsurat curentul electric care se compun dintr-un micro sau miliampermetru magnetoelectric și dintr-un redresor care se conectează la un șunt sau transformator de curent conectate la rîndul lor în circuitul parcurs de curentul alternativ de măsurat (fig. 6.28).

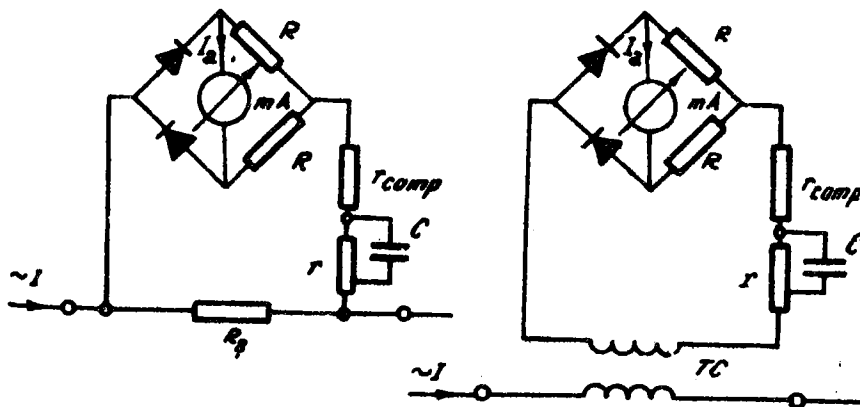


Fig. 6.28. Ampermetru magnetoelectric cu redresor: a - cu șunt; b - cu transformator.

Curentul I_a care trece prin miliampermetrul mA este un curent redresat și proporțional cu valoarea medie I_{med} a curentului de măsurat I . Pentru că în aplicațiile practice se lucrează cu valoarea efectivă a curentului I , scara ampermetrului se gradează în valori efective.

Cînd curentul este alternativ sinusoidal, între valoarea efectivă I și valoarea medie I_{med} există relația:

$$k_f = \frac{I}{I_{med}} = 1,11$$

în care: k_f reprezintă factorul de formă.

Dacă se măsoară curenți periodici alternativi dar care nu sînt sinusoidali, trebuie introdusă o corecție deoarece aparatul de măsurat nu mai indică valoarea efectivă exactă a curentului periodic.

Ampermetrele magnetoelectrice cu redresor se fabrică pentru mai multe game de măsurare; caz în care se întrebuițează un șunt multiplu (fig. 6.29).

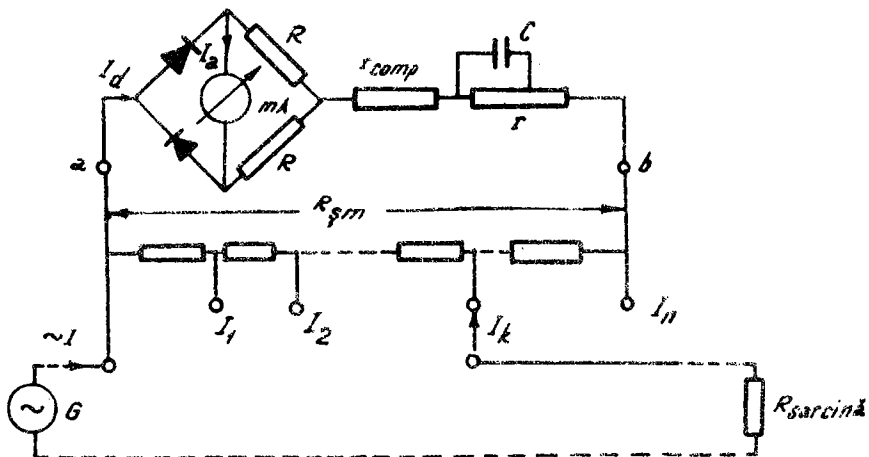


Fig. 6.29. Ampermetru magnetoelectric cu redresor cu șunt multiplu.

Suntul multiplu asigură folosirea aceleiași scări gradate pentru oricare din gamele de măsurare ale aparatului.

Ampermetrele magneto-electrice cu redresor se folosesc în aparatele portabile universale, cunoscute sub numele de multimetre.

Pentru frecvențe ridicate ale curentului de măsurat, elementul redresor prezintă o capacitate parazită în paralel și efectul de redresare scade.

Literatura de specialitate indică o creștere a erorii cu 1% pentru fiecare kilohertz în gama de frecvențe de la 10 la 50 kHz.

Dacă se folosesc - pentru redresare - diode cu germaniu, aparatul are o eroare de $\pm 3\%$ până la frecvențe de ordinul zecilor de kilohertzi. Utilizându-se diode speciale de frecvență înaltă, domeniul de funcționare poate să se extindă până la zeci sau sute de megahertzi.

- Ampermetre feromagnetice sînt cele mai răspîndite aparate de măsurat curentul alternativ de frecvență industrială.

Deviația echipajului mobil este determinată de numărul de amperspice ale bobinei fixe.

Pentru același număr de amperspice se construiesc bobine fixe cu spire multe pentru curenți mici sau cu spire puține pentru curenți mari. Pentru echipajele mobile suspendate în paliere, numărul de amperspice este de 200, 300 amperspice iar la suspensia pe benzi, numărul este mai mic și este egal cu 50, 60 amperspice.

Ampermetrele feromagnetice se construiesc în clase de precizie 1,5; 2,5 - pentru tablouri electrice - sau în clasele 0,2; 0,5; 1 - pentru laborator (portabile). Aparatele de laborator se realizează pentru mai multe game de măsurare printr-o bobinare corespunzătoare a bobinei fixe și pentru ambii curenți: alternativ și continuu.

Pentru evitarea magnetizării permanente în curent continuu, plăcuțele feromagnetice ale echipajului mobil se confecționează din materiale de calitate (permalloy) cu histerezis neglijabil.

Ampermetrele feromagnetice de tablou măsoară în gama de frecvență de 45... 60 Hz iar cele de laborator, de la 20 la 500 Hz. Intervalul de curenți măsurați este larg.

Miliampermetrele feromagnetice măsoară curenți de ordinul 10... 60 mA iar ampermetrele de la 1 A pînă la 300 A.

Extinderea domeniului de măsurare al ampermetrelor feromagnetice.

Pentru măsurarea curenților alternativi de intensitate mare și frecvență industrială din instalațiile energetice, se practică extinderea domeniului de măsurare prin legarea în circuitul de curent intens a unui transformator de măsură pentru curent. La bornele secundare ale transformatorului se leagă ampermetrul feromagnetic standardizat pentru 1 A sau 5 A. Scara unui astfel de aparat se gradează în valori ale curentului primar astfel că operatorul citește direct curentul primar de mare intensitate. În lipsa aparatului de măsurat, bornele transformatorului de curent se leagă în scurtcircuit pentru a evita apariția unor supratensiuni periculoase pentru operator sau deteriorarea transformatorului de măsură.

În fig. 6.30 se prezintă cîteva scheme de conectare a înfășurărilor bobinelor fixe din aparatele feromagnetice pentru extinderea intervalului de măsurare la ampermetrele feromagnetice.

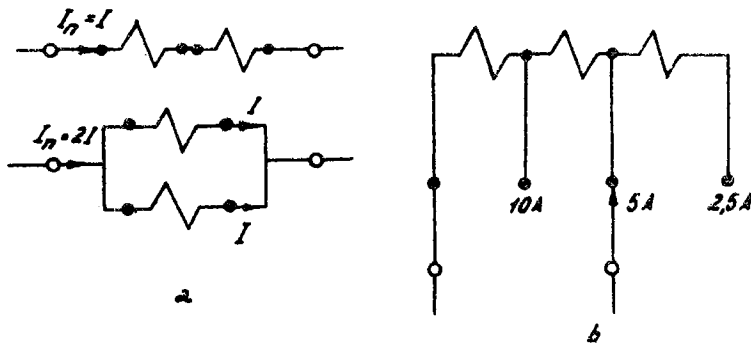


Fig. 6.30. Extinderea intervalului de măsurare la ampermetrele feromagnetice: a - prin comutarea secțiunilor; b - prin selectarea prizei.

- Ampermetre electrodinamice. Au fost prezentate ca mijloace de măsurat pentru curentul continuu dar se întrebuințează și la măsurarea curentului alternativ.

Pentru curent alternativ, ampermetrele electrodinamice se construiesc ca aparate etalon de clasă 0,2 sau 0,1 pentru curenți nominali de la 25 mA la 10 A și frecvență industrială 40... 60 Hz. Se pot întrebuința și la frecvențe mai ridicate - pînă la 2 000 Hz - într-o clasă de precizie mai redusă, 0,5.

La măsurări, trebuie să se țină seama de consumul ridicat al acestor aparate: 3... 20 VA pentru curenți nominali de la 0,5 la 10 A.

6.3.4. Măsurarea curenților de înaltă frecvență

În aplicațiile practice se cere măsurarea intensității curenților de înaltă frecvență. De exemplu, se cere, și mai ales în radiotehnică, măsurarea curentului în antena unui emițător, măsurarea curentului într-un circuit rezonant.

Cele mai indicate aparate de măsurat pentru curenți de înaltă frecvență sînt miliampermetrele și ampermetrele cu termocuplu. Cu ajutorul acestora, se măsoară curenți de frecvențe mai mari de 10 kHz și poate ajunge pînă la ordinul sutelor de megahertzi. Se măsoară valoarea efectivă a curentului independent de frecvență și forma acestuia.

- Miliampermetre cu termocuplu sînt formate dintr-un instrument magnetoelectric - în acest caz un milivoltmetru mV - conectat la capetele reci ale unui termocuplu. Sudura caldă a termocuplului este plasată într-o incintă în care se degajă căldură prin efect caloric din cauza curentului de măsurat (fig. 6.31).

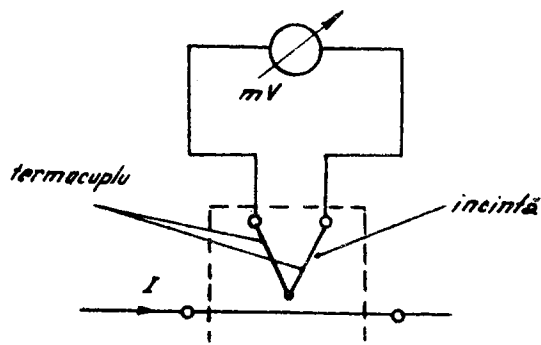


Fig. 6.31. Schema unui miliampermetru termoelectric.

Tensiunea termoelectromotoare continuă măsurată cu milivoltmetrul mV este dependentă de patratul valorii efective a curentului alternativ de frecvență înaltă, astfel că scara milivoltmetrului se poate grada direct în unități ale curentului.

- Ampermetre cu termocuplu. Prin extinderea intervalului de măsurare al miliampermetrelor cu termocuplu, cu ajutorul unor șunturi, transformatoare de frecvență înaltă sau reductoare capacitive, se pot măsura curenți de valori mai mari, de ordinul amperilor. Se obțin aparatele denumite ampermetre cu termocuplu.

Suntul - din cauza reactanței sale - limitează intervalul de frecvență al ampermetrelor cu termocuplu pînă la cîteva sute de kHz.

Mult mai utilizate sînt transformatoarele de curent de înaltă frecvență (fig. 6.32 a) și cele cu reductoare capacitive (fig. 6.32 b).

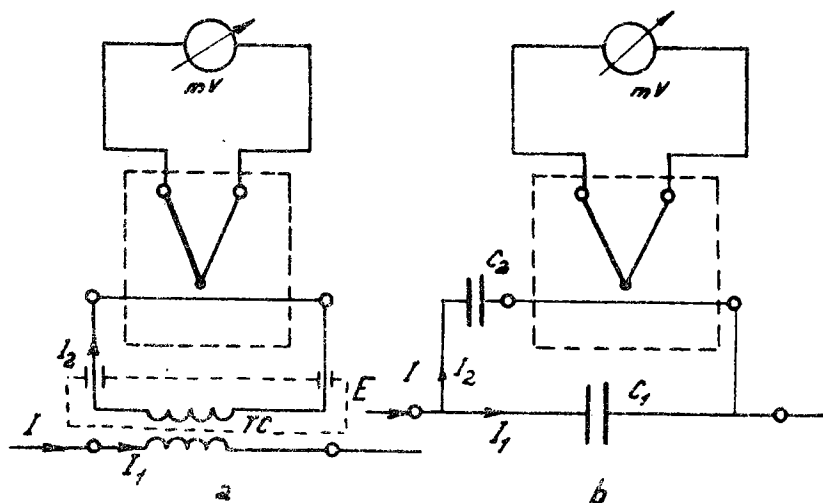


Fig. 6.32. Ampermetre cu termocuplu: a - cu transformator de curent; b - cu reductor capacitiv.

Transformatoarele de curent de frecvență înaltă se aseamănă cu cele de frecvență joasă dar miezul celor de frecvență înaltă se realizează din ferită sau material nemagnetic iar înfășurarea secundară se ecranază (în fig. 6.32 a-ecranul este notat cu E).

Reductorul capacitiv (fig. 6.32 b) se compune dintr-un condensator de capacitate mare C_1 (șunt capacitiv) de pe care se obține o cădere de tensiune pentru alimentarea încălzitorului din incintă. În serie cu încălzitorul, se conectează un condensator $C_2 \ll C_1$ a cărui reactanță este mult mai mare față de rezistența încălzitorului.

În aceste condiții,

$$I_2 = \frac{C_2}{C_1 + C_2} I$$

în care:

I_2 este curentul care trece prin încălzitor și I curentul de măsurat.

Pentru a obține precizii ridicate la măsurarea curenților de frecvență înaltă (0,5, 0,2) se folosesc ampermetrele termoelectrice de transfer.

6.3.5. Măsurarea curenților intensi cu variație rapidă

La încercarea aparatelor electrice de înaltă tensiune, apar curenți intensi și cu variație rapidă în timp.

Intensitatea acestor curenți variază între zeci, sute și mii de amperi, durata lor în timp fiind de ordinul câtorva nanosecunde ($1 \text{ ns} = 10^{-9} \text{ s}$). În principiu - pentru vizualizarea variației în timp a curentului - se întrebuințează osciloscopul catodic, iar pentru extinderea domeniului de măsurare și pentru izolarea circuitului de măsurare al tensiunii înalte se folosesc următoarele aparate: transformatoare de măsură, șunturi, ampermetre magneto-optice, ampermetre magnetice, ampermetre cu traductor Hall.

În fig. 6.33 este prezentată schema de măsurare a unui impuls de curent cu ajutorul unui șunt.

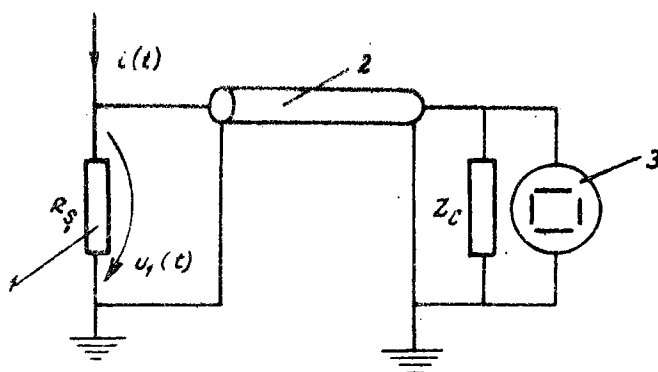


Fig. 6.33. Schema de măsurare a unui impuls de curent cu ajutorul unui șunt.

Suntul 1 este parcurs de curentul cu variație rapidă în timp și la borne apare o tensiune $u_1(t)$ care va reproduce variația în timp a curentului de măsurat numai cînd rezistența șuntului R_s - în domeniul de rezistențe considerat - este o rezistență pură.

Conform legii lui Ohm,

$$u_1(t) = R_s i(t) \quad (6.24)$$

în care:

$u_1(t)$ este căderea de tensiune de la bornele șuntului;

R_s - rezistența electrică a șuntului;

$i(t)$ - curentul de măsurat cu variație rapidă în timp.

Semnalul de măsurare se obține de la bornele șuntului 1 prin cablul coaxial de legătură 2 și se transmite la plăcile osciloscopului 3. Pentru înălțurarea distorsionării semnalului de măsurare preluat de la șuntul R_s se introduce impedanța de acord Z_c .

Pentru verificarea schemei de măsură - compensarea șuntului și acordarea corectă a cablului de legătură 2 - se aplică la intrare un curent de probă cunoscut.

6.3.6. Ampermetre numerice

Sînt constituite dintr-un șunt prin care trece curentul continuu sau alternativ de măsurat și un voltmetru numeric pentru măsurarea căderii de tensiune - de pe șunt - proporțional cu intensitatea curentului electric de măsurat. Șuntul se realizează în mai multe trepte (șunt multiplu) corespunzător curenților nominali pentru care este construit aparatul (fig. 6.34).

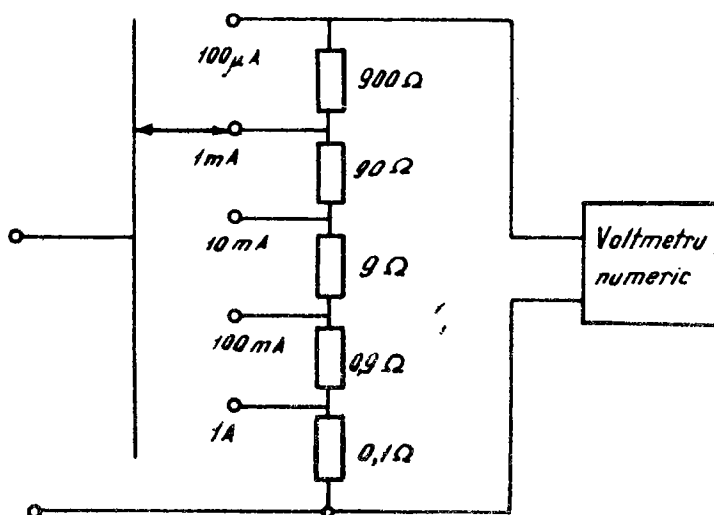


Fig. 6.34. Ampermetru numeric.

Se observă din fig. 6.34 că la trecerea curentului nominal, șuntul multiplu asigură la ieșire, pentru orice gamă de măsurare, o cădere de tensiune de 0,1 V. După o amplificare în curent continuu pînă la 1 V, căderea de tensiune se măsoară cu voltmetrul numeric.

Pentru măsurarea curenților alternativi se realizează convertirea acestora într-o tensiune continuă cu ajutorul unui convertor alternativ - continuu de valori medii și apoi măsurată cu ajutorul unui voltmetru numeric.

În fig. 6.35 este prezentată partea de măsură a curenților continui și alternativi dintr-un multimetru numeric.

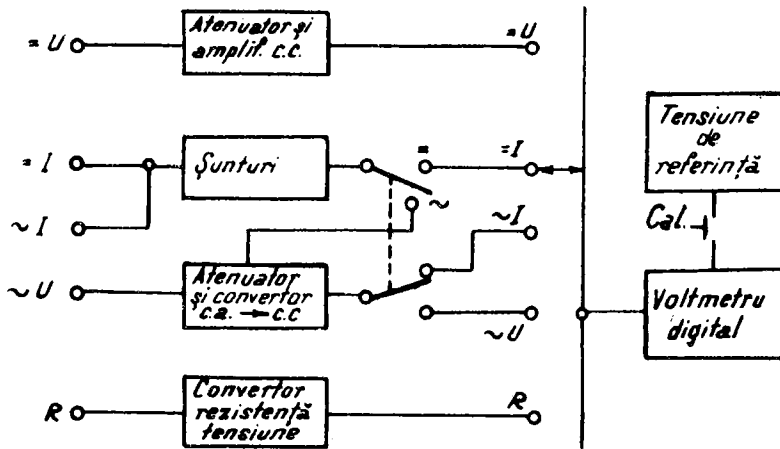


Fig. 6.35. Schema de funcționare a unui multimetru numeric pentru măsurarea curenților continui și alternativi.

6.3.7. Măsurarea tensiunii continue

Pentru măsurarea tensiunii electrice, nu este necesară întreruperea circuitului electric, aparatul de măsurat - voltmetrul (simbol V) de rezistență internă r_V - se conectează în paralel cu receptorul sau generatorul a cărui tensiune se cere a fi determinată (fig. 6.36).

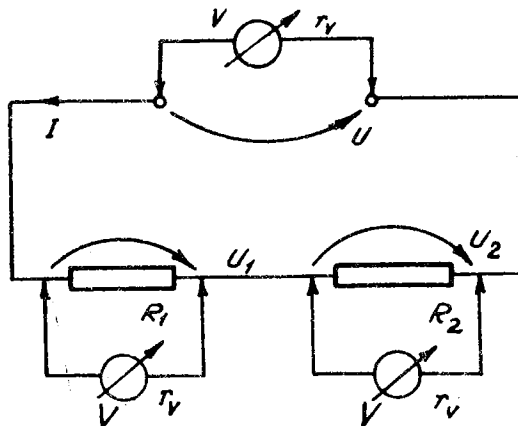


Fig. 6.36. Conectarea voltmetrului într-un circuit electric.

La conectarea între bornele **A** și **B** ale unui voltmetru **V** de rezistență internă r_V , prin aparatul de măsurat va trece un curent I_V (fig. 6.37).

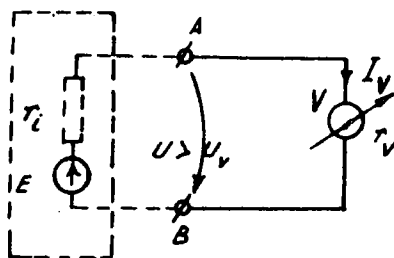


Fig. 6.37. Influența consumului voltmetrului.

Voltmetrul **V** indică tensiunea

$$U_V = r_V I_V \quad (6.25)$$

care este mai mică decât tensiunea U dintre **A** și **B** existentă când voltmetrul **V** nu este în circuit ($U_V < U$).

Între cele două tensiuni, tensiunea U_V indicată de voltmetru și tensiunea U există relația

$$U_V = \frac{r_V}{r_i + r_V} U \quad (6.26)$$

în care r_i este rezistența internă a circuitului pasivizat (sursa E pasivizată).

Rezultă din expresia (6.26) că tensiunea U_V indicată de voltmetru este cu atât mai precisă cu cât rezistența voltmetrului r_V este mai mare ca rezistența internă r_i ($r_V \gg r_i$).

În general r_V trebuie să fie cu două ordine de mărime mai mare ca rezistența circuitului r_i pentru ca eroarea să fie sub 1%.

Pentru măsurarea circuitelor electronice de putere mică (r_i mare) se evită folosirea voltmetrelor electromecanice (feromagnetice, electrodinamice și chiar magnetoelectrice) care posedă o rezistență r_V mică. Se utilizează voltmetrele electronice sau numerice pentru că acestea au o rezistență de intrare mare.

În tabelul 6.1 se prezintă caracteristicile voltmetrelor analogice și numerice întrebuințate în practica industrială sau în laboratoare.

Tabelul 6.1.

Tipul voltmetrului		Clasa de precizie	Tensiunea nominală minimă	Rezistența de intrare	c.c.	Intervale de frecvențe [Hz]					
						1	10	10 ²	10 ⁴	10 ⁶	10 ⁸
Voltmetre electromecanice	magnetoelectric	0,1 - 2,5	50 mV	0,5 - 50 $\frac{k\Omega}{V}$	—						
	feromagnetic	0,2 - 2,5	10 V	50 - 100 $\frac{\Omega}{V}$	—		—				
	electrodinamic	0,1 - 0,5	30 V	30 - 50 $\frac{\Omega}{V}$	—		—				
	magnetoelectric cu redresor	1 - 2,5	3 V	1 - 10 $\frac{k\Omega}{V}$	—		—				
	magnetoelectric cu termoelement	1 - 2,5	1 V	100 - 300 $\frac{\Omega}{V}$	—		—				
	electrostatice	0,1 - 2,5	30 V	100 - 1000 M Ω	—		—				
Voltmetre electronice analogice	de curent continuu cu amplificator c.c.	1 - 2,5	10 V	1 - 100 M Ω	—						
	de curent continuu cu modulare de modulare	1 - 2,5	10 mV	30 - 100 M Ω	—						
	de valoare de vârf (c.a.)	1,5 - 2,5	0,5 V	0,2 - 20 M Ω	—		—				
	de valoare medie (c.a.)	2,5 - 5	1 mV	0,1 - 20 M Ω	—		—				
	de valoare efectivă (c.a.)	2,5 - 5	1 mV	0,1 - 20 M Ω	—		—				
	de valoare efectivă (c.a.) cu transfer c.a./c.c.	0,2 - 1	1 mV	0,1 - 20 M Ω	—		—				
Voltmetre numerice		0,001 - 2,5	1 mV	1 - 1000 M Ω	—						

Voltmetrele electronice sînt avantajoase - după cum se observă din tabel - în circuite de mică putere, pentru că au un consum propriu foarte mic (rezistență mare de intrare). De asemenea, funcționează într-un interval foarte larg de frecvențe (măsoară mărimi electrice de ordinul zecilor de GHz). Prezentă dezavantajul că trebuie să fie alimentate separat cu energie electrică pentru a putea fi utilizate.

Milivoltmetre magnetoelectrice sînt destinate măsurării tensiunilor electrice de ordinul milivoltilor.

Sînt realizate numai dintr-un dispozitiv magnetoelectric prevăzut cu compensarea temperaturii. Lucrează numai în curent continuu.

Voltmetre magnetoelectrice sînt aparate care conțin în schema de măsurare un dispozitiv magnetoelectric înseriat cu o rezistență adițională R_a din manganină pentru extinderea domeniului de măsurare.

Între rezistența adițională R_a și rezistența internă a instrumentului magnetoelectric r_v există relația (fig. 6.38)

$$R_a = r_v (m - 1) \quad (6.27)$$

în care:

R_a este rezistența adițională;

r_v - rezistența dispozitivului magnetoelectric;

$m = \frac{U_n}{U_v}$ - coeficient de multiplicare al rezistenței adiționale;

U_n tensiunea nominală a voltmetrului magnetoelectric;

U_v - căderea de tensiune pe dispozitivul magnetoelectric.

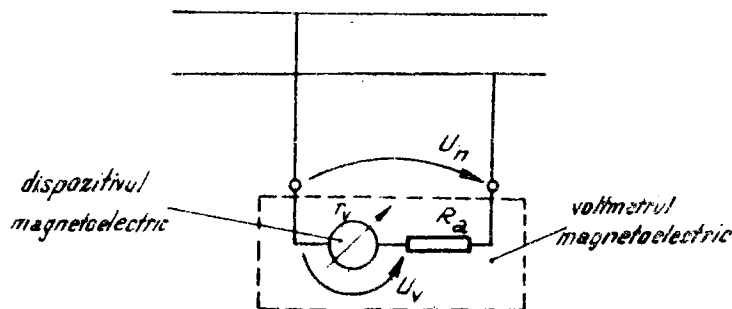


Fig. 6.38. Schema unui voltmetru magnetoelectric.

Voltmetrele magnetoelectrice au tensiunea nominală pînă la 1 000 V au rezistență adițională montată în interiorul aparatului dar pentru tensiuni mai mari, această rezistență se fixează în exterior.

La voltmetrele magnetoelectrice cu mai multe game de măsurare, rezistența adițională este formată din mai multe trepte corespunzător gamei de măsurare selectate (fig. 6.39).

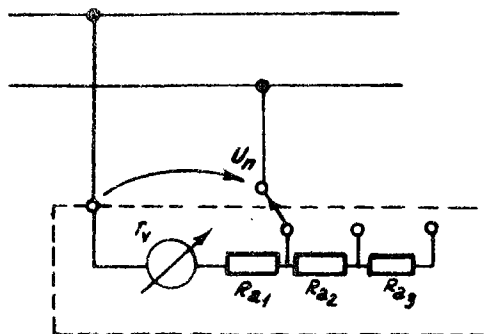


Fig. 6.39. Schema unui voltmetru magnetoelectric cu game de măsurare.

Voltmetrele magnetoelectrice lucrează numai în curent continuu, au scară liniară, rezistența de intrare este cuprinsă între 0,5... 50 k Ω /V.

Consumul propriu - din cauza rezistenței de intrare de valoare ridicată - este redus; voltmetrele de laborator consumă între 0,005 și 0,05 W iar cele de tablou, 0,2... 1 W.

- Voltmetre electronice pentru tensiune continuă. Pentru extinderea domeniului de măsurare în curent continuu a voltmetrelor magnetoelectrice se utilizează amplificatoarele electronice conectate în circuit înaintea dispozitivului magnetoelectric.

Prin folosirea amplificatoarelor electronice se mărește rezistența de intrare a aparatului pînă la 100 M Ω și extinderea domeniului de măsurare pentru tensiuni de la 0,1 μ V la 30 kV iar pentru curenți de la 1 pA la 1 A.

Un voltmetru electronic se compune dintr-un atenuator de intrare (divizor de tensiune), un amplificator de curent continuu și dintr-un dispozitiv magnetoelectric conectat la ieșirea amplificatorului (fig. 6.40).

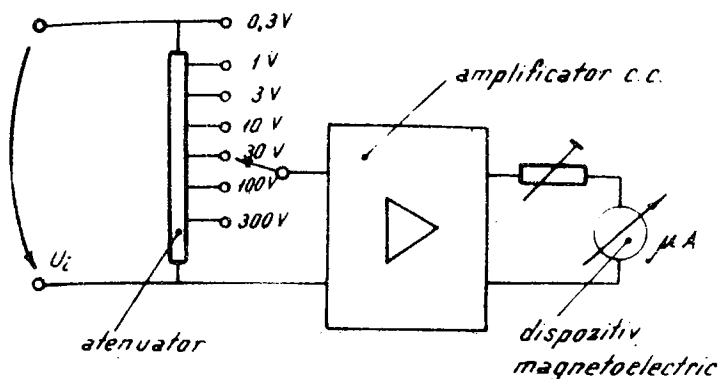


Fig. 6.40. Schema voltmetrului electronic pentru tensiune continuă.

- Voltmetre electrodinamice. Sînt aparate de măsurat care - ca și ampermetrele electrodinamice - conțin un dispozitiv electrodinamic compus din două bobine: una fixă și alta mobilă. Pentru o funcționare ca voltmetru de măsurat, bobinele instrumentului electrodinamic se înseriază cu una sau mai multe rezistențe adiționale calculate corespunzător tensiunilor nominale și gamelor de măsurare (fig. 6.41).

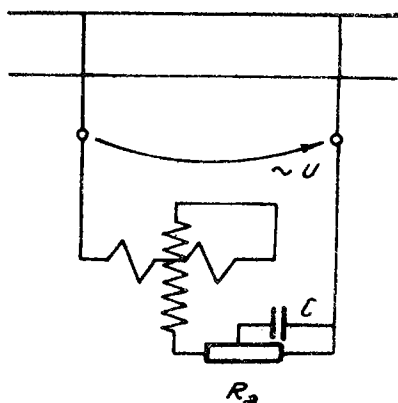


Fig. 6.41. Schema unui voltmetru electrodinamic pentru tensiuni continue.

Deviația acului indicator la aceste aparate este proporțională cu patratul tensiunii U dar printr-o construcție potrivită, se poate obține o uniformizare a scării aparatului.

Voltmetrele electrodinamice sînt aparate de precizie mare (0,1; 0,2 sau 0,5). Dezavantajele acestor voltmetre constă în consumul propriu ridicat (10 ... 20 VA) și în limita inferioară a tensiunii nominale care nu coboară sub 20 V.

- Voltmetre electrostatice. Sînt aparate construite cu ajutorul unui dispozitiv electrostatic care în cele mai multe cazuri - pentru creșterea cuplului activ - au mai multe armături fixe și alternant mai multe armături mobile prinse pe axul dispozitivului suspendat în paliere (fig. 6.42).

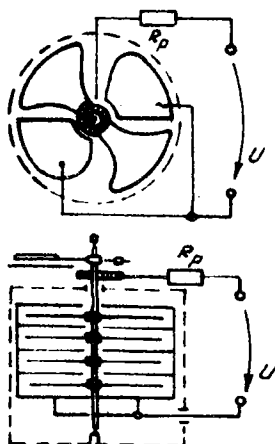


Fig. 6.42. Voltmetru electrostatic.

Avantajul însemnat al aparatului este că măsoară tensiuni într-un domeniu larg (30 V ... 3 kV) fără consum propriu.

Pentru ca aparatul electrostatic - în caz de străpungere - să năpună în scurtcircuit sursa, se conectează în serie cu una dintre armături o rezistență de protecție R_p de valoare foarte mare (cîțiva $M\Omega$). Rezistența de protecție nu influențează indicațiile voltmetrului pentru că nu are cădere de tensiune.

6.3.8. Măsurarea tensiunii alternative

- Voltmetre magnetoelectrice cu redresor. Voltmetrele magnetoelectrice pentru tensiune continuă - descrise anterior - se pot utiliza la măsurarea tensiunii alternative dacă schema se completează cu un redresor (în cele mai multe cazuri bialternanță).

După cum se prezintă în fig. 6.43 un astfel de aparat se compune dintr-un dispozitiv magnetoelectric mA, o schemă de redresare bialternanță și o rezistență adițională R_a corespunzătoare tensiunii nominale.

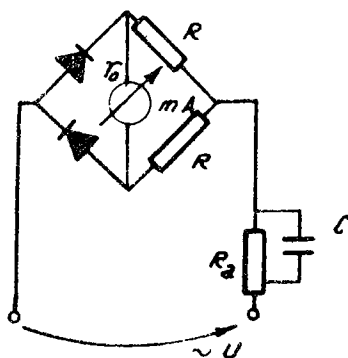


Fig. 6.43. Schema voltmetrului cu redresor și cu o gamă de măsură.

Dispozitivul magnetoelectric mA este străbătut de curentul redresat iar deviația α este proporțională cu valoarea medie I_{med}

$$\alpha = S_I I_{med} = \frac{S_I}{R_V} U_{med} = S_U U_{med} = \frac{S_U}{k_I} U \quad (6.28)$$

în care:

S_I este sensibilitatea la curent;

I_{med} - valoarea medie a curentului care trece prin dispozitivul magnetoelectric;

R_v este rezistența internă a voltmetrului compusă adițional din rezistența dispozitivului r , rezistența schemei de redresare R_{red} și rezistența adițională R_a ;

$S_U = \frac{S_I}{R_v}$ sensibilitatea la tensiune a aparatului;

U_{med} - valoarea medie a tensiunii de măsurat;

U - valoarea efectivă a tensiunii de măsurat;

k_f - factorul de formă ($k_f = 1,11$ pentru tensiuni de formă sinusoidală).

Pentru tensiuni de formă sinusoidală deviația α rezultă din expresia

$$\alpha = \frac{S_U}{1,11} U \quad (6.29)$$

Voltmetrul cu redresor destinat mărimilor sinusoidale măsoară corect valoarea efectivă a tensiunii sinusoidale; pentru tensiuni nesinusoidale - puternic deformate - valoarea indicată nu mai corespunde valorii efective, eroarea fiind cu atât mai mare cu cât abaterea de la sinusoidă este mai mare.

Condensatorul C , montat în paralel cu rezistența adițională R_a , compensează reactanța bobinei mobile a instrumentului magnetoelectric care crește când se mărește frecvența tensiunii de măsurat.

Dacă frecvența crește, impedanța porțiunii de circuit RC scade și compensează creșterea reactanței inductive a dispozitivului de măsurat.

La măsurarea tensiunilor mari (sute de volți) rezistența adițională R_a ajunge la valori mari, comparabilă cu rezistența inversă a diodelor. În acest caz, rezistența adițională R_a se înseriază cu un șunt $R_{\text{ș}}$ de la bornele căruia se măsoară cu ajutorul dispozitivului magnetoelectric conectat ca voltmetru, o tensiune de 0,8... 2 V. În acest mod, rezistența totală a voltmetrului rămîne mult mai mică decît rezistența inversă a diodelor (fig. 6.44).

Al doilea rol al șuntului $R_{\text{ș}}$ este să asigure o scară unică pentru voltmetrul cu mai multe sensibilități. Condiția de scară unică este îndeplinită atunci cînd curentul la cap de scară prin instrument și prin schema de redresare nu se schimbă indiferent de gama de măsurare respectiv de valoarea re-

zistenței adiționale R_a . Curentul la cap de scară va fi constant, numai cînd - neglijînd rezistența sursei alternative $U \sim$ - rezistența echivalentă compusă din R_s și R_a conectate în paralel va fi constantă.

Pentru fiecare domeniu de măsurare $R_s \ll R_a$, rezistența echivalentă rămîne aproximativ constantă și dispozitivul de măsurat îndeplinește condiția de scară unică (fig. 6.44).

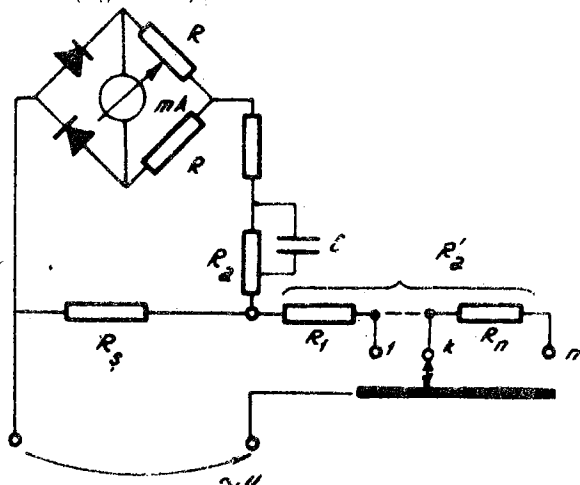
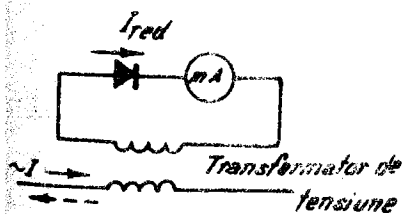


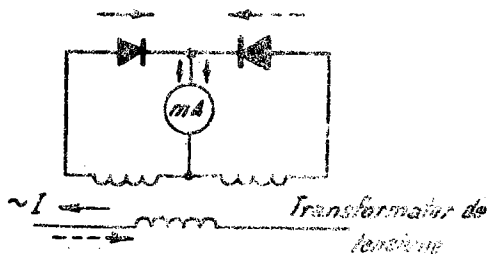
Fig. 6.44. Schema voltmetrului cu redresor pentru mai multe game de măsurare.

Schema de redresare cu două diode din fig. 6.43 prezintă avantajul că utilizează numai o diodă pentru fiecare alternanță (un singur element neliniar) ceea ce permite realizarea unei scări liniare.

Se construiesc - mai rar - voltmetre cu redresor mono și bialternanță și cu transformator de tensiune (fig. 6.45).



a) monoalternanță



b) bialternanță

Fig. 6.45. Voltmetre cu redresor mono și bialternanță și transformator de tensiune.

Voltmetrele cu redresor se întrebunțează - ca parte componentă - la realizarea aparatelor multifuncționale cu mai multe domenii de măsurare, pentru curenți și tensiuni continue și alternative.

- Voltmetre feromagnetice. Ca și ampermetrele feromagnetice, sînt cele mai răspîndite aparate de măsurat tensiunea alternativă de frecvență industrială.

În cazul voltmetrelor de acest tip, dispozitivul feromagnetic se înseriează cu una sau mai multe rezistențe adiționale R_a corespunzătoare intervalului de măsurare (fig. 6.46).

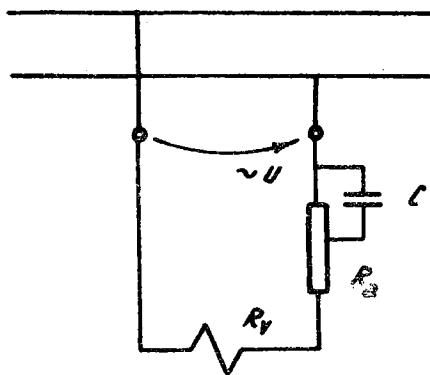


Fig. 6.46. Schema voltmetrului feromagnetic.

Cu ajutorul acestor aparate, se măsoară tensiuni alternative și se indică valoarea efectivă a acestora, indiferent de forma lor. Se folosesc - dar mai rar - la măsurarea tensiunilor continue.

Consumul de curent al voltmetrelor feromagnetice este ridicat și determinat de compensarea erorii de temperatură. De exemplu, voltmetrele din gama de măsurare 250... 150 V consumă 25... 50 mA iar cele de tensiuni mai joase - de 15 V - consumă 200 mA.

Voltmetrele feromagnetice sînt caracterizate și printr-o eroare de frecvență determinată de variația rezistenței bobinei dispozitivului.

Pentru compensarea acestei erori - ca și la aparatele magnetoelectrice - se folosește un condensator C conectat la o parte din rezistența adițională R_a .

Voltmetrele feromagnetice se construiesc pentru tensiuni nominale de la 15 V la 600 V, ca aparate de tablou (clasa de precizie 1,5, 2,5) și ca aparate portabile - mai puțin răspândite - în clasa de precizie 1, 0,5, 0,2. Au rezistență proprie mică ($50 \dots 100 \Omega / V$) și consum propriu ridicat ($3 \dots 20$ VA). Din cauza consumului - care crește la tensiuni mici - nu se construiesc voltmetre feromagnetice pentru tensiuni sub 15 V.

Aparatele de acest tip au consum mai redus când echipajul mobil al dispozitivului feromagnetic se suspendă pe fire tensionate.

Frecvențele pentru care se utilizează sînt cele industriale (45..... 60 Hz): prin compensare, se poate extinde intervalul pînă la cîteva sute de hertzi.

Extinderea domeniului de măsurare al voltmetreleor feromagnetice.

Pentru măsurarea tensiunilor alternative de valori ridicate și frecvență industrială din instalațiile energetice, se practică extinderea domeniului de măsurare prin conectarea voltmetrului feromagnetic-standardizat pentru 100 V - în secundarul unui transformator de tensiune. Scara aparatului se gradează în valori ale tensiunii înalte din primarul transformatorului de măsură.

În fig. 6.47 este prezentată schema transformatorului de tensiune și a voltmetrului conectat în secundar.

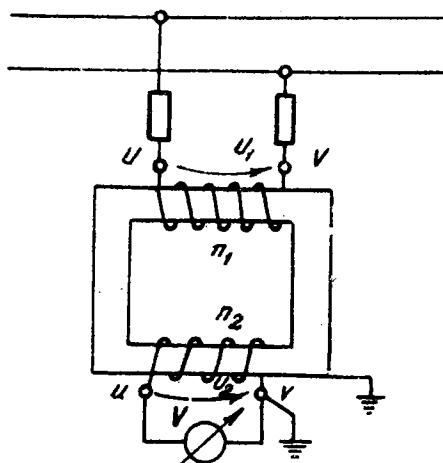


Fig. 6.47. Schema transformatorului de tensiune.

Prin bornele U și V ale primarului format din n_1 spire, i se aplică tensiunea de măsurat U_1 . Prin fenomenul de inducție electromagnetică, se generează în secundarul compus din n_2 spire, tensiunea U_2 care nu depășește 100 V.

Voltmetrul V cu scara gradată în valori ale tensiunii din primar, se conectează la bornele u și v ale secundarului. Pentru protecția operatorului, secundarul și miezul feromagnetic al transformatorului se conectează la pământ.

- Voltmetre electrodinamice prezentate anterior se folosesc și pentru măsurarea tensiunilor alternative.

Performanțele acestor aparate, realizate la măsurarea tensiunilor continue se păstrează și la măsurarea tensiunilor alternative. Aceste voltmetre funcționează la frecvență industrială (40... 60 Hz) dar când se compensează reactanța bobinelor cu un condensator C - conectat la o parte din rezistența adițională R_a - pot funcționa și la câteva sute de hertzi (fig. 6.48).

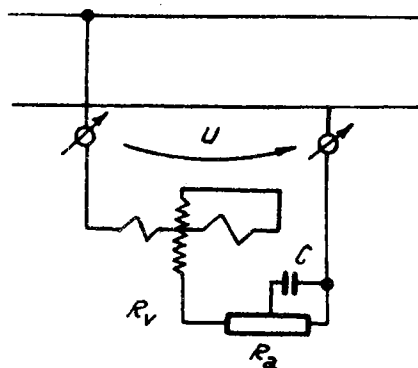


Fig. 6.48. Schema voltmetrului electrodinamic pentru tensiuni alternative.

- Voltmetre electrostatice. Prezentate la măsurarea tensiunilor continue, se folosesc și la măsurarea tensiunilor alternative sinusoidale sau nesinusoidale - deformate - cuprinse într-un interval mare de frecvență. Ex-

Extinderea domeniului de măsură al acestor aparate se realizează cu divizoare de tensiune capacitive.

- Voltmetre electronice pentru tensiuni alternative. Se clasifică în două mari clase: voltmetre analogice și voltmetre numerice.

Voltmetrele analogice se construiesc pentru o bandă largă de frecvențe - voltmetre de bandă largă - sau pentru un domeniu restrâns de frecvențe - voltmetre selective.

- Voltmetre de bandă largă măsoară o valoare medie, efectivă sau de vârf a tensiunii de intrare pentru oricare frecvență sau spectru de frecvențe al acestei tensiuni.

Voltmetre selective măsoară amplitudinea tensiunii dar și frecvența componentelor din care este constituit spectrul de frecvențe al tensiunii. Se măsoară o componentă oarecare sau, succesiv, toate componentele ordonate după frecvență și reprezentate grafic cu un aparat înregistrator sau un osciloscop catodic.

Există aparate de măsurat speciale - denumite voltmetre vectoriale - pentru măsurarea amplitudinii și fazei a două tensiuni de aceeași frecvență.

Ca principiu, voltmetrele electronice pentru măsurarea tensiunilor alternative sînt voltmetre de curent continuu echipate cu convertoare de curent alternativ - curent continuu sau cu detectoare.

- Voltmetre electronice de valori medii se mai numesc voltmetre electronice cu redresoare sau voltmetre amplificatoare (fig. 6.49).

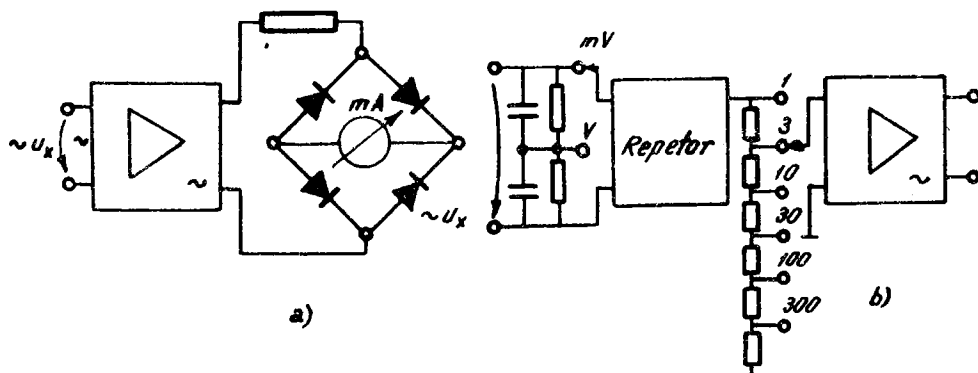


Fig. 6.49. Voltmetre electronice de valori medii: a - schema de principiu; b - extinderea domeniului.

Aceste aparate măsoară între 1 mV și 300 V, au rezistență de intrare de la 1 la 10 M Ω și capacitatea de intrare de la 10 la 30 pF. Banda de trecere este cuprinsă între 10 Hz și 15 MHz. Pentru tensiuni mai mari de 1 mV, se folosește un atenuator rezistiv, conectat înaintea amplificatorului și un etaj repetor cu o mare impedanță de intrare (1 la 10 M Ω) și o impedanță mică de ieșire (2 000 Ω).

- Voltmetre electronice de valori maxime. Aceste aparate măsoară valoarea de vîrf a tensiunii dacă în circuitul de detecție se conectează un condensator de mare capacitate C conectat în derivație sau în serie cu dispozitivul magnetoelectric (fig. 6.50 a și b).

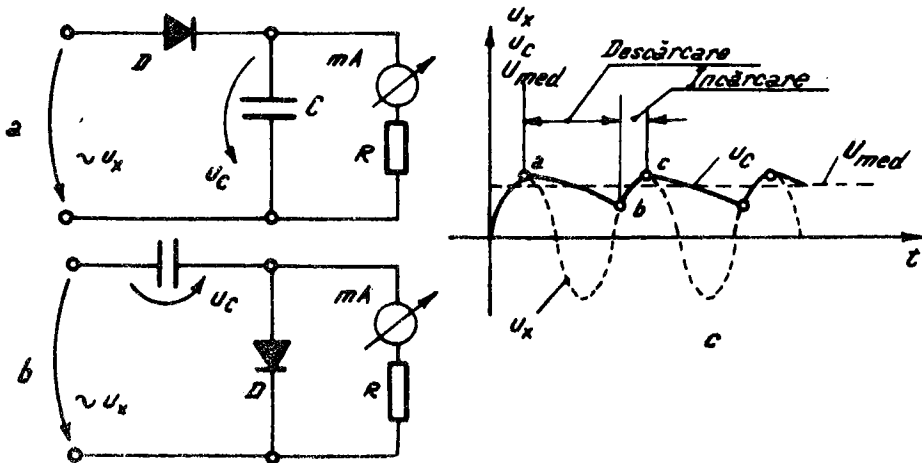


Fig. 6.50. Voltmetre electronice de valori maxime cu diodă.

În timpul alternanțelor pozitive, condensatorul C se încarcă pînă la valoarea de vîrf a tensiunii u_x (punctul a din fig. 6.50 c). Cînd u_x devine mai mică decît tensiunea u_c de la bornele condensatorului, condensatorul se descarcă lent pînă în punctul b din figură cînd reîncepe încărcarea lui C și procesul se repetă; prin aparatul de măsurat trece curentul de măsurat în cursul ambelor alternanțe.

Dacă constanta de timp a circuitului ($\tau = RC$) este mult mai mare decât perioada T a tensiunii măsurate u_x , tensiunea u_c de la bornele condensatorului scade foarte puțin astfel că aparatul de măsurat arată valoarea maximă a tensiunii alternative de intrare u_x (pentru $\tau \gg T$).

Pentru reducerea capacității parazite a firelor de legătură, circuitul de detecție se introduce într-o sondă pentru a putea fi adus în apropierea punctului de măsură.

În acest caz, cablul de legătură dintre sondă și aparat nu introduce perturbații deoarece este parcurs de un curent continuu.

Domeniul de frecvențe al acestor aparate este de la 20 Hz la 500 MHz iar tensiunile măsurate de la 0,5 V la 5 V.

Scala acestor aparate se gradează în valori efective și tensiunea de intrare se consideră sinusoidală, caz în care valoarea de vîrf se obține prin multiplicarea indicației aparatului cu $\sqrt{2}$. Eroarea de măsurare la aceste voltmetre este de 2 pînă la 3%.

- Voltmetre electronice de valori efective. În cazul tensiunilor distorsionate se cere să se măsoare valoarea efectivă.

Această măsurare se realizează cu ajutorul voltmetrelor electronice cu termoelemente (fig. 6.51).

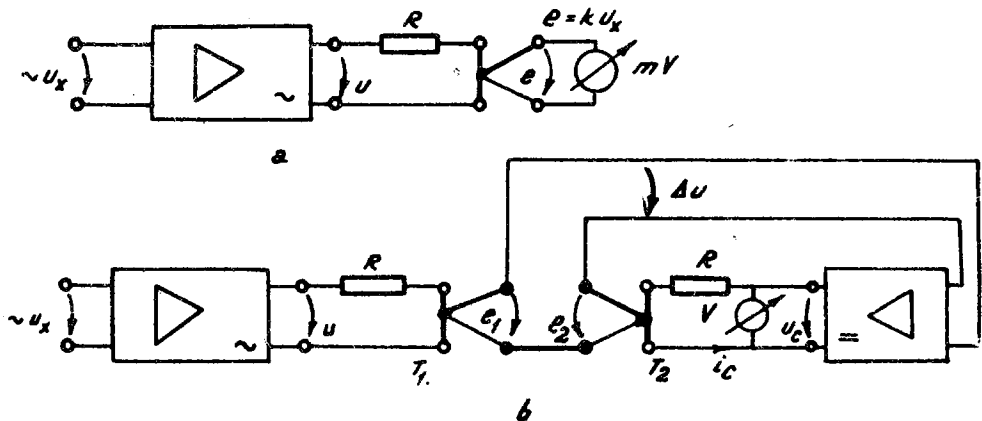


Fig. 6.51. Voltmetre electronice de valori efective cu termoelemente.

Acest tip de aparat se obține din voltmetrul termoelectric prin introducerea unui amplificator de tensiuni alternative. Se obține astfel o impedanță de intrare de ordinul $M\Omega$ și o gamă de măsurare de la câțiva volți la sute de volți.

- Voltmetre electronice de curent alternativ de tip detector - amplificator. Aceste aparate de măsurat redresează tensiunea alternativă în circuitul de detecție cu diode și apoi amplifică această tensiune pentru a fi măsurată cu dispozitivul magnetoelectric mA (fig. 6.52).

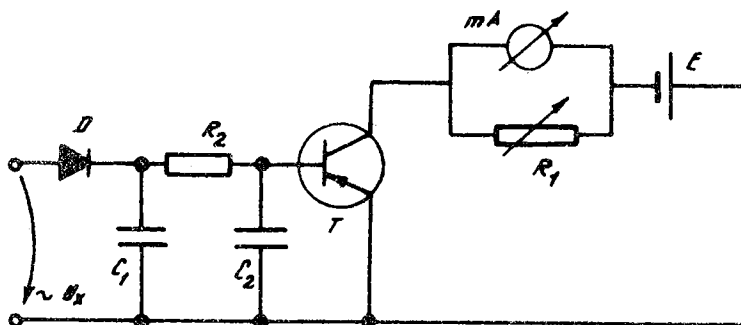


Fig. 6.52. Voltmetrul electronic de tip detector-amplificator.

Domeniul de măsurare este cuprins între 1 V și sute de volți pentru o bandă de frecvențe pînă la sute de MHz. Limita inferioară de măsură a aparatului este impusă de tensiunea de deschidere a diodelor semiconductoare cu siliciu din circuitul de detecție egală cu 0,5... 1 V.

Pentru că amplificarea realizată de un singur tranzistor este redusă, s-au construit voltmetre cu mai multe etaje de amplificare, lanțul de amplificare fiind caracterizat printr-o impedanță mare de intrare și o impedanță mică de ieșire.

De asemenea, pentru eliminarea nestabilității în timp a etalonării determinată de variația cu temperatura a componentei continue a curentului de colector I_{cc} în absența semnalului de intrare, s-au realizat voltmetre electronice cu circuite de amplificare realizate din două tranzistoare conectate în punte sau în contratimp.

- Voltmetre electronice de curent alternativ de tip amplificator-detector (fig. 6.53). Aceste aparate de măsurat amplifică mai întâi tensiunea alternativă de măsurat u_x într-un amplificator de curent alternativ apoi o redresează în circuitul de detecție.

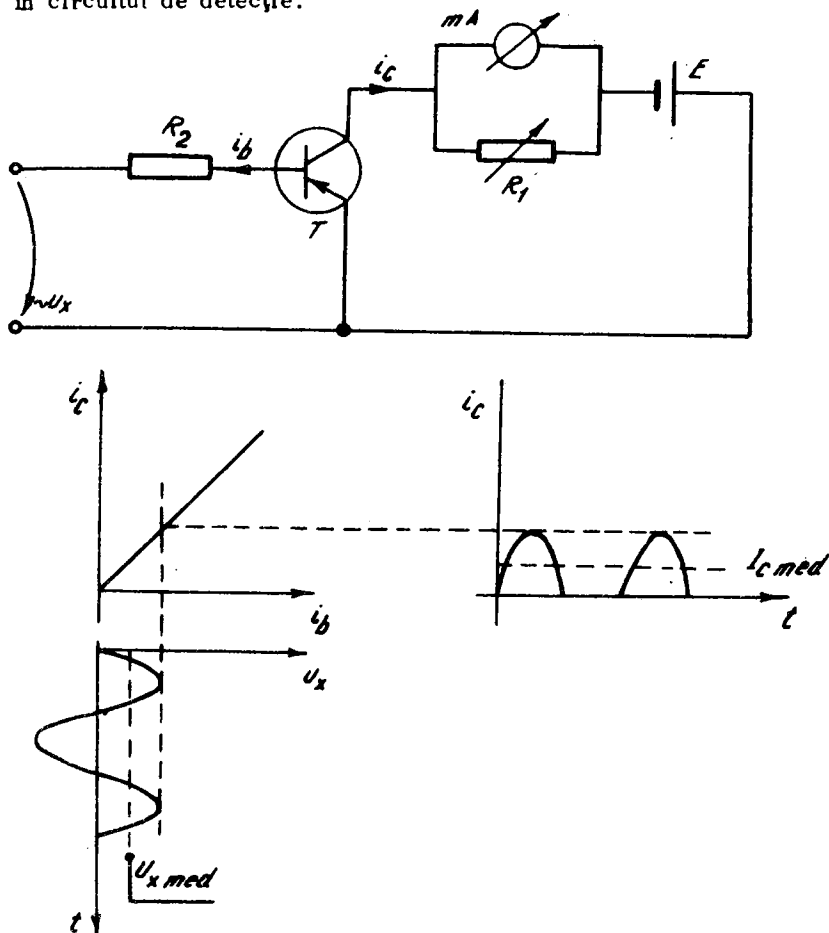


Fig. 6.53. Schema unui voltmetru electronic de tip amplificator-detector și diagramele de funcționare.

Deteția voltmetrului electronic prezentată în fig. 6.53 este realizată în circuitul de colector al amplificatorului.

Dispozitivul magnetoelectric măsoară valoarea medie I_{cmed} a curentului de colector i_c proporțională cu valoarea medie U_{xmed} a tensiunii de măsurat u_x .

Domeniul de tensiuni este cuprins de la 1 V pînă la sute de volți iar banda de frecvență ajunge la 5 MHz, limitată superior de amplificatorul de curent.

6.3.9. Voltmetre numerice

Extinderea tehnicii digitale în domeniul măsurărilor electrice și electronice a permis creșterea preciziei și a ușurat transmisia, stocarea și procesarea datelor cu ajutorul calculatoarelor de proces sau a microprocesoarelor din instalațiile automatizate.

Astfel, cu ajutorul voltmetrelor numerice sau digitale (Digital-Voltmeter-prescurtat DVM) se pot măsura tensiuni alternative, curenți continui și alternativi, rezistențe, presiuni, temperaturi, nivele și alte mărimi neelectrice convertibile în tensiune. Rezultatul măsurării poate fi afișat pe un dispozitiv de afișare sau obținut la ieșire sub forma unui semnal numeric, codificat, în vederea introducerii într-un microprocesor de comandă și control sau într-un calculator.

Un voltmetru numeric este caracterizat prin:

- tehnica de conversie analog-digitală folosită;
- numărul de domenii de măsurare;
- precizia;
- eroarea de fidelitate;
- sensibilitatea la zgomot;
- viteza de măsurare determinată de timpul de captare a informației, timpul de prelucrare - digitizare, timpul de afișare;
- finețea determinată de impedanța de intrare (egală cu $10^3 \dots \dots 10^4 \text{ M}\Omega$);
- costul.

- Voltmetrul numeric cu aproximații succesive. Se bazează pe compararea tensiunii necunoscute U_x cu o tensiune de referință U_{ref} generată într-o sursă din aparat și transformată numeric într-un convertor numeric-analogic (fig. 6.54).

Comparatorul din schemă livrează la ieșire semnalul logic "1" pentru $U_{ref} > U_x$ și "0" logic pentru $U_{ref} < U_x$.

Intrarea în comparator realizată prin condensatorul C primește alternativ tensiunea necunoscută U_x sau pe cea de referință U_{ref} corespunzător comenzii primite de la generatorul de tact respectiv de la blocul de control logic.

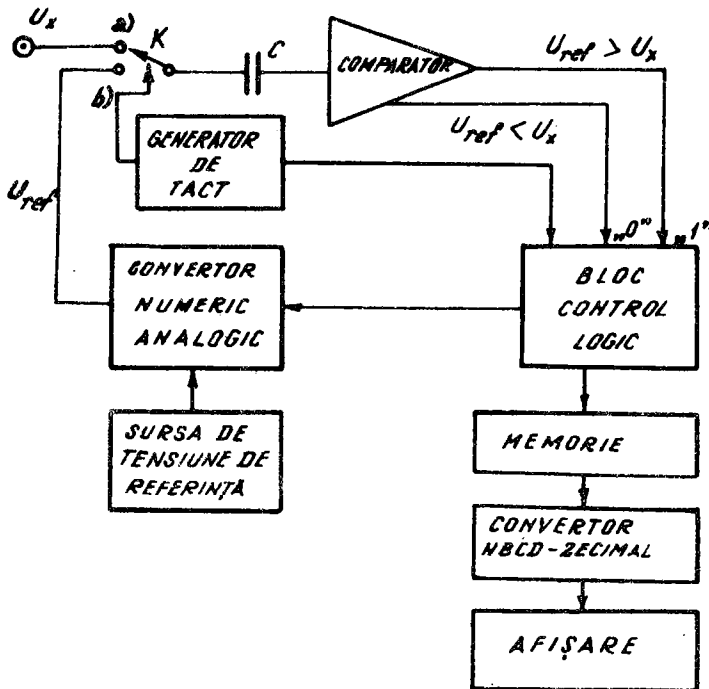


Fig. 6.54. Schema de principiu a voltmetrului digital cu aproximații succesive.

Cum se desfășoară procesul de măsurare? Se consideră că tensiunea de măsurat are $+6,000$ V iar aparatul este pe domeniul de 10 V.

a. În primul rînd, convertorul numeric - analogic comandat de blocul de control logic furnizează la ieșirea sa o tensiune de referință $U_{ref} = +8,000$ V;

b. Comutatorul electronic K trece în poziția (b) la comandă generatorului de tact și C se încarcă la tensiunea $U_C = U_{ref} = +8,000$ V;

c. La comanda generatorului de tact, K trece în poziția (a) și curentul intră în comparator dacă $U_x > U_{ref}$ deoarece condensatorul C se încarcă suplimentar;

d. Pentru $U_{ref} = 8,000 \text{ V} > U_x = 6,000 \text{ V}$, rezultă la ieșirea comparatorului "0" logic, caz în care ieșirea convertorului numeric - analogic devine 0 V;

e. La închiderea din nou a comutatorului K, convertorul generează jumătate din + 8,000 V adică $U_{ref} = 4,000 \text{ V}$;

f. Pentru $U_{ref} = 4,000 \text{ V} < U_x = 6,000 \text{ V}$, ieșirea comparatorului este "1" logic ceea ce provoacă memorarea valorii + 4,000 V în memoria voltmetrului numeric;

g. În secvența următoare, convertorul generează din nou dar jumătate din tensiunea de referință adică + 2,000 V, mărime care se adaugă la valoarea anterioară + 4,000 V. Tensiunea de referință obținută este + 6,000 V și egală cu tensiunea U_x .

Când $U_x = U_{ref}$, se memorează U_{ref} și se afișează în dispozitivul de afișare după ce în prealabil a fost convertită din codul BCD în codul zecimal.

Voltmetrul numeric E 0301 produs în țara noastră - la I.E.M.I. - funcționează pe principiul aproximațiilor succesive și măsoară tensiuni continue între 100 μV și 1 000 V.

- Voltmetrul numeric cu rampă (fig. 6.55) se bazează pe conversia semnalelor analogice de curent continuu într-o altă mărime: timp sau frecvență.

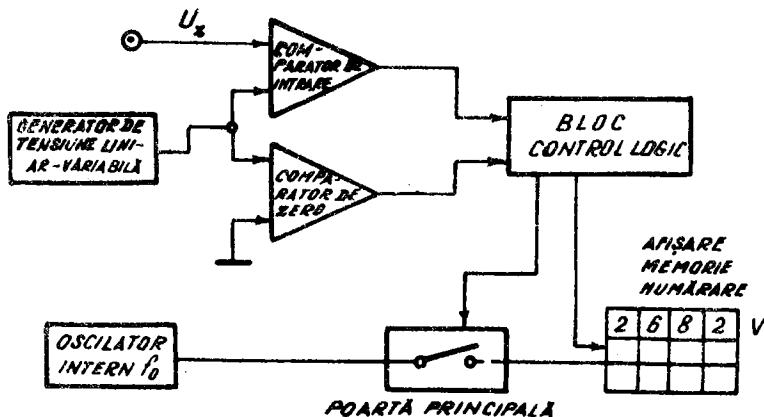


Fig. 6.55. Schema bloc a voltmetrului numeric cu rampă liniară.

Elementul principal este generatorul de tensiune liniar variabilă care produce o tensiune liniară între limitele $+U_r$ și $-U_r$. între aceste două limite se află domeniul de măsurare al voltmetrului.

Tensiunea U_x se determină dacă se cunoaște panta K a tensiunii liniar-variabile și timpul de variație al acestei tensiuni de la valoarea zero pînă la valoarea U_x , egal cu $t_x - t_0$ (fig. 6.56).

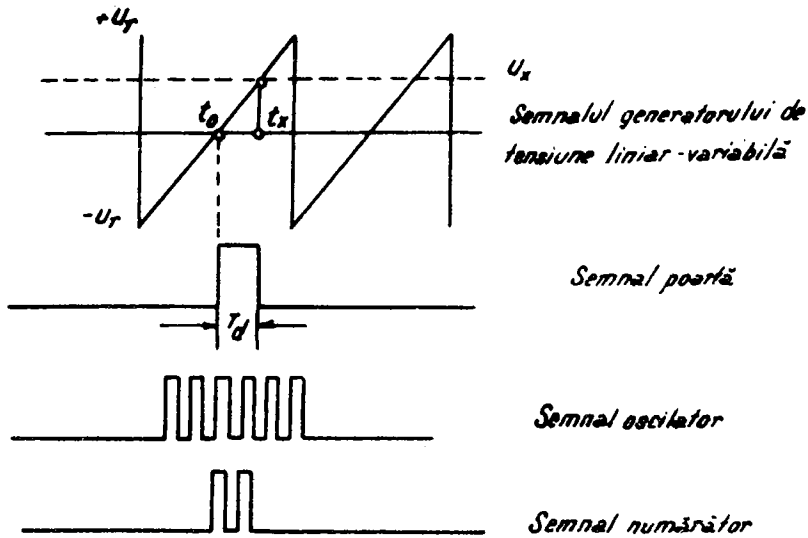


Fig. 6.56. Semnalele într-un voltmetru digital cu rampă liniară.

Tensiunea generatorului de tensiune liniar-variabilă este

$$U_r = K (t - t_0) \quad (6.30)$$

După timpul t_x , tensiunea U_r este egală cu U_x , deci

$$K (t_x - t_0) = U_x \quad (6.31)$$

Egalitatea $U_r = U_x$ este sesizată de comparatorul de intrare, celălalt comparator de zero sesizînd momentul trecerii prin zero al tensiunii U_r .

Blocul de control logic comandă poarta principală și o ține deschisă în timpul

$$T_d = t_x - t_o \quad (6.32)$$

Relația (6.31) devine

$$T_d = \frac{U_x}{K} \quad (6.33)$$

Dacă în timpul T_d - de la oscilatorul intern f_o - trec prin poarta principală N impulsuri de frecvență f_o , rezultă

$$N = T_d f_o = \frac{U_x}{K} f_o \quad (6.34)$$

Din această relație, se constată o dependență între tensiunea de măsurat, panta tensiunii liniare și frecvența f_o a oscilatorului intern.

Aceste voltmetre se folosesc în multimetre sau ca aparate de tablou și funcționează cu o precizie de la $\pm 0,05\%$ la $\pm 0,5\%$. Sînt dezavantajoase pentru că durata de măsurare, din cauza conversiei analog-numerice realizată în intervalul $-U_r$ și $+U_r$, este redusă.

De asemenea, prezintă sensibilitate la semnale parazite și impedanță de intrare relativ scăzută (zeci de $k\Omega/V$).

- Voltmetrul numeric cu convertor tensiune-frecvență. Funcționarea acestor aparate se bazează pe tehnica integrării.

Un rol important în schema voltmetrului digital cu convertor tensiune-frecvență (fig. 6.57) îl are generatorul de impulsuri. Acesta transmite la intrarea amplificatorului impulsuri de sarcină electrică de o anumită po-

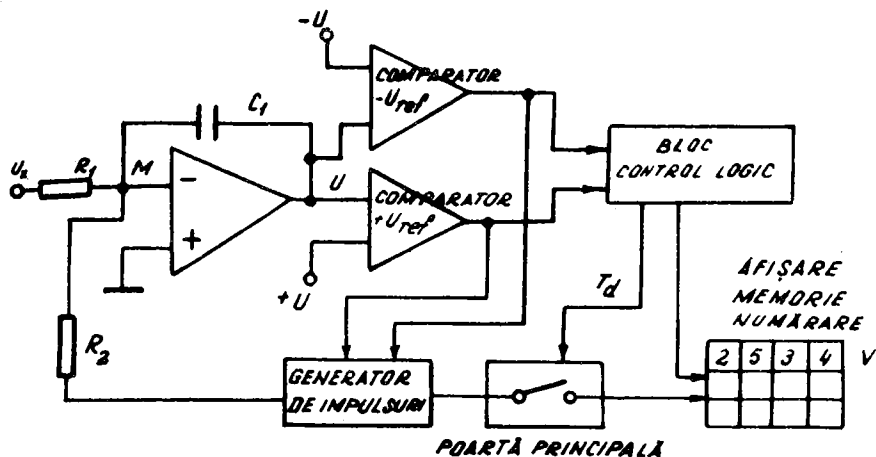


Fig. 6.57. Voltmetrul numeric cu convertor tensiune-frecvență.

laritate astfel încît să compenseze sarcina acumulată de capacitatea C_1 a amplificatorului integrator și în final să o anuleze.

Intrarea în funcțiune a generatorului de impulsuri este comandată de unul din cele două comparatoare cînd la ieșirea lor există o anumită tensiune.

Procesul de măsurare a tensiunii necunoscute U_x se desfășoară astfel:

- Se consideră tensiunea necunoscută U_x , pozitivă și constantă;
- Tensiunea U la ieșirea amplificatorului integrator evoluează liniar de la valoarea zero la valoarea $-U_{ref}$;
- Tensiunea U la ieșire este negativă pentru că U_x se aplică pe intrarea inversoare a amplificatorului (intrarea „-”);
- Cînd $U = -U_{ref}$, comparatorul $-U_{ref}$ comandă generatorul de impulsuri și acesta trimite un impuls în M care aduce la zero tensiunea U de la ieșirea amplificatorului.

Totodată generatorul furnizează prin poarta principală - deschisă de blocul de control logic pe o durată T_d - impulsuri care trec la numărător și la memorie;

e. Durata T_d este dinainte stabilită și este o caracteristică a aparatului;

f. La sfârșitul duratei de acces, informația este transferată din memorie la dispozitivul de afișare;

g. Polaritatea este stabilită de unul din cele două comparatoare; când basculează comparatorul - U_{ref} , blocul de control logic comandă aprinderea indicatorului de polaritate „+” și când basculează + U_{ref} se aprinde cel de polaritate „-”;

Prin urmare, amplificatorul integrator este readus la zero, totdeauna când tensiunea de la ieșirea sa devine egală cu - U_{ref} ; în acest moment se generează un impuls.

Numărul de impulsuri N rezultă

$$N = \frac{U_{TD}}{-U_{ref}} = \frac{U_x}{R_1 C_1 U_{ref}} T_d = k U_x \quad (6.35)$$

și este influențat de panta U_{TD} (vezi fig. 6.58); cu cât panta este mai mare - deci U_x mai mare - cu atât numărul de impulsuri N - în același interval de timp T_d - este mai mare.

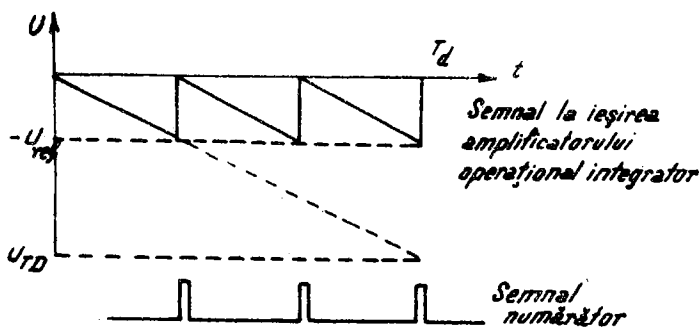


Fig. 6.58. Semnalele într-un voltmetru digital cu convertor tensiune-frecvență.

Pentru realizarea unei precizii ridicate, trebuie ca generatorul de impulsuri din bucla de reacție a amplificatorului să transmită în punctul M o sarcină electrică stabilă iar numărătorul să fie reversibil.

Precizia voltmetrelor cu convertor tensiune-frecvență este $\pm 0,05\%$ din domeniul de măsurare.

- Voltmetrul numeric cu integrare cu dublă pantă. Acest tip de voltmetru funcționează în următorul mod: în prima etapă, într-un timp T_i , se integrează de condensatorul C - care se încarcă - tensiunea de măsurat U_x ; în etapa a doua se descarcă condensatorul C printr-un curent constant cînd se măsoară timpul de descărcare T_d .

De altfel, în detaliu, procesul de măsurare se desfășoară astfel (fig. 6.59 și fig. 6.60):

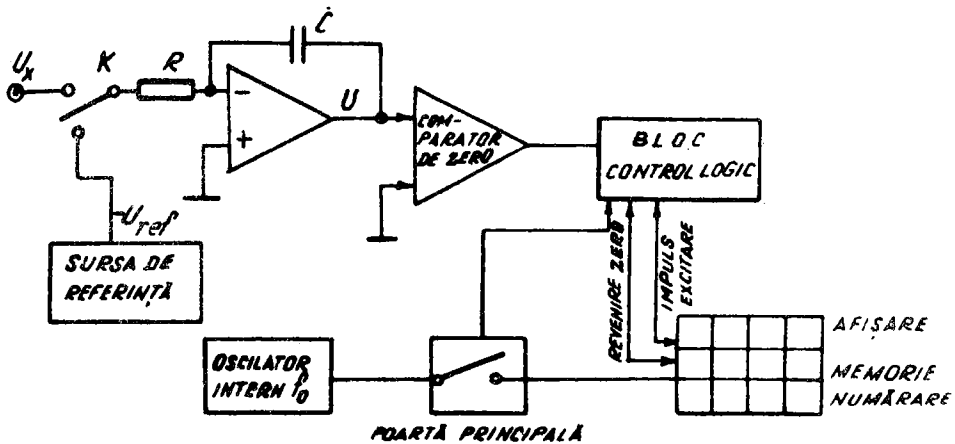


Fig. 6.59. Schema voltmetrului digital cu dublă pantă.

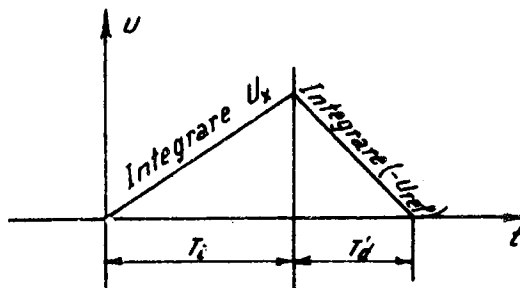


Fig. 6.60. Variația în timp a tensiunii U_x .

- a. Blocul de control logic aduce la zero, numărătorul;
 - b. Se demarează măsurarea; blocul de control logic comandă deschiderea porții principale și închiderea comutatorului K pentru măsurarea tensiunii U_x ;
 - c. Condensatorul C se încarcă într-un interval de timp T_i fix iar tensiunea U de la ieșirea amplificatorului este proporțională direct cu tensiunea U_x adică panta creșterii și nivelul tensiunii U la sfârșitul intervalului T_i depind de U_x .
 - d. La sfârșitul intervalului T_i , un impuls generat de numărător comută pe K în poziția $-U_{ref}$;
 - e. Condensatorul C se descarcă pentru că $-U_{ref}$ este negativă;
 - f. La descărcarea completă a lui C ($U=0$), comparatorul de zero își modifică starea la ieșire prin blocul de control logic și comandă închiderea porții principale.
- Se demonstrează că:

$$T'_d = T_i \frac{U_x}{U_{ref}} \quad (6.36)$$

Dar

$$T_i = \frac{N_{max}}{f_o} \quad \text{și} \quad T'_d = \frac{N}{f_o} \quad (6.37)$$

în care:

- f_o este frecvența oscilatorului intern;
- N_{max} - capacitatea maximă a numărătorului.

De exemplu, pentru aparat cu un număr de 3 ordine și un oscilator intern cu $f_0 = 1 \text{ MHz}$, timpul de integrare, fix, este

$$T_i = \frac{100\ 000}{106} = 10^{-1} \text{ s} = 100 \text{ ms}$$

Din relațiile (6.36) și (6.37) se deduce:

$$U_x = \frac{N}{N_{\max}} U_{\text{ref}} \quad (6.38)$$

respectiv pentru $U_{\text{ref}} = \text{const}$ și $N_{\max} = \text{const}$ rezultă

$$U_x = kN \quad (6.39)$$

Acest tip de voltmetru este caracterizat prin independența preciziei sale de frecvența oscilatorului intern, deoarece ambi timpi T_i și T_d' sînt măsurați cu același oscilator.

De altfel, precizia voltmetrului digital cu dublă pantă este foarte bună: $\pm 0,01 \dots \pm 0,05\%$ la aparatele de laborator și $\pm 0,1 \dots \pm 0,05\%$ la aparatele de tablou și la multimetre.

Cu o bună stabilitate a sursei de referință aparatele construite pe acest principiu, măsoară tensiuni foarte mici, de ordinul μV .

Voltmetre numerice pentru tensiuni alternative. Pentru măsurarea tensiunilor alternative se asociază voltmetrelor numerice de tensiune continuă, dispozitivele denumite detectoare. Detectoarele care pot fi de valori medii, de valori de vîrf și de valori efective, convertesc tensiunea alternativă în tensiune continuă.

La frecvențe înalte - de ordinul gigahertzilor - se folosesc voltmetre cu eşantionare.

- Alegerea voltmetrelor numerice. Pentru alegerea unui voltmetru digital se are în vedere următoarele:

- viteza de măsurare ;
- susceptibilitatea la zgomot ;
- precizia ;
- numărul de digiți ;
- costul .

Viteza de măsurare ridicată o au voltmetrele cu aproximări succesive (100 măsurări/secundă). Cea mai redusă viteză se obține la voltmetrele numerice cu dublă pantă (5 măsurări/secundă).

Susceptibilitate la zgomot mare se constată la voltmetrele cu aproximări succesive iar voltmetrele numerice cu convertor tensiune-frecvență și cele cu dublă pantă sînt neinfluențate de semnale parazite (zgomote).

Precizia foarte bună o au voltmetrele numerice cu dublă pantă ($\pm 0,002\% \dots \pm 0,005\%$) iar voltmetrele cu rampă sînt mai puțin precise ($\pm 0,05\%$).

Numărul de digiți este egal cu cinci la toate voltmetrele numerice; voltmetrele numerice cu rampă au însă numai patru digiți.

Costul este ridicat la voltmetrele numerice cu aproximații succesive și cu conversie tensiune-frecvență dar cel mai redus cost îl are voltmetrul cu rampă.

- Voltmetre numerice cu microprocesoare. Prin introducerea microprocesoarelor în compunerea voltmetrelor numerice s-au realizat următoarele:

- mărirea preciziei ;
- operația de autozero și autocalibrare ;
- alegerea automată a domeniului de măsurare ("AUTO-RANGE") ;
- creșterea vitezei de măsurare ;
- funcții suplimentare ; calculul valorii medii, amplitudinii ; timpul de creștere a unui impuls ; diferite calcule statistice .

6.3.10. Măsurarea tensiunii cu osciloscopul catodic

Dacă se aplică o tensiune alternativă sinusoidală

$$u = U_{\max} \sin \omega t$$

numai la plăcile Y (intrarea Y) dintr-un osciloscop catodic, spotul va descrie pe ecran un segment de dreaptă de lungime y (plăcile X nu vor fi sub tensiune).

Valoarea de vîrf U_{\max} va fi proporțională cu lungimea y a segmentului

$$U_{\max} = C_y \frac{y}{2} \quad (6.40)$$

iar valoarea vîrf la vîrf U_{vv} se determină din relația

$$U_{vv} = 2 U_{\max} = C_y y \quad (6.41)$$

În aceste relații (6.40 și 6.41) $C_y \left(\frac{V}{mm} \right)$ este constanta deflexiei pe verticală.

Constanta C_y și sensibilitatea deflexiei pe verticală $S_y \left(\frac{mm}{V} \right)$ sînt invers proporționale

$$C_y = \frac{1}{S_y} \quad (6.42)$$

Tensiunea U_{\max} sau U_{vv} se citește direct în volți pe ecranul osciloscopului (fig. 6.61) după o etalonare prealabilă a osciloscopului cu un voltmetru etalon.

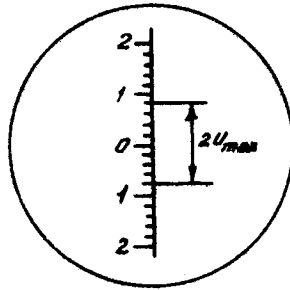


Fig. 6.61. Măsurarea tensiunii U_{vv} sau U_{max} .

Pentru etalonare se alimentează intrarea Y de la o sursă de referință sinusoidală și se măsoară tensiunea acesteia cu ajutorul voltmetrului etalon V_e (fig. 6.62).

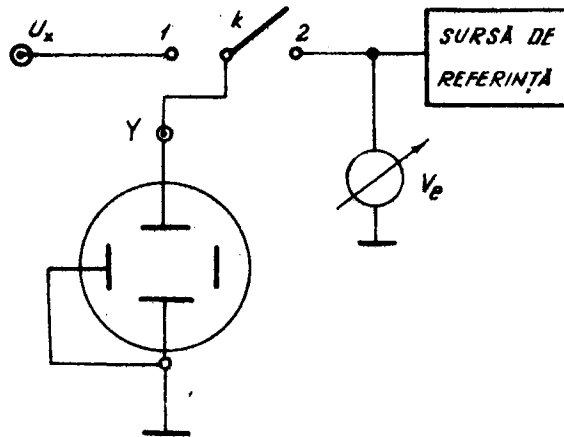


Fig. 6.62. Măsurarea cu osciloscopul catodic a tensiunii U_{max} și U_{vv} .

Din deviația y a spotului pe ecranul osciloscopului și indicația U_{ef} a voltmetrului etalon, se determină constanta deflexiei pe verticală

$$C_y = \frac{2 \sqrt{2} U_{ef}}{y} \quad (6.43)$$

Tensiunea U_{max} sau U_{vv} se determină cu ajutorul relației (6.41) pentru toată gama de frecvențe cuprinse în banda de trecere a amplificatorului A_y al osciloscopului catodic.

Sursa de referință poate aparține osciloscopului catodic.

Prin această metodă se pot măsura tensiuni vîrf la vîrf - de ordinul milivoltilor și de frecvență înaltă - chiar cînd tensiunea măsurată este nesinusoidală.

Tot o metodă de măsurare prin comparație a unei tensiuni necunoscute este prezentată în fig. 6.63.

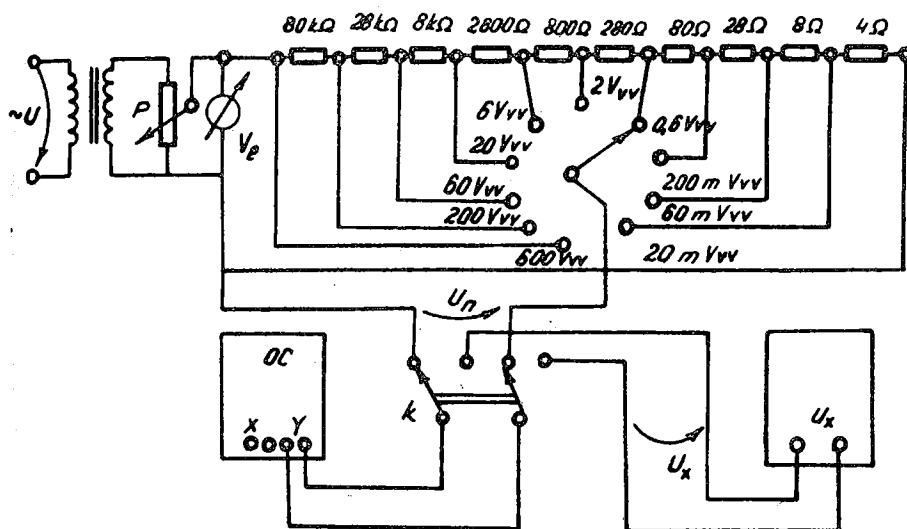


Fig. 6.63. Măsurarea cu osciloscopul catodic a unei tensiuni U_x prin metoda comparației.

Cu comutatorul K se aplică la intrarea Y, tensiunea de măsurat U_x (plăcile X ale osciloscopului sînt deconectate) și se obține pe ecran o linie verticală. Cu ajutorul atenuatorului amplificatorului A_y , se încadrează înălțimea y a spotului pe ecran. Fără a modifica poziția atenuatorului, se schimbă tensiunea U_x cu tensiunea sinusoidală de comparație U_n . Apoi cu potențiometrul P

se reglează tensiunea U_n pînă cînd se obține aceeași deviație y pe ecranul osciloscopului. În acest moment voltmetrul etalon V_e va indica valoarea efectivă a tensiunii U_x . Pentru tensiuni sinusoidale se poate determina și valoarea vîrf la vîrf a tensiunii necunoscute U_{xvv} cu expresia

$$U_{xvv} = 2 \sqrt{2} U_{xef}$$

în care tensiunea U_{xef} este indicată de voltmetrul etalon V_e .

Divizorul de tensiune cu 10 trepte prevăzut în schema de măsurat din fig. 6.63 permite extinderea domeniului de măsurare pentru tensiuni vîrf la vîrf pînă la 600 V.

Osciloscopapele catodice moderne sînt prevăzute cu surse de tensiune etalon interioare și printr-o comutare se poate face etalonarea cu tensiune sinusoidală sau rectangulară.

6.3.11. Măsurarea curentului cu osciloscopul catodic

Cu ajutorul osciloscopului catodic se pot măsura curenți continui sau alternativi folosindu-se schema de măsurare din fig. 6.64.

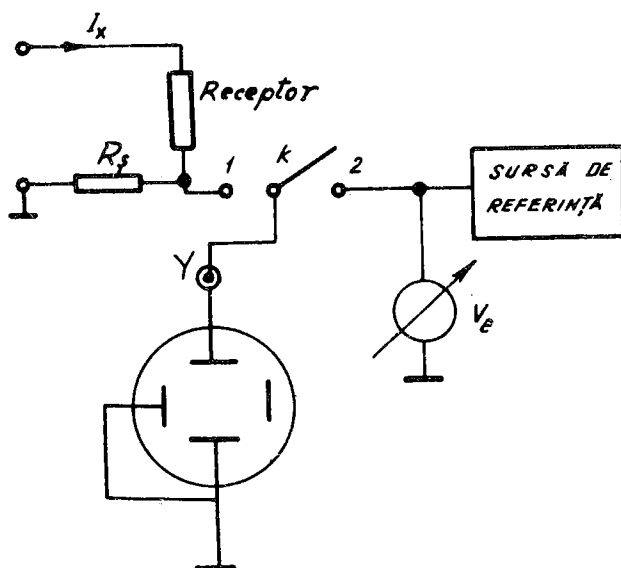


Fig. 6.64. Măsurarea cu osciloscopul catodic a curentului electric.

În acest caz se determină căderea de tensiune de la bornele unui
sunt R_s - de valoare cunoscută - și apoi prin calcul se determină curentul
necunoscut

$$I_x = \frac{U_x}{R_s} \quad (6.44)$$

în care U_x este tensiunea indicată de osciloscopul catodic.

6.4. MULTIMETRE

Multimetrele sînt aparate portabile care se folosesc în practica industrială pentru măsurarea mai multor mărimi electrice: curenți și tensiuni continue și alternative, rezistențe electrice. Pentru caracterul lor multifuncțional - ampermetru, voltmetru și ohmmetru - se numesc și aparate universale.

Cu timp în urmă, erau cunoscute și sub următoarele denumiri: multivi, avometru, multizet etc.

Multimetrele sînt de tip analogic și numeric. Cele analogice sînt constituite dintr-un dispozitiv magnetoelectric cu redresor conectat corespunzător sensibilității și funcției de îndeplinit cu șunturi sau cu rezistențe adiționale, în paralel respectiv în serie.

Scala, în fața căreia se deplasează acul indicator, este liniară pentru curenți și tensiuni. Pentru indicarea valorilor rezistenței electrice aparatul are o scală separată, neuniformă.

Selectarea gamei de măsurare și a funcției se realizează cu un comutator.

Clasa de precizie a multimetrelor analogice este egală cu 1 în curent continuu și 1,5 în curent alternativ, rezistența internă atinge valoarea de $100 \text{ k}\Omega / \text{V}$ și o frecvență maximă de $10 \dots 20 \text{ kHz}$.

Multimetrele numerice - de exemplu tipul E 0302 realizat la I.E.M.I. București - măsoară tensiuni continue de la 0,2 V la 1 000 V cu o precizie de $\pm 0,1\%$ iar tensiunile alternative se măsoară în domeniul de frecvențe 45 Hz ... 20 kHz de la 0,2 V_{ef} la 350 V_{ef}, cu o precizie de $\pm 0,5\%$.

Curenții continui au o plajă de măsurare de la 0,2 mA la 1 A cu o precizie medie de 0,1... 0,2% iar curenții alternativi au valorile efective cuprinse de la 0,2 mA la 1 A și o precizie de $\pm 0,7\%$ într-un domeniu de frecvență de la 45 Hz la 40 kHz.

6.4.1. Măsurarea curenților continui și alternativi

Multimetrele analogice măsoară curentul continuu cu dispozitivul magnetoelectric conectat prin diferite șunturi.

La multimetrele numerice se preferă măsurarea căderii de tensiune de la bornele unei rezistenței etalon prin care trece curentul de măsurat. Curentul alternativ se măsoară la fel dar dispozitivul magnetoelectric se atașează la o schemă de redresare. În acest caz, este necesar ca forma curentului alternativ să fie sinusoidală. Se construiesc multimetre care folosesc pentru adaptarea curentului măsurat, transformatoare de măsură incluse în aparat (exemplu: multimetrul MF 35 construit la I.A.E.M.-Timișoara).

6.4.2. Măsurarea tensiunilor continue și alternative

Funcționarea multimetrelor analogice la măsurarea tensiunilor este asemănătoare voltmetrelor magnetoelectrice cu redresor (vezi § 6.3.7 și § 6.3.8). Folosesc tot un dispozitiv magnetoelectric asociat cu un redresor și diferite rezistențe adiționale conectate astfel încât să se obțină domeniul de măsurare și sensibilitate necesare.

Multimetrele numerice folosesc - la măsurarea tensiunilor - tehnica conversiei tensiune - timp sau tehnica aproximării succesive a tensiunii necunoscute (vezi § 6.3.9).

La măsurarea tensiunii alternative, multimetrele analogice și numerice convertesc mai întâi tensiunea alternativă într-o tensiune continuă și apoi o măsoară prin una din metodele prezentate anterior.

Domeniul de frecvență în care măsoară multimetrele este - în raport cu voltmetrele specializate - mai restrâns din cauza firelor de conexiuni interne ale aparatului care prezintă capacități parazite importante față de masă ori între fire.

6.4.3. Măsurarea rezistențelor electrice

Principiul de măsurare este similar cu al ohmmetrelor; are la bază relația care leagă tensiunea la bornele rezistenței de curentul prin rezistență. Prin aplicarea unei tensiuni la bornele rezistenței necunoscute rezultă indirect valoarea rezistenței electrice.

Dacă se etalonează direct în ohmi scala aparatului, acul indicator sau afișajul numeric - la multimetrele numerice - va arăta valoarea rezistenței necunoscute.

Diversificarea producției de multimetre analogice și numerice a provocat apariția unor particularități constructive și funcționale pentru, aproape, fiecare tip de aparat în parte.

6.5. MULTIMETRE UTILIZATE IN ACTIVITATEA DE SERVICE

I.I.R.U.C.

6.5.1. CITO 38

Este un aparat de măsurat universal construit de firma Chinaglia în Italia (fig. 6.65).

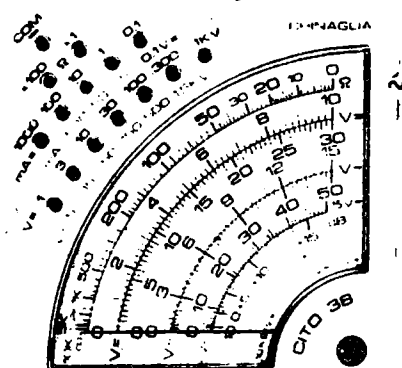


Fig. 6.65. Scala multimetrului CITO 38.

Multimetrul are 8 game de măsurare împărțite în 38 domenii de măsurare (tabelul 6.2).

Tabelul 6.2.

Gama de măsurare	Unitatea de măsură	Domeniul de măsurare							
		Constanta							
Tensiune continuă	V	0,1	1	3	10	30	100	300	1 000
	-	0,01	0,1	0,1	1	1	10	10	100
Tensiune alternativă	V	5	15	50	150	500	1 500		
	-	0,1	1	1	10	10	100		
Curent continuu	mA	0,1	1	10	100	1 000			
	-	0,01	0,1	1	10	100			
Curent alternativ	mA	5	50	500					
	-	0,1	1	10	100	1 000			

continuare tabelul 6.2.

Gama de măsurare	Unitatea de măsură	Domeniul de măsurare							
		Constanta							
Nivel de tensiune	dB	-10 +15	0 +25	+10 +35	+20 +45	+30 +55	+40 +65		
	-	0	+10	+20	+30	+40	+50		
Nivel de tensiune VBF	VBF	5	15	50	150	500	1 500		
	-	0,1	1	10	10	10	100		
Rezistență electrică	Ω		10 000			1 000 000			
	-		x 1			x 100			
Capacitate (ballistică)	μF		100			10 000			
	-		x 1			x 100			

Precizia aparatului este diferită; tensiunile și curenții continui sînt măsurați cu $\pm 2,5\%$, tensiunile și curenții alternativi, $\pm 3,5\%$ iar rezistențele electrice cu o precizie de $\pm 2,5\%$.

Citirea tensiunii și curențului continuu se face pe scalele marcate cu V = iar mărimile alternative se citesc pe scalele marcate cu $V \sim$.

În interiorul multimetrului se introduc două baterii de 1,5 V pentru utilizarea ca ohmmetru.

La I.I.R.U.C., s-a adaptat în exterior un alimentator pentru o baterie de 1,5 V tip R 6 (C.E.I.).

În fig. 6.66 este prezentată schema electrică a multimetrului CITO 38.

Pentru măsurarea tensiunii continue, se rotește comutatorul în poziția "=". Se introduce cordonul negru în borna "COM" și cordonul roșu în borna corespunzătoare gamei și domeniului de măsurare ales. Pe scala marcată cu negru și cu "V=" se citește indicația și se înmulțește cu constanta notată în tabelul 6.2.

Tensiunea alternativă se măsoară la fel dar comutatorul se rotește în poziția " \sim ". Domeniul de măsurare 0... 5 V corespunde cu scala marcată de la 0 la 50 și supramarcată cu 5 $V \sim$.

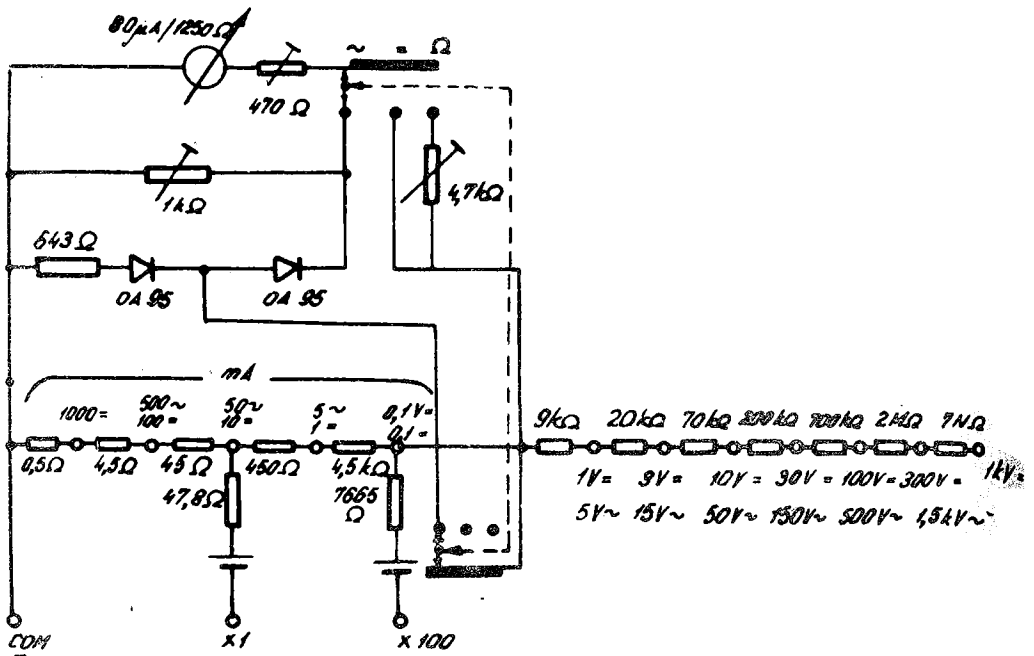


Fig. 6.66. Schema electrică a multimetrului CITO 38.

Curentul continuu se măsoară la fel ca tensiunea continuă dar cordo-
nul roșu se introduce într-o bornă corespunzătoare domeniului de curent.

Citirea se face pe scale notate în negru cu $V=$.

ATENȚIE!

Multimetrul se leagă în circuitul electric - pentru măsurarea curen-
tului - numai în serie.

Curentul alternativ se măsoară ca și tensiunea alternativă dar cordo-
nul trebuie introdus în borna corespunzătoare domeniului de măsurare. Valoa-

rea curentului se determină din indicația citită pe scala scrisă cu roșu și notată cu "V~ " înmulțită cu constanta corespunzătoare gamei și domeniului de măsurare precizate în tabelul 6.2.

Pentru a evita deteriorarea multimetrului, este necesar calculul prealabil al curentului din circuit care nu trebuie să fie mai mare de 500 mA!

De exemplu, nu se poate măsura curentul dintr-un receptor de 220 V cu o putere mai mare de 110 W pentru că intensitatea curentului depășește 500 mA.

Dar cum se procedează? Se calculează în prealabil curentul din expresia puterii

$$P = U \cdot I \quad (6.45)$$

cu formula

$$I = \frac{P}{U}$$

Rezultatul nu trebuie să fie mai mare de 500 mA.

Aplicație

Dacă trebuie controlat cu CITO 38 curentul absorbit de o lampă L de 60 W/220 V, se calculează curentul.

$$I = \frac{P}{U} = \frac{60}{220} = 270 \text{ mA}$$

Fiindcă această valoare a curentului este mai mică de 500 mA - curentul maxim măsurat de aparat - se poate trece la măsurarea curentului conform fig. 6.67.

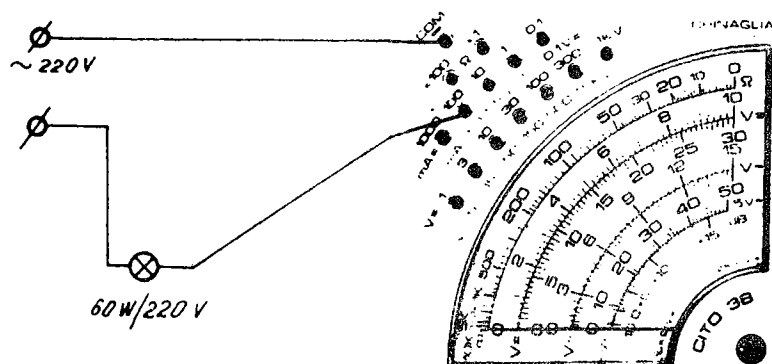


Fig. 6.67. Măsurarea curentului cu CITO 38.

Măsurarea nivelului de ieșire în dB. Scala în dB este conformă cu Standardul Internațional pentru care 0 dB corespunde sarcinii de 600Ω și 0,775 V.

Se poziționează aparatul așa cum s-a descris la măsurarea tensiunii alternative și se înseriază cu un condensator de $0,047 \dots 0,1 \mu F$; se citește rezultatul pe scala marcată cu dB.

Pentru măsurarea rezistențelor electrice, se rotește comutatorul în poziția Ω și se introduce cordonul negru în borna COM iar cel roșu într-una din bornele $\times 1$ sau $\times 100$.

Se scurtcircuitază cordonul și cu ajutorul potențiometrului de pe partea laterală a aparatului se aduce acul indicator la margine de scală pe zero Ω .

Valoarea rezistenței măsurate se determină din înmulțirea indicației acului de pe scala Ω cu constanta corespunzătoare domeniului de pe aparat ($\times 1$ sau $\times 100$) scrisă de altfel și în tabelul 6.2.

Măsurarea capacităților electrice se realizează cu CITO 38 printr-o schemă de capacimetru balistic la fel ca pentru MAVO1 (vezi cap. 5 § 5.45). Se aranjează aparatul pentru măsurări de rezistențe electrice și se leagă bornele condensatorului cu cele două cordoane ale instrumentului.

Se urmărește pe scala "V=" (divizată de la 0 la 10). Valoarea capacității în microfarazi (μF) se obține din indicația acului dedusă din scara comparativă din fig. 6.68.

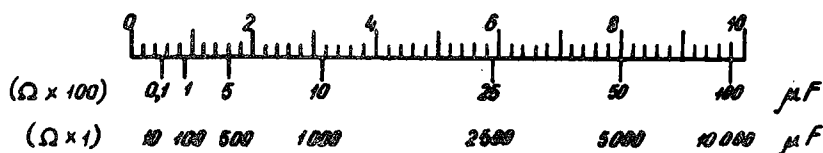


Fig. 6.68. Scara comparativă pentru măsurarea capacităților electrice cu CITO 38.

6.5.2. Metrix MX 209 A

Produs de I.T.T.-METRIX, acest multimetru este un aparat portabil destinat aplicațiilor industriale.

Gamele și domeniile de măsurare ale aparatului sînt indicate în tabelul 6.3.

Tabelul 6.3.

Gama de măsurare	Clasa de precizie	Unitatea de măsură	Domeniul	Observații
Tensiune continuă	1,5 și 2	V	0,1; 0,5; 1,5; 5; 15; 50; 150;	-
			500; 1 500	Se măsoară prin borne separate
Tensiune alternativă	2,5	V	5(150 μ A); 15; 50; 150; 500;	-
			1 500	-"-
Curent continuu	1,5	μ A	50; 500;	-
		mA	5; 50; 500;	-
		A	5	-"-
Curent alternativ	1,5	mA	15; 150;	-
		A	1,5	-
Rezistență electrică		Ω și k Ω	2 Ω ÷ 5 k Ω ; 20 Ω ÷ 50 k Ω ; 200 Ω ÷ 500 k Ω și 2 k Ω ÷ 5 M Ω	Se alimentează cu 2 baterii R 1 (CEI) sau R 6 (adaptare)

Măsurarea rezistențelor electrice (fig. 6.69). Se rotește comutatorul lateral 1 pînă cînd apare în fereastra 2, domeniul de măsurare dorit.

Se introduc în bornele "COM-" și "VmA Ω " cordonale.

Înainte de măsurarea rezistenței necunoscute R_x se scurtcircuitază cordonale și din potențiometrul 3 se aduce acul pe zero Ω al scalei verzi.

Rezultatul măsurării se determină din înmulțirea indicației acului 4 cu constanta corespunzătoare domeniului de măsurare din tabelul 6.4.

Tabelul 6.4.

Domeniul	Constanta	Rezultatul	Citirea
$\Omega \times 1$	$\times 1$	Ω sau k Ω	Scala verde
$\Omega \times 10$	$\times 10$		
$\Omega \times 100$	$\times 100$		
$\Omega \times 1 \text{ k}$	$\times 1 \text{ 000}$		

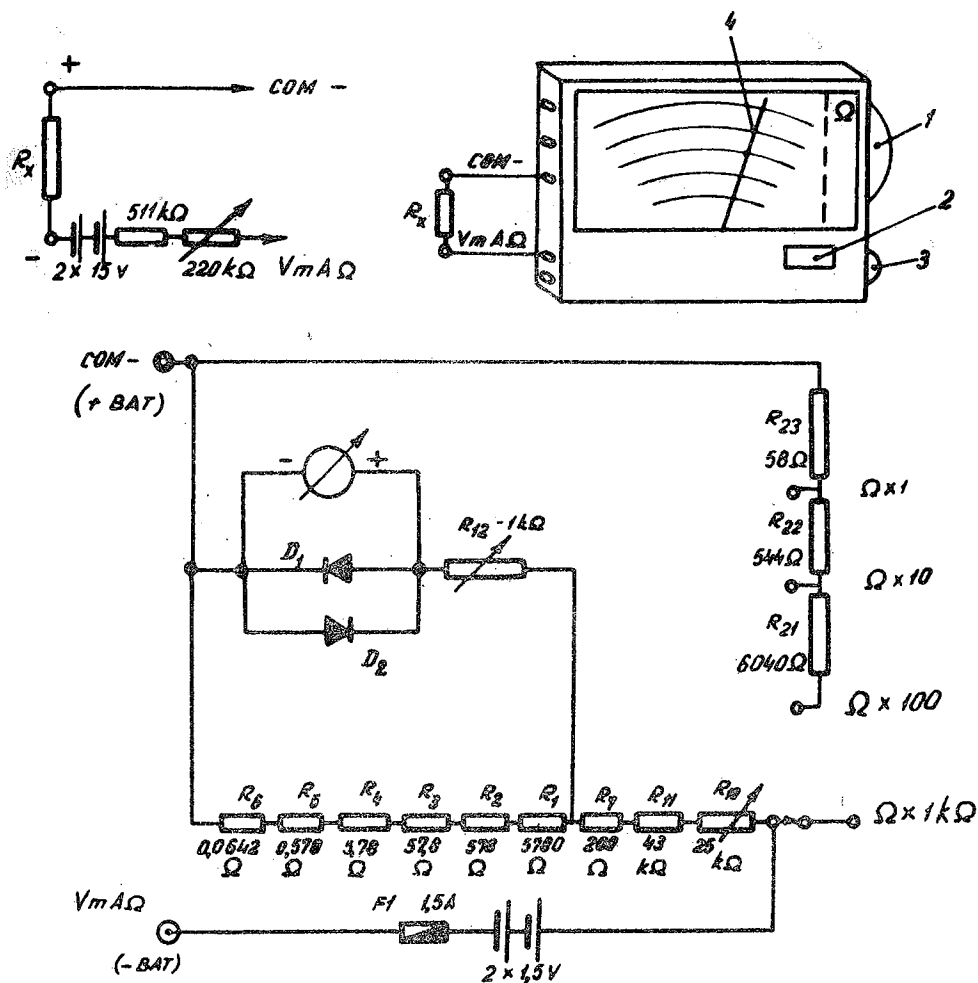


Fig. 6.69. Măsurarea rezistențelor electrice cu Metrix M X. 209A.

Pentru extinderea domeniului de măsurare ($\times 10\ 000$) se introduce în circuitul de măsurat adaptorul pentru ohmmetru HA 0906, accesoriu opțional livrat de firmă (fig. 6.70).

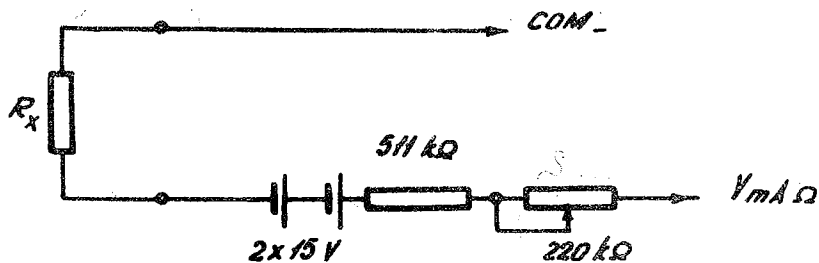


Fig. 6.70. Schema de măsurat a rezistenței R_x cu accesoriul HA 0906.

Măsurarea curentului continuu (fig. 6.71). Se rotește comutatorul lateral 1 pînă cînd apare în fereastra 2 domeniul de măsurare dorit. Trebuie respectată polaritatea indicată în fig. 6.71 prin legarea corespunzătoare a cordonelor de măsurat.

a) la bornele aparatului "COM-" pentru "mA" și "VmA Ω" sau "+5 A" pentru "+A";

b) la sursa de tensiune continuă.

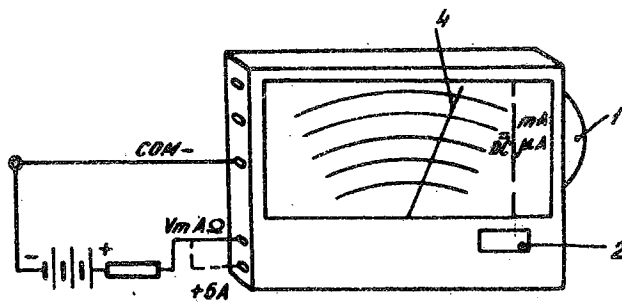


Fig. 6.71. Măsurarea curentului continuu.

Valoarea curentului continuu măsurat se determină din indicația acului 4 și constanta din tabelul 6.5 prin înmulțire sau împărțire.

Tabelul 6.5.

Domeniu	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
500 mA	x 10	mA	scala 50 neagră
50 mA	x 1	mA	
5 mA	: 10	mA	
0,5 mA	: 100	mA	
50 μ A	x 1	μ A	

Domeniul + 5 A. Pentru măsurarea curentului continuu până la + 5 A se conectează circuitul de măsurat la borna +5 A (punctat în fig. 6.71) și comutatorul 1 se rotește pentru afișarea în fereastra 2 a indicației 500 mA.

Valoarea curentului se determină din datele tabelului 6.6.

Tabelul 6.6.

Borna	Domeniu	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
+5 A	500	: 10	A	scala 50 neagră

Extinderea domeniului de măsură a curentului continuu

Se afișează în fereastră, 0,1 V continuu și se realizează schema de măsurat conform fig. 6.72 în care s-a inclus șuntul de măsurat potrivit.

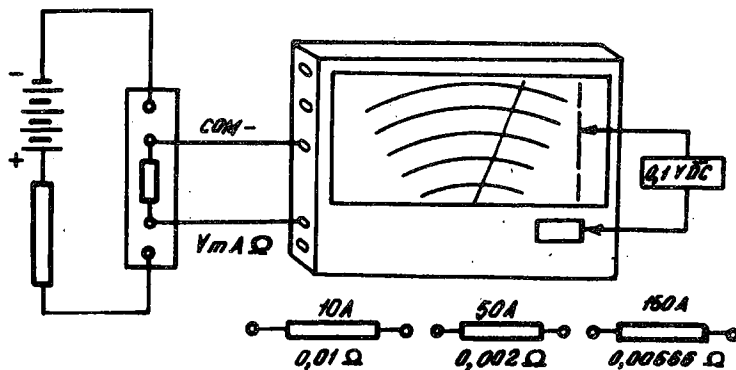


Fig. 6.72. Extinderea domeniului de măsură a curentului continuu.

Rezultatul se determină din indicațiile aparatului și tabelul 6.7.

Tabelul 6.7.

Suntul	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
10 A	: 5	A	scala 50 neagră
50 A	x 1	A	
150 A	x 3	A	

Sunturile se livrează - la cerere - împreună cu multimetrul.

Măsurarea tensiunii continue. Prin rotirea comutatorului 1 se afișează în fereastra 2 domeniul dorit. Trebuie respectată polaritatea indicată în fig. 6.73 prin legarea corespunzătoare a cordoanelor de măsură:

- la bornele aparatului;
- la sursa de tensiune continuă.

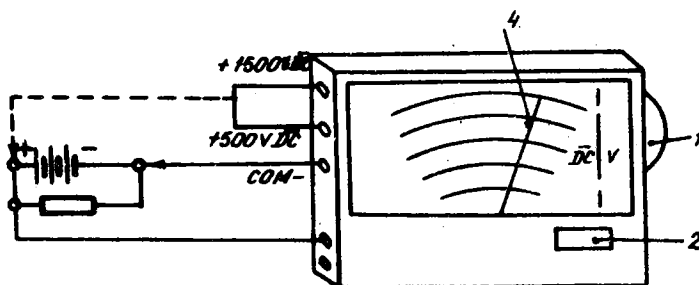


Fig. 6.73. Măsurarea tensiunii continue.

Valoarea tensiunii continue se determină din indicația acului 4 și constanta din tabelul 6.8 prin înmulțire sau împărțire.

Tabelul 6.8.

Domeniu	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
0,1 V	x 2	mV	scala 50 neagră
0,5 V	x 10	mV	scala 50 neagră
1,5 V	: 10	V	scala 15 neagră
5 V	: 10	V	scala 50 neagră
15 V	x 1	V	scala 15 neagră
50 V	x 1	V	scala 50 neagră
150 V	x 10	V	scala 15 neagră

Tensiunea continuă +500 V și 1500 V. Se afișează în fereastra 2, "150 V \overline{DC} " și se leagă între bornele "COM-" și "+500 V \overline{DC} " sau "+1500 V \overline{DC} " cum se indică punctat în fig. 6.73.

Valoarea tensiunii măsurate se determină din indicația aparatului și din tabelul 6.9.

Tabelul 6.9.

Borna	Domeniu	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
+ 500 V \overline{DC}	150 V	x 10	V	scala 50 neagră
+1500 V \overline{DC}	150 V	x 100	V	scala 15 neagră

Extinderea domeniului de măsură a tensiunii continue. Pentru măsurarea tensiunilor înalte continue - de exemplu, tensiunea foarte înaltă de alimentare a tuburilor cinescop - se procedează conform fig. 6.74 prin utilizarea sondelor XHA 872 și XHA 873.

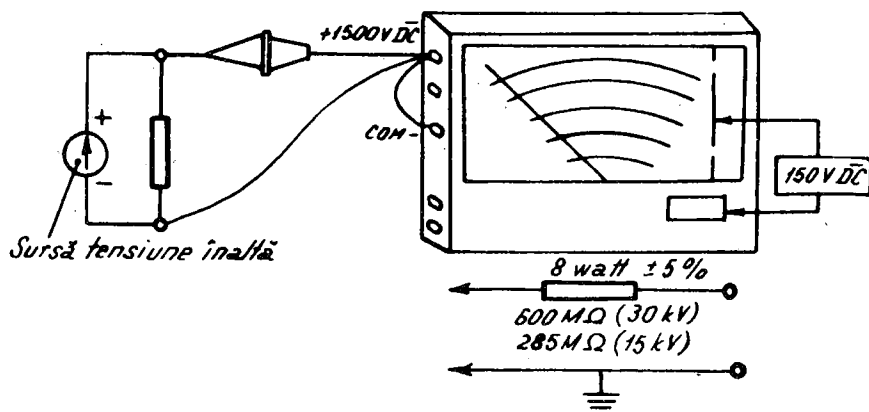


Fig. 6.74. Măsurarea tensiunii continue înalte.

Se afișează în fereastră "150 V DC" și se determină rezultatul din indicațiile aparatului și din tabelul 6.10.

Tabelul 6.10

Sonda utilizată	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
15 kV (XHA 872)	x 1	kV	scala 15 neagră
30 kV (XHA 873)	x. 2	kV	

Trebuie ca sonda să fie curată, praful este bun conducător de electricitate. De asemenea, este necesar să se verifice continuitatea circuitului între inelul de gardă și fișele cu banane negre cu ajutorul unui ohmmetru. Rezistența acestui circuit nu trebuie să depășească 10 Ω . Se mai recomandă să se lucreze într-o încăpere foarte uscată pe un covor izolan. Trebuie evitat orice contact între mîna liberă sau orice parte a corpului și piese metalice.

Cînd este posibil, măsuraarea tensiunii înalte se va face după o rezistență care în caz de accident va provoca o cădere de tensiune importantă.

Tot pentru extinderea domeniului de măsurare a tensiunii continue, se poate utiliza un bloc adițional XHA 875 livrat - la cerere - de fabrică. Schema și utilizarea împreună cu aparatul de măsurat Metrix ITT se pot observa în fig. 6.75 și fig. 6.76.

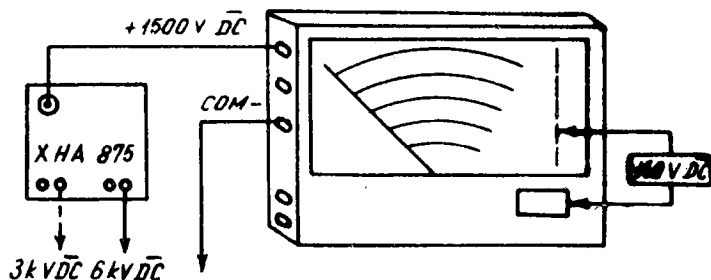


Fig. 6.75. Utilizarea blocului adițional XHA 875 pentru măsurarea tensiunii continue înalte.

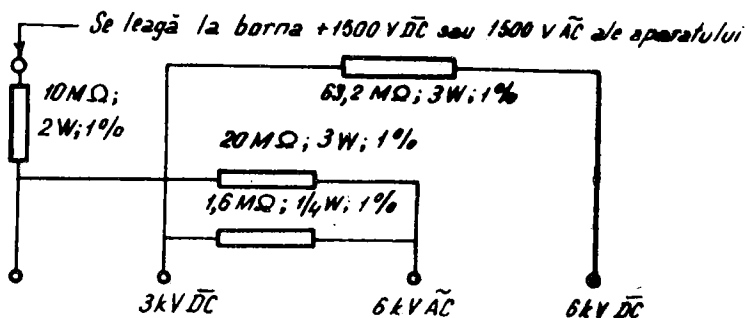


Fig. 6.76. Schema electrică a blocului adițional XHA 875.

Pentru măsurare, se conectează blocul XHA 875 conform fig. 6.75 și se afișează în fereastră "150 V \overline{DC} ". Se conectează la exterior pentru 6 kV sau 3 kV, după caz. Borna blocului XHA 875 notată cu "+1500 V \overline{DC} " se conectează cu borna aparatului de măsurat, notată la fel (vezi fig. 6.75).

Măsurarea tensiunii alternative. Se rotește comutatorul lateral 1, pînă cînd apare în fereastra 2, domeniul de măsurare dorit (fig. 6.77).

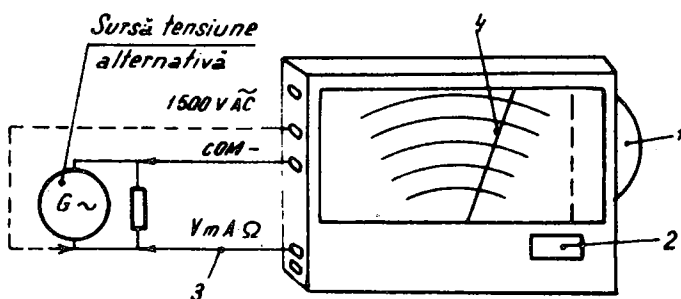


Fig. 6.77. Măsurarea tensiunii alternative.

Cordoele de măsurat 3 se leagă la bornele aparatului, indicate pe cadran, fără a avea în vedere o polaritate anume.

Valoarea tensiunii alternative, se determină din indicația acului 4 și constanta din tabelul 6.11 prin înmulțire sau împărțire.

Tabelul 6.11.

Domeniu	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
500 V	x 10	V	scala 50 roșie
150 V	x 10	V	scala 15 roșie
50 V	x 1	V	scala 50 roșie
15 V	x 1	V	scala 15 roșie
5 V	: 10	V	scala 50 roșie

Tensiunea alternativă 1 500 V. Se afișează în fereastra 2, domeniul "500 V AC ~" și se introduc cordonțele de măsurat între bornele "COM" și "1500 V AC ~" (punctat în fig. 6.77). Valoarea tensiunii măsurate se determină din indicația aparatului și din tabelul 6.12.

Tabelul 6.12.

Borna	Domeniul	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
1500 V ~	500 V	x 100	V	scala 15 roșie

Extinderea domeniului de măsurare a tensiunii alternative.

Pentru măsurarea tensiunilor înalte alternative se conectează circuitul de măsurat conform fig. 6.78; se remarcă utilizarea sondei XHA 940.

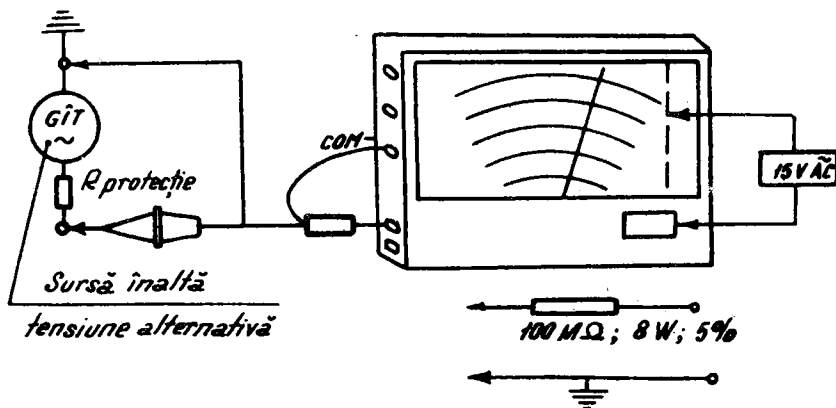


Fig. 6.78. Măsurarea tensiunii alternative înalte.

Se afișează în fereastră "15 V AC ~" și se determină rezultatul din indicațiile aparatului și din tabelul 6.13.

Tabelul 6.13

Sonda utilizată	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
15 kV(XHA 940)	x 1	kV	scala 15 roșie

Trebuie să se respecte aceleași indicații de la măsurarea tensiunii continue înalte cu sonda de măsurat; sonda să fie curată de praf, circuitul între inelul de gardă și fișele cu banane negre să fie continuu și rezistența sub 10Ω , să se lucreze într-o încăpere uscată pe un covor izolant, să se evite contactul între mîna liberă sau orice parte a corpului și piese metalice, să se însereze în circuitul de măsurat o rezistență de protecție care să provoace o cădere de tensiune importantă în caz de accident.

NOTA:

Măsurări la 400 Hz. Aparatul Metrix ITT are un punct rece ("COM-") și un punct cald. În acest caz se recomandă legarea bornei "COM-" cu borna sursei care prezintă cea mai mică impedanță în raport cu pămîntul. Dacă este complicat de identificat această bornă, se va izola capacitiv aparatul de măsurat față de corpurile din jur. Dacă sursa are o bornă de masă, este indicat să se lege această bornă cu borna "COM-" a aparatului.

Măsurarea curentului alternativ. Se rotește comutatorul lateral 1 pînă cînd apare în fereastra 2, domeniul de măsură dorit. Se leagă cordonale de măsură 3 cum se indică în fig. 6.79 bornele de măsură fiind notate pe cadran. Sensul în care se leagă bornele este indiferent.

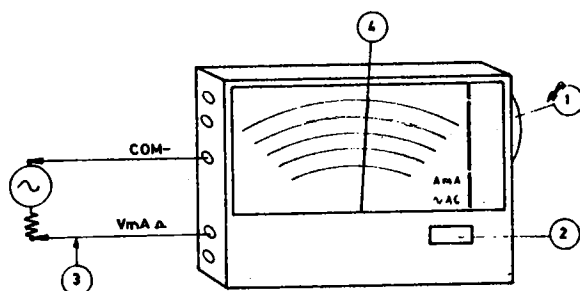


Fig. 6.79. Măsurarea curentului alternativ.

Valoarea curentului alternativ măsurat se determină din indicația acului 4 și constanta din tabelul 6.14 prin înmulțire sau împărțire.

Tabelul 6.14.

Domeniul	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea	Căderea de tensiune
15 mA	x 1	mA	scala 15 roșie	1 V
150 mA	x 10	mA		1,1 V
1,5 A	: 10	A		1,2 V
5 V AC~ (150 μ A)	x 10	μ A		4,75 V

Extinderea domeniului de măsurare a curentului alternativ pînă la 1000 A.

Se realizează cu un clește ampermetric prin conectare conform fig. 6.80.

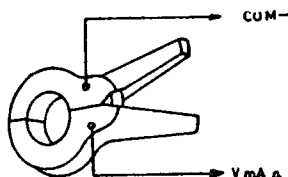


Fig. 6.80. Utilizarea cleștelui ampermetric.

Se alege domeniul de măsurare al curentului cel mai potrivit, știind că trebuie să se înmulțească cu 1 000 curentul măsurat pentru a obține curentul real înconjurat de cleștele ampermetric.

Pentru obținerea rezultatului se va lucra pe domeniile indicate în tabelul 6.15.

Tabelul 6.15.

Domeniul	Constanta	Unitatea de măsură	Citirea
15 mA	x 1	A	scala 15 roșie
150 mA	x 10		
1,5 A	x 100		

Se va limita citirea la indicația 10 care corespunde intensității maxime măsurabile de 1 000 A.

Schema de principiu a aparatului METRIX este prezentată în fig. 6.81.

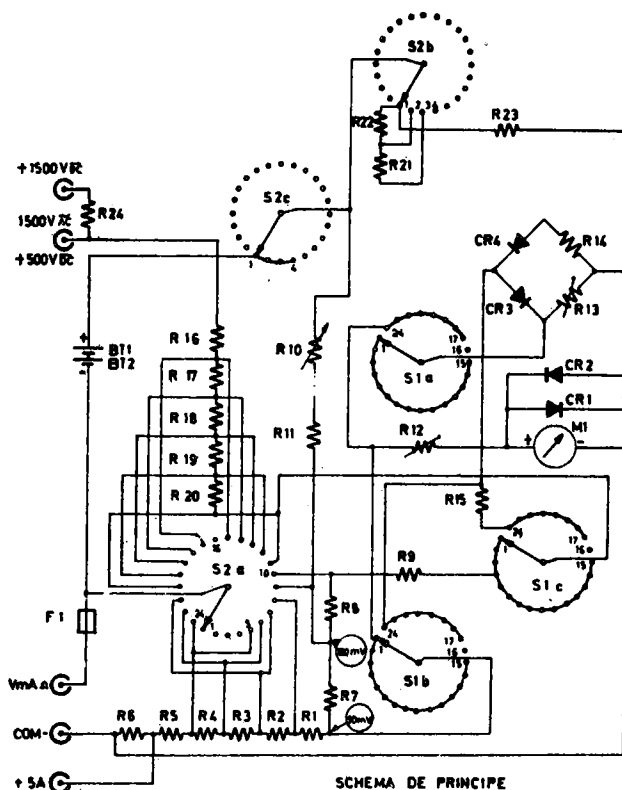


Fig. 6.81. Schema de principiu a aparatului de măsurat METRIX MX 209 A.

În tabelul 6.16 sînt prezentate cele 24 poziții de măsurare ale comutatoarelor S_1 și S_2 pentru diferite funcții și domenii de măsurare.

Tabelul 6.16.

S ₁ a b c	1 ÷ 15				16		17 ÷ 24			
	DC 20 000 Ω/V				0		AC (6 320 Ω/V)			
	Ω		mA DC		V DC		V AC		mA AC	
S ₂ a b c	1	x 1	5	500(+5 A)	10	0,5	17	500 (1500)	22	15
	2	x 10	6	50	11	1,5			23	150
	3	x 100	7	5	12	5	18	150	24	1,5 A
	4	x 1k	8	500 μA	13	15	19	50		
			9	50 μA (0,1 V)	14	50	20	15		
					15	150	21	5		
						+500 +1500				
					16	0				

6.5.3. Normatest

Produs al firmei austriece NORMA din Viena, acest multimetru este un aparat portabil destinat utilizării în aplicațiile industriale.

Gamele și domeniile de măsură ale aparatului sînt prezentate în continuare.

Curent continuu

30 μA (cădere de tensiune: 60 mV)

120 μA (cădere de tensiune: 300 mV)

0,6 ; 3 ; 12 ; 60 mA și 0,3 ; 1,2 ; 6 A (cădere de tensiune cca 150 mV).

Tensiune continuă

12 mV (consum de curent $25 \mu\text{A}$, $40\,000 \Omega/\text{V}$) de asemenea și când se folosește o rezistență adițională pentru tensiune înaltă.

60 mV (consum de curent $30 \mu\text{A}$);

300 mV (consum de curent $120 \mu\text{A}$);

1,2; 6; 30; 60; 120; 600 V (consum de curent $50 \mu\text{A}$ la $20\,000 \Omega/\text{V}$).

Curent alternativ

$150 \mu\text{A}$ (cădere de tensiune, cca 420 mV);

$600 \mu\text{A}$ (cădere de tensiune cca. 1,5 V);

3; 15; 60; 300 mA și 1,5; 6 A (cădere de tensiune, cca 750 mA).

Tensiune alternativă

1,5 V (consum de curent, $600 \mu\text{A}$);

6; 30; 150; 300 și 600 V (consum de curent $250 \mu\text{A}$ la $4\,000 \Omega/\text{V}$).

Rezistențe electrice

10... 300... $50\,000 \Omega$;

1 k Ω 30 k Ω ... 5 M Ω (cu baterie inclusă de 1,5 V).

Temperatură

20... 240°C (pentru conectare cu termocuplu Fe-Constantan).

Nivel de tensiune

-20... 0... + 6 dB la 1,5 V \sim cu următoarele constante de citire:
+ 12; + 26; + 40; + 46 dB la 6; -30; - 150; - 300 V \sim .

Clasa de precizie

- curent continuu: $\pm 2,5\%$

- curent alternativ:

- 15... 500 Hz ; $\pm 1\%$
- ...5000 Hz ; $\pm 2,5\%$
- ... 30 kHz ; $\pm 5\%$

Schema de principiu a NORMATEST-ului este prezentată în fig. 6.82.

Aparatul - pentru extinderea domeniului de măsură - poate fi asociat cu şunturi de 60 mV - cădere de tensiune - sau cu transformatoare de curent de 5 A (în secundar), pentru măsurarea curentului, sau cu rezistenţe adiţionale respectiv transformatoare de tensiune pentru măsurarea tensiunilor.

Pentru ambele domenii de măsurare ale rezistenţelor electrice, este necesară o baterie de 1,5 V.

Înainte de folosire, se verifică dacă acul indicator este în poziţie de zero. Se corectează cu şurubul de nul.

Comutatorul de game se fixează pe:

"AC~", "AV", "dB" pentru curent alternativ, tensiune alternativă sau nivel de tensiune;

"DC-", "AV" pentru curent sau tensiune continuă;

"DC-", "AV" pentru curent continuu sau tensiune continuă;

"DC-", " Ω " pentru rezistenţe electrice;

"DC- 12 mV", " $^{\circ}$ C" pentru măsurări de temperatură cu termocuplu din Fe-Constantan.

Comutatorul de domenii se aşează în poziţia necesară. Pentru un curent sau tensiune a cărei valoare nu se cunoaşte, se aşează pe domeniul maxim (600 V respectiv 6 A).

Cordoanele de măsurat folosite sînt conductoare de 0,3... 4 mm diametru, izolate sau cordoane cu banane ştecher care se introduc în partea frontală.

La măsurarea unui circuit de reţea sînt necesare legături sigure.

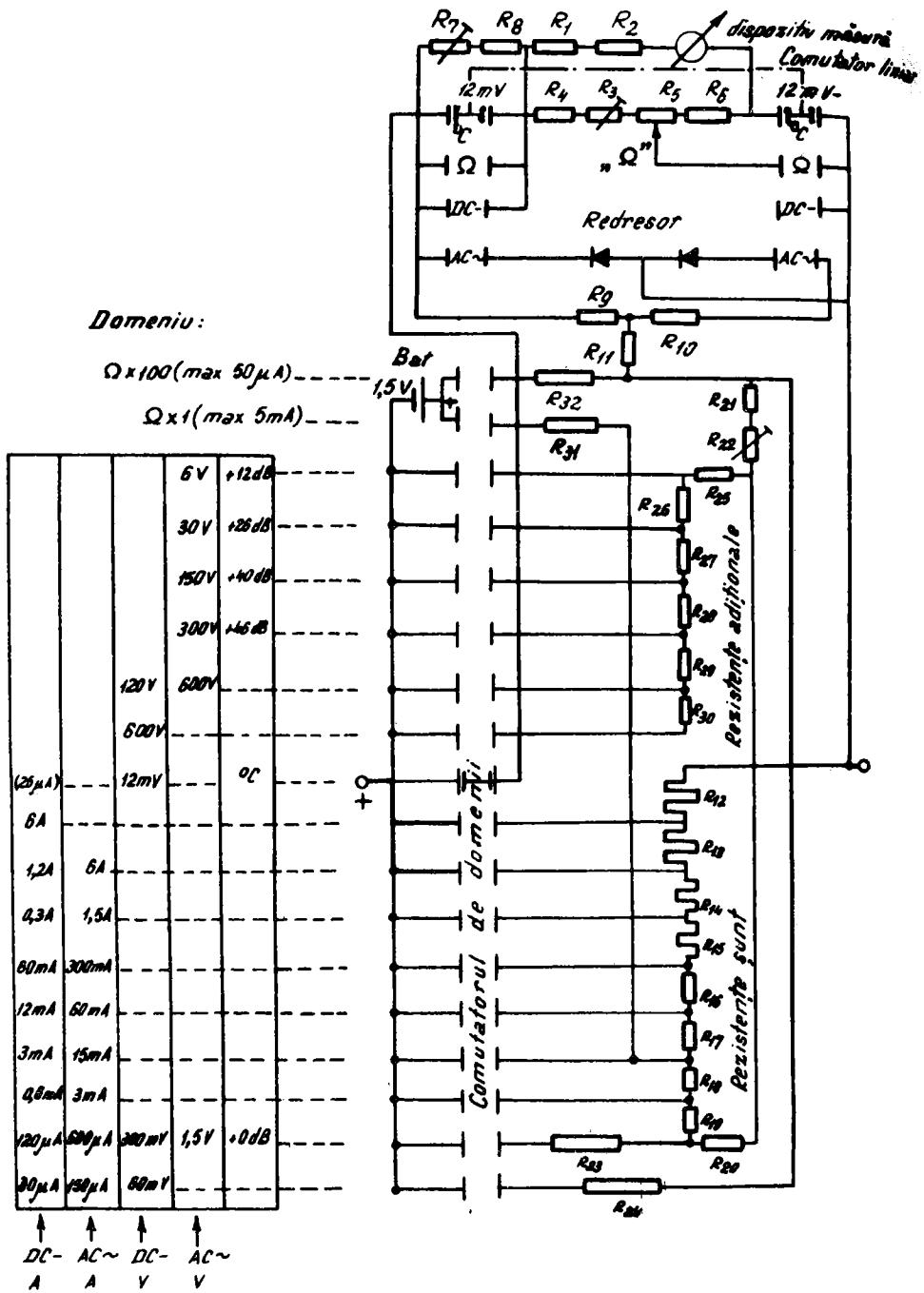


Fig. 6.82. Schema de principiu a NORMATEST-ului.

Pentru măsurări corecte la frecvențe înalte trebuie ca borna de minus a aparatului să se lege cu borna de împământare.

În timpul măsurării pot apare influențe statice, de exemplu prin capacitatea mâinilor sau prin frecarea scalei sau carcasei aparatului.

Pentru determinarea mărimii și valoarea mărimii măsurate se are în vedere poziția comutatorului de game și a comutatorului de domenii.

Valoarea măsurată este obținută din înmulțirea constantei domeniului cu indicația de pe scală.

Când se măsoară curent alternativ ("AC ~") de 6 A, timpul de măsurare nu trebuie să depășească 2 minute.

Măsurările obținute cu NORMATEST se aseamănă măsurărilor efectuate cu CITO 38 și Metrix ITT.

În plus, acest aparat are posibilitatea unor măsurări mai speciale, descrise în continuare.

Măsurarea curentului și tensiunii de frecvență înaltă (fig. 6.83). Curentul de înaltă frecvență se poate măsura cu ajutorul unui convertor termic pentru care se trasează în prealabil diagrame sau tabele de transformare.

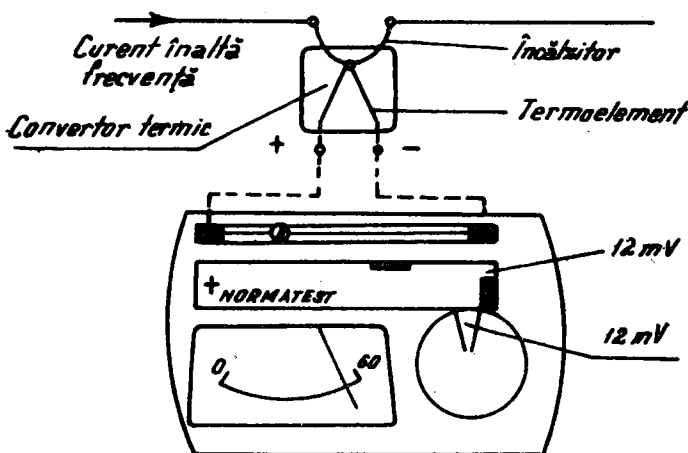


Fig. 6.83. Măsurarea curentului și tensiunii de înaltă frecvență.

aceste diagrame sau tabele se reprezintă - folosindu-se un curent de joasă frecvență - curentul de intrare (mA sau A) în încălzitor și tensiunea de ieș (mV) din termoelement.

Citirea se face pe scara de 60 diviziuni cu constanta de citire de 0,2 mV/div.

Tensiunea de înaltă frecvență se măsoară în același mod, folosindu-se o rezistență peliculară de valoare cunoscută, neinductivă și fără capacitate, înseriată cu un convertor termic de valoare cunoscută (de exemplu, 10 mA).

Măsurarea condensatoarelor. Capacitatea unui condensator se determină - pentru un curent măsurat prin condensator I_C și o tensiune măsurată U la o frecvență cunoscută - din relația

$$C_x = \frac{I_C}{2\pi f U} \quad (6.46)$$

în care:

- C_x este capacitatea necunoscută [F] ;
- I_C - curentul prin condensatorul C_x [A] ;
- f - frecvența rețelei;
- U - tensiunea de alimentare [V] .

Pentru a proteja instrumentul în cazul în care C_x se străpunge, se înseriază cu acesta un condensator C_N de valoare cunoscută (de exemplu, 0,2 μF) și se măsoară conform fig. 6.84.

Pentru tensiunea de rețea de 220 V și 50 Hz se măsoară în domeniul 15 mA - avînd condensatorul C_x scurtcircuitat, curentul I_N (pentru $C_N = 0,2 \mu F$, $I_N = 13,8$ mA). Apoi - după îndepărtarea scurtcircuitului - se măsoară curentul I care trece prin cei doi condensatori înseriați.

Din ecuația:

$$C_x = \frac{200}{\frac{I_N}{I} - 1}$$

se determină valoarea capacității necunoscute C_x în nF (1 nF = 10^{-9} F = 1000 pF)

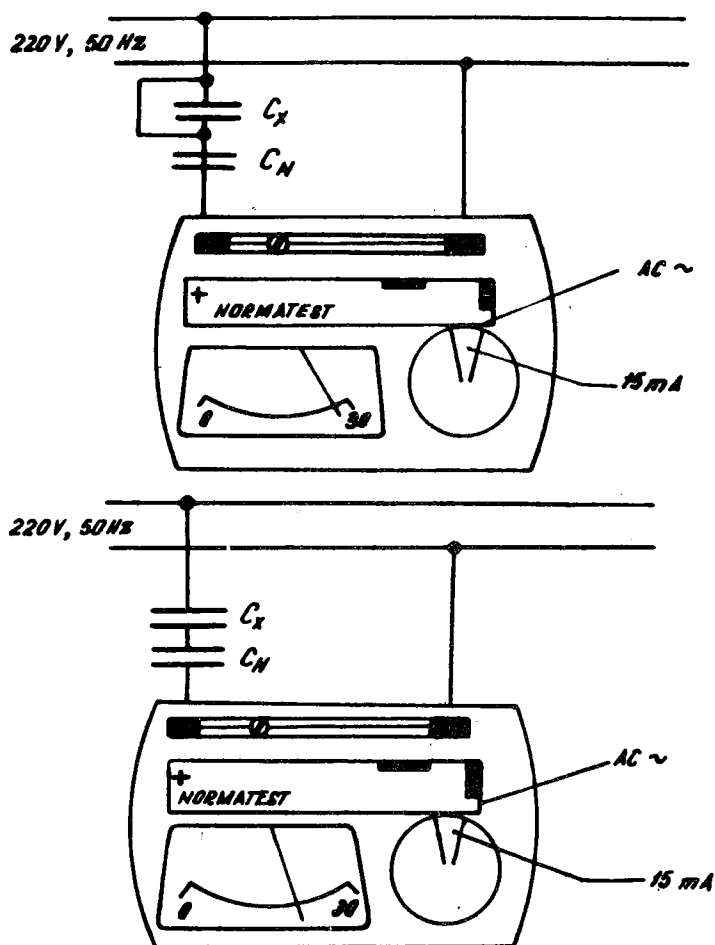


Fig. 6.84. Măsurarea condensatoarelor electrice.

Pentru $U = 220 \text{ V}$, $f = 50 \text{ Hz}$ și $C_N = 0,2 \mu\text{F}$ se poate determina cu ajutorul conversiei de scală (fig. 6.85), fără calcul, capacitatea C_x .

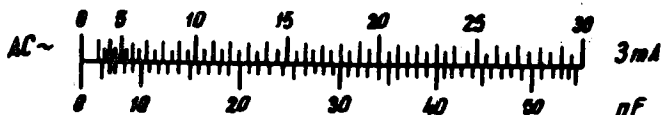
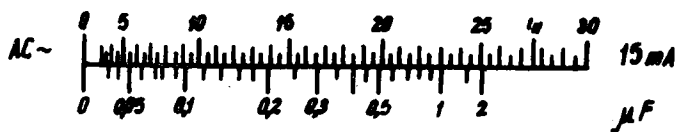


Fig. 6.85. Conversia de scală pentru capacități.

Se pot măsura capacități în următoarele domenii:

- a) domeniul 15 mA 0,03... 2 μ F;
- b) domeniul 3 mA 5.....55 nF.

Măsurarea frecvenței. Cu circuitul de măsurat prezentat în fig. 6.84 și în care există numai condensatorul de valoare cunoscută C_N alimentat de la o sursă de tensiune U suficient de constantă se determină prin calcul frecvența f cu expresia

$$f = \frac{I_C}{2\pi U C_N} \quad (6.47)$$

în care:

f este frecvența în Hz;

I_C - curentul prin condensatorul C_N (A);

U - tensiunea sursei de alimentare (V);

C_N - valoarea capacității condensatorului C_N (F).

Măsurarea temperaturii cu ajutorul termocuplului.

Se realizează circuitul de măsurat din fig. 6.86 prin folosirea unui termocuplu Fe-Constantan (temperatura până la 900°C).

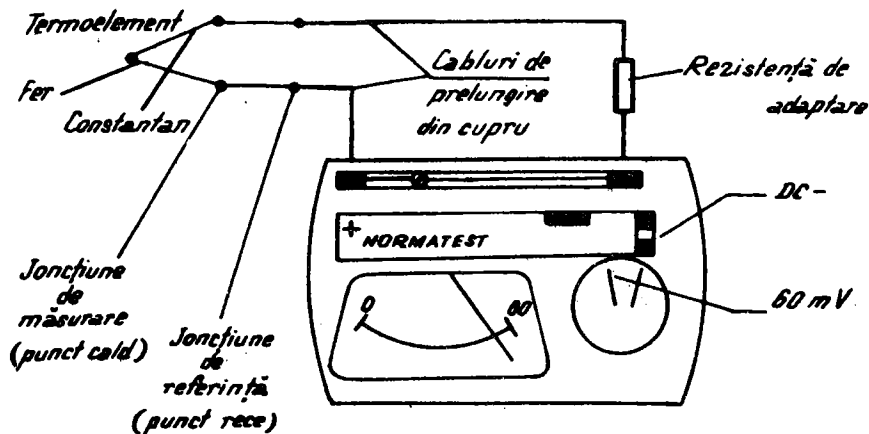


Fig. 6.86. Măsurarea temperaturii cu termocuplul Fe-Constantan și NORMATEST.

Conversia în $^{\circ}\text{C}$ se realizează cu scalele prezentate în fig. 6.87.



Fig. 6.87. Scală de conversia temperaturii în $^{\circ}\text{C}$ cu termocuplul Fe-Constantan.

6.5.4. LAVO-2

Este un aparat de măsurat universal, portabil, cu ajutorul căruia se pot măsura: tensiuni, curenți, rezistențe și capacități electrice.

- Rezistența de intrare:

- curent și tensiune continuă..... 3 162 Ω /V
- curent și tensiune alternativă..... 1 000 Ω /V

- Clasa de precizie:

- curent și tensiune continuă..... 2,5
- curent alternativ..... 2,5
- tensiune alternativă cu excepția domeniului de 1 V..... 2,5
- tensiune alternativă, domeniul de 1 V..... 5
- ohmmetru (2... 40 ... 500 Ω și 0,2... 4... ... 50 k Ω)..... 2,5
- ohmmetru (0,02... 0,2... 2 M Ω)..... 5
- capacimetru (2... 20... 30 nF)..... 5

- Frecvența:

- frecvență nominală..... 50 Hz
- frecvență limită de utilizare pentru:
 - 1... 1 000 mA..... 20 ÷ 20 000 Hz
 - 1... 30 A..... 20 ÷ 20 000 Hz
 - 100 V..... 20 ÷ 10 000 Hz
 - 300 V..... 20 ÷ 3 000 Hz
 - 1 000 V..... 20 ÷ 1 000 Hz

- Tensiunea de încercare..... 3 kV

- Domenii de măsură:

- tensiuni continue și alternative [V] 0,3; 1; 3; 10; 30;
100; 300; 1 000.
- curenți continui și alternativi (mA)..... 0,3; 1; 3; 10; 30;
100; 300; 1 000

- rezistențe și capacități electrice:

2... 40... 500 Ω cu tensiune de măsură 1,25... 1,85 V

0,2... 4... 50 k Ω cu tensiune de măsură 1,25... 1,85 V

0,02... 0,2... 2 M Ω cu tensiune de măsură 220 V $\pm 5\%$; 50 Hz

2... 10... 30 nF cu tensiune de măsură 220 V $\pm 5\%$; 50 Hz

Măsurarea rezistențelor de valoare mare (0,02... 0,2... 2 M Ω) și capacităților electrice (2... 10... 30 nF) se realizează cu tensiune de 220 V $\pm 5\%$; 50 Hz. Se echilibrează pe zero aparatul LAVO-2 conform fig. 6.88 și apoi se execută măsurarea conform fig. 6.89.

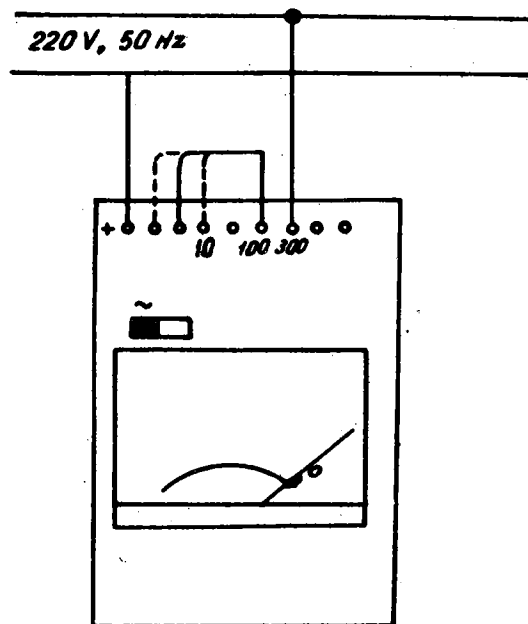


Fig. 6.88. Echilibrarea pe zero a aparatului LAVO-2.

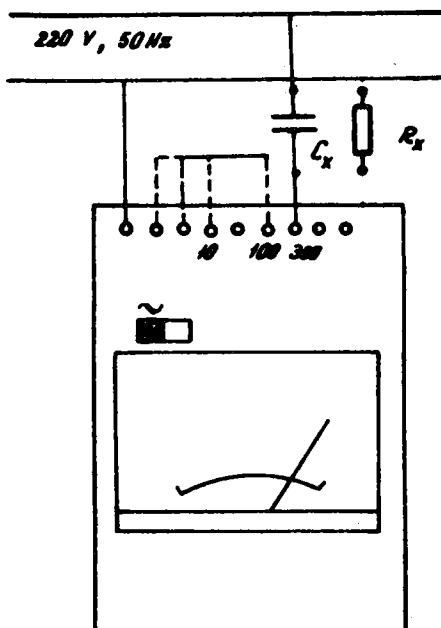


Fig. 6.89. Măsurarea rezistențelor mari și capacităților.

Alimentarea aparatului pentru măsurarea rezistențelor electrice se face cu o baterie de 1,5 V tip R_6 (CEI).

Schema de principiu a multimetrului LAVO-2 este prezentată în fig. 6.90.

Se folosește la măsurarea curenților, tensiunilor continue și alternative și rezistențelor electrice.

Datele tehnice ale aparatului sînt următoarele:

- Rezistența de intrare:

- tensiunea continuă..... 20 000 Ω /V
- tensiunea alternativă..... 5 000 Ω /V

- Clasa de precizie:

- ohmmetru..... $\pm 2,5\%$
- tensiune alternativă..... $-3,5\% \dots +1,5\%$

- Frecvența:

- frecvență nominală..... 50 Hz
- frecvența limită de utilizare pentru:
 - domeniul 300 V ; 600 V ; 1500 mA ;..... 30 ... 2 000 Hz
 - domeniul 60 V ; 150 V..... 30 ... 10 000 Hz
 - alte domenii..... 30 ... 20 000 Hz

- Domenii de măsură:

- tensiuni continue și alternative..... 150 mV și 3; 15; 60;
150 ; 300; 600 V
- curenți continui și alternativi..... 50 μ A (numai c.c.)
200 μ A (numai c.a.) și 1, 5; 6; 30; 150; 600; 1 500 mA
- rezistențe electrice conform tabelului 6.17.

Tabelul 6.17.

Constanta	Domeniul (k Ω)	Curent maxim (mA)
x 0,1	0,01... 0,15... 5	10
x 1	0,1.... 1,5.... 50	1
x 10	1..... 15..... 500	0,1

Determinarea valorii măsurate. Pentru un curent sau o tensiune, valoarea se determină ca rezultat al înmulțirii numărului de diviziuni indicate pe scală de acul indicator și constanta domeniului de măsură:

- pentru curent..... $I = \alpha C_I$
- pentru tensiune..... $U = \alpha C_U$

Iar cele două constante

$$C_I = \frac{I_N}{\alpha_n} \quad \text{și} \quad C_U = \frac{U_n}{\alpha_n}$$

în care:

- I este curentul măsurat;
- U - tensiunea măsurată;
- α - număr de diviziuni indicate pe scală de acul indicator;
- α_n - număr total de diviziuni ale scalei;
- I_n, U_n - valorile indicate pe scală pentru α_n diviziuni.

Exemplu. Tensiunea U măsurată și indicată în fig. 6.92 este

$$U = \alpha C$$

în care:

$$C = \frac{U_n}{\alpha_n} = \frac{600 \text{ V}}{600 \text{ div.}} = 1 \text{ V/div.}$$

$$\alpha = 370 \text{ div (conform fig. 6.92).}$$

Rezultă

$$U = \alpha C = 370 \text{ div} \times 1 \text{ V/div} = 370 \text{ V}$$

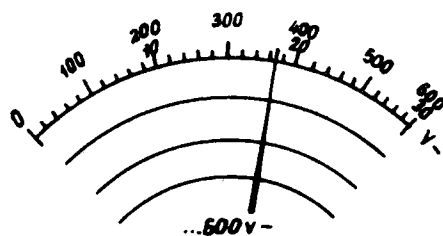


Fig. 6.92. Indicația acului pentru LAVO-3 poziționat pe domeniul 600 V.

Pentru domeniile $50 \mu A$ curent continuu și $200 \mu A$, curent alternativ - sensibilitățile maxime în c.c. și c.a. ale aparatului - nu se calculează o constantă; se folosesc scalele ajutătoare din fig. 6.93 pentru $50 \mu A$ și din fig. 6.94 pentru $200 \mu A$.

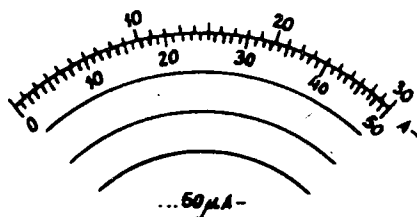


Fig. 6.93. Scala ajutătoare pentru $50 \mu A$ = (LAVO-3).

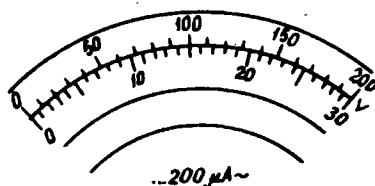


Fig. 6.94. Scala ajutătoare pentru $200 \mu A \sim$ (LAVO-3).

Pentru rezistențe electrice, valoarea se obține în $k\Omega$ prin înmulțirea numărului de diviziuni indicat de ac pe scala $k\Omega$ și constanta $\times 0,1$, $\times 1$

sau $\times 10$ indicate de comutatorul rotativ de domenii cînd comutatorul linier este poziționat pe $k \Omega$.

În continuare, se vor prezenta în fig. 6.95... fig. 6.100 cîteva procedee de măsurare cu LAVO-3.

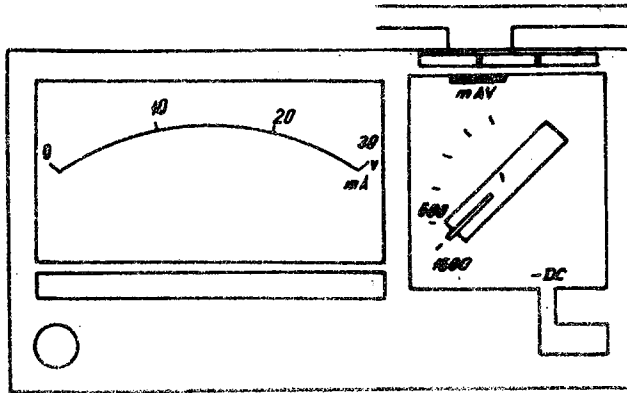


Fig. 6.95. Măsurarea curentului continuu cu LAVO-3.

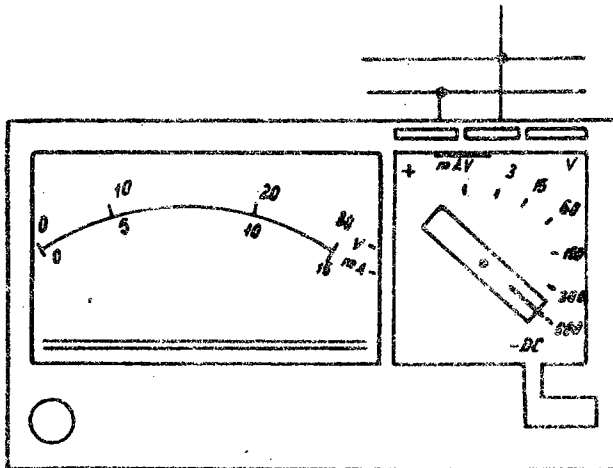


Fig. 6.96. Măsurarea tensiunii continue cu LAVO-3.

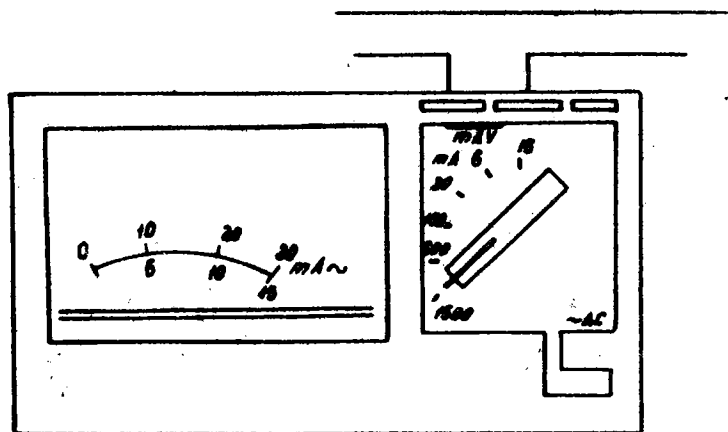


Fig. 6.97. Măsurarea curentului alternativ cu LAVO-3.

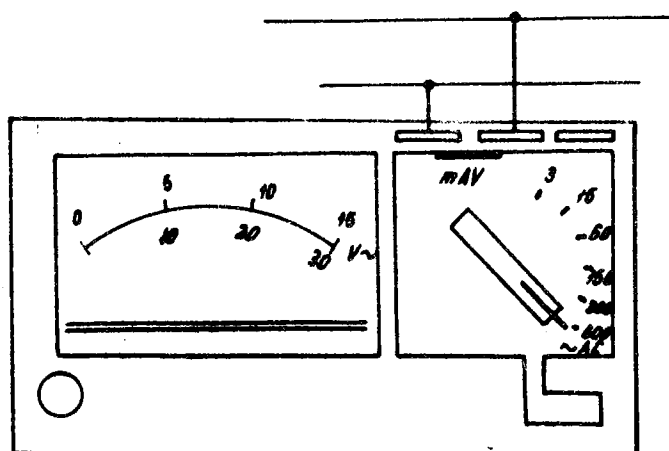


Fig. 6.98. Măsurarea tensiunii alternative cu LAVO-3.

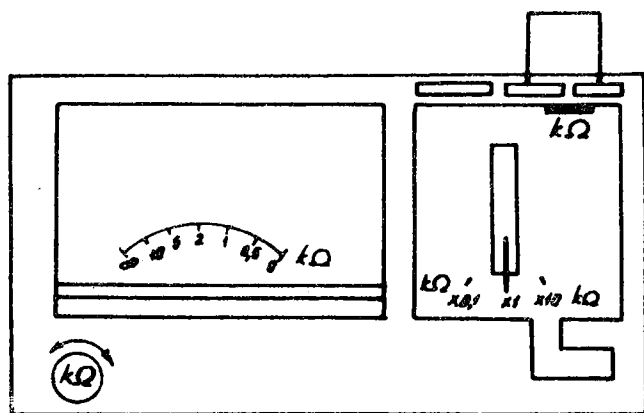


Fig. 6.99. Poziționarea ohmmetrului pe zero (LAVO-3).

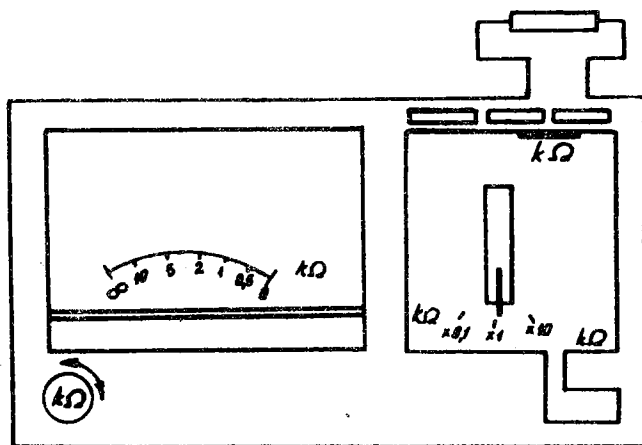


Fig. 6.100. Măsurarea rezistențelor electrice cu LAVO-3.

În fig. 6.101 este prezentată schema de principiu a aparatului de măsurat universal LAVO-3.

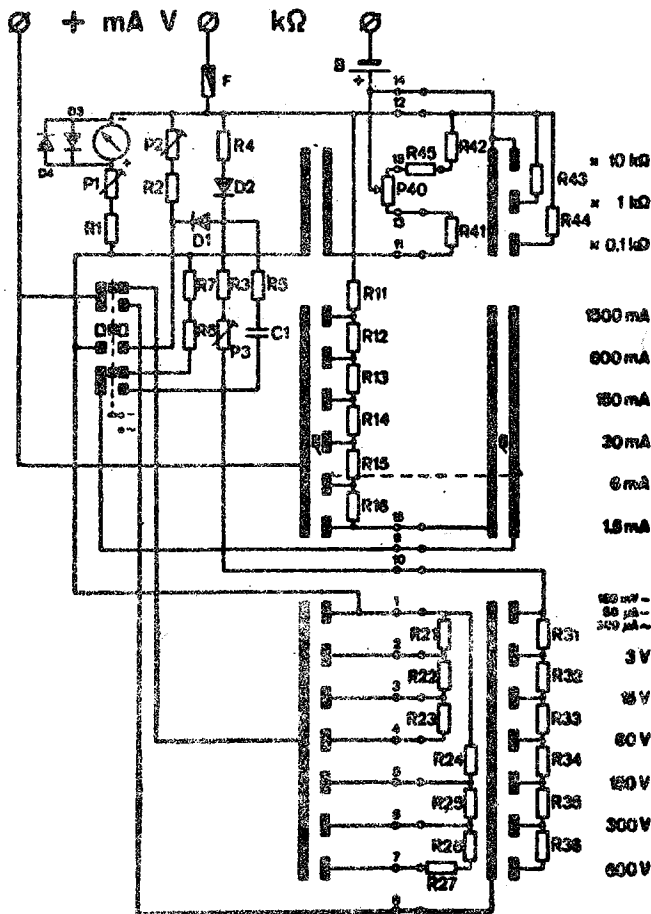


Fig. 6. 101. Schema de principiu a aparatului LAVO-3.

6.5.6. Aparatul universal UM-3 B

Este un aparat portabil pentru aplicații industriale fabricat în Polonia de firma ZAKŁADY WYTWORCZE PRZYRZĄDÓW POMIAROWYCH "Era" din Varșovia (fig. 6.102).

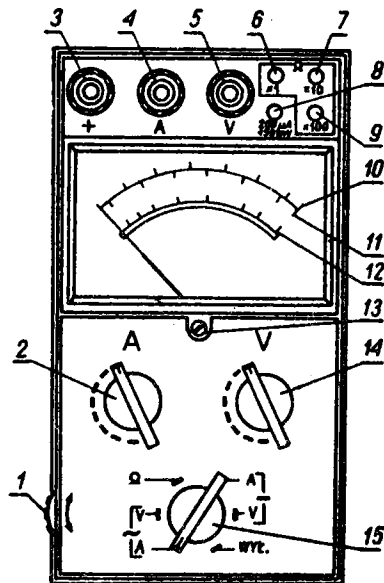


Fig. 6.102. Aparatul universal UM - 3 B.

Părțile componente ale aparatului sînt următoarele:

- 1 - butonul potențiometric pentru poziționarea acului indicator pe zero
- ohmi la măsurarea rezistențelor;
- 2 - comutatorul de selectare a domeniilor de curent;
- 3, 4 și 5 - borne de legătură ("+", "A" și "V");

- 6, 7, 8 și 9 - bușe pentru $\times 1$, $\times 10$, $200 \mu A$ (150 mV) și $\times 100$;
 10 - scală pentru curent și tensiune continuă;
 11 - scală pentru curent și tensiune alternativă;
 12 - scală pentru rezistențe electrice;
 13 - buton de reglare pe zero a acului indicator;
 14 - comutator de selectare a domeniilor de tensiune;
 15 - comutator principal pentru selectarea gamei de măsurare ("A~", "V~", " Ω ", "A-", "V-", "AUS").

Gamele și domeniile de măsură ale aparatului sînt indicate în tabelul 6.18.

Tabelul 6.18.

Gama de măsurare	R_1 Ω/V	Unitatea de măsură		Clasa de precizie
Tensiune continuă	5 000	mV	150 mV	1
		V	1,5; 6; 15; 30; 60; 150; 300; 600 V	
Curent continuu	-	μA	200 μA	1
		mA	1,5; 6; 15; 60; 150; 600 mA	
		A	1,5; 6 A	
Tensiune alternativă	166	V	0,25... 1,5 V	1,5
	1 000	V	1... 6; 2,5... 15; 5... 30; 10... 60; 25... 150; 50... 300; 100... 600 V	
Curent alternativ	-	mA	0,25... 1,5; 1... 6; 2,5... 15; 10... 60; 25... 150; 100... 600; 0,25... 1,5; 1... 6	1,5
Rezistență electrică ^{x)}	55	Ω	0... 1 000 Ω	1
	550	Ω	0... 10 000 Ω	
	5 500	Ω	0... 100 000 Ω	

x) Se măsoară între bornele;

"+" și "x 1" pentru 0... 1 000 Ω ;
 "+" și "x 10" pentru 0... 10 000 Ω ;
 "+" și "x 100" pentru 0... 100 000 Ω ;

Măsurile efectuate cu acest aparat sînt influențate de frecvența curentului sau tensiunii alternative. Clasa de precizie 1,5 indicată în tabelul 6.18 este asigurată numai pentru domeniul de frecvențe 45... 55 Hz. Cînd frecvența crește pînă la 7 000 Hz, precizia aparatului este $\pm 3\%$.

În fig. 6.103 este prezentată schema de principiu a multimetrului UM-3B.

Semnificația întreruptoarelor din această schemă este următoarea:

I - contact al comutatorului principal; închis la măsurarea curentului continuu;

I~ - contact al comutatorului principal; închis la măsurarea curentului alternativ;

R - contact al comutatorului principal; închis la măsurarea rezistenței electrice;

U - contact al comutatorului principal; închis la măsurarea tensiunii continue;

U~ - contact al comutatorului principal; închis la măsurarea tensiunii alternative.

La utilizarea multimetrului UM-3 B - precum și a aparatelor funcțional asemănătoare - se vor respecta următoarele prescripții:

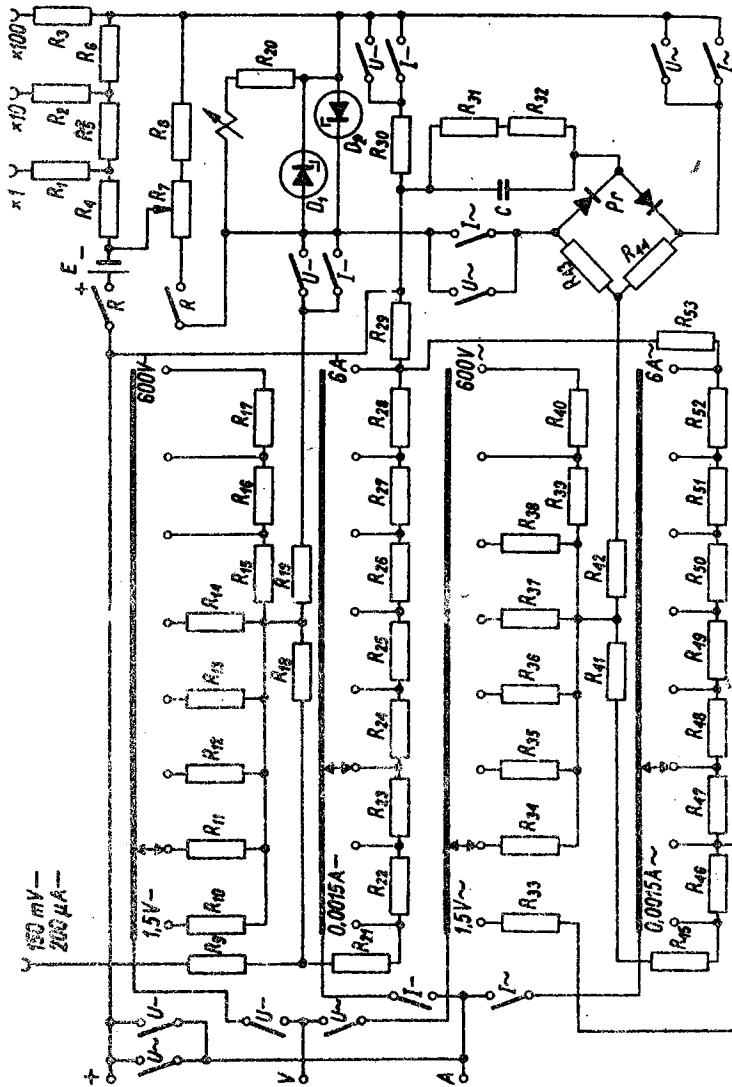
- aparatul de măsurat se așează pe o suprafață plană și orizontală; nu se va ține în mînă;

- nealimentat, acul său indicator trebuie să se așeze pe cifra zero a scalei;

- valoarea indicată de ac se va citi numai cu un ochi, observînd ca imaginea din oglinda scalei să nu se vadă;

- cordonale de măsurat, aparatul, suprafața pe care se așează aparatul și mîinile operatorului trebuie să fie curate și uscate; tensiunile măsurate mai mari ca 40 V curent continuu și 24 V curent alternativ, sînt periculoase pentru viața operatorului;

- în timpul măsurării este interzisă atingerea bornelor, bușelor sau părților metalice aflate sub tensiune; domeniul de măsură se selectează prin intermediul comutatorului de domenii;



* la deconectarea multimetrului din circuitul de măsurare, se va scoate de sub tensiune acest circuit;

- determinarea valorii măsurate se obține din înmulțirea sau împărțirea indicației α a acului pe scala corespunzătoare și constanta C corespunzătoare domeniului; constanta C se poate calcula sau citi în prospectul aparatului de măsurat;

Exemplu. Acul indicator s-a așezat pe diviziunea $\alpha = 28,5$. Comutatorul este poziționat pe domeniul de 0... 150 V tensiune continuă; valoarea tensiunii continue măsurată este

$$U = \alpha C = 28,5 \text{ div} \times 5 \text{ V/div} = 142,5 \text{ V}$$

deoarece constanta

$$C = \frac{U_n}{\alpha_n} = \frac{150 \text{ V}}{30 \text{ div}} = 5 \text{ V/div}$$

iar

$U_n = 150 \text{ V}$ este valoarea maximă (a domeniului) măsurată pe scala cu numărul total de diviziuni $\alpha_n = 30 \text{ div}$.

- la măsurarea rezistenței electrice, valoarea acesteia se obține din multiplicarea indicației acului α de pe scala ohmilor cu $\times 1$, $\times 10$ sau $\times 100$, corespunzător bușei în care este introdus cordonul de măsurare.

Schemele de măsurat cu acest multimetru sînt comune schemelor prezentate la celelalte multimetre.

Există însă scheme de măsurat ale puterii electrice prin utilizarea lui UM-3 B și care se va descrie în continuare.

Măsurarea puterii active absorbită de un receptor de curent continuu (fig. 6.104).

Se poziționează comutatorul principal 15 în poziția "V-" iar comutatoarele 2 și 14 pe domeniile corespunzător selectate.

Multimetrul se conectează în circuitul de măsurare conform fig. 6.104.

Din indicația acului de pe scala 10 și constanta corespunzătoare domeniului, se determină valoarea tensiunii continue măsurate U .

Se rotește comutatorul principal 15 în poziția "A-".

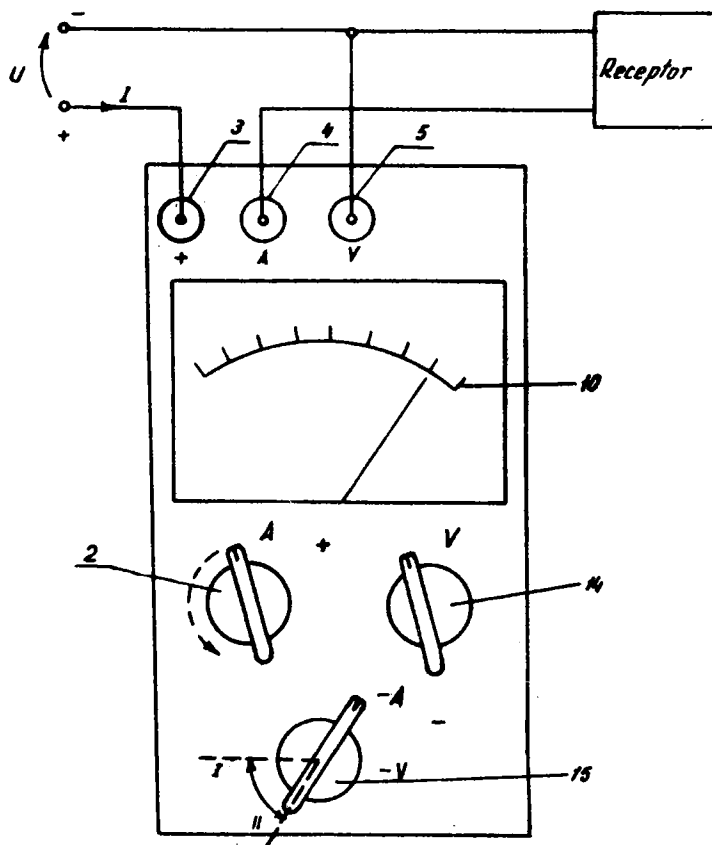


Fig. 6.104. Schema de măsurat a puterii electrice în curent continuu cu UM-3 B.

Se determină și valoarea curentului continuu măsurat I , similar determinării tensiunii U .

În baza rezultatelor U și I obținute din cele două măsurări, se calculează puterea electrică în curent continuu P - primită de receptorul de curent continuu - cu formula:

$$P = U \times I$$

în care:

P este puterea electrică în curent continuu (W);

U - tensiunea continuă (V);

I - curentul continuu (A).

Măsurarea puterii aparente la un receptor de curent alternativ (fig. 6.105).

Se poziționează comutatorul principal 15 în poziția " $V \sim$ " iar comutatoarele 2 și 14 pe domeniile corespunzător selectate.

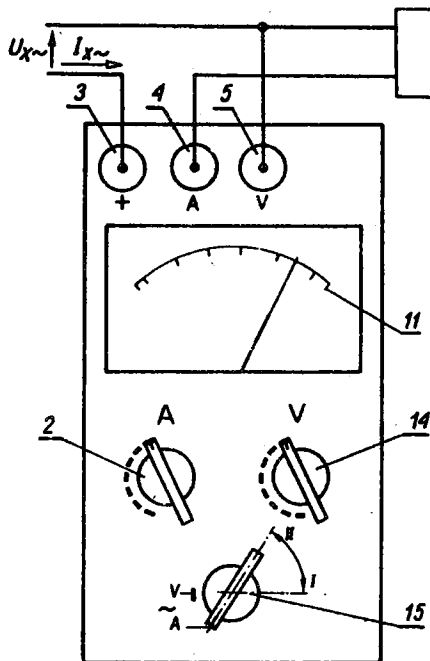


Fig. 6.105. Schema de măsurat a puterii aparente în curent alternativ cu UM-3 B.

Multimetru se conectează în circuitul de măsurat conform fig. 6.105. Din indicația acului de pe scala 11 și constanta corespunzătoare domeniului, se determină valoarea tensiunii alternative măsurate U_x .

Se rotește comutatorul principal 15 în poziția "A~".

Se determină și valoarea curentului alternativ măsurat I_x , similar de terminării tensiunii U_x .

În baza rezultatelor U_x și I_x obținute din cele două măsurări, se calculează puterea aparentă S_x primită de receptorul de curent alternativ

$$S_x = U_x \times I_x$$

în care:

S_x este puterea aparentă a receptorului (VA);

U_x - tensiunea alternativă la bornele receptorului (V);

I_x - curentul absorbit de receptor (A).

Domeniul de măsură al puterii aparente se poate extinde prin utilizarea unui transformator de curent (fig. 6.106).

La calculul puterii aparente S_x absorbite de receptorul de curent alternativ, se va introduce în calcul raportul de transformare al transformatorului de curent, astfel:

$$S_x = U_x \times n I_x \quad (6.48)$$

în care:

S_x este puterea aparentă a receptorului (VA);

U_x - tensiunea alternativă la bornele receptorului (V);

I_x - curentul electric prin receptor (A);

n - raportul de transformare al transformatorului de curent.

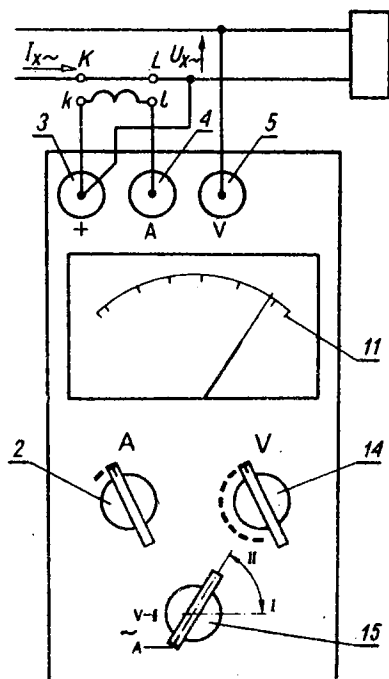


Fig. 6.106. Schema de măsurat a puterii aparente cu UM-3 B prin utilizarea unui transformator de curent.

6.5.7. MAVO-1

Este un multimetru românesc produs de I.A.E.M. Timișoara, portabil, foarte util în activitatea de service. Este destinat măsurării curenților și tensiunilor continue, tensiunilor alternative, rezistențelor electrice și capacităților prin metoda balistică.

Aparatul are 4 game de măsurare divizate în 18 domenii de măsurare, precizate în tabelul 6.19.

Tabelul 6.19.

Gama de măsurare	R_i Ω/V	Unitatea de măsură	Domeniul	Clasa de precizie
Curent continuu	-	μA	50 μA	2,5
		mA	100; 600 mA	
Tensiune continuă	20 000	V	3; 30; 100 V	2,5
	5 000	V	300; 600 V	
Tensiunea alternativă	5 000	V	30; 100; 300; 600 V	5
Rezistență electrică	-	Ω	x 1; x 10; x 100; x 1 000	2,5
Capacitate electrică	-	μF	15 000 (x 1); 1 500 (x 10); 150 (x 100) și 15 (x 1 000)	-

În fig. 6.107 este prezentat multimetrul MAVO-1.

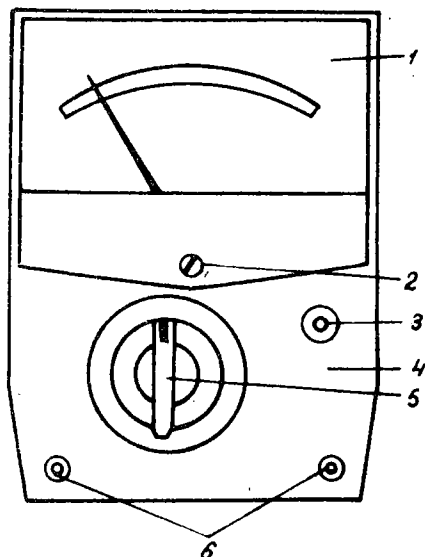


Fig. 6.107. Multimetrul MAVO-1.

Semnificația părților componente reperate în fig. 6.107. sînt următoarele:

- 1 - geam transparent;
- 2 - buton de reglare pe zero a acului;
- 3 - buton potențiometric pentru poziționarea acului indicator pe zero ohmi la măsurarea rezistențelor electrice;
- 4 - capacul multimetrului;
- 5 - comutatorul de domenii;
- 6 - borne pentru conectarea aparatului.

Multimetrul este prevăzut cu o sursă internă de tensiune - o baterie uscată tip R6 de 1,5 V - pentru schema de măsurat rezistențe electrice.

Schema de principiu a multimetrului MAVO-1 este prezentată în fig. 6.108.

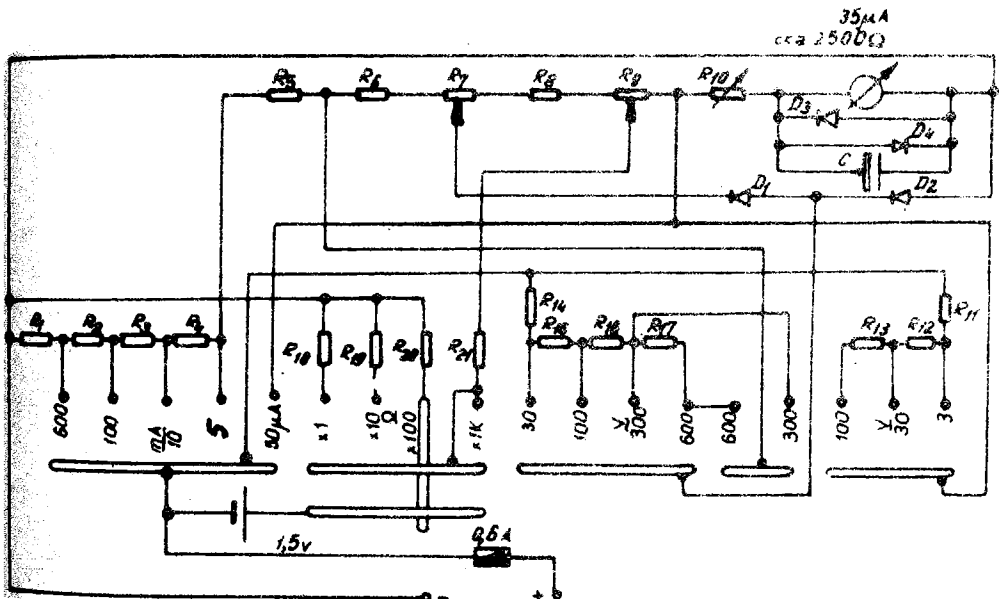


Fig. 6.108. Schema de principiu a multimetrului MAVO-1.

Pentru utilizarea corectă și îndelungată a multimetrului MAVO-1 se vor respecta prescripțiile următoare:

- nu se vor face măsurări cu MAVO-1 într-un câmp magnetic puternic;

- comutatorul de domenii nu se manevrează în timpul măsurării tensiunilor înalte și curenților intensi pentru a evita arcul electric distrugător de la contactele comutatorului;

- aparatul se conectează în serie la măsurarea curenților și în paralel, la măsurarea tensiunilor;

- rezistența electrică se măsoară fără a fi alimentată cu energie electrică iar condensatoarele trebuie să fie descărcate;

- citirea se va face la deviația maximă a acului indicator în poziția utilă a scalei trecând comutatorul succesiv din domeniul cel mai mare spre cel mai mic domeniu;

- pentru măsurări cât mai exacte se va considera consumul propriu al aparatului;

- acul indicator trebuie să fie pe diviziunea zero a scalei de măsură.

Măsurarea curentului și tensiunii continue precum și a tensiunii alternative se face în mod similar măsurării cu alte multimetre și care au fost prezentate anterior.

Modul de utilizare al aparatului MAVO-1, la măsurarea rezistențelor electrice, a fost prezentat în capitolul 3 "Măsurarea rezistențelor electrice".

Măsurarea condensatoarelor electrice prin metoda balistică, tot cu acest aparat, a fost descrisă în capitolul 5 "Măsurarea capacităților electrice".

Rezistența de izolație a multimetrului MAVO-1 se încearcă de furnizor la o tensiune sinusoidală de 2 kV și 50 Hz prezentând garanție în funcționare contra pericolului de electrocutare la atingerea părților izolate ale aparatului dar operatorul trebuie să verifice de fiecare dată izolația cordoanelor și nu trebuie să le întrebuințeze dacă sînt defecte și nici să improvizeze alte cordoane.

6.5.8. Multimetru MF-35

Este - ca și MAVO-1 - un aparat universal produs la I.A.E.M. Timișoara. Destinat măsurării curenților și tensiunilor continue și alternative, rezistențelor electrice în curent continuu și nivelelor de tensiune de frecvență audio, acest aparat universal este portabil și foarte util în aplicațiile industriale, în sectoarele electrice și electronice ale întreprinderilor.

Gamele și domeniile de măsurare ale multimetrului MF-35 - în total 34 domenii de bază - sînt indicate în tabelul 6.20.

Tabelul 6.20.

Gama de măsurare	R_i Ω/V	Unitatea de măsură	Domeniul	Clasa de precizie
Curent continuu		μA	50; 250 μA	1
		mA	1; 5; 25; 100 mA	
		A	1; 5 A	
Tensiune continuă	20 000	mV	75 mV (50 μA)	1,5
		V	1; 2,5; 10; 25; 100; 250; 500; 1 000 V	1
Curent alternativ		mA	2,5 mA	2,5
		mA	25; 250 mA	1,5
		A	1; 5 A	
Tensiune alternativă	400	V	2,5 V	2,5
	2 000	V	10 V	1,5
			50; 250; 500; 1 000 V	
Rezistența electrică		Ω	D Ω	1,5
			x 1; x 10; x 100; x 1 000; x 10 000	1
Nivel tensiune AF		dB	- 10 dB 0 + 10 dB	-

Domeniul nominal de frecvență al aparatului ajunge la 1 000 Hz dar se poate extinde pînă la 5 000 Hz. În acest caz eroarea crește la 3%.

Nivelele de tensiune măsurate cu MF-35 se pot extinde conform tabelului 6.21.

Tabelul 6.21.

Domeniul de tensiune alternativă [V]	Indicația în dB se adună cu:	Domeniul nivelului de tensiune [dB]
2,5	0	-10..... +10
10	12	2..... 22
50	26	16..... 36
250	40	30..... 50

Multimetrul portabil MF-35 este realizat dintr-o carcasă presată din bachelită cu proprietăți izolante ridicate. Partea superioară se acoperă cu sticlă organică dând astfel posibilitatea utilizării unei scări extinse.

Aparatul are inclus - pentru domeniu de curent alternativ - un transformator de măsură ceea ce permite liniarizarea scării gradate și utilizarea pentru curent continuu și alternativ.

Pentru măsurarea rezistențelor mici - între 0,1 și 10 Ω - s-a realizat domeniul DQ

Sursa de curent continuu necesară măsurării rezistențelor electrice în curent continuu este constituită din două baterii: o baterie R20 (C.E.I.) de 1,5 V pentru domeniile x 1; x 10; x 100; x 1 000 și o baterie multistrat miniatură 10 F20 de 15 V (C.E.I.) pentru domeniul x 10 000.

Pentru măsurarea mărimilor electrice prezentate în tabelul 6.20. se folosește schema de principiu a multimetrului MF 35 din fig. 6.109.

Măsurarea curentului continuu. Se selectează domeniul de la 50 μ A la 5 A curent continuu și se citește indicația acului când acesta se așează în porțiunea deviațiilor mari ale scalei.

Pentru extinderea domeniului de măsurare a curentului continuu peste 5 A se va utiliza un șunt exterior de 75 mV conectat pe domeniul de 75 mV al aparatului.

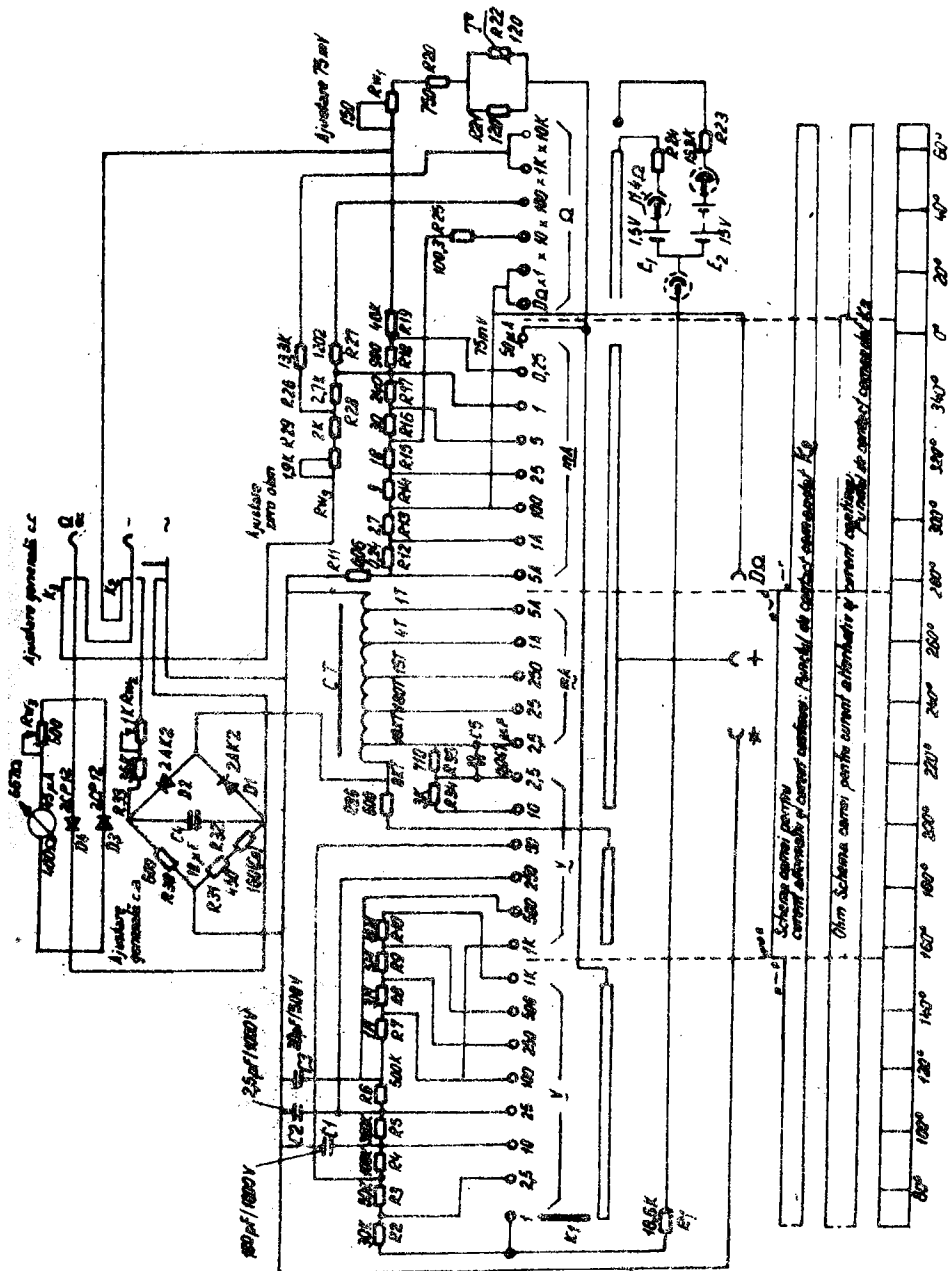


Fig. 6.109. Schema de principiu a multimetrului MF-35.

Măsurarea tensiunii continue. Se selectează domeniul potrivit valorii tensiunii măsurate între 1 V și 1 000 V și se conectează aparatul între bornele "+" și "-". Dacă rezistența internă a sursei este mare, valoarea curentului absorbit de multimetru se poate compara cu valoarea curentului consumat de multimetru și eroarea de măsurare va fi foarte mare. În astfel de situații se preferă un domeniu de măsurare mai mare pentru a nu perturba starea inițială a circuitului măsurat.

Măsurarea curentului alternativ. Multimetrul conectat în serie cu sarcina măsoară de la 2,5 mA la 5 A. Pentru această măsurare schema atachează - ca și celelalte multimetre - un redresor pentru realizarea unui curent de valoare medie prin dispozitiv. Indicația acului va fi proporțională cu valoarea medie dar scala va fi scrisă pentru $1,11 \times$ valoarea medie, în care 1,11 reprezintă factorul de formă pentru curent sinusoidal. Din această cauză, precizia măsurării este garantată numai pentru curenți sinusoidali cu factorul de distorsiune mai mic de 2%.

Când este necesară extinderea domeniului de măsurare peste 5 A, se folosește un transformator de măsură conectat cu primarul în serie cu sarcina iar secundarul de 5 A conectat cu MF-35 poziționat pe domeniul de 5 A curent alternativ.

Măsurarea tensiunii alternative se realizează în mod similar ca măsurarea curentului alternativ.

Măsurarea nivelului de tensiune A.F. Aparatul măsoară o tensiune alternativă pe domeniul 2,5 V ∞ dar scara indicatoare este gradată în decibeli (dB) pentru care zero corespunde sarcinii de 600 Ω și 1 mW.

Pentru tensiuni mai mari se aleg corespunzător, domenii de măsurare adăugând însă, la indicația multimetrului, o valoare constantă în dB conform tabelului 6.21.

Cu MF-35 se măsoară nivele absolute și relative cu următoarea precizare: nivelul absolut se citește pe scara decibelilor când MF-35 este conectat pe domeniul 2,5 V - tensiune alternativă - la ieșirea cuadripolului iar la intrare se măsoară 0,775 V sau 1 mW putere furnizată de generatorul normal de 1,55 V tensiune electromotoare și 600 Ω rezistență internă; cuadripolul are o impedanță egală cu 600 Ω .

Scara în decibeli pentru nivel absolut s-a trasat pe baza expresiei:

$$K_{U_2} \text{ (dB)} = 20 \times \log \frac{U_2 \text{ [V]}}{0,775} \quad (6.49)$$

în care:

K_{U_2} este nivelul absolut de tensiune (dB);

U_2 - tensiunea la ieșirea cuadripolului (V);

Pentru tensiuni mai mari la intrare se calculează nivelul relativ de tensiune. Acesta se obține scăzând din valoarea tensiunii de ieșire - indicată pe scara decibelilor - valoarea tensiunii de intrare-indicată tot pe scara decibelilor.

Valoarea absolută și relativă a nivelului de putere se calculează din impedanțele de intrare, de ieșire și din nivelele tensiunilor de intrare și ieșire. Pentru o impedanță egală cu 600 Ω (de exemplu o linie de telecomunicație cu impedanța proprie de 600 Ω și o sarcină de 600 Ω) valoarea nivelului de putere corespunde cu nivelul de tensiune.

Când semnalul de tensiune de audiofrecvență (AF) are o componentă continuă, se va inseria cu borna "+" un condensator de 0,1 μF pentru separarea componentei continue.

Măsurarea rezistenței electrice în curent continuu.

Cordonul roșu se introduce în borna "+" iar cel negru în borna "*". Se selectează cu ajutorul comutatorului unul din domeniile: x1; x 10; x 100; x 1 000; x 10 000.

Se reglează pe zero Ω cu ajutorul potențiometrului, cordonale fiind scurtcircuitate. Se aplică apoi capetele cordonalelor pe terminalele rezistenței necunoscute R_x și se citește indicația pe scara ohmilor.

Pentru obținerea unor rezultate cât mai precise, acul aparatului trebuie să fie la mijlocul scării.

Dacă la scurtcircuitarea bornelor, acul indicator nu poate fi reglat pe zero-ohmi, se va înlocui bateria pentru că este consumată. Bateriile vechi vor fi extrase sau înlocuite pentru a preveni coroziunea multimetrului.

Rezistențele electrice de valoare mică se măsoară pe scara " $D\Omega$ " și comutatorul aparatului selectează domeniul " $D\Omega$ " sau " $\times 1$ "; fișa de scurtcircuitare se introduce în bornele "+" și "■". Din aceste condiții, acul deviază în dreapta și cu potențiometrul se reglează pe deviația ∞ a scării $D\Omega$. Se introduce apoi cordonul roșu în orificiul transversal al fișei de scurtcircuitare și cordonul negru în borna " $D\Omega$ ". Numai acum multimetrul se poate utiliza la măsurarea rezistenței necunoscute de valoare mică. Dacă la scurtcircuitarea cordonalelor de măsurare acul nu ajunge pe zero Ω , trebuie descoperit și înlăturat contactul slab sau cordonul care a provocat defecțiunea. Domeniul " $D\Omega$ " se va utiliza numai când se măsoară deoarece consumă din baterie 0,1...0,13 A. După măsurare se va schimba poziția comutatorului pe o altă gamă și domeniul de măsurare al multimetrului MF-35.

6.5.9. Multimetrul numeric E-0302

Este un aparat de măsurat numeric produs la I.E.M.I. București. Aparatul, realizat cu circuite integrate și semiconductoare din siliciu, măsoară curenți și tensiuni continue și alternative, rezistențe electrice.

Pentru efectuarea măsurărilor flotante, aparatul are bornele izolate față de masă. Afișajul este numeric și realizat de 4 tuburi Nixie cu virgulă zecimală indicată automat. Tot automat se indică polaritatea mărimilor electrice continue: curent și tensiune.

Numărul maxim indicat pe scară este 1999. Când se depășește însă capacitatea de afișare a domeniului - adică acest număr - un bec cu neon plasat în stînga afișajului numeric începe să clipească.

Multimetru E-0302 are 5 game și 24 domenii de măsurare, indicate în tabelul 6.22.

Tabelul 6.22.

Gama de măsurare	R_i M Ω /pF	Unitatea de măsură	Domeniul	Tensiune sau curent maxim
Tensiune continuă	1 000/-	V	0,2; 2 V	220 V
	10/-	V	20; 200 V	500 V
			1 000 V	1 000 V
Tensiune alternativă	10/100	V	0,2; 2 V	220 V
	1/100	V	20; 200 V	350 V
	1/50	V	350 V	
Curent continuu	-	mA	0,2; 2; 20; 200 mA	400 mA
		A	1 A	1,5 A
Curent alternativ	-	mA	0,2; 2; 20; 200 mA	400 mA
		A	1 A	1,5 A
Rezistență electrică	-	k Ω	0,2; 20; 200 k Ω	-
		M Ω	2 M Ω	

Erorile de măsurare ale aparatului diferă de la un domeniu la alt domeniu de măsurat. Acestea sînt indicate, pentru temperatura $+25^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$, în tabelul 6.23.

Tabelul 6.23.

Gama de măsurare	Eroarea de măsurare	
	Citire (%)	Capăt de scară (%)
Tensiune continuă	$\pm 0,1$	$\pm 0,1$
Tensiune alternativă	± 1	$\pm 0,3$
Curent continuu	$\pm 0,2$	$\pm 0,1$
Curent alternativ	$\pm 0,7$	$\pm 0,2$
Rezistență electrică	$\pm 0,5$	$\pm 0,1$

Valorile mărimilor electrice alternative sinusoidale afișate sînt eficace și cuprinse într-un domeniu de frecvențe de 40 Hz... 20 kHz.

Calibrarea internă a multimetrului se realizează cu o sursă de 0,1995 V compusă dintr-o diodă Zener.

Pentru funcționare, aparatul E-0302 se alimentează la 220 V \pm 10% și 50... 60 Hz cînd consumul este \leq 30 VA.

În fig. 6.110 este prezentat panoul frontal iar în fig. 6.111 panoul posterior al multimetrului digital E-0302.

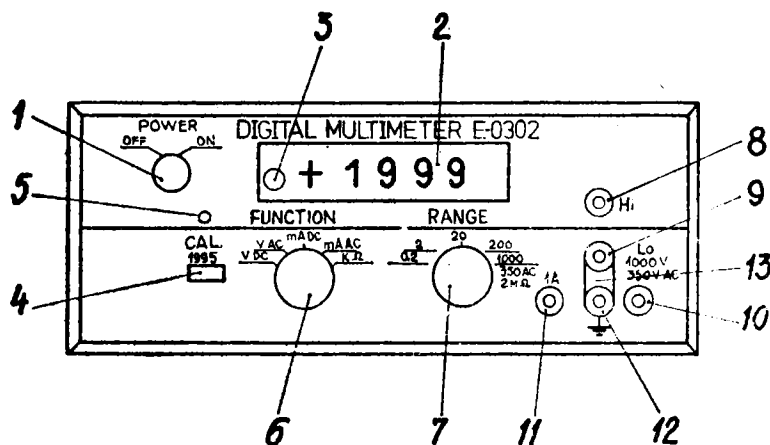


Fig. 6.110. Panoul frontal - multimetrul digital E-0302.

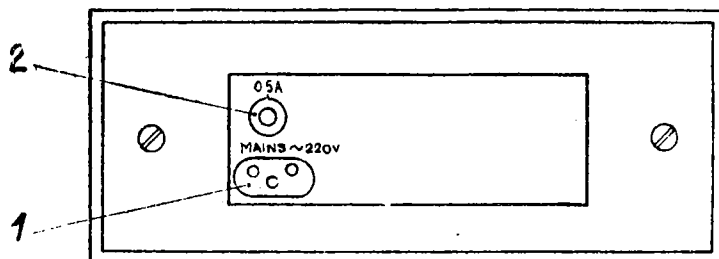


Fig. 6.111. Panoul posterior al multimetrului digital E-0302.

Elementele componente sînt următoarele:

Panoul frontal:

- 1 - întreruptor de rețea (POWER);
- 2 - afișajul, format din 5 tuburi Nixie, pentru rezultat și semne "+",
"- " și " ~ ";
- 3 - tub cu neon pentru semnalizarea depășirii domeniului;
- 4 - buton pentru verificarea calibrării "CAL" (se apasă);
- 5 - potențiometrul pentru reglarea calibrării;
- 6 - comutator de funcțiuni (game) "FUNCTION";
- 7 - comutator de scări (domenii) "RANGE";
- 8 - bornă de intrare "Hi" (bornă caldă);
- 9 - bornă de intrare "Lo" (bornă rece);
- 10 - bornă de intrare "1 000 V (DC)" și "350 V (AC)";
- 11 - bornă de intrare "1 A";
- 12 - bornă de masă " \perp ";
- 13 - clemă de legare la " \perp " a bornei "Lo".

Panoul posterior:

- 1 - mufă pentru conectarea cablului de alimentare de la rețea;
- 2 - siguranță fuzibilă pentru rețea (0,5 A).

Aparatul de măsurat E-0302 se alimentează printr-o priză Schuko (prevăzută cu contact de pământ pentru protecție) de la rețeaua de 220 V \pm 10%/50... 60 Hz și printr-un cablu special cu ștecher Schuko la un capăt și cu o mufă nesimilă dar potrivită mufei 1 din spatele aparatului.

Punerea în funcțiune a multimetrului se realizează prin rotirea orară a întreruptorului de rețea 1 (POWER) din poziția "OFF" în poziția "ON"; afișajul 2 cu tuburi Nixie luminează. Regimul termic al aparatului se consideră realizat după 30 minute de la punerea în funcțiune.

Urmează apoi calibrarea prin apăsarea butonului 4 "CAL"; dacă afişajul nu indică 1995 se foloseşte potenţiometrul 5 pentru reglarea calibrării. Calibrarea nu este influenţată de poziţia comutatoarelor 6 (FUNCTION) sau 7 (RANGE) sau a virgulei.

Mărimea de măsurat se selectează cu comutatorul de funcţiuni (game) 6 "FUNCTION" pe una din poziţiile din tabelul 6.24.

Tabelul 6.24.

Poziţia	Gama de măsurare
V DC	tensiune continuă
V AC	tensiune alternativă
mA DC	curent continuu
mA AC	curent alternativ
k Ω	rezistenţă electrică

Domeniul se selectează cu comutatorul de scări 7 "RANGE" corespunzător cu valoarea mărimii electrice de măsurat. Când valoarea mărimii este necunoscută, se selectează mai întâi domeniul maxim cu 7 - cel mai puţin sensibil - trecându-se succesiv cu comutatorul 7 spre domeniile mai sensibile. Se permit depăşirile domeniilor prevăzute în tabelul 6.22. Chiar se recomandă - pentru o precizie mai bună a măsurării - să nu se comute pe un domeniu superior atunci când depăşirea nu este mai mare de 10%.

Se precizează că indicaţia zero corespunde afişajului aprins "0000" şi tubului cu neon pentru semnalizarea depăşirii stins iar valoarea "2 000" corespunde afişajului aprins "0000" şi tubului 3 aprins.

Bornele aparatului E-0302 se utilizează conform tabelului 6.25.

Tabelul 6.25.

Borne	Scop
"Hi" și "Lo"	măsurări flotante
"Hi" și "Lo" cu "↓"	măsurări neflotante
"1 000" și "Lo"	măsurări pentru $U \sim$ și $U_{c.c.} > 1\,000\text{ V}$
"1 A" și "Lo"	măsurări pentru $I \sim$ și $I_{c.c.} > 220\text{ mA}$

Măsurările efectuate cu E-0302 sînt însoțite de o eroare de citire și o eroare de capăt de scară (V.NI-3419B).

Eroarea de capăt de scară include eroarea de ± 1 a ultimei cifre semnificative, caracteristică aparatelor cu afișare numerică. Această eroare - din cauza reprezentării mărimii continue de intrare printr-un număr determinat de biți - afectează eroarea din capătul de scară. De exemplu, pentru scara de 2 000 biți, eroarea de capăt de scară este $\frac{1}{2\,000}$ sau 0,05%.

Eroarea relativă a aparatului numeric e_r este, așa dar, exprimată prin relația:

$$e_r (\%) = \frac{V_m - V_e}{V_e} 100 = e_{ct} (\%) + e_{cs} (\%) \frac{V_{cs}}{V_e} \quad (6.50)$$

în care:

- V_m este valoarea afișată de multimetru;
- V_e - valoarea afișată de aparatul etalon;
- e_{ct} - eroarea procentuală de citire (%);
- e_{cs} - eroarea procentuală din capăt de scară (%);
- V_{cs} - valoarea capătului de scară.

Se observă din relația (6.50) că precizia este ridicată pentru o mărime reprezentată printr-un număr maxim de biți și este redusă pentru mărimea cu număr mic de biți față de capătul de scară.

Cea mai mică eroare se obține la măsurarea tensiunilor continue, pentru celelalte mărimi intervin, însă, erorile din tabelul 6.26.

Tabelul 6.26.

Mărimea	Eroare introdusă de
tensiune alternativă	convertor c.a./c.c.
curent continuu	șunturi și convertor c.a./c.c.
curent alternativ	șunturi și convertor c.a./c.c.
rezistențe electrice	generator de curent constant

Pentru efectuarea unor măsurări precise se vor respecta indicațiile următoare:

- aparatul va fi poziționat pe domeniul pe care rezultatul este afișat printr-un număr maxim de cifre semnificative;

- măsurarea se va efectua - pentru măsurări neflotante - cu borna "Lo" scurtcircuitată cu borna "↓";

- se calibrează aparatul pentru indicația 1995 înaintea fiecărei măsurări.

Schema-bloc a multimetrului E-0302 este reprezentată în fig. 6.112.

Pentru măsurarea tensiunilor continue ≥ 2 V, aparatul are două atenuatoare: "1:100" și "1:1 000". Pentru tensiuni alternative ≥ 2 V_{ef} se folosesc tot două atenuatoare - "1:100" și "1:1 000" - compensate în frecvență prin intermediul unor condensatoare.

Amplificatorul de intrare de curent continuu sau amplificatorul transconductanță realizează o impedanță de intrare foarte mare, limitată practic de rezistențele de izolație.

Acesta convertește tensiunea aplicată la intrare într-un curent proporțional care încarcă liniar condensatorul de integrare din convertorul cu dublă integrare. Amplificatorul este prevăzut cu un reglaj foarte fin al curentului de

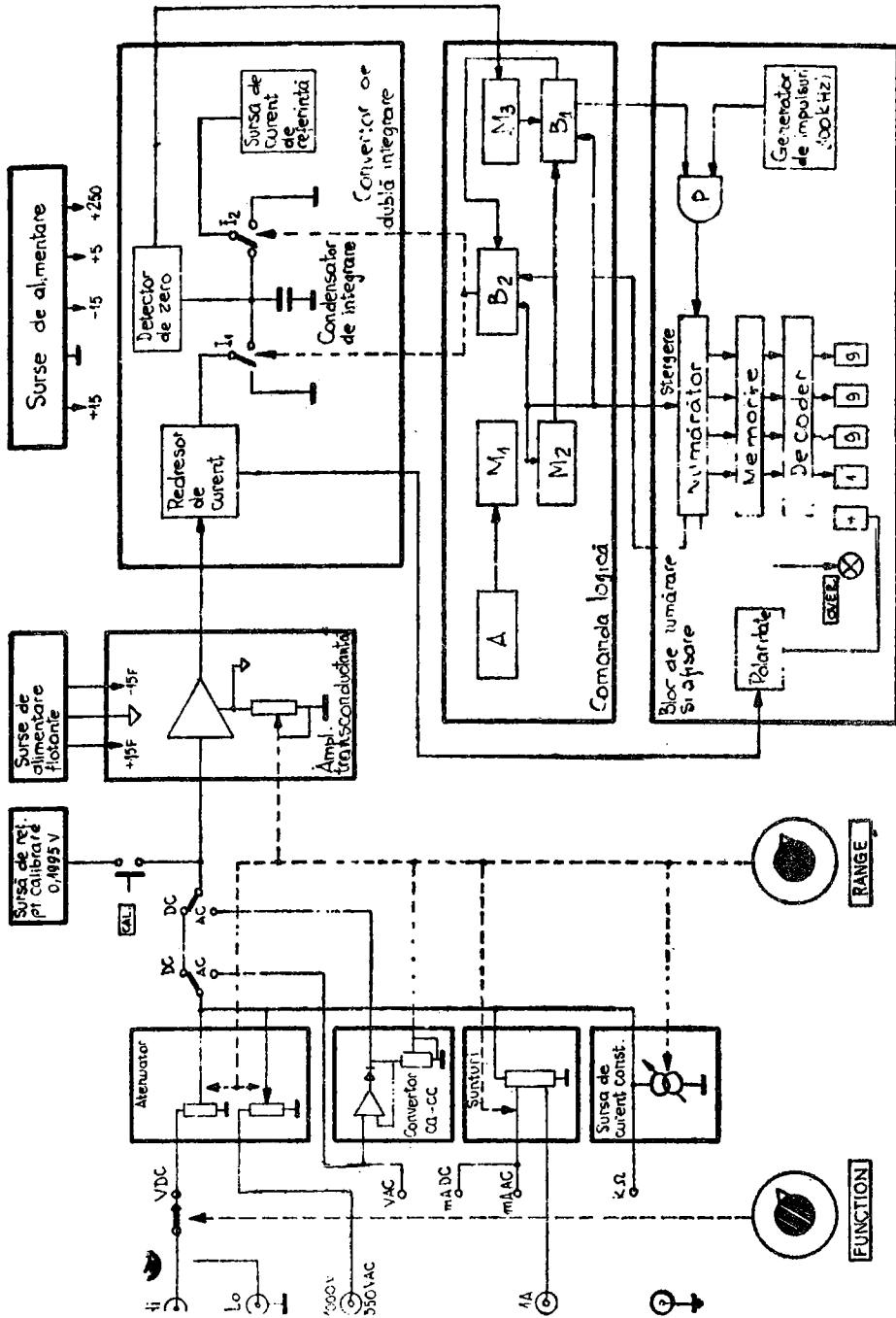


Fig. 6.112. Schema bloc a multimetrului E-0302.

intrare pînă la valori foarte mici ($< 10^{-10}$ A) ceea ce permite măsurarea precisă a unor surse de tensiune cu rezistențe interne foarte mari (pînă la 100 k Ω).

Configurația de amplificator transconductanță implică utilizarea surselor de alimentare, flotante, separate de alimentarea celorlalte etaje ale aparatului și totodată utilizarea unui transformator special ecranat.

Convertorul cu dublă integrare se compune din redresorul de curent, sursa de curent de referință și detectorul de zero.

Redresorul de curent asigură trecerea curentului de la amplificatorul transconductanță într-un singur sens, indiferent de polaritatea tensiunii aplicate la bornele de intrare ale aparatului. Pentru o tensiune pozitivă la intrarea amplificatorului, curentul de la ieșirea acestuia circulă direct spre condensatorul de integrare dar pentru o tensiune negativă, curentul este inversat de redresorul de curent. Acest curent încarcă liniar condensatorul de integrare.

Sursa de curent de referință debitează un curent constant de 2 mA care determină într-o rezistență de precizie o cădere de tensiune egală cu tensiunea Zener a diodei de referință din acest montaj.

Convertorul cu dublă integrare se compune din redresorul de curent, sursa de curent de referință și detectorul de zero.

Prin redresorul de curent se asigură trecerea curentului de la amplificatorul transconductanță la condensatorul de integrare pe care îl încarcă liniar. Acest curent circulă numai într-un singur sens indiferent de polaritatea tensiunii aplicate la bornele de intrare ale aparatului.

Pentru o tensiune pozitivă la intrarea amplificatorului, curentul de la ieșirea acestuia circulă direct spre condensatorul de integrare dar pentru o tensiune negativă, curentul este inversat de redresorul de curent păstrîndu-și astfel semnul.

Condensatorul de integrare se descarcă printr-un curent de referință iar un detector de zero sesizează descărcarea lui completă. Acest detector de zero, prin ieșirea sa, oprește numărarea impulsurilor provenite din generatorul de impulsuri.

Operația de încărcare și descărcare a condensatorului de integrare se comandă prin două comutatoare statice I_1 și I_2 .

Condensatorul de integrare se încarcă în 20 ms, timp în care se totalizează 2 000 impulsuri în numărător iar descărcarea se realizează într-un timp proporțional cu mărimea de intrare.

Blocul de comandă logică se compune din astabilul de reciclare A, monostabilul M_1 pentru ștergere, monostabilul M_2 pentru comanda de START a perioadei de măsurare, circuitele bistabile B_1 , B_2 și monostabilul M_3 .

Astabilul de reciclare A realizat din două porți SI - NU - comandă reluarea ciclului de măsurare la intervale de maxim 300 ms.

Monostabilul de ștergere M_1 - comandat de frontul negativ al astabilului A printr-un impuls de $40 \mu s$ aduce la zero registrul de numărare și în starea inițială circuitele bistabile B_1 și B_2 .

Monostabilul M_2 - comandat de frontul negativ posterior al impulsului monostabilului M_1 printr-un impuls de $40 \mu s$ inițializează perioada de măsurare.

Bistabilul B_1 deschide poarta P și impulsurile de la generatorul de impulsuri trec la numărător. Acest bistabil este de tip JK și este comandat de impulsurile generatorului de impulsuri. La intrarea J se aplică impulsul monostabilului M_2 iar la intrarea K, impulsul monostabilului M_3 astfel că ieșirea B_1 a bistabilului trece în starea "1" logic la începutul ciclului de integrare și revine în "0" logic când detectorul de zero sesizează atingerea pragului de nul și deci, sfârșitul ciclului de integrare.

Bistabilul B_2 schimbă starea întreruptoarelor I_1 și I_2 după 20 ms timp în care s-a integrat curentul proporțional cu tensiunea de intrare. Este un bistabil constituit din tranzistori și este comandat la o intrare cu frontul anterior al bistabilului B_1 și la cealaltă intrare, cu frontul negativ dat de numărător după numărarea impulsului 2 000.

Monostabilul M_3 - comandat de frontul posterior al detectorului de zero la sfârșitul ciclului de integrare - provoacă bascularea bistabilului B_1 , închiderea porții P și transferarea conținutului registrului de numărare în memorie. Durata impulsului este de $40 \mu s$.

Blocul de numărare și afișare conține generatorul de impulsuri, poarta P, registrul de numărare, memoria, decoderul, afișajul mărimii măsurate și circuitul de semnalizare a depășirii domeniului de măsurat.

Generatorul de impulsuri este un astabil cu tranzistoare; frecvența de repetiție este 100 kHz.

Poarta P se deschide pentru impulsurile generatorului spre numărător pe o durată comandată de bistabilul B_1 .

Este un SI - NU cu două intrări dintr-un circuit integrat.

Registrul de numărare conține 2 000 biți și este constituit din trei decade și un bistabil JK.

Memoria păstrează conținutul numărătorului și asigură afișarea acestuia după fiecare ciclu de integrare.

Este realizată din trei memorii integrate și un bistabil tip D.

Decoderul asigură trecerea informației din memorie spre afișare și schimbarea acesteia din cod binar în cod zecimal.

Afișarea mărimii măsurate se realizează cu patru tuburi Nixie pentru cifre și un tub Nixie pentru semnele "+", "-" și " \sim ".

Circuitul de semnalizare a depășirii domeniului cuprinde un bistabil tip D care comandă aprinderea unui tub cu neon dacă mărimea măsurată depășește capătul de scară, cifra maximă afișată 1999.

Convertorul c.a. - c.c. transformă tensiunea alternativă aplicată la intrare pentru măsurare sau căderea de tensiune - tot alternativă - de pe șun-

turile prin care trece curentul alternativ de măsurat, într-o tensiune continuă ce se aplică la intrarea amplificatorului transconductanță.

Tensiunea continuă la ieșirea din convertor este proporțională cu valoarea medie a tensiunii sinusoidale aplicate la intrare dar se afișează valoarea eficace.

Sunturile de curent sînt rezistențe de precizie înseriate prin care trece curentul continuu sau alternativ de măsurat și aplicat la bornele de intrare ("HI" sau "1 A").

Sursa de curent constant se folosește pentru conversia rezistență electrică - tensiune continuă. Aceasta injectează în rezistența de măsurat un curent constant de 1 mA, 10 μ A sau 1 μ A.

Multimetru E-0302 mai conține o sursă de referință pentru calibrare de 0,1995 V și circuite de alimentare. Circuitele de alimentare cuprind o sursă de tensiune stabilizată de ± 15 V separată, flotantă, numai pentru alimentarea amplificatorului de intrare, sursele de tensiuni stabilizate de ± 15 V și ± 5 V pentru alimentarea celorlalte circuite și sursa de tensiune nestabilizată de +250 V pentru alimentarea tuburilor Nixie.

Multimetru numeric E-0302 este foarte util în activitatea de service la I.I.R.U.C., întrebunțîndu-se mai ales în laboratoarele de reparații electrice ca aparat staționar. Pentru funcționare, aparatul consumă energie electrică ceea ce reprezintă un dezavantaj.

6.6. APLICATII

1. La bornele de măsurare ale unui osciloscop catodic se aplică o tensiune alternativă sinusoidală cu valoarea efectivă $U_{ef} = 2$ V. Deviația verticală a spotului pe ecranul acestuia este $y_1 = 18$ mm.

a) Se cere constanta C_y a osciloscopului.

b) Dacă se admite că frecvența tensiunii măsurate nu influențează valoarea constantei C_y , să se determine deviația spotului y_2 când la borne se aplică tensiunea continuă $U_{cc} = 12$ V.

Rezolvare

a) Din expresia 6.43 se determină constanta deflexiei pe verticală

$$C_y = \frac{2\sqrt{2} U_{ef}}{y_1} = \frac{2 \cdot 1,41 \cdot 2}{18} = 0,313 \text{ V/mm}$$

b) Deviația y_2 a spotului pe verticală pentru $U_{c.c.} = 12$ V este

$$y_2 = \frac{U_{c.c.}}{C_y} = \frac{12}{0,313} = 38,3 \text{ mm}$$

2. Spotul unui osciloscop catodic are diametrul $d = 0,5$ mm și constanta $C = 0,1$ V/mm. Să se determine pragul de sensibilitate.

Rezolvare

Pragul de sensibilitate a unui osciloscop catodic este cea mai mică tensiune U_{min} care aplicată la bornele de intrare provoacă o deviație vizibilă a spotului.

Pentru ca deviația să fie sesizată, trebuie să fie egală, cel puțin, cu diametrul spotului.

Prin urmare, pragul de sensibilitate este

$$U_{min} = C \cdot d = 0,1 \cdot 0,5 = 0,05 \text{ V}$$

3. Un osciloscop catodic are rezistența de intrare $R_i = 2,1 \text{ M}\Omega$ și capacitatea de intrare $C_i = 5 \text{ pF}$ (fig. 6.113).

Să se calculeze impedanța de intrare pentru $f_1 = 50 \text{ Hz}$ și $f_2 = 1 \text{ MHz}$.

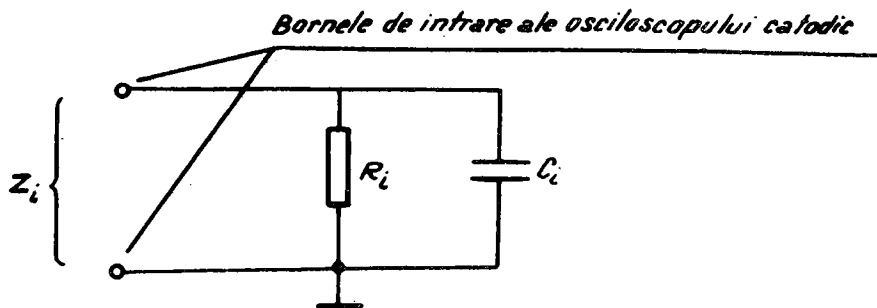


Fig. 6.113.

Rezolvare

Rezistența de intrare R_i și capacitatea de intrare C_i se pot considera ca două impedanțe Z_{i1} și Z_{i2} conectate în paralel.

Rezolvînd cu metoda complexă (v. ELECTROTEHNICA I.I.R.U.C. - ed. 1984 - pag. 405) și - pentru simplificarea calculelor - introducînd admitanțele complexe, se scrie după cum urmează:

Admitanța complexă de intrare \underline{Y}_i este

$$\underline{Y}_i = \frac{1}{\underline{Z}_i} = \underline{Y}_{i1} + \underline{Y}_{i2}$$

în care

$$\underline{Y}_{i1} = \frac{1}{\underline{Z}_{i1}} = \frac{1}{R_i}$$

și

$$\underline{Y}_{i_2} = \frac{1}{\underline{Z}_{i_2}} = j \omega C_i$$

Prin înlocuire se obține

$$\underline{Y}_i = \frac{1}{\underline{Z}_{i_1}} + \frac{1}{\underline{Z}_{i_2}} = \frac{1}{R_i} + j \omega C_i$$

Admitanța de intrare este

$$Y_i = \sqrt{\frac{1}{R_i^2} + (2\pi f C_i)^2}$$

Iar impedanța de intrare

$$Z_i = \frac{1}{Y_i} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_i^2} + (2\pi f C_i)^2}}$$

Prin înlocuire se obține

$$Z_{i/f_1} = 50 \text{ Hz} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_i^2} + (2\pi f_1 C_i)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(2,1 \cdot 10^6)^2} + (2,3,14 \cdot 50 \cdot 5 \cdot 10^{-12})^2}} =$$

$$= 2,1 \cdot 10^6 \Omega = 2,1 \text{ M}\Omega \quad \text{pentru } f_1 = 50 \text{ Hz};$$

$$Z_{i/f_2} = 1 \text{ MHz} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{R_i^2} + (2\pi f_2 C_i)^2}} = \frac{1}{\sqrt{\frac{1}{(2,1 \cdot 10^6)^2} + (2,3,14 \cdot 10^6 \cdot 5 \cdot 10^{-12})^2}} =$$

$$= 31,8 \cdot 10^3 \Omega = 31,8 \text{ k}\Omega \quad \text{pentru } f_2 = 1 \text{ MHz}.$$

4. Un osciloscop catodic are rezistența de intrare $R_1 = 1 \text{ M}$ și capacitatea de intrare $C_1 = 30 \text{ pF}$ constanta sa $C_y = 2 \text{ V/mm}$.

Se cere valoarea rezistenței R și capacității C necesare - introduse suplimentar în circuit - pentru a mări constanta osciloscopului la $C_{y2} = 50 \text{ V/mm}$ (fig. 6.114).

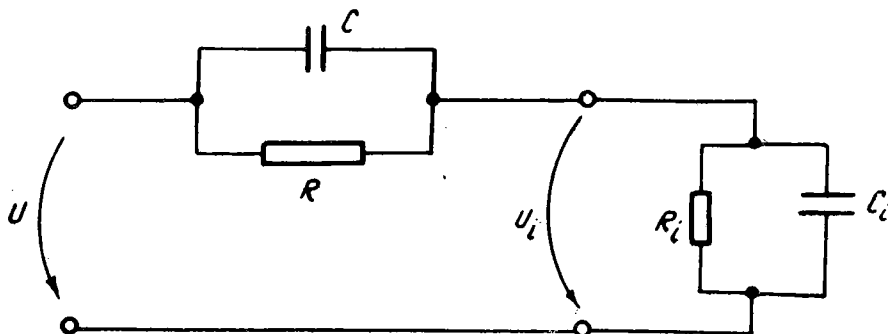


Fig. 6.114.

Rezolvare

Extinderea domeniului de măsurare al osciloscopului, se realizează prin conectarea în serie cu impedanța de intrare - formată din derivația R_1 și C_1 - a unei impedanțe compuse din rezistorul R și condensatorul C conectate în paralel.

Constanta C a osciloscopului nu depinde de frecvență când este îndeplinită condiția

$$RC = R_1 C_1$$

În acest caz

$$\frac{U}{U_i} = \frac{C_{y2} y}{C_{y1} y} = \frac{C_{y2}}{C_{y1}} = \frac{R + R_1}{R_1} = \frac{C + C_1}{C}$$

Rezistența rezistorului rezultă

$$R = \frac{R_1 (C_{y2} - C_{y1})}{C_{y1}} = \frac{10^6 (50 - 2)}{2} = 24 \cdot 10^6 \Omega = 24 \text{ M}\Omega$$

$$C = \frac{C_1 C_{y1}}{C_{y2} - C_{y1}} = \frac{30 \cdot 10^{-12} \cdot 2}{50 - 2} = 1,25 \cdot 10^{-12} \text{ F} = 1,25 \text{ pF}$$

5. Un ampermetru magnetoelectric are domeniul de măsurare $I_a = 1 \text{ mA}$ și rezistența interioară $r_A = 300 \Omega$.

a. Să se calculeze rezistența șuntului R_g pentru extinderea domeniului de măsurare la $I = 150 \text{ A}$.

b. Să se afle consumul ampermetrului fără șunt și cu șunt.

c. Să se determine eroarea relativă Δ_{rt} în procente, provocată prin variația temperaturii ambiante cu 1°C avînd în vedere că înfășurarea ampermetrului este din cupru iar șuntul, din manganină (fig. 6.115).

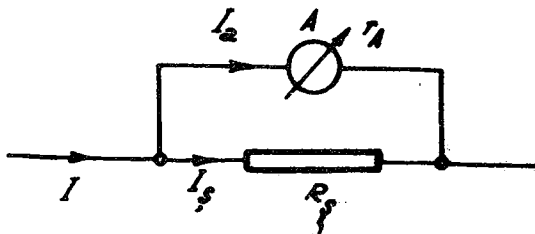


Fig. 6.115.

Rezolvare

a. Curentul prin ampermetru I_a (v. "Divizorul de curent" din ELEC-TROTEHNICA I.I.R.U.C. - ed. 1984 - pag. 158) este

$$I_a = \frac{R_g}{r_A + R_g} I \quad \text{sau} \quad \frac{I}{I_a} = \frac{r_A + R_g}{R_g} = n$$

n, coeficientul de multiplicare al şuntului rezultă

$$n = \frac{I}{I_a} = \frac{150}{0,001} = 1,5 \cdot 10^5$$

iar rezistenţa şuntului

$$R_s = \frac{r_A}{n - 1} = \frac{300}{1,5 \cdot 10^5 - 1} \approx 2 \cdot 10^{-3} \Omega = 2 \text{ m}\Omega$$

b. Consumul ampermetrului

- fără şunt

$$P_A = r_A I_a^2 = 300 \cdot 0,001^2 = 3 \cdot 10^{-4} \text{ W}$$

- cu şunt

$$P = \frac{r_A R_s}{r_A + R_s} I^2 = \frac{300 \cdot 2 \cdot 10^{-3}}{300 + 2 \cdot 10^{-3}} 150^2 = 45 \text{ W}$$

Se remarcă un consum important al ampermetrului când este şuntat.

c. Când temperatura creşte cu 1°C , rezistenţa înfăşurării din cupru a ampermetrului r_A creşte cu $\alpha_{\text{cu}} r_A$.

$\alpha_{\text{cu}} = 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 1/^\circ\text{C}$ reprezintă coeficientul de variaţie cu temperatura a rezistivităţii cuprului.

Rezistenţa şuntului - realizat din manganină - nu se modifică la această variaţie cu temperatura.

Prin urmare, la variaţia temperaturii, modificându-se rezistenţa înfăşurării ampermetrului, se va modifica şi coeficientul de multiplicare al şuntului n.

Va apare o eroare de măsurare relativă care în procente va fi

$$\Delta_{rt}(\%) = - \frac{\alpha_{cu} r_A}{r_A + \alpha_{cu} r_A + R_g} 100 =$$

$$= - \frac{4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{300 + 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 300 + 2 \cdot 10^{-3}} = - 0,426\%$$

6. Rezistența înfășurării din cupru a unui dispozitiv magnetoelectric este $r_A = 45 \Omega$ iar curentul corespunzător deviației maxime $I_a = 0,5$ mA. Pentru micșorarea erorilor suplimentare provocate prin modificarea temperaturii se înseriază cu înfășurarea dispozitivului de măsurat un rezistor din manganină $R_A = 405 \Omega$.

a. Să se calculeze șuntul multiplu necesar extinderii domeniului de măsurare la 0,005... 0,025... 0,1... 0,5... 2,5 și 10 A.

b. Să se compare consumul instrumentului cu șunt multiplu cu consumul aceluiași instrument șuntat prin șunturi simple dar care - pe rînd - realizează domeniile de măsurare impuse.

Rezolvare

a. Schema șuntului multiplu care se calculează este reprezentată în fig. 6.116.

Între curentul prin dispozitivul de măsurat I_a - corespunzător deviației maxime a aparatului neșuntat - și un domeniu în care se măsoară curentul I_k , dispozitivul fiind șuntat cu un șunt multiplu, există relația

$$I_k = I_a \frac{r_A + R_A + r_k}{r_k}$$

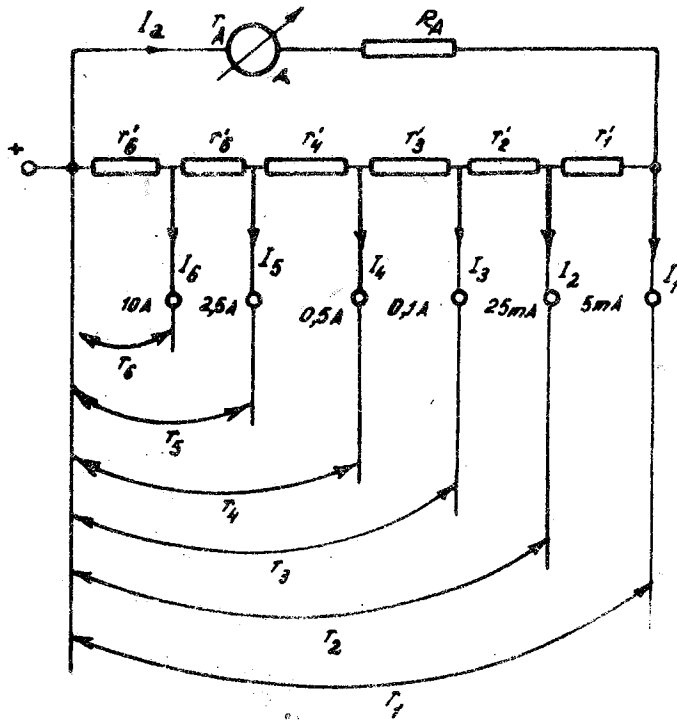


Fig. 6.116.

Pentru $k = 1$ se obține

$$I_1 = I_a \frac{r_A + R_A + r_1}{r_1}$$

De aici se obține

$$r_1 = \frac{r_A + R_A}{\frac{I_1}{I_a} - 1} = \frac{45 + 405}{\frac{0,005}{0,5 \cdot 10^{-3}} - 1} = 50 \Omega$$

Se deduce și expresia

$$r_k = r_1 \frac{I_1}{I_k}$$

Valorile rezistențelor șuntului multiplu, corespunzătoare lui $k = 1, 2, \dots, 6$ sînt trecute în tabelul 6.27.

Tabelul 6.27.

k	1	2	3	4	5	6
$r_k (\Omega)$	50	10	2,5	0,5	0,1	0,025
$r_k'' (\Omega)$	40	7,5	2	0,4	0,075	0,025

În acest tabel s-au redat și rezistențele porțiunilor șunt multiplu, calculate din relația

$$r_k' = r_k - r_{k+1}$$

b. Consumul aparatului cu șunt multiplu este

$$P_{m_k} = \frac{r_k (r_A + R_A + r_1 - r_k)}{r_A + R_A + r_1} I_k^2 =$$

$$(r_A + R_A + r_1) I_a (I_k - I_a)$$

Consumul instrumentului conectat printr-un șunt simplu este

$$P_{sk} = \frac{r_{sk} (r_A + R_A)}{r_{sk} + r_A + R_A} I_k^2 = (r_A + R_A) I_a I_k$$

În această relație s-a notat rezistența șuntului simplu cu r_{sk} . Efectuându-se calculele se obțin rezultatele din tabelul 6.28.

Tabelul 6.28.

k	1	2	3	4	5	6
P_{mk} (W)	0,0011	0,0061	0,0249	0,1249	0,6249	2,4999
P_{sk} (W)	0,0011	0,0056	0,0225	0,1125	0,5625	2,2500

Ampermetrul conectat printr-un șunt multiplu-cu toate că are un consum mai ridicat - se preferă celui simplu, atunci când este necesară obținerea prin comutare a mai multor domenii de măsurare.

7. Un voltmetru magnetoelectric are domeniul de măsurare $U_v = 0,3$ V și rezistența interioară $r_v = 300 \Omega$.

a. Să se calculeze rezistența R_v a rezistorului adițional pentru extinderea domeniului de măsurare la $U = 300$ V.

b. Să se afle consumul voltmetrului fără rezistor adițional și cu rezistor adițional.

c. Să se determine eroarea relativă Δ_{rt} provocată prin variația temperaturii ambiante cu 1°C , avînd în vedere că înfășurarea dispozitivului de măsurat al voltmetrului este din cupru iar rezistorul adițional, din manganină (fig. 6.117).

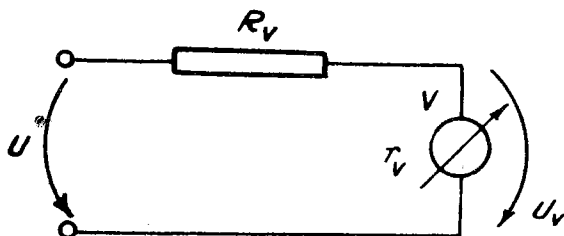


Fig. 6.117.

a. Între U_v - tensiunea domeniului de măsurare al voltmetrului - și U - tensiunea domeniului de măsurare extins prin înserierea rezistorului adițional - există relația (v. divizorul de tensiune; ELECTROTEHNICA I.I.R.U.C. - ed. 1984 - pag. 156):

$$U_v = \frac{r_v}{R_v + r_v} U \text{ sau } \frac{U}{U_v} = \frac{R_v + r_v}{r_v} = m$$

în care m este raportul de extindere al domeniului de măsurare.

Deci,

$$m = \frac{U}{U_v} = \frac{300}{0,3} = 1\,000$$

Rezistența rezistorului adițional rezultă

$$R_v = r_v (m - 1) = 300 (1\,000 - 1) = 299\,700 \, \Omega$$

b. Consumul voltmetrului;

- fără rezistor adițional

$$P_v = \frac{U_v^2}{r_v} = \frac{0,3^2}{300} = 3 \cdot 10^{-4} \text{ W}$$

- cu rezistor adițional

$$P = \frac{U^2}{r_v + R_v} = \frac{300^2}{300 + 299\,700} = 0,3 \text{ W}$$

Cînd temperatura crește cu 1°C , rezistența înfășurării din cupru ampermetrului r_v crește cu $\alpha_{\text{cu}} r_v$

$$\alpha_{cu} = 4,28 \cdot 10^{-3} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$$

reprezintă coeficientul de variație cu temperatura a rezistivității cuprului.

Rezistența rezistorului adițional - realizat din manganină - nu se modifică la această variație cu temperatura.

Prin urmare, pentru aceeași tensiune măsurată, indicația voltmetrului va fi mai mică.

Eroarea relativă Δ_{rt} provocată prin variația temperaturii cu 1°C va fi:

- fără rezistor adițional

$$\begin{aligned} \Delta_{rt \text{ v}} &= \frac{100 \alpha_{cu} r_v}{R_v + \alpha_{cu} R_v} = \\ &= \frac{100 \cdot 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{300 + 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 300} = - 0,426\% \end{aligned}$$

- cu rezistor adițional

$$\begin{aligned} \Delta_{rt} &= \frac{100 \alpha_{cu} r_v}{r_v + \alpha_{cu} r_v + R_v} = \\ &= \frac{100 \cdot 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 300}{300 + 4,28 \cdot 10^{-3} \cdot 300 + 299 \text{ } 700} = - 4,28 \cdot 10^{-4}\% \end{aligned}$$

CAPITOLUL 7

MASURAREA PUTERII SI ENERGIEI ELECTRICE

7.1. GENERALITATI

Prin experiență s-a observat că un rezistor electric se încălzește când este parcurs de curent electric. Fenomenul este cunoscut sub denumirea de efect termic al curentului electric sau efect Joule-Lenz și este o consecință a transformării puterii câmpului electric în putere calorică.

Dacă se notează cu P_J puterea cedată de câmpul electric și cu P_R puterea disipată în rezistorul R , sub formă de căldură, există relația (vezi și fig. 7.1):

$$P_J = P_R \quad (7.1)$$

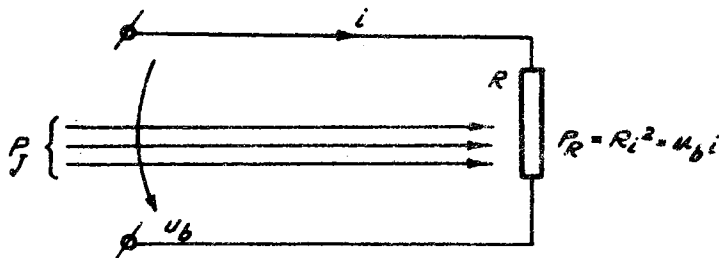


Fig. 7.1. Puterea electrică P_J cedată rezistorului R .

Expresia puterii disipate în rezistor P_R este

$$P_R = u_b i = Ri^2 \quad (7.2)$$

în care:

- u_b este tensiunea la bornele rezistorului;
- i - curentul electric prin rezistor;
- R - rezistența electrică a rezistorului.

Puterea cedată de câmpul electric poate fi generată - împreună cu câmpul electric - de o sursă de tensiune electromotoare.

În acest caz, puterea generată de sursă este egală cu puterea din câmpul electric P_J respectiv cu puterea P_R disipată în rezistor adică

$$P_g = P_J = P_R \quad (7.3)$$

Expresia puterii generate P_g are forma

$$P_g = e_i i \quad (7.4)$$

în care

- e_i este tensiunea electromotoare a sursei;
- i - curentul electric generat de sursă.

7.1.1. Puterea electrică în curent continuu

În regim de curent continuu, puterile furnizate sau primite respectiv consumate sînt constante în timp.

Expresiile sînt următoarele:

- puterea generată

$$P_g = EI \quad (7.5)$$

în care:

E este tensiunea electromotoare a sursei;

I - curentul electric debitat de sursă;

- puterea consumată

$$P_R = U_b I = RI^2 \quad (7.6)$$

în care:

U_b este tensiunea la bornele receptorului;

I - curentul electric prin receptor;

R - rezistența electrică a receptorului.

Dacă receptorul este un motor electric, puterea primită se transformă în putere mecanică.

Cînd receptorul este însă un rezistor, puterea se disipă sub formă de energie calorică.

7.1.2. Puterea electrică în curent alternativ sinusoidal

În acest regim de funcționare a rețelelor electrice se definește mai întîi puterea instantanee ca fiind produsul dintre valoarea instantanee a tensiunii electrice u și valoarea instantanee a curentului electric i ;

$$p = u i$$

7.1.3. Puterea instantanee p .

Se prezintă sub următoarele forme:

- puterea instantanee generată

$$p_g = u_e i \quad (7.7)$$

în care:

u_e este tensiunea electromotoare a sursei de tensiune;

i - curentul debitat de sursă;

- puterea instantanee consumată

$$p_R = u_b i \quad (7.8)$$

în care:

u_b este tensiunea electrică la bornele receptorului;

i - curentul electric prin receptor.

Pentru că puterea instantanee este variabilă în timp, s-au introdus următoarele puteri, obținute din puterea instantanee.

7.1.4. Puterea activă P

Este valoarea medie a puterii instantanee și are următoarea expresie

$$P = UI \cos \varphi \quad (7.9)$$

în care:

U este valoarea efectivă a tensiunii electrice sinusoidale;

I - valoarea efectivă a curentului electric sinusoidal;

φ - unghiul de defazaj dintre tensiune și curent.

Cînd puterea activă este primită de receptor pot apărea cazurile următoare:

- rezistor ideal R ; $\varphi = 0$; $\cos 0 = 1$

$$P_R = U I \cos 0 = U I = R I^2 \quad (7.10)$$

- bobina ideală L ; $\varphi = \frac{\pi}{2}$; $\cos \frac{\pi}{2} = 0$

$$P_L = U I \cos \frac{\pi}{2} = 0 \quad (7.11)$$

- condensator ideal C ; $\varphi = -\frac{\pi}{2}$; $\cos (-\frac{\pi}{2}) = 0$

$$P_C = U I \cos (-\frac{\pi}{2}) = 0 \quad (7.12)$$

7.1.5. Puterea reactivă Q

Este valoarea maximă a puterii instantanee și are expresia următoare:

$$Q = U I \sin \varphi \quad (7.13)$$

și poate fi pozitivă (inductivă) sau negativă (capacitivă).

Pentru puterea reactivă există următoarele cazuri:

- rezistor ideal R ; $\varphi = 0$; $\sin 0 = 0$

$$Q_R = U I \sin 0 = 0 \quad (7.14)$$

- bobină ideală L ; $\varphi = \frac{\pi}{2}$; $\sin \frac{\pi}{2} = 1$

$$Q_L = U I \sin \frac{\pi}{2} = U I = X_L I^2 > 0 \quad (7.15)$$

în care X_L este reactanța inductivă (Ω).

- condensatorul ideal C ; $\varphi = -\frac{\pi}{2}$; $\sin(-\frac{\pi}{2}) = -1$

$$Q_C = U I \sin(-\frac{\pi}{2}) = -U I = -X_C I^2 < 0 \quad (7.16)$$

în care X_C este reactanța capacitivă (Ω).

7.1.6. Puterea aparentă S

Reprezintă produsul dintre valorile efective ale tensiunii și curentului

$$S = U I \quad (7.17)$$

7.1.7. Factorul de putere $\cos \varphi$

Este raportul dintre puterea activă și puterea aparentă

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} \quad (7.18)$$

Între puterea activă P , reactivă Q și aparentă S există relația

$$P^2 + Q^2 = S^2 \quad (7.19)$$

7.1.8. Puterea în audiofrecvență și în radiofrecvență

Măsurarea puterii absorbite de o sarcină specifică (exemplu: difuzorul în audiofrecvență și antena de emisie în radiofrecvență) și generată de un generator sau sistem de generare și de transmitere a puterii, se face în următoarele scopuri:

- determinarea puterii maxime P_{\max} - în sursa de putere sau în sistemul de generare și transmitere - egală cu

$$P_{\max} = \frac{E^2}{4 R_1} \quad (7.20)$$

în care:

E este tensiunea electromotoare a generatorului echivalent;

R_1 - rezistența internă a generatorului echivalent;

- determinarea puterii maxime în anumite condiții, de exemplu - în audiofrecvență - pentru un coeficient de distorsiune dat.

În audiofrecvență se definesc puterile următoare:

Puterea de ieșire este puterea electrică aplicată difuzorului și caracterizează intensitatea sonoră percepută la audiție (pentru radioreceptoare).

Puterea nominală P_n este puterea de ieșire maximă (de exemplu pentru radioreceptoare) pentru care distorsiunile de neliniaritate nu depășesc o anumită limită admisibilă (10%).

Puterea de ieșire standard P_s reprezintă puterea la care se efectuează măsurările într-un radioreceptor și corespunde puterii nominale a radioreceptorului P_n conform tabelului 7.1.

Tabelul 7.1.

P_n (watt)	P_s (milliwatt)
$< 0,1$	5
$0,1 \dots 1$	50
> 1	500

Coefficientul de amplificare a puterii k_P este raportul dintre puterea obținută la ieșirea dintr-un amplificator și puterea primită la intrarea acestuia:

$$k_P = \frac{P_{\text{ieșire}}}{P_{\text{intrare}}} \quad (7.21)$$

Pentru că variația intensității sonore percepută de urechea umană este proporțională cu logaritmul variației corespunzătoare energiei sonore, coeficientul de amplificare se exprimă în unități logaritmice denumite belli (simbol B) și se folosește în acest scop expresia câștigului de putere exprimat în belli:

$$A_P = \log \frac{P_{\text{ieșire}}}{P_{\text{intrare}}} [B] \quad (7.22)$$

sau în decibeli (dB).

$$A_P = 10 \log \frac{P_{\text{ieșire}}}{P_{\text{intrare}}} [dB] \quad (7.23)$$

În aceste relații:

A_P este câștigul în putere al amplificatorului (B sau dB);

$P_{\text{ieșire}}$ este puterea la ieșirea amplificatorului [W];

P_{intrare} - puterea la intrarea amplificatorului [W].

Dacă puterea la ieșire $P_{\text{ieșire}}$ este mai mică decât puterea la intrare

P_{intrare}

$$P_{\text{ieșire}} < P_{\text{intrare}} \quad (7.24)$$

are loc diminuarea de putere sau atenuare. În acest caz, pierderea sau atenuarea se exprimă tot în belli (B) sau decibeli (dB) dar cu semnul minus (exemplu: - 5 dB).

Puterile care se cer a fi măsurate în audiofrecvență sînt cuprinse de la cîțiva miliwatt (radioreceptoare) pînă la cîțiva kilowatt (amplificatoare de putere).

Utilizarea wattmetrelor electrodinamice nu se poate realiza pentru că aceste wattmetre lucrează într-un domeniu limitat de frecvență: pînă la cîteva sute de hertzi.

Puterea se determină prin calcul cu ajutorul expresiei

$$P = R I^2 = \frac{U^2}{R} \quad (7.25)$$

măsurîndu-se curentul I sau tensiunea U la bornele unei rezistențe de sarcină R de valoare fixă și egală cu modulul impedanței sarcinii amplificatorului conectată în locul sarcinii la bornele amplificatorului.

În radiofrecvență, se măsoară puterea emițătoarelor sau oscilatoarelor

Caracteristic etajelor de putere la frecvență radio sînt următoarele:

- puterea obținută din etaj este maximă;
- impedanța de ieșire (impedanța antenei), constantă;
- sarcina adaptată la etajul final.

Aceste caracteristici permit ca măsurarea puterii maxime debitată, să se determine pe o antenă artificială - o rezistență - de valoare aproximativ egală cu modulul impedanței antenei.

7.1.9. Energia electrică

În general, energia (simbol W) reprezintă capacitatea unui sistem fizic de a efectua lucru mecanic cînd se produce o transformare dintr-o stare în alta.

Energia electrică (simbol W_e) se definește ca produs dintre puterea electrică P și intervalul de timp în care se efectuează această putere

$$W_e = P t \quad (7.26)$$

Corespunzător puterii electrice, energia electrică poate fi

- energie activă;
- energie reactivă.

7.2. UNITATI DE MASURA

7.2.1. Unități de măsură pentru puterea electrică

Putere activă

Watt (simbol W) este puterea de 1 joule pe secundă sau puterea pentru care 1 joule de energie electrică se transformă în fiecare secundă într-o altă formă de energie

$$1 \text{ W} = 1 \text{ J/1 s}$$

Wattul este unitate de măsură derivată în Sistemul Internațional SI.

Wattul se mai definește și ca putere activă dezvoltată într-un circuit străbătut de un curent activ de 1 A sub tensiune de 1 V, aplicată la bornele acelui circuit

$$1 \text{ W} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A}$$

Multipli și submultipli wattului sînt

- kilowatt (simbol kW) este

$$1 \text{ kW} = 10^3 \text{ W}$$

- megawatt (simbol MW) este

$$1 \text{ MW} = 10^6 \text{ W}$$

- milliwatt (simbol mW) este

$$1 \text{ mW} = 10^{-3} \text{ W}$$

- Putere reactivă

Var (simbol VAr) este puterea reactivă dezvoltată într-un circuit străbătut de un curent reactiv de 1 A sub tensiunea de 1 V aplicată la bornele aceluia circuit.

Varul se mai citește voltamper - reactiv.

Multiplii și submultiplii varului sînt

- kilovar (simbol kVAr) este

$$1 \text{ kVAr} = 10^3 \text{ VAr}$$

- megavar (simbol MVar) este

$$1 \text{ MVar} = 10^6 \text{ VAr}$$

- Putere aparentă

Voltamper (simbol VA) este puterea aparentă dezvoltată într-un circuit străbătut de un curent efectiv de 1 A sub tensiunea efectivă de 1 V.

Multiplii voltamperului sînt:

- kilovoltamper (simbol kVA) este

$$1 \text{ kVA} = 10^3 \text{ VA}$$

- megavoltamper (simbol MVA) este

$$1 \text{ MVA} = 10^6 \text{ VA}$$

- Putere în audiofrecvență și radiofrecvență

Bel (simbol B) este câștigul în putere determinat de o amplificare de putere în raportul 10:1 pentru care logaritmul zecimal este egal cu unitatea.

Submultiplul belului este

- decibel (simbol dB) este

$$1 \text{ dB} = 10^{-1} \text{ B}$$

Pentru câștigul în putere - pentru a se deosebi de câștigul în tensiune sau curent - unitatea de măsură decibel se mai scrie mdB sau dB (mW); se citește decibel - miliwatt.

Între mdB (pentru putere) și dB (pentru tensiune sau curent) există relația

$$1 \text{ mdB} = \frac{1}{2} \text{ dB}$$

Tot pentru câștigul în putere se folosește neperul (simbol Np).

Între neper și decibel există relațiile

$$1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB}; \quad 1 \text{ dB} = 0,115 \text{ Np}$$

7.2.2. Unități de măsură pentru energie electrică

Wattsecunda (simbol Ws) este unitatea de energie egală cu puterea electrică de un watt, dezvoltată de un sistem energetic în timp de o secundă

Multiplii watsecunde sînt:

- wattora (simbol Wh) este

$$1 \text{ Wh} = 3\,600 \text{ Ws}$$

- kilowattora (simbol kWh) este

$$1 \text{ kWh} = 1\,000 \text{ Wh} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Ws}$$

7.3. MIJLOACE SI METODE DE MASURARE A PUTERII SI ENERGIEI ELECTRICE

7.3.1. Măsurarea puterii în curent continuu

Puterea consumată într-un receptor de curent continuu se poate măsura printr-o metodă indirectă cu voltmetrul și ampermetrul sau prin folosirea aparatului de măsurat denumit wattmetru.

- Metoda voltmetrului și ampermetrului (fig. 7.2 a și b).

Este o metodă industrială care constă în măsurarea tensiunii cu voltmetrul, curentului cu ampermetrul și calcularea puterii consumate de receptor cu expresia

$$P = U I \quad (7.27)$$

în care:

P este puterea consumată de receptor (W);

U - tensiunea electrică indicată de voltmetru (V);

I - curentul electric indicat de ampermetru (A);

Conectarea voltmetrului și ampermetrului se realizează în montaj amonte (fig. 7.2. a) sau în montaj aval (7.2 b).

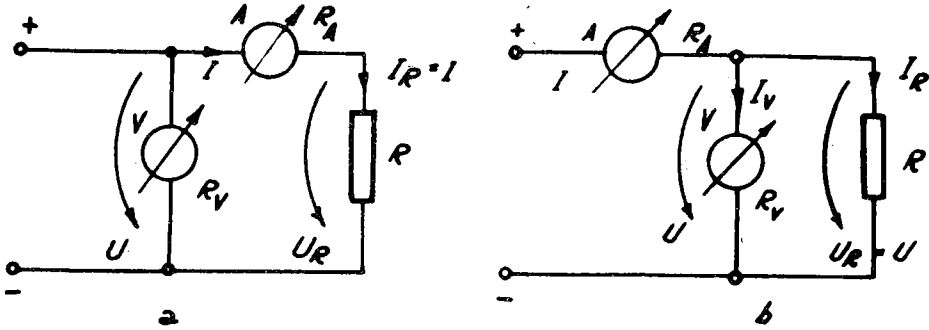


Fig. 7.2. Măsurarea puterii electrice în c.c. cu voltmetrul și ampermetrul.

Pentru măsurări precise - când puterea consumată în receptor este comparabilă cu puterile absorbite de voltmetrul V sau ampermetrul A, din puterea P - determinată cu expresia 7.27 - se scad puterile consumate de aparatele de măsurat astfel

- montajul amonte (fig. 7.2 a)

$$P_R = U_R I_R = (U - R_A I) I = UI - R_A I^2 = P - R_A I^2 \quad (7.28)$$

- montajul aval (fig. 7.2 b)

$$P_R = U_R I_R = U(I - I_V) = UI - \frac{U^2}{R_V} = P - \frac{U^2}{R_V} \quad (7.29)$$

în care:

- P_R este puterea consumată de receptor (W);
- P - puterea determinată din indicațiile V și A cu expresia $P = UI$ (W);
- U - tensiunea electrică indicată de voltmetrul V (V);

I este curentul electric indicat de ampermetrul A (A);

R_A - rezistența interioară a ampermetrului A (Ω);

R_V - rezistența interioară a voltmetrului V (Ω).

Prin urmare, puterile consumate de receptorul R sînt egale cu produsul indicațiilor aparatelor de măsurat ($P = UI$) din care se scad puterile consumate de aparate ($P_A = R_A I^2$ sau $P_V = \frac{U^2}{R_V}$).

Schemele de măsurat recomandate sînt

- amonte pentru

$$R \gg R_A \quad (7.30)$$

- aval

$$R \ll R_V \quad (7.31)$$

Cînd puterea consumată este ridicată, se poate neglija consumul aparatelor de măsurat ($0,5 \dots 5$ W) și puterea se calculează numai din indicațiile ampermetrului și voltmetrului cu expresia 7.27.

În aplicațiile practice din industrie, măsurarea puterii prin această metodă se face cu aparatul de măsurat universal - multimetrul. Se comută de pe funcția "voltmetru" pe funcția "ampermetru", se rețin indicațiile U și I după care se determină prin calcul puterea P . În cap. 6 s-a prezentat multimetrul UM3B și utilizarea acestuia la măsurarea puterii absorbite de un receptor de curent continuu (§ 6.5.6.).

- Wattmetrul. Foarte utilizat în practică este wattmetrul electrodinamic (fig. 7.3).

- Constructiv, este simplu, are o precizie ridicată și este robust.

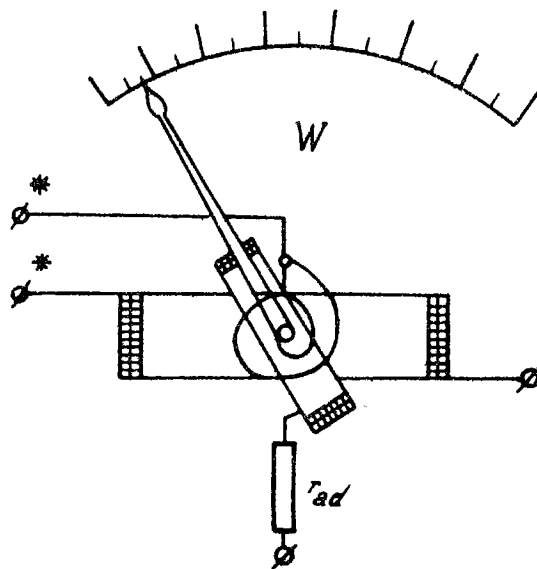


Fig. 7.3. Schema wattmetrului electrodinamic.

Elementul de măsurat al aparatului este electrodinamic iar scala este gradată în unități de putere.

Simbolurile utilizate pentru reprezentarea wattmetrului sînt indicate în fig. 7.4.

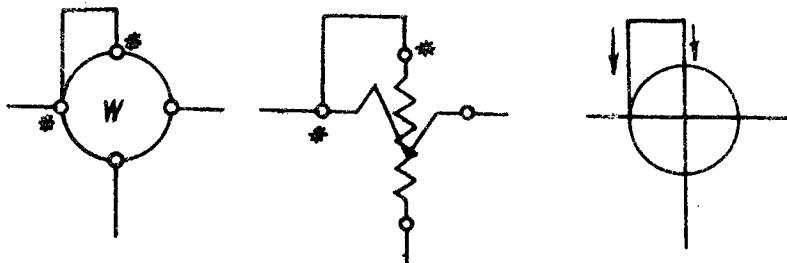


Fig. 7.4. Simboluri utilizate pentru reprezentarea wattmetrului.

Bobina fixă, realizată cu număr mic de spire groase și rezistență mică se mai numește bobină de curent sau bobină serie pentru că se înseriază cu receptorul de energie electrică (fig. 7.5 și fig. 7.6 a și b).

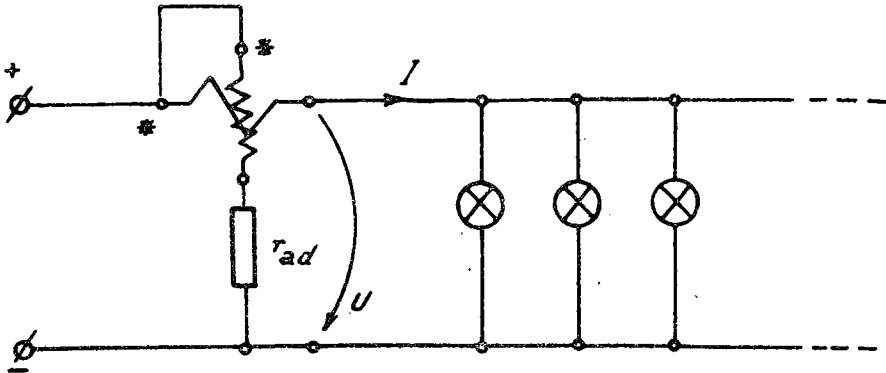


Fig. 7.5. Schema de conectare a unui wattmetru electro-dinamic.

Bobina mobilă, realizată cu număr mare de spire subțiri și rezistență mare, este înseriată cu rezistența adițională r_{ad} din fir de manganină și este conectată la tensiunea bornelor receptorului. Bobina mobilă împreună cu rezistența adițională formează circuitul de tensiune sau circuitul paralel al wattmetrului pentru că se conectează în derivație la bornele receptorului (fig. 7.5).

După modul de legare în circuitul de măsurare a celor două bobine, rezultă montajul amonte (fig. 7.6 a) sau aval (fig. 7.6 b).

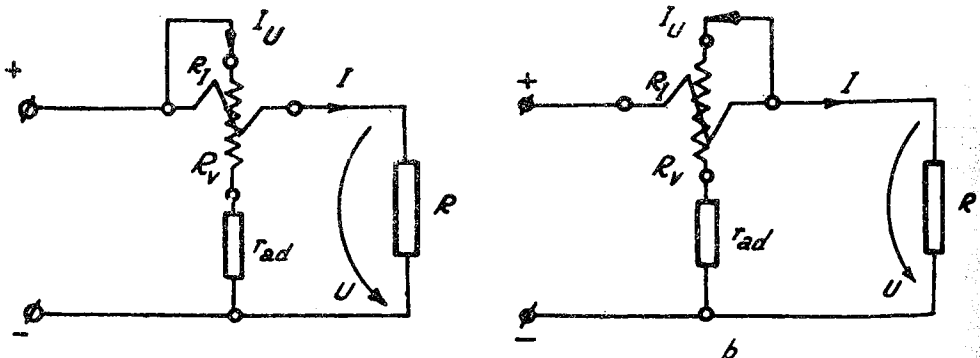


Fig. 7.6. Montajul amonte (a) și aval (b) al wattmetrului pentru curent continuu.

Curentul I_U care trece prin bobina de tensiune este proporțional cu tensiunea U , iar curentul I din bobina de curent este curentul care trece prin receptor astfel că deviația α a wattmetrului este dată de relația

$$\alpha = kUI = kP \quad (7.32)$$

în care P este puterea absorbită de receptorul R .

În montajul amonte, wattmetrul măsoară pe lângă puterea P a receptorului și puterea absorbită de bobina de curent ($R_I I^2$) iar în montajul aval, puterea consumată de circuitul de tensiune al wattmetrului ($\frac{U^2}{R_V + r_{ad}}$).

Bornele bobinelor wattmetrului (una de la fiecare) sînt marcate distinct (asterisc, săgeată sau literele U , I). Pentru ca indicația wattmetrului să fie în sensul normal al scalei, bornele polarizate se leagă la același conductor al circuitului.

7.3.2. Măsurarea puterii active în curent alternativ monofazat

Pentru măsurarea puterii active în circuitele de curent alternativ monofazat, $P = UI \cos \varphi$, se folosește wattmetrul electrodinamic.

- Wattmetrul electrodinamic folosit în curent alternativ monofazat se conectează după aceeași schemă folosită pentru măsurarea puterii în curent continuu.

Se poate conecta în montaj amonte (fig. 7.7 a) sau aval (fig. 7.7 b).

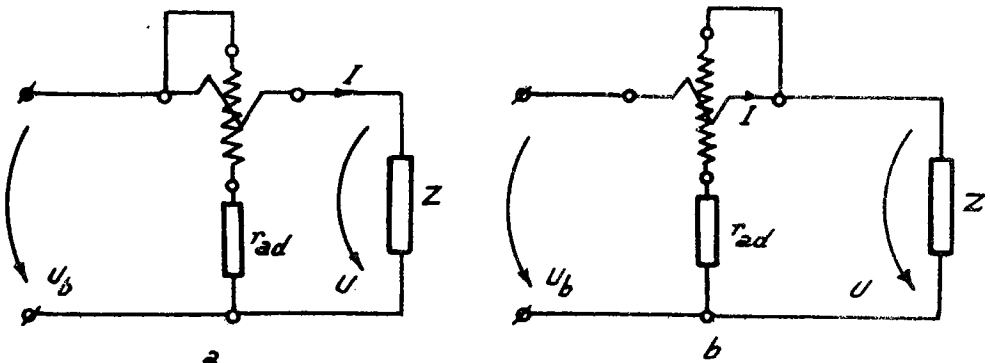


Fig. 7.7. Montajul amonte (a) și aval (b) al wattmetrului pentru curent alternativ.

Puterea activă indicată de wattmetrul electrodinamic P_W cuprinde puterea $P = UI \cos \varphi$ consumată de receptorul Z și puterile absorbite de wattmetru:

- montajul amonte

$$P_W = P + \Delta P_I \text{ și} \quad (7.33)$$

- montajul aval

$$P_W = P + \Delta P_U \quad (7.34)$$

în care:

- P_W este puterea indicată de wattmetrul electrodinamic;
- P - puterea consumată de receptor ($P = UI \cos \varphi$);
- ΔP_I - puterea absorbită de bobina de curent;
- ΔP_U - puterea absorbită de bobina de tensiune a wattmetrului.

Pentru extinderea domeniului de măsură - curenți mari ($I > 50$ A) și tensiuni ridicate ($U > 650$ V) - wattmetrul se conectează în circuit prin intermediul transformatoarelor de curent (TI) și de tensiune (TU) care "coboară" tensiunea la 100 V și "reduce" curentul la 5 A.

Pentru măsurarea puterii active în curent alternativ monofazat se amintesc și metodele următoare:

- metoda celor trei voltmetre;
- metoda celor trei ampermetre.

Aceste metode de măsurare se preferă pentru frecvențe cuprinse între 100 și 1 000 Hz în locul wattmetrelor electrodinamice care nu se pot utiliza pentru aceste frecvențe.

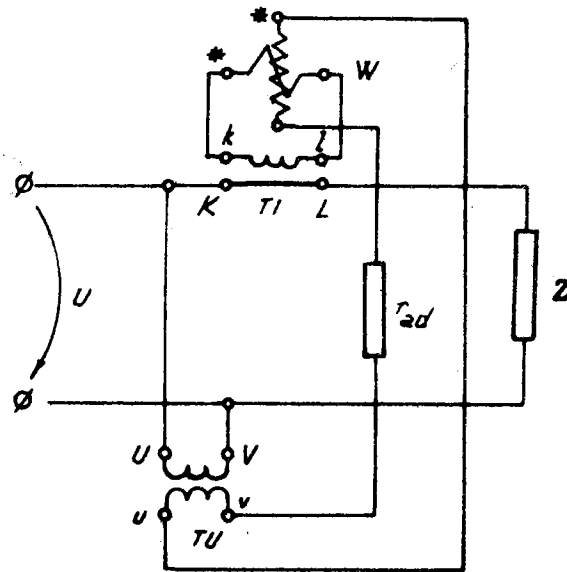


Fig. 7.8. Schema de măsurare a puterii active cu wattmetrul (W), transformatorul de curent (TI) și transformatorul de tensiune (TU).

- Metoda indirectă a osciloscopului catodic este altă metodă care se utilizează pentru frecvențe ridicate.

Se aplică pe una dintre perechile de plăci ale osciloscopului catodic o tensiune proporțională cu intensitatea curentului prin receptorul Z.

Această tensiune se obține de la bornele unui condensator C montat în serie cu receptorul Z a cărui putere se măsoară.

Perechii a doua de plăci i se aplică tensiunea de la bornele receptorului Z (fig. 7.9). Valoarea condensatorului C se alege astfel încât să nu influențeze funcționarea circuitului de curent monofazat ($X_C = \frac{1}{\omega C} \ll Z$).

Pe ecranul osciloscopului va apărea o elipsă (fig. 7.9 b) a cărei arie A este proporțională cu puterea activă absorbită de receptorul Z

$$P = \frac{f C}{S_x S_y} A \quad (7.35)$$

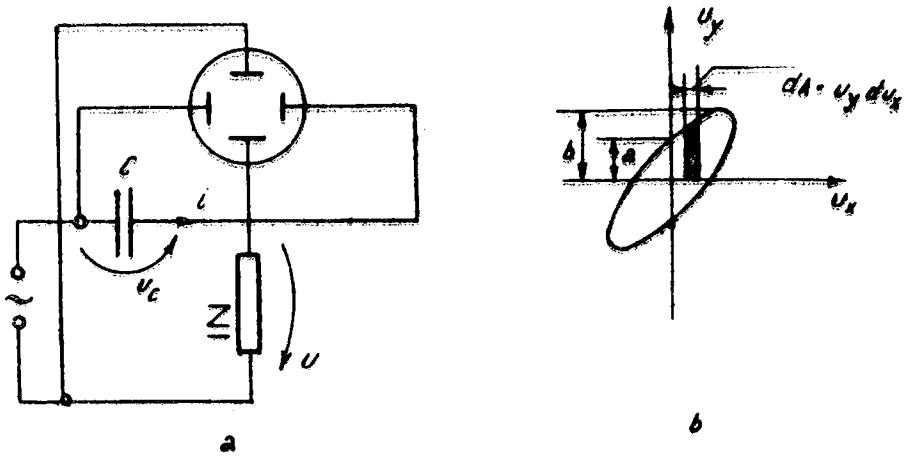


Fig. 7.9. Măsurarea puterii active cu osciloscopul catodic.

în care:

P - este puterea activă absorbită de receptorul Z ;

f - frecvența tensiunii de alimentare;

C - capacitatea condensatorului C ;

S_x - sensibilitatea pe orizontală;

S_y - sensibilitatea pe verticală;

A - aria elipsei obținută prin planimetrare.

Se poate calcula defazajul respectiv φ sau factorul de putere

$$\cos \varphi = \frac{a}{b} \quad (7.36)$$

7.3.3. Măsurarea puterii reactive în curent alternativ monofazat

După cum s-a prezentat în § 7.1.5. puterea reactivă din circuitele monofazate de curent alternativ monofazat este determinată prin expresia

$$Q = U I \sin \varphi \quad (7.37)$$

cu următoarea precizare (v. Electrotehnica I.I.R.U.C. - 1984): puterea reactivă absorbită este pozitivă ($\sin \varphi > 0$) pentru receptor inductiv și este negativă ($\sin \varphi < 0$) pentru receptor capacitiv; în ultimul caz, receptorul trimite putere reactivă în rețea pentru compensarea puterii reactive inductive.

Pentru măsurarea puterii reactive se folosesc metode indirecte:

- metoda celor trei aparate;
- metoda wattmetrului;

și metode directe:

- metoda varmetrului.

- Metoda celor trei aparate (fig. 7.10) utilizează ampermetrul, voltmetrul și wattmetrul. Se bazează pe relațiile dintre puterea activă P , puterea reactivă Q și puterea aparentă S :

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(UI)^2 - P^2} \quad (7.36)$$

Cu aparatele de măsurat conectate conform schemei din fig. 7.10 se măsoară tensiunea, curentul și se calculează puterea activă P și aparentă S , iar puterea reactivă Q se obține din relația 7.38.

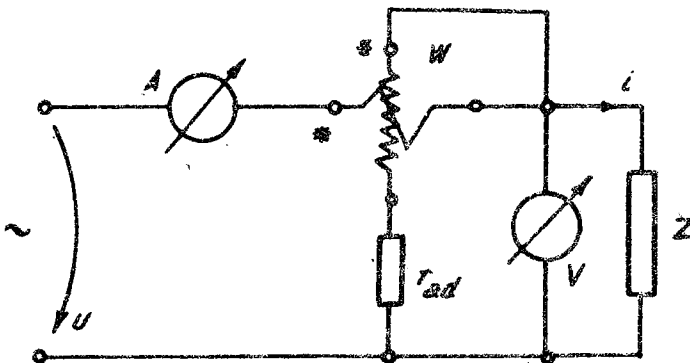


Fig. 7.10. Schemă de măsurare a puterii reactive prin metoda celor trei aparate (V.A.W.).

Se procedează astfel:

- cu wattmetrul W se măsoară puterea activă P (watt);
- cu voltmetrul V se măsoară tensiunea U (volți);
- cu ampermetrul A se măsoară curentul I (amperi);
- se calculează puterea aparentă în voltamperi (VA)

$$S = UI \quad [\text{VA}] \quad (7.39)$$

- se calculează și astfel se determină puterea reactivă Q exprimată în voltamper-reactivi (VAR)

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} \quad [\text{VAR}] \quad (7.40)$$

Pentru măsurări precise este necesar să se considere și puterile absorbite de wattmetrul W și voltmetrul V. În acest caz, puterea indicată de wattmetru este

$$P_W = P + \frac{U^2}{R_{WU}} + \frac{U^2}{R_V} \quad (7.41)$$

în care:

- P_W este puterea activă indicată de wattmetru W;
- P - puterea activă consumată de receptor;
- $\frac{U^2}{R_{WU}}$ - puterea absorbită de circuitul de tensiune al wattmetrului;
- $\frac{U^2}{R_V}$ - puterea absorbită de circuitul voltmetrului V.

Puterea reactivă se determină de data aceasta cu expresia

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(UI)^2 - \left(P_W - \frac{U^2}{R_{WU}} - \frac{U^2}{R_V}\right)^2} \quad (7.42)$$

- Metoda wattmetrului (fig. 7.11). Pentru folosirea wattmetrului electrodinamic la măsurarea puterii reactive în curent alternativ monofazat se alimentează bobina de tensiune a wattmetrului de la o sursă de tensiune U_a separată și defazată cu $\frac{\pi}{2}$ în urma tensiunii U a circuitului.

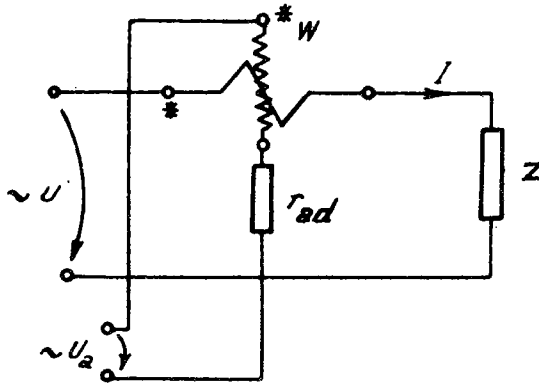


Fig. 7.11. Măsurarea puterii reactive cu wattmetrul electrodinamic.

Wattmetrul va indica - în acest caz - o putere

$$P_a = U_a I \cos \left(\frac{\pi}{2} - \varphi \right) = U_a I \sin \varphi \quad (7.43)$$

Dacă valorile eficace ale tensiunii auxiliare U_a și tensiunii de alimentare U sînt egale

$$U_a = U \quad (7.44)$$

puterea P_a indicată de wattmetru va fi chiar puterea reactivă Q , absorbită de receptorul Z

$$P_a = U_a I \sin \varphi = UI \sin \varphi = Q \quad (7.45)$$

- Varmetrul. Dacă în circuitul de tensiune al unui wattmetru electrodinamic se conectează - în locul rezistenței adiționale - o capacitate adițională sau o impedanță adițională, se obține un aparat de măsurat putere reactivă. În fig. 7.12 este prezentat varmetrul cu capacitate adițională C_a .

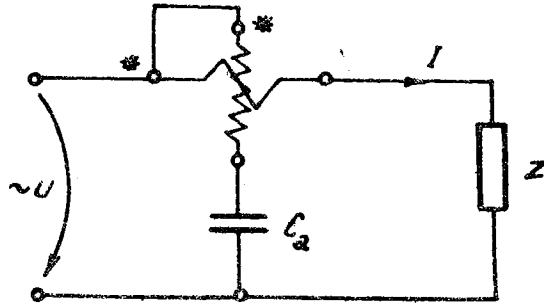


Fig. 7.12. Măsurarea puterii reactive cu varmetrul electrodinamic.

Curentul - în cazul varmetrului - va fi defazat cu $\frac{\pi}{2}$ înaintea tensiunii și deviația acului indicator al varmetrului va fi proporțională cu puterea reactivă

$$\alpha U = kQ \quad (7.46)$$

Scala aparatului se etalonează în voltamper-reactiv (VAR).

Varmetrul se montează în circuitul de măsurare ca și wattmetrul electrodinamic. Dacă defazajul dintre tensiunea U și curentul I este inductiv, varmetrul indică în sens normal; când defazajul este capacitiv indicația va fi în sens contrar.

7.3.4. Măsurarea puterii aparente în curent alternativ monofazat

Metoda voltmetrului și ampermetrului

Metoda de măsurare a puterii aparente în curent alternativ monofazat utilizează un voltmetru și un ampermetru conectate în montaj amonte sau aval - corespunzător erorii minime.

În fig. 7.13 este prezentat un montaj pentru măsurarea puterii aparente S , absorbite de receptorul Z

$$S = UI \quad (7.47)$$

în care:

S este puterea aparentă a receptorului Z (VA);

U - puterea indicată de voltmetru (V);

I - curentul indicat de ampermetru (A).

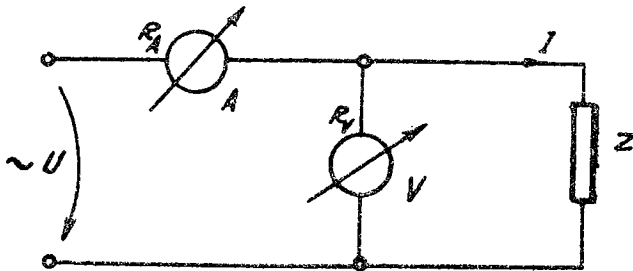


Fig. 7.13. Măsurarea puterii aparente prin metoda voltmetrului și ampermetrului.

Montajele recomandate pentru măsurarea puterii aparente sînt:

- amonte pentru

$$Z \gg R_A \quad (7.48)$$

- aval

$$Z \ll R_V \quad (7.49)$$

în care R_A este rezistența interioară a ampermetrului A iar R_V , rezistența electrică interioară a voltmetrului.

În aplicațiile practice din industrie, măsurarea puterii aparente prin această metodă se poate executa cu ajutorul multimetrului, de exemplu cu aparatul universal UM3B. Modul de utilizare al acestui instrument, la măsurarea puterii aparente absorbite de un receptor de curent alternativ monofazat, este prezentat la descrierea aparatului universal UM3B "Măsurarea puterii aparente la un receptor de curent alternativ" din cap. 6 § 6.5.6. Tot aici este indicată metoda de măsurare a puterii aparente cu UM3B prin utilizarea unui transformator de curent.

7.3.5. Măsurarea puterii în curent alternativ trifazat

Măsurarea puterii active în curent alternativ trifazat se realizează cu ajutorul wattmetrelor electrodinamice conform tabelului 7.2.

Tabelul 7.2.

Circuitul trifazat	Nr. wattmetrelor utilizate
simetric	1
asimetric sau asimetric fără conductor neutru	2
asimetric sau asimetric cu conductor neutru	3

Pentru măsurarea puterii reactive se procedează tot conform acestui tabel dar aparatele se conectează într-un alt mod. Se poate măsura și cu aparate special construite acestui scop-varmetre.

Conectarea varmetrelor electrodinamice se execută la fel cu a wattmetrelor dar indicațiile se referă la puterea reactivă.

7.3.6. Măsurarea puterii în audiofrecvență și radiofrecvență

În audiofrecvență, măsurarea puterii absorbite se realizează cu wattmetre de absorbție cunoscute sub numele de wattmetre de ieșire (outputmetre sau powermetre).

- Wattmetrul de ieşire se bazează pe măsurarea tensiunii la bornele unei rezistenţe fixe care constituie sarcina pentru sursa a cărei putere se măsoară.

Deoarece rezistenţele de ieşire şi puterile respective diferă de la o sursă la alta, wattmetrul de ieşire trebuie să permită adaptarea sa la sursă adică să se poată varia simultan rezistenţa de intrare şi limita de măsurare a voltmetrului astfel ca voltmetrul - etalonat în unităţi de putere - să indice corect puterea pentru oricare valoare a rezistenţei de intrare aleasă.

Astfel, acest aparat permite variaţia simplă şi în limite largi a impedanţei de ieşire (deci şi de sarcină), permite observarea modului cum variază puterea - indicată de voltmetru - în funcţie de impedanţa de ieşire şi permite determinarea impedanţei de ieşire pentru care sursa dă putere maximă la ieşire.

În fig. 7.14 este prezentat ca principiu un wattmetru de ieşire pentru frecvenţe audio cuprinse între 20 Hz şi 20 kHz cu o precizie de 2... 4%.

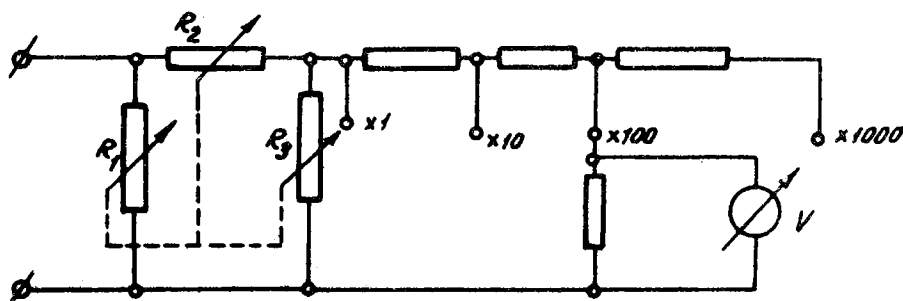


Fig. 7.14. Wattmetrul de ieşire pentru audiofrecvenţă.

Se preconizează, folosirea în laboratoarele de electronică I.I.R.U.C., a unui wattmetru de ieşire descris în cele ce urmează.

- Wattmetrul de ieşire PWT-5B. Este un produs al fabricii pentru aparate didactice şi de cercetare "KABID-ZOPAN" din Polonia. Aparatul măsoară puteri de ieşire cuprinse între 0,1 mW şi 100 W, disipate pe o rezistenţă de sarcină cunoscută, în domeniul de frecvenţe 10 Hz... 30 kHz.

Rezistența de intrare a aparatului se poate schimba în trepte de la $2,5 \Omega$ la $20 \text{ k}\Omega$. Se poate folosi astfel acest aparat pentru determinarea rezistenței optime pentru transfer maxim de putere (adaptormetru).

Wattmetrul PWT-3B este indicat la măsurarea puterii de ieșire din amplificatoarele audio de putere.

Datele tehnice ale aparatului sînt:

- domeniul de măsurare a puterii $0 \dots 100 \text{ W}$;
 - subdomenii: $0,01$; $0,1$; 1 ; 10 și 100 W ;
- precizia de măsurare pentru puteri $< 1 \text{ mW}$ este $\pm 0,1 \text{ mV}$;
- neuniformitatea răspunsului în funcție de frecvența și de nivelul de putere la frecvență de 1 kHz :

$20 \text{ Hz} - 30 \text{ kHz} \dots \dots \dots \pm 0,2 \text{ dB}$

$10 \text{ Hz} - 100 \text{ kHz} \dots \dots \dots \pm 0,5 \text{ dB}$

- curenți maxim de intrare $\dots \dots \dots 2 \text{ A}$

- tensiune maximă de intrare $\dots \dots \dots 250 \text{ V}$

treptele rezistenței de sarcină:

- treaptă inferioară $\dots \dots \dots 2,5 \Omega$

- treaptă superioară $\dots \dots \dots 20 \text{ } 000 \Omega$

- număr de trepte $\dots \dots \dots 40$

- precizia rezistenței de sarcină $\dots \dots \dots \pm 0,5\% \pm 0,05 \Omega$

- precizia impedanței de intrare raportată la valoarea maximă a rezistenței de sarcină în domeniul de frecvențe $10 \text{ Hz} \dots \dots \dots 30 \text{ kHz} \dots \dots \dots \pm 5\% \pm 0,05 \Omega$;

- tensiune de alimentare $\dots \dots \dots 110 \text{ V}$ sau $220 \text{ V} \pm 10\%$, 50 Hz ;

- consum de putere $\dots \dots \dots 8 \text{ VA}$;

În fig. 7.15 este prezentat panoul frontal iar în fig. 7.16 panoul posterior al wattmetrului de ieșire PWT-5B.

Elementele componente sînt următoarele:

Panoul frontal (fig. 7.15)

- 1 - buton de rețea "MAINS"
- 2 - lampă de semnalizare a conectării la rețea;

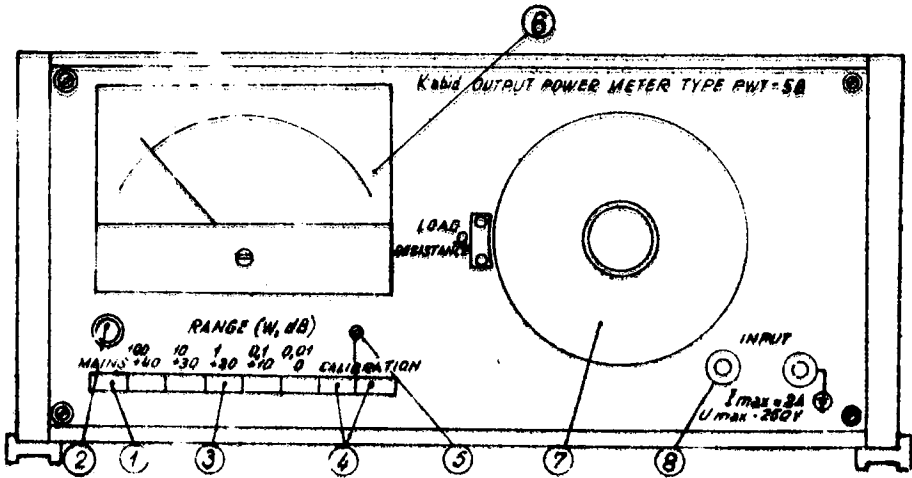


Fig. 7.15. Panoul frontal - wattmetrul de ieşire PWT-5B.

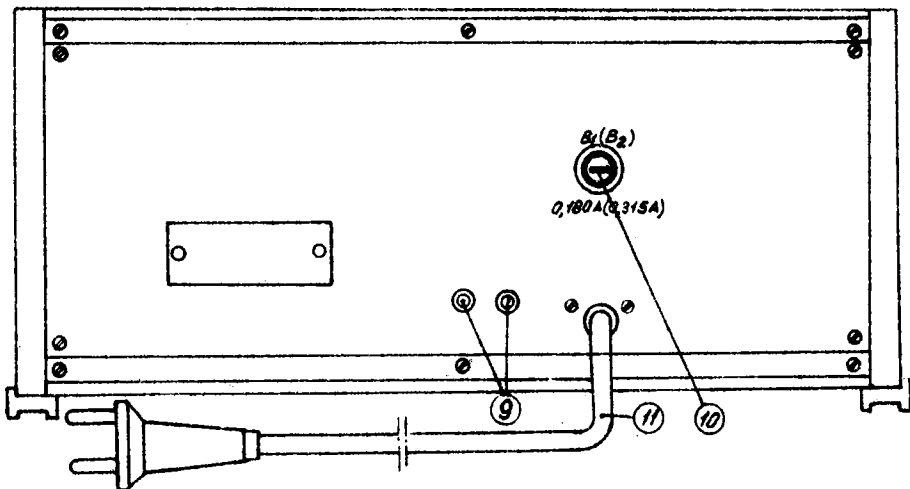


Fig. 7.16. Panoul posterior - wattmetrul de ieşire PWT-5B.

- 3 - butoane pentru selectarea puterii măsurate "RANGE" în 5 domenii de putere (0,01; 0,1; 1; 10 și 100 W) sau în 5 domenii de nivel de putere (0; +10; +20; +30 și 40 dBm);
- 4 - butoane pentru calibrare "CALIBRATION";
- 5 - șurubul "CALIBRATION"; acționează potențimetrul de corectare a indicațiilor instrumentului;
- 6 - scala instrumentului; scala W (negru) pentru puteri și scala dBm (roșu) pentru nivel de putere raportat la nivelul standard de 1 mW;
- 7 - "LOAD RESISTANCE" - comutator de selectare și indicare a rezistenței de sarcină (40 trepte);
- 8 - "INPUT" borne pentru conectarea sursei de putere supusă măsurării; tensiune maximă..... 250 V, curent maxim 2 A și putere maximă, 100 W.

Panoul posterior

- 9 - panote de măsură; sînt accesibile după înlăturarea panoului;
- 10 - fuzibile de protecție; B₁ pentru 220 V; B₂ pentru 110 V;
- 11 - cordon de alimentare.

În fig. 7.17 este prezentată schema bloc a wattmetrului de ieșire PWT-5B.

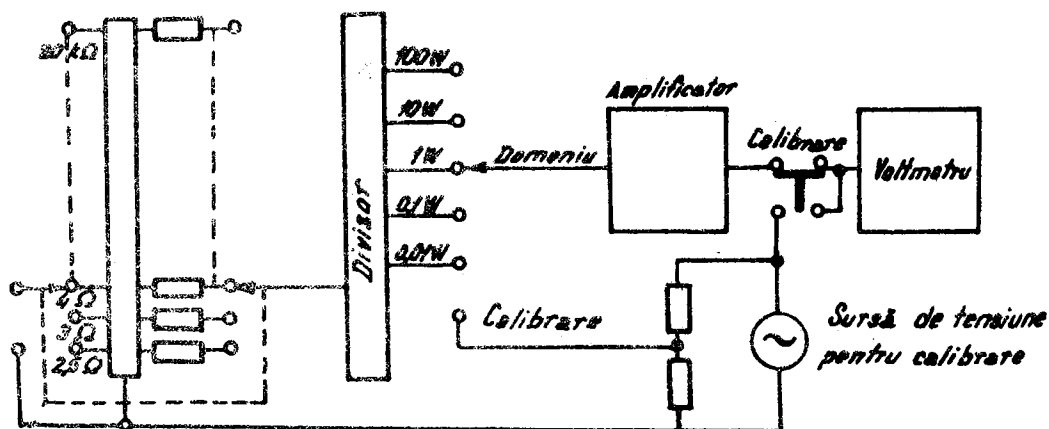


Fig. 7.17. Schema bloc a wattmetrului de ieșire PWT-5B.

Principiul de măsurare a puterii de ieșire constă în măsurarea tensiunii la bornele unei rezistențe de valoare cunoscută.

Această tensiune depinde de rezistența de sarcină R și de puterea P disipată pe această rezistență, conform expresiei

$$U = \sqrt{PR} \quad (7.50)$$

dedusă din relația cunoscută $P = \frac{U^2}{R}$. Prin urmare, indicațiile voltmetrului - gradat în watt - vor fi proporționale cu rădăcina pătrată a valorii medii a puterii.

Intrarea aparatului este chiar intrarea în rezistența R constituită ca sarcină pentru sursa de putere supusă testării. Această rezistență de sarcină a wattmetrului se poate schimba în trepte de la $2,5 \Omega$ la $20 k\Omega$. Schema folosită permite - cu ajutorul divizorului - obținerea aceleiași tensiuni pentru același putere disipată în rezistența de sarcină - independent de valoarea rezistenței de sarcină. Tensiunea corespunzătoare puterii disipate este aplicată prin intermediul divizorului la intrarea amplificatorului.

Voltmetrul de măsurat are caracteristică aproximativă patratică ceea ce permite măsurarea rădăcinii patratică a tensiunii; această proprietate este importantă pentru că permite măsurarea corectă a puterii distorsionate.

Pentru calibrare, se aplică tensiunea sursei de calibrare prin amplificator și prin divizor - poziționat corespunzător puterii de măsurat - voltmetrului. Tot la calibrare, se poate aplica tensiunea de calibrare direct voltmetrului și aparatul este calibrat când indicațiile voltmetrului coincid în ambele situații.

Pentru măsurare se procedează astfel:

- se reglează zeroul mecanic al instrumentului;
- se conectează la priză aparatul cu cordonul 11;
- se apasă butonul "MAINS" (1);
- se apasă butonul din stînga "CALIBRATION" și după 5 minute se calibrează instrumentul astfel;

- se apasă butonul din dreapta "CALIBRATION" (4) și se memorează deviația acului instrumentului;

- după eliberarea butonului din dreapta, se aduce instrumentul pe deviația memorată cu ajutorul șurubului (5);

Aparatul este calibrat și se poate măsura.

- Măsurarea puterii de ieșire cu PWT-5B

- se calibrează aparatul;

- se selectează domeniul cu unul din butoanele "RANGE" (3);

- se selectează rezistența de sarcină cu comutatorul "LOAD RESISTANCE" (7);

- se conectează sursa de putere supusă testării la bornele "INPUT" (b).

- se citește rezultatul măsurării pe scala W a instrumentului (6) ținând seama și de poziția butonului "RANGE" (3).

Măsurarea nivelului de putere cu PWT-5B

Pentru măsurarea nivelului de putere, instrumentul este prevăzut cu scală suplimentară dBm (roșie) și poziții ale butoanelor "RANGE" calibrate în dBm. Puterea de 1 mW este considerată ca nivel de putere zero și se precizează prin scrierea cu litera "m" a decibelilor (dBm).

Măsurarea nivelului se face la fel ca măsurarea puterii; rezultatul se obține în dBm folosind scala în dBm și butoanele "RANGE" marcate de asemenea în dBm.

Utilizarea PWT-5B ca adaptormetru

Cu ajutorul rezistenței de sarcină a aparatului PWT-5B cuprinsă între $2,5 \Omega$ și $20 k\Omega$ (40 trepte) se poate determina rezistența optimă pentru care se obține putere maximă de la sursa de putere supusă testării. Se procedează astfel:

- se calibrează aparatul;
- se selectează domeniul cu unul din butoanele "RANGE" (3) pentru puterea estimată a se obține în urma adaptării;
- se selectează cu comutatorul 7, rezistența de sarcină presupusă a fi egală cu rezistența de adaptare;
- se conectează sursa de putere supusă testării la bornele "INPUT" (8).
- se rotește comutatorul (7) până când se obține pe scală deviația maximă a acului și se citește la comutatorul 7, valoarea rezistenței de adaptare.

Utilizarea PWT-5B ca rezistență de sarcină

Deconectat de la rețea, aparatul se poate folosi ca rezistență de sarcină variabilă pentru diferite surse de tensiune, curent sau putere în domeniul de frecvențe de la 0 la 30 kHz. Se utilizează aparatul în acest scop, observând limitele: $I_{\max} = 2 \text{ A}$; $U_{\max} = 250 \text{ V}$; $P_{\max} = 100 \text{ W}$.

Aparatul universal de măsurat a radiotelefoanelor ZPFM 3

Tot pentru măsurarea puterii în audiofrecvență dar și în radiofrecvență, se utilizează în laboratoarele I.I.R.U.C. aparatul universal de măsurat a radiotelefoanelor ZPFM 3.

Acest complex de măsurat este destinat controlului, întreținerii și reparației radiotelefoanelor UKW-FM (unde ultrascurte - modulație în frecvență).

Se compune din:

- generator de radiofrecvență (0,4... 470 MHz);
- generator de audiofrecvență (300 și 400 Hz; 1; 2,7; 3 și 6 kHz);
- aparat de măsurat în audiofrecvență pentru domeniul de frecvență 50 Hz... 10 kHz; măsoară:
 - atenuare (0... - 55 dB);
 - tensiune (0,1; 0,3; 3 și 10 V);
 - putere (20 mW; 0,2 și 2 W);

- aparat de măsurat în radiofrecvență pentru domeniul de frecvență 0,4... 470 MHz; măsoară:

- putere (0,5; 2,5; 5; 12,5 și 25 W) pe o impedanță de intrare de 50Ω ;
- frecvență internă..... (0,4... 470 MHz);
- frecvență externă..... (50 Hz... 25 MHz)
la o tensiune 50 mV... 50 V; afișajul frecvență este optic cu elemente de 7 segmente;
- tensiune de alimentare: 220 V $\pm 10\%$, 50 Hz $\pm 5\%$ sau 12 V $\begin{matrix} -5\% \\ +15\% \end{matrix}$;
- putere absorbită: 80 W la 220 V și 100 W la 12 V;

Puterea în audiofrecvență se obține din măsurarea tensiunii pe o rezistență de sarcină precisă. Pentru indicarea puterii este prevăzut pentru fiecare rezistență de intrare câte un divizor de tensiune.

Complexul ZPFM-3 funcționează ca wattmetru de absorbție cu detector de diode pentru măsurarea puterii în radiofrecvență.

Rezistența de sarcină pentru măsurări de putere pînă la 5 W este inclusă în aparat. Pentru măsurări pînă la 2 W se folosește un atenuator de 7 dB ($\approx \times 5$), anexă a aparatului. Ieșirea emițătorului se conectează cu bornele 0,5 W sau 2,5/5 W.

În fig. 7.18 este prezentat aparatul de măsurat în audiofrecvență iar în fig. 7.19 aparatul de măsurat în radiofrecvență din compunerea complexului de măsurare ZPFM 3.

Aparatul de măsurat în audiofrecvență se compune din (fig. 7.18):

- 24 - butoane de selectare pentru: putere (W); tensiune (V); atenuare (dB) și factor de distorsiune (%);
- 25 - butoane de selectare a domeniului pentru: putere (0,02... 2 W); tensiune (0,1... 10 V); atenuare (0... -40 dB);
- 26 - intrarea aparatului de audiofrecvență;
- 27 - buton de calibrare la măsurarea zgomotului;
- 28 - buton de reglare a defazajului la măsurarea factorului de distorsiune;
- 29 - ieșire pentru audiofrecvență;

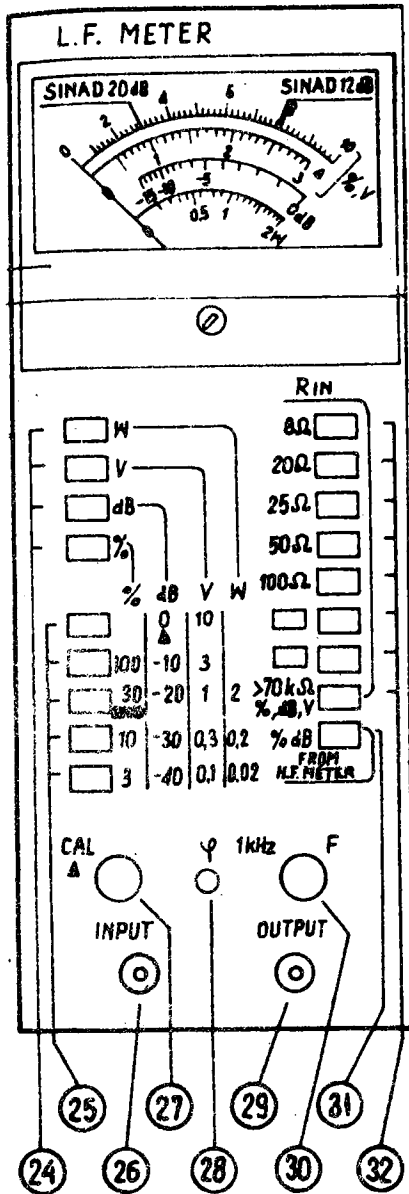


Fig. 7.18. Aparat de măsurat în audiofrecvență (ZPFM 3).

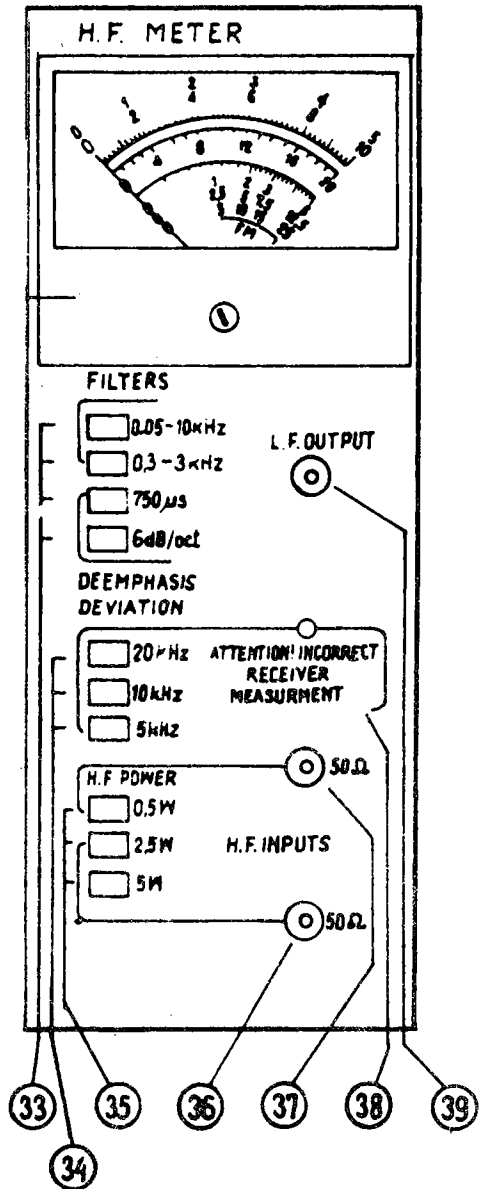


Fig. 7.19. Aparat de măsurat în radiofrecvență (ZPFM 3).

- 30 - buton de reglare a frecvenței la măsurarea factorului de distorsiune;
- 31 - buton pentru conectarea internă a aparatelor de audiofrecvență și radiofrecvență;

Aparatul de măsurat în radiofrecvență se compune din (fig. 7.19):

- 33 - butoane pentru filtre în gama de frecvențe: 0,05... 10 kHz și 0,3...
... 3 kHz;
- 34 - butoane pentru selectarea deviației de frecvență;
- 35 - butoane pentru selectarea domeniului de putere în radiofrecvență: 0,5; 2,5
și 5 W;
- 36 - intrarea de radiofrecvență pentru 2,5 și 5 W, impedanța de 50 Ω ;
- 37 - intrarea de radiofrecvență pentru 0,5 W, impedanța de 50 Ω ;
- 38 - lampă semnalizare în caz de măsurări eronate ale recepției;
- 39 - țegirea de audiofrecvență a aparatului de radiofrecvență.

7.3.7. Măsurarea energiei electrice

Energia electrică consumată în circuite de curent alternativ se măsoară cu ajutorul contoarelor cu inducție.

În circuite de curent continuu se utilizează contoare electrodinamice.

- Contorul cu inducție pentru energie electrică. Este un aparat totalizator. Fără de un aparat de măsurat cu ac indicator, contorul posedă un echipaj mobil care nu este limitat printr-un resort; echipajul mobil se rotește astfel ca indicațiile contorului să se adune.

Fiecare rotație completă a echipajului mobil corespunde unei cantități bine stabilită de energia consumată.

Contorul cu inducție (fig. 7.20) se compune din:

- discul conductor nemagnetic 1 - din aluminiu sau cupru - fixat pe un ax 6;
- doi electromagneți; un electromagnet serie 3 și un electromagnet derivație 4;

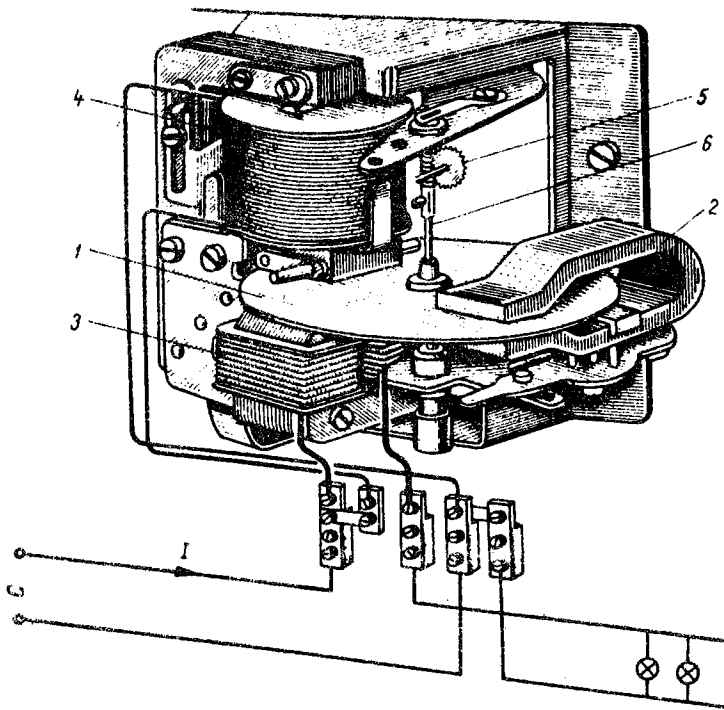


Fig. 7.20. Contor cu inducție.

- un magnet permanent 2 pentru frinare și un element de afișare pus în mișcare de rotație prin intermediul pinionului 5.

Curenții din înfășurările electromagneților 3 și 4 produc fluxuri magnetice care trec prin discul 1 și induc curenți Foucault.

Interacțiunea dintre acești curenți și fluxurile magnetice dau naștere unui cuplu motor M , proporțional cu puterea receptorului de energie

$$M = k_1 P \quad (7.51)$$

Discul sub acțiunea acestui cuplu motor M se rotește. Magnetul permanent 2, va produce însă un cuplu rezistent de frinare M_r , proporțional cu viteza de rotație n a discului

$$M_r = k_2 n \quad (7.52)$$

*

La viteză de rotație constantă cele două cupluri sînt egale

$$M = M_r \quad (7.53)$$

sau

$$k_1 P = k_2 n \quad (7.54)$$

Rezultă expresia pentru puterea receptorului

$$P = \frac{k_2}{k_1} n = Cn \quad (7.55)$$

adică viteza de rotație a contorului este proporțională cu puterea.

Dacă receptorul consumă de la rețea într-un timp t , o energie

$$W = P t \quad (7.56)$$

timp în care discul execută N rotații se poate scrie

$$W = P t = Cnt = C N \quad (7.57)$$

și deci numărul de rotații ale contorului este proporțional cu energia consumată.

Cantitatea de energie corespunzătoare unei rotații a contorului

$$C = \frac{W}{N} \quad (7.58)$$

se numește constanta reală a contorului.

Inversul constantei

$$C_n = \frac{1}{C} = \frac{N}{W} \quad (7.59)$$

se numește constanta contorului.

Parametrii nominali ai contorului cu inducție pentru energie electrică activă folosit în curent alternativ monofazat (prescurtat CAM) sînt:

- tensiunea nominală, U_n [V] ;
- curentul nominal, I_n [A] ;
- frecvența nominală, f_n [Hz] ;
- constanta, C_n [rot/kWh] ;
- curentul de pornire, $I_p = 0,5\% I_n$;
- capacitatea maximă de măsurare (curentul de suprasarcină) [A] ;
- clasa de precizie.

Pentru a impune măsurile de raționalizare a consumului de energie electrică printr-un sistem de tarifyare stimulatîv s-au impus construirea de contoare speciale de energie electrică.

- Contorul cu dublu tarif. Are două mecanisme de totalizat care se pun în funcțiune, manual sau automat - cu comandă de la un ceas electric - în funcție de anumite perioade din intervalul de 24 de ore.

- Contorul cu triplu tarif. Are trei mecanisme de totalizat și un dispozitiv care - în anumite ore - comută de pe un mecanism de totalizat pe altul; tarif redus - pentru energia consumată în timpul nopții, tarif ridicat - pentru consumul din perioada vîrfului de sarcină și tarif normal - pentru consum în restul zilei.

- Contorul cu plată anticipată. Are un mecanism ajutător prin care consumatorul se conectează la rețea numai la introducerea în contor a unei monede și care deconectează după consumarea energiei corespunzătoare valorii monedei.

- Contorul cu indicator de maxim. Acesta înregistrează și media maximă a puterii absorbite într-o perioadă (exemplu: un sfert de oră). Contorul cu indicator de maxim poate acționa un dispozitiv de semnalizare sau poate declanșa întreruptorul principal al consumatorilor.

Se construiesc contoare cu inducție și pentru energie electrică reactivă în curent alternativ monofazat.

De asemenea, pentru înregistrarea energiei electrice în circuitele electrice trifazate se construiesc contoare de energie activă sau reactivă, trifazate.

CAPITOLUL 8

MASURAREA FRECVENTEI

8.1. GENERALITATI

Măsurarea frecvenței mărimilor electrice - în mod deosebit a tensiunii și curentului - se cere în practică pentru asigurarea funcționării în paralel a generatoarelor de energie electromagnetică de mare putere, pentru verificarea etajelor de audiofrecvență din radioreceptoare sau a etajelor de radiofrecvență din emițătoarele radio pentru verificarea frecvenței multivibratoarelor din calculatoarele electronice etc.

Pentru că spectrul frecvențelor undelor electromagnetice este foarte larg (fig. 8.1), se folosesc diferite metode și mijloace de măsurare selectate în funcție de ordinul de mărime al frecvenței, precizia de măsurare, natura obiectului tehnic supus verificării.

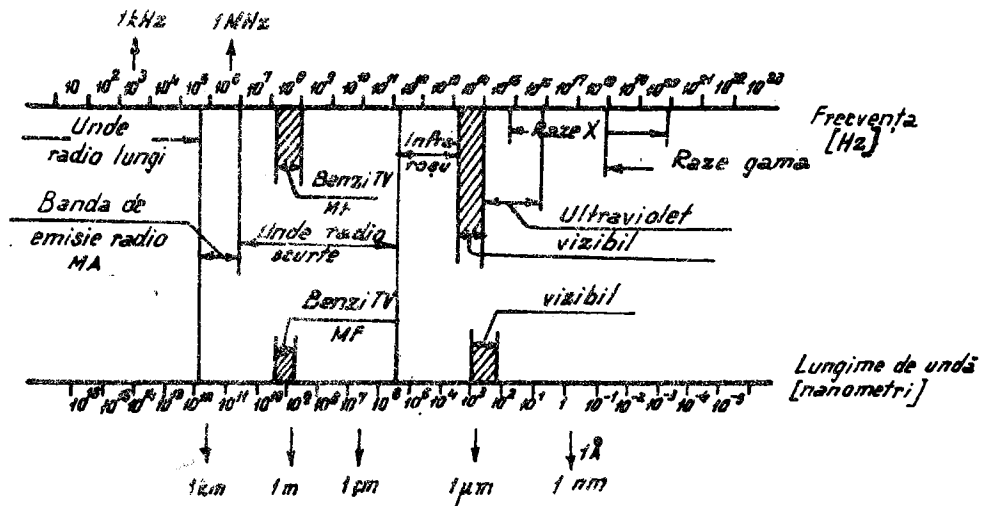


Fig. 8.1. Spectrul frecvențelor undelor electromagnetice..

Dar ce este frecvența și care este legătura acestor mărimi cu perioada sau cu frecvența unghiulară?

Dacă ne referim la mărimile electromagnetice cu variație periodică - tensiune și curent (fig. 8.2) - definim următoarele caracteristici ale acestor mărimi variabile:

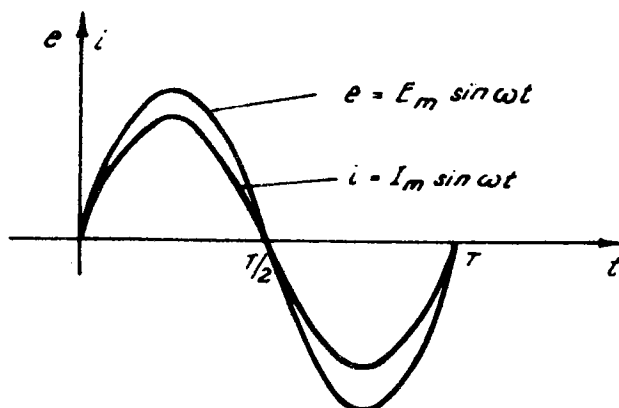


Fig. 8.2. Tensiunea electrică u și curentul electric i sînt mărimi periodice.

8.1.1. Frecvență (simbol f).

Frecvența unei mărimi periodice este raportul dintre un număr întreg de perioade și intervalul de timp corespunzător acestui număr

$$f = \frac{n}{nT} = \frac{1}{T} ; f = \frac{1}{T} \quad (8.1)$$

în care:

n este numărul întreg de perioade;

T - perioada.

8.1.2. Perioadă (simbol T).

Este intervalul minim de timp după care se repetă - în același ordine - valorile mărimii periodice.

8.1.3. Frecvența unghiulară (simbol ω).

Este raportul dintre unghiul φ corespunzător unei valori anumite a mărimii periodice și timpul după care se ajunge la această valoare

$$\omega = \frac{\varphi}{t} \quad (8.2)$$

Frecvența unghiulară se mai numește pulsatie.

Între pulsația ω , frecvența f și perioada T există relațiile:

$$\omega = 2\pi f ; \quad \omega = \frac{2\pi}{T}$$

8.2. UNITATI DE MASURA

Hertz (simbol Hz) este unitatea de măsură egală cu frecvența unui fenomen periodic a cărui perioadă este 1 secundă.

Hertzul este unitatea de măsură derivată în Sistemul Internațional SI. Multipli hertzului sînt:

- kilohertz (simbol kHz) este

$$1 \text{ kHz} = 10^3 \text{ Hz}$$

- megahertz (simbol MHz) este

$$1 \text{ MHz} = 10^6 \text{ Hz}$$

Unitatea de măsură pentru frecvență - hertzul (Hz) - se folosește adeseori în mecanică pentru măsurarea turației corpurilor rotitoare.

Între hertz și rotație/secundă - unitatea de măsură pentru turație - există relațiile

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ rot/s}$$

respectiv

$$1 \text{ Hz} = 60 \text{ rot/min} \quad \text{și} \quad 1 \text{ Hz} = 3\,600 \text{ rot/h}$$

Unitatea de măsură pentru perioada T este secunda (s).

Definiția acestei unități de măsură a fost prezentată în cap. 22 "Măsurarea timpului" din manualul I.I.R.U.C. "Aparate de măsură și control - vol. I - ed. 1985.

Pentru frecvența unghiulară, unitatea de măsură este radian/secundă (rad/s).

Între hertz și radian/secundă există relația

$$1 \text{ Hz} = 1 \text{ rad/s}$$

iar între hertz și secundă

$$1 \text{ Hz} = \frac{1}{s}$$

8.3. MIJLOACE SI METODE DE MASURARE A FRECVENTEI

Corespunzător domeniului de frecvență caracteristic mărimii periodice și preciziei de măsurare se utilizează diferite metode și aparate de măsurat (tabelul 8.1).

Tabelul 8.1.

Tipul aparatului sau metoda utilizată	Erori limită %	Intervalul de măsurare (Hz)									
		1	10	10 ²	10 ³	10 ⁴	10 ⁵	10 ⁶	10 ⁷	10 ⁸	10 ⁹
Frecvențmetre cu lamele vibratoare	0,2 - 1										
Frecvențmetre logometrice	0,1 - 2,5										
Frecvențmetre electronice analogice	0,2 - 2,5										
Frecvențmetre numerice	0,00001 - 0,001										
Metode de punte	0,01 - 0,2										
Metode de comparație	0,0001 - 0,2										
Metode de rezonanță	0,01 - 1										
Metoda absorbției	0,1 - 1										
Metoda heterodinării	0,1 - 1										

8.3.1. Frecvențmetre

După construcția și principiul de funcționare, frecvențmetrele se clasifică astfel:

- frecvențmetre cu lamele vibratoare;
- frecvențmetre logometrice;
- frecvențmetre cu condensator;
- frecvențmetre numerice;

- Frecvențmetrul cu lamele vibratoare (fig. 8.3). Acest tip de aparat este de construcție robustă și precizie ridicată.

Este indicat pentru frecvențe cuprinse între 7 și 1 500 Hz dar cu anexe ajutătoare poate măsura până la 1 Hz.

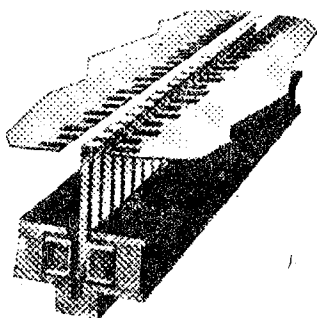


Fig. 8.3. Frecvențmetrul cu lamele vibratoare.

Lamelele din oțel sînt dispuse pe un rînd, încastate și plasate în cîmpul unui electromagnet alimentat de tensiunea alternativă a cărei frecvență se cere a fi determinată. La trecerea curentului alternativ prin înfășurarea electromagnetului, lamelele cu frecvență proprie de rezonanță egală cu dublul frecvenței tensiunii de măsurat intră în vibrație.

Dacă se folosește pentru premagnetizare un cîmp magnetic continuu de mărime cel puțin egală cu valoarea de vîrf a cîmpului magnetic alternativ, lamelele va oscila numai la semiperioadele pozitive, deci, în frecvența tensiunii de măsurat.

Frecvențmetrul cu lamele vibratoare pentru frecvențe joase (fig. 8.4) - pînă la 1 Hz - este prevăzut cu două înfășurări 1 și 2 alimentate, una cu tensiune alternativă de frecvență etalon, alta cu tensiune alternativă a cărei frecvență se măsoară (frecvența de măsurat).

Prin amestecare (heterodinare) se obține o nouă frecvență - suma sau diferența celor două frecvențe.

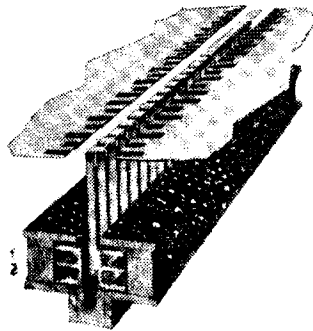


Fig. 8.4. Frecvențmetrul cu lamele vibratoare pentru frecvențe joase.

De exemplu, cu o frecvență etalon de 50 Hz și o serie de lamele cu frecvența proprie cuprinsă între 51... 75 Hz se pot măsura frecvențele 1.....
... 25 Hz.

Citirea frecvențmetrului cu lamele vibratoare se face conform fig.

8.5.



a.



b.

Fig. 8.5. Citirea frecvențmetrului cu lamele vibratoare.

În fig. 8.5 a, lamela 50 vibrează cu amplitudine maximă; frecvența măsurată este egală cu 50 Hz.

În fig. 8.5 b, ambele lamele, 49,5 și 50, vibrează cu același amplitudine; frecvența măsurată este la mijloc, egală cu 49,75 Hz.

Tensiunile nominale de alimentare ale frecvențmetrelor cu lamele vibratoare sînt 110, 220, 380 și 500 V $\pm 20\%$ iar clasa de precizie este 0,2... 1.

- Frecvențmetrul logometric. Dispozitivul logometric - compus din două bobine cu impedanțe diferite - se alimentează cu tensiunea a cărei frecvență se cere a fi determinată.

Se demonstrează că deviația dispozitivului logometric - prevăzut cu ac indicator - nu este influențată de tensiunea de alimentare dar depinde numai de frecvența de măsurat f_x

$$\operatorname{tg} \alpha = F(f_x) \quad (8.3)$$

În fig. 8.6 a este prezentat un frecvențmetru logometric feromagnetic cu ac indicator.

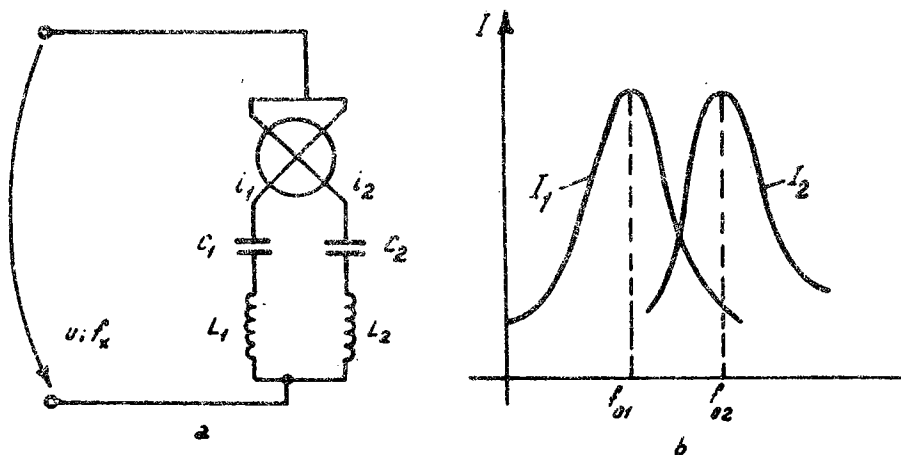


Fig. 8.6. Frecvențmetrul logometric feromagnetic și diagrama curenților.

Fiecare bobină a aparatului se înscriază cu un circuit de rezonanță LC, acordate pe frecvențe de rezonanță diferite f_{01} , f_{02} și valori ale curenților I_1 și I_2 diferite dar dependente de frecvență (fig. 8.6 b). Frecvența de măsurat este cuprinsă între cele două frecvențe de rezonanță f_{01} și f_{02} .

Frecvențmetrele logometrice se construiesc pentru domenii de frecvențe cuprinse între 45... 55 Hz, 450... 500 Hz sau 1 450... 2 000 Hz.

O calitate importantă a aparatului o constituie insensibilitatea la armonicele superioare, determinată de cele două circuite de rezonanță.

- Frecvențmetrul cu condensator. Principiul de funcționare al acestui tip de mijloc de măsurare constă în conectarea unui condensator cu dispozitivul de măsurat și alimentarea acestei scheme cu tensiunea a cărei frecvență se cere a fi determinată. După modul în care se conectează condensatorul există:

- frecvențmetrul cu condensator serie;
- frecvențmetrul cu condensator paralel.

- Frecvențmetrul cu condensator serie. Condensatorul C se conectează în serie cu dispozitivul de măsurat magnetoelectric cu redresor (fig. 8.7).

Curentul I care circulă prin condensator și prin ampermetrul magnetoelectric, provocat de tensiunea sinusoidală

$$u = U \sqrt{2} \sin \omega_x t = U \sqrt{2} \sin 2\pi f_x t \quad (8.4)$$

este

$$I = \omega_x C U = 2\pi f_x C U = k f_x \quad (8.5)$$

în care:

I este curentul indicat de instrumentul magnetoelectric A;

U - valoarea efectivă a tensiunii sinusoidale $u = U\sqrt{2} \sin 2\pi f_x t$;

f_x - frecvența de măsurat;

C - capacitatea condensatorului serie;

k - constantă.

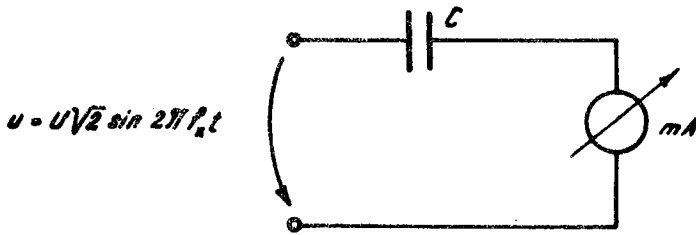


Fig. 8.7. Schema de principiu a frecvențmetrului cu condensator serie.

Pentru a permite măsurarea de frecvențe pentru tensiuni cu diferite amplitudini se folosește un circuit de limitare LC sau cu diodă Zener. În fig. 8.8 este prezentat un frecvențmetru cu condensator serie și circuit de limitare prin diode Zener, realizat la I.A.E.M. Timișoara.

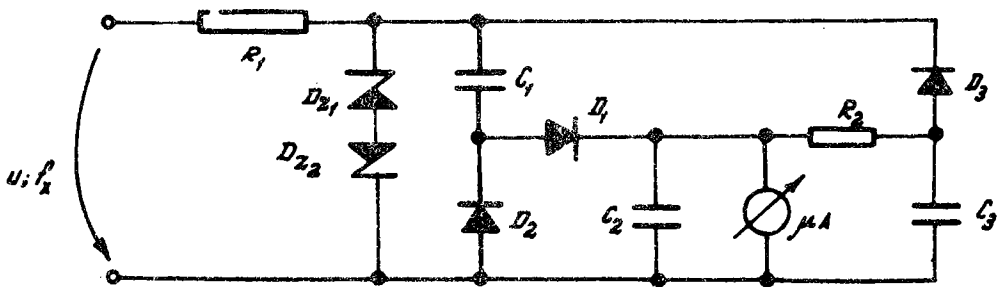


Fig. 8.8. Schema de principiu a unui frecvențmetru cu condensator serie și circuit de limitare prin diode Zener.

Frecvențmetrele cu condensator serie se construiesc pentru frecvențe pînă la 100 kHz și clasa de precizie 2%.

Montajul de frecvențmetru serie se poate improviza și apoi determina frecvența unei tensiuni alternative sinusoidale de amplitudine constantă. În cap.6

"Măsurarea curentului și tensiunii electrice" este prezentat un astfel de montaj realizat dintr-un condensator etalon C_N și multimetrul Normatest (§ 6.5.3.). Această schemă de măsurare se poate forma însă în oricare multimetru potrivit ales pe domeniul "curent alternativ sinusoidal".

- Frecvențmetrul cu condensator paralel. Acest tip de frecvențmetru este realizat dintr-un condensator care se încarcă într-o semiperioadă a tensiunii a cărei frecvență se măsoară și care se descarcă în semiperioada următoare prin aparatul de măsurat conectat paralel.

Curentul mediu care trece prin ampermetrul derivației este proporțional cu frecvența de încărcare-descărcare a condensatorului, deci cu frecvența de măsurat.

Proportionalitatea este realizată, însă, numai când constanta de timp a circuitului de descărcare este mică în comparație cu perioada de încărcare descărcare a condensatorului.

Conectarea condensatorului în ritmul frecvenței se face cu elemente electromecanice sau electronice:

- prin releu polarizat;
- prin comandă electronică.

- comutarea prin releu polarizat. În fig. 8.9 este prezentat un frecvențmetru cu condensator paralel și comutare prin releu polarizat.

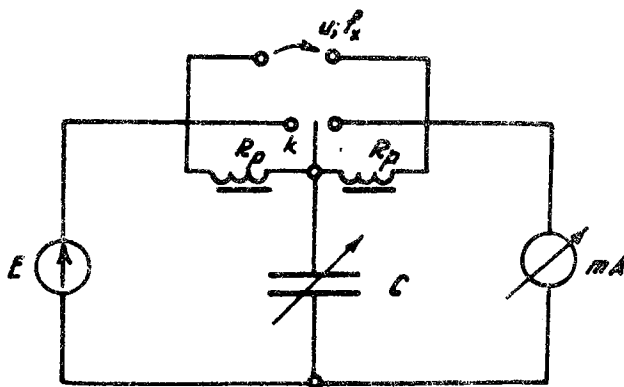


Fig. 8.9. Schema de principiu a unui frecvențmetru cu condensator paralel și releu polarizat.

Tensiunea alternativă u a cărei frecvență f_x se măsoară alimentează releul polarizat R_p iar acesta comandă încărcarea condensatorului C de la sursa de tensiune continuă E și descărcarea lui prin aparatul de măsurat magnetoelectric mA . Este necesar ca tensiunea E și capacitatea condensatorului C să fie constante caz în care scala aparatului de măsurat se gradează în frecvență.

- comutarea prin comandă electronică. Inerția mică a comutării prin tranzistor permite funcționarea frecvențmetrului de la zece hertzi pînă la cîteva sute de kilohertzi.

În fig. 8.10 este prezentat frecvențmetrul cu condensator paralel și comutator electronic. Comutatorul electronic este realizat cu două tranzistoare T_1 și T_2 comandate în contratimp prin transformatorul T_r , alimentat de tensiunea u a cărei frecvență f_x se măsoară.

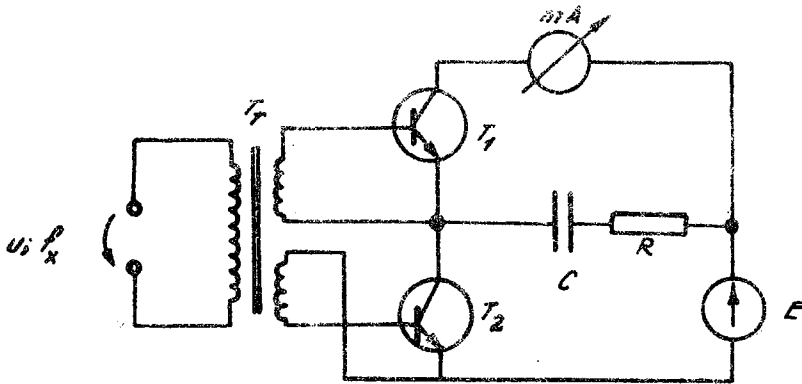


Fig. 8.10. Schema de principiu a frecvențmetrului cu condensator paralel și comutator electronic.

Într-o semiperioadă, condensatorul se încarcă de la sursa de tensiune continuă E , prin tranzistorul T_2 - aflat în conducție - iar în cealaltă semiperioadă se descarcă prin tranzistorul T_1 și prin aparatul magnetoelectric mA .

În fig. 8.11 sînt prezentate formele de undă obținute din frecvențmetrul cu condensator paralel și comutator electronic.

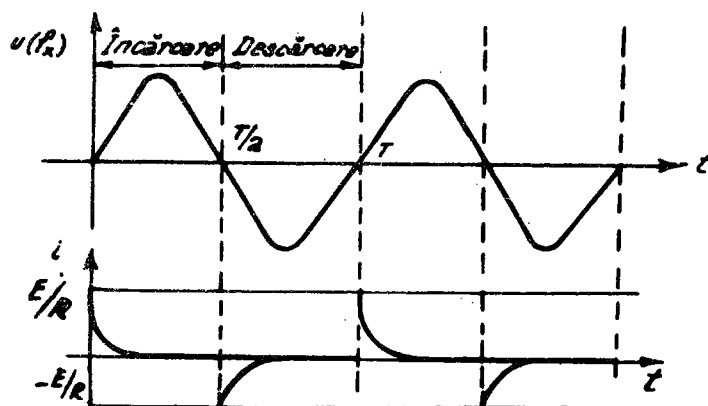


Fig. 8.11. Formele de undă pentru frecvențmetrul cu condensator paralel și comutator electronic.

Clasa de precizie la aceste frecvențmetre ajunge pînă la 0,2.

Tot din categoria frecvențmetrelor cu condensator paralel - denumite și frecvențmetre cu impulsuri - aparțin frecvențmetrele cu transformator saturat.

- Frecvențmetrul numeric. În măsurarea numerică a frecvenței respectiv a perioadei, elementul de bază al aparatului numeric îl constituie numărătorul.

Acesta se compune din (fig. 8.12):

- circuit de intrare;
- poartă principală;
- unitate de numărare zecimală, memorie și afișare (display);
- baza de timp;
- unitatea de control logic.

Circuit de intrare (fig. 8.13) se mai numește și formator de impulsuri. Acesta transformă semnalul analogic (de exemplu o mărime sinusoidală) într-un semnal - tren de impulsuri - cu nivele logice "0" și "1" corespunzător celor două nivele de tensiune.

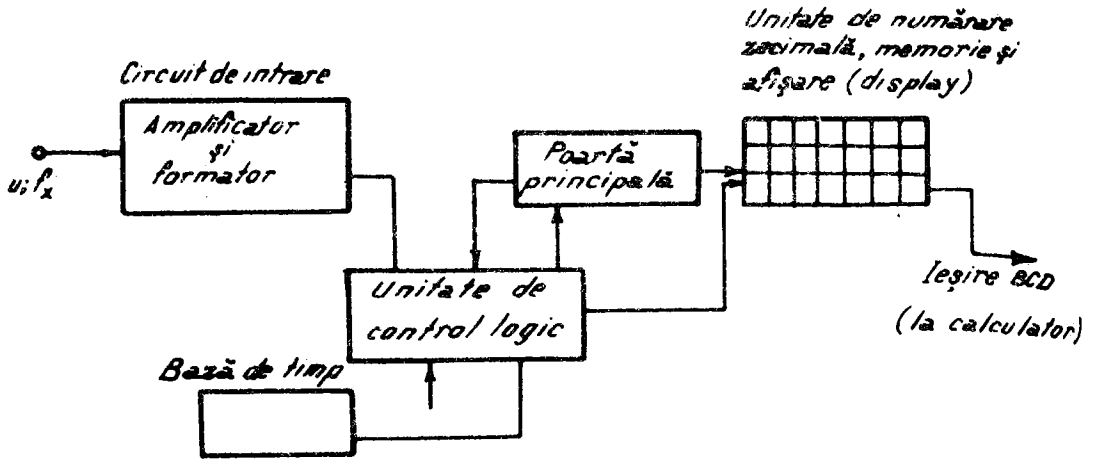


Fig. 8.12. Schema bloc a numărătorului dintr-un aparat numeric.

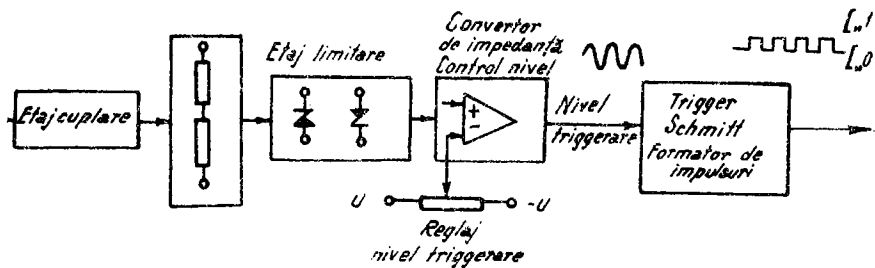


Fig. 8.13. Circuitul de intrare al numărătorului.

Poarta principală (fig. 8.14). Este un circuit logic "SI" cu o intrare pentru semnalul de control.

Unitatea de numărare zecimală, memorie și afișare (fig. 8.15). Este realizată din secțiuni, fiecare secțiune fiind compusă din:

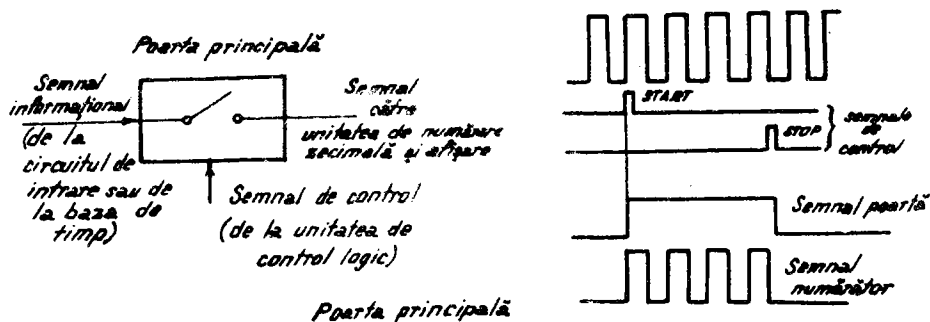


Fig. 8.14. Poarta principală.

- decadă de numărare;
- elemente de memorie;
- convertoare de cod și convertoare de nivel al semnalului;
- indicator optoelectronic.

Elementele de memorie ale unității de numărare zecimală și afișare sînt prevăzute cu ieșiri pentru semnale codificate BCD pentru a fi recepționate de un calculator numeric.

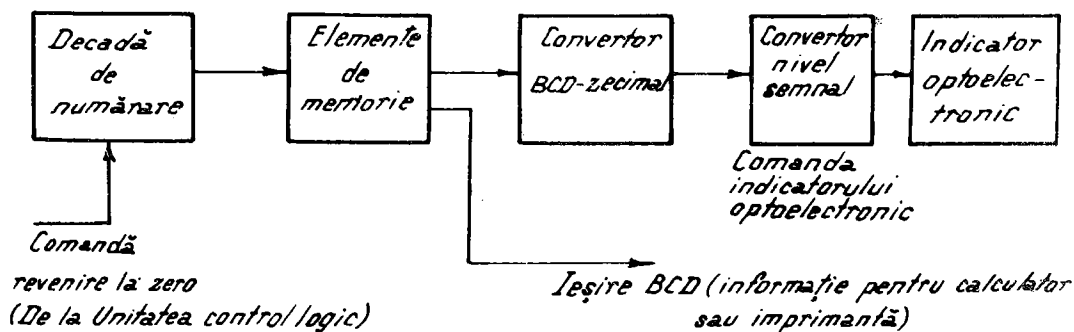


Fig. 8.15. Elementele componente ale unității de numărare zecimală, memorie și afișare.

Baza de timp (fig. 8.16). Furnizează un semnal cu o frecvență etalon, precisă, stabilă în timp.

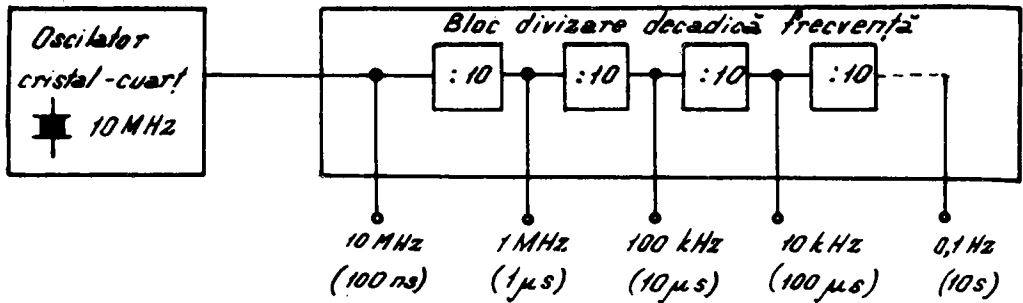


Fig. 8.16. Baza de timp compusă din oscilator cu cristal de cuarț și divizoare decadice.

Se compune dintr-un oscilator cu cristal de cuarț și un ansamblu de divizoare decadice pentru reducerea frecvenței de ieșire în trepte prin divizare cu zece. Domeniul bazei de timp este cuprins între 100 ns și 10 s (10 MHz.... ... 0,1 Hz).

Cu ajutorul semnalelor bazei de timp se validează poarta principală, timp în care se numără impulsurile semnalului a cărui frecvență se determină.

La o bază de timp sînt importante stabilitatea frecvenței de rezonanță a oscilatorului - cristal în funcție de temperatura și stabilitatea frecvenței de rezonanță a oscilatorului - cristal în timp.

Unitatea de control logic. După cum se prezintă în schema bloc a unui numărător universal (fig. 8.17) unitatea de control logic este partea cea mai importantă dintr-un numărător universal.

Funcțiunile importante ale unității de control logic sînt:

a) alegerea modului de operare a aparatului;

- numărarea impulsurilor;
- măsurarea frecvenței (MODUL FRECVENTA);
- măsurarea timpului (MODUL PERIOADA);
- măsurarea unui raport de frecvențe (MODUL RAPORT);

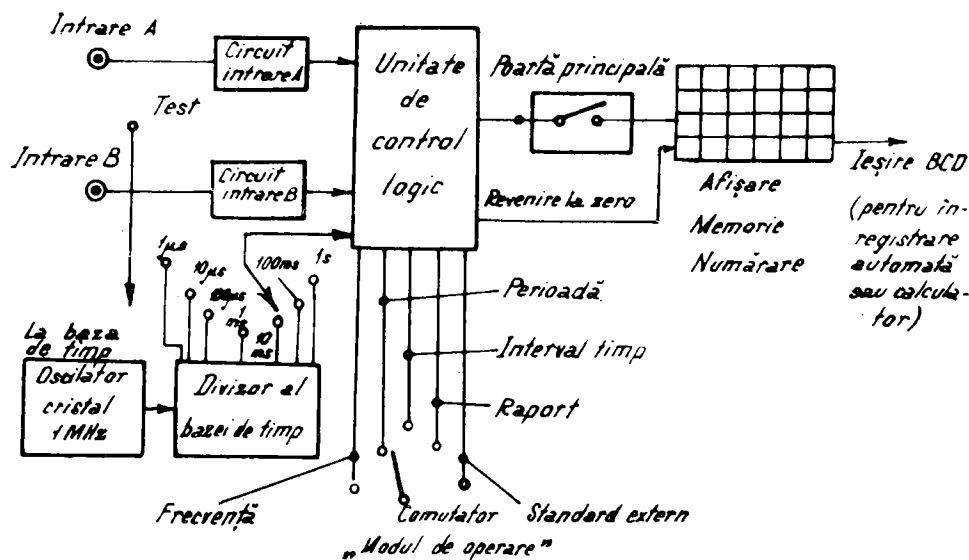


Fig. 8.17. Schema bloc a unui numărător universal.

- măsurarea unui interval de timp (MODUL INTERVAL DE TEMP);
- măsurarea defazajului dintre două semnale;
- divizarea frecvenței semnalului aplicat pe intrarea STANDARD EXTERN;
- verificarea bazei de timp și a unității de numărare zecimală;
- măsurarea unei tensiuni (prin utilizarea unui convertor tensiune-frecvență);

b) controlul timpului de deschidere a porții principale (alegerea domeniului de măsurare prin comutatorul de pe panoul frontal);

c) controlul dispozitivelor optice;

d) aducerea la zero a numărătoarelor decadice și de comandă a transferului informației acumulate în memorie către afișaj;

e) transferul informației din numărătoarele decadice.

Măsurarea frecvenței (MODUL FRECVENTA). Frecvența se măsoară cu numărătorul până la ordinul gigahertzilor prin numărarea impulsurilor semnalului într-un interval de timp prestabilit.

Timpul prestabilit sau de referință este necesar pentru menținerea deschisă a porții prin care trec impulsurile semnalului a cărui frecvență se măsoară. Dacă poarta este deschisă o secundă, frecvența este afișată în Hz, 1 ms pentru kHz și 1 μ s pentru MHz.

Timpul de referință este furnizat de baza de timp compusă din oscilatorul cristal și divizoare decadice) iar semnalul de comandă al porții este dat de unitatea de control logic.

În fig. 8.18 este prezentată schema bloc și formele de semnal pentru măsurarea frecvenței.

Semnalul de studiat - în circuitul de intrare (trigger Schmitt) - este transformat într-un tren de impulsuri dreptunghiulare. Aceste impulsuri trec prin poarta principală comandată precis de baza de timp (compusă din oscilatorul - cuarț și divizorul decadic).

Comutatorul selector (S) permite varierea și selectarea timpului de deschidere a porții. Impulsurile dreptunghiulare parcurg poarta principală în timpul deschiderii acesteia de baza de timp. După închiderea porții, rezultatul măsurării se afișează până la o nouă comandă.

În fig. 8.18 oscilatorul frecvențimetrului numeric are frecvența $f_e = 1$ MHz iar intervalul de timp selectat are șapte trepte: 1, 10 și 100 μ s, 1, 10 și 100 ms, 1 s, iar frecvența citită este exprimată în Hz, kHz și MHz.

Selectarea decadelor bazei de timp se face în așa fel să se obțină cea mai bună rezoluție.

Exemplu. Se măsoară o frecvență în jur de 1 MHz. Când baza de timp este selectată pentru 1 μ s, valoarea afișată este 1 MHz pentru 1 ms această valoare este 1 224 kHz iar pentru 1 s, se obține o frecvență măsurată, egală cu 1 224 676 Hz, deci cea mai bună rezoluție.

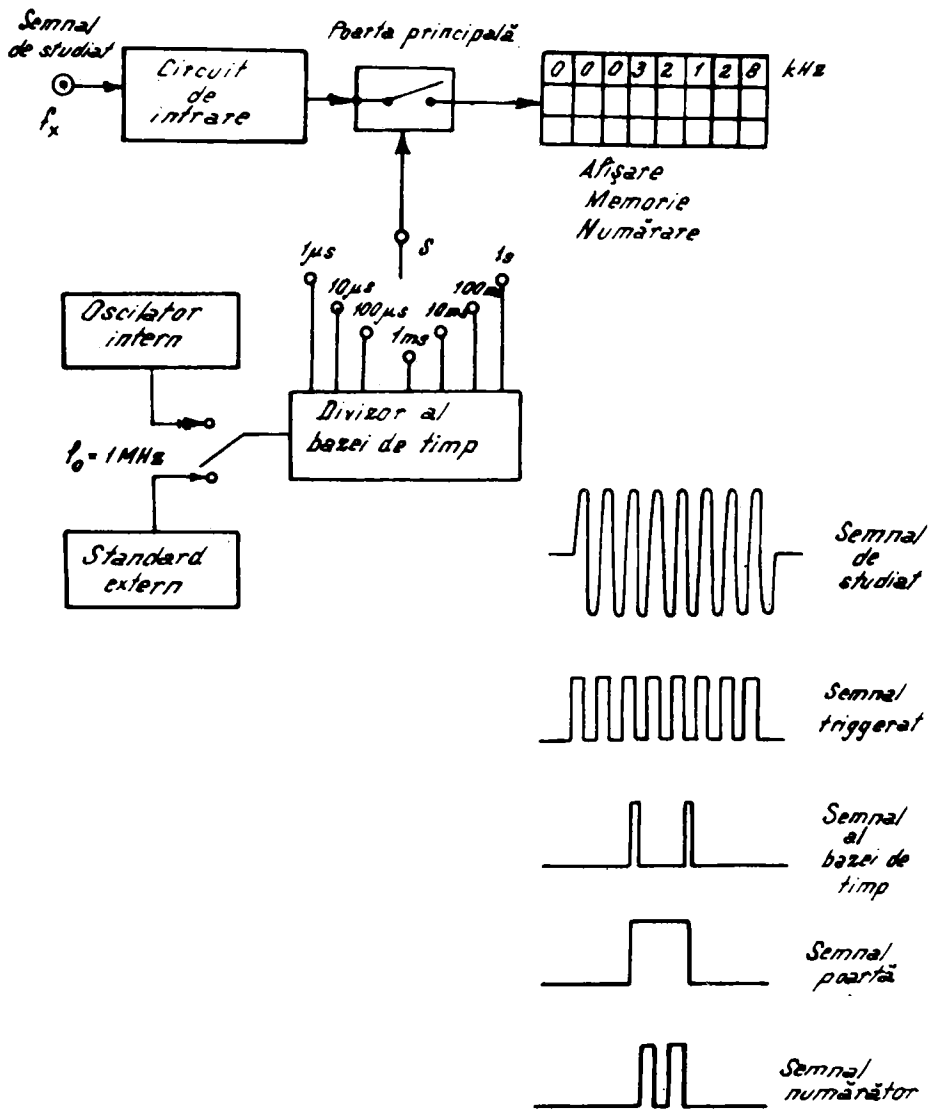


Fig. 8.18. Schema bloc și formele de semnal pentru măsurarea frecvenței.

Standardul extern prevăzut în fig. 8.18 permite folosirea unei frecvențe din exterior pentru obținerea unei precizii mai mari - dacă este necesar - pentru timpul de referință.

Măsurarea raportului de frecvențe (MODUL RAPORT). Cu ajutorul numărătorului electronic se poate măsura raportul a două frecvențe f_1 și f_2 (fig. 8.19).

Tensiunea sau semnalul de frecvență mai ridicată f_1 este mărimea de măsurat și se aplică la intrarea A.

Celălalt semnal de frecvență $f_2 < f_1$ se aplică pe intrarea B și constituie baza de timp a numărătorului electronic.

Tot semnalul cu frecvență f_2 comandă poarta principală.

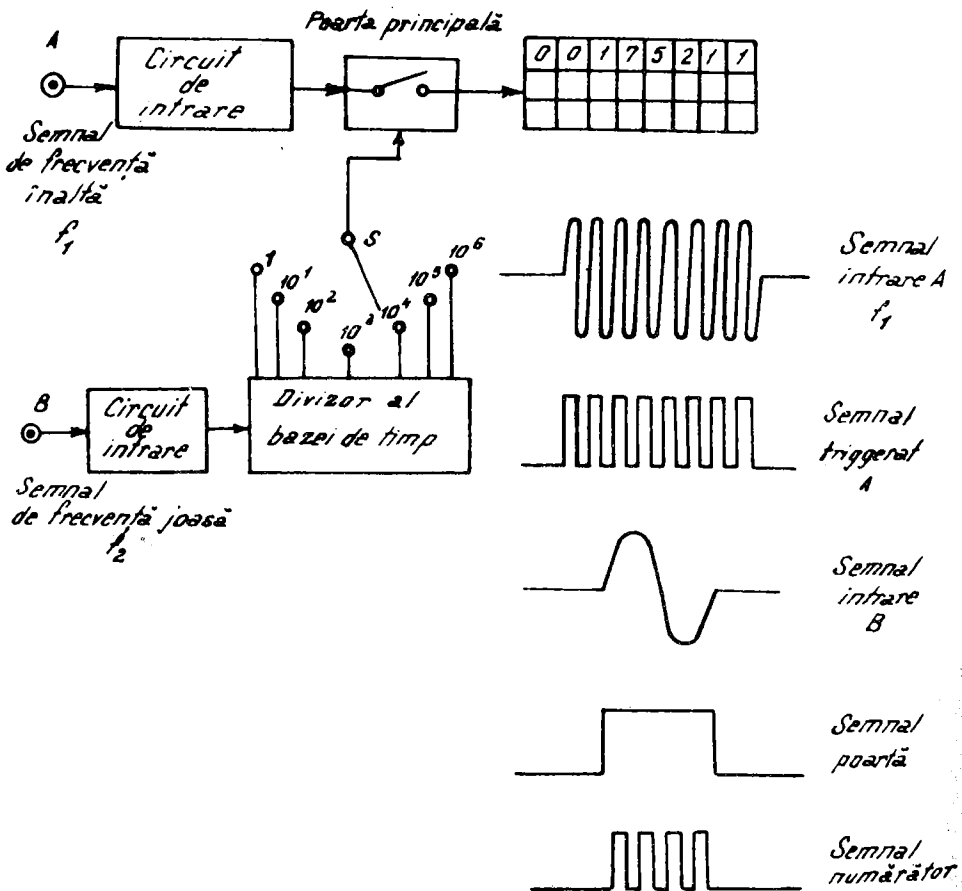


Fig. 8.19. Măsurarea raportului de frecvență (MODUL RAPORT).

Prin urmare, oscilatorul intern este scos și păstrat în funcțiune divizorul decadic, intercalat între circuitul de intrare B și poarta principală.

Important la măsurarea raportului a două frecvențe este poziționarea selectorului bazei de timp; pentru un timp mare de deschidere a porții principale se obține precizie ridicată.

Măsurarea perioadei (MODUL PERIOADA). În fig. 8.20 este prezentată schema bloc și formele de semnal pentru măsurarea unei singure perioade.

Schema bloc este aceeași ca în cazul măsurării frecvenței din fig. 8.18 numai că intrările porții principale sînt inversate.

De data aceasta semnalul a cărui perioadă T_x se măsoară controlează poarta principală și unitatea de numărare și afișare zecimală numără impulsurile generate de oscilatorul intern iar apoi afișează rezultatul.

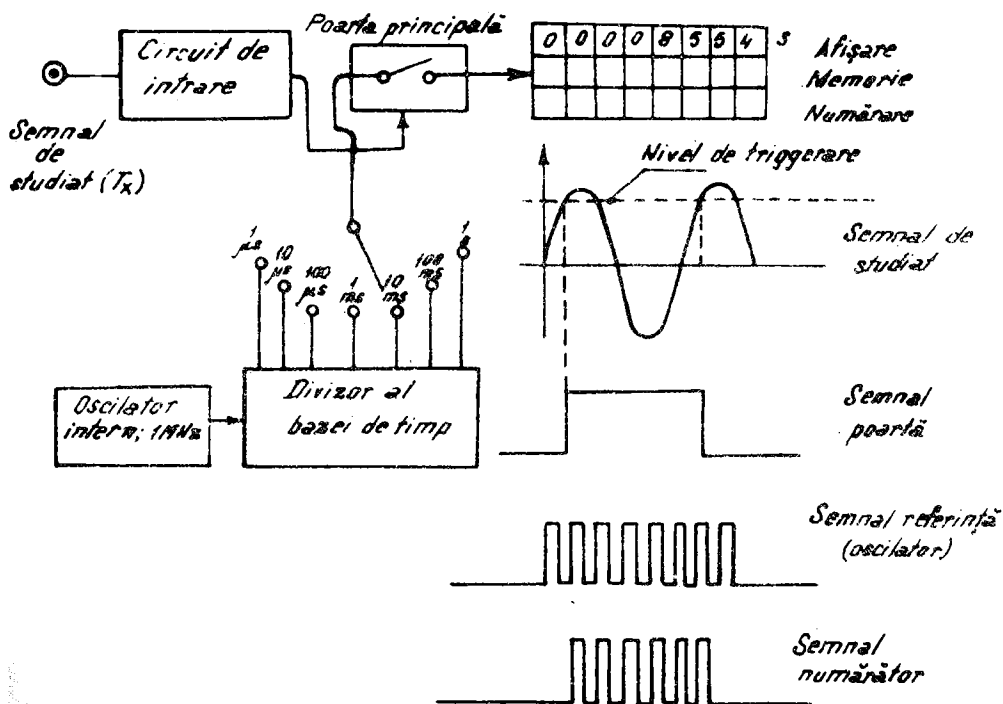


Fig. 8.20. Măsurarea unei singure perioade.

Exemplu. Dacă semnalul de măsurat are o frecvență de 10 kHz respectiv o perioadă de $100 \mu s$ ($T = \frac{1}{f} = \frac{1}{10 \cdot 10^3} = 100 \mu s$) iar divizorul bazei de timp va fi pe treapta $1 \mu s$, poarta principală va fi deschisă $100 \mu s$, timp în care unitatea de numărare zecimală va primi, număra și afișa pe display 100 de impulsuri.

Cînd semnalul de măsurat are frecvența 1 Hz și se adoptă o rezoluție de $1 \mu s$, selectorul bazei de timp se așează pe priza de $1 \mu s$. În timp de 1 s - cît este perioada semnalului de măsurat ($T = \frac{1}{f} = \frac{1}{1} = 1 s$) și cît este deschisă poarta principală - prin poartă va trece 10^6 impulsuri la interval de $1 \mu s$ iar pe display va apare 1 000 000 μs .

Măsurarea unei singure perioade permite măsurarea frecvențelor joase cu o rezoluție bună. Dacă s-ar fi folosit numărătorul în "MODUL FRECVENTA" pentru măsurarea frecvenței de 1 Hz cu o rezoluție de $1 \mu Hz$, poarta trebuie "închisă" deschisă 1 000 000 s (11 1/2 zile).

Pentru că rezultatul este afișat în secunde, trebuie - pentru obținerea în Hz - efectuat un calcul.

Măsurarea unui multiplu de perioade (MODUL MULTIPERIOADA). Pentru ridicarea preciziei este necesar ca numărarea impulsurilor să se efectueze pe mai multe perioade. În acest caz, semnul triggerat nu se mai aplică direct porții principale; se aplică prin divizorul bazei de timp. Poarta principală este deschisă de primul impuls de triggerare și permite trecerea spre numărător a unui număr prestabilit de impulsuri (de exemplu 1 000) după care va fi închisă. Se afișează astfel un număr care va fi de 1 000 ori mai mare ca cel obținut atunci cînd se măsoară o singură perioadă.

Pentru a obține timpul exact, rezultatul trebuie împărțit cu 1 000 (în cazul nostru) adică deplasarea punctului zecimal de pe display cu trei ordine spre stînga. În fig. 8.21 este prezentată schema bloc pentru măsurarea unui multiplu de perioade.

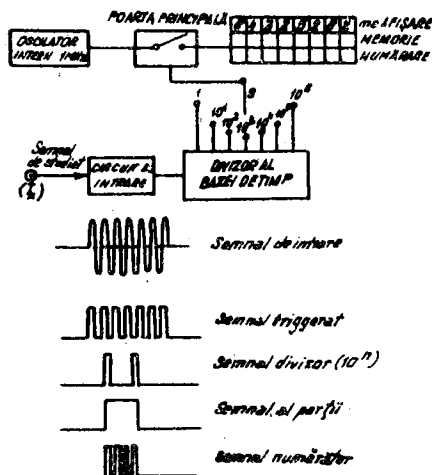


Fig. 8.21. Schema bloc pentru măsurarea unui multiplu de perioade (MODUL MULTIPERIOADA).

8.3.2. Metode de punte

Echilibrarea punților de curent alternativ se realizează pentru o anumită frecvență a tensiunii de alimentare.

Prin urmare, cu ajutorul acestor punți se poate determina - la echilibru - frecvența necunoscută a tensiunii cu care este necesar să se alimenteze puntea.

Cele mai răspândite punți pentru măsurarea frecvenței în domeniul 20... 20 000 Hz și o precizie de 0,1 - 0,3% sînt:

- puntea de rezonanță;
- puntea Wien-Robinson.

- Puntea de rezonanță (fig. 8.22) se compune din trei rezistențe ne-inductive R_2 , R_3 și R_4 montate în cele trei brațe și dintr-o bobină de inductivitate L și rezistență R cunoscute, inseriate cu un condensator etalon variabil C , montate în al patrulea braț.

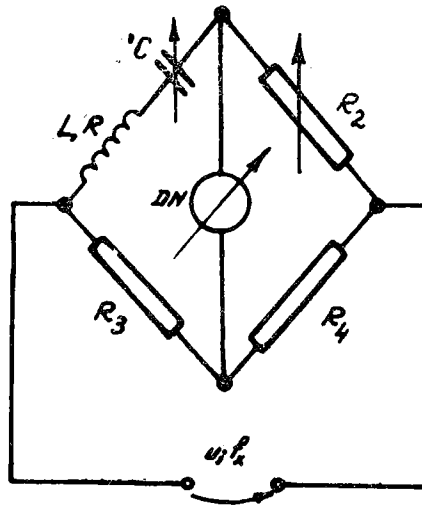


Fig. 8.22. Puntea de rezonanță pentru măsurarea frecvenței.

Cu ajutorul condensatorului C se aduce la rezonanță circuitul RLC iar cu rezistența variabilă R_2 se echilibrează puntea.

Condițiile de echilibru sînt

$$LC \omega_x^2 = 1 \quad \text{și} \quad RR_4 = R_2 R_3 \quad (8.6)$$

iar frecvența tensiunii de alimentare - mărimea de măsurat - este

$$f_x = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} \quad (8.7)$$

- Puntea Wien-Robinson (fig. 8.23) se compune din patru rezistențe pur ohmice R_1, R_2, R_3, R_4 și două condensatoare etalon C_1 și C_3 variabile.

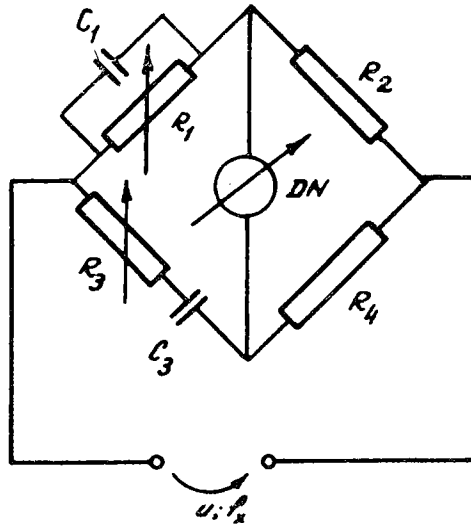


Fig. 8.23. Puntea Wien-Robinson pentru măsurarea frecvenței.

Condițiile de echilibru sînt

$$R_1 R_3 C_1 C_3 \omega_x^2 = 1 \quad \text{și} \quad \frac{R_4}{R_2} = \frac{R_3}{R_1} + \frac{C_1}{C_3} \quad (8.8)$$

Pentru

$$\begin{aligned} C_1 &= C_3 = C = \text{const.}, \\ R_1 &= R_3 = R \rightarrow \text{variabil}; \\ R_4 &= 2 R_2 = \text{const.}, \end{aligned}$$

se obține expresia frecvenței de măsurat

$$f_x = \frac{1}{2\pi RC} = k \frac{1}{R} \quad (8.9)$$

Deci, echilibrarea punții - evidențiată de indicatorul de nul DN - se măsoară frecvența necunoscută a tensiunii de alimentare a punții.

Ca indicator de nul, pentru punțile de măsurare a frecvenței, se poate utiliza - în intervalul 300... 500 Hz, - o cască telefonică; la echilibru, intensitatea sonoră a căștii este minimă.

8.3.3. Metode de comparație

În principiu, metoda se bazează pe compararea a două mărimi de frecvențe egale sau diferite din care una este necunoscută iar cealaltă, etalon sau de referință.

Cele mai utilizate metode de comparație sînt următoarele:

- metoda osciloscopului;
- metoda stroboscopică;
- metoda contorului mecanic și electronic.

- Metoda osciloscopului. După modul în care se realizează montajul osciloscopului în vederea utilizării la determinarea frecvenței se disting montajele pentru:

- figurile Lissajous;
- modularea anodică (modularea electronilor în viteză);
- modularea spotului în intensitate (modularea axei Z);
- sincronizarea bazei de timp.

Ca aplicație, se va prezenta măsurarea frecvenței cu osciloscopul CRC (Schlumberger) OCT 569 A.

- Figurile Lissajous. Dacă se execută montajul din fig. 8.24 și se aplică la plăcile cu deflexie verticală ale osciloscopului, tensiunea de frecvență necunoscută f_x iar pe cele cu deflexie orizontală, tensiunea de la un generator de frecvență etalon f_e (bază de timp a osciloscopului deconectată), se obține pe ecran una din figurile Lissajous, prezentate în fig. 8.25).

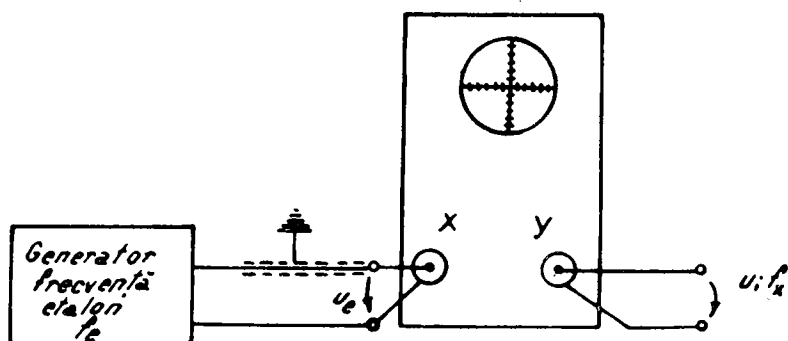


Fig. 8.24. Schema de montaj pentru măsurarea frecvenței cu figurile Lissajous.

f_e/f_x φ	0°	45°	90°	135°	180°
1/1	/	o	o	o	\
1/2	>	8	8	8	<
1/3	S	8	8	8	2
2/3	8	8	8	8	8
3/4	8	8	8	8	8

Fig. 8.25. Figurile Lissajous vizualizate pe ecranul osciloscopului catodic.

În coloană s-a trecut raportul frecvențelor $\frac{f_e}{f_x}$ iar pe linie, defazajul dintre tensiunea de frecvență necunoscută f_x și tensiunea de frecvență etalon f_e , notat cu φ .

Se observă - din fig. 8.25 - că forma figurilor Lissajous este dependentă de raportul frecvențelor și de valoarea defazajului dintre cele două tensiuni.

Sub formă de relație matematică se scrie

$$f_x = \frac{n_y}{n_x} f_e \quad (8.10)$$

În care:

f_x este frecvența necunoscută;

f_e - frecvența etalon;

n_y - numărul punctelor de tangență ale figurii Lissajous cu o dreaptă verticală;

n_x - numărul punctelor de tangență ale figurii cu o dreaptă orizontală.

Figuri Lissajous stabile se obțin când cele două frecvențe sînt într-un raport exprimabil printr-un număr rațional.

Dacă cele două frecvențe f_x și f_e sînt egale, figura obținută pe ecran este o elipsă care poate degenera într-o dreaptă când diferența de fază dintre semnale este multiplu de π ($\varphi = n\pi$) sau într-un cerc ($\varphi = \frac{\pi}{2}$).

Cînd frecvențele diferă foarte puțin, se obține o elipsă mobilă în jurul centrului său.

Timpul T în care elipsa efectuează o rotație completă este egal cu diferența celor două frecvențe f_x și f_e

$$T = \frac{1}{f_x - f_e} \quad (8.11)$$

Prin urmare, pentru a determina frecvența necunoscută f_x , este suficientă cronometrarea timpului T .

Cînd raportul $\frac{f_x}{f_e}$ este prea mare, figura Lissajous se complică și determinarea punctelor de tangență este complicată. Acesta este motivul pentru care nu se compară frecvențe aflate într-un raport mai mare ca valoarea 10.

În fig. 8.26 s-a prezentat construcția grafică de obținere a figurii Lissajous din două tensiuni de frecvențe f_e și f_x aflate în raportul $\frac{f_e}{f_x} = \frac{1}{2}$, $\varphi = 45^\circ$ și amplitudini egale.

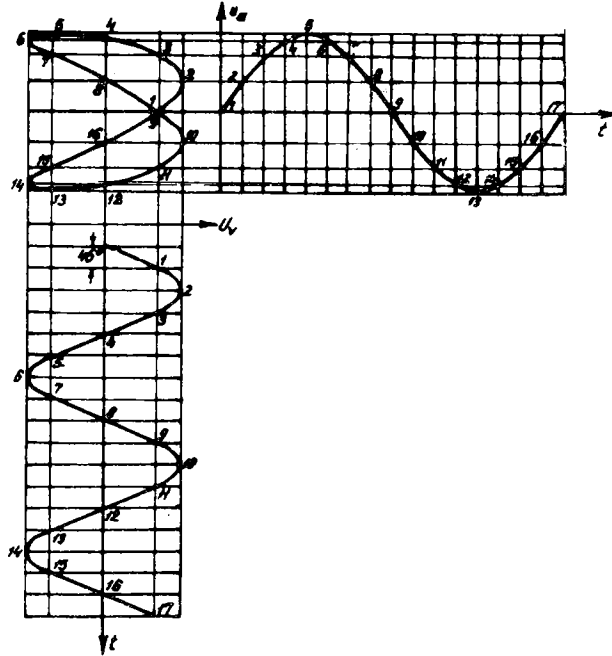


Fig. 8.26. Construirea grafică a figurii Lissajous pentru $\frac{f_e}{f_x} = \frac{1}{2}$, $\varphi = 45^\circ$ și amplitudini egale.

- Modularea anodică (modularea electronilor în viteză). Se folosește când raportul frecvențelor care se compară este mai mare ca 10:1. Prin aplicarea acestei metode pe ecranul osciloscopului se obțin figuri mari și simple.

Metoda constă în aplicarea pe plăcile de deflexie ale tubului catodic a tensiunii de frecvență etalon (mai mică) prin circuitul de defazare RC (fig. 8.27).

Tensiunea sau semnalul cu frecvență mai mare și necunoscută se aplică anodului de accelerare și modulează în amplitudine tensiunea anodică continuă E.

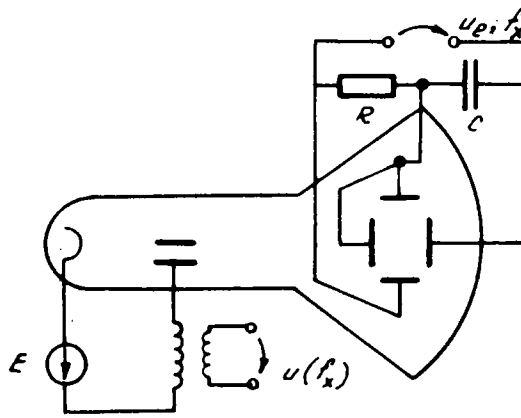


Fig. 8.27. Schema de principiu pentru măsurarea frecvenței prin metoda modulației anodice.

În lipsa acestui semnal de frecvență f_x , spotul va descrie un cerc de rază oarecare.

Cînd se aplică semnal pozitiv, electronii vor fi accelerați mai puternic, devierea lor va fi mai mică și cercul descris de spot va fi de rază mai mică. Dacă acest semnal este negativ, electronii vor fi frînați și raza cercului va fi mai mare.

Pentru un semnal alternativ care trece prin plus și minus cu frecvența f_x , spotul va descrie o figură dantelată (fig. 8.28) în funcție de raportul $\frac{f_x}{f_e}$.

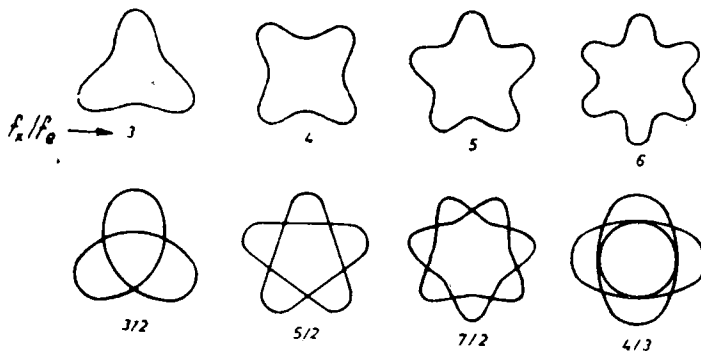


Fig. 8.28. Figurile vizualizate pe ecranul osciloscopului catodic la modularea anodică.

Metoda se aplică și în cazul semnalelor nesinusoidale iar semnalul modulator se recomandă a fi trecut printr-un limitator.

- Modularea spotului în intensitate. Se aseamănă cu metoda modulării anodice. Semnalul de frecvență etalon f_c - mai mică - se aplică, de asemenea, printr-un circuit de defazare RC, perechilor de plăci - verticale și orizontale din osciloscopul catodic.

Semnalul de frecvență necunoscută f_x - prelucrat în prealabil din sinusoidal în dreptunghiular - se aplică între catod și grila de comandă a luminozității tubului.

Cînd semnalul f_x este pozitiv, electronii iluminează ecranul osciloscopului și apare un arc de cerc iar cînd semnalul f_x este negativ, ecranul este stins pentru că fasciulul de electroni este blocat de grila de comandă (fig. 8. 29).

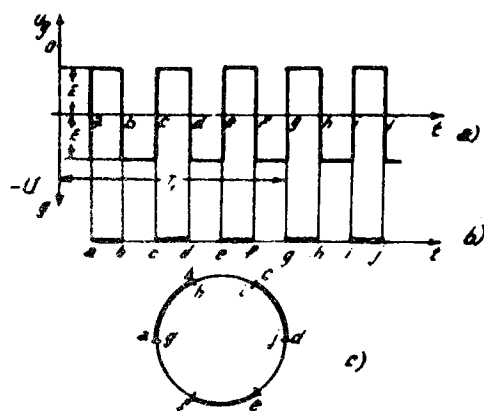


Fig. 8. 29. Imaginea pe ecranul osciloscopului catodic, cînd se modulează spotul în intensitate.

Dacă raportul frecvențelor este un număr rațional N , pe ecran vor apare N arcuri luminoase de cerc, care aparțin cercului descris de spot în lipsa frecvenței de modulare a spotului în intensitate.

Pentru raport al frecvențelor apropiate de un număr rațional se obține o imagine mișcătoare - într-un sens sau altul - pe ecranul osciloscopului. Din măsurarea perioadei de rotație a imaginii mișcătoare se poate determina diferența frecvențelor și implicit a frecvenței necunoscute f_x

$$f_x = \frac{NT}{T-1} f_e \quad (8.12)$$

în care:

- f_e este frecvența semnalului care produce baza de timp;
- f_x - frecvența semnalului modulator;
- N - numărul de arcuri luminoase;
- T - perioada mișcării.

Un caz particular al modulării spotului în intensitate este modularea axei Z. Frecvența semnalului de măsurat f_x se determină prin comparație cu frecvența etalon f_e a unui semnal furnizat de un generator de frecvență reglabilă. Semnalul de frecvență f_x se aplică pe plăcile de deflexie verticală (intrarea Y) iar semnalul generatorului de frecvență etalon pe grila osciloscopului catodic (borna "Z MOD") conform fig. 8.30 a.

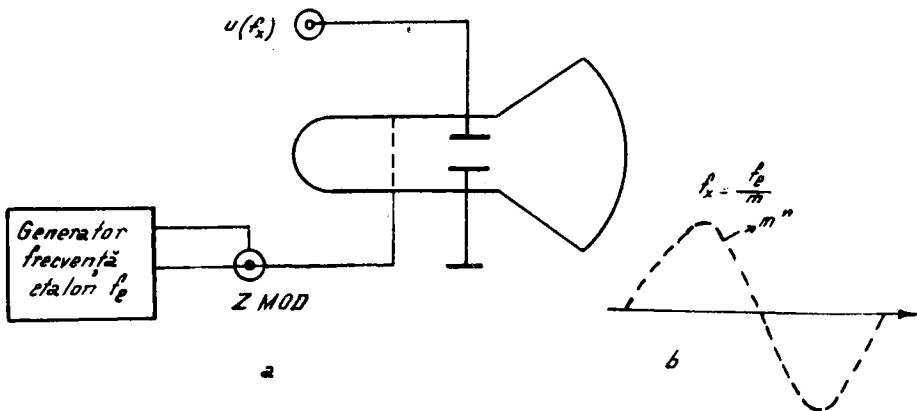


Fig. 8.30. Modularea axei Z (marcarea prin întreruperea curbei de variație în timp a tensiunii).

Pe ecran se obține semnalul de măsurat f_x cu întreruperi provocate de semnalul de frecvență f_e (fig. 8.30 b).

Cînd pe ecran se obține o figură stabilă și completă (de exemplu o sinusoidă), frecvența f_x se determină din relația

$$f_x = \frac{f_e}{m} \quad (8.13)$$

în care m reprezintă numărul de întreruperi pentru o sinusoidă completă.

- Sincronizarea bazei de timp. Această metodă folosește posibilitatea de reglaj a frecvenței bazei de timp.

Semnalul a cărei frecvență f_x trebuie măsurată se aplică pe plăcile de deflexie verticală iar pe plăcile de deflexie orizontală se conectează generatorul bazei de timp sincronizat cu un semnal exterior etalon.

Dacă cele două semnale au frecvențele egale pe ecranul osciloscopului apare o figură stabilă, de exemplu o sinusoidă completă, staționară.

Cînd perioada semnalului care sincronizează baza de timp este mai mare ca perioada semnalului aplicat plăcilor de deviație verticală - de frecvență f_x - pe ecran va apare mai mult decît o singură sinusoidă iar imaginea se deplasează spre stînga (fig. 8.31 b).

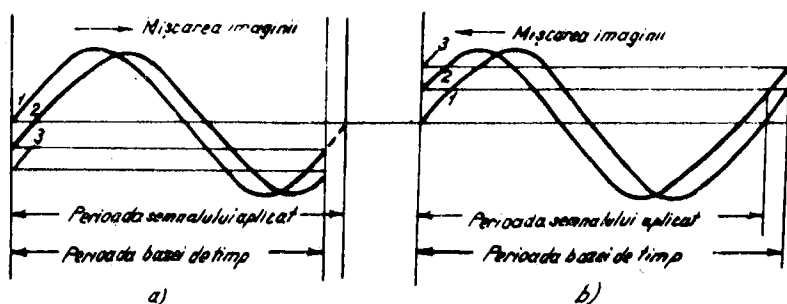


Fig. 8.31. Imaginea pe ecranul osciloscopului catodic la metoda sincronizării bazei de timp.

În cazul că perioada semnalului care sincronizează baza de timp - de frecvență f_e - este mai mică decît a semnalului aplicat plăcilor verticale, imaginea se deplasează spre dreapta și va fi o sinusoidă incompletă (fig. 8.31 a).

Prin cronometrarea perioadei de mișcare T a imaginii pe ecranul osciloscopului, se poate determina frecvența necunoscută

$$f_x = f_e \pm \frac{1}{T} \quad (8.14)$$

- semnul "+" corespunde cazului $f_x < f_e$; în perioada T , baza de timp efectuează cu un ciclu mai mult;

- semnul "-" corespunde cazului $f_x > f_e$; în perioada T , baza de timp efectuează cu un ciclu mai puțin;

Dacă raportul frecvențelor $N \neq 1$, pe ecran apar N sinusoides.

Pentru imagine stabilă, frecvența necunoscută este

$$f_x = N f_e$$

La deplasarea imaginii, într-un sens sau altul, frecvența necunoscută se determină din

$$f_x = \frac{f_0}{N} \pm \frac{1}{NT} \quad (8.15)$$

Metoda se folosește și pentru semnale nesinusoidale - pentru unda fundamentală - iar pentru măsurarea diferențelor mici de frecvențe, este foarte utilă.

- Măsurarea frecvenței cu osciloscopul CRC (Schlumberger) OCT569A.

- Figurile Lissajous.

Schema de principiu folosită la măsurarea frecvenței cu ajutorul figurilor Lissajous s-a prezentat în fig. 8.24.

În cazul particular al utilizării osciloscopului CRC (Schlumberger) OCT 569 A se realizează următoarele operații (fig. 8.32):

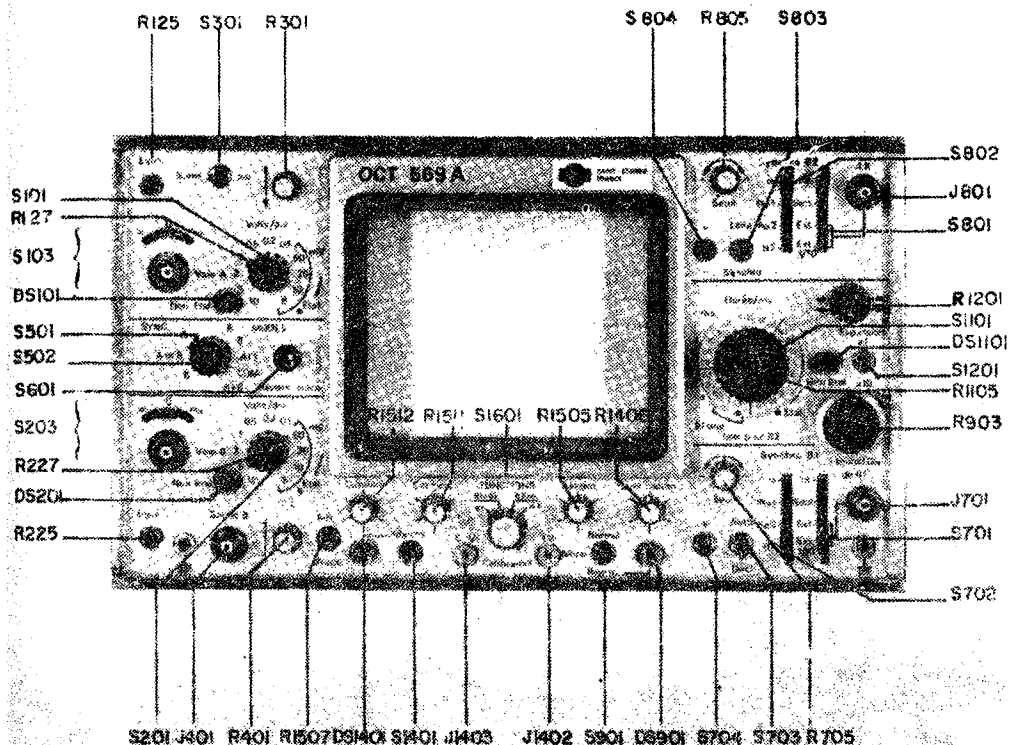


Fig. 8.32. Osciloscopul CRC (Schlumberger) OCT 569 A - Panoul frontal

- comutatorul "FONCTIONS" (S 1601) se așează în poziția "AX";
- semnalul de formă sinusoidală u_e al generatorului de frecvență etalon f_e se aplică intrării "AX" (J 801) pentru deflexia pe orizontală a spotului;
- semnalul de formă sinusoidală u și de frecvență necunoscută f_x se aplică intrării "Voie A" (S 103) sau "Voie B" (S 203) - selectate în poziția "A" sau poziția "B" - pentru deplasarea spotului pe verticală;
- comutatorul "Volts/div" al intrării selectate ("Voie A" sau "Voie B") se așează în poziția pentru care amplitudinea semnalului u va fi egală cu amplitudinea semnalului etalon u_e de pe ecranul osciloscopului;

- se manevrează generatorul etalon pînă cînd se obține o figură Lissajous stabilă pe ecran;
- se calculează frecvența cu expresia (8.10)

$$f_x = \frac{n_y}{n_x} f_e$$

Exemplu. În urma manevrelor prezentate s-a obținut pe ecranul osciloscopului figura Lissajous din fig. 8.33 iar frecvența generatorului etalon $f_e = 5$ kHz.

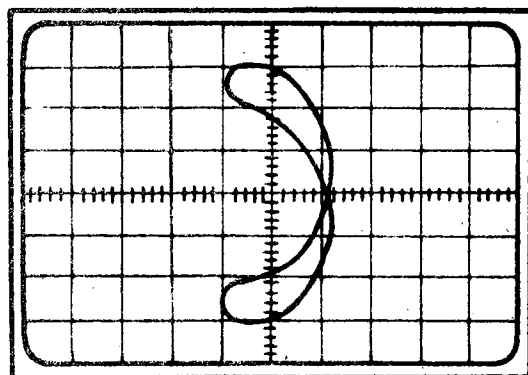


Fig. 8.33. Figură Lissajous obținută pe ecranul osciloscopului CRC (Schlumberger) OCT 569 A.

Se observă că numărul punctelor de tangență al figurii Lissajous cu o dreaptă verticală

$$n_y = 2$$

și cel al punctelor de tangență cu o dreaptă orizontală

$$n_x = 1$$

Frecvența necunoscută a semnalului u este

$$f_x = \frac{n_y}{n_x} f_e = \frac{2}{1} \cdot 5 = 10 \text{ kHz}$$

Din fig. 8.25 se determină și defazajul dintre cele două semnale

$$\varphi = 45^\circ$$

- Modularea spotului în intensitate.

Schema de principiu folosită la măsurarea frecvenței prin modularea spotului în intensitate se aseamănă cu schema de la măsurarea frecvenței prin modularea anodică (fig. 8.27).

Operațiile necesare măsurării frecvenței cu ajutorul osciloscopului CRC (Schlumberger) OCT 569 A sînt următoarele (fig. 8.32):

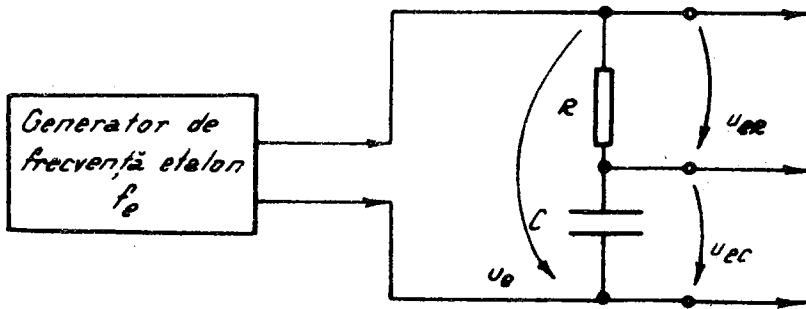


Fig. 8.34. Circuit RC alimentat de generatorul de frecvență etalon f_e .

- comutatorul "FUNCTIONS" (S 1601) se așează în poziția "AX";
- se alimentează un circuit RC cu semnalul de formă sinusoidală u_e al generatorului de frecvență etalon f_e (fig. 8.34) și se obțin două tensiuni: u_{eR} la bornele rezistenței R și u_{eC} la bornele condensatorului C ;

- tensiunea de la bornele rezistenței R , u_{eR} se aplică intrării "Voie A" (S 103) sau "Voie B" (S 203), selectate în poziția "-" sau poziția " ∞ " pentru deflexia spotului pe verticală;

- tensiunea de la bornele condensatorului C , u_{eC} - defazată cu $\frac{\pi}{2}$ față de tensiunea u_{eR} - se aplică intrării "AX" (J 801) pentru deflexia spotului pe orizontală;

- comutatorul "Volts/div" al intrării selectate ("Voie A" sau "Voie B") se așează în poziția pentru care amplitudinea semnalului u_{eR} devine egală cu amplitudinea semnalului u_{eC} , caz în care pe ecranul osciloscopului apare un cerc;

- semnalul de formă periodică u și de frecvență necunoscută f_x se aplică intrării "Mod Ext" (J 1501) de pe panoul posterior al osciloscopului CRC (fig. 8.35); la alte oscilosoape această intrare se numește "Mod 2".

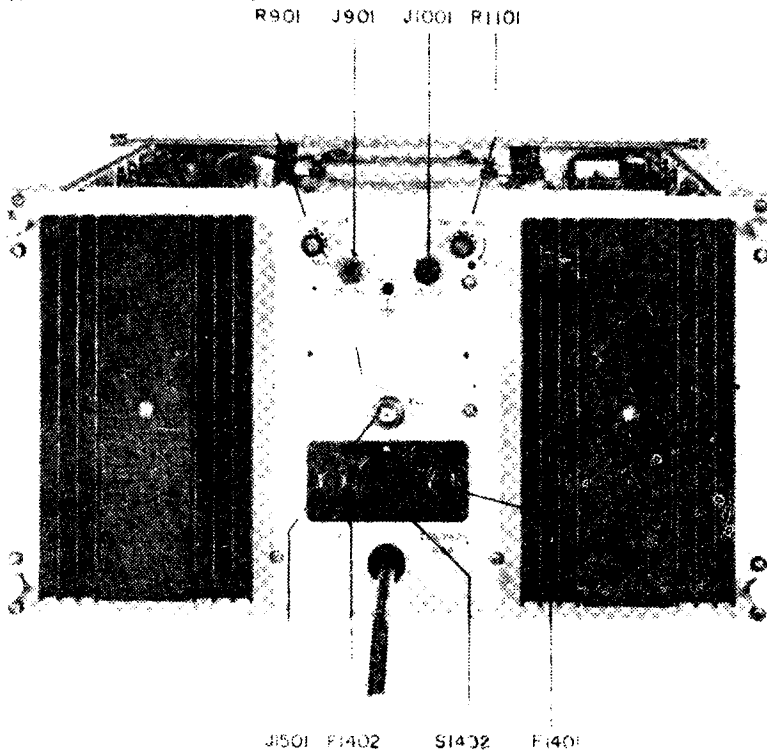


Fig. 8.35. Osciloscopul CRC (Schlumberger) OCT 569 A - Panoul posterior -

- se reglează frecvența f_e a generatorului etalon pînă cînd pe ecran se obține un cerc segmentat și stabil (fig. 8.36);
- se calculează frecvența necunoscută cu ajutorul relației

$$f_x = n f_e \quad (8.16)$$

în care n este numărul segmentelor luminoase.

Exemplu

În urma montajului și manevrelor prezentate s-a obținut pe ecranul osciloscopului CRC imaginea stabilă din fig. 8.36 compusă din

$n = 7$ segmente

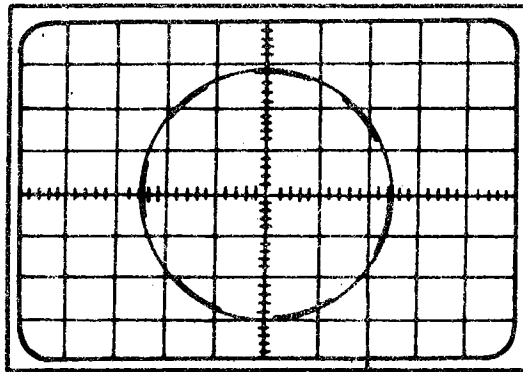


Fig. 8.36. Imagine pe ecranul osciloscopului CRC la modularea spotului în intensitate.

Generatorul de frecvență etalon este reglat pe frecvența

$$f_e = 3\,500 \text{ Hz}$$

Frecvența necunoscută f_x a semnalului studiat

$$f_x = n f_e = 7 \cdot 3\,500 = 24\,500 \text{ Hz}$$

- Sincronizarea bazei de timp

Operațiile necesare măsurării frecvenței prin sincronizarea bazei de timp a osciloscopului CRC (Schlumberger) OCT 569 A sînt următoarele (fig. 8.32):

- semnalul a cărui frecvență f_x se cere a fi determinată, se aplică la una din cele două intrări: "Voie A" (S 103) sau "Voie B" (S 203) selectate în poziția "—" sau poziția " ∞ " pentru deflexia spotului pe verticală; poziția " ∞ " se selectează cînd se vizualizează componenta continuă împreună cu componenta alternativă; poziția " ∞ " se selectează cînd se vizualizează numai componenta alternativă a semnalului;

- cu comutatorul "Volts/div" (S 101 sau S 201) se reglează în mod convenabil amplitudinea semnalului;

- comutatorul "FUNCTIONS" (S 1601) se așează în poziția "B 1";

- comutatorul "Synchro B 1" se așează pe poziția "Int";

- cu comutatorul "Durée/div" (S 1101) se selectează durata bazei de timp astfel ca pe ecranul osciloscopului să fie vizualizată o perioadă completă;

- se determină prin citire pe ecranul osciloscopului și apoi prin calcul, durata perioadei semnalului de studiat T_x ;

- se calculează frecvența f_x a semnalului studiat

$$f_x = \frac{1}{T_x} \quad (8.17)$$

Exemplu. În urma montajului și manevrelor prezentate s-a obținut pe ecranul osciloscopului CRC (Schlumberger) imaginea stabilă din fig. 8.37.

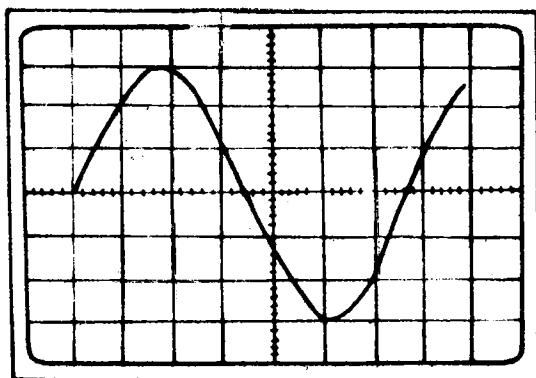


Fig. 8.37. Imagine pe ecranul osciloscopului CRC la sincronizarea bazei de timp.

Comutatorul "Durée/div" este așezat pe poziția 0,2 ms; 1 diviziune mare (1 cm) \rightarrow 0,2 ms .

Durata perioadei semnalului vizualizat determinată prin citire și calcul este

$$T_x = 6,8 \text{ div} \times 0,2 \text{ ms/div} = 1,36 \text{ ms}$$

Frecvența f_x se calculează

$$f_x = \frac{1}{T_x} = \frac{1}{1,36 \cdot 10^{-3}} = 735 \text{ Hz}$$

- Metoda stroboscopică

La aplicarea acestei metode se folosește aparatul denumit stroboscop compus dintr-o lampă cu descărcare în gaz alimentată cu o tensiune sinusoidală sau în impulsuri de frecvență etalon f_e și un disc în rotație cu frecvență necunoscută f_x ; discul este prevăzut cu o marcă.

Pentru frecvențe comensurabile

$$f_x = f_e \text{ sau } n f_x = m f_e \quad (8.18)$$

marca apare ca fiind mobilă (fig. 8.38).

Metoda se folosește în domeniul frecvențelor industriale și acustice.

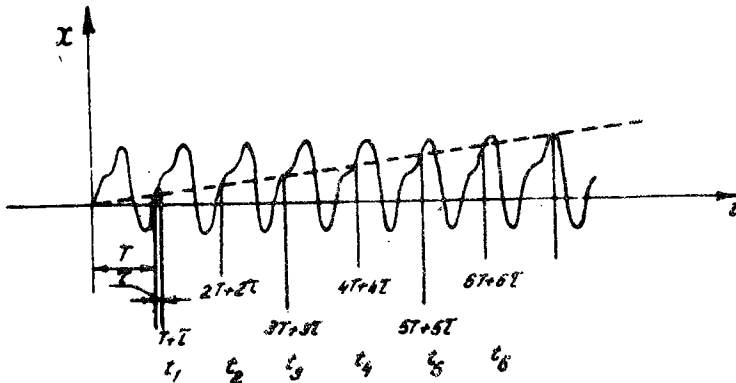


Fig. 8.38. Metoda stroboscopică.

- Metoda contorului mecanic și electronic.

Metoda constă din numărarea perioadelor fenomenului studiat (de exemplu, rotația unui disc) într-un interval de timp bine determinat și calcularea frecvenței

$$f = \frac{n}{t} \quad (8.19)$$

în care:

- f este frecvența fenomenului studiat;
- n - numărul perioadelor determinate în timpul t;
- t - intervalul de timp în care s-au efectuat n perioade.

Numărarea se execută cu ajutorul tuometrelor electromecanice sau electronice (cap. 18 "Măsurarea turației, APARATE DE MASURA SI CONTROL - VOLUMUL 1, Ed. 1985) care produc un impuls la fiecare perioadă a fenomenului periodic.

8.3.4. Metoda de rezonanță

Se utilizează în cadrul acestei metode fenomenul de rezonanță din circuitele oscilante LC. La egalitatea dintre frecvența f a semnalului de măsurat - aplicat circuitului - și frecvența de rezonanță a circuitului oscilant f_0

$$f_x = f_0 \quad (8.20)$$

se obține - la rezonanță - amplitudine maximă de curent, pentru rezonanța de curent (fig. 8.39 a și b) și amplitudine maximă de tensiune, pentru rezonanța de tensiune (8.39 c și d).

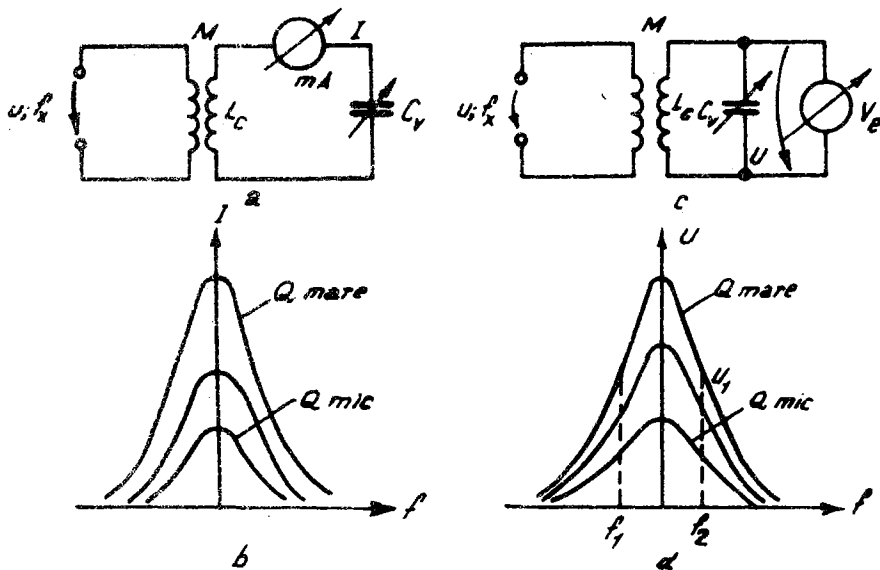


Fig. 8.39. Măsurarea frecvențelor prin metoda de rezonanță.

Cu cît factorul de calitate Q al circuitului este mai mare cu atît amplitudinea maximă a curbei de rezonanță este mai mare și mai ascuțită (fig. 8.39 b și d).

În ambele montaje se folosește o inductanță de cuplaj fixă L_c și o capacitate variabilă C_v etalonată în funcție de frecvența de rezonanță a circuitului f_0 egală cu

$$f_0 = \frac{1}{2 \pi \sqrt{L_c C_v}} \quad (8.21)$$

Tot în aceste montaje mai sînt plasate și aparatele de măsurat, miliampermetrul cu termocuplu mA - pentru rezonanța serie - și voltmetrul electronic V_e - pentru rezonanța paralel.

Pentru măsurare, circuitul oscilant $L_c C_v$ se cuplează inductiv cu sursa a cărei frecvență f_x nu se cunoaște și se reglează capacitatea condensatorului C_v pînă cînd se obține rezonanță evidențiată de deviația maximă a aparatelor indicatoare de tensiune sau curent.

Măsurările sînt finalizate cînd - cu un cuplaj cît mai slab posibil - se obține deviația maximă și precisă.

Se preferă circuitul de măsurare LC serie în locul circuitului LC paralel pentru că voltmetrul electronic nu perturbă rezultatul măsurării.

Pentru circuite rezonante LC cu factor de calitate Q mic, imprecizia este ridicată din cauza aplatizării curbei de rezonanță. În acest caz, pentru a măsura cît mai exact frecvența de rezonanță, se măsoară - pentru aceeași valoare U_1 a tensiunii la bornele condensatorului - frecvențele f_1 și f_2 simetrice față de punctul de rezonanță f_0 (fig. 8.39 d) și frecvența se obține prin mediere

$$f_0 = \frac{f_1 + f_2}{2} \quad (8.22)$$

Deoarece voltmetrul electronic se utilizează numai pentru detectarea maximului deviației, nu este necesară etalonarea lui. În schimb, trebuie etalonat condensatorul C_v plecînd de la valori cunoscute LC_v cu ajutorul unor frecvențe etalon.

Circuitele oscilante LC_v sînt cunoscute și sub numele de frecvențme-
tre cu rezonanță. Intervalele de frecvențe măsurate cu ajutorul acestora este
100 kHz... 10 GHz și o precizie de măsurare 0,1... 1%.

În fig. 8.40 este prezentată schema de principiu a unui frecvențmetru
cu rezonanță pentru gama de frecvențe 25... 30 MHz.

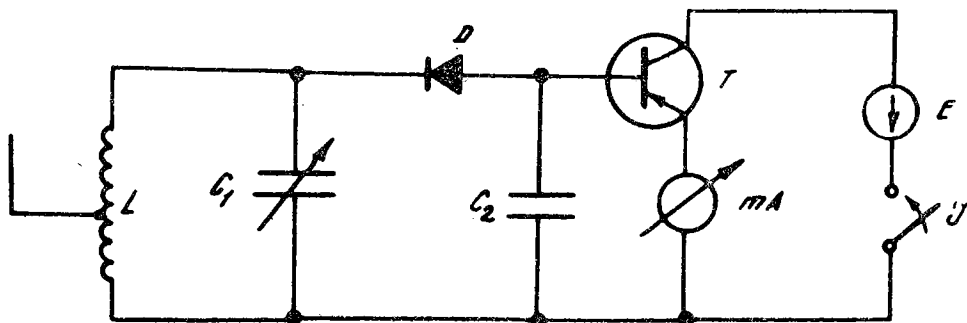


Fig. 8.40. Schema de principiu a unui frecvențmetru cu rezonanță tranzistori-
zat.

Circuitul oscilant se aduce la rezonanță cu ajutorul condensatorului va-
riabil C_1 iar semnalul detectat de dioda D se aplică în baza tranzistorului T.
Citirea se face pe scala gradată a condensatorului variabil C_1 cînd deviația mi-
liampermetrului este maximă.

8.3.5. Metoda absorbției

Se aseamănă cu metoda rezonanței. Metoda are la bază transferul de
energie din circuitul de măsurat în circuitul rezonant; între cele două circuite
există un cuplaj. La rezonanță, curentul de frecvență f_x din circuitul de
măsurat devine minim din cauza fenomenului de rezonanță.

Valoarea minimă a curentului este determinată de aparatul de măsu-
rat - mA - montat în circuitul sursei a cărei frecvență se măsoară (fig. 8.41).

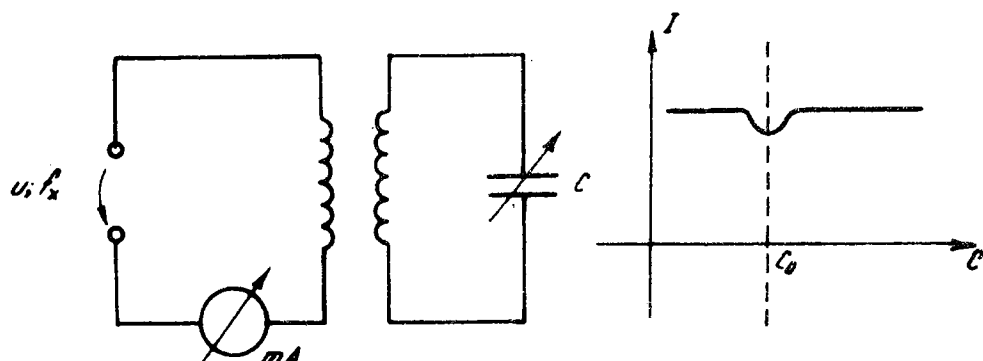


Fig. 8.41. Măsurarea frecvenței prin metoda absorbției.

Metoda este indicată pentru putere mică debitată de sursă și când cuplajul circuitului sursei cu alte circuite este slab.

8.3.6. Metoda heterodinării

Este tot o metodă de comparație a două frecvențe: frecvența etalon și frecvența de măsurat. Compararea frecvențelor cu ajutorul osciloscopului catodic se limitează la frecvența audio; pentru frecvențe mai înalte, figurile de pe ecranul osciloscopului nu mai sînt stabile.

Prin heterodinare sau amestecare, frecvențele înalte, necunoscute sau etalon, sînt aduse în domeniul frecvențelor audio și apoi măsurate.

În fig. 8.42 este prezentată schema de măsurare a frecvenței prin metoda heterodinării.

Semnalul rezultat de frecvență

$$\Delta f = f_e - f_x \quad (8.23)$$

este detectat cu un aparat magnetoelectric cu redresor sau cu o cască telefonică.

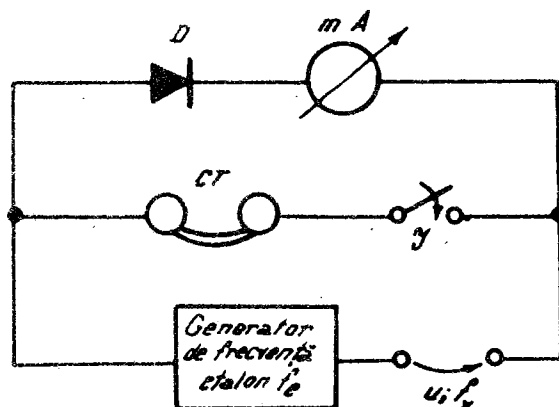


Fig. 8.42. Schema de măsurare a frecvenței prin metoda heterodinării.

Cînd $f_e = f_x$, acul aparatului de măsurat se poziționează pe indicația zero dacă și amplitudinea semnalelor care interferează sînt egale.

Pentru Δf egal cu cîțiva hertzi, acul aparatului oscilează în ritmul frecvenței Δf dar dacă diferența Δf este mai mare, acul nu se mai deplasează. În acest caz, diferența de frecvență Δf este sesizată de casca telefonică. Pentru a se afla dacă acul nu se mișcă pentru că $\Delta f = 0$ sau este mare, se variază foarte puțin frecvența generatorului etalon f_e ; dacă acul începe să pulseze, rezultă că Δf a fost zero sau în caz contrar, a fost mare.

Casca telefonică devine sensibilă pentru frecvențe audio mai mari ca 50 Hz iar aparatul pentru frecvențe de ordinul hertzilor.

Pentru măsurări precise a frecvenței necunoscute f_x sau a diferenței de frecvențe Δf se realizează frecvențimetre numerice cu heterodinare (fig. 8.43).

Oscilatorul de referință generează semnalul de frecvență etalon f_e pentru etajul de mixaj în care pătrunde și semnalul de studiat de frecvență necunoscută f_x .

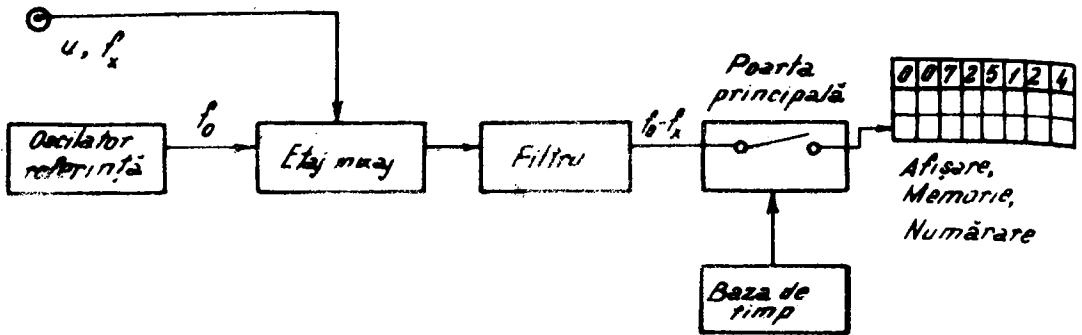


Fig. 8.43. Schema bloc a unui frecvențmetru numeric cu heterodinare.

Etajul de mixaj furnizează la ieșire suma $f_0 + f_x$ și diferența $f_0 - f_x$ dar filtrul trece jos acceptă numai semnalul de frecvență $f_0 - f_x$ pentru a-l furniza porții principale și în fine unități de numărare și display.

Trebuie avut în vedere ca frecvența translatată $f_e - f_x$ să se încadreze în domeniul de frecvență al aparatului numeric.

8.4. FRECVENTMETRE UTILIZATE IN ACTIVITATEA DE SERVICE I.I.R.U.C.

8.4.1. Frecvențmetrul numeric E-0204

Este un aparat de măsurat digital produs la I.E.M.I. -București. Cu acest aparat se măsoară frecvențe ale semnalelor electrice cuprinse în intervalul 40 Hz... 300 MHz.

Rezultatul măsurării este afișat prin opt cifre, fiecare cifră fiind un display cu 7 segmente. Afișajul este comandat printr-un decoder și un circuit de multiplexare.

Automat se mai afișează virgula, unitatea de măsură și depășirea capacității de afișare.

Frecvențimetrul numeric E-0204 este prevăzut cu două intrări, intrarea A pentru semnale cu frecvența cuprinsă de la 40 Hz... 50 MHz și intrarea B pentru semnale cu frecvență de la 40 MHz... 300 MHz.

Caracteristicile tehnice ale aparatului.

Intrarea A

- frecvențe: $f_{xA} = 40 \text{ Hz} \dots 50 \text{ MHz}$
- semnal:
 - sinusoidal $U_{xef} = 25 \dots 500 \text{ mV}$; atenuare $\times 1$;
 $U_{xef} = 250 \text{ mV} \dots 5 \text{ V}$; atenuare $\times \frac{1}{10}$;
- în impulsuri (durata $\leq 10 \text{ ns}$)
 - $U_{xvv} = 100 \text{ mV} \dots 1,5 \text{ V}$; atenuare $\times 1$;
 - $U_{xvv} = 1 \dots 15 \text{ V}$; atenuare $\times \frac{1}{10}$;
- maxim (sinusoidal):
 - $U_{xmax} = 250 \text{ V (c.c.) sau } 230 \text{ V (sinusoidal)}$ pentru $f_x \leq 400 \text{ Hz}$
 - $U_{xmax} = 10 \text{ V (sinusoidal)}$ pentru $f_x \leq 50 \text{ MHz}$
- modul de lucru:
 - semnal impulsuri negative;
 - semnal sinusoidal;
 - semnal impulsuri pozitive;
- impedanță de intrare..... $1 \text{ M}\Omega \parallel 45 \text{ pF}$

Intrarea B

- frecvență: $f_{xB} = 40 \text{ MHz} \dots 300 \text{ MHz}$;
- semnal
 - sinusoidal, $U_{xef} = 50 \text{ mV} \dots 1 \text{ V}$
 - maxim, c.c. $U_{xmax} = 30 \text{ V}$; sinusoidal; $U_{xef_{max}} = 5 \text{ V}$;
- impedanță de intrare..... 50Ω ;

- oscilatorul intern: $f_e = 10 \text{ MHz}$
- rezoluție

Timp de măsurare	Rezoluție	
	Intrarea A	Intrare B
0,1 s	10 Hz	100 Hz
1 s	1 Hz	10 Hz
10 s	0,1 Hz	1 Hz

- afișaj: 8 cifre (7 segmente din LED-uri);
- timp afișare: 0,3... 5 s
- reciclare: manual sau automat;
- unitate de măsură: kHz sau MHz;
- poziționare automată a virgulei;
- semnalizare timp de măsurare (timp de deschidere al porții);
- alimentare: 220 V, 50... 60 Hz, 50 VA;

În fig. 8.44 este prezentat panoul frontal iar în fig. 8.45 panoul posterior al frecvențmetrului E-0204.

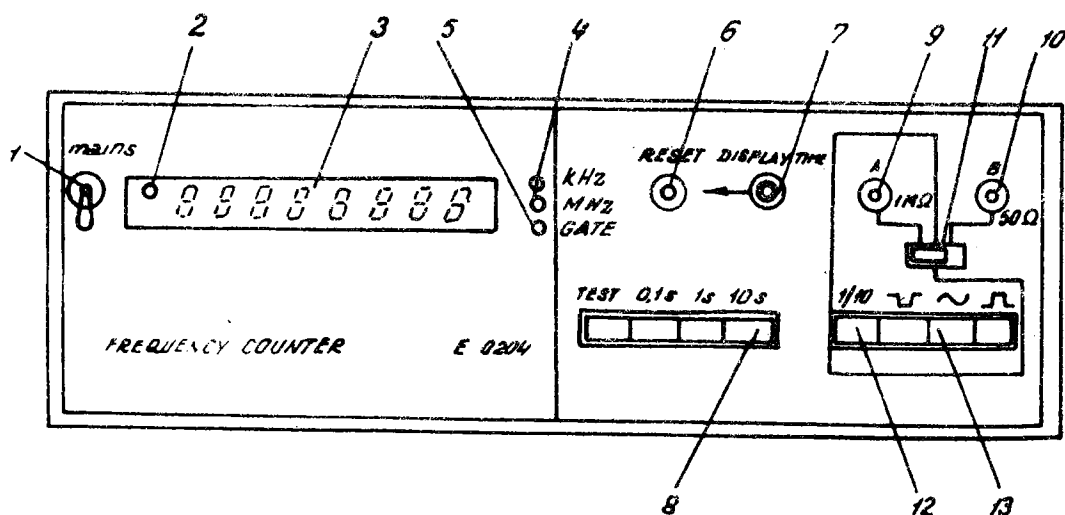


Fig. 8.44. Panoul frontal - frecvențmetrul E-0204.

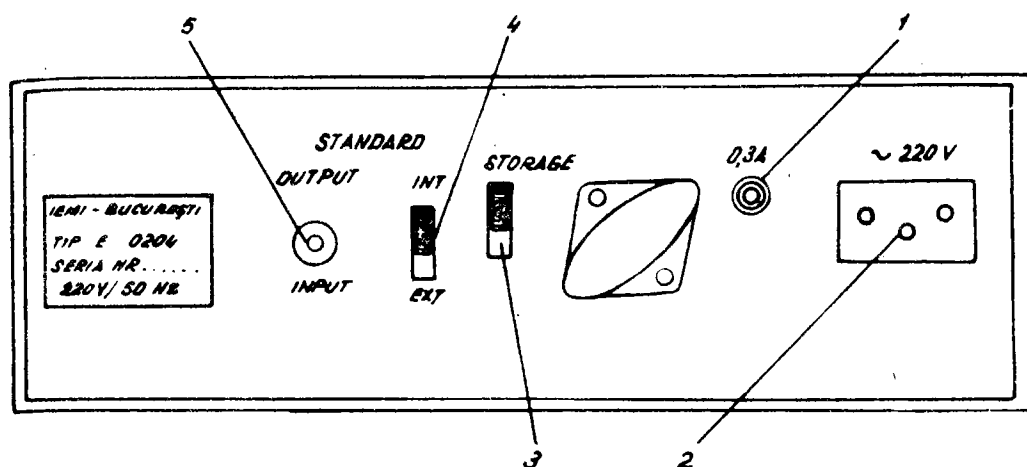





Fig. 8.45. Panoul posterior - frecvențmetrul E-0204.

Elementele componente sînt următoarele:

Panoul frontal

- 1 - întreruptor de rețea;
- 2 - LED pentru semnalizarea depășirii registrului de numărare;
- 3 - afișajul format din 8 elemente de afișare cu 7 segmente (LED-uri);
- 4 - semnalizarea unității de măsurare: kHz sau MHz;
- 5 - semnalizare timp de măsurare (timp de deschidere al porții);
LED-ul este aprins în timpul numărării și stins în timpul afișării;
- 6 - buton pentru reciclare manuală;
- 7 - potențiometrul cu întreruptor pentru reciclare automată;
 - întreruptor deschis - reciclare manuală;
 - întreruptor închis - reciclare automată cu timp de afișare 0,3... 5 s reglat din potențiometru;

- 8 - butoane selectare timp de măsurare (10 s; 1 s; 0,1 s) și testare aparat (TEST);
- 9 - mufă BNC - intrare A;
- 10 - mufă BNC - intrare B;
- 11 - comutator selectare intrare A sau B;
- 12 - buton atenuare: liber... $\times 1$; apăsat... $\times \frac{1}{10}$;
- 13 - butoane selectare mod de lucru:
 - semnal impuls negativ  ;
 - semnal sinusoidal  ;
 - semnal impuls pozitiv  ;

Panoul posterior

- 1 - siguranță fuzibilă;
 - 2 - mufă conectare cordoan de alimentare;
 - 3 - comutator selectare memorie; sus... cu memorie;
jos... fără memorie;
 - 4 - comutator selectare: - STANDARD INTERN;
- STANDARD EXTERN;
 - 5 - mufă BNC
 - ieșire... semnal $f_e = 10$ MHz; compatibil TTL; comutator 4 pe STANDARD INTERN;
 - intrare... semnal cu altă frecvență etalon sau precizie;
comutator 4 pe STANDARD EXTERN;
- Pentru punerea în funcțiune se execută următoarele:
- comutatorul de selectare 4 din fig. 8.45 se pune în poziția STANDARD INTERN;
 - se alimentează dintr-o priză Schuko (220 V \pm 10%) prin cordoanul de alimentare al aparatului;
 - se manevrează întreruptorul de rețea 1 (fig. 8.44); afișajul se va aprinde;

- comutatorul 11 în poziția A;
- potențiometrul 7 în poziția AUTOMAT (rotit la dreapta);
- se apasă butonul TEST (8); aparatul trebuie să afișeze 10 000 000

KHz \pm 1;

Măsurarea frecvenței $f_x = 40 \text{ Hz} \dots 50 \text{ MHz}$ cu E-0204.

- a - se pune în funcțiune aparatul;
- b - se selectează intrarea A cu comutatorul 11;
- c - se selectează mod de lucru cu butoanele 13;
- d - se aplică semnalul de măsurat la intrarea A;
- e - se selectează cu butoanele 8, timpul de măsurare dorit (10 s, 1 s sau 0,1 s);
- f - se selectează cu potențiometrul 7 modul de reciclare: manual sau automat;
la reciclarea manuală se apasă butonul 6 pentru o nouă măsurare;
- g - se selectează memoria cu comutatorul 3 (fig. 8.4): sus... cu memorie;
jos... fără memorie;

Măsurarea frecvenței $f_x = 40 \text{ MHz} \dots 300 \text{ MHz}$ cu E-0204

- se pune în funcțiune aparatul;
- se selectează intrarea B cu comutatorul 11;
- se aplică semnalul de măsurat la intrarea B;

În continuare, se execută operațiile e... g de la paragraful precedent.

Măsurarea frecvenței cu E-0204 folosind un etalon extern

Dacă se dorește măsurarea frecvenței cu o sursă de frecvență etalon exterioară (standard extern) cu $f_e = 10 \text{ MHz}$, stabilitate mai mare și tensiune sinusoidală cu $U_{e \text{ ef}} = 0,5 \dots 5 \text{ V}$, se procedează astfel:

- se pune comutatorul STANDARD în poziția EXTERN;
- se conectează sursa de frecvență etalon exterioară la mufa BNC (poziția 5 în fig. 8.43);
- se măsoară frecvența necunoscută f_x conform celor prezentate anterior,

La depășirea capacității registrului de numărare se aprinde LED-ul 2 (fig. 8.44); pentru a se citi ordinul cel mai semnificativ se apasă unul din butoanele 8 pe un timp de măsurare inferior.

Schema bloc a frecvențmetrului E-0204 este prezentată în fig. 8.46.

Principalele părți componente ale aparatului - prevăzute în schema bloc - sînt următoarele:

- amplificatorul de intrare și circuitul de formare în banda 40 Hz... 50 MHz;
- amplificatorul de intrare și circuitul de divizare cu 10 în banda 40 MHz... 300 MHz;
- sursa de frecvență etalon $f_e = 10$ MHz formată dintr-un oscilator cu cuarț termostatat;
- decadele de divizare, poarta principală și circuitul de comandă al reciclării, decadele de numărare, memoria și circuitul de multiplexare;
- sistemul de afișare cu decoder;
- sursa de alimentare.

Principiul de măsurare al aparatului se bazează pe numărarea perioadelor semnalului într-un interval de timp: 0,1 s, 1 s sau 10 s și determinarea frecvenței necunoscute

$$f_x = \frac{N_x}{t}$$

în care:

- f_x este frecvența necunoscută;
- N_x - numărul de perioade;
- t - timpul în care se numără N_x perioade.

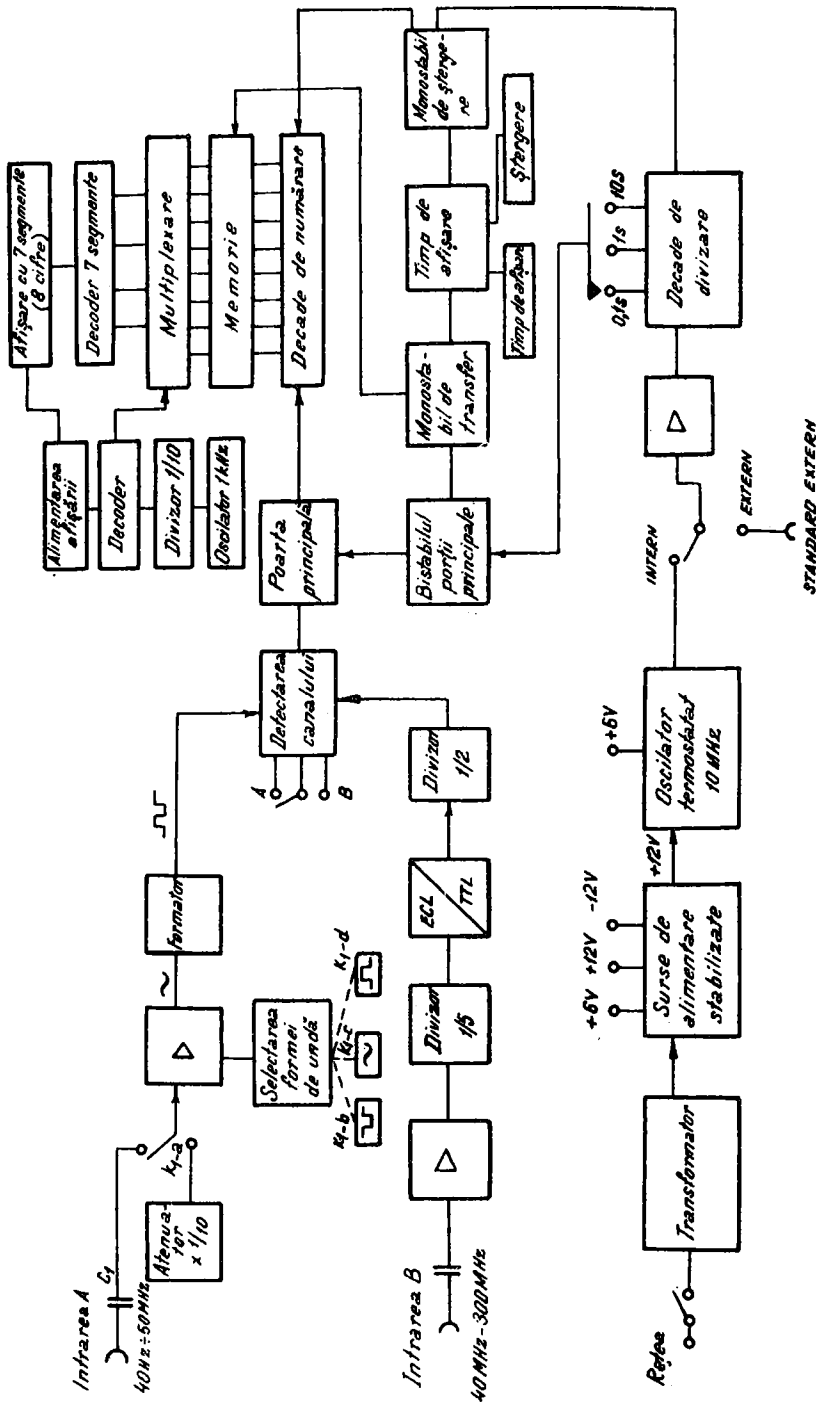


Fig. 8.46. Schema bloc a frecvențimetrului F-0204.

Se aplică porțile principale - prevăzută cu două intrări - un impuls cu durată de 0,1 s, 1 s sau 10 s și un tren de impulsuri constituit din semnalul a cărui frecvență f_x se măsoară. La ieșirea porții se obține pentru decadele de numărare, impulsuri selectate într-un interval de timp standard egal cu 0,1 s, 1 s sau 10 s.

8.4.2. Versatester tip E-0502

Este un generator de frecvență joasă cu afișare numerică dar prin modul de funcționare poate măsura frecvența necunoscută a unui semnal exterior.

Caracteristicile tehnice pentru mod de funcționare frecvențmetru, sînt următoarele:

- frecvență: $f_x = 10 \text{ Hz} \dots 10 \text{ MHz}$
- semnal:
 - sinusoidal $U_{\text{xef}} = 100 \text{ mV}; 1 \text{ V}; 10 \text{ V}; 100 \text{ V};$
 - impedanța de intrare..... $1 \text{ M}\Omega \parallel 50 \text{ pF}$
- oscilator intern: $f_e = 1 \text{ MHz}$
- afișaj..... 4 cifre (7 segmente din LED-uri);
- timp afișare: 0,2... 10,2 s;
- alimentare: 220 V, 50 Hz, 100 VA.

8.4.3. Aparatul universal de măsurare a radiotelefoanelor - ZPFM 3.

Acest aparat a fost prezentat în cap. 7 "Măsurarea puterii și energiei electrice". Se poate utiliza și pentru măsurarea frecvenței.

Ca frecvențmetru, ZPFM 3 realizează următoarele funcțiuni:

- frecvențmetru numeric propriu-zis;
- divizor de frecvență 4:1;
- comparator de fază;
- divizor de frecvență pentru oscilatorul cu cuarț al bazei de timp;
- generator cu cuarț pentru 10 și 11 MHz.

Frecvențmetrul măsoară frecvențele pentru:

- generatorul de frecvență înaltă;
- generatorul de frecvență joasă;
- semnale externe ($f_x = 50 \text{ Hz} \dots 25 \text{ MHz}$).

8.5. APLICATII

1. Frecvența bazei de timp a unui osciloscop catodic este $f_e = 50 \text{ kHz}$. Se aplică acestui osciloscop o tensiune alternativă, obținându-se pe ecran imaginea stabilă din fig. 8.47.

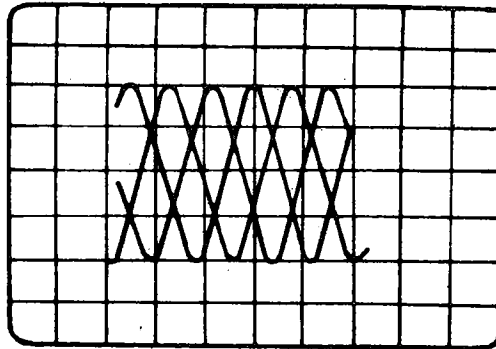


Fig. 8.47. Imagine stabilă pe ecranul osciloscopului.

Să se determine frecvența f_x a tensiunii aplicate osciloscopului.

Rezolvare

Din fig. 8.47 se observă că spotul descrie mai multe sinusoidă corespunzător frecvenței bazei de timp f_e și corespunzător frecvenței necunoscute f_x . În același timp se desfășoară $n_y = 3$ perioade complete ale bazei de timp și $n_x = 7$ perioade complete ale semnalului de frecvență necunoscută f_x .

$$f_x = f_e \frac{n_x}{n_y} = 50 \frac{7}{3} = 116,67 \text{ kHz}$$

2. Un osciloscop catodic are constanta corespunzătoare deviației verticale a spotului $C_y = 1 \text{ V/cm}$ și constanta corespunzătoare deviației pe orizontală a spotului $C_x = 2 \text{ V/cm}$.

Să se traseze imaginea stabilă care va apare pe ecranul osciloscopului sub acțiunea tensiunilor alternative:

$$u_y = 2,15 \sin 314 t, [V, s]; \quad u_x = 4,5 \sin (3.317 t - 1,046), [V, s]$$

aplicate celor două plăci de deflexie pe verticală și orizontală.

Rezolvare

Aplicînd metoda de rezolvare grafică prezentată în fig. 8.26 se obține imaginea stabilă din fig. 8.48.

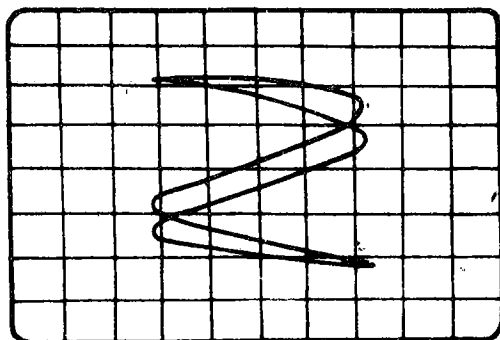


Fig. 8.48. Imagine stabilă obținută prin rezolvarea grafică.

3. Un frecvențmetru numeric conține un generator de frecvență etalon de 1 MHz cu stabilitatea de $5 \cdot 10^{-4}\%$.

La măsurarea frecvenței necunoscute a unei tensiuni alternative, rezoluția este 0,1 Hz iar la măsurarea perioadei T_x a aceleiași tensiuni rezoluția este $1 \mu s$.

Stiind că eroarea absolută de cuantizare corespunde rezoluției, să se afle în ce condiții frecvența f_x și perioada T_x se măsoară cu aceeași eroare relativă procentuală limită.

Rezolvare

Eroarea relativă procentuală limită la măsurarea frecvenței f_x este

$$\Delta r f_x = \pm 5 \cdot 10^{-4} + \frac{100(+0,1)}{f_x}$$

iar la măsurarea perioadei T_x este

$$\Delta r T_x = \pm 5 \cdot 10^{-4} + \frac{100(+1 \cdot 10^{-6})}{T_x}$$

Erorile sînt egale

$$\Delta r f_x = \Delta r T_x$$

pentru

$$\left\{ \begin{array}{l} f_x = 316,2 \text{ Hz} \\ T_x = \frac{1}{f_x} = \frac{1}{316,2} = 3,162 \text{ ms} \end{array} \right.$$

Pentru $f_x > 316,2 \text{ Hz}$, se indică măsurarea frecvenței;

Pentru $f_x < 316,2 \text{ Hz}$, se indică măsurarea perioadei.

Timpul minim de măsurare pentru obținerea rezultatului $f_x = 316,2 \text{ Hz}$ corespunde timpului în care prin poarta principală trec spre numărător 3 162 impulsuri de la generatorul de frecvență etalon.

Acest timp este

$$t = \frac{3\,162}{1 \cdot 10^6} = 3,162 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 3,162 \text{ ms}$$

Pentru frecvență f_x mai ridicată, timpul de măsurare minim este mai mare.

Timpul minim de măsurare pentru obținerea rezultatului $T_x = 3,162 \text{ ms}$ este necesar timpul de măsurare $t = 3,162 \text{ ms}$; în acest timp prin poarta principală trec la numărător

$$3,162 \cdot 10^{-3} \cdot 1 \cdot 10^6 = 3\,162 \text{ impulsuri}$$

Pentru perioada T_x mai lungă, timpul de măsurare minim este mai mare.

CAPITOLUL 9

MASURAREA MARIMILOR ELECTRICE VARIABILE IN TIMP

9.1. Generalități

Mărimile electrice cu variație în timp sînt foarte răspîndite în aplicațiile tehnice ale electricității.

Tensiunea sau curentul electric variabile în timp de formă dreptunghiulară, sinusoidală, triunghiulară etc. se modifică de elementele neliniare din circuitele electrice și capătă o formă care nu mai este la fel cu cea inițială.

Respectarea formei ideale a impulsului - necesară în aplicații - impune vizualizarea și apoi analiza formei sale reale.

De exemplu, impulsul electric ideal sau teoretic are forma dreptunghiulară conform fig. 9.1 a.

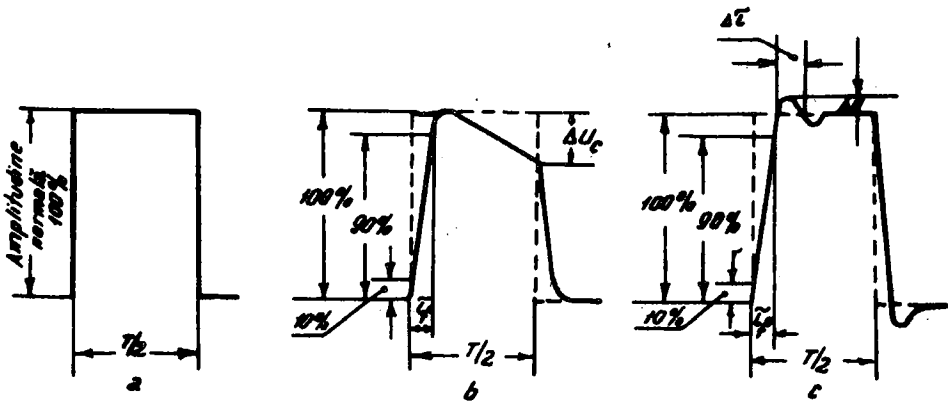


Fig. 9.1. Determinarea formei impulsurilor dreptunghiulare prin vizualizarea pe ecranul tubului catodic.

Acest impuls obținut în practică dintr-un circuit electric se aseamănă cu cel ideal dar nu mai este perfect dreptunghiular; semnalul este deformat (fig. 9.1. b și c).

Pentru a putea fi comparat cu semnalul teoretic se măsoară și se verifică respectarea unor parametri:

- τ_f - timpul de creștere al frontului;
- ΔU_c - căderea palierului;
- ΔU - supracreșterea superioară;
- $\Delta \tau$ - durata primei semiunde a supracreșterii superioare;
- f - frecvența impulsului;
- $T/2$ - durata impulsului;
- T - perioada impulsului;
- forma impulsului.

Mărimi fizice cu variație în timp se întâlnesc și în alte domenii ale naturii. Pentru a ușura însă cercetarea lor se folosește transformarea prealabilă a lor într-o mărime electrică și apoi vizualizarea și măsurarea cu mijloace de măsurat adecvate.

Modul în care evoluează în timp o mărime electrică se poate determina cu diferite aparate și instrumente adecvate:

- aparate înregistratoare;
- oscilografe și osciloscoape electromecanice;
- oscilografe și osciloscoape electronice.

În principiu, un aparat de măsurat folosit la vizualizarea unui semnal electric dependent de timp redă într-un sistem de coordonate, graficul mărimii studiate; abscisa este pentru timp iar ordonata pentru mărimea electrică studiată.

9.2. MIJLOACE DE MĂSURARE A MĂRIMILOR ELECTRICE VARIABILE ÎN TIMP

9.2.1. Aparate înregistratoare

Aceste aparate se folosesc la înregistrarea mărimilor cu variație lentă, temperatură, presiune, tensiune electrică, putere în rețele electrice etc.

Un aparat înregistrator se compune din: dispozitivul de măsurat, sistemul de avans al suportului pe care se înregistrează (hîrtie, bandă magnetică) și sistemul de înscriere.

Constructiv, aparatele de înregistrat se clasifică în:

- aparate de înregistrat electromecanice;
- aparate de înregistrat magnetice.

- Aparate de înregistrat electromecanice înregistrează mărimea variabilă în mod continuu sau prin puncte pe suportul din hîrtie.

În fig. 9.2 este redat un aparat de înregistrare al cărui ac indicator este în formă de braț cotit.

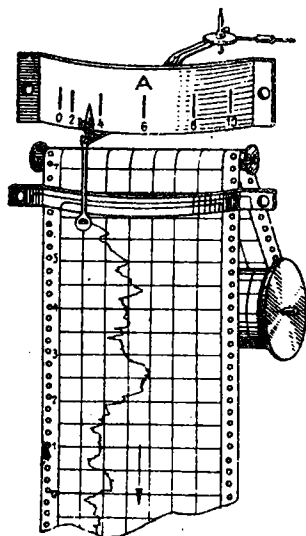


Fig. 9.2. Aparat de înregistrat electromecanic.

De acul indicator se prinde penița de scriere care alunecă și descrie pe hîrtia-diagramă mărimea variabilă lentă.

Penița de scriere este prevăzută cu rezervor de cerneală interschimbabil.

Cuplul motor necesar mișcării acului și trasării diagramei este creat de o bobină solidară cu un ax suport al acului indicator. Bobina - în cele mai multe cazuri - aparține unui aparat de măsurat magnetoelectric.

Aparatele de înregistrare prin puncte prezintă avantajul că nu solicită un cuplu motor mare din partea dispozitivului de măsurat.

Aparatele sînt răspîndite în diferite industrii; în industria chimică se utilizează pentru înregistrarea temperaturii, presiunii, debitului etc.; în centrale electrice, pentru înregistrarea tensiunii, curentului, puterii etc.

Înregistrarea prin puncte este mai lentă (0,01... 1 Hz) dar este mai precisă decît înregistrarea continuă pentru că nu există frecare între hîrtie și peniță.

Tot aparatelor înregistratoare electromecanice, aparțin aparatele de înregistrat X - Y care permit trasarea dependenței implicite de timp a două mărimi convertite în tensiuni electrice.

Înregistratoarele X - Y au o masă suport a hîrtiei - diagramă pe care se deplasează în lungul axei X un ghidaj transversal. Pe acest ghidaj - după direcția Y - se deplasează port-penița de scriere.

Pentru trasarea mărimii $Y = f(t)$, aparatul are o bază de timp proprie care asigură deplasarea uniformă a ghidajului transversal după direcția X.

Pe masa aparatului se fixează electrostatic hîrtia-diagramă de 420 x 297 mm. Eroarea este de 0,5... 1% iar viteza maximă de scriere poate ajunge la 75 cm/s. Baza de timp are valori de la 0,25 la 50 s/cm.

- Aparate de înregistrat magnetice sînt mai versatile față de aparatele de înregistrat electromecanice:

- datele înregistrate se pot reda sub formă de tensiune electrică;
- domeniu larg pentru frecvența mărimii variabile;
- la redare, timpul real de înregistrare se poate comprima sau dilata;
- informația de pe suportul magnetic se poate păstra fără degradare.

Suportul înregistrării este banda magnetică realizată din bandă de polister sau mylar acoperită cu oxid de fier astfel că informația se înregistrează, se citește și se șterge.

Metodele de înregistrare magnetică sînt înregistrarea directă și înregistrarea prin modulare.

9.2.2. Oscilograful electromecanic

Se folosește la măsurarea mărimilor periodice cu frecvențe pînă la 1-2 kHz sau a mărimilor electrice aperiodice cu durata pînă la 1 ms.

Cel mai important element al osciloscopului electromecanic îl constituie dispozitivul de măsurat sau vibratorul. În fig. 9.3 este reprezentat un vibrator magnetoelectric.

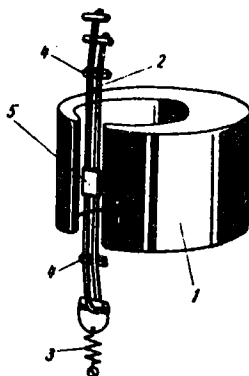


Fig. 9.3. Vibratorul magnetoelectric.

Acesta se compune din magnetul permanent 1, bucla 2 dintre poli magnetului permanent, arcul 3 de întindere a buclei, prisme triunghiulare 4 pentru sprijinirea buclei și oglinda 5 atașată buclei.

La trecerea curentului de studiat care trece prin buclă la naștere o forță de interacțiune între curent și câmpul magnetic de studiat iar oglinda vibrează după cum variază în timp curentul prin buclă.

Pentru curenți mari se folosește un șunt legat în paralel cu bucla.

În cazul tensiunii, bucla se înscriază cu o rezistență neinductivă și se conectează ansamblul la tensiunea de vizualizat.

În fig. 9.4 este prezentată schema de principiu a oscilografului electromecanic.

Raza de lumină generată de lampa 1 trece prin lentila 2, diafragma 3, prisma triunghiulară 4 și ajunge pe oglinda vibratorului 5 (prezentat în fig. 9.3).

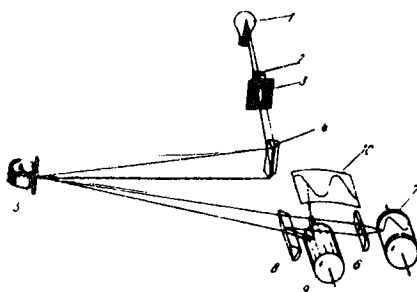


Fig. 9.4. Schema de principiu a oscilografului electromecanic.

Raza de lumină reflectată trece prin lentila cilindrică 6 și ajunge pe hîrtia fotosensibilă de pe ruloul cilindric 7.

O parte din această rază ajunge pe suprafața oglinzii rotative poliedrice 9 și apoi este reflectată pe un ecran de sticlă mată 10 pentru observarea vizuală a mărimii variabile în timp.

Evoluția în timp a mărimii de măsurat pe hîrtia fotosensibilă sau pe ecran se numește oscilogramă (fig. 9.5).

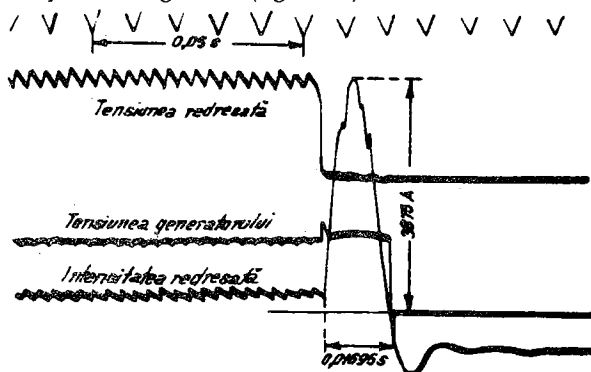


Fig. 9.5. Oscilograma tensiunii și curentului de scurtcircuit la un redresor de putere.

Scara ordonatei (y) se determină prin potrivirea sensibilității vibratorului iar scara timpului (abscisa x) se potrivește din turația tamburelor 7 și 9. Pentru marcarea timpului se întrebuințează un electromagnet și o lamelă cu oglindă plasate împreună cu vibratorul 5 într-un bloc comun. Lamelle oscilează cu o anumită frecvență, 100 sau 500 Hz după cum este selectat.

Se poate vizualiza chiar axa timpului cu ajutorul unei oglinzi fixe de zero. Raza reflectată de oglindă trasează pe bandă și pe ecran, linii drepte.

Oscilografele electromecanice, din cauza frecvenței limitată și construcției pretențioase nu sînt răspîndite.

9.2.3. Oscilograful catodic

Pentru vizualizarea mărimilor electrice variabile în timp se utilizează în prezent - ca aparat de măsurare și de observare - oscilograful catodic.

Oscilograful catodic a apărut în 1897 odată cu inventarea tubului catodic de K.F.Braun. Ulterior, în 1905, A.Wehnelt inventează sistemul de focalizare al electronilor în tubul catodic ameliorînd astfel performanțele oscilografului catodic.

Prin varietatea mărimilor electrice care pot fi determinate și ușurința cu care poate fi manevrat, oscilograful catodic s-a răspîndit larg în industrie, laboratoare sau alte domenii ca instrument independent sau element component dintr-o instalație de măsurat și control.

Mărimea electrică de măsurat modelează un fascicol de electroni sau mai multe care descriu pe ecranul unui tub catodic imagini cu numele de oscilograme.

Pentru că fascicolul de electroni nu are inerție, oscilograful cu tub catodic sau osciloscopul catodic poate vizualiza mărimi electrice periodice cu frecvențe pînă la sute de megahertzi. Oscilograful spre deosebire de osciloscop, înregistrează imaginea.

Instrumentul are impedanță mare de intrare, consum foarte mic în circuitul de măsurat, sensibilitate ridicată și posibilitatea amplificării sau atenuării potrivite a semnalului de studiat.

Pentru aceste caracteristici, osciloscopul catodic se folosește la studierea formei de undă a tensiunilor și curenților, impulsurilor, compararea amplitudinii, frecvenței, defazaajului sau la măsurarea tensiunii, curentului, frecvenței, defazaajului, gradului de modulație, distorsiunilor etc.

Oscilografele moderne cu afișare numerică au posibilitatea vizualizării formei semnalului dar poate afișa pe ecran și mărimile caracteristice: valoarea efectivă și de vîrf a tensiunii, frecvența, perioada, faza.

Tot categoriei osciloscopes moderne aparțin osciloscopesle cu eșantionare (frecvența de 5... 20 GHz) sau osciloscopesle cu memorie care permit memorarea imaginii pe ecran și ștergerea comandată a imaginii atunci cînd se studiază fenomenele tranzitorii.

Proprietățile de bază ale osciloscopeselor catodice sînt următoarele:

- vizualizarea mărimilor electrice periodice sau neperiodice de frecvențe foarte mari;
- vizualizarea simultană a două sau mai multe mărimi;
- sensibilitate ridicată;
- măsurarea în detaliu a curbelor de variație prin utilizarea atenuatoarelor, amplificatoarelor și bazei de timp calibrate;
- fotografierea oscilogramelor.

Precizia osciloscopeselor este de ordinul 3 - 8%.

- Schema bloc a osciloscopului catodic. În fig. 9.6 este prezentată schema bloc a unui osciloscop catodic modern prevăzut cu două intrări pentru deflexia spotului pe verticală și două baze de timp pentru deflexia spotului pe orizontală.

Semnalul de vizualizat pe ecranul osciloscopului se aplică pe o intrare sau în cazul a două semnale se utilizează ambele intrări A și B. Semnalele pot fi atenuate respectiv amplificate. Fiecare circuit sau cale a semnalului de la intrare pînă la plăcile de deviație pe verticală are un comutator de intrare, potențiometre de poziționare a spotului pe verticală, reglaj al amplificării, echilibrarea poziției spotului.

Semnalul pentru sincronizarea pe orizontală este obținut din semnalul intrării A sau B, este amplificat și aplicat la bazele de timp B_1 sau B_2 prin formatoarele de impulsuri "Sincro B_1 " sau "Sincro B_2 ".

Semnalele A și B, după amplificare sînt aplicate comutatorului electronic pe verticală care printr-o selectare convenabilă permite vizualizările:

- semnal A;
- semnal B;
- semnal A alternat cu B;
- semnal A comutat cu B;
- semnal $A + B$.

Din comutatorul vertical, semnalul este transmis amplificatorului pe verticală printr-o linie de întârziere iar de la amplificatorul pe verticală semnalul sau semnalele se aplică plăcilor de deviație pe verticală din tubul catodic.

Bazele de timp B_1 și B_2 permit devierea sau deflexia pe orizontală a spotului.

Din combinația celor două baze de timp B_1 și B_2 există mai multe variante de baleiere a spotului pe orizontală:

- baza de timp B_1 ;
- baza de timp B_1 și B_2 dar B_2 întârziată și mai luminoasă;
- baza de timp B_2 întârziată comandat;
- baza de timp B_1 mixată cu baza de timp B_2 ;
- baza de timp B_1 și B_2 scoase din funcțiune; baleierea spotului pe orizontală se realizează cu semnal extern.

Declanșarea celor două baze de timp este realizată de formatoarele de impulsuri "Sincro B_1 " și "Sincro B_2 " iar semnalul sau semnalele din cele două baze în formă de dinte de fierăstrău sînt amplificate în amplificatorul pe orizontală și apoi aplicate plăcilor de deflexie pe orizontală din tubul catodic.

Tubul catodic - care va fi descris în detaliu - vizualizează pe ecranul său, spotul electronic deviat de cele două plăci verticale și cele două plăci orizontale din interiorul tubului pe care se aplică semnalele de măsurat A sau B și semnalele de baleiere.

Tubul catodic este alimentat dintr-un convertizor de înaltă tensiune comandat parțial prin amplificatorul de aprindere sau stingere al spotului. Acest amplificator de aprindere este conectat la cele două baze de timp B_1 și B_2 .

Un alt circuit important al osciloscopului este calibratorul. Acesta furnizează un semnal de formă dreptunghiulară de amplitudine și frecvență cunoscute.

Pentru alimentarea circuitelor electronice, osciloscopul este prevăzut cu redresor pentru transformarea tensiunii alternative de rețea în diferite tensiuni continue.

- Tubul catodic constituie subansamblul cel mai important dintr-un osciloscop catodic. În interiorul acestei incinte - având o anumită geometrie - se realizează un vid înalțat (10^{-8} mm Hg) pentru a permite mișcarea liberă a purtătorilor de sarcină negativă - electronii.

Funcțional, se disting într-un tub catodic următoarele zone ale fascicolului de electroni (fig. 9.7).

- zona I - emisia și accelerarea;
- zona II - concentrarea;
- zona III - deflexia;
- zona IV - postaccelerarea;
- zona V - vizualizarea.

Zona I - emisia fascicolului de electroni. Se compune din filamentul F care încălzește indirect catodul C. Grila de comandă G de formă cilindrică este prevăzută cu un orificiu de trecere al electronilor spre anodul de accelerare A_1 . Grila de comandă - aflată la un potențial negativ față de catod - se mai numește electrod de comandă sau modulator. La creșterea diferenței de potențial între anodul A_1 și catodul C, fascicolul de electroni obținut din emisia termoelectrică devine mai intens și capătă o viteză de deplasare mai mare

$$v = \sqrt{\frac{2 e U}{m}} \quad (9.1)$$

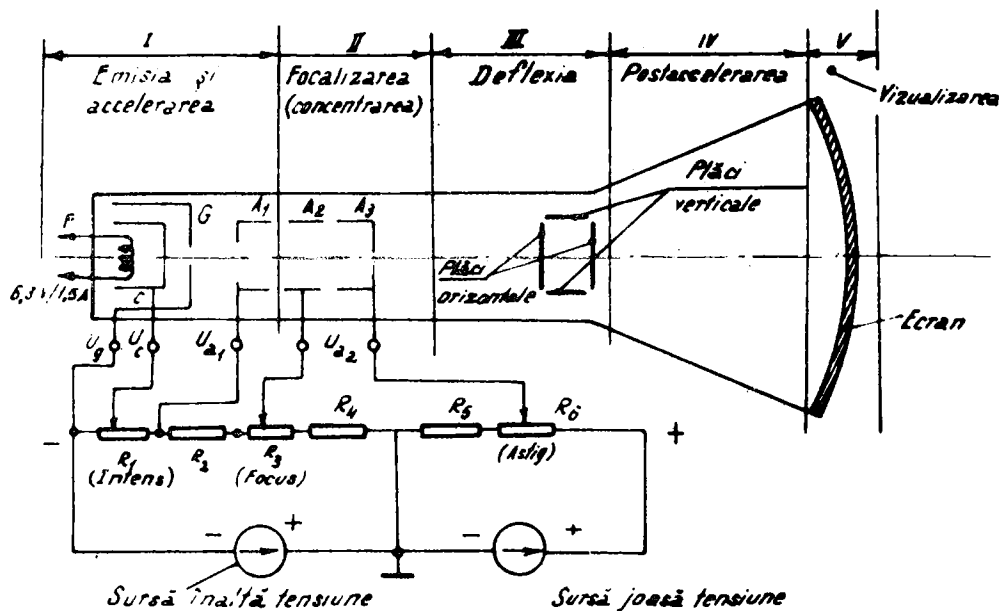


Fig. 9.7. Tubul catodic al osciloscopului.

în care:

v este viteza fascicolului de electroni (m/s);

U - diferența de potențial dintre anod și catod (V);

e - sarcina electronului (C); ($e = -1.6 \cdot 10^{-19}$ C);

m - masa electronului (kg). ($m = 9.1 \cdot 10^{-31}$ kg).

Intensitatea fascicolului de electroni se reglează din potențiometrul R_1 - accesibil pe panoul osciloscopului și marcat cu "INTENS" sau "LUMIERE" de la tăierea lui pînă la maxim.

Se recomandă ca intensitatea să nu fie maximă pentru că tubul catodic se va uza repede. Se va evita de asemenea punctul luminos intens de pe ecran.

Zona II - focalizarea fascicolului de electroni. Se folosesc anozii A_2 și A_3 ; A_2 pentru focalizare și A_3 pentru astigmatism. Prin reglarea tensiunii pe anozii A_2 și A_3 se concentrează fascicolul de electroni iar suprafețele echipotențiale care se comportă ca două lentile electrostatice va determina deplasarea electronilor chiar pe axa tubului catodic; pe ecranul tubului, traseul descris de spot va fi foarte fin.

Reglajul de focalizare de pe anodul A_2 este un reglaj brut iar cel de pe A_3 - astigmatismul - este un reglaj fin.

Din ambele reglaje se pot corecta și deformările ochiului operatorului.

Zona III - deflexia fascicolului de electroni. Se compune din două perechi de plăci: plăcile de deflexie verticală și plăcile de deflexie orizontală.

Un electron care pătrunde în câmpul electric al plăcilor de deviație verticală sau orizontală aflate la o diferență de potențial - de exemplu U_V - va fi deviat și se va mișca după o parabolă spre placa pozitivă.

La ieșirea din câmpul plăcilor de deflexie, electronul se va deplasa după o traiectorie liniară.

Zona IV - postaccelerarea fascicolului de electroni. Se utilizează pentru a mări luminozitatea spotului prin aplicarea unei tensiuni înalte pînă la 30 kV între ecranul tubului și catod; se poate utiliza o spirală rezistivă de 500 M Ω plasată pe suprafața interioară a tubului sau o grilă de cîmp - ecran metalic.

Zona V - vizualizarea fascicolului de electroni. Pe suprafața interioară a ecranului se aplică o substanță - luminofor - care se luminează cînd este bombardată cu electroni.

Se pot folosi substanțe fosforescente sau fluorescente după cum apare lumina în urma bombardării ecranului; la substanțele fosforescente, durata este de 10^{-8} iar la cele fluorescente de ordinul μs până la minute. Cel mai răspândit strat luminescent este tipul GH.

Pentru creșterea luminozității se depune un strat subțire de aluminiu peste stratul luminescent astfel ca lumina să fie reflectată înspre exterior. Stratul de aluminiu mai ajută și la disiparea căldurii degajată de spotul luminos atunci când bombardează ecranul.

În fig. 9.8 este prezentată variația intensității luminoase I a unei substanțe luminoase la un curent i în formă de treaptă.

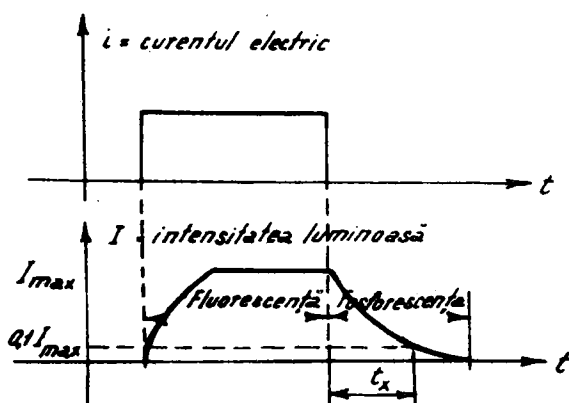


Fig. 9.8. Variația intensității luminoase a unei substanțe luminoase.

Intervalul de timp de la anularea curentului i și pînă la momentul cînd intensitatea luminoasă a scăzut la 10% din valoarea inițială se numește persistență.

Există tuburi cu remanență la care imaginea persistă secunde, zeci de secunde; la aceste tuburi luminozitatea imaginii scade după întreruperea fascicolului de electroni.

Pentru a înlătura influența câmpurilor magnetice perturbatoare, tubul catodic are un ecran magnetic exterior realizat dintr-un material feromagnetic. Se mai folosește - pentru compensarea diferitelor câmpuri magnetice exterioare - o bobină plasată pe gâtul osciloscopului și alimentată la o tensiune continuă reglabilă și masă.

Reglarea tensiunii continue se realizează - la unele osciloscoape - cu potențiometrul plasat pe panoul frontal al osciloscopului și denumit "ROTIREA SPOTULUI". La manevrarea acestuia, spotul se rotește în jurul centrului ecranului conform fig. 9.9.

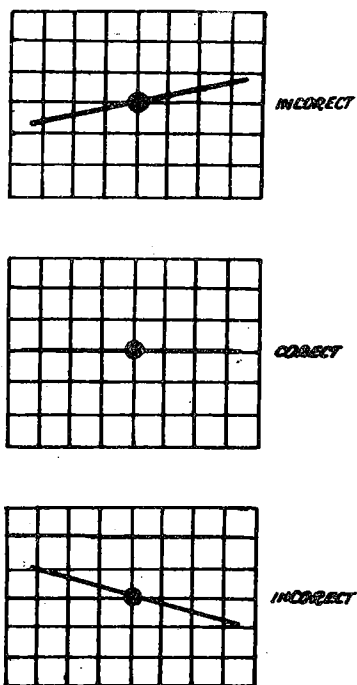


Fig. 9.9. Rotirea trasei spotului.

Cu ajutorul tubului catodic se pot reprezenta sub formă grafică fenomene de forma $Y = f(t)$ sau $Y = f(x)$. În acest scop se asociază tubului catodic trei axe în sistemul cartezian: axa timpului OX, axa amplitudinii semnalului de vizualizat OY și axa fascicolului de electroni OZ.

Tabelul 9.1

Osciloscop	Tip tub	U _{acțiune} [V]	U _{pozitive} [V]	Ecran			Sensibilitate		Reticul		Încălzire filament [V]
				formă	substanță culoare	Persisten- ță	X	Y	X	Y	
CRC OCT-569 Franța	DH/160GH9	+1500	10000	plată rectan- gular	fosforescen- ță verde	260 μs	15V/div	4V/div	10 div = 10 cm	8 div = 8 cm	6,3
E-0103 IEM	DH/130 GH		10000						10 div = 10 cm	8 div = 8 cm	6,3
E-0104 IEM		+1000		rectangu- lar alumini- izat					10 div = 5 cm	8 div = 4 cm	
S1-79 URSS	HL01011								10 div = 8 cm	6 div = 4,8 cm	
TESLA-BK148 Cehoslovacia	B 1358	+1500	15000	plată φ=120 mm		medie			10 div = 10 cm	6 div = 6 cm	
DT-516A Polonia	B 13552	+3700		φ=130 mm	fosfor				10 div = 10 cm	6 div = 6 cm	

Caracteristicile tuburilor catodice. Orice tub catodic este descris prin anumiți parametri. În tabelul 9.1 sînt prezentate cele mai reprezentative date de catalog ale tuburilor catodice cu care sînt echipate osciloscopul I.I.R.U.C.

În tabelul 9.2 este prezentat sistemul european de codificare a tuburilor catodice.

Tabelul 9.2.

Utilizarea sau construcția tubului	Dimensiunile ecranului (cm)	Număr de serie	Proprietățile ecranului	
			Culoarea fluorescenței	Alte caracteristici
A = tub cinescop D = tub catodic pentru osciloscop monospot E = tub catodic pentru osciloscop multispot L = tub cu memorie	- diagonala (ecran dreptunghiular) - diametrul (ecran circular)	1... 999	A = purpuriu B = albastru D = albastru-verde G = verde K = galben L = portocaliu	

*) Litera H se referă la persistența tubului.

- Deflexia pe verticală și pe orizontală a fascicolului de electroni.

Pentru prezentarea și studierea deflexiei spotului electronic pe verticală și orizontală se va utiliza o schemă bloc simplificată, folosită în primele osciloscopul catodice și prezentată în fig. 9.10.

Plăcile de deflexie verticală - plăcile Y_1 , Y_2 sau plăcile V - din interiorul tubului catodic primesc semnalul electric de la intrarea y după ce a fost mărit în amplificatorul y.

Pe plăcile de deflexie orizontală - plăcile X_1 , X_2 sau plăcile H - plasate de asemenea în interiorul tubului catodic se aplică un semnal electric de la intrarea x.

Această intrare x se conectează la un generator - bază de timp - notată " x -intern" sau o altă tensiune variabilă exterioară notată " x -extern",

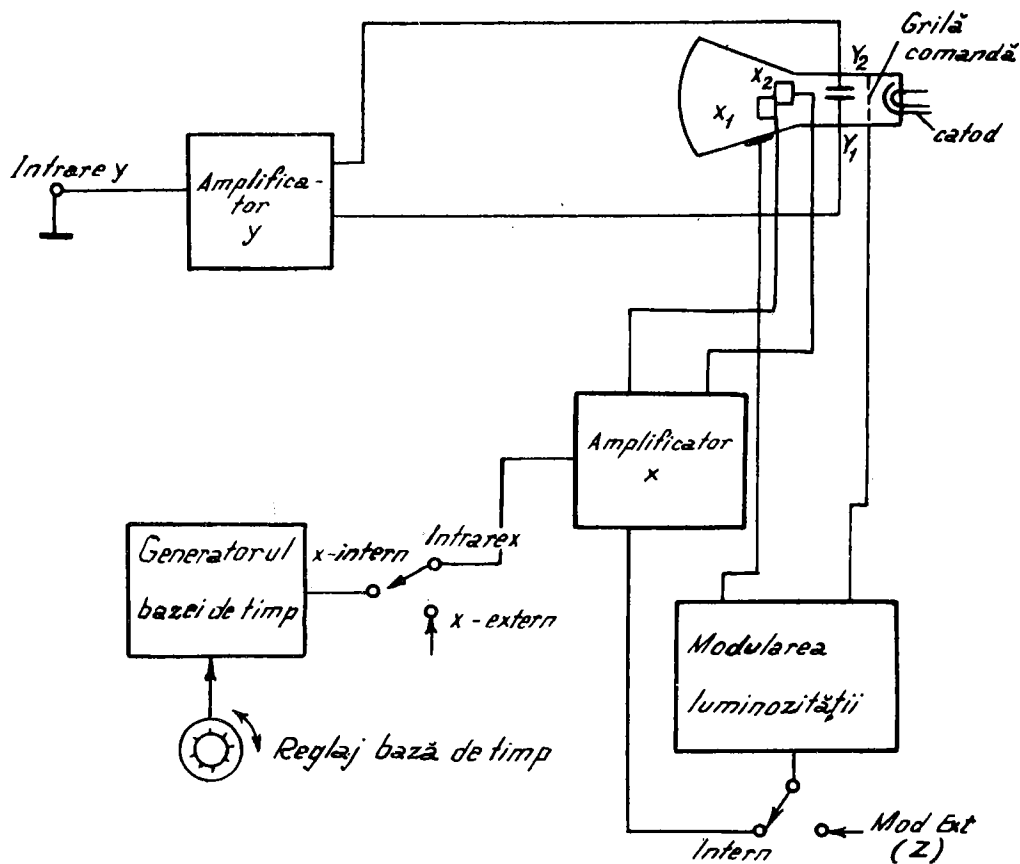


Fig. 9.10. Schema bloc simplificată a osciloscopului catodic.

Semnalul x provenit din generatorul bazei de timp (x -intern) sau din extern (x -extern) este amplificat - înainte de aplicare pe plăcile Y_1 , Y_2 - în amplificatorul x .

Tensiunea furnizată de baza de timp are forma tipică a unor dinți de fierăstrău (fig. 9.11).

În timpul cursei directe t_d , fascicolul de electroni se deplasează pe ecranul osciloscopului de la stînga la dreapta iar în timpul cursei inverse t_i (mult mai scurt) se deplasează de la dreapta la stînga.

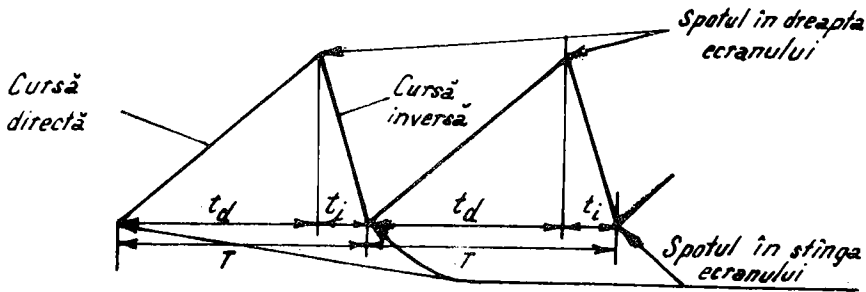


Fig. 9.11. Tensiunea în dinți de fierăstrău.

Timpul direct t_d împreună cu cel invers t_i formează perioada T a cursei de baleiaj.

Fascicolul de electroni care redă variația $y = f(t)$ este vizibil la cursa directă; în timpul cursei inverse, generatorul bazei de timp taie fascicolul de electroni și acesta nu se vede.

Pentru a obține imagine stabilă pe ecran trebuie ca frecvența semnalului y să fie egală sau multiplu al frecvenței bazei de timp. În acest scop generatorul - bază de timp - se poate regla manual cu ajutorul unui comutator amplasat pe panoul frontal al osciloscopului ("Reglaj bază de timp" în fig.9.10).

Dacă se cere ca fascicolul de electroni să descrie o altă curbă - de exemplu $y = f(x)$ - trebuie ca intrării x să se aplice un semnal exterior la borna "x-extern".

Schema bloc din fig. 9.10 prezintă un important dezavantaj: semnalul de vizualizat y nu este sincronizat cu semnalul x al generatorului bază de timp.

Din această cauză, obținerea unei imagini stabile este dificilă iar cînd se obține - din cauza unor mici variații în timp a perioadei bazei de timp x sau a semnalului y - se destabilizează foarte ușor.

Pentru înlăturarea acestui dezavantaj, s-a realizat în osciloscoapele moderne baza de timp declanșată sau "pornită" chiar de semnalul de studiat y . Uzual se folosește expresia "sincronizarea bazei de timp cu semnalul de studiat y ".

În mod practic se realizează o conexiune printr-un amplificator desincronizare plasat între amplificatorul y și generatorul bazei de timp (fig. 9.12) prin borna "intern".

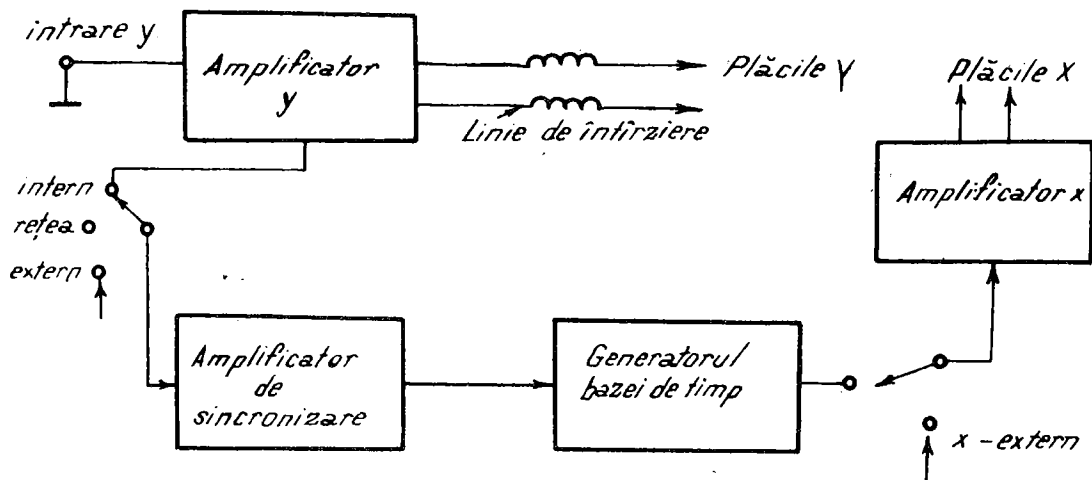


Fig. 9.12. Sincronizarea bazei de timp cu semnalul y (bază de timp declanșată).

Baza de timp se mai poate sincroniza cu semnal de la rețea (borna "rețea") sau - când se reprezintă o imagine pe ecran de forma $y = f(x)$ - cu semnal din exterior (borna "extern").

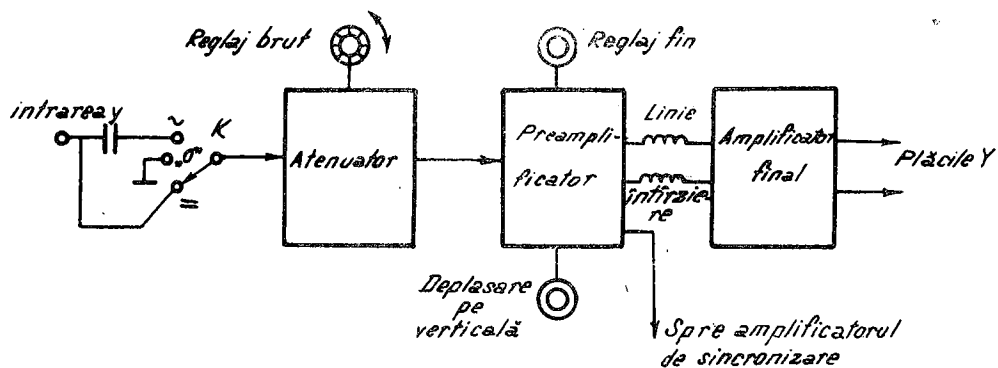
- Linia de întârziere. Semnalul x - din cauza timpului de declanșare al bazei de timp ($0,1 \mu s$) ajunge întârziat pe plăcile X_1, X_2 față de semnalul y , pe plăcile Y_1, Y_2 .

Pentru a ajunge simultan - altfel imaginea apare "știrbită" - se introduce o linie de întârziere în calea semnalului y (fig. 9.12).

- Deflexia pe verticală a fascicolului de electroni.

Sistemul de deflexie pe verticală a spotului într-un tub catodic este mai complex deoarece semnalul de studiat y nu are aceeași amplitudine, frecvență, formă etc.

În fig. 9.13 este prezentată schema bloc utilizată la realizarea acestei funcții într-un osciloscop catodic modern.



Pentru selectarea semnalului potrivit, s-a introdus comutatorul K prevăzut cu trei poziții: "~" - semnal y alternativ; "0" - lipsă semnal y (atenuator conectat la masă); "=" semnal y cu componentă continuă.

Atenuatorul din schemă - calibrat și compensat în frecvență - permite reglajul brut - în trepte - al coeficientului de deflexie pe verticală exprimat în V/div.

Pentru reglajul fin al coeficientului de deflexie preamplificatorul semnalului y s-a prevăzut cu potențiometrul "Reglaj fin" accesibil - ca și comutatorul - la panoul frontal.

Pentru încadrarea semnalului y pe ecranul osciloscopului se acționează tot un potențiometrul "Deplasarea pe verticală".

Se observă în fig. 9.13 linia de întârziere și amplificatorul final al semnalului y .

- Deflexia pe verticală a două fascicule de electroni. În unele aplicații din tehnică se cere vizualizarea a două sau mai multe semnale - de exemplu y_1 și y_2 . O soluție a fost utilizarea unui tub catodic multispot dar modern se folosește tubul catodic monospot împreună cu un comutator electronic pentru vizualizarea alternativă a mărimilor y_1 și y_2 (fig. 9.14). Inerția ochiului fiind mare - comparativ cu frecvența fenomenului studiat - operatorul are impresia că pe ecran sînt două imagini stabile ale celor două semnale y_1 și y_2 . În documentația tehnică și pe panoul osciloscopului se notează semnalele cu A și B în loc de y_1 și y_2 .

Modul de lucru al comutatorului electronic se fixează prin comutatorul K_3 de pe panoul frontal în una din următoarele poziții:

- poziția "A" - pe ecran se vizualizează numai A;
- poziția "B" - pe ecran se vizualizează numai B;
- poziția "Alt" - comutatorul electronic conectează "alternat" semnalul A și semnalul B la fiecare sfîrșit de cursă directă a bazei de timp (semnal x).
- poziția "Com" - comutatorul electronic comandă "comutarea" fascicolului cu o frecvență fixă (de exemplu 500 kHz) pentru vizualizarea lui A sau a lui B; se numește fascicol electronic "comutat";
- poziția "A+B" - comutatorul electronic permite vizualizarea semnalului adițional A+B.

Modul de lucru în poziția "Alt" este indicat pentru semnale de frecvență înaltă iar în poziția "Com" pentru semnale de frecvență mică (imaginea nu pîlpîie).

În fig. 9.15 este prezentată schema bloc de deflexie pe verticală a osciloscopului CRC "Schlumberger" OCT 569 A din dotarea I.I.R.U.C.

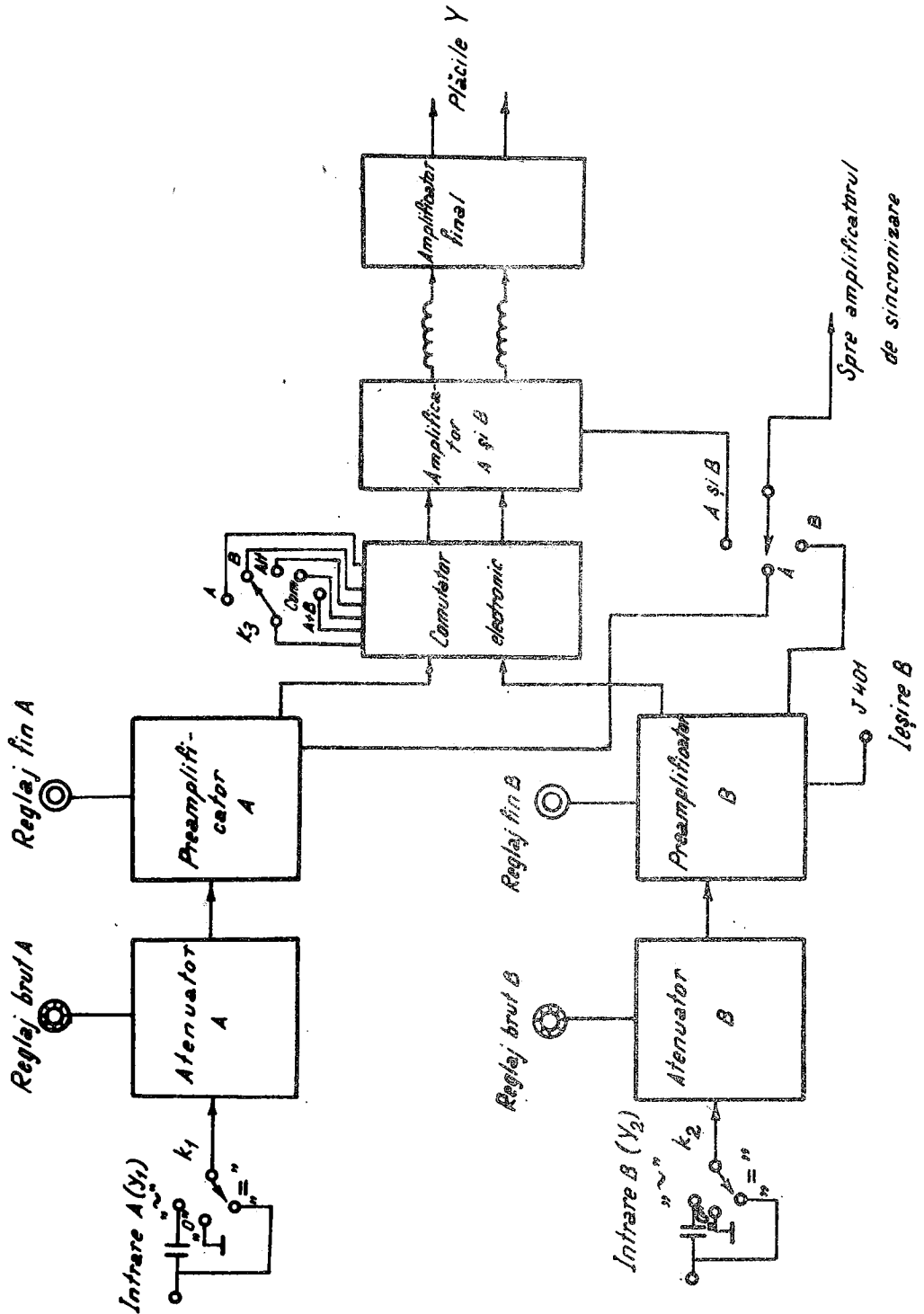


Fig. 9.14. Schema bloc pentru deflexia pe verticală a două spoturi.

Se disting următoarele comenzi manuale pentru devierea fascicolului electronic pe verticală (tabelul 9.3).

Tabelul 9.3.

Intrarea A	Intrarea B		Comanda
S101	S201	Volt/ div	Selectarea coeficientului de deflexie pe verticală
R127	R227	Etal	Potențiometrul pentru reglarea fină a coeficientului de deflexie pe verticală; în poziția "Etal" - poziția extremă la dreapta sensului acelor de ceasornic, comutatorul Volt/div este etalonat (becul este stins).
DS101	DS201	Non Etal	Lampă aprinsă când potențiometrul nu este în poziția "Etal".
R301	R401		Reglarea pe verticală a spotului.
S301		Norm-Inv	Selectarea polarității pentru semnalul A; polaritate normală sau inversată.
S103	S203	$\begin{matrix} = \\ 0 \\ \sim \end{matrix}$	Mod de conectare: " = " - semnal transmis integral; "0" - intrarea A deconectată și pusă la masă; "~" - blocarea componentei continue a semnalului.
S501		Modes	Selectarea modului de funcționare: A: numai semnal A; B: numai semnal B; Alt: (alternat) - vizualizare semnal A și B prin comutarea A cu B la fiecare baleiaj; Com: (comutat) - vizualizare semnal A și B prin comutarea spotului de pe A pe B cu o frecvență de 500 l/s; A+B: vizualizarea semnalului sumă; semnalul A plus semnalul B

continuare tabelul 9.3.

Intrarea A	Intrarea B		Comanda
S502		Sync	Selectarea semnalului de sincronizare interioară; A: semnalele A și B sincronizate de semnalul A; A+B: semnalele A și B sincronizate din semnalul amplificatorului A și B B: semnalele A și B sincronizate de semnalul B.
J401		Sortie B	Ieșire pentru semnal B (50 mV/div).
S601		Repère trace	Spotul se readuce pe ecran.

- Deflexia pe orizontală a fascicolului de electroni. Pentru a reda pe ecran o imagine a semnalului variabil în timp este necesar ca fascicolul electronic sau spotul care "desenează" graficul să se deplaseze cu viteză constantă - liniar - pe orizontala tubului. Se folosește în acest scop expresia, deflexie sau deviație a fascicolului sau spotului electronic pe orizontală.

După cum s-a prezentat, rolul de a devia spotul în interiorul tubului catodic pe orizontală este îndeplinit de plăcile X_1 , X_2 sau H. Între aceste plăci se crează un câmp electric (deviația electrostatică) ce acționează asupra electronului cu o forță de natură electrică determinând schimbarea direcției de mișcare astfel ca pe ecran să apară - în lipsa semnalului y - o linie orizontală.

Câmpul electric respectiv tensiunea electrică dintre plăcile orizontale necesară baleierii spotului electronic pe ecran este realizată într-un generator de baleiaj sau generator - bază de timp.

- Baza de timp. Pentru vizualizarea pe ecran a variației în timp a semnalului studiat (curent, tensiune etc.) - aplicat pe plăcile de deflexie verticală - trebuie să se aplice o tensiune liniar variabilă în dinți de fierăstrău pe plăcile de deflexie orizontală sau plăcile bazei de timp, tensiunea de baleiaj. Frecvența tensiunii de baleiaj sau bazei de timp trebuie să fie egală sau multiplu al frecvenței semnalului. Tensiunea de baleiaj are trei zone distincte (fig.9.16);

t_c - zona timpului de creștere; spotul luminos se deplasează de la stînga la dreapta ecranului cu viteză constantă - cursa directă; t_s - zona timpului de scădere; spotul revine în poziția inițială - cursa inversă; t_p - zona timpului de pauză - circuitele generatorului de baleiaj revin în poziția inițială.

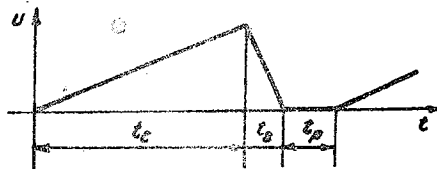


Fig. 9.16. Tensiunea de baleiaj.

Tensiunea de baleiaj cu o astfel de variație se numește cu pedestal.

În timpul cursei directe, spotul descrie pe ecran o linie când frecvența este ridicată și un punct care traversează ecranul orizontal după o linie: la frecvență redusă; de aici numele de bază de timp.

Tensiunea de baleiaj este produsă de generatoarele de baleiaj. Modern se folosesc generatoare de baleiaj cu integrator Miller dar prezintă interes didactic și alte generatoare de tip mai vechi.

- Generator de baleiaj cu tub cu neon (fig. 9.17)

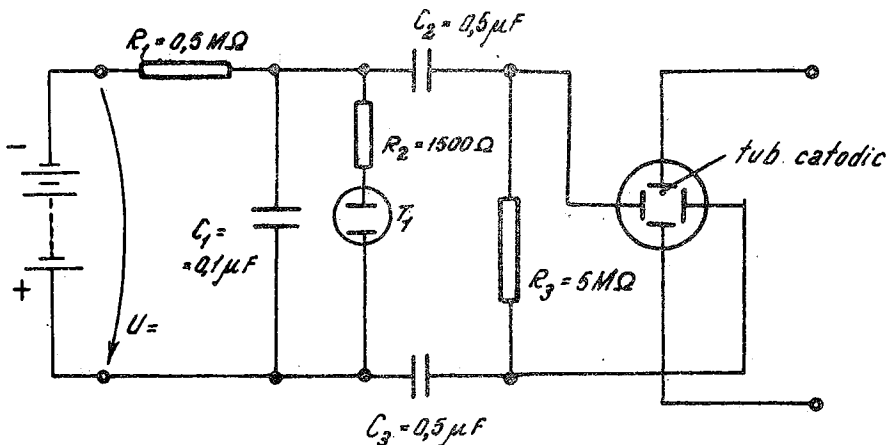


Fig. 9.17. Generator de baleiaj cu tub cu neon.

Condensatorul C_1 se încarcă pînă cînd tensiunea la bornele sale aprinde tubul cu neon. Tubul T_1 va descărca acest condensator pe rezistența R_2 pînă cînd se stinge.

Procesul se reia și se repetă pînă la încetarea alimentării condensatorului C_1 .

Grafic, variația tensiunii de baleiaj se prezintă ca în fig. 9.18.

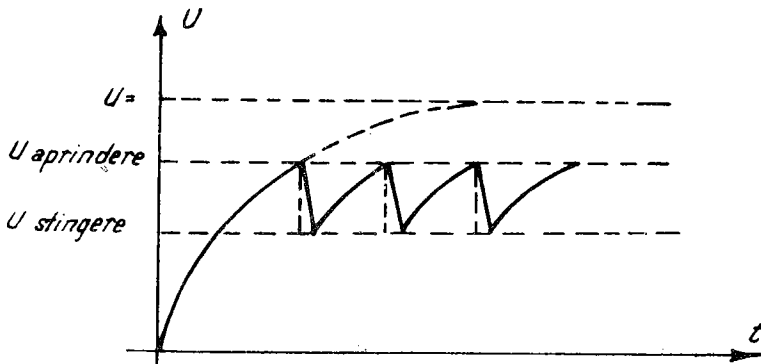


Fig. 9.18. Variația în timp a tensiunii generatorului de baleiaj cu tub cu neon.

Dezavantajul acestui tip de generator este frecvența redusă (maxim 10 kHz).

- Generatorul de baleiaj cu tuburi electronice (fig. 9.19). Pentru a obține frecvențe ridicate - în trecut - s-au folosit tuburile electronice.

Tensiunea de baleiaj U_{ies} se obține în acest caz de la bornele condensatorului selectat din grupul $C_1 \dots C_5$.

Cînd tubul este blocat prin tensiunea de negativare e_{int} , condensatorul selectat se încarcă prin rezistența R_2 .

La apariția unui impuls pozitiv e_{int} , tubul electronic T_1 intră în conducție și condensatorul se descarcă în timp mai mic față de încărcare ($R_{int} \ll R_2$).

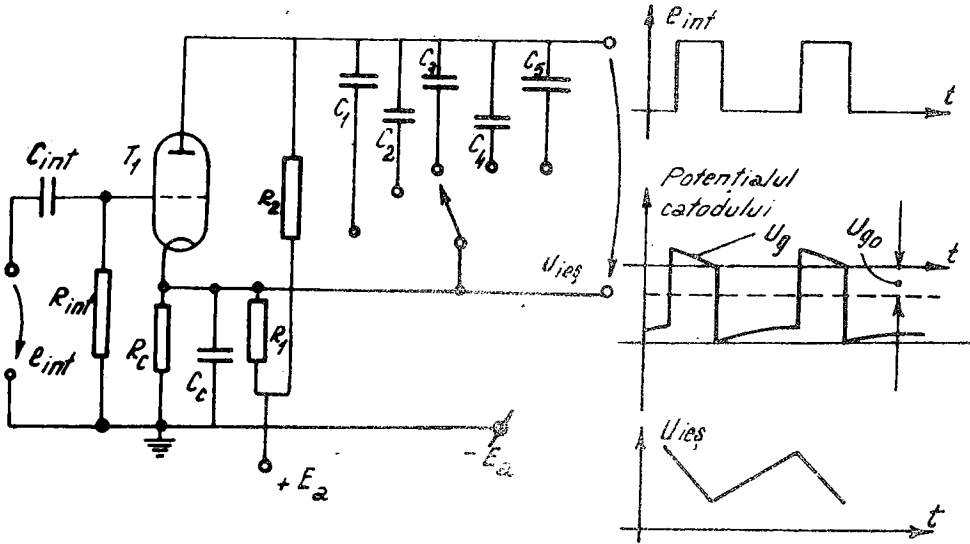


Fig. 9.19. Generator de baleiaj cu túburi electronice.

- Generator de baleiaj cu integrator Miller. Osciloscopaele moderne utilizează pentru producerea tensiunii de baleiaj un generator cu integrator Miller (fig. 9.20). Tensiunea de baleiaj U_{ies} se obține în acest caz de la bornele condensatorului selectat din grupul $C_1 \dots C_3$.

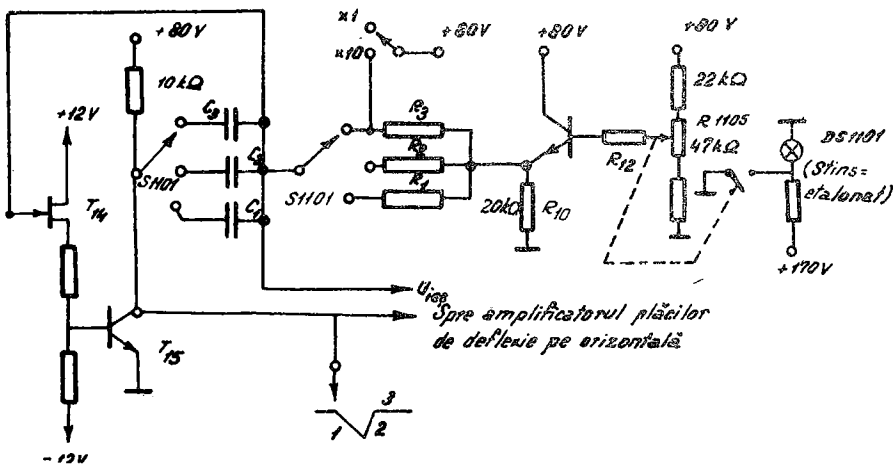


Fig. 9.20. Generator de baleiaj cu integrator Miller.

Cînd tranzistorul T_{15} este blocat, condensatorul selectat se încarcă de la tensiunea + 80 V. Comanda bazei de timp se realizează prin impuls aplicat pe baza tranzistorului T_{14} . În timpul 1 (fig. 9.20) tranzistorul T_{14} este deschis iar T_{15} blocat; tensiunea de baleiaj crește linear. Invers, tranzistorul T_{15} este deschis, timp în care condensatorul selectat se descarcă rapid și procesul se repetă.

Reglajul fin se realizează cu potențiometrul R 1105 tot de pe panoul frontal. Baza de timp se consideră etalonată atunci cînd lampa DS 1101 nu este aprinsă.

- Extensia coeficientului de baleiaj. Coeficientul de baleiaj al bazei de timp este raportul dintre timpul direct t_d al tensiunii de baleiaj și distanța corespunzătoare pe ecranul tubului catodic. Coeficientul de baleiaj se măsoară în s/div, ms/div sau μs /div.

În fig. 9.20 extensia se realizează prin introducerea unei tensiuni pozitive (+ 80 V) în grupul de rezistențe Miller ($R_1 \dots R_3$) cu ajutorul întreruptorului S 1201 (extensia $\times 10$).

Cînd întreruptorul S 1201 este în poziția "x 10" coeficientul de baleiaj se înmulțește cu 10 ($\times 10$).

Împreună cu circuitul de sincronizare sau triggerare generatorul bazei de timp constituie partea importantă a schemei bloc de deflexie pe orizontală a fascicolului de electroni.

- Sursa semnalului de sincronizare. Pentru sincronizarea bazei de timp (semnalul x) cu semnalul de studiat y, se utilizează semnalul y obținut de la amplificatoarele pe verticală, de la rețea sau poate fi un semnal extern. Selecția se realizează din comutatorul K_1 (fig. 9.21).

Poziția "Int" (interior). Semnalul de sincronizare provine de la amplificatoarele pe verticală și este chiar semnalul de studiat y. Acest semnal poate fi din intrarea A, din intrarea B sau din ambele intrări A și B. B.

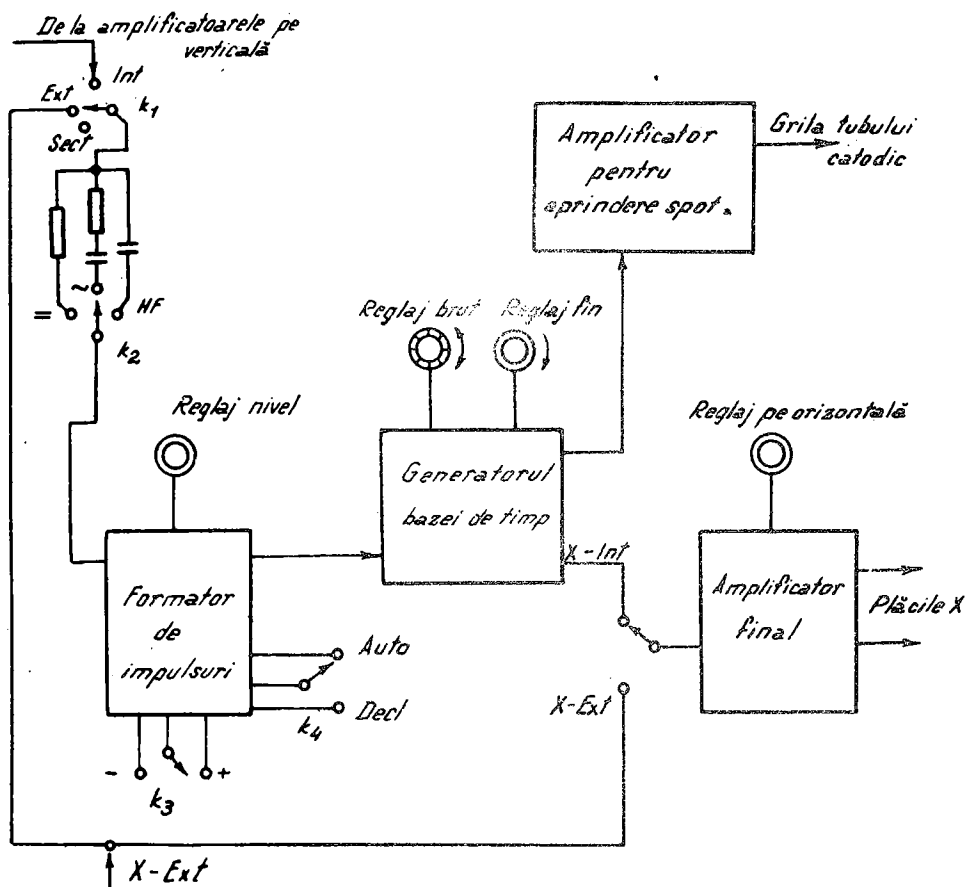


Fig. 9.21. Schema bloc pentru deflexia pe orizontală.

Poziția "Sect" (linie sau rețea). Semnalul de sincronizare se obține de la rețeaua de curent alternativ de 50 Hz. Se folosește mărimi de intrare pentru care este necesară o sincronizare cu frecvența rețelei de 50 Hz sau cândtrebuie să se extragă dintr-un semnal complex numai componentele de 50 Hz sau multiplul acestei frecvențe.

Poziția "Ext" (exterior). În această poziție a comutatorului K_1 , baza de timp va fi declanșată de un semnal de sincronizare exterior, o sursă de tensiune exterioară.

Permite selectarea anumitor impulsuri din semnalul de studiat y sau când acesta are o amplitudine mică, **insuficientă** pentru a declanșa baza de timp la orice manevră de reglare a nivelului sincronizării (descrisă în continuare).

În fig. 9.22 este prezentată imaginea unui impuls extras din semnalul de studiat y cu ajutorul impulsului de sincronizare "Ext".

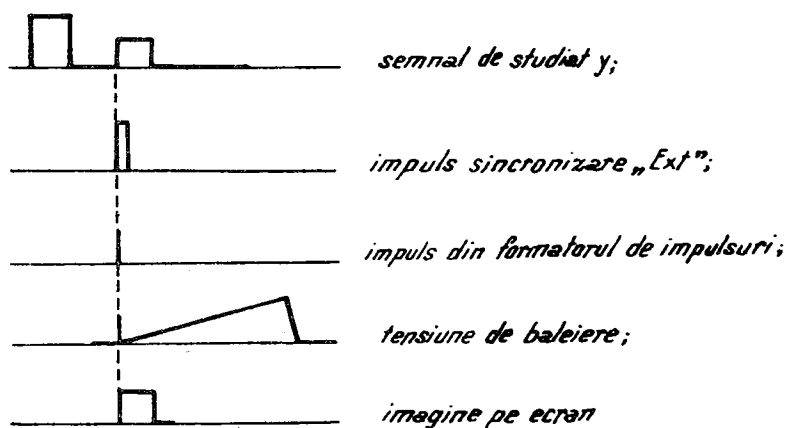


Fig. 9.22. Impuls vizualizat pe ecran cu semnal de sincronizare aplicat din exterior.

Metoda "Ext" se poate utiliza pentru vizualizarea semnalelor care își schimbă mereu faza sau amplitudinea.

Poziția "Ext/10" (exterior 1/10). Se utilizează când semnalul din exterior este prea puternic. În această poziție semnalul este atenuat de 10 ori (Această bornă nu este prezentată în fig. 9.21).

Borna de intrare pentru semnalul de sincronizare din exterior ("Ext", "Entrée AX") se introduce la unele osciloscopice și în amplificatorul pe orizontală. În acest caz, comutatorul "Fonctions" se aranjează în poziția "AX" iar comutatorul K_1 în poziția "Ext" sau "Ext/10".

- Selectarea frecvenței de sincronizare. Cu K_2 se selectează modul de cuplare al formatorului de impulsuri cu semnalul de sincronizat: " = " - cuplaj în curent continuu; " ~ " - cuplaj în curent alternativ; "HF" - cuplaj pentru semnale cu frecvențe înalte.

- Reglajul nivelului de sincronizare. Pentru reglajul nivelului de sincronizare se utilizează potențiometrul "Reglaj nivel".

Dacă nivelul de sincronizare este prea mic se produce o dublă declanșare a bazei de timp (fig. 9.23 a) ceea ce determină o imagine ireală.

În fig. 9.23 b este prezentat un nivel de sincronizare corect; aici se obține o imagine corectă a semnalului de vizualizat.

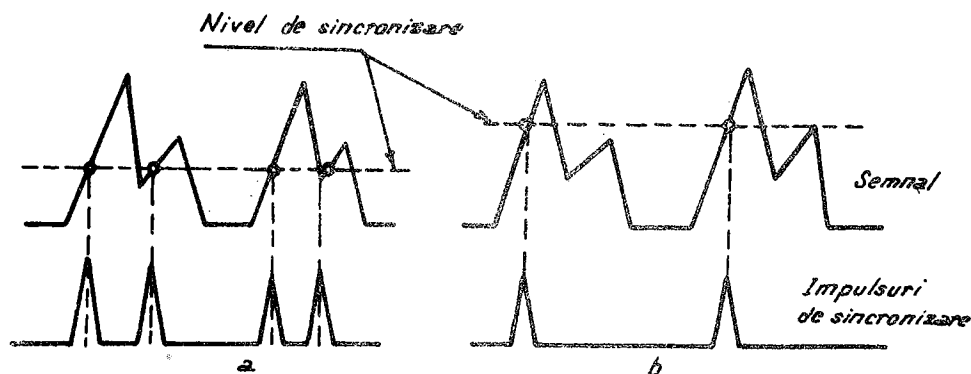


Fig. 9.23. Influența nivelului de sincronizare asupra declanșării bazei de timp.

- Sincronizarea cu frontul impulsului. Sistemul de deflexie pe orizontală este prevăzut cu un comutator K_3 pentru selectarea frontului pe care se declanșează baza de timp; pentru poziția "+" pornirea bazei de timp se realizează pe frontul crescător iar pentru "-" pornirea se face pe frontul scăzător.

În fig. 9.24 este prezentată combinația dintre reglajele "Nivelul sincronizării" ("LEVEL"; "SEUIL") și sincronizarea cu frontul semnalului (SLOPE). Alăturat este redată imaginea semnalului și momentul declanșării bazei de timp.

- Declanșarea automată a bazei de timp. Cu ajutorul comutatorului K_4 se selectează modul de funcționare a bazei de timp; pe poziția "Decl" baza de timp este pornită de semnalul de sincronizare iar pe poziția "Auto" baza de timp pornește singură, devine autooscilantă. Această poziție se utilizează atunci când lipsește semnalul de vizualizat iar pe ecran trebuie să apară o linie realizată de deplasarea spotului electronic de semnalul de baleiere creat de baza de timp.

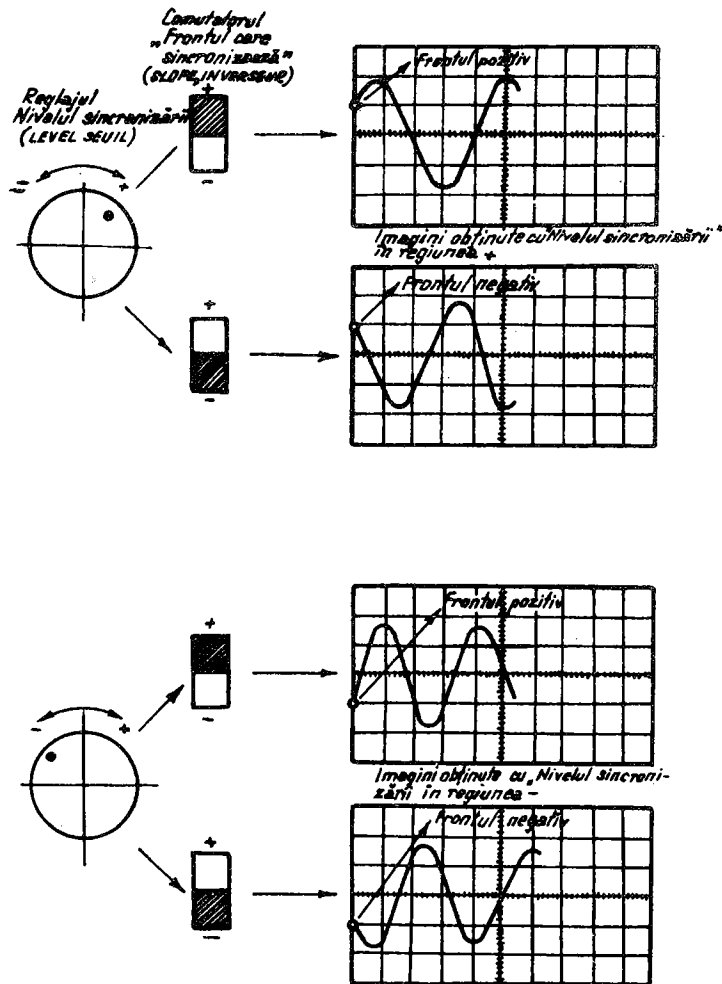


Fig. 9.24. Sincronizarea cu frontul semnalului.

Poziția "AUTO". În absența semnalului de studiat y , baza de timp autooscilează iar pe ecranul tubului catodic apare o linie. La apariția semnalului de vizualizat la intrarea A sau B se modifică frecvența proprie de oscilație și sincronizarea bazei de timp se realizează dependent de frecvența semnalului extern.

Poziția "DECL". În această poziție nu mai are loc autooscilația; baza de timp este comandată numai de impulsurile create de formatorul de impulsuri respectiv de semnalul de vizualizat.

- Aprinderea spotului electronic. Generatorul bazei de timp comandă prin intermediul amplificatorului pentru aprinderea spotului electronic, grila de comandă a tubului catodic (cilindrul Wehnelt). Comanda este realizată numai pe durata cursei directe a spotului; la cursa inversă spotul este stins pentru ca imaginea pe ecran să fie clară.

- Reglajul coeficientului de deflexie pe orizontală. Pentru a selecta durata baleierii spotului pe ecran se folosește comutatorul în trepte "Reglaj brut" și potențiometrul "Reglaj fin". Coeficientul de deflexie se exprimă în durată/diviziune și are o plajă de $0,1 \mu\text{s}/\text{div} \dots 2 \text{ s}/\text{div}$.

- Sistem de deflexie cu două baze de timp. Osciloscopul cu două baze de timp B_1 și B_2 au posibilitatea vizualizării normale și întârziate a semnalului de studiat. În fig. 9.6 a fost prezentată schema bloc a unui osciloscop echipat cu două baze de timp.

După modul în care este baleiat și intensificat spotul electronic, cele două baze de timp se pot grupa în mai multe variante.

Numai B_1 . Osciloscopul funcționează normal așa cum s-a prezentat în descrierile anterioare. În fig. 9.25 este prezentat spotul electronic baleiat numai de baza B_1 .

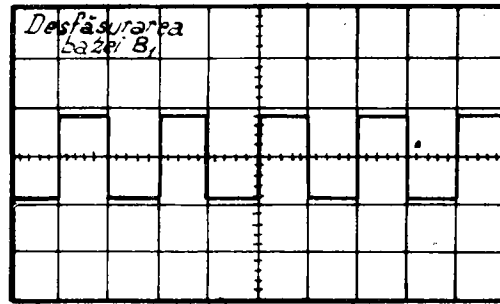


Fig. 9.25. Numai baza de timp B_1 .

B_1 intensificată de B_2 . Semnalul se vizualizează cu baza de timp B_1 dar pe durata cât are loc baleierea cu baza de timp B_2 , spotul este intensificat (fig. 9.26).

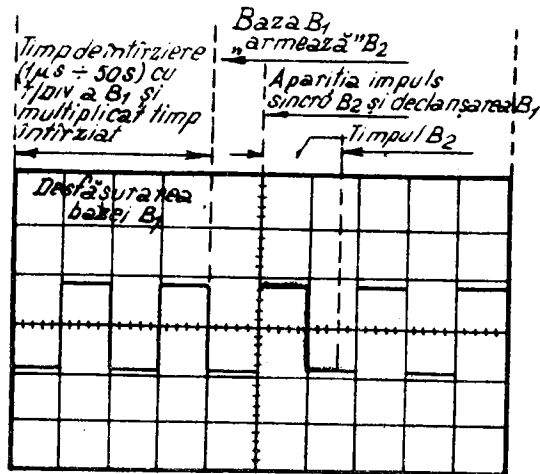


Fig. 9.26. Baza de timp B_1 intensificată de baza de timp B_2 .

B_2 întârziată. Funcționează numai baleiajul B_2 și se observă în detaliu partea de semnal selectată în poziția " B_1 intensificat de B_2 " (fig. 9.27).

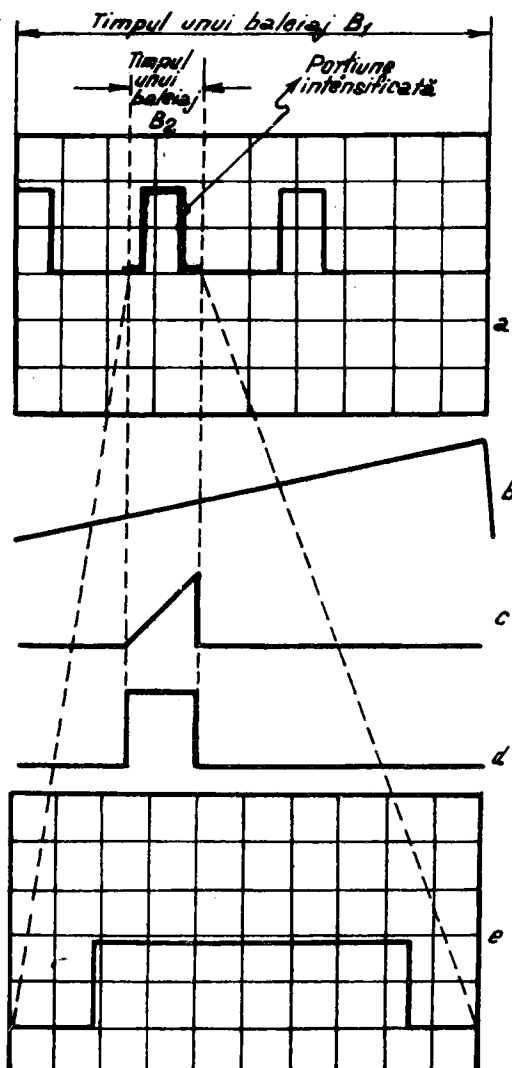


Fig. 9.27. Baza de timp B_2 întârziată.

Semnificația celor patru reprezentări grafice sînt următoarele:

- a - imagine pe ecranul osciloscopului pentru poziția "B₁ intensificat de B₂";
- b - cursa directă a bazei de timp B₁;
- c - cursa directă a bazei de timp B₂;
- d - impulsul transmis pe grila de comandă a tubului catodic pentru intensificarea spotului cu durată egală cu a bazei de timp B₂;
- e - imagine pe ecran fixată la punctul a și mărită aparent.

- Calibrarea osciloscopului. Pentru măsurări precise osciloscopul catodic este prevăzut cu o sursă de tensiune internă cu frecvența de 1 kHz și toleranță 0,5% și amplitudinea tensiunii egală cu $1\text{ V} \pm 1\%$ sau $0,1\text{ V} \pm 1\%$.

Pe panoul frontal se prevăd două borne notate cu "IESIRE CALIBRATA", "CALIBRATEUR", "CAL OUT" de unde se obține tensiunea care se aplică pe una din intrările A sau B ale osciloscopului. Dacă pe panoul osciloscopului nu este scrisă frecvența "1 kHz" pentru etalonare în frecvență trebuie să se apeleze la un generator de frecvență etalon.

În fig. 9.28 este prezentată schema calibratorului intern al osciloscopului catodic CRC "Schlumberger" OCT 569 A.

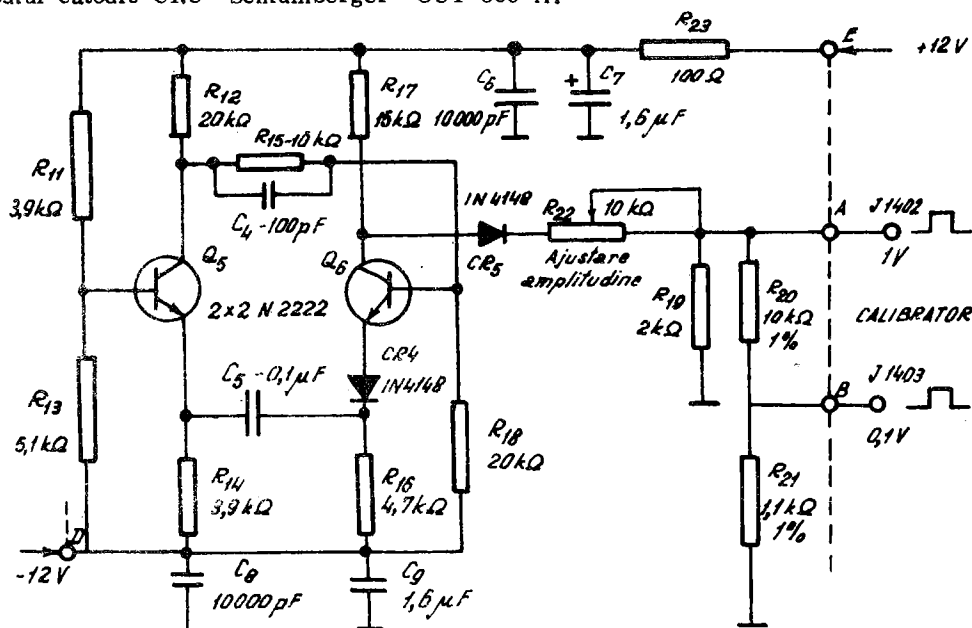


Fig. 9.28. Calibratorul osciloscopului CRC "Schlumberger" OCT 569 A.

- Sonde pentru osciloscopul catodic. Legătura electrică dintre circuitul de măsurat și bornele de intrare ale osciloscopului catodic se realizează astfel ca circuitul studiat să nu influențeze măsurarea. De asemenea, sînt necesare - în anumite măsurări - atenuări ale tensiunilor măsurate neinfluențate de frecvență.

În acest scop s-au realizat sondele de măsurare sau testare ale osciloscopului catodic: fără atenuare (1/1) sau cu atenuare (1/10).

În fig. 9.29 este prezentată sonda de măsurat pentru osciloscopul catodic.

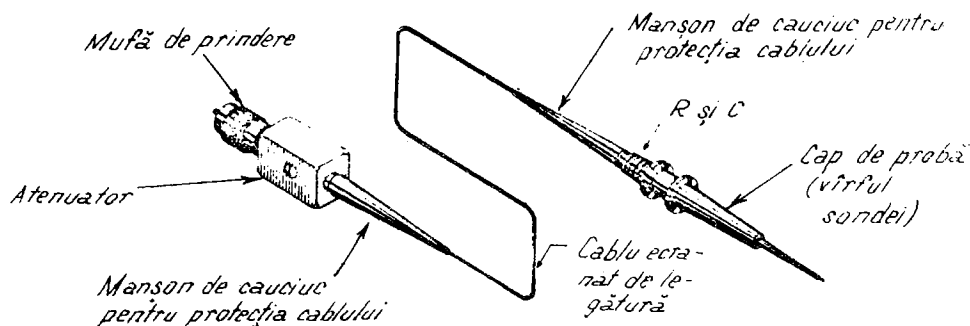


Fig. 9.29. Sonda de măsurat pentru osciloscopul catodic.

- Sonda de măsurat fără atenuator (1/1). Acest dispozitiv se compune dintr-un cap de probă, cablu de legătură și o mufă de prindere la osciloscop pe intrarea A sau B.

În capul de probă este plasat circuitul RC ($1 \text{ M}\Omega / 20 \text{ pF}$).

Acest tip de sondă este indicat pentru semnale cu amplitudine mică și joasă frecvență.

- Sonda de măsurat cu atenuator (1/10). Acest tip de sondă se utilizează pentru atenuarea semnalului de intrare fără a-l distorsiona într-o gamă largă de frecvență prin realizarea unei compensări de frecvență.

Schema echivalentă a sondei cu atenuator 1/10 în care s-a inclus impedanța de intrare a osciloscopului este prezentată în fig. 9.30.

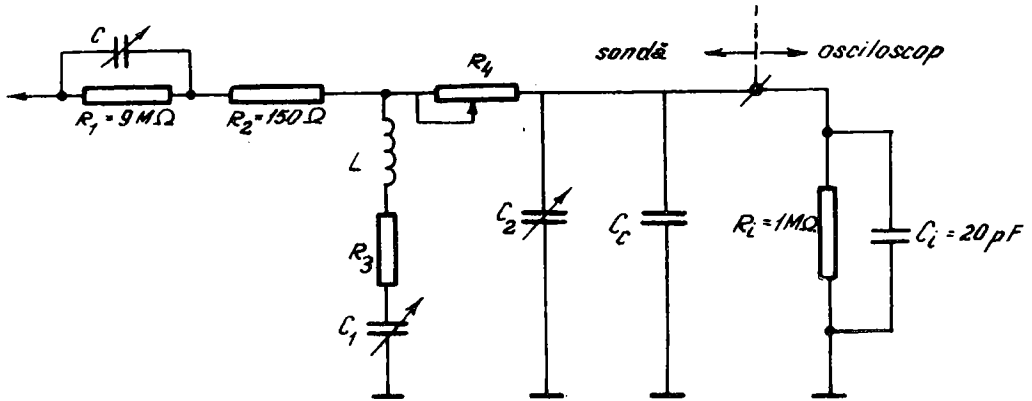


Fig. 9.30. Schema echivalentă a sondei cu atenuator 1/10 și compensare în frecvență.

Componentele schemei sînt următoarele:

R_i , C_i - rezistența și capacitatea de intrare a osciloscopului (la osciloscopia moderne $R_i = 1 \text{ M}\Omega$ și $C_i = 20 \text{ pF}$);

$R_1 = 9 \text{ M}\Omega$ - rezistența sondei, împreună cu $R_i = 1 \text{ M}\Omega$ formează un divizor potențiometric cu atenuare 1:10;

C_c - capacitatea cablului de legătură a sondei;

C - capacitatea variabilă pentru compensarea capacităților C_i și C_c ; compensarea se realizează cînd $R_1 C = R_i (C_i + C_c)$;

$R_2 = 150 \Omega$ - rezistență cu efect antirezonant pentru o frecvență corespunzătoare lungimii de undă;

$$\lambda = \frac{1}{4} \times \text{lungimea cablului};$$

L , R_3 și C_1 - inductivitate, rezistență și capacitate conectate între firul cald al cablului sondei și masă pentru amortizarea oscilațiilor la frecvențe înalte;

R_4 , C_2 - rezistență și capacitate introduse pentru compensarea impedanței L , R_3 și C_1 .

Constructiv aceste elemente se introduc în sondă (fig. 9.31).

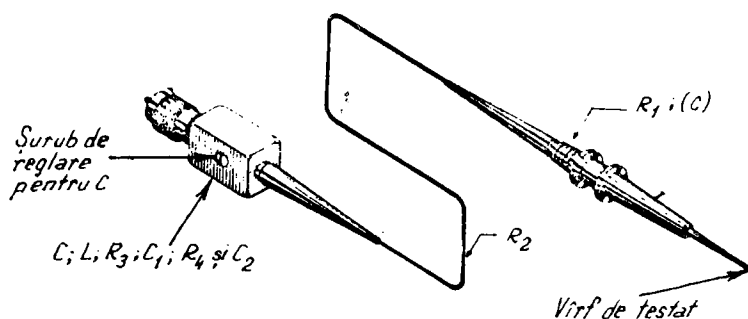


Fig. 9.31. Sondă de măsurat pentru osciloscopul catodic cu atenuator 1/10.

Rezistența de divizare $R_1 = 9 \text{ M}\Omega$ se montează în vîrfurile sondei.

Capacitatea variabilă C pentru compensare se montează împreună cu L , R_3 , C_1 , R_4 și C_2 în atenuator; la unele sonde această capacitate C se introduce împreună cu rezistența R_1 în vîrfurile sondei.

Rezistența cu efect antirezonant $R_2 = 150 \Omega$ este materializată chiar de firul cald sub formă de fir rezistiv; la unele sonde această rezistență este concentrată și conectată în circuitul firului cald. Șurubul de reglare al condensatorului variabil C este accesibil operatorului (fig. 9.31) și cu ajutorul acestuia se obține imaginea corectă pe ecranul osciloscopului catodic (fig. 9.32). Trebuie ca periodic sau cînd sonda se utilizează cu alt osciloscop să se compenseze în frecvență cu ajutorul condensatorului de compensare C .

Cînd se utilizează sonda pentru prima oară la studiul unui semnal trebuie să se compenseze sonda. În acest scop se va folosi calibratorul - sursă de semnale crenelate - parte componentă a osciloscopului. Dacă semnalul nu este pătrat, cu ajutorul șurubului de reglaj a condensatorului de compensare C se compensează sonda pînă cînd semnalul nu mai este distorsionat. Totodată trebuie ca indicațiile osciloscopului de pe ecran să fie înmulțite cu 10 atunci cînd se lucrează cu sonda 1/10.

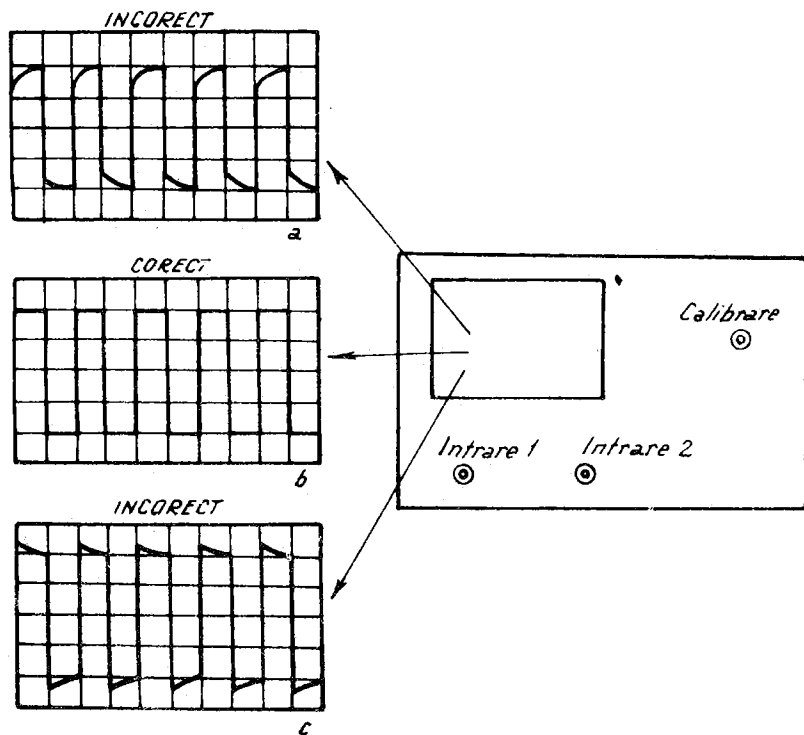


Fig. 9.32. Vizualizarea corectă a semnalului prin reglarea sondei cu ajutorul condensatorului C.

Caracteristicile principale pentru cele două tipuri de sondă sînt redată în tabelul 9.4.

Tabelul 9.4.

Caracteristica	Sonda 1/1	Sonda 1/10
Atenuare pentru $f = 1 \text{ kHz}$	-	$10 \pm 5\%$
Bandă de trecere	50 MHz	100 MHz
Impedanța de intrare	$1 \text{ M}\Omega / 50 \text{ pF}$	$10 \text{ M}\Omega / 10 \text{ pF}$
Tensiune maximă ^{*)}	1 000 V	750 V
Stricare front impuls testat	10 ns	$2 \div 3 \text{ ns}$

*) Această tensiune nu trebuie depășită.

- Reglarea sondei cu atenuator (1/10). Pentru a efectua măsurări de calitate cu sonda 1/10 sînt necesare următoarele:

- "INTRAREA A sau B"; se conectează sonda 1/10;
- "CALIBRATOR" (CALIBRATEUR); se pune vîrfurile sondei 1/10;
- "VOLT/DIV"; se așează pe o poziție convenabilă;
- " = ; 0; \sim "; se așează în poziția " = ";
- "TIMP/DIV"; se așează pe o poziție convenabilă;
- "NIVEL"; se reglează pentru a obține imagine stabilă.

Se rotește șurubul de pe corpul sondei pînă se obține imaginea din fig. 9.32 b.

Se recomandă pentru frecvențe mari sau fronturi abrupte ale semnalului - conectarea firelor de masă cît mai aproape de vîrfurile de testat ale sondei; se vor utiliza în acest scop accesoriile sondei.

Tipuri de osciloscopiae. După destinație sau construcție, osciloscopiae catodice se clasifică în:

- osciloscopiae catodice în timp real;
- osciloscopiae cu eșantionare;
- osciloscopiae cu microprocesoare;
- analizoare spectrale;
- osciloscopiae cu mai multe canale;
- osciloscopiae cu memorie.

- Osciloscopiae catodice în timp real se caracterizează prin dependența dintre fiecare punct al imaginii de pe ecran și fiecare valoare a semnalului vizualizat. Majoritatea osciloscopiaelor folosite în practica industrială sau laboratoare sînt osciloscopiae catodice în timp real.

- Osciloscopiae cu eșantionare sînt utilizate pentru vizualizarea semnalelor cu frecvențe mai mari de 500 MHz în locul osciloscopiaelor catodice în timp real - limitate din cauza elementelor componente. Osciloscopiae cu eșantionare selectează eșantioane din semnalul de frecvență mare și afișează pe ecran date în legătură cu poziția comutatoarelor, (Volți/div, timp/div), depășirea ecranului etc.

- Osciloscopia cu microprocesoare. Sînt cele mai moderne aparate de măsura. Pe ecranul acestor osciloscopia se afişează scările pe care se lucrează, amplitudinea, valoarea medie sau eficace a tensiunii, durata şi frontul unor impulsuri, frecvenţa semnalelor, efectuarea unor calcule despre semnalele afişate.

- Analizoare spectrale. Sînt tot osciloscopia care permit afişarea pe ecran a distribuţiei puterilor sau amplitudinilor semnalului pentru spectrul de frecvenţă corespunzător acestui semnal.

- Osciloscopia cu mai multe canale. Se foloseşte pentru vizualizarea simultană a două sau mai multe mărimi pe ecran. Majoritatea au două canale de semnal dar sînt osciloscopia cu 4 sau 8 canale.

La aceste osciloscopia se foloseşte tubul catodic monospot cu comutator electronic sau tubul catodic multispot.

- Osciloscopia cu memorie. Reţin forma semnalelor cu variaţie periodică sau aperiodică. După memorare se poate studia variaţia în timp a semnalului, se pot compara semnale apărute la momente diferite, afişarea unui semnal cu frecvenţă redusă pentru a evita fenomenul de "pîlpire".

După felul memoriei, osciloscopia se clasifică în osciloscopia cu memorie analogică şi osciloscopia cu memorie numerică.

9.2.4. Modul de utilizare a osciloscopiilor catodice

Pentru utilizare, anumite comutatoare, întreruptoare, butoane ale osciloscopului catodic necesare comenzilor se vor aşeza într-o anumită poziţie înainte de începerea măsurărilor. S-a folosit exemplul osciloscopului CRC "Schlumberger" OCT 569 A (fig. 9.33).

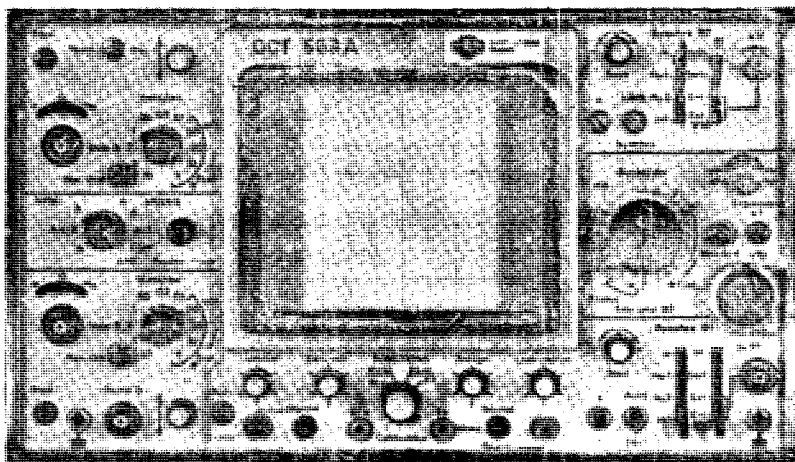


Fig. 9.33. Comutatoarele, întreruptoarele, butoanele osciloscopului catodic CRC "Schlumberger" OCT 569 A (panou frontal).

- Comenzile tubului catodic (fig. 9.34 și tabelul 9.5).

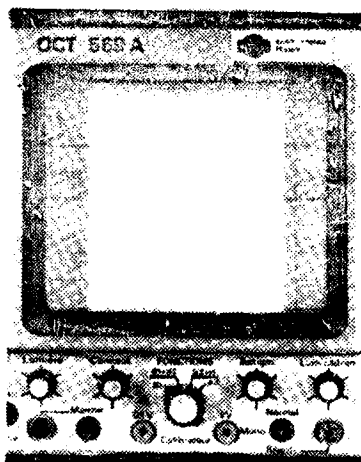


Fig. 9.34. Comenzile tubului catodic.

Tabelul 9.5.

Comanda	Poziția
Luminozitate (Lumièrre, INTENSITY)	invers acelor de ceasornic - maxim -
Focalizare (Concent, FOCUS)	mijloc
Astigmatism (Astigm, ASTIG)	mijloc
Luminare ecran (Lum cadran, SCALE)	sensul acelor de ceasornic - maxim -

NOTA:

În fig. 9.34 comenzile tubului catodic sînt scrise în limba franceză. În tabelul 9.5 s-au scris comenzile în limba română (limba franceză, limba engleză). Se va proceda tot așa în continuare.

- Intrare semnal A și B (Voie A et B, CHANNEL A et B) (fig. 9.35 și tabelul 9.6).

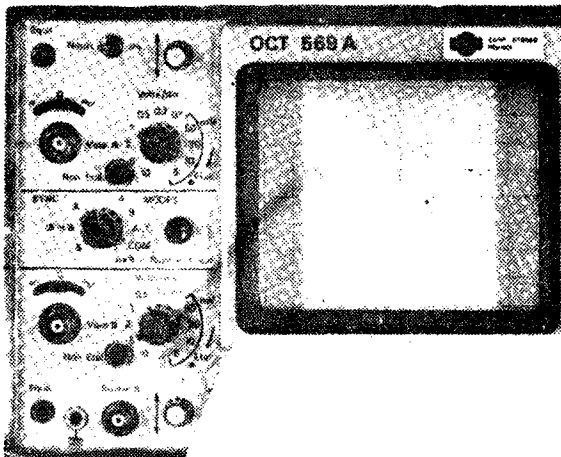


Fig. 9.35. Comenzile pentru intrarea A și B.

Tabelul 9.6.

Comanda	Poziția
Modul desfășurării pe verticală - MOD - (MODES, VERTMODE)	"A"
Sincronizare - SINCRO - (SYNC ; TRIGGER)	"A+B"
Polaritatea semnalului (Norm/Inv ; POL)	"Norm"
V/DIV (Volts/div ; V/cm) pentru intrarea A	20 mV/div
V/DIV (Volts/div ; V/cm) pentru intrarea B	20 mV/div
Variabil V/DIV (variable Volts/div)	"Etal"
Poziție spot pe verticală - POZITIE - (POSITION)	mijloc
Modul cuplajului semnalului cu intrarea (Liaison d'entrée)	"="

- Baza de timp B_1 și B_2 ; sincronizarea bazei de timp (fig. 9.36 și tabelul 9.7.).

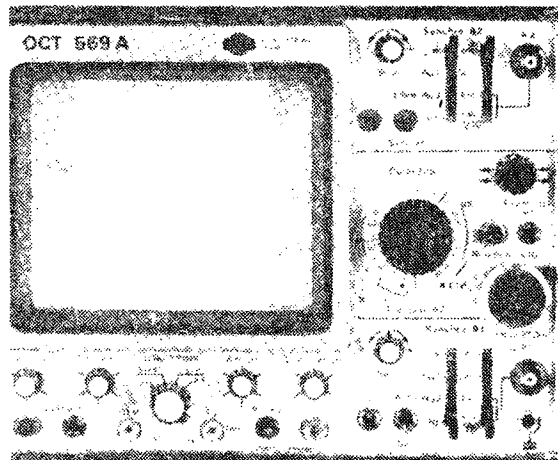


Fig. 9.36. Comenzile pentru baza de timp B_1 , B_2 , sincronizare.

Tabelul 0.7.

Comanda	Poziția
Modul baleierii pe orizontală (FONCTIONS)	"B ₁ "
Modul sincronizării bazei de timp B ₁ (Auto/Decl)	"Auto"
Sursa semnalului de sincronizat B ₁ (Int-Sect-Ext-Ext 1/10)	"Int"
Frontul care sincronizează B ₁ (+/-)	"+"
Nivel sincronizare B ₁ (Seuil, LEVEL)	"+"
TIMP/DIV (Durée/div, TIME/cm) a bazei B ₁	1 ms
TIMP/DIV a bazei B ₂	1 ms
Variabil TIMP/DIV (Variable Durée/div) a bazei B ₁	"Etal"
Mărirea dimensiunii pe orizontală (Expansion)	"x 1"
Multiplicarea x 1 a întârzierii în timp - B ₁ ("1 tour = = 1 Div de B ₁ ")	"1"
Poziția spotului pe orizontală	mijloc
Sursa semnalului de sincronizat B ₂ (Int-Sect-Ext-Ext 1/10)	"Int"
Modul cuplajului cu sursa de sincronizare B ₂	"="
Frontul care sincronizează B ₂ (+/-)	"+"
Nivel sincronizare B ₂ (Seuil, LEVEL)	"+"
Variabil TIMP/DIV (Variable Durée/div) a bazei B ₂	"Etal"
Mărirea dimensiunii pe orizontală (MAGN)	maxim

- Punerea sub tensiune a osciloscopului
- Se pune pe tensiunea rețelei schimbătorul de tensiune al osciloscopului catodic;
- Se pune întreruptorul de rețea în poziția "PORNIT" (Marche);

- După câteva minute se manevrează comutatoarele, întreruptoarele, butoanele;

- După 20 minute se fac măsurări.

- Reglajul trasei fascicolului de electroni (TRASE) fig. 9.33.

- "Luminozitate (Lumière)"; se roteşte pentru a obţine pe ecran trasa fascicolului de electroni;

- "0,1 V - Calibrateur"; se conectează la intrarea A (voie A);

NOTA:

Pentru osciloscopice cu alte tensiuni ale calibratorului se va poziţiona "Volts/div" - intrarea A - în mod corespunzător;

- "Nivel sincronizare B₁ (Sensl)"; se reglează pentru a obţine o trasă stabilă;

- "Focalizare (Concent)", "Astigmatism (Astigm)"; se reglează pentru a obţine o trasă fină;

- Se deconectează ieşirea calibratorului "0,1 V";

- "Rotirea spotului (Rot Trace)"; se reglează pentru suprapunerea trasei pe carolajul ecranului;

- Echilibrarea amplificatorului vertical A şi B

Intrare A (Voie A, CHANNEL A)

- "Variabil - V/DIV (Variable Volts/div)"; se roteşte în poziţia de neetalonare (extrema stîngă); becul "Non Etal" se aprinde;

- "V/DIV (Volts/div)"; se comută în toate poziţiile; trasa spotului nu trebuie să se mişte; contrar, se roteşte "Variable Durée/div";

- "Modul cuplajului semnalului cu intrarea"; se aşează în poziţia "=";

- "Variabil V/DIV (variable Volts/div)"; se trece în poziţia "Etal";

- "V/DIV (Volts/div)"; se selectează poziţia "20 mV/DIV";

- se conectează ieşirea calibratorului "0,1 V" la intrarea A;

- "Poziţie spot pe verticală"; se reglează pînă se obţin 5 diviziuni în amplitudine pe verticală şi 10 perioade pe orizontală;

- "Modul cuplajului semnalului cu intrarea"; se selectează poziția "0"; se aduce trasa pe centrul ecranului;

- "Modul cuplajului semnalului cu intrarea"; se revine din poziția "0" în poziția "=";

Se procedează **analog** pentru intrarea B.

- Legarea în cascadă a intrării A cu intrarea B (fig. 9.35)

- se conectează ieșirea B (Sortie B) cu intrarea A (Voie A) printr-un cablu coaxial cu două mufe;

- "V/DIV (Volts/div)"; dacă ambele comutatoare (intrare A și B) sînt pe poziția 5 mV/div, sensibilitatea este 0,5 mV/div.

- Funcționarea alternată a intrării A cu intrarea B (fig. 9.35)

- V/DIV (Volts/div); ambele comutatoare (A și B) se poziționează pe "50 mV/div";

- "Modul desfășurării pe verticală (MODES)"; se selectează poziția "ALT";

- se obțin 2 trase ale spotului pe ecran;

- "TIMP/DIV (Durée/div)"; se comută pe fiecare poziție pentru verificarea funcționării poziției "ALT";

- Funcționarea comutată a intrării A cu intrarea B (fig. 9.33)

- "Modul desfășurării pe verticală (MODES)"; se așează în poziția "COM";

- "TIMP/DIV (Durée/div)"; comutatorul bazei de timp B_1 se așează pe una din pozițiile μs (exemplu, $10 \mu s$); trasa fascicolului electronic apare decupată;

- "Sincronizare - SINCRO - (SYNC)"; se așează în poziția "A"; decupajul dispare.

- Adunarea algebrică a intrării A cu intrarea B (fig. 9.33)

- "TIMP/DIV (Durée/div)"; comutatorul bazei de timp B_1 se așează pe poziția 0,5 ms;

- "Modul desfășurării pe verticală - MOD -, (MODES)"; se așează pe poziția "A+B";
- amplitudinea verticală va avea 4 diviziuni;
- "Polaritatea semnalului (Norm/Inv); se trece în poziția "Inv"; trasa va fi o linie dreaptă; se revine în poziția "Norm".

Sincronizarea bazei de timp B_1 (fig. 9.36)

- "Modul desfășurării pe verticală (MODES)"; se așează pe poziția "A";
- "Sincronizare - SINCRO - (SYNC; TRIGGER)"; se selectează poziția "A+B";
- "V/DIV (Volts/div), A"; se selectează poziția "20 mV/div";
- "Nivel sincronizare B_1 (Seuil)"; se manevrează; la extreme se constată desincronizarea imaginii;
- "Modul sincronizării bazei de timp B_1 (Auto/Decl)"; se trece de pe poziția "AUTO" pe poziția "DECL"; semnalul va apare pe ecran numai dacă este sincronizat; se revine pe poziția "AUTO" și se reglează sincronizarea pentru a avea imagine stabilă;
- "Frontul care sincronizează B_1 "; se comută de pe "+" pe "-"; vizualizarea semnalului începe cu frontul negativ; se revine pe "+"; semnalul începe cu frontul pozitiv;
- "Modul cuplajului cu sursa de sincronizare B_1 "; se selectează poziția "=";
- "Poziția spotului pe verticală"; prin manevrare, imaginea se desincronizează; se constată astfel că sincronizarea este influențată de componenta continuă a semnalului;
- se aduce trasa fascicolului electronic în centrul imaginii;
- "Sincronizare - SINCRO (SYNC; TRIGGER); se selectează poziția "A+B"; sincronizarea dispăre;
- se conectează ieșirea "1 V" (Calibrateur)"; la borna intrarea semnalului de sincronizare din exterior;
- "Sursa semnalului de sincronizat B_1 "; se trece în poziția "Ext" sincronizarea este corectă; se folosește - dacă este necesar - "Nivel sincronizare B_1 (Seuil, LEVEL);

- "Sursa semnalului de sincronizat B_1 "; se trece în poziția "Ext 1/10" dacă sincronizarea este mică;

- "Sursa semnalului de sincronizat B_1 "; se revine în poziția "Int".

Sincronizarea bazei de timp B_2

Se realizează - similar - aceleași comenzi ca pentru sincronizarea bazei de timp B_1 .

Mărirea dimensiunii pe orizontală (Expansion)

- "TIMP/DIV (Durée/div)"; se selectează poziția "10 ms";

- "Mărirea dimensiunii pe orizontală (Expansion); se selectează poziția "x 10";

- Pe ecran va apare o imagine corespunzătoare poziționării comutatorului "TIMP/DIV (Durée/div)" în poziția "1 ms" și "Mărirea dimensiunii pe orizontală (Expansion)" în poziția "x 1".

NOTA:

Expansiunea imaginii se va face în raport cu centrul carolajului ecranului.

Balelajul întârziat al bazelor de timp B_1 și B_2

- "Modul baleierii pe orizontală (FONCTIONS)"; se selectează poziția " $B_1 + B_2$ " (baza de timp B_1 + baza de timp B_2 intensificat);

- "TIMP/DIV (Durée/div)" al bazei B_2 ; se selectează poziția "0,1 ms"; o parte a trasei spotului apare supraluminată și ocupă aproximativ 1 diviziune.

- "1 tour = 1 Div" din baza de timp B_1 ; la manevrare, partea supraluminată se va deplasa în lungul trasei între cele două capete;

- se reduce luminozitatea;

- "Modul sincronizării bazei de timp B_2 (Libre/Synchro)"; se trece în poziția "Synchro"; la rotirea butonului "1 tour = 1 Div" partea supraluminată va trece de pe frontul pozitiv pe frontul negativ următor;

- "Frontul care sincronizează B_2 (+/-)"; se trece din poziția "+" (crescător) în poziția "-" (descrescător); partea supraluminată va trece - de asemenea - de pe frontul pozitiv pe frontul negativ următor;
- "Nivel sincronizare B_2 " (Seuil, LEVEL); supraluminarea dispăre la extremitățile din stînga și dreapta ale butonului potențimetrului;
- "Modul baleierii pe orizontală (FONCTIONS); se selectează poziția " B_2 întîrziat (B_2 ret.)"; partea din semnal întîrziat apare pe ecran;
- "1 tour = 1 Div de B_1 "; se rotește butonul dar partea din semnal întîrziată rămîne fixă pe ecran;
- "Modul cuplajului cu sursa de sincronizare B_2 "; se selectează poziția "=";
- "Multiplicarea x 1 a întîrzierii în timp - B_1 (1 tour = 1 Div de B_1)"; se rotește butonul; partea din semnal întîrziat se deplasează pe ecran continuu;

Baleiajul monodeclanșat (un singur baleiaj)

- "Modul baleierii pe orizontală (FONCTIONS); se selectează poziția " B_1 ";
- "Comutatorul Normal-Mono-Rearmare (Normal-Mono-Réarm)"; se poziționează pe "Mono"; trasa dispăre;
- "Normal-Mono-Réarm"; se trece în poziția "Réarm"; pe ecran apare un singur baleiaj care dispăre;
- "Modul sincronizării bazei de timp B_1 (Auto/Decl); se trece pe poziția "Décl";
- "Intrarea B"; se deconectează semnalul;
- "Normal-Mono-Réarm"; se rearmează; se aprinde lampa;
- "Intrarea B"; se conectează semnalul; apare un singur baleiaj care dispăre; lampa se stinge.

Amplificatorul X

- "Modul baleierii pe orizontală (FONCTIONS)"; se selectează poziția " A_x ";
- "Sursa semnalului de sincronizat B_2 "; se selectează poziția "Ext";

- Se conectează ieșirea "0,1 V" (calibrateur) la intrarea A sau intrarea B și la intrarea "Ax" ale osciloscopului;

- "Poziția spotului pe orizontală"; se centrează trasa pe orizontală;
- "Poziția spotului pe verticală"; se centrează trasa pe verticală;
- "Sursa semnalului de sincronizat B_2 "; se trece pe poziția "Ext 1/10"
- se va diviza cu 10 mărimea deviației pe orizontală.

Se conectează "ieșirea B" cu "intrarea Ax"; deviația pe orizontală este comandată prin intrarea B;

- "Modul baleierii pe orizontală (FONCTIONS); se selectează poziția " B_1 ";

- se conectează ieșirea "0,1 V" (calibrateur) la intrarea A sau B;
- "Volts/div"; se selectează poziția "50 mV/div";

Aducerea trasei pe mijlocul ecranului

- "Volts/div" intrare A și B; se selectează poziția "10 mV/div; trasa nu este vizibilă;

- Aducere spot pe mijlocul ecranului (Repère Trace); trasa apare; se folosește această manevră pentru a determina direcția în care se află trasa pentru a fi adusă în limitele ecranului.

Modulația externă (Mod Ext) fig. 9.37

- "Modul baleierii pe orizontală (FONCTIONS); se selectează poziția B_1 ;

- "Volts/div"; se selectează poziția "1 V/div";
- se reduce luminozitatea;
- "Modulație externă (Mod Ext)"; se aplică un semnal de 5 V vîrf la vîrf - minim - panoul din spate și pe intrarea B;

- Modularea fascicolului electronic se constată din stingerea părților pozitive și supraluminarea părților negative ale semnalului.

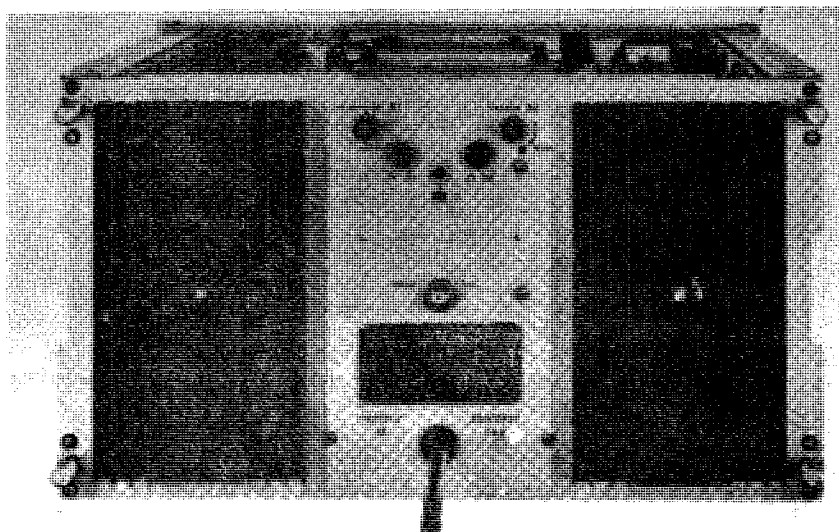


Fig. 9.37. Partea din spatele osciloscopului catodic CRC "Schlumberger" OCT 569 A.

NOTA:

Pe panoul din spatele osciloscopului sînt plasate butoane de reglaj, borne pentru semnal, schimbătorul de tensiune

- "Amplitudine B_1 (Amplitude B_1)"; potențiometrul pentru reglarea amplitudinii tensiunii de baleiaj B_1 ;

- "Vernier B_2 "; potențiometrul pentru reglarea progresivă a vitezei de baleiere B_2 ; poziția extremă la dreapta (sensul acelor de ceasornic) = comutatorul "TIMP/DIV (Durée/div) B_2 " are pozițiile etalonate;

- " $\square B_1$; $\square B_2$ "; borne pentru tensiuni de aprindere (formă de creneluri); perioadă egală cu a tensiunii de baleiaj B_1 și B_2 ;

- "Mod Ext"; bornă de intrare pentru modularea intensității fascicolului electronic;

- "110/127 V și 220/240 V"; schimbătorul de tensiune.

9.2.5. Aplicații ale osciloscopelor catodice

- Măsurarea tensiunii electrice se poate realiza în mai multe moduri: direct, prin comparație și prin suprapunere.

Măsurarea directă se efectuează prin citirea amplitudinii sau nivelului - pentru tensiune continuă - pe ecranul osciloscopului calibrat în prealabil. Calibrarea se realizează cu semnal obținut din sursa de calibrare internă și aplicat pe intrarea de deflexie a spotului pe verticală (intrarea A sau B).

Măsurarea prin comparație cu o tensiune calibrată se efectuează astfel: se aplică pe intrarea A sau B semnalul de măsurat și se reglează imaginea cu comutatorul Volt/div până când se obține o imagine clară și stabilă.

Fără a modifica poziția comutatorului, se aplică pe aceeași intrare A sau B semnalul obținut de la o sursă etalon dar reglabilă. Se reglează sursa până când pe ecran se obține un semnal de amplitudine egală cu a semnalului necunoscut. Se citește apoi tensiunea sursei etalon reglate cu ajutorul unui voltmetru de precizie. Tensiunea măsurată va fi egală cu tensiunea necunoscută a semnalului.

Măsurarea prin suprapunere. Peste semnalul necunoscut se aplică o tensiune continuă calibrată și se măsoară valoarea tensiunii calibrate cu un voltmetru de curent continuu.

Măsurarea tensiunii vîrf la vîrf. Pentru măsurarea tensiunii vîrf la vîrf U_{vv} (fig. 9.38) se poziționează comenzile osciloscopului astfel:

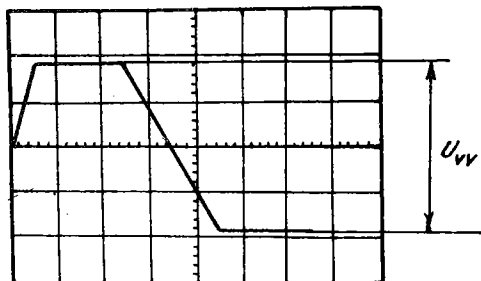


Fig. 9.38. Tensiunea vîrf la vîrf vizualizată pe ecran.

- "Intrare A sau B"; se conectează prin sondă semnalul de măsurat;
- "MODES"; se poziționează pe intrarea selectată A sau B;
- "Volts/div"; comutatorul intrării selectate A sau B se poziționează astfel ca pe ecran semnalul să acopere 5 diviziuni;
- "= 0; \sim "; comutatorul "mod cuplaj cu intrarea" se fixează pe poziția " \sim ";
- "Nivel"; se rotește până se stabilizează imaginea;
- "Durée/div"; comutatorul bazei de timp B_1 se așează pe o poziție până se obține pe ecran câteva perioade ale semnalului;
- "Poziție spot"; se reglează până când pe ecran partea inferioară a impulsului coincide cu linia orizontală a caroiajului aleasă ca linie de referință pentru măsurare;
- "Variabil V/DIV"; potențiometrul se reglează până când lampa "Etalonat" se stinge;
- se numără diviziunile pe verticală între vîrfurile impulsurilor;
- se calculează tensiunea vîrf la vîrf a tensiunii măsurate;

$$U_{VV} = \text{nr. diviziuni/ecran} \times \text{indicația "Volts/div"} \times \text{atenuare sondă}$$

Exemplu:

- nr. diviziuni/ecran = 4,6 div;
- indicația 0,5 V/div;
- atenuare sondă = 1:10

$$U_{VV} = 4,6 \text{ div} \times 0,5 \text{ V/div} \times 10 = 23 \text{ V}$$

Măsurarea tensiunii continue. Pentru măsurarea tensiunii continue U_{CC} (fig. 9.39) se poziționează comenzile osciloscopului conform celor prezentate la măsurarea tensiunii vîrf la vîrf cu următoarele deosebiri:

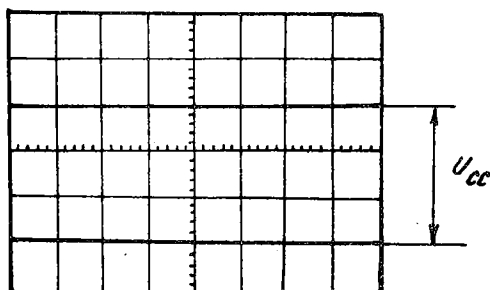


Fig. 9.39. Tensiunea continuă U_{cc} vizualizată pe ecran.

- "=" ; 0 ; \sim "; comutatorul "mod cuplaj cu intrarea" se fixează pe poziția "0";
- "Auto Decl"; comutatorul "modul sincronizării bazei de timp B_1 " se poziționează pe "Auto";
- "Poziție spot"; se reglează pentru aranjarea spotului pe verticală în mod convenabil;
- "=" ; 0 ; \sim "; comutatorul "mod cuplaj cu intrarea" se va trece în poziția "=";
- "Nivel"; se rotește pînă cînd imaginea se stabilizează;
- "Durée/div": comutatorul bazei de timp B_1 se așează pe o poziție convenabilă;
- Se numără diviziunile pe verticală între linia de referință și nivelul continuu afișat;
- Se stabilește polaritatea semnalului; "+" deasupra liniei de referință și "-" sub linia de referință;

NOTA:

Pentru că semnalul se poate inversa prin comandă se va avea învedere executarea sau nu a acestei comenzi.

- Se calculează tensiunea continuă cu formula:

$$U_{cc} = \text{nr. div/ecran} \times \text{indicația "Volt/div"} \times \text{polaritate semnal} \\ \times \text{atenuare semnal}$$

Exemplu:

- nr. diviziuni/ecran = 4 div.
- indicația "Volts/div" = 4 V/div.
- polaritate semnal = + 1
- atenuare sondă = 10

$$U_{cc} = 4 \times 4 \times (+1) \times 10 = 160 \text{ V}$$

Măsurarea tensiunii prin comparație. Metoda se aplică în practică atunci când este necesar un alt factor de deflexie pe verticală decât cel propriu osciloscopului "Volts/div".

Se compară semnalul de măsurat cu o tensiune de referință furnizată din exterior de o sursă etalon.

Pentru comparație se execută comenzile următoare:

- "Intrarea A sau B"; se aplică tensiunea de referință cunoscută pe intrarea A sau B;
- "MODES"; se poziționează pe intrarea selectată A sau B;
- "Volts/div" și "Variabil V/DIV"; se rotesc pînă cînd amplitudinea tensiunii de referință reprezintă un număr întreg de diviziuni pe ecranul osciloscopului.

După acest reglaj "Variabil V/DIV" nu se mai rotește.

- Se determină factorul de conversie al deflexiei cu formula:

$$\text{factor de conversie al deflexiei} = \frac{\text{amplitudinea tensiunii de referință}}{\text{nr. de diviziuni de pe ecran x indicația "Volts/div"}}$$

- Se determină factorul de deflexie ajustat cu formula

$$\text{factor de deflexie ajustat} = \text{Volts/div} \times \text{factor de conversie al deflexiei}$$

în care:

Volt/div este factorul de deflexie de pe comutatorul "Volts/div" (indicația "Volts/div").

- Se aplică semnalul de măsurat;
- Se reglează comutatorul "Volts/div" pentru vizualizarea convenabilă a semnalului de măsurat fără a se manevra "VARIABIL V/DIV";
- Se determină amplitudinea semnalului;

$$\text{amplitudine semnal} = \text{factor deflexie ajustat} \times \text{nr. diviziuni}$$

Exemplu:

- tensiunea de referință = 30 V
- indicația "Volts/div" pentru tensiunea de referință = 5 V/div
- nr. de diviziuni pentru tensiunea de referință = 4 div
- indicația "Volts/div" pentru semnalul de măsurat = 10 V/div
- nr. de diviziuni pentru semnalul de măsurat = 5 div

$$\text{factorul de conversie al deflexiei} = \frac{30 \text{ V}}{4 \text{ div} \times 5 \text{ V/div}} = 1,5$$

factorul de deflexie ajustat = $10 \text{ V/div} \times 1,5 = 15 \text{ V/div}$

amplitudine semnal = $15 \text{ V/div} \times 5 \text{ div} = 75 \text{ V}$

Măsurarea perioadei unui semnal variabil în timp. Pentru a măsura perioada unui semnal variabil în timp sau intervalul de timp dintre două valori ale semnalului de pe graficul afișat pe ecran se procedează astfel (fig. 9.40).

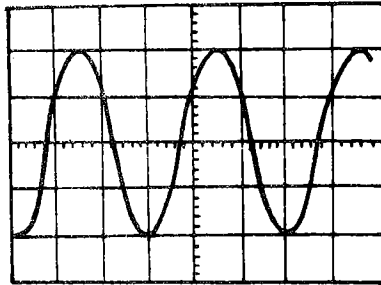


Fig. 9.40. Măsurarea perioadei unui semnal variabil în timp.

- "Intrarea A sau B"; se conectează semnalul de măsurat;
- "MODES"; se poziționează pe intrarea A sau B;
- "Volts/div"; comutatorul intrării selectate A sau B se poziționează astfel ca pe ecran semnalul să acopere 5 diviziuni;
- "Nivel"; se rotește pînă se stabilizează imaginea;
- "Durée/div"; comutatorul bazei de timp B_1 se așează pe o poziție pînă se obține pe ecran cîteva perioade a semnalului și se poate citi ușor distanța între punctele de pe oscilogramă; butonul "Etalonare" să fie corect poziționat (bec stins);
- "Poziție spot"; se aduce spotul care descrie oscilograma pe linia orizontală cu diviziuni mai fine;
- Se numără diviziunile dintre cele două valori ale semnalului;

- Se calculează perioada semnalului variabil în timp

$$\text{Perioada} = \frac{\text{nr. diviziuni/orizontală} \times \text{indicația "Durée/div"}}{\text{indicația "Dimensiune/orizontală (x 1 sau x 10)"}}$$

Exemplu:

- nr. diviziuni/orizontală = 5 div
- indicația "Durée/div" = 0,1 ms/div
- indicația "Dimensiune/orizontală" = x 1

$$\text{Perioada} = \frac{5 \text{ div} \times 0,1 \text{ ms/div}}{1} = 0,5 \text{ ms}$$

Măsurarea frecvenței unui semnal variabil în timp.

Frecvența unui semnal periodic se determină prin calcul din relația:

$$\text{frecvența (Hz)} = \frac{1}{\text{perioada (s)}}$$

Perioada se determină după metoda descrisă mai sus.

Utilizarea osciloscopului catodic pentru măsurarea acestor mărimi a fost prezentată în capitolul 8 "Măsurarea frecvenței".

Măsurarea frontului impulsului. Are la bază măsurarea unui interval de timp cu ajutorul osciloscopului la fel ca măsurarea perioadei unui semnal variabil în timp.

Durata frontului impulsului se determină între valoarea de 10% și 90% din amplitudinea impulsului (fig. 9.41).

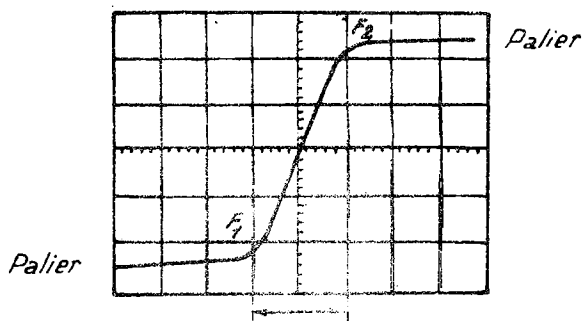


Fig. 9.41. Măsurarea frontului impulsului.

- "Intrarea A sau B"; se conectează semnalul de măsurat;
- "MODES"; se poziționează pe intrarea A sau B;
- "Volts/div" și "VARIABLE V/DIV"; se rotesc pînă cînd amplitudinea tensiunii de referință reprezintă un număr întreg de diviziuni pe ecranul osciloscopului;
- "Poziție spot verticală"; se aduce spotul care descrie oscilograma cît mai aproape și simetric față de linia verticală cu diviziuni mai fine;
- "Nivel"; se rotește pînă se stabilizează imaginea;
- "Durée/div"; comutatorul bazei de timp B_1 se așează pe o poziție pînă se obține pe ecran o desfășurare a frontului impulsului pe mai multe diviziuni pe orizontală de pe caroiajul ecranului;
- "Poziție spot pe orizontală"; se aduce spotul care descrie oscilograma pînă cînd valoarea de 10% din frontul impulsului (punctul F_1) coincide cu o linie verticală a caroiajului ecranului;
- Se numără diviziunile dintre valoarea 10% (punct F_1) și valoarea 90% (punctul F_2) de pe frontul impulsului;
- "Variable Durée/div" se reglează fin frecvența bazei de timp B_1 pînă cînd becul "Etal" este stins;

- "Dimensiune pe orizontală"; comutatorul se poziționează convenabil pe poziția "x 1" sau "x 10";

$$\text{Front impuls} = \frac{\text{nr. diviziuni/orizontală} \times \text{indicația "Durée/div"}}{\text{indicația "Dimensiune/orizontală" (x 1; x 10)}}$$

Exemplu:

- nr. diviziuni/orizontală = 3 div
- indicația "Durée/div" = 1 $\mu\text{s}/\text{div}$
- indicația "Dimensiune/orizontală" = x 10

$$\text{Front impuls} = \frac{3 \text{ div} \times 1 \mu\text{s}/\text{div}}{10} = 0,3 \mu\text{s} = 300 \text{ ns}$$

Măsurarea diferenței de timp între două semnale. Se aseamănă cu măsurarea unui interval de timp la fel ca măsurarea perioadei unui semnal variabil în timp sau măsurarea frontului impulsului (fig. 9.42).

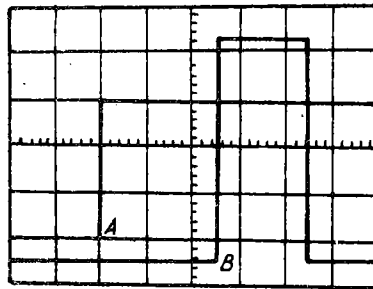


Fig. 9.42. Măsurarea diferenței de timp între două semnale.

Se procedează astfel:

- "MODES"; comutatorul modului desfășurării pe verticală se așează pe poziția "ALT" sau "COM"; în poziția "ALT" - folosită pentru frecvențe înalte - se

vizualizează simultan cele două semnale de pe intrările A și B prin comutare efectuată la fiecare baleiaj; în poziția "COM", folosită pentru frecvențe joase - se vizualizează ambele semnale prin comutarea spotului cu o frecvență de 500 kHz;

- "Sincronizare"; comutatorul se așează pe poziția intrării pe care se introduce semnalul de referință (de exemplu poziția "A");

- "Intrare A"; se aplică semnalul de referință (semnal A);

- "Intrare B"; se aplică semnalul de comparat (semnal B);

NOTA:

Semnalul de referință este în avans față de semnalul de comparat.

- "Inversare"; se comută pe "Norm" sau "Inv" dacă cele două semnale sînt în opoziție; se va avea în vedere la calculul diferenței de timp;

- "Volts/div"; se reglează pentru fiecare semnal în parte pînă cînd pe ecran semnalele acoperă 4-5 diviziuni;

- "Nivel"; se rotește pînă se stabilizează imaginea;

- "Durée/div"; comutatorul se fixează pe o poziție în care cele două semnale să fie vizibile și ușor de măsurat;

- "Poziție spot pe verticală"; se ajustează pentru ambele semnale;

- "Poziție spot pe orizontală"; se aduce spotul semnalului de referință (semnal A) pentru ca frontul să "cadă" pe o linie verticală a caroiajului osciloscopului;

- "Variable durée/div"; se reglează fin frecvența bazei de timp B_1 pînă cînd becul "Etal" este stins;

- "Dimensiune pe orizontală"; comutatorul se poziționează convenabil pe poziția "x 1" sau "x 10";

- Se numără diviziunile de pe orizontală dintre fronturile celor două semnale A și B.

$\text{Diferența de timp} = \frac{\text{nr. diviziuni/orizontală} \times \text{indicația "Durée/div"}}{\text{indicația "Dimensiune pe orizontală (x 1; x 10)"}}$
--

Exemplu:

- nr. diviziuni/orizontală dintre fronturile semnalelor A și B = 4,5 div
- indicația "Durée/div" = 50 μ s/div
- indicația "Dimensiune pe orizontală" = 10

Diferența de timp între semnalul A și B	= $\frac{4,5 \text{ div} \times 50 \text{ } \mu\text{s/div}}{10} = 22,5 \text{ } \mu\text{s}$
---	---

Măsurarea instabilității frontului unui impuls. Se procedează astfel (fig. 9.43):

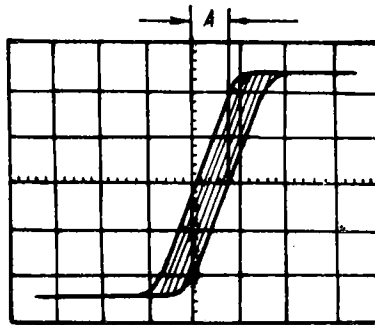


Fig. 9.43. Măsurarea instabilității frontului unui impuls.

- "Intrarea A sau B"; se conectează semnalul de studiat;
- "MODES"; se poziționează pe intrarea A sau B;
- "Volts/div"; se poziționează pentru ca pe ecran impulsul să acopere 4-5 diviziuni;
- "Durée/div"; comutatorul se fixează pe o poziție încât pe ecran să apară frontul complet al impulsului;
- "Nivel"; se rotește pînă se stabilizează imaginea;

- "Modul baleierii pe orizontală"; se poziționează pe " $B_1 + B_2$ "; startul și porțiunea intensificată se va aduce pe frontul impulsului;
- "Durée/div"; comutatorul bazei de timp B_2 se reglează pentru o încadrare corectă pe ecran a frontului instabil;
- "Nivel"; nivelul sincronizării bazei de timp B_2 se reglează pentru ca porțiunea intensificată să fie stabilă;
- "Modul baleierii pe orizontală"; se trece pe poziția "baza de timp B_2 întârziată" (" B_2 ret");
- "Nivel"; nivelul sincronizării bazei de timp B_2 se reajustează pentru a obține o bună stabilitate;
- "Variable durée/div"; se reglează fin frecvența bazei de timp B_1 până când becul "Etal" este stins;
- "Dimensiunea pe orizontală"; comutatorul se poziționează pe poziția "x 1" sau "x 10";
- Se numără diviziunile pe orizontală acoperite de instabilitatea frontului;

$\text{Instabilitatea frontului impulsului} = \frac{\text{nr. diviziuni/orizontală} \times \text{indicația "Durée/div"}}{\text{indicația "Dimensiune pe orizontală (x 1; x 10)"}}$
--

Exemplu:

- nr. diviziuni/orizontală acoperite pe instabilitatea frontului = 0,5 div
- indicația "Durée/div" a bazei de timp B_2 = 0,5 μ s/div
- indicația "Dimensiune pe orizontală" = x 1

$$\text{Instabilitatea frontului impulsului} = \frac{0,5 \text{ div} \times 0,5 \text{ } \mu\text{s/div}}{x 1} = 0,25 \text{ } \mu\text{s}$$

Măsurarea defazajului dintre două semnale. Măsurarea defazajului dintre două semnale este limitată de frecvența maximă de trecere prin amplificatorul vertical.

Se procedează astfel (fig. 9.44):

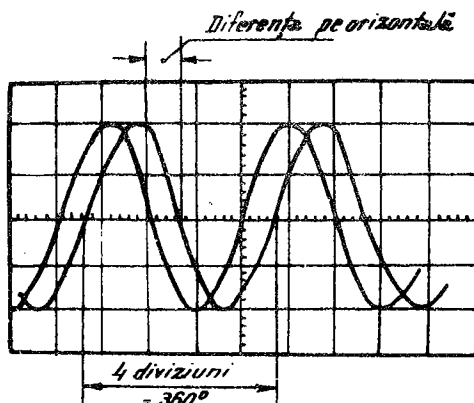


Fig. 9.44. Măsurarea defazajului dintre două semnale.

- "="; 0; \sim "; comutatorul "mod cuplaj cu intrarea" se va trece în poziția corespunzătoare "=" sau " \sim ".
- "MODES"; comutatorul modului desfășurării pe verticală se așează pe poziția "ALT" sau "COM"; poziția "ALT" este folosită pentru frecvențe înalte; poziția "COM" este folosită pentru frecvențe joase; în ambele poziții se vizualizează cele două semnale de pe intrările A și B;
- "Sincronizare"; comutatorul se așează pe poziția intrării pe care se introduce semnalul de referință (de exemplu, poziția "A");
- "Intrare A"; se aplică semnalul de referință (semnal A);
- "Intrare B"; se aplică semnalul de comparat (semnal B);

NOTA:

Semnalul de referință este în avans față de semnalul de comparat.

- "Inversare"; se comută pe "Norm" sau "Inv" dacă cele două semnale sînt în opoziție; se va avea în vedere la calculul defazajului (exemplu: dacă semnalele sînt în antifază - defazate cu 180° - se adună 180° defazajului vizualizat);

- "Volts/div" și "VARIABLE V/DIV"; se reglează pentru fiecare semnal în parte pînă cînd pe ecran semnalele acoperă 4-5 diviziuni;

- "Nivel"; se rotește pînă se stabilizează imaginea;

- "Durée/div"; comutatorul bazei de timp B_1 se așează pe o poziție pînă se obține pe ecran o perioadă a semnalelor studiate.

- "Poziție spot pe verticală"; se reglează poziția celor două spoturi astfel ca citirea pe caroiajul orizontal al ecranului să se facă ușor (v. fig. 9.44);

- "VARIABLE V/DIV"; se reglează poziția semnalului A de referință pentru a ocupa un număr întreg de diviziuni pe orizontală;

- Se numără diviziunile pe orizontală dintre semnalele A și B.

Se calculează defazajul cu expresia:

$$\text{Defazaj} = \text{nr. diviziuni/orizontală} \times \frac{360^{\circ}}{\text{nr. diviziuni/perioadă}}$$

Exemplu:

- nr. diviziuni/orizontală între semnalele A și B = 0,6 div

- nr. diviziuni/perioadă = 4 div

$$\text{Defazaj} = 0,6 \text{ div} \times \frac{360^{\circ}}{4 \text{ div}} = 54^{\circ}$$

9.2.6. Osciloscopie catodice utilizate în activitatea de service

I.I.R.U.C.

Se vor prezenta caracteristicile tehnice pentru osciloscoapele catodice din I.I.R.U.C. Pentru utilizare se pot folosi indicațiile din acest capitol dar pentru explicarea unor funcțiuni particulare se recomandă cartea tehnică - anexă la fiecare osciloscop din dotarea laboratoarelor, secțiilor sau atelierelor IIRUC.

- Osciloscopul (miniscop) tip E-0104. Produs de I.E.M.I. București, acest aparat este destinat măsurării semnalelor electrice în domeniul 0 - 10 MHz.

Aparatul este tranzistorizat și se poate alimenta și dintr-o sursă de tensiune continuă: 10 V - 15 V.

Tubul catodic are caracteristicile următoare:

- ecran rectangular aluminizat;
- rețea reticulară: 8 x 10 div; 1 div = 5 mm;
- tensiune de accelerare = 1 kV.

Sistemul de deflexie pe verticală;

- banda de trecere..... 0 ÷ 10 MHz pentru intrarea c.c.
10 Hz ÷ 10 MHz, intrarea c.a.;
- coeficient de deviație 10 mV/div... 20 V/div;
- eroare..... ± 5%
- impedanță de intrare..... 1 MΩ/36 pF;
- tensiunea maximă de intrare..... 250 V_{VV}/50 Hz pentru intrare c.c.;
250 V_{CC} și 250 V_{VV}/50 Hz, intrare c.a.;

Baza de timp;

- mod de funcționare..... automat și declanșat;
- coeficient de deviație (baleiaj)... 0,5 μs/div... 0,5 s/div;
- coeficient de deviație (baleiaj)... 0,5 μs/div... 0,5 s/div;
- coeficient de deviație (poz. EXTINS x 5) 0,1 μs/div... 0,1 s/div;
- eroare..... ± 5%

Sincronizarea bazei de timp;

- sursa de sincronizare;
 - intern 10 Hz..... 10 MHz pentru regim declanșat;
 100 Hz..... 10 MHz regim automat;
 - extern 10 Hz..... 10 MHz; 2 V_{VV} ; regim declanșat;
 100 Hz..... 10 MHz; 2 V_{VV} ; regim automat.
- pantă "+" și "-";
- cuplaj c.c. și c.a.;
- impedanța de intrare 100 k Ω /36 pF
- tensiune maximă de intrare 50 V (c.c. + c.a.);

Sistem de deflexie orizontală;

- bandă de trecere 0... 500 kHz;
- coeficient de deviație 1 V/div... 0,2 V/div;
- impedanța de intrare 100 k Ω /36 pF (minim);
- tensiune maximă de intrare 50 V (c.c. + c.a.).

Semnal pentru compensarea sondei 1:10;

- undă dreptunghiulară, frecvența 1 kHz;
- amplitudine..... 1,2 V \pm 2%.

Putere consumată:

- rețea 18 VA/220 V, 50 Hz
- sursă externă de c.c. 12 W.

Tensiune de alimentare

- rețea 220 V \pm 10%;
- sursă externă, c.c.; 10 \div 15 V.

Osciloscopul de laborator tip E-0103. Este produs la I.E.M.I.-București. Se utilizează pentru măsurări multiple asupra semnalelor electrice.

Aparatul este tranzistorizat și echipat cu sertar "amplificator Y cu două canale tip E-0103 B" pentru banda de frecvență 0... 50 MHz și cu baza de timp simplă E-0103 C pentru trei regimuri de lucru: automat, declanșat, monodeclanșat.

Tubul catodic;

- rețea reticulară 8 x 10 div; 1 div = 10 mm;
- iluminarea reticulei continuu reglabilă;
- tensiune de postaccelerare + 10 kV;
- strat fluorescent tip GH.

Deflexia pe verticală; realizată cu sertarul "Amplificator Y cu două canale E-0103 B";

- bandă de trecere 0... 50 MHz (-3 dB); pentru
intrarea c.c.;
10 Hz... 50 MHz (-3 dB); intrarea c.a.;
- coeficient de deviație 20 mV/div... 20 V/div;
- eroare $\pm 3\%$;
- impedanța de intrare 1 M Ω / 47 pF;
- tensiune maximă de intrare 250 V_{VV};
- mod de funcționare..... Y_A sau - Y_A; Y_B sau - Y_B; Y_A
și Y_B alternat; Y_A și Y_B co-
mutat: $\pm Y_A \pm Y_B$;

Baza de timp; realizată cu sertarul "Baza de timp simplă" E-0103 C.

- coeficient de deviație (baleiaj) ... 0,2 μ s/div... 0,5 s/div;
- coeficient de extindere x 10;
- eroare $\pm 5\%$... $\pm 10\%$;

Sincronizarea bazei de timp;

- mod de funcționare automat (AUTO); declanșat (DECL);
monodeclanșat (MONO);
- sursa de sincronizare
 - intern canal A; B; $\pm A$ $\pm B$;
 - extern;
- pantă "+" și "-";
- cuplaj c.c.; joasă frecvență (JF); înaltă
frecvență (IF);
- impedanța de intrare $500\text{ k}\Omega / 50\text{ pF}$;
- tensiune maximă de intrare ... 100 V_{VV} ; (borna "SINCRONIZARE
EXT").

Deflexia pe orizontală; (amplificatorul orizontal X);

- bandă de trecere $0 \dots 5\text{ MHz}$;
- coeficient de deviație $0,1\text{ V/div} \dots 10\text{ V/div}$;
- impedanța de intrare $1\text{ M}\Omega / 50\text{ pF}$;
- tensiune maximă de intrare ... 100 V_{VV} (borna "X-EXT").

Calibratorul;

- undă dreptunghiulară, frecvență $1\text{ kHz} \pm 1\%$;
- amplitudine 120 mV (eroare $\pm 0,5\%$); $1,2\text{ V}$
(eroare $\pm 2,5\%$) pe sarcină $1\text{ M}\Omega$
(minim);

Modulație Z (amplificator stingere);

- nivel minim de stingere $+ 5\text{ V}$;
- impedanța de intrare $1\text{ M}\Omega / 50\text{ pF}$;
- gamă de frecvențe $0 \dots 1\text{ MHz}$; luminozitatea poate
fi modulată vizibil;
- tensiune maximă de intrare ... 100 V_{VV} .

Semnale de ieșire;

- tensiune liniar variabilă (TLV)... amplitudine > 10 V;
- impuls poartă..... nivel $> 2,4$ V.

Putere consumată;

- rețea 140 VA;

Tensiune de alimentare;

- rețea $220\text{ V} \pm 10\%$; $50\text{ Hz} \pm 5\%$.

Osciloscopul CRC "Schlumberger" OCT 569 A. Este produs al firmei franceze "SCHLUMBERGER INSTRUMENTS ET SYSTEMES" din Saint-Etienne. Funcționarea și utilizarea acestui osciloscop a fost selectată și prezentată în acest capitol.

Se vor sublinia - în continuare - performanțele acestui aparat.

Tub catodic;

- rețea reticulară 8×10 div; 1 div = 10 mm;
- iluminarea reticulei continuu reglabilă;
- tensiune de accelerare $+ 1\ 500$ V;
- tensiune de postaccelerare $+ 10$ kV;

Deflexia pe verticală; realizată cu două intrări A și B;

- bandă de trecere $0 \dots 60$ MHz;
- coeficient de deviație $5\text{ mV/div} \dots 10\text{ V/div}$;
- eroare $\pm 3\%$;
- impedanța de intrare $1\text{ M}\Omega / 20\text{ pF}$;
- tensiune maximă de intrare 400 V (c.c.) și 600 V_{VV} ;
- mod de funcționare A sau - A; B; A și B alternat;
A și B comutat; $\pm A + B$;

Baza de timp; osciloscopul are bază de timp dublă B_1 și B_2 ;

- coeficient de deviație (baleiaj)

B_1 0,1 $\mu\text{s/div}$... 2 s/div;

B_2 0,1 $\mu\text{s/div}$... 0,5 s/div;

- coeficient de deviație (baleiaj) extindere.... x 10;

- eroare..... $\pm 3\%$... $\pm 5\%$;

Sincronizarea bazei de timp;

- mod de sincronizare automat (Auto); declanșat(Décl);

- sursa de sincronizare;

- intern A; B; $\pm A$ $\pm B$;

- rețea

- exterior și exterior atenuare 1:10;

- pantă "+" și "-";

- cuplaj c.c.(=); joasă frecvență (~ 1);
înalță frecvență (~ 2 și HF);

- impedanța de intrare 1 M Ω /35 pF;

- tensiune maximă de intrare ... 400 V(c.c.) și 600 V_{vv} (borna
"Entrée EXT");

Deflexia pe orizontală (amplificatorul orizontal X);

- bandă de trecere 0... 5 MHz;

- coeficient de deviație 50 mV/div... 10 V/div;

- impedanța de intrare 1 M Ω /35 pF;

Calibratorul;

- undă dreptunghiulară, frecvență 1 kHz;

- amplitudine 1 V și 0,1 V;

- eroare $\pm 3\%$;

- polaritate pozitivă;

- impedanța de ieșire 2000 Ω pentru 1 V;
1000 Ω pentru 0,1 V.

Modulația exterioară a fascicolului de electroni;

- polaritate pentru aprindere negativă;
- sensibilitate 5 V; modulația apare;
- banda de trecere 0... 50 MHz;
- impedanța de intrare 33 k Ω ;
- tensiune maximă de intrare 200 V.

Semnale de ieșire;

- ieșire impulsuri de aprindere B_1 și B_2 ;
 - undă dreptunghiulară; amplitudine + 12 V; precizie 10%;
 - impedanța de intrare: 1200 Ω ;
- ieșire B amplitudine = 50 mV/div;
polaritate... identică intrare B;
impedanța de ieșire... 50 Ω .

Putere consumată;

- rețea 120 VA/115 V;

Tensiune de alimentare;

- rețea 115 V/127 V/220 V \pm 10%;

Osciloscopul TESLA BM 464. Este produs al întreprinderii TESLA din Cehoslovacia. Este un aparat de laborator de tip staționar realizat cu dispozitive semiconductoare. Este echipat cu sertar "amplificator pe verticală" TESLA BP-4641 și sertar "bază de timp dublă" TESLA BP-4646;

Tubul catodic;

- ecran \varnothing 130 mm, plan;
 - suprafață utilă... 60x100 mm;
- tensiune de accelerare + 1500 V;
- tensiune de postaccelerare + 10 kV;

Deflexia pe verticală;

- banda de trecere 0... 50 MHz;
- coeficient de deviație 20 mV/cm... 10 V/cm;
- eroare $\pm 3\%$;
- impedanță de intrare $1\text{ M}\Omega / 35\text{ pF}$;
- tensiune maximă de intrare 400 V_{VV} ;
- mod de funcționare A; B; A și B alternat; A și B comutat; A \pm B;
semnal A, B sau A \pm B;

Baza de timp; realizată cu sertarul "baza de timp BP 4646; compusă din baza de timp A și baza de timp B;

- coeficient de deviație (baleiaj);
A..... 0,05 $\mu\text{s/cm}$ 0,5 s/cm;
B..... 0,05 $\mu\text{s/cm}$ 10 ms/cm;
- eroare $\pm 5\%$.

Sincronizarea bazei de timp;

- sursa de sincronizare;
- intern A; B; A \pm B;
- rețea
- exterior
- cuplaj LF; HF și AUT;

Deflexia pe orizontală;

- banda de trecere 0... 5 MHz;
- coeficient de deviație 0,1 V/cm... 1 V/cm;
- impedanța de intrare $1\text{ M}\Omega / 50\text{ pF}$;
- coeficient de deviație-extindere x 5 și x 10;

Calibratorul;

- undă dreptunghiulară; frecvență 1 kHz $\pm 2\%$;
- amplitudine 0,1 V; 1 V; 10 V_{VV} $\pm 2\%$;
- polaritate pozitivă;
- impedanță de ieșire 0,1 V... 20 Ω ;
1 V..... 200 Ω ;
10 V..... 2 k Ω ;

Modulația exterioară a fascicolului de electroni;

- intensitatea modulației + 2 V;
- bandă de trecere 0... 10 MHz;
- impedanța de intrare 5 k Ω ;

Semnale de ieșire;

- impuls bază de timp A;
 - undă dinte fierăstrău; - 6 V_{VV} ; impedanță de intrare 10 k Ω ;
 - undă dreptunghiulară; + 15 V_{VV} ; impedanță de intrare 10 k Ω ;
- impuls de întârziere - 0,1 V_{VV} ; impedanță de intrare 10 k Ω ;
- impuls bază de timp B;
 - undă dinte fierăstrău - 6 V_{VV} ; impedanță de intrare 10 k Ω ;

Putere consumată;

- rețea 160 VA;

Tensiune de alimentare;

- rețea 120 V/220 V;

Osciloscopul UNITRA OS 150 - Este produs al întreprinderii UNITRA-ZRK - din Varşovia - Polonia.

Tubul catodic;

- ecran Φ 130 mm ; plan ;
 - suprafața utilă 60 x 100 mm ;
- tensiune de postaccelerare + 15 kV ;
- strat fosforescent GH/P 31 ;

Deflexia pe verticală; realizată cu sertarul OS 150-1 pentru o intrare:

- bandă de trecere..... 0... 60 MHz ;
- coeficient de deviație..... 0,01 V/cm... 10 V/cm ;
- eroare $\pm 3\%$;
- impedanță de intrare..... 1 M Ω / 18 pF ;
- tensiune maximă de intrare..... 400 V ;

Baza de timp; osciloscopul are bază de timp dublă A și B ;

- coeficient de deviație (baleiaj);
 - A..... 0,1 μ s/cm..... 5 s/cm ;
 - B..... 0,1 μ s/cm..... 50 ms/cm ;
- eroare $\pm 3\%$.

Sincronizarea bazei de timp;

- mod de sincronizare automat, declanșat ;
- sursa de sincronizare intern și extern ;
- pantă..... "+" și "-";
- cuplaj..... c.c. (DC) ; AC și HF ;

Deflexia pe orizontală;

- banda de trecere..... 0... 4 MHz ;
- coeficient de deviație..... 0,2 V/cm... 2 V/cm ;

Calibratorul;

- undă dreptunghiulară; frecvență 1 kHz;
- amplitudine..... 0,2 mV... 40 V;
- eroare..... 1%;

Modulația exterioară a fascicolului de electroni;

- polaritatea pentru aprindere..... pozitivă;
- sensibilitate..... 2 V_{VV};
- bandă de trecere..... 40 Hz... 2,5 MHz;

Tensiune de alimentare:

- rețea..... 220 V, 50 Hz;

Osciloscopul KABID-DT-516 A. Este produs de întreprinderea Radio-technika din Wrocław - Polonia. Construcția este realizată cu tranzistoare și circuite integrate.

Tubul catodic;

- tip..... B 13 S 52;
- produs..... RFT din R.D.G.;
- nr. spoturilor..... 1;
- diametrul ecranului..... 13 cm;
- suprafața de măsurare..... 6 cm x 10 cm;
- strat fosforescent..... P 31 - persistență medie sau
P 7 - persistență mare;
- tensiune de accelerare..... + 3,7 kV;

Deflexia pe verticală; realizată prin două intrări A și B;

- banda de trecere..... 0... 25 MHz;
- coeficient de deviație..... 2 mV/cm... 5 V/cm;
- eroare..... ± 3%;

- impedanța de intrare..... $1 \text{ M}\Omega / 24 \text{ pF}$;
- tensiunea maximă de intrare..... 250 V ;
- mod de funcționare $A; B; A \text{ și } B \text{ alternat}; A \text{ și } B \text{ comutat (200 kHz)}; A \pm B$;

Baza de timp;

- coeficient de deviație (baleiaj) $0,1 \mu\text{s/cm} \dots 1 \text{ s/cm}$;
- coeficient de extindere a baleiajului... $\times 5$;
- eroare..... $\pm 3\% \dots \pm 5\%$;

Sincronizarea bazei de timp;

- mod de funcționare $\text{automatic; declanșat; mono-declanșat}$;
- sursa de sincronizare;
 - intern $\text{de la } A; B; \text{rețea}$;
 - extern;
- pantă $"+" \text{ și } "-"$;
- cuplaj $"="; 0 \dots 30 \text{ MHz}$;
 $"\sim" 20 \text{ Hz} \dots 30 \text{ MHz}$;
 $"\text{~}" 20 \text{ Hz} \dots 50 \text{ MHz}$;
 $"\text{~}" 50 \text{ kHz} \dots 30 \text{ MHz}$;
- impedanță de intrare..... $1 \text{ M}\Omega / 30 \text{ pF}$;
- tensiune maximă de intrare..... $100 \text{ V}_{\text{VV}}$.

Deflexia pe orizontală;

- banda de trecere..... $0 \dots 1,5 \text{ MHz}$;
- coeficient de deviație..... $2 \text{ mV/cm} \dots 5 \text{ V/cm}$;
- tensiune maximă de intrare 250 V ;

Calibratorul;

- undă dreptunghiulară, frecvență 2 kHz ;
- amplitudine..... $1 \text{ V} \pm 1\%$;
- eroare..... 1% ;

Modulația externă a luminozității spotului (Mod Z);

- nivel minim de stingere..... 1 V_{VV} ;
- impedanța de intrare..... 20 $k\Omega$ / 22 pF ;
- gamă de frecvențe 0... 30 MHz ;
- tensiune maximă de intrare..... 20 V_{VV} ;

Semnale de ieșire;

- impuls bază de timp;
 - undă dreptunghiulară..... 3 V_{pp} pozitivă ;
 - undă dinte de fierăstrău..... 5 V_{pp} ;

Putere consumată;

- rețea..... 110 VA.

Tensiune de alimentare;

- rețea..... 220 V \pm 10%; 50 Hz.

Osciloscopul universal S1-79. Produs în U.R.S.S., acest osciloscop este prevăzut cu două intrări și se utilizează pentru observarea vizuală și măsurarea parametrilor proceselor electrice periodice în gama de frecvențe 0.....
... 100 MHz.

Tubul catodic;

- ecran 6 x 10 div; 1 div = 8 mm;

Deflexia pe verticală; realizată cu două intrări I și II:

- bandă de trecere..... 0... 100 MHz;
- coeficient de deviație..... 2 mV/div ... 5 V/div;
- eroare..... \pm 3% și \pm 5% (cu sonda 1:10);
- impedanța de intrare..... 1 M Ω / 25 pF;

- mod de funcționare..... I; II; I și II alternat; I și II comutat; I + II.

Baza de timp; osciloscopul are bază de timp dublă; A și B;

- coeficient de deviație (baleiaj)..... $0,05 \mu s/div \dots 0,5 s/div$;
- coeficient de deviație (baleiaj) extindere..... $\times 10$;
- eroare..... $\pm 3\% \dots \pm 7,5\%$;

Sincronizarea bazei de timp:

- mod de sincronizare automat, declanșat, monode-clanșat;
- sursa de sincronizare;
 - intern I; II; I + II;
 - rețea;
 - exterior și exterior atenuat 1:10;
- pantă..... "+" și "-";
- cuplaj..... "
 - "~" ... 16 Hz ... 100 MHz;
 - "IF" ... 50 kHz ... 20 MHz;
 - "JF" ... 16 Hz ... 100 kHz;
 - "
 - "~" ... 0 ... 30 Hz;
- impedanța de intrare..... $0,1 M\Omega / 15 pF$;

Calibratorul;

- undă dreptunghiulară, frecvență 1 kHz;
- amplitudine..... 1 V;
- eroare..... $\pm 1\%$;
- polaritate..... pozitivă;

Modulația exterioară a fascicolului de electroni;

- sensibilitate 4 ... 8 V;
- gama de frecvență 20 Hz ... 10 MHz;

Semnale de ieşire:

- ieşire impuls A; undă dreptunghiulară; amplitudine - 1 V... + 12 V;
- impuls bază de timp B; undă "dinte fierăstrău"; amplitudine + 3 V..
... + 13 V;

Putere consumată;

- reţea..... 150 VA;

Tensiune de alimentare:

- reţea..... 220 V \pm 10% (50 \pm 0,1) Hz ;
220 V \pm 5% sau 115 \pm 5%,
(400 \pm 12) Hz.

CAPITOLUL 10

MASURAREA DISTORSIUNILOR

10.1. GENERALITATI

Studiul circuitelor electrice în care mărimile electrice sînt periodice nesinusoidale prezintă importanță deoarece se întîlnesc în tehnică. Curenți sau alte mărimi electrice și magnetice nesinusoidale pot apare în circuitele electrice de forță precum și în circuitele de comandă sau de telecomunicații.

Pentru că abaterea de la forma de variație sinusoidală se numește distorsiune sau deformare, regimul nesinusoidal de funcționare al circuitelor electrice se numește și regim deformant.

Distorsiunile sau deformările pot fi generate de surse sau de elemente pasive de circuit neliniare sau reactive.

Consecințele sînt uneori dăunătoare; în electroenergetică se constată micșorarea factorului de putere, apariția fenomenului de rezonanță etc.

În alte aplicații, sînt utile; în telecomunicații au aplicații la transmiterea informației prin modulare.

Pentru a ușura studiul și măsurările efectuate în acest regim, se analizează exemplul următor:

- se consideră cinci surse de tensiune sinusoidală legate în serie (fig. 10.1) cu tensiunile electromotoare: $e_1 = 20 \sin \omega t$; $e_3 = 6,7 \sin 3 \omega t$; $e_5 = 4 \sin 5 \omega t$; $e_7 = 2,9 \sin 7 \omega t$ și $e_9 = 2,2 \sin 9 \omega t$, (10.1) în care pulsația $\omega = 2\pi f$ iar f este frecvența.

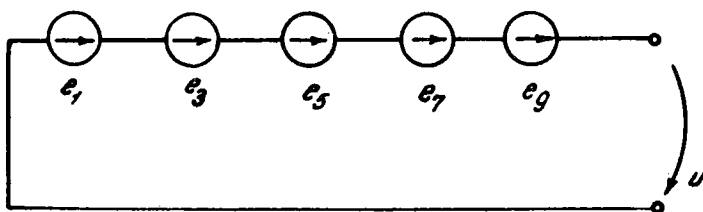


Fig. 10.1. Surse electromotoare de frecvențe diferite legate în serie.

Tensiunea la borne u se obține prin însumare:

$$u = 20 \sin \omega t + 6,7 \sin 3\omega t + 4 \sin 5\omega t + 2,9 \sin 7\omega t + 2,2 \sin 9\omega t \quad (10.2)$$

Din această expresie, se deduce că tensiunea u se compune din cinci termeni sinusoidali.

Fiecare termen sinusoidal se numește armonică. Numărul care se atribuie armonicii (ex.: armonica de ordinul trei) reprezintă multiplu pulsației primei armonici. În acest caz tensiunea u are cinci armonici impare.

Tensiunea u cu toate că este o sumă de mărimi sinusoidale va fi o mărime nesinusoidală. Aceasta se poate observa și din reprezentarea grafică (fig. 10.2) a tensiunii compuse numai din trei armonici:

$$u' = e_1 + e_3 + e_5 \quad (10.3)$$

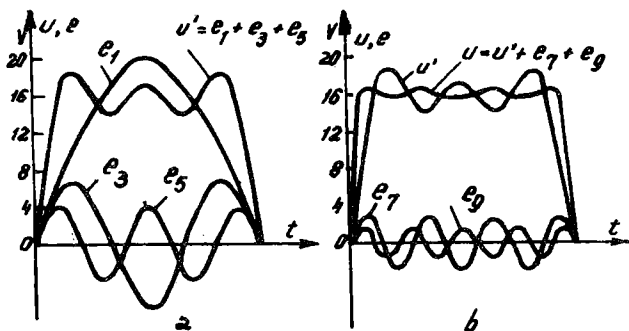


Fig. 10.2. Tensiunea u' și u compuse din armonici.

Dacă în reprezentarea grafică se însumează mai multe armonici:

$$u = e_1 + e_3 + e_5 + e_7 + e_9 \quad (10.4)$$

atunci curba obținută se apropie prin forma sa de un dreptunghi.

În ambele reprezentări, alternanța negativă are o formă analoagă, adică tot un dreptunghi.

Cu cât sînt mai mulți termeni, cu atît mai mult se apropie curba tensiunii u de un dreptunghi.

Se poate afirma și invers: o tensiune care variază dreptunghiular (fig. 10.3) poate fi dezvoltată într-o serie de armonici impare de forma:

$$u = \frac{4 U_{\max}}{\pi} \left(\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3 \omega t + \frac{1}{5} \sin 5 \omega t + \frac{1}{7} \sin 7 \omega t + \dots \right) \quad (10.5)$$

În care U_{\max} reprezintă amplitudinea unei alternanțe ale curbei dreptunghiulare.

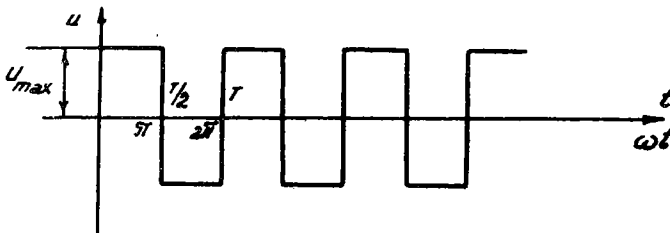


Fig. 10.3. Tensiune cu variație dreptunghiulară.

Seria de armonici din care se compune o tensiune distorsionată sau nesinusoidală se numește serie Fourier.

Dacă circuitului din fig. 10.1 se adaugă o sursă de curent continuu, de exemplu $E_0 = 10$ V, atunci tensiunea u capătă forma:

$$u = 10 + 20 \sin \omega t + 6,7 \sin 3 \omega t + 4 \sin 5 \omega t + 2,9 \sin 7 \omega t + 2,2 \sin 9 \omega t$$

În reprezentarea grafică, se va deplasa curba în sus cu 10 V și nu va fi simetrică în raport cu axa timpului.

Dezvoltarea în serie Fourier va avea în acest caz, un termen liber E_0 .

Dacă $E_0 = U_{\max}$ expresia tensiunii este

$$u = U_{\max} + \frac{4 U_{\max}}{\pi} (\sin \omega t + \frac{1}{3} \sin 3 \omega t + \frac{1}{5} \sin 5 \omega t + \frac{1}{7} \sin 7 \omega t + \dots)$$

(10.6)

iar reprezentarea grafică va fi conformă cu fig. 10.4.

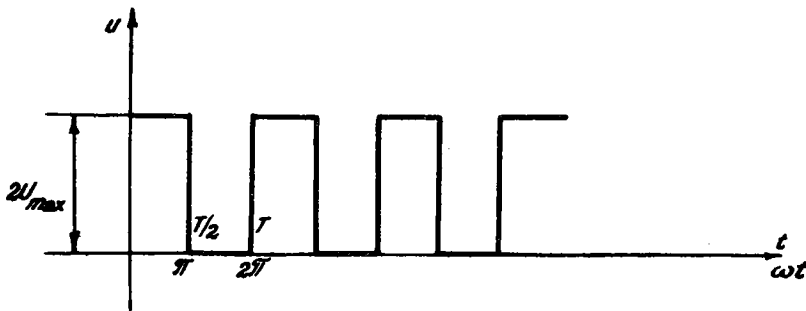


Fig. 10.4. Tensiune cu variație dreptunghiulară și termen liber U_{\max}

Tensiunile nesinusoidale sau distorsionate au și alte forme de variație.

Forma de variație trapez (fig. 10.5)

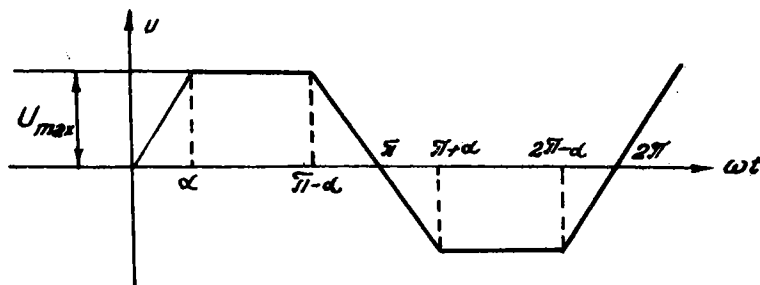


Fig. 10.5. Tensiune cu variație în formă de trapez.

Tensiunea nesinusoidală sau distorsionată din fig. 10.5 are următoarea dezvoltare în serie Fourier:

$$u = \frac{4 U_{\max}}{\pi \alpha} \left[\frac{\sin \alpha}{1^2} \sin \omega t + \frac{\sin 3\alpha}{3^2} \sin 3 \omega t + \frac{\sin 5\alpha}{5^2} \sin 5 \omega t + \dots \right] \quad (10.7)$$

Forma de variație triunghi dreptunghic (fig. 10.6)

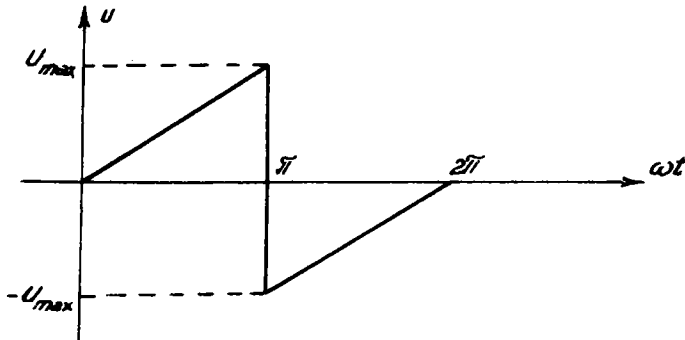


Fig. 10.6. Tensiune cu variație triunghi dreptunghic.

Tensiunea nesinusoidală sau distorsionată din fig. 10.6 are următoarea dezvoltare în serie Fourier:

$$u = \frac{2 U_{\max}}{\pi} \left[\frac{\sin \omega t}{1} - \frac{\sin 2 \omega t}{2} + \frac{\sin 3 \omega t}{3} - \dots \right] \quad (10.8)$$

Forma de variație semisinusoidală - undă de redresare monoalternanță - (fig. 10.7).

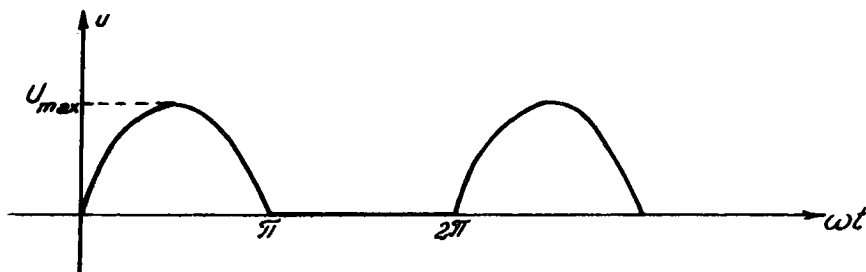


Fig. 10.7. Tensiune cu variație semisinusoidală.

Tensiunea nesinusoidală sau distorsionată din fig. 10.7 are următoarea dezvoltare în serie Fourier:

$$u = U_{\max} \left[\frac{1}{\pi} + \frac{\sin \omega t}{2} - \frac{2 \cos 2 \omega t}{1.3 \cdot \pi} - \frac{2 \cos 4 \omega t}{3.5 \cdot \pi} - \dots \right] \quad (10.9)$$

Forma de variație dublă semisinusoidală - undă de redresare dublă alternanță - (fig. 10.8)

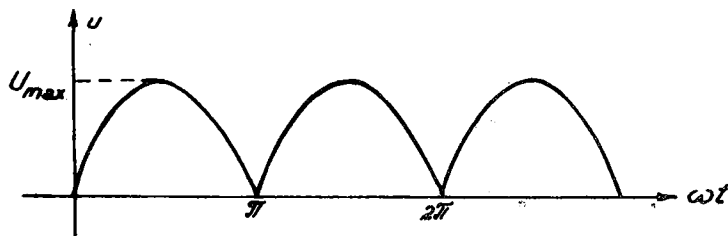


Fig. 10.8. Tensiune cu variație dublă semisinusoidală.

Tensiunea nesinusoidală sau distorsionată din fig. 10.8 are următoarea dezvoltare în serie Fourier:

$$u = \frac{2 U_{\max}}{\pi} \left[1 - \frac{2 \cos 2 \omega t}{1.3} - \frac{2 \cos 4 \omega t}{3 \cdot 5} - \frac{2 \cos 6 \omega t}{5 \cdot 7} - \dots \right] \quad (10.10)$$

Semnalele de tensiune nesinusoidală sau distorsionată de forme diferite, dreptunghiulare, dinți de fierăstrău, triunghiulare etc. se folosesc în comunicațiile radio, în televiziune, în tehnică de calcul și în alte ramuri ale electrotehnicii și electronicii.

Se folosesc în acest scop, surse speciale sau circuite electronice de generare a semnalelor nesinusoidale dorite.

De exemplu, în tehnică de calcul, se folosesc circuite electronice de generare a tensiunilor dreptunghiulare. Aceste circuite se numesc multivibratoare.

Pentru a selecta în practică diferitele armonici ale unei tensiuni distorsionate se folosesc filtrele electrice.

Filtrul electric este un cuadripol liniar pasiv care plasat între sursa de tensiune distorsionată și sarcină permite să treacă armonici de o anumită frecvență adică se obține la ieșirea filtrului tensiunea unei singure armonici izolate sau tensiunea de curent continuu. Din acest punct de vedere, filtrele electrice se clasifică în:

- filtrul trece jos: permite să treacă componente ale tensiunii și curentului de frecvență cuprinsă între zero și f_0 ;
- filtrul trece sus: permite trecerea între f_0 și infinit;
- filtrul trece bandă: permite trecerea între f_1 și f_2 ;
- filtrul oprește bandă: permite trecerea între zero și f_1 , respectiv între f_2 și infinit.

Parametrii specifici filtrelor electrice sînt atenuarea și defazaajul.

Atenuarea se determină din următoarele relații:

- atenuarea puterilor:

$$a_P = \frac{1}{2} \lg \frac{P_1}{P_2} [N_P]; \quad a_P = 10 \lg \frac{P_1}{P_2} [dB];$$

- atenuarea tensiunii:

$$a_U = \lg \frac{U_1}{U_2} \left[\text{Np} \right] ; \quad a_U = 20 \lg \frac{U_1}{U_2} \left[\text{dB} \right] ;$$

- atenuarea curentului;

$$a_I = \lg \frac{I_1}{I_2} \left[\text{Np} \right] ; \quad a_I = 20 \lg \frac{I_1}{I_2} \left[\text{dB} \right] ;$$

în care neperul $\left[\text{Np} \right]$ și decibelul $\left[\text{dB} \right]$ sînt unități de măsură ale atenuării. Între neper și decibel există relația

$$1 \text{ Np} = 8,686 \text{ dB}$$

(v. și capitolul 7 "Măsurarea puterii și energiei electrice").

Cîștigul reprezintă atenuarea cu semn schimbat (este o amplificare).

Defazajul este unghiul dintre mărimea de intrare și mărimea de ieșire - tensiuni sau curenți de formă sinusoidală.

Filtrele electrice se realizează de cele mai multe ori din reactanțe - din condensatoare și bobine - pentru a obține o atenuare nulă în banda de trecere a filtrului.

În general, dacă bobinele se leagă în serie și condensatoarele se leagă în paralel cu receptorul, se obține o atenuare nulă pînă la frecvența superioară limită (frecvență superioară de tăiere - filtre trece jos). Dacă bobinele se leagă în paralel și condensatoarele se leagă în serie cu receptorul, se obține o atenuare nulă peste frecvența inferioară limită (frecvență inferioară de tăiere - filtre trece sus).

Cu alte combinații de legare - serie, paralel - a bobinelor și condensatoarelor se obțin filtre cu atenuare nulă pentru o bandă de frecvență limitată inferior (frecvență inferioară de tăiere) și limitată superior (frecvență superioară de tăiere).

Aceste filtre sînt filtre trece-bandă.

Filtrele electrice se folosesc frecvent în telecomunicații, în instalații de redresare (filtre trece-jos), în circuite de alimentare a aparatelor electrocasnice pentru înlăturarea cîmpurilor electromagnetice perturbatoare din transmisiile radiofonice etc.

Distorsiunile semnalelor sinusoidale reprezintă categoria cea mai studiată în tehnică. Acestea se clasifică astfel:

- distorsiuni neliniare;
- distorsiuni liniare.

Distorsiunile neliniare reprezintă schimbarea formei unui semnal pur sinusoidal aplicat la intrarea unui circuit electronic; la ieșire semnalul este modificat.

Pentru aprecierea distorsiunilor neliniare se folosește o mărime denumită factor de distorsiuni - notat cu litera grecească δ .

Factorul de distorsiune

$$\delta = \frac{\text{valoarea efectivă a armonicilor}}{\text{valoarea efectivă a fundamentalei}}$$

Sub formă matematică această expresie are următoarea formă:

$$\delta = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1} = \frac{U_2'}{U_1} \quad (10.11)$$

De exemplu, în receptoarele radio pentru putere de ieșire nominală se admite o valoare a gradului de distorsiuni $\delta_{\max} = 10\%$.

Tot distorsiunilor neliniare aparțin distorsiunile de intermodulație.

Distorsiunile liniare caracterizează modificarea formei semnalului-nesinusoidal - de către un circuit electric sau electronic compus din elemente reactive liniare.

Distorsiunile de amplitudine sînt consecința amplificării inegale a diferitelor armonici care compun semnalul complex (fig. 10.9). În fig. 10.9 a este redat semnalul la intrarea cuadripolului iar în fig. 10.9 b același semnal obținut la ieșirea cuadripolului și modificat din cauza armonicii a treia.

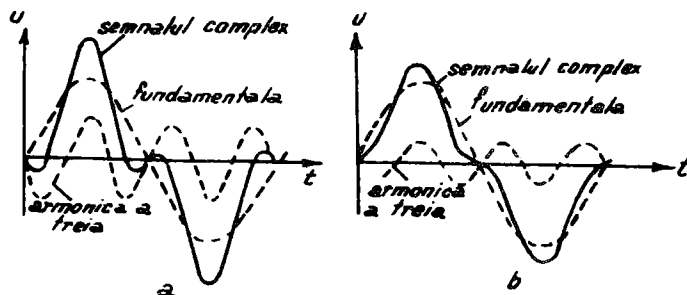


Fig. 10.9. Amplificarea inegală a diferitelor armonici într-un cuadripol.

Distorsiunile de fază. Apar cînd caracteristica de fază

$$\varphi = f(\omega) \quad (10.12)$$

se abate de la o variație liniară (fig. 10.10).

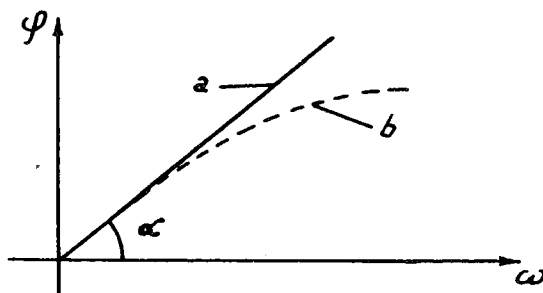


Fig. 10.10. Caracteristica de fază a unui cuadripol. a - reală; b - ideală.

În acest caz, semnalul este puternic distorsionat, forma sa la intrarea cuadripolului se deosebește de forma de la ieșire (fig. 10.11 a și b).

În fig. 10.1 este redat semnalul la intrarea cuadripolului iar în fig. 10.11 b același semnal obținut la ieșirea cuadripolului și modificat din cauza distorsiunii de fază a celei de a treia armonică.

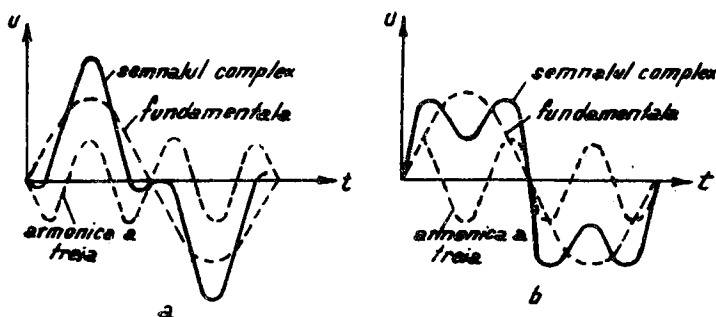


Fig. 10.11. Defazarea inegală a diferitelor armonici într-un cuadripol.

Distorsiunile de fază sînt nedorite mai ales în televiziune, în tehnica de calcul și în general în tehnica impulsurilor.

10.2. MIJLOACE DE MASURARE A DISTORSIUNILOR

Aparatele destinate măsurării distorsiunilor se numesc distorsiometre.

În principiu, cu ajutorul unui distorsiometru se determină măsura în care semnalul furnizat de un generator se apropie de o sinusoidă, perfectă sau în ce măsură un cuadripol deformează un semnal sinusoidal.

10.2.1. Distorsiometrul cu aparat indicator etalonat în grade de distorsiune (fig. 10.12).

Măsurarea se face în două faze: mai întâi (comutatorul K aflat în poziția 1) se reglează potențiometrul P și se fixează nivelul semnalului în dreptul unui reper fix al voltmetrului:

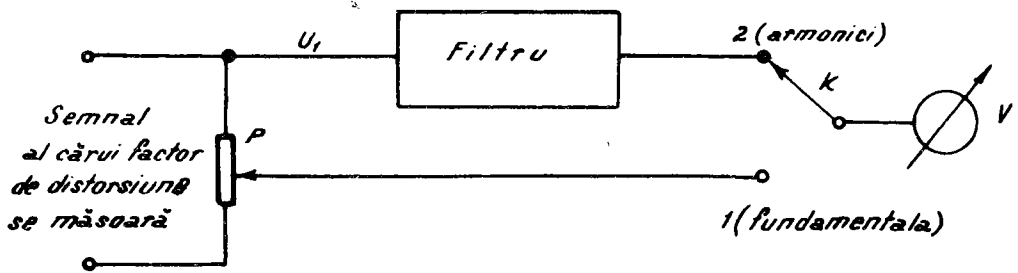


Fig. 10.12. Distorsiometrul cu aparat indicator etalonat în grade de distorsiune.

$$U_1 = \text{const.} = k \quad (10.13)$$

Se trece K în poziția 2 și se determină la voltmetru tensiunea U'_2 (potențiometrul P nu se dereglează).

Dar

$$U'_2 = \delta U_1 \text{ conform (10.11)}$$

în care:

δ este factorul de distorsiune.

Se înlocuiește (10.13) și se obține

$$U'_2 = k \delta \quad (10.14)$$

Prin urmare, voltmetrul se poate grada direct în valori ale factorului de distorsiune.

Tot pentru măsurarea factorului de distorsiune se folosesc și metode de măsurare.

- metoda filtrelor trece jos și trece sus;
- metoda punții LC;
- metoda punții RC.

CAPITOLUL 11

MASURAREA ELEMENTELOR ELECTRONICE DE CIRCUIT

11.1. GENERALITATI

Pentru depanarea echipamentelor electronice este necesară măsurarea și verificarea părților componente constituite în cea mai mare parte din elemente electronice de circuit.

În capitolele anterioare s-au prezentat diferite moduri de măsurare a elementelor electronice de circuit: rezistențe, capacități, inductivități.

În acest capitol se va descrie măsurarea componentelor electronice active, diode semiconductoare și tranzistoare bipolare, cu mijloace de măsurare portabile (ohmmetre, voltmetre și tranzistormetre).

S-a selectat această categorie de măsurări deoarece dispozitivele semiconductoare de mai sus reprezintă cele mai utilizate părți componente electronice iar aparatele universale (multimetre) sînt mijloacele de măsurare cele mai potrivite locului unde este instalată aparatura electronică.

Chiar și în laboratoarele de service cînd nu sînt necesare ridicări de caracteristici statice sau dinamice ale componentelor electronice de circuit active se apelează la măsurări rapide cu ohmmetrul, voltmetrul - incluse în multimetre - sau tranzistormetrul.

11.2. MASURAREA DIODELOR SEMICONDUCTOARE

Diodele semiconductoare pentru verificare sau măsurare pot fi deconectate sau conectate în circuit.

11.2.1. Măsurarea diodelor semiconductoare scoase din circuit

În fig. 11.1 sînt reprezentate posibilitățile de conectare ale unei diode pentru măsurarea cu aparatul universal selectat pe poziția "ohmmetrul".

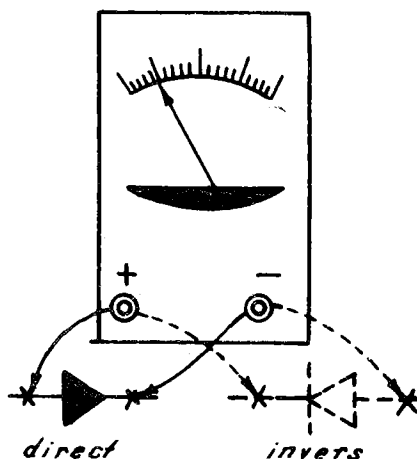


Fig. 11.1. Conectarea diodei semiconductoare pentru măsurarea cu aparatul universal.

La măsurare pot apărea posibilitățile următoare:

- dioda nu este defectă;
- dioda este defectă;
- dioda este nemarcată..

a. Dioda nu este defectă: se măsoară dioda și se obțin rezultatele:

- măsurare în sens direct ("+" pe anod); rezistență mică;
- măsurare în sens invers ("- " pe anod); rezistență mare.

b. Dioda este defectă: se măsoară dioda și se obțin rezultatele:

- măsurare în sens direct ("+" pe anod); rezistență mică;
- măsurare în sens invers ("- " pe anod); rezistență mică;

Concluzie: dioda este străpunsă;

sau:

- măsurare în sens direct ("+" pe anod); rezistență mare;
 - măsurare în sens invers ("-" pe anod); rezistență mare;
- Concluzie: dioda este întreruptă.

c. Dioda este nemarcată: se măsoară dioda și se obțin rezultatele:

- rezistență mică; terminalul de la borna "+" este anodul;
- rezistență mare; terminalul de la borna "-" este catodul.

NOTA:

Dacă se obțin rezultatele de la punctul b, dioda nemarcată este defectă.

11.2.2. Măsurarea diodelor semiconductoare conectate în circuit

Pentru măsurare este necesar mai întâi să se studieze circuitul electronic.

Dacă dioda semiconductoare nu este scurtcircuitată printr-o rezistență electrică de valoare mică se vor executa măsurările și se vor obține rezultatele indicate mai sus.

Când circuitul este complex se preferă măsurarea diodei semiconductoare sub tensiune. În loc de ohmmetru, aparatul universal - multimetrul - va fi selectat pe funcția "voltmetrul".

Fazele măsurării sînt următoarele:

- diodă în conducție: tensiunea la bornele diodei - anod-catod - este mică; 0,2 V pentru diodă cu germaniu și 0,6 V pentru siliciu.

- diodă blocată: tensiunea la bornele diodei - anod-catod - este mare și depinde de elementele electronice conectate în circuit cu dioda respectivă.

11.3. MASURAREA TRANZISTOARELOR BIPOLARE

Tranzistoarele bipolare - ca și diodele - vor fi măsurate similar diodelor semiconductoare, considerînd tranzistorul bipolar ca fiind echivalent cu două diode conectate în serie. Când tranzistorul este NPN, circuitul echivalent este conform fig. 11.2 a iar pentru tranzistor PNP, circuitul echivalent este cel din fig. 11.2 b.

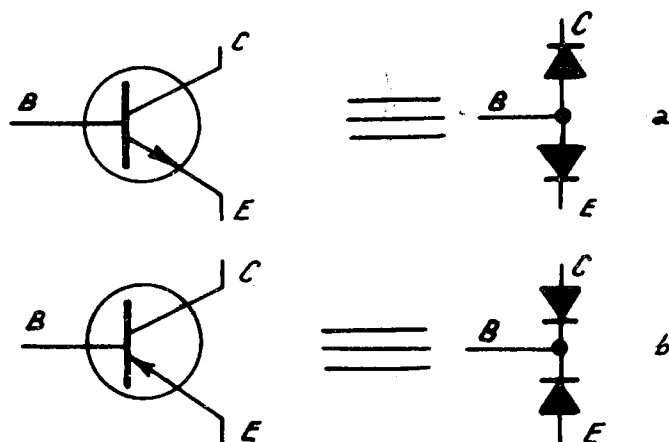


Fig. 11.2. Circuite echivalente cu diode semiconductoare pentru tranzistorul NPN (a) și PNP (b).

Similar măsurării diodelor semiconductoare, tranzistoarele bipolare pot fi deconectate sau conectate în circuit.

11.3.1. Măsurarea tranzistoarelor scoase din circuit

Măsurarea se execută cu aparatul universal selectat pe poziția "ohm-metru".

Se disting mai multe posibilități.

a. Tranzistorul nu este defect.

Tranzistor NPN.

- se măsoară între baza B și colectorul C; "+" pe B, rezistență mare; "+" pe C, rezistență mică;
- se măsoară între baza B și emitorul E; "+" pe B, rezistență mică; "+" pe E, rezistență mare;

- se măsoară între C și E; "+" pe C, rezistență mare; "+" pe E, rezistență mare.

Tranzistor PNP.

- se măsoară între B și C; "+" pe B, rezistență mare; "+" pe C, rezistență mică;

- se măsoară între B și E; "+" pe B, rezistență mare; "+" pe E, rezistență mică.

- se măsoară între C și E; "+" pe C, rezistență mare; "+" pe E, rezistență mare.

11.3.2. Măsurarea tranzistoarelor conectate în circuit

Pentru măsurare, se analizează mai întâi circuitul electronic. Dacă tranzistorul bipolar nu este scurtcircuitat printr-o rezistență electrică de valoare mică se vor executa măsurările conform punctului a - "Tranzistorul nu este defect" - și se vor obține rezultatele indicate când tranzistorul este bun.

În cazul unui circuit complex se va măsura tranzistorul bipolar sub tensiune. Se trece multimetrul de pe funcția "ohmmetru" pe "voltmetru" și se vor obține rezultatele din tabelul 11.1 și 11.2. În tabelul 11.1 rezultatele obținute indică un tranzistor corespunzător iar cele din tabelul 11.2 indică un tranzistor defect.

Tabelul 11.1.

Tranzistorul nu este defect

Tranzistorul		Starea	Tensiune bază-emitor U_{BE}
PNP	germaniu	conducție: "-" pe B;	-0,2 V
	siliciu	conducție: "-" pe B;	-0,6 V
NPN	germaniu	conducție: "+" pe B;	+0,2 V
	siliciu	conducție: "+" pe B;	+0,6 V
PNP	germaniu	blocat: "+" pe B;	$ U_{\text{măsurat}} \leq U_{BE} $ (catalog)
	siliciu		
NPN	germaniu	blocat: "-" pe B;	$ U_{\text{măsurat}} \leq U_{BE} $ (catalog)
	siliciu		

Tabelul 11.2.

Tranzistorul este defect

Tranzistorul	Starea normală	Starea de defect	Defectul
PNP și NPN	blocat	conducție	"străpuns"
PNP și NPN	conducție	blocat	"întrerupt" (ars)

În regim dinamic, măsurări precise pot fi realizate cu osciloscopul catodic. Se disting rezultatele din tabelul 11.3.

Tabelul 11.3.

Circuitul tranzistorului	Rezultatul
amplificator	Semnalul de pe colector = semnalul de pe bază x coeficientul de amplificare
repetor pe emitor	Semnalul de pe bază = semnalul de pe emitor
comutație	"blocat" sau "saturat" corespunzător semnalului aplicat pe bază

Pentru măsurări de precizie s-au conceput aparate de măsurat specializate pentru măsurarea diodelor sau tranzistoarelor.

La I.I.R.U.C., se utilizează un astfel de aparat - tranzistormetrul I.E.M.I. - tip E-0702 - descris în continuare.

11.4. TRANZISTORMETRUL E-0702

Produs la I.E.M.I.-București, aparatul este specializat pentru măsurarea și verificarea tranzistoarelor PNP și NPN de mică și medie putere, diodelor, diodelor Zener etc. În fig. 11.3 este prezentată schema bloc a tranzistormetrului.

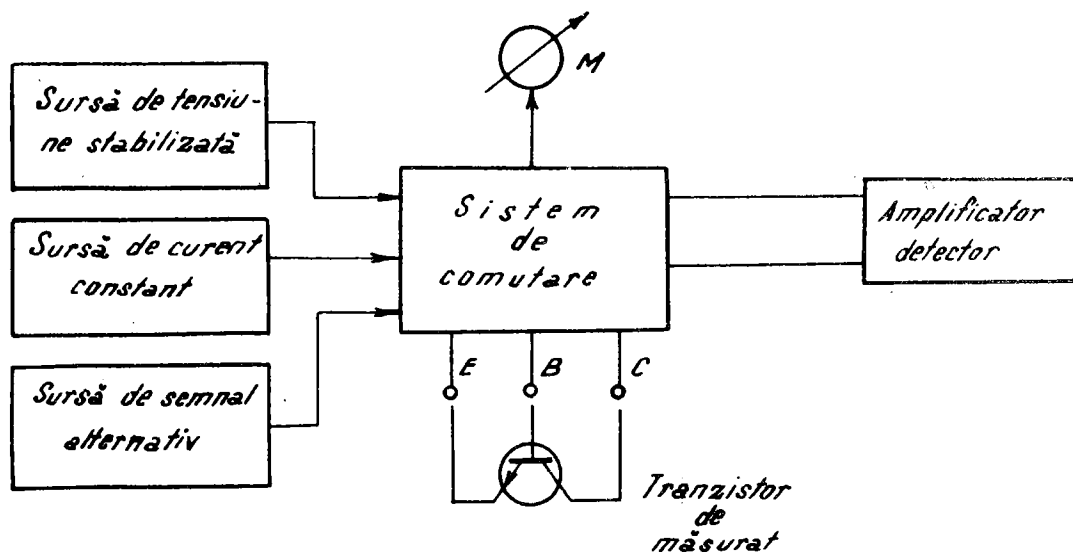


Fig. 11.3. Schema bloc a tranzistormetrului E-0702.

Se compune din:

- sursă de tensiune stabilizată;
- sursă de curent constant;
- sursă de semnal alternativ;
- sistem de comutare;
- amplificator - detector;
- instrument magnetoelectric.

Sursa de tensiune stabilizată împreună cu sursa de curent constant fixează punctul de funcționare dorit. Se folosește, deci, la polarizarea tranzistorului de măsurat. Sursa furnizează o tensiune continuă, stabilizată, reglabilă brut (în trepte) și fin (continuu).

Sursa de curent constant injectează un curent de valoare constantă în baza tranzistorului de măsurat; împreună cu sursa de tensiune stabilizată fixează punctul de funcționare.

Curentul generat de sursă este continuu, constant și reglabil brut (în trepte) și fin (continuu).

Sursa de semnal alternativ generează un curent alternativ care se poate regla brut (în trepte) sau fin (continuu) și care împreună cu amplificatorul-detector acordat pe frecvența sursei, permit măsurarea factorului de amplificare în curent.

Sursa este chiar rețeaua de curent alternativ cu frecvența de 50 Hz sau poate fi separată dar cu frecvență de 1 kHz.

Amplificatorul-detector transformă semnalul sursei de semnal alternativ într-un semnal proporțional cu factorul de amplificare în curent al tranzistorului de măsurat.

Sistemul de comutare conectează instrumentul magnetoelectric M în diferite puncte de măsurare ale schemei pentru funcțiile "voltmetru"; "miliampermetru" sau "factor de amplificare în curent".

Instrumentul magnetoelectric M se utilizează pentru măsurarea tensiunii, curentului din punctele de măsurare ale schemei și în final pentru măsurarea factorului de amplificare în curent.

Caracteristicile tehnice ale tranzistormetrului E-0702

Măsurarea tranzistoarelor

- tensiune de colector.....	0,1 V... 30 V;
- curent de colector.....	1 mA... 100 mA;
- curent invers.....	1 nA... 100 μ A;
- factorul de amplificare în curent (h_{21e}).....	30... 1000;
- precizie la măsurare h_{21e}	5%.

Măsurarea diodelor Zener

- tensiune de alimentare..... 30 V;
- rezistență de limitare a curentului..... 560 Ω

Măsurarea diodelor

- tensiune directă..... 0,1 V... 3 V;
- curent direct..... 1 mA... 100 mA;
- tensiune inversă..... 1 V... 30 V;
- curent invers..... 1 nA... 100 μ A;
- precizia de măsurare a tensiunii..... 3%;
- precizia de măsurare a curentului..... 3%;
- precizia de măsurare a curentului invers..... 5%;
- tensiune de alimentare..... 220 V \pm 10%
50 Hz/60 Hz

NOTA:

Tranzistormetrul E-0702 permite depistarea dispozitivelor semiconductoare defecte:

- scurtcircuit C-E la tranzistoare;
- scurtcircuit A-K la diode.

Descrierea tranzistormetrului E-0702 (fig. 11.4)

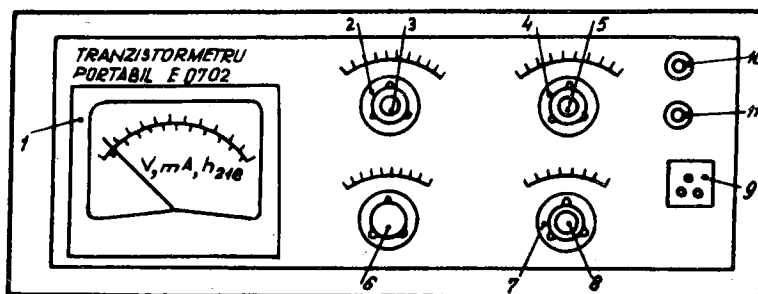


Fig. 11.4. Tranzistormetrul E-0702 - panoul frontal.

Pe panoul frontal sînt amplasate următoarele:

- 1 - instrumentul de măsurat;
- 2 - comutatorul de reglaj brut (în trepte) al curentului de bază;
- 3 - potențiometrul de reglaj fin (continuu) al curentului de bază;
- 4 - comutator de funcții;
- 5 - potențiometrul de reglaj fin al tensiunii U_C ;
- 6 - comutatorul de game pentru I_C , U_C , h_{21e} , I_0 ;
- 7 - comutatorul mod de lucru: PNP sau NPN;
- 8 - potențiometrul de calibrare;
- 9 - piesă de conectare a tranzistorului de măsurat;
- 10 - comutator de rețea;
- 11 - bec de semnalizare.


Punerea în funcțiune. Se conectează aparatul la rețea cu ajutorul comutatorului de rețea 10; se aprinde becul de semnalizare 11.

Modul de lucru

Determinarea dispozitivelor semiconductoare defecte:

- se selectează cu comutatorul de funcții 4 poziția scurtcircuit "Sc".
- se introduce dispozitivul semiconductor - tranzistor sau diodă - în piesa de conectare 9;
- dispozitiv semiconductor defect - scurtcircuit C-E (tranzistoare) sau A-K (diode)..... indicația dispozitivului 1 este zero.
- dispozitiv semiconductor în stare bună..... indicația instrumentului 1 va fi la capătul superior al scalei.

Măsurarea tranzistoarelor:

- se selectează cu comutatorul de funcții 4 poziția "  ";
- se selectează cu comutatorul mod de lucru 7 în poziția corespunzătoare: "PNP" sau "NPN";
- se selectează cu comutatorul de game 6 poziția "1" "10" sau "30" a tensiunii U_C (V);

- se reglează fin cu potențiometrul de reglaj fin 5 al tensiunii U_{CE} , tensiunea de polarizare a tranzistorului de măsurat (tensiunea de colector-emitor);

- se trece comutatorul de game 6 pe una din pozițiile "3", "10", "30" sau "100" ale curentului de colector I_C (mA);

- se injectează în baza tranzistorului de măsurat un curent de bază I_0 astfel:

- cu comutatorul de reglaj brut 2 - reglaj în trepte;

- cu potențiometrul de reglaj fin 3 - reglaj continuu;

pînă se obține curentul de colector dorit;

- se trece comutatorul de game 6 în poziția "CAL";

- se manevrează potențiometrul de calibrare 8 pînă cînd acul indicator al instrumentului 1 ajunge la cap de scală;

- se trece comutatorul de game 6 pe una din pozițiile "100", "1000" "3000" ale factorului de amplificare în curent h_{21e} ;

- se citește direct pe scala instrumentului 1, factorul de amplificare în curent h_{21e} al tranzistorului de măsurat.

Măsurarea curentului invers I_0


- se polarizează tranzistorul de măsurat între emitor și colector la fel cum s-a prezentat mai sus;

- se selectează cu comutatorul de funcții 4, poziția I_0 ;

- se selectează cu comutatorul de game 6 una din pozițiile "0,01", "0,1" "10", "100" ale curentului invers I_0 (μA);

- se citește la instrumentul de măsurat 1, curentul I_{CB0} .

Măsurarea diodelor

- se selectează cu comutatorul de funcții 4, poziția "";

- se selectează cu comutatorul mod de lucru 7, poziția "PNP";

- se reglează la fel cum s-a prezentat mai sus tensiunea U_C care este chiar tensiunea la bornele diodei U_d ;

- se citește tensiunea U_d și curentul prin diodă I_d la instrumentul de măsurat 1 după cum comutatorul de game 6 este selectat pentru tensiune (pozițiile " U_C ") sau pentru curent (pozițiile " I_C ");

Măsurarea curentului invers prin diodă se execută la fel dar comutatorul mod de lucru 7, se selectează în poziția NPN.

BIBLIOGRAFIE

1. x x x Generatoare de semnale sinusoidale,
Editura tehnică, București, 1979
2. Băjeu G., Stancu Gh. Agendă tehnică, Editura tehnică, București,
1981
3. Bițoiu A și colectiv Practica electronistului amator,
Editura Albatros, București, 1984
4. Brașovan I., Gherman Gh. Măsurarea mărimilor electrice și magne-
tice - Probleme - Editura Facia, Timi-
șoara, 1978
5. Brufman S.S. Indicatoare numerice, Editura tehnică,
București, 1966
6. Constantinescu V. Măsurarea rezistenței de izolație, Editura
tehnică, București, 1967
7. Costache C. Laboratorul radioamatorului, Editura teh-
nică, București, 1971
8. Cruțeru C. Tehnica măsurărilor în telecomunicații,
Editura tehnică, București, 1982
9. Doncescu D. Utilizarea calculatoarelor la prelucrarea
datelor experimentale privind determina-
rea câmpurilor magnetice în regim de-
formant. Referat doctorat, I.P.B., 1978
10. Doncescu D. Aparat de măsură și control, Vol. 1,
I.I.R.U.C., 1985
11. Doncescu D. Electrotehnica, I.I.R.U.C., 1984

12. x x x Elemente de electrotehnică și de tehnica măsurării mărimilor electrice și magnetice, Editura tehnică, București, 1959
13. Dordea R., Nitu C. Aparate și metode de măsurat și control, Editura didactică și pedagogică, București, 1969
14. Eremia A., Enache D. Aparate de măsură și control, I.I.R.U.C. 1978
15. Iliescu C. și colectiv. Măsurări electrice și electronice, Editura didactică și pedagogică, București, 1983
16. Ilciu N., Ivanovici Gh. Memorator de metrologie, Editura tehnică, București, 1966
17. Leu Neiu-I. De la măsurarea cu pasul la măsurători din satelit, Editura științifică și enciclopedică, București, 1981
18. Magda R., Nemeș A. Evoluția automatizării de la regulator la calculator, Editura tehnică, București, 1981
19. Manolescu P.,
 Ionescu Golovanov C. Măsurări electrice și electronice, Editura didactică și pedagogică, București, 1980
20. Mateescu Ioan,
 Mateescu Irina Osciloscopul, Editura tehnică, București, 1972
21. Millea A. Informație și incertitudine în măsurări, Editura tehnică, București, 1982
22. Millea A. Măsurări electrice - principii și metode, Editura tehnică, București, 1980
23. Miteșcu I. Sisteme de transmisiuni telefonice - îndrumar de laborator - Centrul de multiplicare I.P.B., București, 1980
24. Mitican I. Radiotelefoane, Funcționare. Exploatare, Editura tehnică, București, 1979

25. x x x Elektrische und wärmetechnische messungen. Hartmann und Braun AG Frankfurt/Main
26. Negsseog S. Transistor - Vergleichs - Handbuch, Verlag für technische Literatur, Conrad, 1968
27. Nicolau Ed. și colectiv Manualul inginerului electronist, Editura tehnică, București, 1979
28. Nicolau Ed., Beliş M. Măsurări electrice și electronice, Editura didactică și pedagogică, București, 1972
29. Pfeiffer W. Tehnica impulsului, Editura tehnică, București, 1982
30. Pop E. și colectiv Tehnici moderne de măsurare, Editura "Facla", Timișoara, 1983
31. Popescu Al., Nica A. Aparat electronice pentru măsurări industriale, Editura tehnică, București, 1978
32. Popov S. V. Măsurări și aparate electrotehnice de măsurat, Editura energetică de stat, București, 1953
33. Reinhold P. Tehnica măsurării tranzistoarelor, Editura tehnică, București, 1971
34. Stănciulescu Gh. Cartea radioamatorului, Editura sport-turism, București, 1981
35. x x x Sistemul Internațional de Unități, Editura didactică și pedagogică, București, 1982
36. Slapciu G. și colectiv Repararea aparatelor electrice de măsurat și control, Editura tehnică, București, 1972
37. Stoicescu E. Aparat de măsurat și măsurări în radioteleviziune, Editura didactică și pedagogică, București, 1968
38. Stoicoviciu O. Manualul electromecanicului de aparat de măsurat și automatizări, Editura didactică și pedagogică, București, 1970

- | | |
|---------------------------|---|
| 39. Wardalla M., Pascu A. | Măsurări electrice în telecomunicații,
Editura didactică și pedagogică, București, |
| 40. x x x | Beschreibung und service - anleitung
Funksprechmessplatz Typ ZPFM3. |
| 41. x x x | Carte tehnică. Generator de joasă frec-
vență cu afișare numerică (Versatester)
Tip E-0502. I.E.M.I., București |
| 42. x x x | Carte tehnică. Multimetru numeric, Tip
E-0302, I.E.M.I., București |
| 43. x x x | Carte tehnică. Osciloscop de laborator,
Tip E-0103, I.E.M.I., București |
| 44. x x x | Carte tehnică. Osciloscop (Miniscop), Tip
E-0104, I.E.M.I., București |
| 45. x x x | Carte tehnică. Wattmetru RF Tip E-0408.
I.E.M.I., București |
| 46. x x x | Chinaglia. Analizzatore mod. CITO 38.
Istruzioni per l'impiego. |
| 47. x x x | Electronic oscilloscope, Type DT-516 A,
Operating instruction, Radiotechnika.
Wroclaw, Poland. |
| 48. x x x | Friden. Electronic Course, Leçon 16,
L'oscilloscope, Friden, Int. |
| 49. x x x | LAVO-2, Gebrauchsanweisung; Polen. |
| 50. x x x | LAVO-3, Universal messinstrument,
Gebrauchsanweisung, Polen |
| 51. x x x | MAVO-1, Instrucțiuni de utilizare,
I.A.E.M. Timișoara |
| 52. x x x | Multimetru Tip MF-35. Instrucțiuni de
utilizare I.A.E.M. Timișoara |
| 53. x x x | MX 209A. Notice d'utilisation. ITT Me-
trix, 1970 |

54. x x x Normatest. Gebrauchsanweisung, Norma,
Wien- Austria
55. x x x Oszilloskop Typ OS 150. Bedienungsanlei-
tung UNITRA. Warszawa - Polen
56. x x x Output power meter, type PWT-5A,
Operation instructions KABID-ZOPAN,
Warszawa - Poland
57. x x x S1-79. Oscillograf universalnfi. Tehnices-
coe opisane i instructia po ecspluatafi.
58. x x x Schlumberger. Notice technique. Oscil-
loscope OCT 569 A
59. x x x Tesla. Oscillograf BM 464
60. x x x Tranzistormetru Tip E-0708 M. Carte
tehnică. I.E.M.I.-Bucureşti
61. x x x Vielbereich - universal - measuring instrument,
Typ UM-3B. Bedienungsanweisung.
Warszawa - Polen