

Modul 5. Măsurarea mărimilor electrice (*tensiune, curent, puteri, factor de putere etc.*)

- 1) Principii. Măsurarea valorilor efective ale mărimilor de stare
- 2) Caracteristici statistice ale mărimilor de stare în rețeaua electrică de alimentare
- 3) Măsurarea puterilor active în rețele electrice de distribuție
- 4) Factorul de putere în rețele de distribuție
- 5) Contoare digitale
- 6) Măsurarea puterilor și energiilor în regimuri nesimetrice și deformante
- 7) Condiții de validare și verificare a echipamentelor de măsurare utilizate pentru decontarea energiei electrice

Elth ; 4C + 10A

5) PRINCIPII. MĂSURAREA VALORILOR EFECTIVE ALE MĂRIMILOR DE STARE

5.1. Semnale

Semnalele sunt reprezentarea fizică a informației (de măsurare). Semnalele sunt reprezentate prin variația unor mărimi de natură electromagnetică.

În sistemele energetice, este de mare importanță cunoașterea semnalelor corespunzătoare mărimilor tensiune, curent electric, putere electrică și energie electrică.

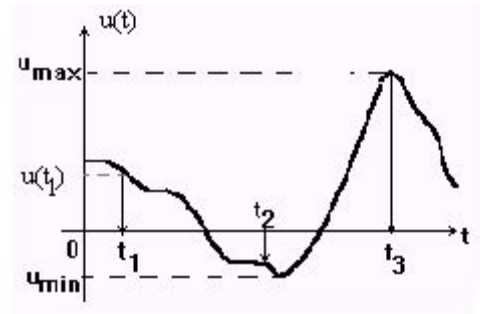
Un semnal este complet determinat dacă i se cunoaște, **integral**, variația în timp și spațiu. Cum acest lucru este mai mult decât incomod, se dorește evidențierea unor caracteristici (în număr finit!) ale diverselor tipuri de semnale, câteva dintre acestea fiind prezentate mai jos.

Semnale oarecare :

valoarea momentană $u(t)$;

valoarea maximă u_{max} ;

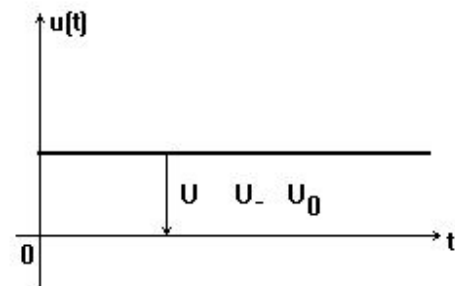
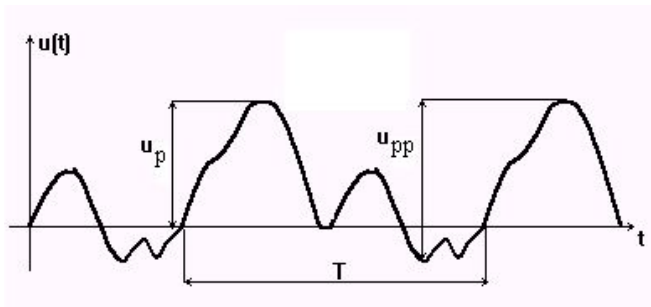
valoarea minimă u_{min}



Semnale continue:

valoarea (momentană) și semnul: U

Semnale periodice (perioadă T)



5.2 . Definirea mărimilor

amplitudinea

valoarea vârf-la-vârf (engl. *peak-to-peak voltage*): u_{pp}

valoarea medie (*mean value*):
$$\bar{u} = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{T+t_0} u(t) dt$$

valoarea medie a semnalului redresat (*average value*):
$$|\bar{u}| = \frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{T+t_0} |u(t)| dt$$

valoarea efectivă (*root mean square value; rms*):
$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_{t_0}^{T+t_0} [u(t)]^2 dt}$$

factorul de vârf (*crest factor*):
$$k_v = \frac{u_p}{U} \geq 1$$

factorul de formă (*form factor*):
$$k_f = \frac{U}{|\bar{u}|} \geq 1$$

Semnale cu variație sinusoidală: $u(t) = \hat{U} \cdot \sin(\omega \cdot t + \alpha)$

amplitudinea: \hat{U}

pulsația: $\omega = \frac{2 \cdot \pi}{T} = 2 \cdot \pi \cdot f$

unde T este perioada iar f este frecvența.

valoarea vârf-la-vârf: $2 \cdot \hat{U}$

valoarea medie: 0

valoarea medie a semnalului redresat:
$$|\bar{u}| = \frac{1}{T} \cdot \int_0^T |u(t)| dt = \frac{2 \cdot \hat{U}}{\pi}$$

valoarea efectivă:
$$U = \sqrt{\frac{1}{T} \cdot \int_0^T [u(t)]^2 dt} = \frac{\hat{U}}{\sqrt{2}}$$

factorul de vârf:
$$k_v = \frac{\hat{U}}{U} = \sqrt{2}$$

factorul de formă:

$$k_f = \frac{U}{|u|} = \frac{\pi}{2 \cdot \sqrt{2}} \approx 1,11$$

În cazul semnalelor alternative periodice, este util adeseori să se opereze o distincție între semnalul pur sinusoidal (pentru care componenta continuă, determinată cu ajutorul valorii medii, este nulă) și restul semnalelor alternative (pentru care componenta continuă, determinată cu ajutorul valorii medii, este diferită de zero).

Pentru măsurări asupra semnalelor electrice, în scopul obținerii unei valori care să caracterizeze măsurandul, se utilizează aparate analogice de tip electromecanic, aparate electronice și aparate digitale.

Interesul privind măsurările în curent continuu provine, pe de o parte, din faptul că acestea sunt mai simple (cu numai doi parametri: mărime și semn) și că exactitatea este mai bună decât la măsurările în curent alternativ, iar pe de altă parte, din necesități practice, multe instalații industriale de măsurare funcționând în curent continuu (semnal unificat, de exemplu).

Măsurările în curent alternativ urmăresc obținerea unor parametri caracteristici ai semnalului. În curent alternativ, pentru o mărime alternativă în regim staționar, se definesc și se măsoară: valoarea efectivă, valoarea medie, valoarea de vârf, factorul de formă, factorul de vârf.

Aparatele de măsurat trebuie să permită măsurarea acestor parametri ai semnalului, într-o gamă foarte largă de frecvențe și de valori maxime. Interesează, în special în instalațiile de curenți tari, măsurarea valorii efective a semnalului. Însă, apar cerințe și pentru măsurarea celorlalți parametri, fiind necesară elaborarea unor aparate de măsurat specializate.

Metodele și mijloacele de măsurare a intensității curentului electric prezintă particularități în funcție de nivelul semnalului și de forma acestuia (c.c. sau c.a. sinusoidal sau nesinusoidal). În curent continuu, detectarea și măsurarea curenților electrici de mică intensitate se realizează cu ajutorul galvanometrelor magnetoelectrice, iar pentru măsurarea intensității curentului continuu se folosesc ampermetre magnetoelectrice. Prin asocierea cu un dispozitiv de redresare, aparatele magnetoelectrice se pot utiliza, în curent alternativ sinusoidal, pentru măsurarea valorii efective a intensității curentului. Prin asocierea cu termoelemente, aparatele magnetoelectrice pot indica valoarea efectivă a intensității curentului electric pentru semnale cu frecvențe ridicate sau de formă nesinusoidală.

Pentru curenți alternativi de frecvență industrială 50 Hz, se utilizează ampermetre feromagnetice; ele indică valoarea efectivă, iar extinderea intervalelor de măsurare se realizează cu transformatoare de măsurare de curent.

În curent continuu și în curent alternativ de joasă frecvență, se pot utiliza ampermetre electrodinamice, în special ca aparate etalon.

Nu trebuie uitat că montarea ampermetrului necesită întreruperea circuitului, iar rezistența internă r_A poate modifica valoarea curentului din circuit. Rezultă o perturbare a funcționării circuitului și, drept urmare, curentul măsurat I_m va fi mai mic decât cel real I :

$$I_m = \frac{R_i}{R_i + r_A} I$$

unde R_i reprezintă rezistența echivalentă în schemă echivalentă Norton.

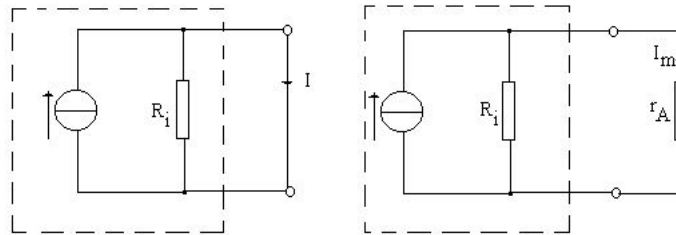


Fig. 5.1. Efectul introducerii ampermetrului în circuit.

Măsurarea tensiunii electrice are o pondere deosebită în cadrul măsurărilor electrice. În circuitele de curent continuu, pentru măsurarea tensiunii, se utilizează voltmetre magnetoelectrice. Pentru utilizări în circuite de curent alternativ, se construiesc voltmetre magnetoelectrice cu redresor sau cu termoelement (care indică valoarea efectivă indiferent de forma curentului alternativ). Instrumentele feromagnetice și electrodinamice sunt utilizate pentru realizarea voltmetrelor de curent alternativ de frecvență 50 Hz.

Prin construcție, un voltmetru măsoară diferența de potențial care îi este aplicată la borne. El absoarbe o oarecare energie de la circuitul în care este introdus; un voltmetru ideal trebuie să aibă o rezistență internă R_V infinită ca să nu perturbe funcționarea sistemului electric în care este introdus.

Aprecierea erorii produse de introducerea voltmetrului în circuit se poate face cu ajutorul schemei tip Thevenin. La conectarea într-un circuit a unui voltmetru cu rezistența internă R_V , acesta indică o tensiune:

$$U_V = \frac{R_V}{R_i + R_V} U$$

mai mică decât tensiunea normală U .

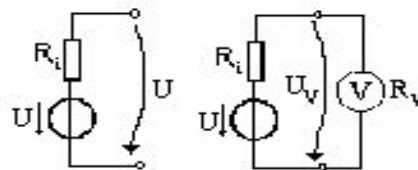


Fig. 5.2. Efectul introducerii voltmetrului în circuit.

Pentru a măsura cât mai corect tensiunea, voltmetrul trebuie să fie realizat cu o rezistență internă cât mai mare. Pentru o eroare mai mică de 1%, rezistența internă a voltmetrului trebuie să fie cu două ordine de mărime mai mare decât a circuitului în care se conectează.

Voltmetrele electromecanice au o rezistență R_V dependentă de tensiunea nominală U_n , din care cauză consumul propriu se apreciază prin intermediul rezistenței interne corespunzătoare tensiunii de 1 V: $r_V = R_V/U_n$.

Voltmetrele electronice analogice și voltmetrele digitale au rezistențe interne foarte mari, ele perturbând nesemnificativ circuitul în care se face măsurarea.

În afară de consum și rezistența internă, la alegerea unui voltmetru interesează și alte caracteristici metrologice: tensiunea nominală, clasa de exactitate, domeniul de frecvență.

◆Multimetre digitale

Prin atașarea unor convertoare de prelucrare tensiune alternativă-tensiune continuă (de valori medii, de vârf sau efective), aria de utilizare a voltmetrelor digitale se extinde și la măsurarea tensiunii alternative. Exactitatea voltmetrelor digitale pentru tensiune alternativă este, de regulă, cu un ordin de mărime mai mică decât a aparatului de bază, voltmetrul digital de c.c.

Voltmetrele digitale actuale sunt prevăzute cu unele automatizări privind operațiile de alegere a gamei optime de măsurare, de compensare a unor erori, de indicare a polarității și de calibrare. De exemplu, la fiecare ciclu de măsurare al voltmetrelor digitale de precizie se intercalează o secvență de autocalibrare prin comparare cu referințele interne ale aparatului. Corecția automată a erorii de zero se face scurtcircuitând intrarea voltmetrului, tensiunea reziduală memorându-se și utilizându-se în etapa de măsurare, când se măsoară diferența dintre tensiunea de intrare și valoarea memorată. Selecția automată a gamei de măsurare asigură efectuarea măsurării cu rezoluție optimă.

Majoritatea multimetrelor digitale moderne sunt prevăzute cu posibilitatea măsurării mai multor mărimi: tensiuni continue și alternative, curenți continui și alternativi, rezistențe etc.

Schema bloc a unui multimetru digital arată că voltmetrul digital de bază rămâne neschimbat, iar pentru măsurarea diferitelor mărimi se adaugă convertoare adecvate.

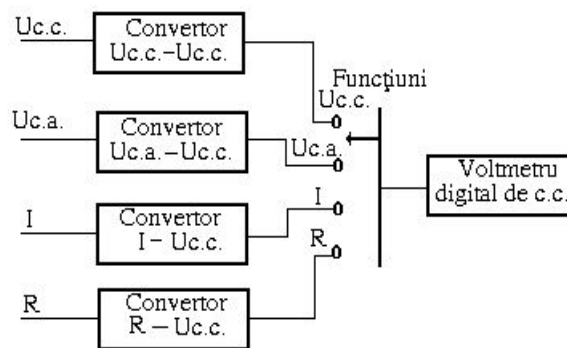


Fig. 5.3. Realizarea multimetrului digital.

De exemplu, convertorul pentru măsurarea rezistenței se poate realiza cu una din schemele din figura următoare. În prima schemă, curentul de măsurat parcurge un șunt comutabil, producând întotdeauna aceeași cădere de tensiune de 0,2 V, ce va fi măsurată cu voltmetrul digital de c.c. În cazul în care rezistența șuntului deranjează funcționarea circuitului în care se face măsurarea, se utilizează convertorul din a doua figură, la care tensiunea de ieșire este proporțională cu intensitatea curentului măsurat: $U_0 = -RI$

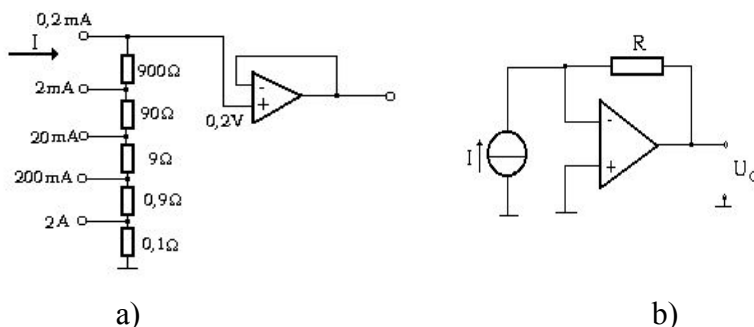


Fig. 5.4. Convertoare pentru intensitatea curentului electric.

Această schemă se poate utiliza și drept convertor rezistență electrică-tensiune electrică, dacă R este rezistența de măsurat, iar curentul I este produs de un generator de curent constant.

Mijloace de măsurare digitale:

- Nici o specificație – doar pentru regim sinusoidal
- RMS – valoarea efectivă a semnalului fără componentă de c.c.
- True RMS – valoarea efectivă a semnalului cu componentă de c.c.

6) CARACTERISTICI STATISTICE ALE MĂRIMILOR DE STARE ÎN REȚEAUA ELECTRICĂ DE ALIMENTARE

a) Progresele făcute în tehnologiile de stocare a datelor determină creșterea volumului de date care poate fi valorificat în rezolvarea problemelor de măsurare. Metodele statistice sunt cele mai des utilizate în acest sens. Prin prelucrare statistică a rezultatelor este posibilă obținerea unor indicatori specifici estimativi ai variației mărimilor electrice reprezentative. Cunoașterea parametrilor statistici ai tensiunii pe barele de alimentare facilitează caracterizarea completă a calității tensiunii.

Mărimile specifice care pot caracteriza șirul de date:

- Media aritmetică:

$$\bar{x}_{\text{esantion}} = \frac{\sum x_i}{n}; \quad i = 1 \dots n$$

- Abaterea medie pătratică:

$$s = \sqrt{D_s} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

- Coeficientul de variație:

$$CV_{\%} = \frac{s}{\bar{x}} \cdot 100, \quad [\%]$$

- Mediana (x_{me}) este termenul din mijlocul șirului ordonat crescător. Dacă șirul are număr par de elemente, mediana este media aritmetică a celor doi termeni din mijlocul șirului. Mediana nu este afectată de fluctuațiile selecției; se poate determina grafic prin

construirea curbei frecvențelor cumulate.

Aplicație practică: determinarea variațiilor de tensiune pe o durată precizată de timp și calculul indicatorilor statistici.

- b) Un mare număr de mărimi de influență determină dispersia valorilor măsurate. Astfel, dacă un același observator efectuează mai multe determinări ale unei aceleiași mărimi, în condiții tehnice identice, valorile individuale obținute în urma măsurătorilor vor fi diferite una de alta, astfel că afirmațiile cu privire la calitatea măsurării se pot face numai apelând la statistica matematică, ceea ce impune, firește, efectuarea unui număr foarte mare de determinări.

Exemplu: cu un milivoltmetru s-au efectuat 10 determinări ale unei aceleiași tensiuni, în tabelul de mai jos fiind prezentate rezultatele măsurătorilor:

i	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
U_i [V]	103	106	102	104	105	104	104	103	104	105

Valoarea medie este:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^{10} x_i}{n} = \frac{1040}{10} = 104 \text{ V}$$

Abaterea medie standard este:

$$s = \pm \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\Delta_i)^2}{n-1}} = \pm \sqrt{\frac{12}{9}} = \pm 1,155 \text{ V}$$

cu

$$\Delta_i = x_i - \bar{x}$$

Cele 10 valori determinate reprezintă numai un eșantion al populației de bază, care corespunde unei distribuții normale. Pentru un număr N infinit de determinări, funcția de densitate de probabilitate corespunzătoare distribuției normale de medie μ și abatere medie standard este:

$$N_{\mu, \sigma}(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}}$$

$N(X)$ este densitatea distribuției normale, unde X este variabila aleatoare continuă. Pentru x , ca variabilă aleatoare discretă care ia valorile $x_i, 1 \leq i \leq N$, se poate calcula:

$$\text{valoarea medie: } \bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N} \quad \text{dispersia: } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}{N-1}}$$

În figura de mai jos este reprezentată cu linie continuă distribuția normală (pentru N infinit) și cu linie întreruptă distribuția valorilor din eșantionul considerat; μ este valoarea medie a populației de bază, iar \bar{x} este valoarea medie a valorilor corespunzătoare eșantionului considerat.

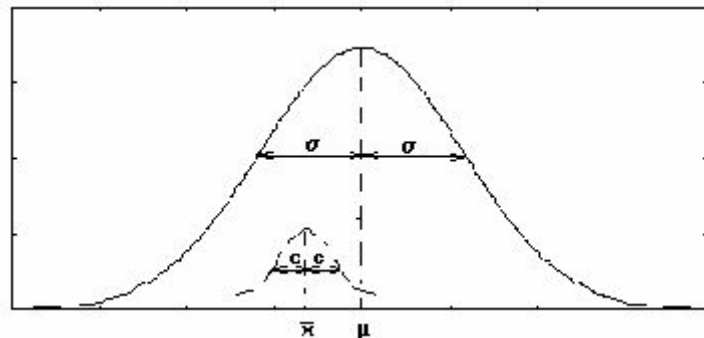


Fig. 5.5. Reprezentarea distribuției valorilor măsurate (eșantion de 10 valori) și a distribuției normale corespunzătoare

Cunoscând valoarea medie \bar{x} **nu** se poate determina valoarea căutată medie μ , dar aplicând teoria statistică se poate evalua un interval de încredere centrat în \bar{x} , în care valoarea μ se va găsi cu o probabilitate P . Intervalul de încredere este definit de:

$$\bar{x} - \frac{t}{\sqrt{N}} \cdot s \leq \mu \leq \bar{x} + \frac{t}{\sqrt{N}} \cdot s$$

unde t este o valoare numerică dependentă de numărul N de măsurători efectuate și de probabilitatea P acceptată, $t = t(N,P)$ fiind distribuția Student.

Exemplu: Intervalului de încredere pentru o probabilitate de 95% ($N=10$) îi corespunde valoarea $t=2,262$

iar intervalul de încredere în care se va găsi valoarea medie a tensiunii măsurate este:

$$104 \text{ V} - 0,83 \text{ V} = 103,17 \text{ V} \quad x \quad 104,83 \text{ V} = 104 \text{ V} + 0,83 \text{ V}$$

unde $0,83 \text{ V} = t s/N$; $N = 10$; $s = 1,155 \text{ V}$.

Se observă că intervalul de încredere este mai mic decât dispersia s a eșantionului considerat. Pentru o micșorare a intervalului de încredere trebuie mărit numărul N de măsurători.

Înainte de utilizarea metodelor statistice în prelucrarea și interpretarea rezultatelor unei măsurători este necesar să se verifice tipul de distribuție în care aceste valori se încadrează, pentru a putea aplica rezultatele teoretice corespunzătoare. În cazul particular al sistemelor de măsurare se verifică existența unei distribuții normale a valorilor. Pentru aceasta, se ordonează valorile determinate și se sortează în funcție de numărul de apariții ale acestora în șrl valorilor măsurate:

Valoare măsurată [V]	Frecvența (absolută) de apariție	Frecvența relativă %	Suma frecvențelor relative
101	0	0	0
102	1	10	10
103	2	20	30
104	4	40	70
105	2	20	90
106	1	10	100
107	0	0	100

Suma frecvențelor relative va fi trasată în așa numita rețea de probabilitate pentru distribuția normală. Liniatura acesteia este în așa fel realizată, încât punctele care corespund unei distribuții normale vor fi coliniare.

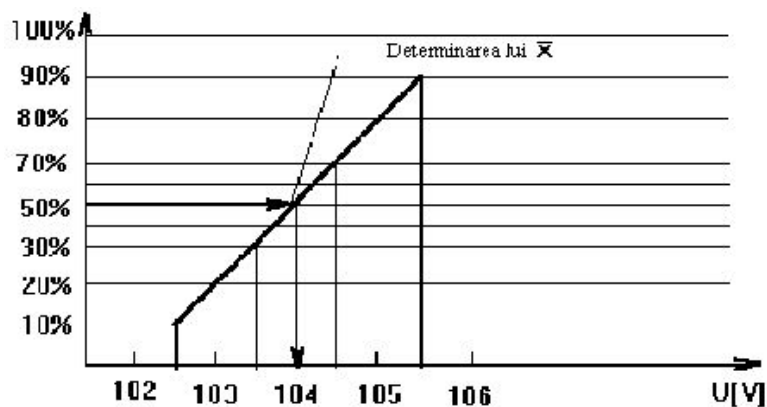


Fig. 5.6. Reprezentarea frecvenței de apariție a valorilor măsurate (eșantion de 10 valori) pe o rețea de probabilitate; în cazul distribuției normale se obține o dreaptă.

Tabel. Valorile distribuției $t(n,P)$

n-1	P=95%	P=99%	P=99.95	n-1	P=95%	P=99%	P=99.9%
1	12,7	63,657	636,619	26	2,050	2,779	3,707
2	4,303	9,925	31,598	27	2,052	2,771	3,690
3	3,182	5,841	12,924	28	2,048	2,763	3,674
4	2,776	4,04	8,610	29	2,045	2,756	3,659
5	2,571	4,032	6,869	30	2,042	2,750	3,646
6	2,447	3,707	5,959	35	2,030	2,724	3,591
7	2,365	3,499	5,408	40	2,021	2,704	3,551
8	2,306	3,355	5,041	45	2,014	2,690	3,520
9	2,262	3,250	4,781	50	2,009	2,678	3,496
10	2,228	3,169	4,587	60	2,000	2,660	3,460
11	2,201	3,106	4,437	70	1,994	2,648	3,435
12	2,179	3,055	4,318	80	1,990	2,639	3,416
13	2,160	3,012	4,221	90	1,987	2,632	3,402
14	2,145	2,977	4,140	100	1,984	2,626	3,390

15	2,131	2,947	4,073	120	1,980	2,617	3,373
16	2,120	2,921	4,015	140	1,977	2,611	3,361
17	2,110	2,898	3,965	160	1,975	2,607	3,352
18	2,101	2,878	3,922	180	1,973	2,603	3,346
19	2,093	2,861	3,883	200	1,972	2,601	3,340
20	2,066	2,845	3,850	300	1,968	2,592	3,324
21	2,030	2,831	3,819	400	1,966	2,588	3,315
22	2,074	2,819	3,792	500	1,963	2,586	3,310
23	2,069	2,807	3,767				
24	2,064	2,797	3,745	1000	1,962	2,581	3,300
25	2,060	2,787	3,725		1,960	2,576	3,291

c) Recomandări CEI pentru determinarea valorilor caracteristice ale semnalelor uzuale

Determinările pentru evaluarea caracteristicilor semnalelor de tensiune, curent, putere electrică etc. din sistemele electroenergetice este indicat să se efectueze conform unor proceduri recomandate pe plan internațional (CEI 1000 – 3), pentru a asigura informații acceptate atât de furnizorul de energie electrică, cât și de consumatori. Pe baza datelor înregistrate, se recomandă efectuarea prelucrării statistice pe intervale standard de timp:

- interval foarte scurt (*very short*) $T_{vs} = 3$ s;
- interval scurt (*short*) $T_{sh} = 10$ min;
- interval lung (*long*) $T_L = 1$ h;
- interval de o zi (*one day*) $T_D = 24$ h;
- interval de o săptămână (*one week*) $T_{wk} = 7$ zile

Toate valorile caracteristice sunt determinate ca medii ale valorilor corespunzătoare (medii, efective) calculate pe durata a 200 ms (echivalentă a 10 perioade ale semnalului de frecvență fundamentală de 50 Hz), aceste medii fiind reactualizate continuu (medie alunecătoare). Aserțiunile referitoare la aceste valori mediate sunt făcute apoi, prin considerarea probabilității P cu care valoarea determinată se regăsește în intervalul furnizat ca rezultat al măsurării. Valoarea uzuală pentru P este 95%. Astfel, enunțul: "Tensiunea de alimentare la momentul t_0 a fost de $232 \pm 0,5V$ " este interpretată ca: "în 95% din intervalele temporale fiecare având durata de 200ms, din interiorul intervalului de durată 3s care conține momentul t_0 și pentru care s-a calculat valoarea efectivă a tensiunii, această valoare a fost în intervalul 231,5V...232,5V"

7) MĂSURAREA PUTERILOR ACTIVE ÎN REȚELE ELECTRICE DE DISTRIBUȚIE

7.1. Definiții

Puterea instantanee

Puterea instantanee într-un sistem electric monofazat este definită ca fiind debitul de energie electrică $W(t)$ prin secțiunea respectivă a sistemului:

$$p(t) = \frac{dW(t)}{dt}$$

Dacă în secțiunea considerată a sistemului, tensiunea instantanee este notată cu $u(t)$ și intensitatea curentului instantaneu cu $i(t)$, pe baza considerentelor prezentate, puterea instantanee se definește ca fiind produsul valorilor instantanee:

$$p = u(t) \cdot i(t)$$

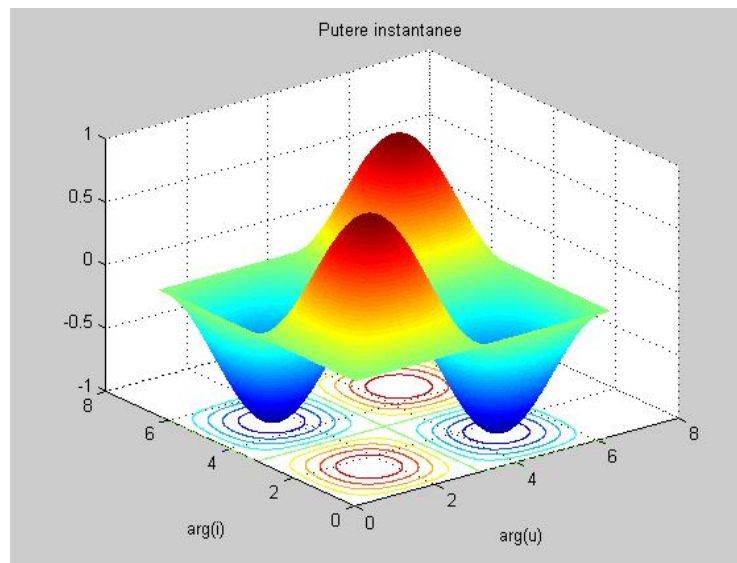


Fig.5.7. Puterea instantanee în regim sinusoidal.

În Fig.5.7 se indică reprezentarea grafică tridimensională a puterii instantanee, obținută în cazul formelor de undă sinusoidale, în circuit monofazat. Se observă schimbarea de semn a valorilor puterii instantanee pe o perioadă, ceea ce indică necesitatea unui bloc de multiplicare care să funcționeze în 4 cadrane.

Puterea activă

Valoarea medie pătratică a unei mărimi variabile în timp $x(t)$ observată pe intervalul T se determină cu relația :

$$\overline{x^2}(t, T) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t x^2(\tau) d\tau$$

Aceasta definiție corespunde unei mărimi ce depinde de variabila t și de parametrul T . Dacă intervalul de observare T coincide cu o perioadă sau cu un număr întreg de perioade ale mărimii $x(t)$, valoarea efectivă (rms) este data de relația :

$$X = \sqrt{\overline{x^2}(t, T)} \quad \forall t$$

Puterea instantanee poate fi mediată pe intervalul generic de timp T , puterea medie obținându-se cu expresia:

$$\overline{p}(t, T) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t p(\tau) d\tau$$

această mărime depinzând de variabila t și de parametrul T ce corespunde intervalului de observare.

În cazul mărimilor periodice, când intervalul de observare T coincide cu o perioadă a mărimii respective, sau un multiplu al acesteia, valoarea medie nu mai depinde de t . În acest caz, puterea determinată cu relația de mai sus este chiar definiția puterii active :

$$P = \overline{p}(t, T) = \frac{1}{T} \int_{t-T}^t p(\tau) d\tau \quad \forall t$$

De exemplu, pentru un circuit monofazat funcționând în regim permanent sinusoidal, la care tensiunea și intensitatea curentului au expresiile:

$$u(t) = U\sqrt{2} \sin \omega t \quad i(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$$

rezultă relația de definiție a puterii active:

$$P = UI \cos \varphi$$

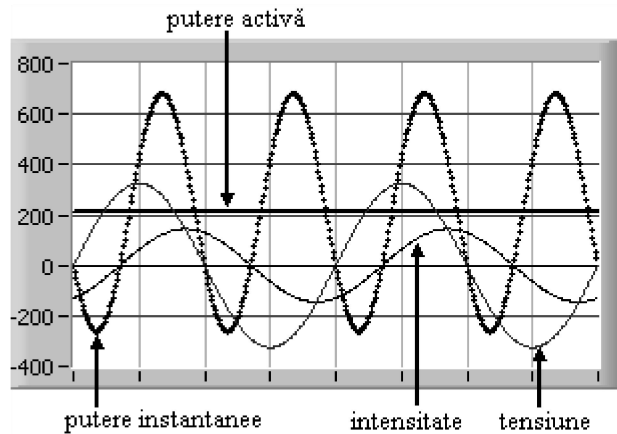


Fig.5.8. Puterea instantanee și cea activă în regim sinusoidal

Mijlocul de măsurare, wattmetrul, conform acestei definiții a puterii active trebuie să aibă o structură de tipul celei prezentate în fig.5.9

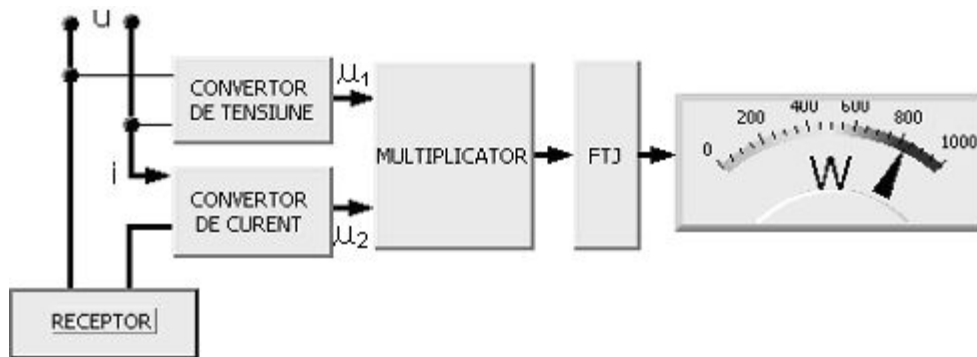


Fig.5.9. Schema funcțională a unui wattmetru

Puterea reactivă

Pentru un circuit monofazat, caracterizat de forme de undă sinusoidale $u(t) = U\sqrt{2} \sin \omega t$ și $i(t) = I\sqrt{2} \sin(\omega t - \varphi)$, puterea reactivă Q este definită ca:

$$Q = UI \sin \varphi$$

Cele mai importante caracteristici ale puterii reactive în regim sinusoidal sunt:

- puterea reactivă este egală cu valoarea de vârf a puterii instantanee (bidirecțional pulsatorie) într-un punct al rețelei electrice;
- valoarea energiei reactive este proporțională cu diferența dintre energia înmagazinată în câmpul magnetic al bobinelor și energia înmagazinată în câmpul electric al condensatoarelor;
- dacă puterea reactivă este redusă la zero, atunci factorul de putere va fi egal cu 1;
- puterea reactivă se determină din triunghiul puterii, și anume : $Q^2 + P^2 = S^2$;

- suma tuturor puterilor reactive într-un nod al rețelei va fi egală cu zero;
- puterea reactivă poate fi exprimată cu ajutorul termenilor U , I și $\sin\varphi$;
- puterea reactivă poate fi atât pozitivă cât și negativă, ea depinzând de tipul sarcinii: inductivă sau capacitivă;
- puterea reactivă poate fi redusă la zero, introducând o componentă inductivă sau capacitivă;
- căderea de tensiune pe liniile de transport a rețelei electrice este aproximativ proporțională cu puterea reactivă.

Puterea aparentă

Puterea aparentă este definită, în circuit monofazat, cu relația:

$$S = UI$$

unde U și I sunt valorile efective ale tensiunii și intensității curentului.

În Fig.3.5 se prezintă relația tridimensională dintre puterea aparentă, puterea activă și puterea reactivă în regim sinusoidal. Proiecția pe un plan a relației tridimensionale conduce la observația că puterea aparentă reprezintă ca loc geometric o familie de cercuri concentrice.

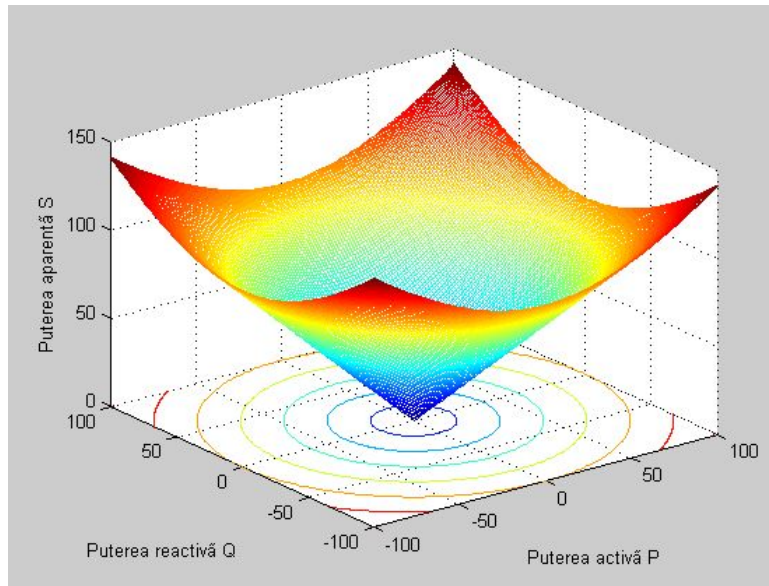


Fig.5.10. Dependența $S=f(P,Q)$.

3.2. Măsurarea puterii active

Indiferent de tipul wattmetrului, analogic (electrodinamic) sau digital, conectările în circuite și metodele de măsurare sunt identice.

Măsurarea puterii cu ajutorul wattmetrului constă în conectarea bobinei fixe în serie cu receptorul și a bobinei mobile în paralel cu acesta, metoda amonte sau aval (fig.3.6.). Pentru a evita depășirea domeniului de măsurare al bobinei de curent, respectiv al bobinei de tensiune, se introduce în circuit un ampermetru, respectiv un voltmetru.

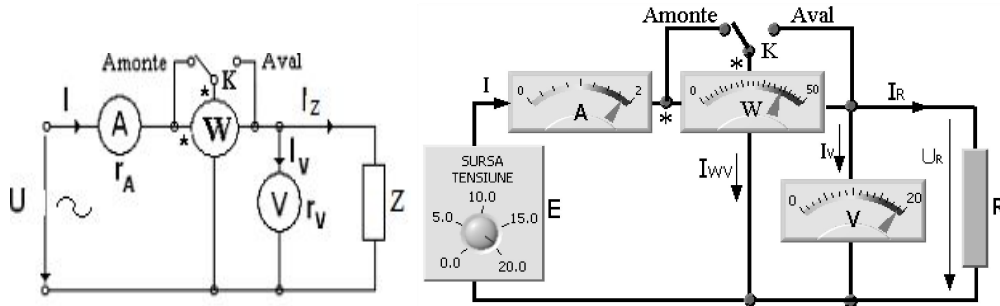


Fig.5.11. Măsurarea puterii cu wattmetrul electrodinamic

Puterea reală consumată P_R se calculează cu relațiile:

$$\text{- montaj aval: } P_R = P_W - \frac{U^2}{R_W} - \frac{U^2}{R_V}$$

$$\text{- montaj amonte: } P_R = P_W - r_W I^2 - \frac{U^2}{R_V}$$

unde: P_W - puterea indicată de wattmetru; U, I - indicațiile voltmetrului, respectiv ampermetrului; R_W - rezistența bobinei de tensiune a wattmetrului; r_W - rezistența bobinei de curent a wattmetrului; R_V - rezistența internă a voltmetrului.

În fig.3.7. se prezintă montajul pentru măsurarea puterii active cu transformatoare de măsurare de curent și de tensiune. Puterea activă consumată de receptor se determină funcție de raportul nominal de transformare al transformatorului de măsurare.

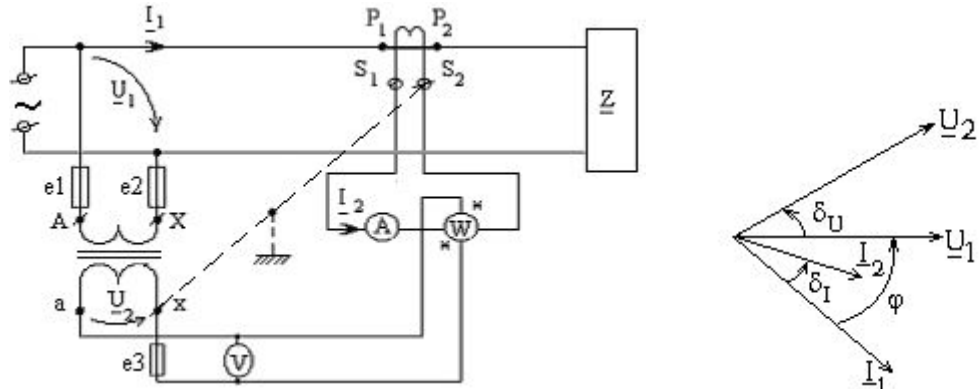


Fig.5.12. Măsurarea puterii active în circuit monofazat cu transformatoare de măsurare; diagrama fazorială

Neglijând erorile introduse de transformatoarele de măsurare, puterea activă consumată de receptor se determină cu relația:

$$P_1 = k_{u_n} k_{i_n} P_W$$

Măsurarea puterii active în circuite de curent alternativ trifazat se bazează pe teorema Blondel:

Puterea activă totală P consumată de un receptor cu n faze, oarecare, alimentat prin intermediul unei linii cu n conductoare, este egală cu suma a n puteri active monofazate date de curenți de linie I_k cu diferențele de potențial U_{kN} dintre cele n conductoare și un punct N de potențial oarecare. Puterea activă P se poate măsura într-un circuit polifazat cu n conductoare prin metoda celor n wattmetre: bobinele de curent se montează în serie pe fiecare fază, respectând borna polarizată; bobinele de tensiune se conectează cu borna polarizată la același conductor la care se află și borna polarizată de curent, cealaltă extremitate fiind legată la punctul comun N .

În circuite trifazate cu conductor neutru puterea activă totală se poate măsura prin metoda celor 4 wattmetre sau prin metoda celor 3 wattmetre

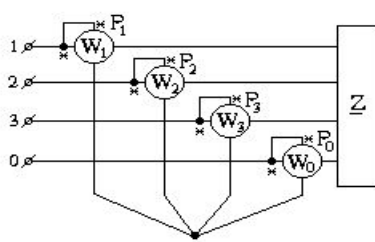


Fig.5.13. Metoda celor 4 wattmetre

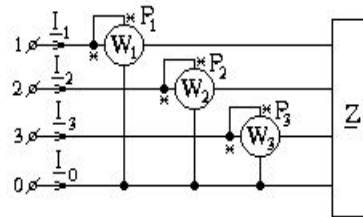
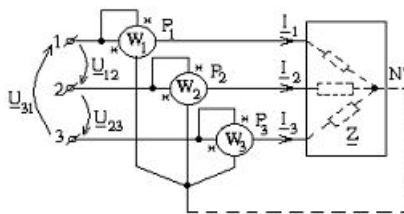
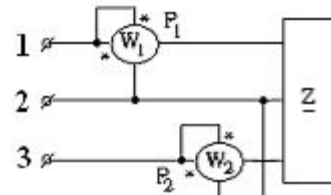


Fig.5.14. Metoda celor trei wattmetre

În circuite trifazate fără conductor neutru puterea activă se poate măsura prin metoda celor trei wattmetre sau prin metoda celor două wattmetre.



a) Metode 3 wattmetre



b) metoda 2 wattmetre

Fig.5.15. Măsurarea puterii în circuit trifazat fără neutru

3. Măsurarea puterii reactive

În cazul circuitelor monofazate se poate măsura puterea reactivă consumată prin metoda indirectă, dacă se cunosc valorile tensiunii, intensității și puterii active consumate de receptor:

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2} = \sqrt{(UI)^2 - P^2}$$

Folosirea wattmetrelor alimentate cu tensiuni auxiliare are la bază următorul principiu: alimentarea bobinei de tensiune a unui wattmetru cu o tensiune auxiliară \underline{U}_{aux} defazată cu $\pi/2$ în urma tensiunii \underline{U} din circuit.

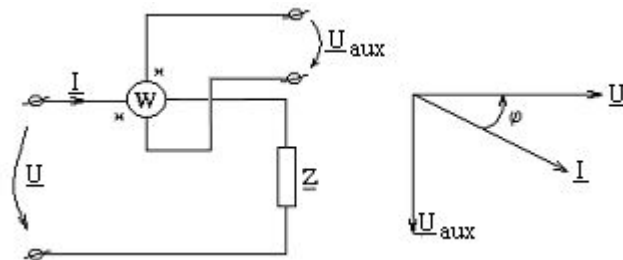
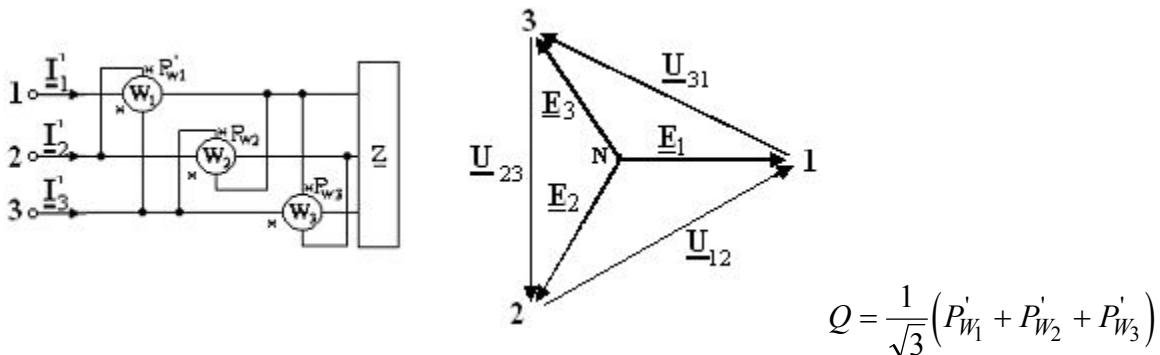


Fig.5.16. Măsurarea puterii reactive cu wattmetrul alimentat cu tensiune auxiliară

Expresia puterii reactive funcție de indicația wattmetrului:

$$Q = \frac{U}{U_{aux}} \cdot P_W$$

Exemplu de aplicare în circuit trifazat fără conductor neutru:



$$Q = \frac{1}{\sqrt{3}} (P'_{W1} + P'_{W2} + P'_{W3})$$

Fig.5.17. Metoda celor 3 wattmetre pentru măsurarea puterii reactive

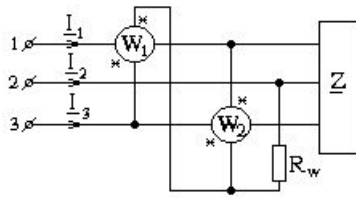


Fig.5.18. Metoda celor două wattmetre pentru măsurarea Q în circuit fără conductor neutru

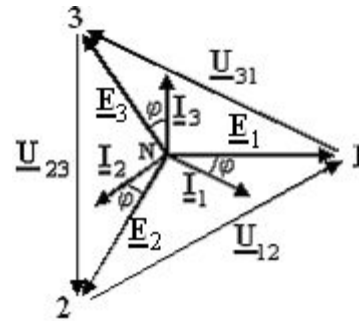


Fig.5.19. Diagrama fazorială

În figura următoare se prezintă se prezintă schema cu transformatoare de măsurare

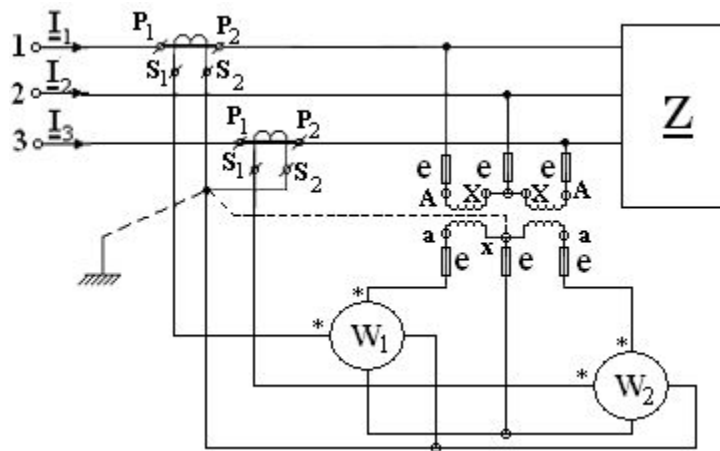


Fig.5.20. Montaj cu transformatoare de măsurare de curent și de tensiune pentru circuit trifazat fără conductor neutru, metoda celor 2 wattmetre

8) FACTORUL DE PUTERE ÎN REȚELE DE DISTRIBUȚIE

Se numește *factor de putere* raportul pozitiv și subunitar dintre puterea activă și cea aparentă:

$$I \geq \lambda = \frac{P}{S} \geq 0$$

Observație:

Pentru ca o anumită instalație, de putere aparentă dată, să funcționeze cu maximum de putere activă, adică cu maximum de eficiență, factorul de putere respectiv trebuie să fie cât mai mare (mai apropiat de unitate), iar defazajul trebuie să fie cât mai mic.

Circuit monofazat în regim sinusoidal

În regim sinusoidal, pentru un dipol electric, rezultă:

$$\lambda = \cos \varphi$$

Circuit monofazat în regim nesinusoidal

În regim nesinusoidal, se pot defini:

- factorul fundamental de putere:

$$\lambda_1 = P_{F1} = \cos \varphi_1 = \frac{P_1}{S_1}$$

Factorul de putere fundamental este util în evaluarea separată a circulației de puteri.

- factorul de putere total, ce se poate exprima în funcție de factorii de distorsiune de tensiune și de curent:

$$P_F = \frac{P}{S} = \frac{P_1 + P_N}{S_1 + S_N} = \frac{(P_1 / S_1)[1 + (P_H / P_1)]}{\sqrt{1 + (S_N / S_1)^2}} = \frac{[1 + (P_H / P_1)]P_{F1}}{\sqrt{1 + (THD_I)^2 + (THD_U)^2 + (THD_I \cdot THD_U)^2}}$$

În standardele europene, factorul de putere se notează cu λ .

Când $THD_U < 5\%$ și $THD_I > 40\%$, este convenabilă folosirea expresiei:

$$P_F \approx \frac{1}{\sqrt{1 + (THD_I)^2}} P_{F1}$$

Observatie:

Factorul de putere în regim nesinusoidal (deformant) se definește ca fiind raportul dintre puterea activă P și puterea aparentă S :

$$K_p = \frac{P}{S} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$

și poate fi subunitar chiar când puterea reactivă este nulă. Dacă $Q = 0$, ca urmare a unghiurilor de defazaj $\varphi_n \geq 0, k_p < 1$, iar dacă $\varphi_n = 0$, rezultă nu numai $Q = 0$, ci și $D = 0$ și deci $k_p = 1$. Prin urmare, în general, anularea puterii reactive nu îmbunătățește factorul de putere la valoarea 1 ca în regim sinusoidal. Este posibil chiar ca, prin reducerea puterii reactive, să crească și mai mult puterea deformantă și, în consecință, factorul de putere k_p să fie îmbunătățit. Deci, în regim deformant, introducerea de condensatoare - așa cum se face în regim sinusoidal - poate conduce la înrăutățirea factorului de putere.

Definind factorul reactiv al regimului $\rho = \frac{Q}{P}$ și factorul deformant $\sigma = \frac{D}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$ și

notând:

$$\operatorname{tg} \varphi = \rho = \frac{Q}{P} \quad \operatorname{tg} \gamma = \sigma = \frac{D}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

atunci :

$$\cos \varphi = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \varphi}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \rho^2}} = \frac{P}{\sqrt{P^2 + Q^2}}$$

$$\cos \gamma = \frac{1}{\sqrt{1 + \operatorname{tg}^2 \gamma}} = \frac{1}{\sqrt{1 + \sigma^2}} = \frac{\sqrt{P^2 + Q^2}}{\sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}}$$

Făcând înlocuirile respective se stabilește că factorul de putere în regim nesinusoidal (deformant) are expresia:

$$K_p = \cos \varphi \cdot \cos \gamma$$

Puterea complementului P_c se definește cu relația:

$$P_c^2 = S^2 - P^2 = Q^2 + D^2$$

așa încât factorul de putere, în funcție de puterea complementară, poate fi exprimat în forma:

$$k_p = \frac{P}{P_c} = \frac{P}{\sqrt{Q^2 + D^2}}$$

similară cu cea din regimul sinusoidal.

Se observă că, pentru îmbunătățirea factorului de putere, este necesară reducerea puterii complementare P_c , care este analoagă puterii reactive din regim sinusoidal.

Factorul de putere se mai poate scrie și în forma:

$$K_p = K_p(U_n, I_n, \varphi_n) = \frac{\sum_n U_n I_n \cos \varphi_n}{\sqrt{\sum_n U_n^2} \cdot \sqrt{\sum_n I_n^2}}$$

Derivând funcție de U_n , I_n și φ_n , se deduc valorile care anulează aceste derivate:

$$\frac{\partial k_p}{\partial U_n} = \frac{U \cdot I_n \cdot \cos \varphi_n - P \cdot \frac{U_n}{U}}{I \cdot U^2}$$

$$\frac{\partial k_p}{\partial I_n} = \frac{I \cdot U_n \cdot \cos \varphi_n - P \cdot \frac{I_n}{I}}{U \cdot I^2}$$

$$\frac{\partial k_p}{\partial \varphi_n} = \frac{\sum_n U_n \cdot I_n \cdot \sin \varphi_n}{I \cdot U}$$

Rezultă următoarele condiții de anulare a derivatelor parțiale:

$$\frac{U_n}{I_n} = \frac{U^2}{P} \quad \text{și} \quad \frac{I_n}{U_n} = \frac{I^2}{P}$$

$$\varphi_n = 0$$

adică: $S = P$ și $K_p = 1$.

Se observă că se obține $k_{pmax} = 1$ dacă undele de tensiune și curent sunt asemenea și au același defazaj pentru armonicile de același rang (omoloage), condiții similare cu cele date de relațiile de anulare a puterii deformante. Anularea defazajului φ_n pentru toate armonicile, prin introducerea de elemente reactive, nu este posibilă. De aceea, îmbunătățirea lui k_p în rețelele electrice în care există o deformare apreciabilă a undelor de tensiune și curent, se realizează filtrând mai întâi armonicile cele mai importante și apoi, compensând puterea reactivă cu condensatoare.

Încercarea de a defini un factor de putere în regimuri monofazate sau polifazate deformante întâmpină o serie de dificultăți, în literatura de specialitate nefiind găsite încă argumente eficiente pentru alegerea vreuneia dintre expresii.

Evident, alegerea unei anumite definiții trebuie evaluată din punct de vedere al utilității și deci al semnificației ei fizice. Definiția dată factorului de putere, ca raport dintre puterea activă și puterea aparentă totală, nu exprimă gradul de utilizare a puterii active disponibile în rețea, deoarece sursele armonicilor și deci ale puterilor debitate prin aceste armonici nu sunt generatoarele rețelei și chiar receptoarele deformante. Aceste puteri pe armonici intervin atât în puterea activă, cât și în puterea aparentă.

Măsurarea factorului de putere

- în circuite cu mărimi sinusoidale factorul de putere se poate măsura cu ajutorul cosfimetrelor electrodinamice sau din indicația wattmetrului, ampermetrului și voltmetrului conectate în schema de măsurare a puterii active în monofazat.
- Determinarea diferitelor variante de definire a factorului de putere în circuite cu mărimi nesinusoidale se poate realiza numai pe baza contoarelor digitale .

9) CONTOARE DIGITALE

9.1. Contoare electronice

Contorul digital este destinat măsurării energiei active/reactive în circuite monofazate sau trifazate cu 3 sau 4 conductoare cu posibilitatea înregistrării consumului de energie electrică sau transmiterii datelor pe o interfață serială.

Circuitele de intrare sunt realizate cu ajutorul transformatoarelor de curent (sau șunturi), respectiv cu divizoare de tensiune rezistive (sau transformatoare de măsurare de tensiune).

Circuitele integrate utilizate la realizarea contoarelor conțin amplificatoare operaționale, convertoare analog-numeric, filtre, multiplicatoare, convertoare digital – frecvență, microcontrolere, dispozitive de afișare numeric / alfanumerice, interfețe pentru comunicație, circuite comandă, etc.

Spre deosebire de contoarele de inducție, contoarele electronice pot afișa un număr mare de mărimi electrice: tensiune, intensitate, frecvență, puteri, putere maximă, factor de putere, energie activă / reactivă, defazaje, succesiune faze, valori instantanee, etc.

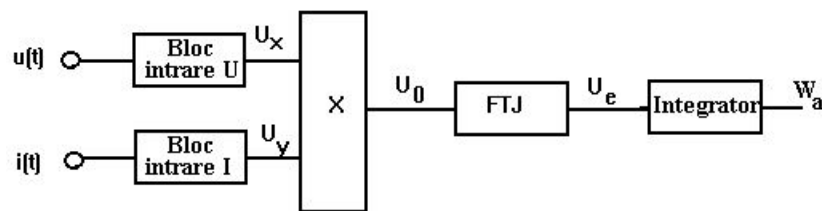


Fig.5.21. Principiul contorului electronic.

Contoarele digitale pot fi realizate cu multiplicator analogic. În Fig.5.21 se prezintă o schemă de principiu a unui contor electronic pentru energie electrică activă. Aplicând la intrările multiplicatorului analogic două semnale, proporționale cu intensitatea curentului și cu tensiunea electrică dintr-un circuit monofazat de curent alternativ:

$$u_x = k_1 \hat{U} \cos \omega t$$

$$u_y = k_2 \hat{I} \cos(\omega t - \varphi)$$

rezultă, în urma operației de multiplicare, o tensiune electrică la ieșire având expresia:

$$U_0 = \frac{U_x U_y}{k} = \frac{k_1 k_2 \hat{U} \hat{I}}{k} \cos \omega t \cos(\omega t - \varphi)$$

$$U_0 = \frac{2k_1 k_2}{k} [UI \cos \varphi + UI \cos(2\omega t - \varphi)]$$

Prin eliminarea celui de-al doilea termen din expresie cu ajutorul unui filtru trece-jos, se obține pentru tensiunea de ieșire a filtrului expresia :

$$U_e = \frac{2k_1 k_2}{k} UI \cos \varphi = k_p P$$

Se observă că această tensiune este proporțională cu puterea activă P . Semnalul este aplicat apoi unui integrator, rezultând energia electrică activă.

Multiplicatorul este elementul esențial al oricărui mijloc de măsurare a energiei. Un multiplicator analogic (Fig.5.22) este un convertor de prelucrare a cărei mărime de ieșire, tensiunea electrică U_0 , este proporțională cu produsul tensiunilor electrice U_x și U_y aplicate la cele două intrări.

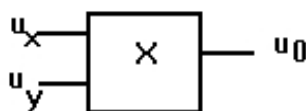


Fig.5.22. Multiplicator analogic.

Caracteristica de conversie ideală a multiplicatorului analogic are expresia:

$$U_0 = \frac{U_x U_y}{E_{ref}}$$

Dacă tensiunile de intrare pot fi pozitive și negative, multiplicatorul este numit "în patru cadrane", iar dacă o singură intrare acceptă semnal pozitiv sau negativ, multiplicatorul este numit "în două cadrane".

Pentru un multiplicator analogic real caracteristica de transfer este de forma:

$$U_0 = \frac{U_x U_y}{10} \pm \left[\frac{U_{0x} U_y}{10} \pm \frac{U_x U_{y0}}{10} \pm U_{z0} \pm f(U_x, U_y) \right]$$

Dintre numeroasele tehnici de realizare a multiplicării analogice se pot aminti:

- Multiplicatorul cu **lege pătratică**

Produsul mărimilor de intrare x și y se realizează prin calculul expresiei :

$$xy = \frac{1}{4} \left[(x+y)^2 - (x-y)^2 \right]$$

- Multiplicatorul cu **conversie logaritmică**

Realizează produsul după relația:

$$xy = \log^{-1}(\log x + \log y)$$

Se pot aminti câteva circuite integrate de tip multiplicator realizate pe acest principiu: AD 534 de la Analog Devices, MPY 600 de la Burr Brown sau RC 4200 de la Raytheon.

- Multiplicatorul cu **transconductanță variabilă**.

- Multiplicatorul cu **modulare în amplitudine și durată** a unui tren de impulsuri

La efectuarea multiplicării, se pornește, pentru simplificarea înțelegerii, de la un tren de impulsuri dreptunghiulare, de frecvență constantă și factor de umplere 50% (Fig.5.23). Se consideră că tensiunile U_1 și U_2 , ce trebuie înmulțite, sunt continue.

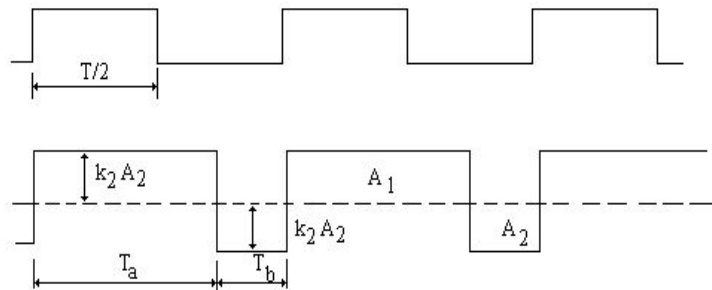


Fig.5.23. Principiul multiplicatorului cu dublă modulare.

Se presupun următoarele operații:

- modificarea duratei impulsului (a factorului de umplere) proporțional cu tensiunea U_1 :

$$T_a = \frac{T}{2} + k_1 U_1$$

- modificarea amplitudinii, proporțional cu tensiunea U_2 ;

- determinarea valorii medii pe o perioadă:

$$U_{\text{med}} = \frac{A_1 - A_2}{T} = \frac{k_2 U_2 T_a - k_2 U_2 (T - T_a)}{T}$$

$$U_{\text{med}} = \frac{2k_1 k_2}{T} U_1 U_2 = k U_1 U_2$$

În cazul contorului de energie electrică, multiplicatorul conține un circuit de conversie a semnalului proporțional cu tensiunea de intrare ($k_1 u$) într-un factor de umplere proporțional (Φ_u), cu care se comandă modulatorul de amplitudine proporțional cu curentul de intrare ($k_2 I$).

Circuitul de comparare directă a tensiunii de convertit (u), cu o tensiune triunghiular variabilă de amplitudine (u_0), este prezentat în Fig.5.24.

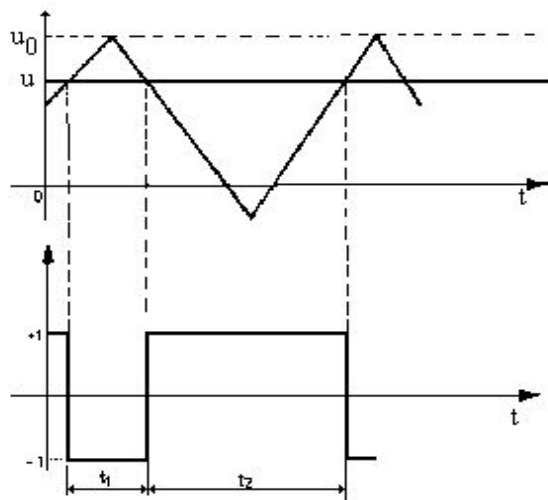


Fig.5.24. Circuitul de comparare a tensiunii.

Observație

Soluția cu multiplicare analogică a pierdut inițial teren, datorită abandonării realizării contoarelor electronice bazate pe soluții analogice hardware.

În prezent, apar contoare ce folosesc în lanțul de măsurare multiplicarea analogică, deoarece se pot obține erori mici cu simplificarea sistemului de măsurare.

În figura 5.25 se prezintă schema unui contor electronic cu înregistrator electromecanic. Semnalul obținut în secundarul transformatorului de măsurare de curent este aplicat unui amplificator operațional cu amplificare variabilă și apoi unui convertor analog – numeric de precizie. Semnalul obținut la ieșirea divizorului rezistiv de tensiune este aplicat direct la intrarea convertorului analog-numeric. Semnalele de la ieșirile convertoarelor analog-numeric sunt aplicate unui multiplicator, la ieșirea căruia este conectat un convertor din semnal numeric în frecvență.

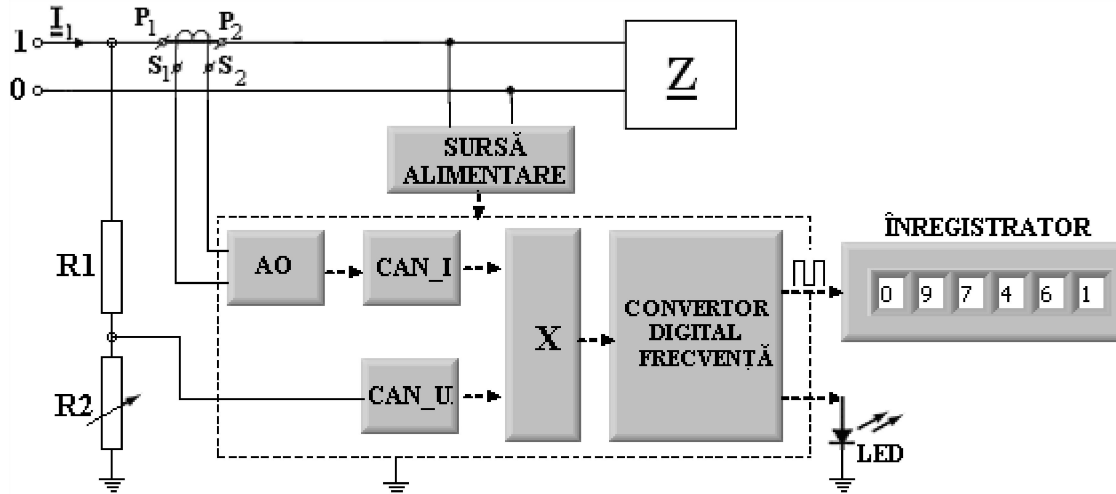


Fig.5.5. Contor electronic monofazat

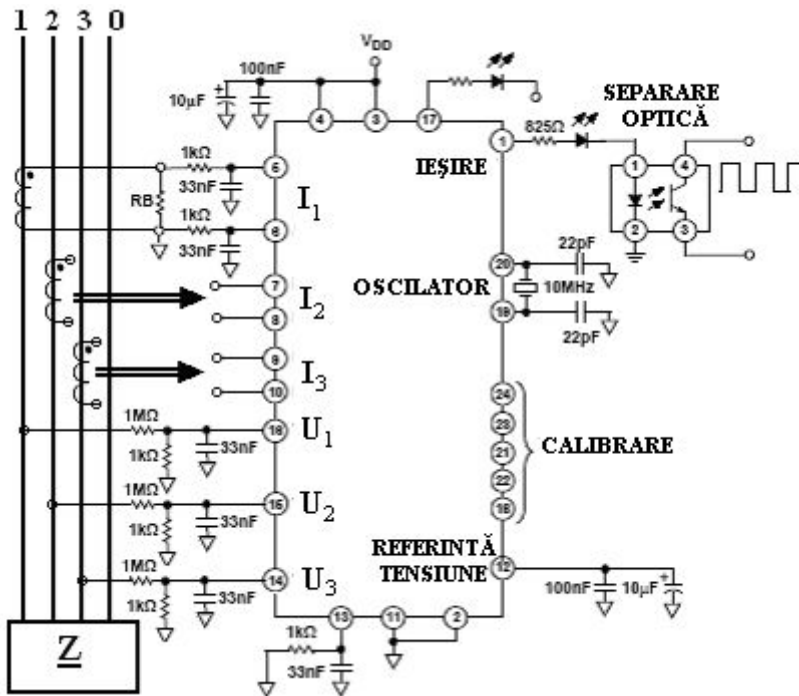


Fig.5.25. Contor electronic trifazat – schemă de principiu

9.2. Soluții digitale pentru contor

Tehnica măsurării energiei electrice pe cale electronică este astăzi realizată prin unități de calcul miniaturizate, ce conțin programe și memorii de lucru integrate și cu o multitudine de posibilități de conectare a echipamentelor periferice.

Pentru a se realiza măsurarea pe cale digitală a energiei electrice, este necesar ca semnalele proporționale cu tensiunea și cu intensitatea curentului să fie eșantionate. Elemente privind digitizarea tensiunii electrice există de multă vreme, dar transformarea intensității

curentului într-un semnal de tensiune implică folosirea unui traductor special cu o dinamică adecvată.

În cadrul lanțului de măsurare implementat la un contor realizat pe baza tehnicii digitale, circuitele de intrare de tensiune și de curent trebuie să corespundă, în primul rând, intervalelor de variație ale mărimilor de intrare. Pentru o exactitate corespunzătoare a contorului, se utilizează un convertor analog-digital (CAD) de exactitate ridicată. Unitatea de calcul este pilotată de o bază de timp stabilă, iar datele obținute sunt transmise perifericelor pe baza unor protocoale specifice.

Această structură permite determinarea valorilor efective ale tensiunii electrice, intensității curentului electric, a puterii active, a energiei electrice active, a factorului de putere, precum și a puterii și energiei reactive.

► Digitizarea semnalelor

Expresia de calcul pentru energia electrică, pe baza eșantioanelor obținute din semnalele de tensiune și de curent este:

$$W = \int_{t_1}^{t_2} U_j I_j \Delta t$$

unde $\Delta t = \frac{t_2 - t_1}{N}$. În figură se prezintă înlocuirea semnalului real cu cel rezultat din operația de eșantionare. Se observă necesitatea ca intervalul de timp Δt să fie cât mai mic, pentru o corectă aproximare a semnalului inițial.

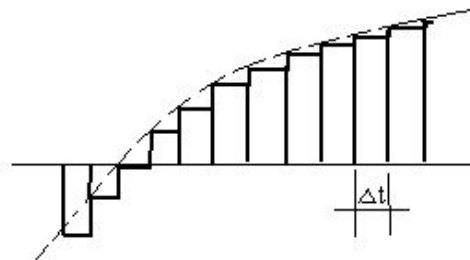


Fig.5.26. Principiul eșantionării semnalului.

Alegerea frecvenței de eșantionare se bazează pe **teorema lui Shannon**: „Eșantioanele unui semnal conțin toată informația specifică aceluia semnal dacă frecvența de eșantionare este cel puțin de două ori mai mare decât frecvența maximă conținută în semnalul inițial”. Semnalele ce ne interesează în cazul energiei electrice sunt: tensiunea, intensitatea curentului și puterea instantanee. Puterea instantanee are o frecvență dublă; ea este cea care dictează frecvența de eșantionare. De exemplu, pentru o rețea electrică cu semnale sinusoidale de 50Hz, frecvența de eșantionare trebuie să fie mai mare de 200Hz (de patru ori frecvența rețelei).

În Fig.5.27, se prezintă această situație, în care se prelevează patru eșantioane într-o perioadă, urmărindu-se a se calcula valoarea medie a energiei pe o perioadă.

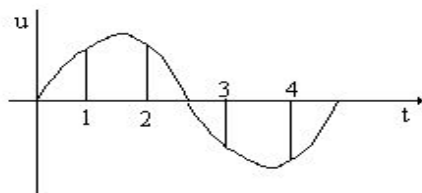


Fig.5.27. Eșantionare conform teoremei Shannon.

Pentru măsurarea corectă a energiei electrice în rețele cu mărimi electrice nesinusoidale, este necesar a măsura corect aportul adus de armonicile de ordin superior.

În Fig.5.28, se prezintă schema bloc a unui contor digital monofazat, bazat pe utilizarea unui microcontroler. Semnalele de curent și de tensiune, condiționate cu ajutorul unui șunt și al unui divizor de tensiune sunt eșantionate cu frecvența de 1082 Hz și convertite în formă digitală de un convertor analog-digital de 8 biți. Transferul informației digitale către microcontroler se face prin legătură serială. Afișarea informației se realizează cu un afișor digital cu 4 cifre.

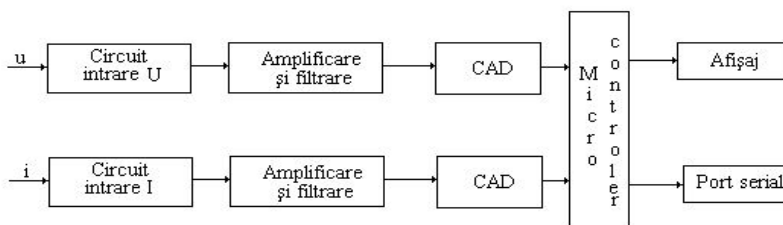


Fig.5.28. Schemă bloc a unui contor digital monofazat.

Această soluție se poate folosi la realizarea unor contoare digitale de clasă 1 sau 2, pentru măsurarea energiei electrice la consumatorii casnici.

► Circuite de eșantionare și memorare (E/M),

În cazul conversiei analog-digitale, este necesar ca semnalul de măsurat să nu-și modifice valoarea pe intervalul de timp cât durează conversia. Din acest motiv, au apărut **circuite de eșantionare și memorare (E/M)**, care prelucrează câte un eșantion din semnal și asigură memorarea valorii acestuia până la sfârșitul procesului de conversie. Din punct de vedere funcțional, un circuit E/M poate fi reprezentat ca în Fig.5.29; în Fig.5.29b, sunt reprezentate formele de undă la intrarea și ieșirea circuitului, corespunzător celor două stări posibile: de eșantionare și de memorare.

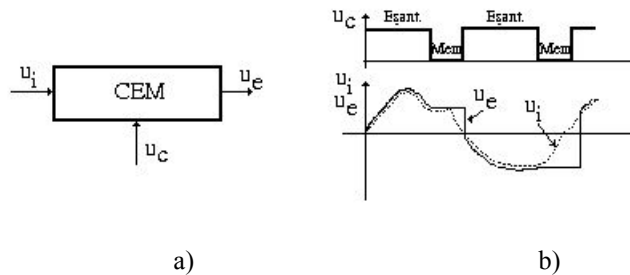


Fig.5.29. Circuit de eșantionare/memorare: a) reprezentare funcțională; b) diagrama semnalelor.

Procesul de eșantionare și memorare poate fi urmărit pe baza schemei echivalente a unui circuit E/M (Fig.5.30). Când comutatorul K este închis, corespunzător stării de eșantionare, tensiunea la bornele condensatorului urmărește tensiunea de intrare. La comanda de memorare, comutatorul K trece în stare deschisă și tensiunea de ieșire rămâne la valoarea din momentul respectiv. Trebuie precizat că se poate vorbi de extragerea unui eșantion dacă starea închisă a comutatorului K durează relativ puțin. În cazul în care comutatorul K rămâne în stare închisă un interval de timp lung, funcția îndeplinită este de urmărire și memorare.

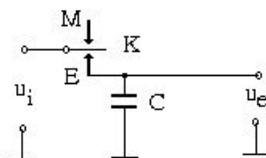


Fig.5.30. CEM cu comutator și condensator.

Un exemplu de eșantionare periodică a unui semnal analogic este prezentat în Fig.5.31, eșantioanele fiind prelevate la intervale egale de timp T_e .

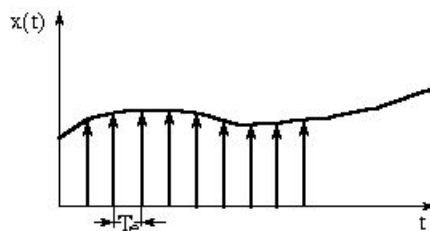


Fig.5.31. Eșantionarea periodică a unui semnal analogic.

Ansamblul $x_e(t)$ al eșantioanelor prelevate cu perioada T_e din semnalul analogic $x(t)$ poate fi reprezentat matematic prin produsul dintre semnalul analogic și funcția pieptene, notată $T_e(t)$, reprezentată printr-o suită de impulsuri:

$$x_e(t) = x(t) \cdot \delta_{T_e}(t) = x(t) \sum_{k=-\infty}^{+\infty} \delta(t - kT_e)$$

Presupunând că mărimea analogică $x(t)$ are, în domeniul frecvență, spectrul $X(f)$ limitat de o frecvență f_{\max} , atunci spectrul semnalului eșantionat $X_e(f)$ arată ca în Fig.5.32.

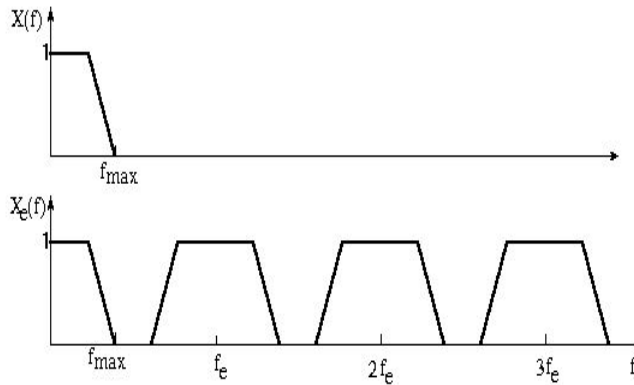


Fig.5.32. Spectrele de frecvență $X(f)$ și $X_e(f)$.

În situația circuitelor de eșantionare și memorare, care sunt formate dintr-un întrerupător și un condensator ce menține pe durata întreruperii valoarea prelevată a eșantionului, impulsurile Dirac anterioare devin, de fapt, mici dreptunghiuri de lățime (Fig.5.33). Reprezentarea grafică, în domeniul frecvență, a celor două spectre de frecvență $X(f)$ și $X_e(f)$ este prezentată în Fig.5.34. Se observă că spectrul este deformat, deoarece este multiplicat de o funcție de tipul $(\sin x)/x$.

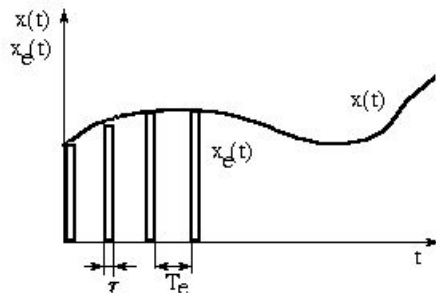


Fig.5.33. Eșantionarea cu memorare pe durata .

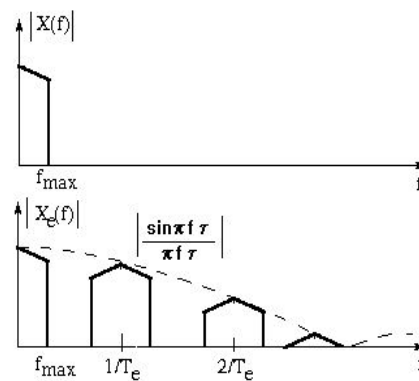


Fig.5.34. Spectrele $X(f)$ și $X_e(f)$.

Pentru a micșora deformarea, trebuie scăzută durata T_e ; în practică, se ia $T_e = 1/20 F_e$ min , unde F_e min este frecvența de eșantionare minimă impusă de teorema lui Shannon.

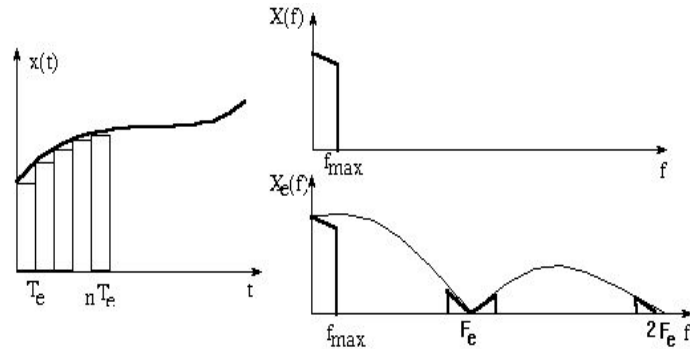


Fig.5.35. Spectrul de frecvență al semnalului $x(t)$, eșantionat și memorat cu T_e .

Alegerea frecvenței de eșantionare trebuie corelată cu rezoluția convertorului analog-digital. De exemplu, în cazul unui semnal sinusoidal $u(t) = 10 \sin 2\pi 100t$, utilizând un convertor de 10 biți, cu rezoluția $q = 10/1024 = 0,01$ V și ținând cont că viteza maximă de variație a semnalului este:

$$v_{\max} = \left(\frac{du}{dt} \right)_{\max} = 10 \cdot 2\pi \cdot 100 \text{ V/s}$$

față de frecvența minimă de eșantionare, dată de teorema lui Shannon , $f_{\min} = 2 \cdot 100 = 200$ Hz, din condiția de corelare rezultă :

$$f_e \geq \frac{10 \cdot 2 \cdot 100 \cdot \pi}{0,02} = 6,28 \cdot 10^5 \text{ Hz}$$

adică o frecvență de eșantionare de circa 3.000 ori mai mare decât cea indicată de teorema lui Shannon.

Analizând stările din timpul funcționării unui CEM, se desprind unele probleme ce apar la utilizarea în practică:

- pe timpul eșantionării, este necesară încărcarea rapidă a condensatorului; pentru aceasta este necesară o sursă de semnal cu rezistența internă cât mai mică;
- pe timpul memorării, este necesar ca semnalul memorat să nu se altereze prea repede; pentru aceasta, este necesar ca, după condensator, să urmeze un circuit cu rezistență foarte mare de intrare;
- la momentul trecerii de la o stare la cealaltă, trebuie micșorată amplitudinea regimului tranzitoriu datorat comutației.

Ținând cont de posibilitățile multiple de realizare și interconectare a elementelor unui CEM, au fost elaborate mai multe tipuri de circuite cu memorare analogică, din care se realizează două variante de bază: circuite neinversoare (cu condensatorul conectat la masă) și circuite inversoare (cu condensatorul conectat în bucla de reacție).

Circuitul neinversor practic de eșantionare-memorare conține, la intrarea și ieșirea grupului comutator-condensator, două repetoare de tensiune pentru adaptarea rezistențelor (Fig.5.36), iar comutatorul K este realizat în mod obișnuit cu tranzistor cu efect de câmp. Circuitul este rapid, dar puțin precis, căci erorile datorate imperfecțiunilor amplificatoarelor, plasate în cascadă, se adună.

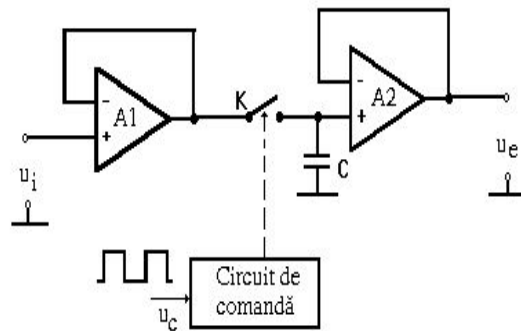


Fig.5.36. CEM cu AO de intrare și AO conectat ca repetor.

În situația unor frecvențe joase și dacă precizia este mai importantă decât viteza, cele două amplificatoare se pot include în bucla de reacție (Fig.5.37), rezultând un sistem mai lent, dar mai precis.

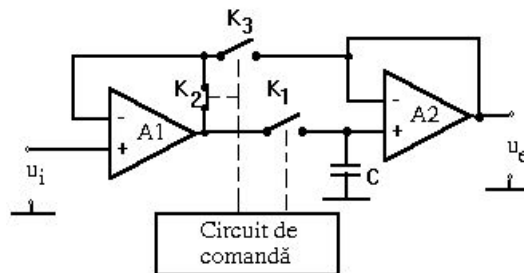


Fig.5.37. CEM cu două AO conectate în buclă de reacție.

Comutatoarele asigură realizarea fazelor de eșantionare-memorare și tensiunea de reacție pentru amplificatorul de intrare, pe durata stării de memorare.

Schema celui de al doilea tip de CEM, inversor sau integrator, este prezentată în Fig.5.38. Prezintă avantajul că amplificatorul lucrează fără semnal de mod comun; totodată, cheia tranzistorizată funcționând aproape de potențialul masei, curentul ei rezidual este minim.

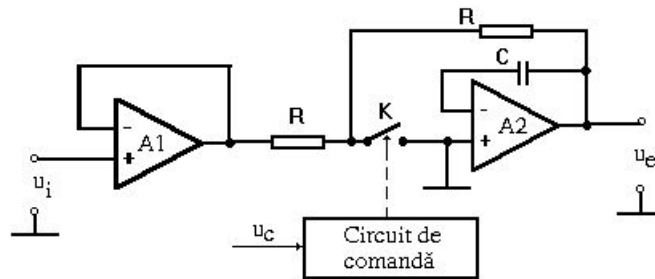


Fig.5.38. CEM cu integrator.

► Multiplexoare și demultiplexoare

În principiu, calculatorul nu prelucrează simultan decât un singur semnal, de aceea este necesar să fie conectat succesiv, după o succesiune bine definită, la fiecare canal de măsură. Aceasta este funcția multiplexorului (MUX). În același timp, toate rezultatele furnizate de calculator, în mod secvențial pe aceeași ieșire, trebuie dirijate spre destinatari cu ajutorul unui demultiplexor (DEMUX).

Multiplexorul analogic (Fig.5.39) este o componentă electronică ce conține o baterie de comutatoare analogice, cu ieșirile legate împreună, numărul de comutatoare determinând numărul de canale de intrare. Comanda de închidere și deschidere a comutatoarelor este efectuată printr-o intrare de selectare a canalului, care este o intrare logică, conținând unul sau mai mulți biți. Cu un bit, se pot comanda, de exemplu, două canale, cu n biți, 2^n canale. MUX-urile uzuale au 4, 8 sau 16 canale. Fiecare canal este comandat prin adresa sa, care este, de fapt, numărul canalului. Adresarea poate fi făcută fie secvențial, fie aleator. În ultimul caz, rolul de programator îl poate avea doar microprocesorul, care accesează direct fiecare canal, în timp ce, la modul secvențial, fiecare canal este adresat într-o ordine bine definită, unul după altul.

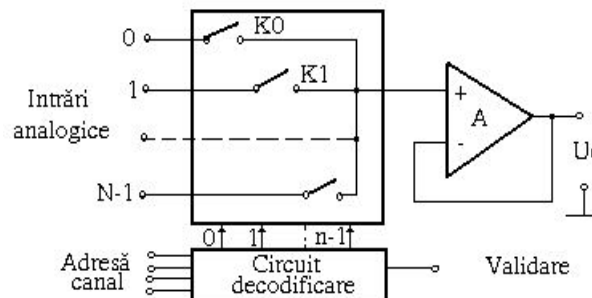


Fig.5.39. Multiplexor analogic.

În timpul modificării adresei, se poate întâmpla, ca pentru un timp foarte scurt (de

exemplu $0,3\mu s$ la dispozitivele CMOS), să fie închise simultan două comutatoare. Este posibil a se evita această situație prin utilizarea semnalului de “validare” al circuitului de decodificare, ce blochează decodificatorul la fiecare schimbare, pe o durată precizată de timp ($0,5\mu s$).

Structura unui circuit de *demultiplexare* a semnalelor analogice (Fig.5.40) cuprinde circuitele de eșantionare și memorare.

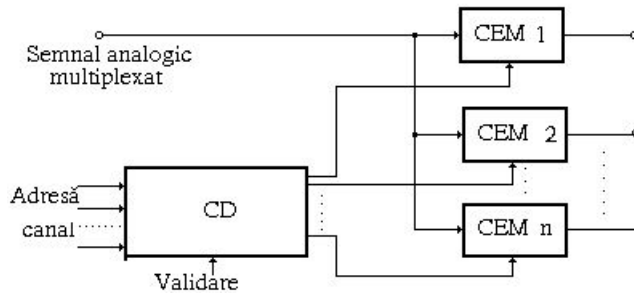


Fig.5.40. Structura unui circuit de demultiplexare analogică.

Aceste circuite sunt comandate în faza de “Eșantionare” câte unul, în funcție de semnalul adresă canal, la momentul dat, de semnalul de validare. Utilizarea demultiplexorului analogic pentru un semnal digital multiplexat necesită, în prealabil, conversia digital-analogică a acestuia.

► Conversoare analog-digitale

Conversia analog-digitală reprezintă operația de obținere a unei secvențe de numere de valoare proporțională cu o tensiune electrică analogică. Indiferent de tipul convertorului analog-digital (CAD) utilizat, tensiunea de măsurat U_x este discretizată într-un număr de trepte elementare, prin compararea cu o tensiune de referință U_{ref} , rezultatul fiind un număr N , care

aproximează raportul U_x / U_{ref} ; de exemplu, în cod binar natural $N = \sum_{k=1}^n a_k 2^{-k} \approx U_x / U_{ref}$.

Caracteristica de transfer a CAD este de forma unor trepte în scară (Fig.21). Două valori învecinate ale numerelor N diferă prin 1 *LSB*, care are corespondentul analogic - cuanta q (în cod binar cu n biți $q = U_{ref} 2^{-n}$). Datorită acestui fapt, q reprezintă, totodată, rezoluția convertorului.

Există o eroare de cuantificare, ce nu depășește $q/2$, datorită faptului că valoarea tensiunii măsurate coincide cu valoarea indicată doar pentru punctele mediane ale intervalelor de cuantificare. Variația acestei erori, la creșterea tensiunii de intrare, pentru un CAD ideal, este prezentată în Fig.5.41.

Convertoarele reale comportă, pe lângă eroarea de cuantificare, și alte surse de erori, ca decalajul nulului și variația câștigului.

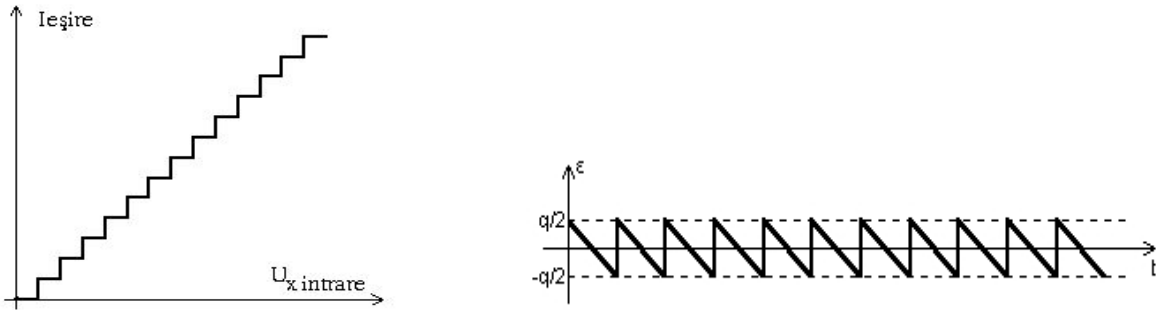
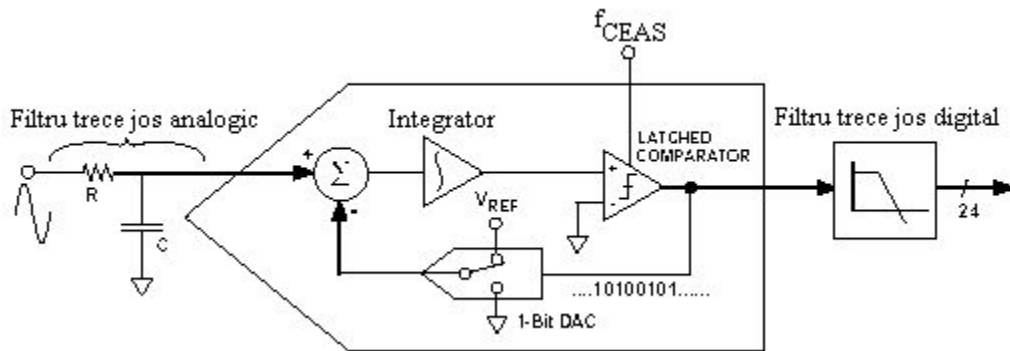


Fig.5.41. Caracteristica de transfer a CAD și eroarea de cuantificare centrată.

Schema bloc a unui CAD de tip Sigma-Delta utilizat pentru conversia analog-digitală într-un astfel de contor este dată în Fig.5.42. Se poate observa că pentru un convertor cu supraeșantionare de acest tip, zgomotul de cuantificare este repositionat prin efectul de “noise shaping” la frecvențe înalte, acolo unde filtrul decimator trece jos al convertorului îl va tăia. Rezultatul constă într-un convertor de foarte bună rezoluție (>16 biți) cu zgomot de cuantificare scăzut.



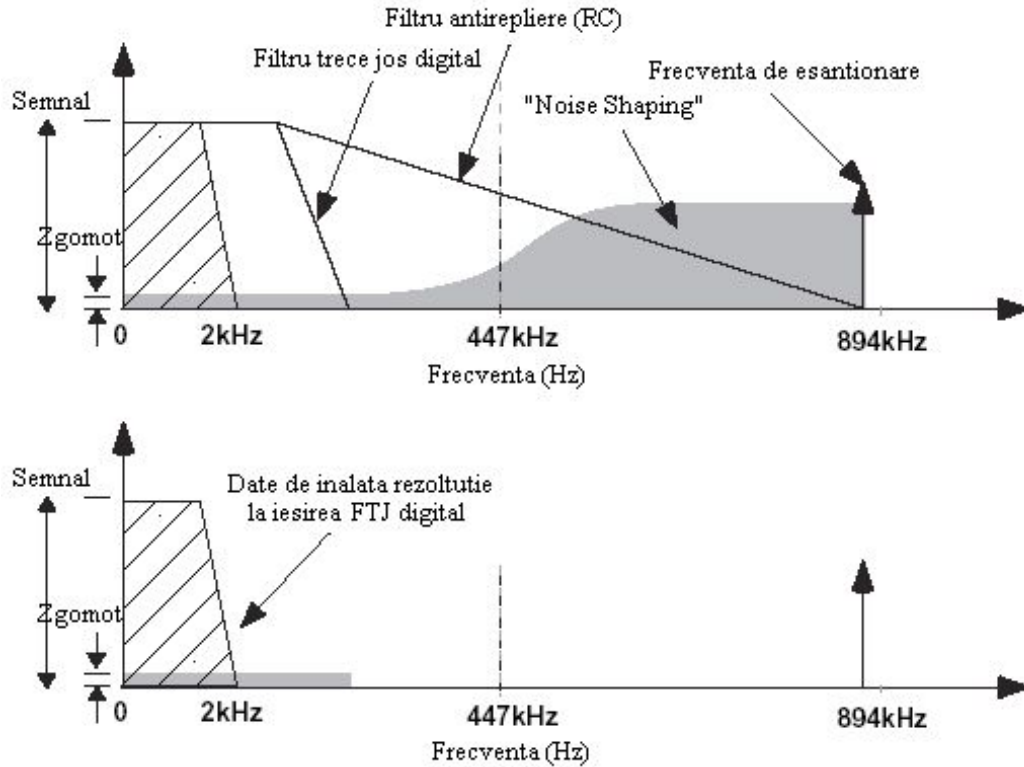


Fig.5.42. Convertorul analog-digital Sigma-Delta și performanțele acestuia în ceea ce privește zgomotul de cuantificare.

După conversia analog-digitală a semnalelor de intrare de tensiune și de curent operațiile ulterioare se execută cu ajutorul unui DSP specializat, care are următoarele funcții:

- multiplicarea semnalelor;
- defazarea cu 90 de grade a componentei de tensiune prin una din metodele:
 - transformata Hilbert;
 - decalare cu $T/4$ la frecvența fundamentalei;
 - filtru trece jos;
- calculul tensiunii și curentului efectiv pentru a obține puterea aparentă;
- calculul puterii active și reactive;
- calculul factorului de putere;
- calculul energiei active, reactive, aparente (prin integrarea în timp a puterii corespunzătoare);
- calibrare;

► Circuite de intrare

Conversia semnalelor de intrare în tensiune electrică se poate realiza fără izolare galvanică (șunturi, divizoare de tensiune) sau cu izolare galvanică (transformatoare de măsurare de curent și de tensiune, traductoare Hall, traductoare Rogowski, traductoare electrooptice).

• **Convertoare pentru intrările de curent**

În tabelul sunt prezentate tipurile de convertoare utilizate pentru intrările de curent împreună cu avantajele și dezavantajele acestora.

Tip convertorului de curent	Avantaje	Dezavantaje
Transformator de măsurare de curent	<ul style="list-style-type: none"> • separare galvanică • reductor de curent • acceptă suprasolicitări • slab influențat de condițiile de mediu și de îmbătrânire 	<ul style="list-style-type: none"> • are erori de unghi • saturarea miezului în condiții de componentă continuă • răspuns slab în frecvență
Transformator de măsurare compensat (eventual LEM)	<ul style="list-style-type: none"> • separare galvanica • reductor de curent • acceptă suprasolicitări • slab influențat de condițiile de mediu și îmbătrânire • erorile de unghi și câștig sunt compensate • se comportă bine în c.a. și c.c. 	<ul style="list-style-type: none"> • scumpe
Cordon Rogowski	<ul style="list-style-type: none"> • separarea galvanică • reductor de curent • acceptă suprasolicitări • slab influențate de condițiile de mediu și de îmbătrânire 	<ul style="list-style-type: none"> • Sunt convertoare di/dt și necesită integrarea semnalului înainte de procesare
Șuntul	<ul style="list-style-type: none"> • transformă curentul în tensiune • acceptă suprasolicitări • răspuns bun în frecvență și erorile de unghi • simplitate constructivă • se comportă bine în c.a. și c.c. 	<ul style="list-style-type: none"> • nu face separare galvanică • influențat de condițiile de mediu și îmbătrânire

• **Șuntul**

Șuntul este un traductor curent - tensiune, caracteristica de conversie lineară obținându-se pe baza legii lui Ohm pentru o porțiune de circuit: $U = R_S I$

Șuntul are patru borne pentru conectarea în circuit: două borne de curent și două borne de tensiune, rezistența R_S a șuntului fiind definită între bornele de tensiune (fig. 5.43).

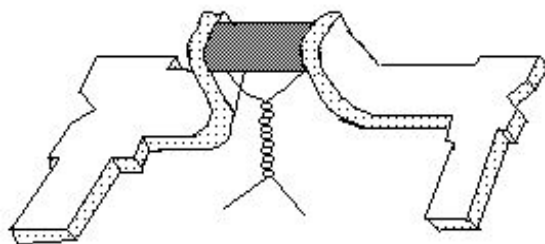


Fig. 5.43. Geometria șuntului.

În Tabel sunt prezentate câteva caracteristici ale materialelor uzuale pentru construcția șunturilor.

	Constantan	Manganină
Rezistivitatea electrică (nΩm)	490	430
Temperatura maximă de utilizare (°C)	600	140
Variația cu temperatura a rezistenței electrice (ppm/K)	+40/-80	+/-50
Efectul Peltier față de cupru (μV/K)	-40	-1
Calități: - utilizare în: - stabilitate termică	c.c. foarte bună	c.c.+c.a. mulțumitoare

La utilizarea șuntului, pot apărea două situații: culegerea tensiunii printr-un montaj diferențial și montajul cu un punct la masă, fig de mai jos.

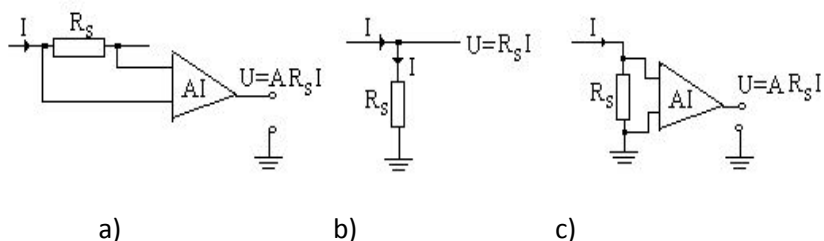


Fig. 5.44. Conversia I/U: a) montaj diferențial; b) conectare cu un punct la masă; c) utilizare amplificator de instrumentație.

- **Transformatoare de măsurare de curent**

Transformatorul de măsurare de curent de tip inductiv este un transformator electric ce funcționează pe baza legii inducției electromagnetice, având circuitul secundar închis pe o rezistență de valoare mică (deci, funcționând practic în scurtcircuit). Pe circuitul magnetic CM se dispun înfășurările primară (N_1 spire) și secundară N_2 spire, fig. 5.45.).

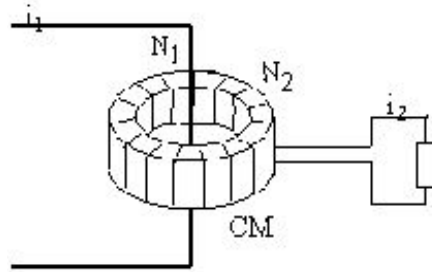


Fig. 5.45. Transformator de măsurare de curent.

Principalele caracteristici metrologice sunt:

- curentul nominal primar I_{1n} ;
- curentul nominal secundar I_{2n} ;
- raportul de transformare nominal k_{in} - definit ca raportul între curentul nominal primar și curentul nominal secundar:

$$k_{in} = \frac{I_{1n}}{I_{2n}}$$

- clasa de exactitate, exprimată prin:

◆ eroarea de curent (sau de raport):

$$\varepsilon_i(\%) = \frac{I_{1mas} - I_1}{I_1} 100 = \frac{k_{in} - \frac{I_1}{I_2}}{\frac{I_1}{I_2}} 100 = \frac{k_{in} - k_i}{k_i} 100$$

în care $k_i = \frac{I_1}{I_2}$ este raportul real de transformare;

◆ eroarea de unghi δ_i (minute, grade sau centiradiani) reprezentând unghiul de defazaj dintre fazorul curentului primar \underline{I}_1 și fazorul curentului secundar \underline{I}_2 .

Erorile limită admisibile ale transformatorului de măsurare de curent, în funcție de clasa de exactitate și de curentul care trece prin înfășurarea primară, pentru $f_n = 50\text{Hz}$, sunt prezentate în Tabel.

C Clasa	Eroarea de curent (%)				Eroarea de unghi (minute)			
	I ₁ (în % din I _{1n})				I ₁ (în % din I _{1n})			
	5	20	100	120	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1	15	8	5	5
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2	30	15	10	10
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5	90	45	30	30
1,0	3,00	1,5	1,0	1,0	180	90	60	60

- sarcina secundară nominală Z_{2n} , definită ca impedanța circuitului secundar (în Ω), cu indicarea factorului de putere, pentru care se garantează clasa de exactitate. De obicei, se indică puterea aparentă secundară nominală S_{2n} :

$$S_{2n} = Z_{2n} I_{2n}^2 \text{ (VA)}$$

Există procedee de compensare a erorilor transformatoarelor de măsurare de curent, obținându-se, pe această cale, clase de exactitate mai mici ca 0,1.

Compensarea electronică a erorilor presupune ca, pe lângă transformatorul de curent (într-o treaptă sau două trepte), să existe și un amplificator operațional care să furnizeze întreg curentul de sarcină sau doar o parte din el. În figura 5.46., se prezintă cea mai simplă posibilitate de compensare electronică a erorilor unui transformator de curent cu o singură înfășurare secundară. Rolul amplificatorului operațional este acela de a asigura funcționarea în scurtcircuit a secundarului și de a furniza curentul de sarcină. Prin urmare, compensarea se referă doar la erorile cu sarcina, nu și la erorile interne ale transformatorului.

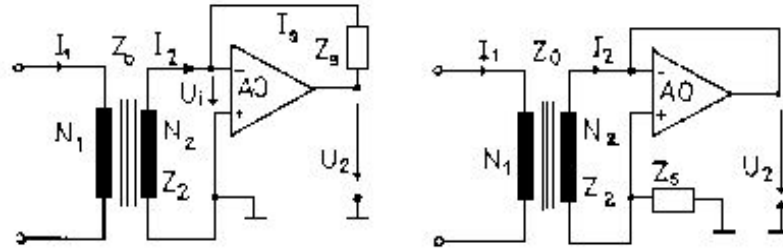


Fig. 5.46. Variante de compensare electronică a erorilor unui transformator de curent cu o înfășurare secundară.

◆ **Transformatoarele de curent fără miez magnetic** sunt constituite din două înfășurări: una prin care circulă curentul ce trebuie măsurat și a doua numită inel Rogowski.

Traductorul Rogowski poate fi descris ca un transformator fără miez feromagnetic. Elementul comun cu un transformator de măsurare de tip inductiv îl reprezintă faptul că se pot efectua măsurători doar în curent alternativ. În schimb, acest tip de traductor poate măsura fără apariția fenomenelor legate de saturația miezului feromagnetic, are banda de frecvență foarte largă (1,5MHz) și permite măsurarea curenților cu variații foarte rapide.

Este simplu de utilizat, flexibil și ușor de inserat în jurul conductorului fiind, de fapt, un solenoid sub forma unui tor, ce înconjoară conductorul parcurs de curentul de măsurat (Fig.5.47). Înfășurarea are N spire, iar elementul caracteristic îl reprezintă conductorul de întoarcere, care se închide coaxial prin interiorul bobinei, evitând constituirea unei bucle sensibile la câmpurile parazite.

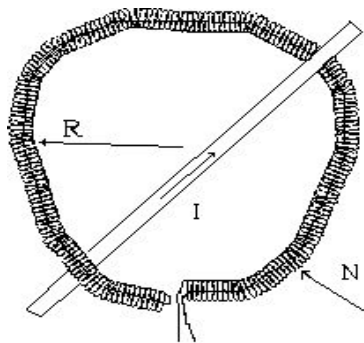


Fig. 5.47. Inelul Rogowski.

Curentul I creează, la nivelul fiecărei spire, o inducție magnetică $B = \mu_0 H$. Raza r a spirelor este mult mai mică decât raza R a torului, ceea ce face ca inducția magnetică $B = \mu_0 I / 2\pi R$ să poată fi considerată constantă pe suprafața spirei. Existând N spire, fluxul magnetic total are expresia:

$$\phi = \sum_{spire} \pi r^2 B = N \pi r^2 \mu_0 \frac{I}{2\pi R}$$

La trecerea unui curent variabil în timp $i(t)$ prin conductorul central, la bornele înfășurării apare o tensiune electromotoare proporțională cu viteza de variație a acestui curent ($e = -\frac{d\phi}{dt} = k \frac{di}{dt}$).

Este necesar un dispozitiv de integrare pentru a obține o tensiune proporțională cu valoarea efectivă a intensității curentului măsurat:

$$U_0 = \frac{1}{R_b C_1} \int u dt = SI$$

unde S este sensibilitatea traductorului (20 mV/A ... 0.02 mV/A).

◆ Traductoare de curent bazate pe detectarea câmpului magnetic

Principalul avantaj al acestei metode de măsurare constă în faptul că circuitul de măsurare nu este în contact galvanic cu circuitul în care se măsoară intensitatea curentului.

Inducția magnetică în jurul unui conductor parcurs de curent se determină cu relația:

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi r}$$

unde r este distanța de la conductor la punctul în care se determină B . Plasând un senzor pentru determinarea inducției magnetice la distanța r de conductor, se poate măsura direct intensitatea curentului I .

Traductoarele realizate pe acest principiu (fig. 5.48) conțin un miez magnetic, un element Hall, o sursă pentru curentul de comandă și un amplificator de ieșire.

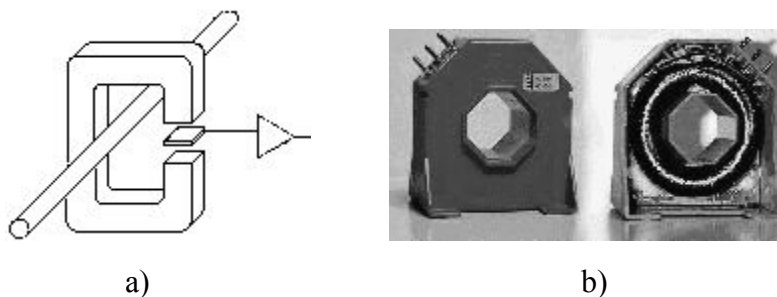


Fig. 5.48. Traductor Hall: a) principiu; b) construcție.

Schema de principiu a unui traductor Hall este prezentată în Fig.5.49. Curentul de măsurat I alimentează o bobină, care produce un câmp magnetic a căru inducție B este proporțională cu intensitatea curentului respectiv. Asigurând un curent de comandă I_c constant, la ieșirea traductorului Hall, se obține o tensiune electrică:

$$U_H = kI_c B = K_H I$$

proporțională cu intensitatea curentului de măsurat și care se măsoară cu un milivoltmetru.

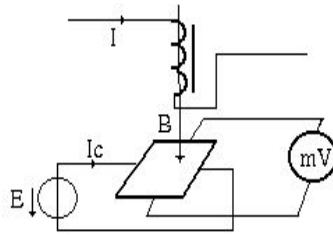


Fig. 5.49. Schema de principiu a ampermetrului Hall.

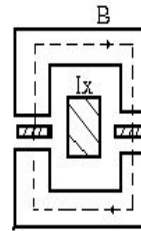


Fig. 5.50. Măsurarea curenților foarte intenși.

La curenți foarte intenși (kA) (fig. 5.30), se folosește un singur conductor care trece prin fereastra unui circuit magnetic, în întrefierurile căruia sunt plasate două traductoare Hall, conectate în serie

Circuite de intrare pentru tensiunea electrică

Divizorul de tensiune rezistiv (fig. 5.51) este realizat din rezistoare bobinate, putând atinge exactități ridicate ($10^{-5} \dots 10^{-6}$), sau din rezistențe cu peliculă metalică, situație în care exactitatea este mai scăzută ($10^{-2} \dots 10^{-3}$), dar suficient de bună pentru instrumentația analogică și digitală. Se utilizează pentru măsurarea tensiunilor în c.c. sau în joasă frecvență.

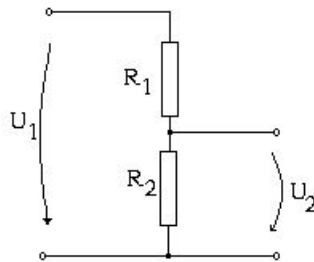


Fig. 5.51. Divizor rezistiv.

În curent alternativ, la creșterea frecvenței semnalului, raportul de divizare D al unui divizor rezistiv începe să fie influențat de frecvență din cauza capacităților parazite față de masă.

Pentru eliminarea inconvenientelor, se utilizează divizoare mixte RC compensate în frecvență (fig. 5.52).

Raportul de divizare D nu depinde de frecvență dacă este îndeplinită condiția:

$$R_1 C_1 = R_2 C_2$$

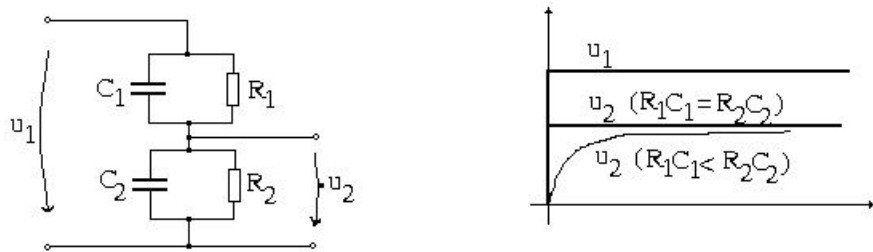


Fig. 5.52. Divizor de tensiune RC mixt compensat în frecvență.

- **Transformatoare de măsurare de tensiune**

Un transformator de măsurare de tensiune este constituit dintr-un circuit feromagnetic închis, confecționat din tole, pe care se dispun atât înfășurarea primară cu N_1 spire, cât și înfășurarea secundară cu N_2 spire (Fig.5.53). La bornele înfășurării primare, se aplică tensiunea de măsurat u_1 , iar la bornele înfășurării secundare se obține o tensiune redusă într-un raport cunoscut.

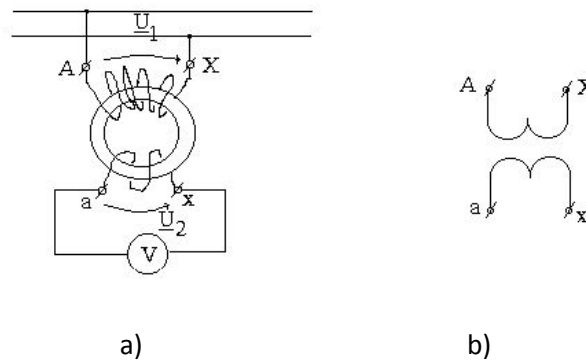


Fig. 5.53. Transformator de măsurare de tensiune:
a) schema de principiu; b) simbol.

Principalele caracteristici metrologice sunt:

- tensiunea primară nominală U_{1n}
- tensiunea secundară nominală U_{2n}

- raportul de transformare nominal: $k_{un} = \frac{U_{1n}}{U_{2n}}$

- clasa de exactitate exprimată prin:

- eroarea de tensiune (sau de raport) :

$$\varepsilon_u (\%) = \frac{U_{1mas} - U_1}{U_1} 100 = \frac{k_{un} \frac{U_1}{U_2} - \frac{U_1}{U_2}}{\frac{U_1}{U_2}} 100 = \frac{k_{un} - k_u}{k_u} 100$$

raportul real de transformare fiind $k_u = \frac{U_1}{U_2}$;

- eroarea de unghi δ_u - unghiul de defazaj dintre fazorul tensiunii primare \underline{U}_1 și cel al tensiunii secundare \underline{U}_2 ;

Achiziții multicanal și comunicații

În cazul contoarelor digitale, este necesar a se achiziționa mai multe mărimi specifice procesului urmărit. Achiziția de date se realizează pe baza unei *multiplexări temporale*, elementul ce realizează această funcție fiind circuitul multiplexor analogic. Acesta este o componentă electronică ce cuprinde "n" întrerupătoare analogice, ale căror ieșiri sunt conectate împreună, pentru a furniza o ieșire unică a multiplexorului. Astfel, este posibilă utilizarea unui singur CAD pentru toate intrările analogice.

Diferitele surse de semnal analogic sunt multiplexate la intrarea circuitului de eșantionare și memorare, care reține, de fiecare dată, valoarea unui eșantion, în vederea conversiei (fig.5.54). Comutarea fiecărui canal are loc pe durata cât circuitul de eșantionare și memorare al canalului precedent se găsește în starea de memorare și tensiunea sa este supusă conversiei. La sfârșitul procesului de conversie, circuitul de eșantionare și memorare este comandat în starea de eșantionare, în vederea prelucrării semnalului din canalul următor, deja comutat.

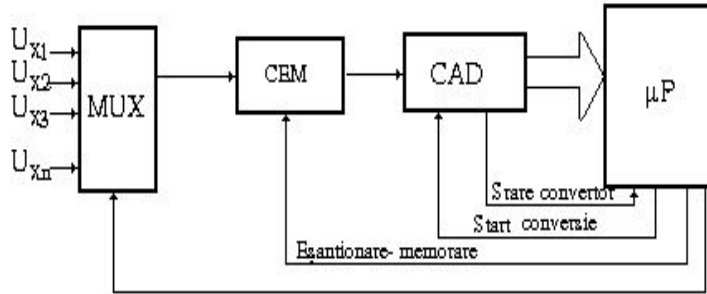


Fig. 5.54. Structura unui sistem de măsurare multicanal cu multiplexare temporală.

Se remarcă funcțiile unității centrale, care asigură: semnalul de comandă a circuitului de memorare, semnalul de inițiere a conversiei CAD, semnalele de adresare, secvențială sau aleatoare, a canalului pentru multiplexor. Sistemul cu multiplexor analogic, care permite accesul secvențial al semnalelor, are dezavantajul imposibilității culegerii simultane a eșantioanelor pe fiecare intrare, are o viteză redusă, soluția fiind, în schimb, cea mai ieftină.

Sistemul de achiziție care asigură achiziționarea simultană este prezentat în figura următoare. În arhitectura sistemului, se remarcă amplasarea, pe fiecare canal de intrare, a câte unui circuit de eșantionare și memorare, în amonte față de multiplexor. Comanda pentru trecerea în starea de memorare este dată simultan pentru toate circuitele de eșantionare și memorare, după care ieșirile acestora sunt multiplexate la intrarea CAD. Timpul de așteptare, în vederea conectării la intrarea CAD, este cu atât mai lung cu cât numărul de canale este mai ridicat; din această cauză, circuitele de eșantionare și memorare trebuie să prezinte o viteză redusă de alterare a tensiunii memorate.

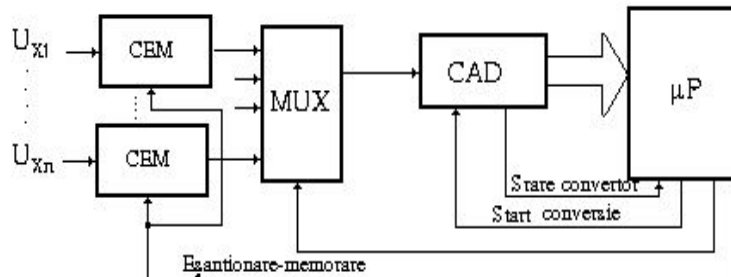


Fig. 5.55. Sistem de achiziție sincronă de date.

Dacă semnalul de la intrare evoluează rapid în timp, cele două sisteme de achiziție precedente, care se bazează pe utilizarea unui singur CAD pentru conversie, nu mai sunt utilizabile. În consecință, pentru mărirea vitezei de măsurare, se utilizează arhitectura de sistem care prezintă câte un CAD pentru fiecare canal, precedat de blocul de condiționare a semnalului și de circuitul de eșantionare și memorare. Informațiile digitale sunt aplicate unui multiplexor digital, care selectează datele primare și le transmite secvențial pe magistrala sistemului de calcul.

Avantajele acestei structuri de sistem sunt următoarele: pot fi utilizate convertoare CAD mai lente și deci mai ieftine, chiar dacă se dorește o viteză mare de achiziție, imunitate la perturbații datorită conversiei locale și transmisiei sub formă digitală, posibilitatea separării galvanice a unei surse de semnal, împreună cu convertorul analog-digital aferent, față de restul sistemului.

Comunicația între sistemele informatice (microprocesor, calculator) și mărimile fizice ce trebuie supravegheate și măsurate poate avea o multitudine de configurații, depinzând de natura semnalului vehiculat, destinația semnalului, distanța etc.

Printre aceste legături, sunt unele utilizate în mod curent și care au fost obiectul unei standardizări în privința protocoalelor. Fiecare modalitate de legătură este realizată cu ajutorul unei cartele de interfață.

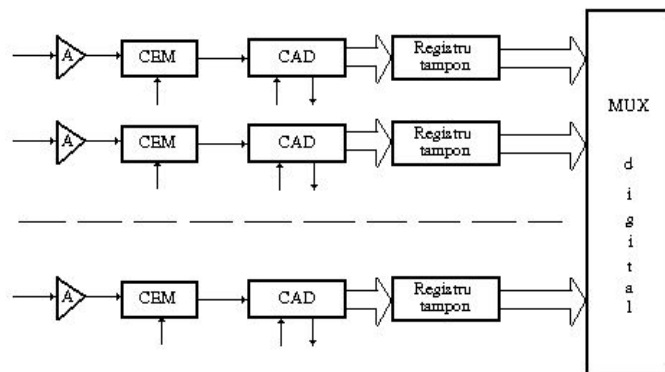


Fig. 5.56. Multiplexarea ieșirilor CAD.

Comunicația de tip serial permite transferul de date în serie, pe o singură linie ce leagă cele două sisteme. Comunicațiile serie sunt reglementate prin unele norme, din care cele mai utilizate sunt normele RS232C/422/423/449. La RS-232, rata maximă de transfer depinde de lungimea cablurilor de legătură, deoarece capacitatea crește și se modifică constanta de timp a circuitului. La RS 422, se utilizează semnale diferențiale, ceea ce îmbunătățește comportarea, mai ales în medii poluate electromagnetic.

Comunicația de tip paralel asigură viteze mari. Bus-ul utilizează transmisia asincronă, viteza de comunicație fiind impusă de aparatul cel mai lent din sistem. Acesta este numai aparent un dezavantaj, deoarece timpul de măsurare al aparatelor este de obicei mult mai mare decât timpul necesar comunicației. Conectorul specific acestei magistrale are 24 de pini, care sunt alocăți conform standardului pentru intrări-ieșiri de date și comenzi.

Bibliografie

Codul de măsurare a energiei electrice

Cerințe pentru sistemele de măsurare de categoria A

Cerințe tehnice minime pentru contoare și transformatoare de măsurare

- Art. 26 Se utilizează exclusiv contoare electronice.
- Art. 27 Se utilizează contoare cu clasa de exactitate 0,2S pentru energia activă și 1 pentru energia reactivă.
- Art. 28 Se utilizează transformatoare de curent ale căror înfășurări pentru măsurare au clasa de exactitate 0,2S.
- Art. 29 Se utilizează transformatoare de tensiune ale căror înfășurări pentru măsurare au clasa de exactitate 0,2.
- Art. 30 Înfășurările secundare ale transformatoarelor de curent și tensiune pentru măsurare, la care se conectează contoarele, inclusiv cele martor, nu se utilizează pentru alimentarea altor aparate.
- Art. 31 (1) Contoarele sau ansamblurile formate din contoare și concentratoare trebuie să înregistreze indecșii la fiecare oră și să îi transmită Operatorului de măsurare. (2) Suportul de comunicare trebuie să permită transmiterea orară a indecșilor. (3) Se recomandă și înregistrarea indecșilor la intervale de 15 minute sau mai mici.
- Art. 32 Pentru punctele de măsurare utilizate pentru locuri de consum, contoarele sau ansamblurile formate din contoare și concentratoare trebuie să înregistreze puterea maximă de lungă durată, cu respectarea următoarelor cerințe:
- Contoarele înregistrează indecși pe fiecare sfert de oră bloc.
 - Se admite utilizarea integrării puterii maxime pe sfert de oră alunecător în condițiile prevăzute de contractul – cadru de furnizare a energiei electrice.
- Art. 33 Contoarele sau concentratoarele trebuie să memoreze, fără ca exactitatea lor de măsurare să fie afectată, valorile înregistrate timp de cel puțin 45 de zile.
- Art. 34 Citirea contorului, local și de la distanță, nu trebuie să fie condiționată de prezența tensiunii de măsurat.
- Art. 35 În funcție de numărul de senzori și de tipul energiei vehiculate (activă sau reactivă), se utilizează contoare cu posibilități de înregistrare în unul sau în ambele senzori și pentru una sau pentru ambele tipuri de energie.
- Art. 36 Ceasurile interne ale echipamentelor verificate metrologic care stochează indecși trebuie să fie capabile să se sincronizeze pe baza unui semnal de sincronizare extern.
- Art. 37 Măsurarea se face folosind tensiunile și curenții de pe toate cele trei faze.
- Art. 38 Secțiunea și lungimea circuitelor care asigură legătura dintre transformatoarele de tensiune pentru măsurare și contoare trebuie astfel alese încât căderile de tensiune pe aceste circuite să nu fie mai mari de 0,05 V.
- Art. 39 Caracteristicile tehnice de bază ale contoarelor trebuie să corespundă prevederilor CEI 60687 pentru contoarele de energie activă și respectiv CEI 61268 pentru contoarele de energie reactivă.
- Art. 40 Caracteristicile tehnice ale transformatoarelor de curent trebuie să corespundă CEI 60044-1.

Cerințe pentru sistemele de măsurare de categoria B

- Art. 41 Se utilizează exclusiv contoare electronice.
- Art. 42 Se utilizează contoare cu clasa de exactitate 0,5 pentru energia activă și 2 pentru energia reactivă.
- Art. 43 Se utilizează transformatoare de curent și de tensiune ale căror înfășurări pentru măsurare au clasa de exactitate 0,5.
- Art. 44 În punctele în care curentul scade uzual sub 20% din curentul nominal al transformatorului de măsurare, se recomandă utilizarea clasei de exactitate 0,2 sau 0,5S pentru contoare și pentru transformatoare de curent pentru măsurare.
- Art. 45 Memoria contorului trebuie să asigure stocarea indecșilor sau a curbei de sarcină la sfert de oră, pe un interval de minimum 45 zile.
- Art. 46 Transmiterea automată la distanță a datelor înregistrate de contoare nu este obligatorie.
- Art. 47 Măsurarea se face folosind tensiunile și curenții de pe toate cele trei faze, la înaltă și joasă tensiune și curenții de pe două sau trei faze și tensiunile dintre faze, la medie tensiune.
- Art. 48 Secțiunea și lungimea circuitelor, care asigură legătura dintre transformatoarele de tensiune pentru măsurare și contoare, trebuie astfel alese încât căderile de tensiune pe aceste circuite să nu fie mai mari de 0,25 V.
- Art. 49 Se permite utilizarea curbelor de sarcină pentru stabilirea energiei electrice schimbate orar.
- În cazul utilizării curbelor de sarcină, se recomandă înregistrarea valorilor la sfert de oră.
 - Înregistrările curbelor de sarcină trebuie sincronizate în timp.
- Art. 50 Abaterea de timp față de ora oficială a României nu trebuie să depășească un minut pentru contoarele la care citirea se realizează automat și cinci minute pentru celelalte contoare.
- Art. 51 Diferența de timp dintre ceasurile contoarelor de energie electrică furnizată unui aceluiași consumator nu trebuie să depășească un minut.
- Art. 52 Contoarele sau ansamblurile formate din contoare și concentratoare utilizate pentru locuri de consum trebuie să înregistreze puterea maximă de lungă durată, cu respectarea următoarelor cerințe:
- înregistrările se efectuează pe sfert de oră bloc;
 - se admite utilizarea integrării puterii maxime pe sfert de oră alunecător în condițiile prevăzute de contractul – cadru de furnizare;
 - înregistrările de putere maximă se fac, de regulă, pe aceleași intervale sfert de oră bloc ca și pentru curba de sarcină.

Cerințe pentru sistemele de măsurare de categorie C

- Art. 53 Pentru circuitele prin care se vehiculează anual energii cuprinse între 50 MWh și 200 MWh se utilizează contoare statice cu clasele de exactitate 1 pentru energia activă și 3 pentru energia reactivă.
- Art. 54 Pentru locurile de consum cu un consum anual mai mic decât 50 MWh, se admite:
- utilizarea contoarelor cu clasele de exactitate 2 pentru energia activă și 3 pentru energia reactivă;
 - utilizarea contoarelor de inducție, cu condiția ca acestea să corespundă tipului de tarif ales de consumator.
- Art. 55 Pentru consumatorii casnici înregistrarea energiei reactive nu este obligatorie.
- Art. 56 Pentru măsurare se utilizează transformatoare de curenți și de tensiune cu clasa de exactitate 1.
- Art. 57 Secțiunea și lungimea circuitelor care asigură legătura dintre transformatoarele de tensiune pentru măsurare și contoare, trebuie astfel alese încât căderile de tensiune pe aceste circuite să nu fie mai mari de 0,5 V.
- Art. 58 Caracteristicile tehnice de bază ale contoarelor trebuie să corespundă prevederilor CEI 60521 și CEI 61036, pentru contoarele de energie activă și respectiv, CEI 61268 pentru contoarele de energie reactivă.
- Art. 59 Sistemul de măsurare a energiei electrice trebuie să fie capabil să înregistreze distinct cantitățile vehiculate în fiecare sens pentru acele puncte de măsurare prin care energia se poate vehicula în ambele sensuri.

10) MĂSURAREA PUTERILOR ȘI ENERGIILOR ÎN REGIMURI NESIMETRICE ȘI DEFORMANTE

Probleme principale în măsurările din acest domeniu:

- unele dintre mărimile măsurate au mai multe definiții, nefiind unanim acceptată o singură definiție
- unele mijloace de măsurare, cum ar fi contoarele digitale pentru putere reactivă, utilizează algoritmi ce nu sunt potriviți în regimuri nesinusoidale și pot conduce la erori suplimentare.
- mijloacele de măsurare analogice sunt destinate rețelelor cu mărimi sinusoidale

10.1. Definiții

Standardul IEC 27-1 atribuie simbolul Q pentru cazul general al determinării puterii reactive. Termenul de putere reactivă este corect și în cazul regimurilor nesinusoidale, dar nu există o definiție a sa în aceste situații.

Dicționarul de standarde al IEEE atribuie litera U mărimii putere aparentă și definește și alte mărimi: S - ”putere fazorială”, F - ”putere fictivă” și N - putere non-activă.

Pentru un element dipolar de circuit, străbătut de curentul $i(t)$ și având la borne tensiunea $u(t)$, ambele fiind mărimi nesinusoidale, ce admit – în condiții Dirichlet – dezvoltări în serie Fourier, exprimate prin:

$$i(t) = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k \sqrt{2} \sin(k\omega t + \beta_k)$$

$$u(t) = U_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k \sqrt{2} \sin(k\omega t + \alpha_k)$$

- puterea activă în regim deformant:

$$P = U_0 I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k$$

unde $\varphi_k = \beta_k - \alpha_k$ reprezintă defazajul dintre armonicele omoloage ale tensiunii și curentului, de rang k

- puterea aparentă în regim deformant se obține cu relația $S=UI$, funcție de valorile efective ale curentului și a tensiunii.

- puterea reactivă se definește în regim nesinusoidal prin simetrie cu puterea activă:

$$Q = \sum_{h=1}^{\infty} U_h I_h \sin \varphi_h$$

Observații:

- În regim sinusoidal, între puterea activă, reactivă și aparentă există relația:

$$P^2 + Q^2 = S^2$$

- În regim nesinusoidal, între puterea activă, reactivă și aparentă există relația:

$$S \neq \sqrt{P^2 + Q^2}$$

Constantin Budeanu a introdus o nouă putere, numită *putere deformantă*, definită de relația :

$$D^2 = S^2 - (P^2 + Q^2)$$

Sunt cunoscute diferite definiții pentru puterea reactivă: A. Iliovici (1924), A. Lienard (1926), C. Budeanu (1927), S. Fryze (1932), W. Schepherd și P. Zakikhani (1972), D. Sharon (1980), N. Kusters și W. More (1980), H. Akagi și Y. Kanazawa (1984), J. Enslin și J. Van Wyk

(1988), A. Ferrero (1988), J. Willems (1992), M. Depenbrock (1993), L. Rossetto și P. Tenti (1994), A. Nabae și T. Tanaka (1996), F.Z. Peng și J.S.Lai (1996), F.Z. Peng și L. Tolbert (2000).

Principalul motiv care creează și astăzi controverse este faptul că nici una dintre definiții nu își menține semnificația fizică în regim nesinusoidal.

În cazul relației Budeanu.

- puterea aparentă: $S^2 = P^2 + Q^2 + D^2$

- puterea reactivă $Q = \sum_{k=0}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k$

- puterea deformantă : $D = \sqrt{\sum_{\substack{k,n=0 \\ k \neq n}}^{\infty} [U_k^2 I_n^2 + U_n^2 I_k^2 - 2U_n U_k I_n I_k \cos(\varphi_n - \varphi_k)]}$ însumarea

termenilor făcându-se prin permutarea circulară a indicilor k și n . Expresia reprezintă forma exactă a puterii deformante, ce poate fi dedusă prin dezvoltarea în serie Fourier a undelor de tensiune și curent.

O formulă simplificată propusă de acad.C.I. Budeanu, ce permite calculul puterii deformante cu o foarte bună exactitate, este:

$$D = \sqrt{U_1^2 I_d^2 + U_d^2 I_1^2 - 2U_1 I_1 \sum_{\substack{k=0 \\ k \neq 1}}^{\infty} U_k I_k \cos(\varphi_1 - \varphi_k)}$$

cu $I_d = \sqrt{I_0^2 + I_2^2 + \dots + I_k^2 + \dots}$ reziduul deformant al undeii de curent; similar pentru U_d .

Avantajul principal al acestei definiții este că faptul că îndeplinește una din caracteristicile specifice puterii reactive, adică suma tuturor puterilor reactive într-un punct al rețelei electrice este zero. Dezavantajele definiției: nu asigură ca factorul de putere să devină 1 dacă puterea reactivă devine zero și nici faptul că puterea reactivă poate fi compensată total introducând componente de compensare inductive sau capacitive. Realizarea unui mijloc de măsurare digital pentru putere reactivă este teoretic imposibilă deoarece necesită un filtru care utilizează un defazaj de 90 grade pentru toate frecvențele.

Definiția Fryze:

$$S^2 = U^2 I^2 = P^2 + Q_F^2$$

Q_F - putere fictivă.

Determinarea practică a puterii fictive este mai simplă cu un mijloc de măsurare digital. Puterea aparentă S se obține din înmulțirea valorilor efective ale curentului și tensiunii iar puterea activă se determină pe baza eșantioanelor luate simultan din curbele curentului și tensiunii, conform relației numerice ce provine din definirea puterii active ca valoare medie a puterii instantanee.

Dezavantaj relație Fryze: puterea reactivă astfel definită nu este în concordanță cu caracteristica care cere ca suma puterilor reactive într-un nod al rețelei să fie zero și Q_F nu poate fi folosit în calcularea bilanțului de putere.

Pentru circuit monofazat:

Mărimea sau indicatorul	Puteri fundamentale 50 sau 60 Hz	Puteri nonfundamentale Non-50 sau 60 Hz	
Puterea activă $P(W)$ $P = \sum_h U_h I_h \cos \varphi_h$	$P_1 = U_1 I_1 \cos \varphi_1$	Puterea activă armonică, $P_H (W)$ $P_H = P - P_1$	
Puterea aparentă, $S (VA)$ $S = UI$ Separarea valorilor efective de tensiune și de curent în componente fundamentale și armonice conduce la: $S^2 = (VI)^2 = (S_1^2 + S_N^2)$	$S_1 = U_1 I_1 ;$ $S_1 = \sqrt{P_1^2 + Q_1^2}$	Puterea aparentă nonfundamentală $S_N (VA)$ $S_N = \sqrt{S^2 - S_1^2}$ Puterea aparentă nonfundamentală se poate descompune în trei termeni: $S_N^2 = D_I^2 + D_V^2 + S_H^2$ - puterea corespunzătoare distorsiunii curentului (var): $D_I = U_1 I_H = S_1 (THD_I)$ - puterea corespunzătoare distorsiunii tensiunii (var): $D_V = U_H I_1 = S_1 (THD_V)$ - puterea aparentă armonică (VA): $S_H = U_H I_H = S_1 (THD_I) \cdot (THD_V)$	Puterea aparentă armonică $S_H (VA)$ $S_H = U_H I_H = \sqrt{P_H^2 + D_H^2}$

Factorul de putere $\lambda = P_F = \frac{P}{S}$	Factorul de putere fundamental sau factorul de putere 50/60 Hz $\lambda_1 = P_{F1} = \frac{P_1}{S_1}$	-
Poluarea armonică	-	S_N / S_1

Observatie:

În cazul circuitelor trifazate în regim nesinusoidal și nesimetric se folosesc, preponderent, două definiții pentru puterea aparentă:

1. Puterea aparentă aritmetică:

$$S_a = S_A + S_B + S_C$$

$$S_A = \sqrt{P_A^2 + Q_A^2 + D_A^2}$$

$$S_B = \sqrt{P_B^2 + Q_B^2 + D_B^2}$$

$$S_C = \sqrt{P_C^2 + Q_C^2 + D_C^2}$$

unde $S_{A, B, C}$; $P_{A, B, C}$; $Q_{A, B, C}$; $D_{A, B, C}$ reprezintă puterile aparentă, activă, reactivă și deformantă pe fiecare fază.

Indicii A, B, C reprezintă cele trei faze.

2. Puterea aparentă geometrică.

Este dată de relația:

$$S_g = \sqrt{P^2 + Q^2 + D^2}$$

unde: $P = P_A + P_B + P_C$

$$Q = Q_A + Q_B + Q_C$$

$$D = D_A + D_B + D_C$$

Pentru sarcini echilibrate, $S_a = S_g = S = \sqrt{3} UI$.

Pentru sarcini dezechilibrate, $S_a > S_g$ și factorii corespunzători de putere rezultă:
 $\lambda_a < \lambda_g$.

Contoarele moderne electronice permit măsurarea ambelor tipuri de putere aparentă: aritmetică și geometrică.

10.2. Soluții de măsurare

► Putere activă

a) Analogic:

- Wattmetrul electrodinamic :
 - atât pentru circuit monofazat cât și pentru circuite trifazate (conform teoremei Blondel);
 - regim sinusoidal
 - în regim nesinusoidal, bandă redusă de frecvență → erori de măsurare

b) Numeric (digital):

- construit pe baza microprocesoarelor, DSP și a conversiei analog numerice
- se întâlnesc rar sub formă de wattmetru, construcțiile uzuale fiind de contoare digitale ce au, implicit și funcția de măsurare a puterii active.

► Putere reactivă

a) Analogic:

- Varmetrul electrodinamic :
 - pentru circuit monofazat sinusoidal
 - acuză erori la modificarea frecvenței semnalului
- Wattmetre alimentate cu tensiuni auxiliare:
 - pentru circuite trifazate
 - sistem simetric de tensiuni sinusoidale

b) Numeric (digital):

- construit pe baza microprocesoarelor, DSP și a conversiei analog numerice
- construcțiile uzuale sunt contoare digitale ce au implementată una din relațiile de definiție pentru puterea reactivă, cel mai des relația Fryze.

► Energie

a) **Contorul de inducție**, exclusivitate până în 1970, la măsurarea energiei active și reactive în rețele monofazate și trifazate.

b) **Contoare electronice** – realizate pe baza multiplicatoarelor:

- cu efect Hall;
- cu transconductanță;
- MSA (MARK SPACE AMPLITUDE sau time-division).

În prezent, este o soluție depășită din cauza complexității hardware și a imposibilității menținerii exactității pe durate mai mari de timp, din cauza modificărilor survenite în funcționarea componentelor pasive și active.

c) **Contoare digitale** – bazate pe tehnici numerice de prelucrare semnale. Se eșantionează semnalele de la fiecare intrare a contorului, cu o frecvență corespunzător aleasă, încât să poată oferi, pe lângă valorile energiei, și toate informațiile referitoare la tensiune și curent. Accesul la valorile instantanee ale semnalelor de intrare (tensiune și curent) obținute prin conversie analog-digitală conduce la creșterea exactității prin multiplicare soft, dar și la apariția unei noi tehnologii de măsurare. În domeniul măsurării puterii și energiei, actuala extindere a tehnicii digitale a fost facilitată de introducerea procesoarelor de semnal DSP (**D**igital **S**ignal **P**rocessor), circuite specializate programabile, cu facilități de prelucrare în timp real a semnalelor.

Aplicații practice

1. Măsurarea puterii reactive în regim nesinusoidal și studiul erorilor datorate diferitelor relații de definiție folosite. Se folosește calibratorul FLUKE 6100 monofazat și trifazat ce are încorporate definițiile: Budeanu, Fryze, Kusters /Moore, Shepherd/Zakikhani, Sharon / Czarnecki, IEEE working group
2. Studiu de caz. Componenta spectrală a mărimilor caracteristice unui consumator și determinarea puterilor

ANEXA

Contor de energie electrică	Aparat electric destinat măsurării cantității de energie electrică ce parcurge un circuit
Contor cu funcții suplimentare	Contor de energie electrică care poate măsura și alte mărimi sau care poate asigura utilizatorilor servicii suplimentare
Contor cu preplată	Contor de energie electrică prevăzut cu un sistem de înregistrare și gestionare a sumelor plătite în avans pentru energia electrică
Contor de decontare	Contor de energie electrică pe baza căruia se efectuează decontarea energiei electrice
Contor cu corecții de	Contor de energie electrică care poate estima pierderile de energie

pierderi	electrică între punctul de măsurare și un alt punct definit de către utilizator
Contor martor	Contor de energie electrică montat astfel încât să măsoare aceleași mărimi cu contorul de decontare, pentru verificarea corectitudinii înregistrărilor contorului de decontare
Curbă de sarcină înregistrată	Sucesiune de valori ale puterii electrice medii înregistrate pe perioade de timp consecutive și egale
Grup de măsurare a energiei electrice	Ansamblu format din transformatoarele de măsurare și contorul de energie electrică aferent acestora

11) CONDIȚII DE VALIDARE ȘI VERIFICARE A ECHIPAMENTELOR DE MĂSURARE UTILIZATE PENTRU DECONTAREA ENERGIEI ELECTRICE

Etalonarea este ansamblul de operațiuni prin care, în condiții specificate, se determină relația dintre valorile indicate de un mijloc de măsurare sau dintre valorile reprezentate de o măsură sau un material de referință și valorile corespunzătoare indicate de un etalon care măsoară aceeași mărime. Rezultatele etalonării se consemnează în documentul *Certificat de etalonare*, întocmit de către personalul din cadrul laboratorului de metrologie care a efectuat operațiunea și care își asumă responsabilitatea asupra rezultatelor obținute.

Verificarea metrologică este ansamblul de operațiuni prin care se constată dacă un mijloc de măsurare satisface prevederile normelor de metrologie legală sau ale altor reglementări metrologice care îi sunt aplicabile. Rezultatul verificării se consemnează în documentul *Buletin de verificare metrologică*, întocmit de către personalul din cadrul laboratorului de metrologie care a efectuat operațiunea.

Etalonările și verificările metrologice se execută, de regulă, în laboratoare de metrologie, unde sunt asigurate condițiile tehnice și de mediu necesare.

Etalonarea sau verificarea metrologică poate fi inițială sau ulterioară.

Etalonarea sau verificarea inițială se efectuează asupra mijloacelor de măsurare noi sau care nu au mai fost supuse unei asemenea operațiuni pe teritoriul național.

Etalonarea sau verificarea ulterioară se efectuează asupra mijloacelor de măsurare care au parcurs o anumită perioadă de exploatare și poate fi: periodică, după reparare sau la cerere.

Trasabilitatea etalonării sau a verificării se atestă prin indicarea, în *certIFICATELE DE ETALONARE*, respectiv în *BULETINELE DE VERIFICARE METROLOGICĂ*, a etaloanelor din Sistemul național de etaloane ale unităților de măsură, care au servit ca referință în cadrul operațiunilor respective.

11.1. Verificarea aparatelor de măsurat energia electrică

În cadrul verificărilor metrologice, contoarele sunt supuse unor probe multiple pentru verificarea unor parametri importanți privind corecta înregistrare a energiei electrice pe durata de funcționare prevăzută prin norme.

O pondere importantă în cadrul acestor probe o au operațiile de determinare a comportării contorului în următoarele situații:

a) *mersul în gol* :

În acest caz, cu bobina de tensiune alimentată cu tensiuni cuprinse în intervalul $U \in (80...110)\%U_n$ și cu o intensitate nulă a curentului în bobina de curent, echipajul mobil nu trebuie efectueze o rotație completă;

b) *pornirea (sensibilitatea)*:

Proba constă în determinarea curentului minim la care începe rotația echipajului mobil la contorul de inducție (de exemplu, $I \leq 0,5\%I_n$), sau când are loc începerea afișării la contorul digital;

c) *determinarea erorilor de măsurare*:

Se constată dacă aparatul se încadrează în prevederile clasei de exactitate indicate de fabricant. Încercările se efectuează la tensiune nominală, factor de putere 1, 0,5 inductiv și 0,8 capacitiv pentru o gamă largă de curenți.

Limitele erorilor relative pentru contoarele de energie electrică de clasă 0,5 ,1 și 2 sunt cele indicate în tabelul de mai jos.

Tabel 11.1.

Intensitatea curentului	Factor de putere	Limitele erorilor relative (%)		
		clasa 0,5	clasa 1	clasa 2
5% I_n	1,0	±1,0	±1,5	±2,5
10% $I_n...I_{max}$	1,0	±1,0	±1,0	±2,0
10% I_n	0,5ind	±1,3	±1,5	±2,5
	0,8cap	±1,3	±1,5	-
20% $I_n...I_{max}$	0,5ind	±0,8	±1,0	±2,0
	0,8cap	±0,8	±1,0	-

Normele de verificare metrologică și standardele în vigoare aduc toate precizările necesare pentru evaluarea corectă a tuturor caracteristicilor contoarelor de inducție, electronice sau digitale. Se pot da ca exemple în acest domeniu:

- Publicația CEI 62053-31: “Echipamente de măsurare a energiei electrice (c.a.) - Prescripții particulare. Partea 31: dispozitive de ieșire în impulsuri pentru contoare electromecanice și electronice (numai cu două fire)”;

- Publicația CEI 60687: “Contoare statice de energie activă de curent alternativ (clasă 0,2S și 0,5S);

- Publicația CEI 61036 - Alternating current static watt-hour meters for active energy classes 1 and 2 (Contoare statice de energie activă pentru rețele electrice de tensiune alternativă, clasele 1 și 2).

-Publicatia CEI 60521 - Class 0.5, 1 and 2 alternating-current watt-hour meters (Contoare de energie activă pentru rețele electrice de tensiune alternativă , clasele 0,5; 1 și 2).

- Publicația CEI 61268: “ Contoare statice de curent alternativ pentru energie electrică reactivă (clasă 2 și 3);

- Publicația CEI 61899: “Contoare statice de energie electrică - Putere absorbită și prescripții privind tensiunea – Contoare de energie cu funcțiuni multiple”;

- Publicația CEI 60514: 2002: „Control de recepție al contoarelor pentru energie activă de curent alternativ de clasă 2”;

- NML 005-05: "Contoare de energie electrică activă".

- NML 020-05 “Ceasornice programatoare pentru contoare de energie electrică”

7.2. Instalații și echipamente de verificare

Instalațiile folosite pentru verificarea contoarelor de energie electrică sunt instalații etalon destinate transmiterii unității de măsură a energiei electrice în c.a. către contoarele de inducție sau electronice, utilizate ca mijloace de măsurare etalon sau de lucru în domeniul de interes public al măsurării energiei electrice furnizate sau consumate.

Dintre metodele uzuale de verificare a contoarelor, se pot aminti:

- *Metoda timp - putere*

Energia înregistrată de contor se compară cu energia calculată după indicațiile unui wattmetru etalon, timpul fiind măsurat cu un cronometru. Eroarea relativă, în procente, are expresia:

$$\varepsilon(\%) = \frac{W_{mas} - W}{W} \cdot 100$$

în care, pentru un contor de inducție:

$$W_{mas} = \frac{n}{c} \cdot 3,6 \cdot 10^6 - \text{energia înregistrată de contor};$$

$$W = P \cdot t - \text{energia reală};$$

n - numărul de rotații efectuat de echipajul mobil în timpul t de desfășurare a încercării;

c - constanta contorului;

P - puterea indicată de wattmetru.

Rezultă următoarea expresie pentru eroarea relativă:

$$\varepsilon(\%) = \frac{\frac{n}{c} \cdot 3,6 \cdot 10^6 - P \cdot t}{P \cdot t} 100 = \frac{T - t}{t} 100$$

unde $T = \frac{3,6 \cdot 10^6 n}{cP}$ este timpul teoretic în care discul contorului efectuează cele n rotații.

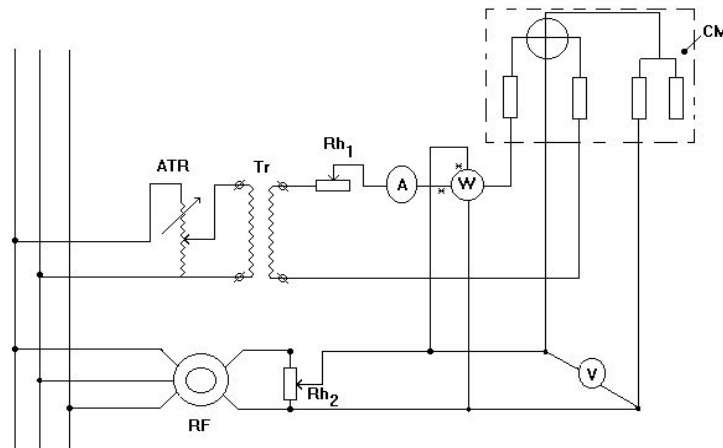


Fig. 5.57. Schema de montaj pentru verificarea contorului prin metoda timp-putere.

Schema de montaj pentru verificarea unui contor monofazat conform metodei timp-putere este prezentată în figura. Se observă că alimentarea circuitelor de curent și de tensiune ale contorului se realizează din surse separate, permițând reglarea independentă a tensiunii electrice, a intensității curentului și a defazajului. Wattmetrul utilizat poate fi de tip electrodinamic sau electronic, de tip convertor putere-frecvență.

Metoda se poate utiliza și pentru verificarea contoarelor trifazate cu adaptările de rigoare pentru generarea sistemelor trifazate de tensiuni și de curenți.

- *Metoda contorului etalon*

Contoarele etalon sunt contoare de exactitate ridicată și care au posibilitatea să măsoare energia electrică și pentru intervale de timp foarte scurte. Pentru aceasta, în circuitul bobinei de tensiune, este prevăzut un întrerupător, care permite afișarea și pornirea contorului în orice moment, fără ca bobina de curent să fie deconectată din circuit. Mecanismul de înregistrare permite citirea fie a energiei consumate, fie a numărului de rotații.

Contorul de verificat și contorul etalon se leagă cu bobinele de curent în serie și cu bobinele de tensiune în paralel.

Eroarea relativă de măsurare se determină cu relația:

$$\varepsilon(\%) = \frac{W_{mas} - W}{W} 100 = \frac{\frac{n_x}{c_x} - \frac{n_e}{c_e}}{\frac{n_e}{c_e}} \cdot 100$$

unde:

- c_x, c_e sunt constantele contorului de verificat, respectiv de contorul etalon ;
- n_x, n_e reprezintă numărul de rotații efectuate de contorul de verificat, respectiv de contorul etalon.

În acest mod, verificarea se reduce la numărarea rotațiilor discului, fără a mai fi nevoie de cronometrarea timpului.

- *Metoda stroboscopică*

Se bazează pe sondarea fotoelectrică a diviziunilor stroboscopice de pe discul unui contor etalon și transmiterea frecvenței de referință unei lămpi cu descărcări în gaze, care iluminează discul contorului de încercat. La aceeași viteză unghiulară a contorului etalon și a celui de încercat, diviziunea de pe disc pare a sta pe loc. Diferențele valorilor momentane ale vitezelor unghiulare dau pentru ochi o alunecare a imaginii și, după sensul și viteza de deplasare a imaginii, se poate aprecia mărimea erorii. Este o metodă simplă, permite o reglare rapidă, dar exactitatea este scăzută, mai ales la curenți mici.

Dezvoltarea tehnicilor de măsurare a energiei electrice prin metode electronice a permis realizarea unor instalații de verificat complexe, dotate cu transformatoare de măsurare etalon și cu contoare electronice etalon. Aceste instalații sunt prevăzute cu sisteme de calcul care funcționează prin prelucrarea informației privind puterea electrică, informație obținută:

- prin metode optoelectronice, determinând numărul de rotații la contorul de inducție;
- prin utilizarea unor circuite de numărare electronice, cu ajutorul cărora se determină numărul de impulsuri de ieșire, cu frecvența proporțională cu puterea, în cazul contoarelor electronice prevăzute cu ieșire în frecvență.

Pentru alimentarea stațiilor de etalonare ce utilizează wattmetre ca aparate etalon, se recomandă, în principiu, instalații pentru menținerea constantă a tensiunii care acționează asupra unui grupuri de convertizoare. Cu ajutorul grupului de convertizoare, se poate obține exactitatea maximă, eliminându-se în același timp toate influențele rețelei de curent alternativ trifazat asupra stației de etalonare. Valoarea medie a celor trei tensiuni de linie se poate menține constantă cu o abatere de cel mult $\pm 0,05\%$.

Reglarea tensiunilor se realizează în funcție de derivata tensiunii de ieșire acționând asupra tensiunii de excitație a generatorului. Abaterile tensiunii generatorului de la valoarea nominală reglată se corectează prin influențarea instantanee de sens contrar a excitației. Constanta de timp în cazul comutării de la funcționarea în gol la 75% sarcină este de circa 60ms la o instalație de 3kVA.

Utilizarea contoarelor etalon în locul wattmetrelor de precizie permite racordarea directă a stației de etalonare la rețeaua de curent alternativ trifazat fără necesitatea alimentării prin intermediul unui regulator de tensiune. Verificarea individuală se realizează prin compararea rotațiilor discului contorului de încercat cu acelea ale contorului etalon, calculându-se exact eroarea.

Introducerea tehnicilor digitale și a sistemelor de măsurare informatizate în cadrul operațiilor de verificare metrologică a contoarelor a condus la sporirea capacității de lucru a stațiilor de verificare și a exactității acestora. În figura se prezintă structura stației de verificare a contoarelor tip CMC 156 (Omicron). Se asigură ca mărimi de ieșire tensiuni trifazate în intervalul 0-125 V și intensități ale curentului în intervalul 0-12,5 A.

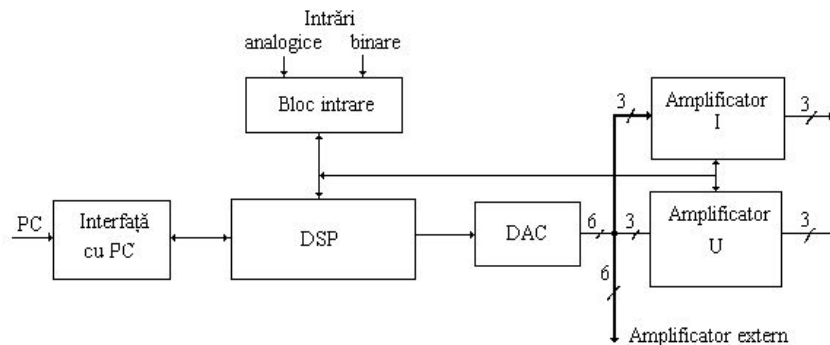


Fig. 5.58. Schema bloc a unei instalații de verificare cu DSP.

Norme metrologice specifice

Vechile documente metrologice nu prevăd nimic referitor la comportarea contorului în regim deformant, acest regim nefiind perceput ca o sursă suplimentară de erori pentru contoarele de inducție ce măsoară energia electrică.

Acest lucru este însă corectat o dată cu apariția noilor documente de metrologie legală. În norma de metrologie legală NML nr. 5-02 din anul 1997 apare o preocupare privind acest aspect important referitor la funcționarea și exactitatea aparatului de măsurat.

În acest document, la punctul 5.5, intitulat „Variația erorii datorată unei mărimi de influență”, se consideră că existența armonicilor în formele de undă conduce la prezența unor erori suplimentare. Pentru caracterizarea metrologică se introduce în cadrul probelor la care este supus contorul și factorul de influență numit forma de undă.

Mărimile de interes în verificarea metrologică a contorului de inducție în regim sinusoidal sunt tensiunea electrică, intensitatea curentului și factorul de putere.

Pentru a studia comportarea în regim nesinusoidal se consideră că alimentarea se face cu tensiune sinusoidală (factor de distorsiune mai mic sau egal cu 1%) iar curentul conține, pe lângă fundamentală, și armonica a treia, cu amplitudinea de 10% din cea a fundamentalei – Tabel

Măsurările se efectuează pentru două defazaje: cu armonica a treia în fază cu fundamentală și cu armonica a treia în antifază cu fundamentală. Factorul de putere la care se lucrează în ambele variante este 1 dar nu se specifică modul în care se definește factorul de putere în regim deformant.

Măsurările în cele două variante se desfășoară cu ajutorul unei instalații trifazate de verificat contoare, prevăzută cu posibilitatea de variere a tuturor parametrilor prezentați și impuși de normă.

Tabel. NML 5-02-97: limitele de variație ale erorilor datorate mărimilor de influență pentru contorul de inducție

Mărimia de referință	Valoarea curentului (A)	Factor de putere	Limitele de variație a erorii (clasa de exactitate) (%)		
			0,5	1	2
Forma de undă: 10% din armonica a 3-a de curent	I_b	1	±0,5	±0,6	±0,8

Conform normei mai sus amintite, situațiile create trebuie să producă variații ale erorii mai mici decât cele impuse. Variația erorii reprezintă diferența între eroarea obținută în condițiile mai sus amintite (cu distorsiuni) și eroarea obținută în condiții de referință (fără distorsiuni).

Acestea sunt singurele precizări în normele metrologice actuale legate de impunerea formelor de semnale la verificarea contoarelor de inducție.

Normative privind performanțele contoarelor statice

Programul de încercare a contoarelor statice de energie activă are la bază norma CEI 10036 - Contoare statice de energie electrică de curent alternativ (clasele 1 și 2). În Tabelul 8 se dau limitele erorilor datorate variațiilor: de tensiune, de frecvență, forma curbei, ordinea fazelor, nesimetrie, componentă de c.c., inducție magnetică continuă din exterior, câmpuri electromagnetice de înaltă frecvență, influența accesoriilor.

Tabelul 11.2

Mărimea de influență	Valoarea curentului	Factor de putere	Limitele de variație a erorii % pentru contoarele de clasă	
			1	2
Variația de tensiune: +/-10%	I_n	1	0,7	1
	I_n	0,5 inductiv	1	1,5
Variația de frecvență: +/-5%	I_n	1	0,8	1,3
	I_n	0,5 inductiv	1	1,5
Forma curbei: 10% armonica 3 curent	I_n	1	0,6	0,8
Ordinea fazelor inversată	0,1 I_n	1	1,5	1,5
Nesimetrie de tensiune	I_n	1	2	4
Componentă continuă în circuitul de curent	0,5 I_n	1	3	6
Inducție magnetică continuă exterioară	I_n	1	3	6
Inducție magnetică exterioară (0,5mT)	I_n	1	2	3
Câmpuri electromagnetice de înaltă frecvență	I_n	1	2	3
Influența accesoriilor	0,05 I_n	1	0,5	1

Codul de măsurare a energiei electrice

- (1) Pentru transformatoare de măsurare, contoare, totalizatoare și concentratoare trebuie să se dețină aprobare de model din partea BRML și acestea trebuie să fie verificate metrologic conform legislației metrologice în vigoare.

Se remarcă introducerea contoarelor electronice digitale, de clase de exactitate și tipuri constructive, după cum urmează:

- pe liniile de interconexiune cu alte sisteme, în toate punctele de schimb între rețelele de transport și distribuție, contoare electronice cu trei sisteme de măsurare, clase de exactitate pentru energia activă 0,2 S – 0,5 S/0,2 S – 1 S pentru energia reactivă;
- la consumatorii – agenți economici cu putere activă maximă absorbită cel puțin egală cu 30 kW/consum lunar de energie electrică activă cel puțin egal cu 5 MWh, contoare trifazate multitarif, care permit aplicarea tarifelor binom, tip: ALPHA A1R, SPECTRA, INDIGO-SCHLUMBERGER și CEET – AEM – LLC etc., clasă de exactitate 1 S pentru energia activă și 2 S pentru energia reactivă, cu sau fără indicarea puterii active maxime absorbite;
- la consumatorii – agenți economici și casnici cu consum lunar de energie electrică activă cel puțin egal cu 1, respectiv 0,5 MWh, contoare monofazate multitarif și monotarif, tip: ALPHA – A1R, CEEM, ENERLUX – AEM - LLC, CSM – Electromagnetica, clasă de exactitate 1 S pentru energie activă, cu sau fără indicarea puterii active maxime absorbite.

c) Reglementări pentru verificarea contoarelor digitale de energie reactivă

În tabel se prezintă prescripțiile CENELEC referitoare la verificarea contoarelor de energie reactivă.

Test	Tipul testului	Variația în timp a curentului și a tensiunii (Valori normalizate prin raportare la valoarea efectivă)
1	IEC1268 – Test de referință Tensiune și curent de frecvența rețelei și defazaj 0.	
2	IEC1268 - Test de variație a frecvenței (±2 %)	
3	Testul de referință cu variația de frecvență de ±2% și defazaj între fundamentalele tensiunii și curentului de 30°.	
4	IEC1268 - Test armonice Testul de referință + 10 % armonica a 3-a de curent.	
5	IEC 1268 – Test armonice Testul de referință + 10% armonica a 3-a de tensiune, + 20 % armonica a 3-a de curent, fundamentalele și armonicile defazate cu 30°.	

REFERINTE BIBLIOGRAFICE

1 - SERITAN,G, CEPISCA,C, *Masurari electrice si electronice*

Ed. Politehnica Press, Bucuresti, 2013, 304pag., ISBN 978-606-515-444-5

2 - SERIȚAN G.C., CEPIȘCĂ C, GANATSIOS S.,

Energia electrică și măsurarea ei, Ed.Electra, 2005, 200pag, ISBN 973-7728-09-2

3 - ANDREI H., CEPIȘCĂ C., SERIȚAN G.C., DOGARU – ULIERU V.,

Regimuri periodice nesinusoidale în echipamentele electrice,

Ed. ELECTRA, Bucuresti, 2004, ISBN 973-7728-00-9

4 – GOLOVANOV I.C., *Masurarea marimilor electrice in sistemul electroenergetic*, Edit Academia Romana, Edit. Agir, Bucuresti, 2009, ISBN AGIR 973-720-236-9 / ISBN Academia Romana 973-27-1887-2

CALITATEA MĂSURĂRII

1. Chestiuni de studiat

1.1. Determinarea erorilor de măsurare în cazul

măsurărilor uzuale directe.

1.2. Determinarea erorilor de măsurare în cazul

măsurărilor uzuale indirecte.

1.3. Incertitudinea de măsurare în măsurările repetate de

exactitate ridicată.

2. Mod de experimentare.

2.1. Măsurări uzuale directe

2.1.1. Se măsoară tensiunea de la rețeaua de alimentare cu mai multe voltmetre, având indicii clasei de exactitate c_1, c_2, c_3 și domeniile de măsurare $U_{\max 1}, U_{\max 2}, U_{\max 3}$. Datele se trec în tabelul 1.

Tabel 1

Voltmetrul	c	U_{\max} (V)	$\pm(\Delta U)_{\max}$ (V)	$U_{\text{măs}}$ (V)	$\Delta U/U$ (%)
V1					
V2					
V3					

Se vor calcula:

- erorile absolute maxime pentru fiecare aparat :

$$(\Delta U)_{\max} = \frac{c \cdot U_{\max}}{100}$$

- eroarea relativă $\Delta U / U$ a fiecărei măsurări;
- rezultatul creditat al măsurării $U_x = U \pm (\Delta U)_{\max}$

Concluzii privind alegerea aparatelor pentru asigurarea unei exactități maxime.

2.1.2. Se măsoară aceeași tensiune cu un voltmetru digital. Având la dispoziție cartea tehnică a aparatului, să se scrie rezultatul creditat.

$$(\Delta U)_{\max} = \dots\dots\dots$$

$$U_x = U_{\text{măs}} \pm (\Delta U)_{\max}$$

Concluzii privind modul de determinare a erorii de măsurare la aparatele digitale. Comparăți privind erorile multimetrului pentru diferite mărimi (tensiune, intensitatea curentului, rezistență electrică, frecvență etc.), diferite forme de undă (curent continuu, curent alternativ) și alegerea intervalului optim de măsurare.

2.2. Măsurări uzuale indirecte

Se realizează montajul din fig.1, pentru alimentarea la tensiune nominală a becului B și măsurarea tensiunii și intensității curentului absorbit de bec .

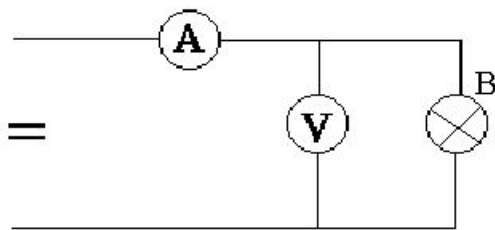


Fig.1. Schema de montaj.

Se aleg aparatele de măsurare și intervalele optime de măsurare ale acestora. Din indicația aparatelor se urmărește determinarea rezistenței R_x a becului și a puterii absorbite P_x . Datele se trec în tabelul 2.

Relații de calcul:

$$\left. \frac{\Delta R_x}{R_x} \right|_{mp} = \left(\frac{\Delta U}{U} + \frac{\Delta I}{I} \right) \cdot \left(1 + \frac{R_x}{R_V} \right) + \frac{R_x}{R_V} \cdot \frac{\Delta R_V}{R_V}$$

$$\frac{\Delta U}{U} = \frac{C_V \cdot U_{\max}}{U}; \quad \frac{\Delta I}{I} = \frac{C_A \cdot I_{\max}}{I}; \quad \frac{\Delta R_V}{R_V} = 0,002$$

Tabel 2

U	V	0,5	1	1,5	2	U_{max}
-----	-----	-----	---	-----	---	------	------	-----------

$$\left. \frac{\Delta P_x}{P_x} \right|_{mp} = \left(1 - \frac{U^2}{P_x \cdot R_V}\right) \frac{\Delta U}{U} + \frac{U \cdot I}{P_x} \cdot \frac{\Delta I}{I} + \frac{U^2}{P_x \cdot R_V} \cdot \frac{\Delta R_V}{R_V}$$

I	A							
R_V	Ω							
C_A	-							
C_V	-							
$\Delta U/U$	-							
$\Delta I/I$	-							
$\Delta R_V/R_V$	-							
R_x	Ω							
P_x	W							
$\Delta R_x/R_x$	%							
$\Delta P_x/P_x$	%							

- Concluzii privind exactitatea măsurărilor și prezentarea rezultatului creditat al măsurărilor.
- Determinarea caracteristicii de conversie teoretice ce aproximează cel mai corect caracteristica experimentală.

Se va utiliza un program de regresie liniară pentru aproximarea caracteristicilor.

2.3. Măsurări repetate

2.3.1. Se măsoară tensiunea la bornele unei surse de tensiune etalon efectuând 10 măsurători succesive. Se utilizează un multimetru numeric.

Datele obținute se vor trece apoi în ordine crescătoare (tabel 3)

Tabel 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
---	---	---	---	---	---	---	---	---	----

--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

- Se verifică dacă nu apar erori grosolane, folosind criteriul Grubbs – Smirnov (cu risc 0,015):
 - se calculează valoarea medie :

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^{10} X_i}{10}$$

- se calculează estimăția s a erorii medii pătratice a șirului:

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

- se calculează parametrul v pentru valoarea suspectată X_k :

$$v = \frac{X_k - \bar{X}}{s}$$

Se compară cu $v_{n,2} = 2,482$. Dacă $v \geq v_{n,\alpha}$, valoarea X_k conține o eroare grosolană și trebuie eliminată. Dacă $v < v_{n,\alpha}$ se menține valoarea X_k în șir. După eliminarea unui rezultat se repetă procedeul.

- Se calculează pentru valorile rămase: \bar{X} și s. Se va utiliza tabelul 4.

Tabel 4

X_i	$X_i - \bar{X}$	$(X_i - \bar{X})^2$
	verificare $\sum (X_i - \bar{X}) = 0$	$\sum (X_i - \bar{X})^2 =$

- Se alege nivelul de încredere și parametrii distribuției Student:

$$P = 0,997 \rightarrow t = 4,09$$

$$P = 0,99 \rightarrow t = 3,5$$

$$P = 0,955 \rightarrow t = 2,33$$

Limita de încredere pentru valoarea medie este: $\pm ts / \sqrt{n}$

Valoarea măsurată se va exprima sub forma: $X = \bar{X} \pm \frac{ts}{\sqrt{n}}$

2.3.2. Se apreciază următoarele surse semnificative de erori sistematice și se estimează contribuția fiecăruia:

a) Datorită obiectului supus măsurării:

- instabilitate de scurtă durată $\sigma_1 = 10$ ppm

b) Datorită aparatului de măsurat folosit:

- incertitudinea aparatului $\sigma_2 = 12$ ppm

- instabilitatea între două etalonări $\sigma_3 = 8$ ppm

c) Datorită interacțiunii obiect – aparat

- influența conexiunilor $\sigma_4 = 1$ ppm

d) Datorită influențelor exterioare

- efectul temperaturii $\sigma_5 = 5$ ppm

Între factori nu există corelație.

Incertitudinea de tip B rezultă: $\sigma_B = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \dots + \sigma_5^2}$

Incertitudinea de tip A este: $\sigma_A = s$

Incertitudinea compusă (la nivel 1σ): $\sigma = \sqrt{\sigma_A^2 + \sigma_B^2}$

CARACTERIZAREA METROLOGICĂ A MIJLOACELOR DE MĂSURARE

1. Chestiuni de studiat

1.1. Verificarea metrologică - principii și metode.

1.2. Metoda comparației -verificarea unui voltmetru de panou

1.3. Metoda calibratorului - Verificarea unor voltmetre analogice și numerice

1.4. Verificarea funcțiilor de ohmmetru și frecvențmetru la un multimetru digital

2.Mod de experimentare

2.1. Verificarea metrologică a unui mijloc electric de măsurare vizează calitatea mijlocului electric supus măsurării, ca indice al totalității caracteristicilor metrologice: intervalul de măsurare, capacitatea de suprasarcină, rezoluția, sensibilitatea, exactitatea, puterea consumată, timpul de măsurare, stabilitatea în timp etc.

Prin verificarea metrologică a unui mijloc de măsurare se stabilește dacă acesta se încadrează în prescripțiile clasei de exactitate și îndeplinește și celelalte condiții tehnice stabilite de normele metrologice.

Metodele utilizate pentru verificarea metrologică a mijloacelor de măsurare se pot împărți în două mari categorii: metoda comparației cu un etalon (fig. 1a) și metoda măsurii (calibratorului) etalon (fig. 1b).

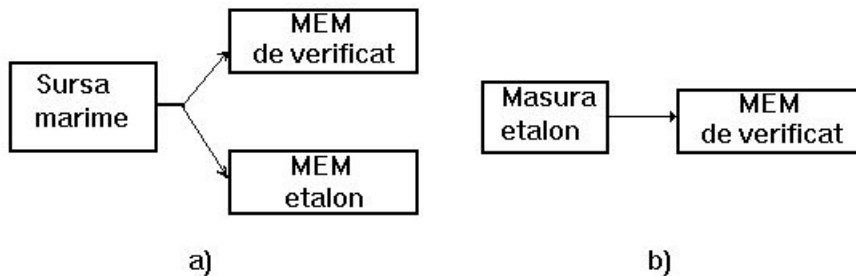


Fig.1. Metode de verificare metrologică: a) comparație; b) calibrator

În primul caz se efectuează măsurarea aceleiași mărimi, de valoare necunoscută, atât cu mijlocul de măsurare de verificat, cât și cu cel etalon. Pentru utilizarea acestei metode de comparație este necesară o sursă pentru generarea mărimii respective.

În al doilea caz se efectuează măsurarea cu mijlocul de măsurare de verificat a unei mărimi de valoare cunoscută, furnizată de o măsură etalon (calibrator)

Verificarea metrologică se efectuează în condiții de referință, specificate de norme (anumite valori pentru mărimile de influență: temperatură, presiune, umiditate etc - vezi anexă)

2.2. Verificarea metrologică prin metoda comparației cu un etalon comportă următoarele operații:

- mărimea de intrare este crescută, până la diviziunea X a aparatului de verificat, fără a o depăși superior și se citește indicația X_e a etalonului;
- mărimea de intrare este descrescută, până la diviziunea X a aparatului de verificat și se citește indicația X_e a etalonului.

Se calculează, în fiecare caz, eroarea absolută pentru reperele principale ale aparatului de verificat:

$$\Delta X = X - X_e$$

iar prin calcul se determină eroarea absolută tolerată limită a aparatului:

$$(\Delta X)_{\max} = \pm \frac{c \cdot X_{\max}}{100}$$

unde, pentru aparatul de verificat: c - indicele clasei de exactitate ; X_{\max} - limita superioară a intervalului de măsurare.

Dacă pentru fiecare reper principal al aparatului de verificat se îndeplinește condiția:

$$|\Delta X| \leq |(\Delta X)_{\max}|$$

aparatul de verificat se declară admis.

Verificarea se realizează pentru toate reperele cifrate ale scării gradate, de regulă pe cel mai mic interval de măsurare, iar pe celelalte intervale, numai la 3-5 reperi cifrate, uniform distribuite

În alegerea aparatului etalon trebuie ținut cont de următoarele considerente:

tipul constructiv al aparatului de verificat și de natura mărimii de măsurat;

domeniul de măsurare al aparatului de verificat;

clasa de exactitate a aparatului de verificat;

Aparatul etalon trebuie să fie capabil a măsura aceeași mărime ca și aparatul de verificat, să aibă domeniul de măsurare mai mare sau cel puțin egal cu cel al aparatului de verificat, iar clasa sa de exactitate să fie de cel puțin cinci ori mai mică decât clasa de exactitate a aparatului de verificat.

Se va verifica un voltmetru de panou, schema montajului fiind prezentată în fig.2.

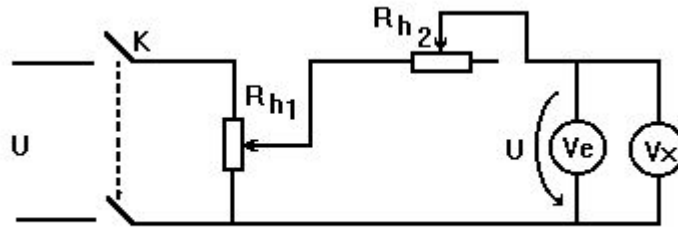


Fig. 2. Schema de verificare a unui voltmetru prin metoda comparației

Cu ajutorul reostatelor R_{h1} și R_{h2} se reglează tensiunea la bornele voltmetrului de verificat, astfel încât acul indicator să se afle în dreptul reperului gradat pentru care se face verificarea. Măsurătorile se vor efectua atât în sens crescător cât și în sens descrescător.

Datele măsurate și valorile calculate se trec în tabelul 1.

Tabel 1

U_x	U_e cresc.	U_e desc.	U cresc.	U desc.	$(U)_{max}$	Observații
V	V	V	V	V	V	

În cazul în care toate erorile absolute (măsurate) sunt mai mici decât eroarea tolerată limită de măsurare (calculată), atunci se va trasa grafic curba de corecție a aparatului (corecția = $-U$) :

$$\text{corecția} = f(U_x)$$

În caz contrar, dacă voltmetrul nu se încadrează în clasa de exactitate pentru care a fost proiectat, se vor analiza cauzele ce au determinat ieșirea aparatului din clasa de exactitate, precum și modul în care aceste probleme pot fi remediate, determinându-se clasa de exactitate în care se poate înscrie voltmetrul, conform relației:

$$c = \frac{\Delta U_{max}}{U_{max}} \cdot 100$$

Se va alege valoarea standardizată a clasei de exactitate imediat superioară, valorile standardizate ale clasei de exactitate fiind prezentate în anexă.

2.3. Se utilizează un calibrator (METRA HIT 28C) pentru verificarea unui voltmetru de c.c. analogic și a unuia numeric—fig.3

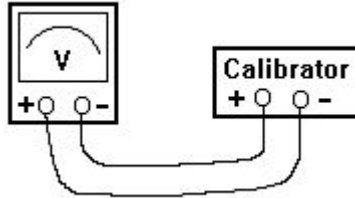


Fig.3. Verificarea asistată de calibrator a unui voltmetru de c.c.

Modul de lucru al calibratorului va fi prezentat în laborator. Rezultatele se trec în tabelul următor, pentru ambele tipuri de aparate.

U_e calibrator	V	
U_X	V	
$U = U_X - U_e$	V	
$\varepsilon = \frac{\Delta U}{U_e} \cdot 100\%$	%	
admisibil	%	

2.4. Pentru verificarea funcției de ohmmetru dintr-un multimetru digital se utilizează metoda calibratorului, conectând la bornele multimetruului o rezistență etalon, ce materializează valori de rezistență electrică cunoscute cu precizie ridicată - fig. 4.



Fig.4. Verificarea metrologică a funcției de ohmmetru

Se verifică funcția de ohmmetru a multimetrului digital Hioki 3802-50. Modul de lucru este prezentat în tabelul următor.

	<ol style="list-style-type: none"> 1. Se seteaza selectorul de functii pe pozitia ohmmetru 2. Pentru a seta manual mărimea, se apasă butonul “Range”. 3. Conectati sondele de măsurare în mufele aparatului conform figurii alaturate. 4. Conectați varfurile sondelor la obiectul ce urmează a fi măsurat. 5. Citiți valoarea afișată pe displayul aparatului.
--	--

Valorile determinate experimental se trec în tabelul următor:

Re		
----	--	--

R_X		
$R = R_X - R_e$		
$\varepsilon = \frac{\Delta R}{R_e} \cdot 100\%$	%	
admisibil	%	

Erorile admisibile admisibil se obțin din cartea tehnică a multimetrului. Un exemplu este indicat în tabelul următor.

Domeniu	Exactitate
510,00 Ω	$\pm 0,08\%$ din citire ± 10 dgt.
5,1000 k Ω	$\pm 0,08\%$ din citire ± 5 dgt.
51,000 k Ω	$\pm 0,08\%$ din citire ± 5 dgt.
510,00 k Ω	
5,1000 M Ω	$\pm 0,2\%$ din citire ± 5 dgt.

2.5. Verificarea funcției de măsurare a frecvenței a multimetrului digital

Pentru a măsura frecvența cu multimetrul digital se apasă butonul „Hz” sau butonul „DUAL”

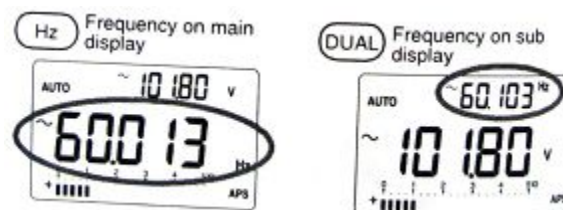


fig.5 Se alimentează multimetrul și frecvențmetrul etalon de la un generator de frecvență –

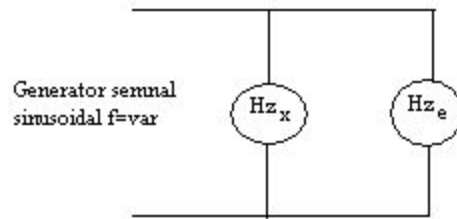


Fig. 5

Valorile determinate pe cale experimentală se trec în tabelul următor.

f_e	Hz	
f_X	Hz	
$f = f_X - f_e$	Hz	
$\varepsilon = \frac{\Delta f}{f_e} \cdot 100\%$	%	
admisibil	%	

Se compară erorarea relativă cu cea tolerată admisibil, corespunzătoare valorilor din tabelul de mai jos.comparându-se cu cele tolerate

Interval maxim de măsurare	Eroare relativă maximă tolerată admisibil
99,999 Hz	$\pm 0.02\%$ din citire ± 3 dgt. Pentru intervalul 0...600 kHz
999,99 Hz	
9,9999 kHz	
99,999 kHz	
999,99 kHz	

Anexa

Definirea erorilor

Eroarea limită de măsurare (X_l) prezintă două componente:

$$X_l = X_i + X_v$$

X_i - eroarea intrinsecă (determinată în condiții de referință indicate de norme) ;

X_v - eroarea suplimentară datorată mărimilor de influență.

Estimarea erorii limită de măsurare se realizează cu ajutorul clasei de exactitate - reprezentând mulțimea mijloacelor de măsurare a căror exactitate, calculată prin intermediul indicelui de clasă c , este aceeași. Valorile standardizate ale indicelui de clasă sunt:

$c = 0,0005; 0,001; 0,002; 0,005; 0,01; 0,02; 0,05; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 1,5; 2,5; 5.$

Surse de erori

Erorile instrumentale se pot datora atât construcției aparatului de măsurare cât și factorilor externi ce influențează indicația acestuia. Sursele de erori ce se iau în considerație sunt:

- frecările în lagăre ale echipajului mobil mobil și deformațiile remanente ale resorturilor spirale în cazul unui aparat de măsurare analogic, ceea ce presupune necesitatea de a efectua verificarea aparatului atât în sens crescător, cât și în sens descrescător al deviației acului indicator
- influența frecvenței mărimii de măsurat asupra aparatului de verificat - deci se va verifica aparatul de măsură în întregul domeniu de frecvențe utilizat (sau cel dat de firma constructoare)
- prezența câmpurilor magnetice exterioare (cel terestru sau cel creat de conductoare electrice parcurse de curent) și influența acestora asupra aparatelor ce au un câmp magnetic propriu destul de redus - impunându-se verificarea aparatului pe mai multe direcții relativ la

câmpul magnetic exterior sau inversând polaritatea la cele cu scară pătratică care nu au polaritate impusă.

- influența temperaturii impune verificarea compensării termice a aparatului în gama de dată de constructor ca interval de utilizare.

- modificarea factorului de formă - ceea ce va impune verificarea aparatului în regim nesinusoidal (la un factor de distorsiuni $D < 5\%$, sau $D < 1\%$ în cazul aparatelor de măsură cu redresori).

PRECAUTII IN MĂSURAREA MĂRIMILOR ELECTRICE

1.Chestiuni de studiat

1.1. Conectarea în circuit a aparatelor de măsurare

1.1.1. Impedanța internă și eroarea de retroacțiune

1.1.2. Consumul propriu al aparatului.

1.2. Alegerea intervalului optim de măsurare. Eroarea instrumentală

1.3. Influența frecvenței semnalului asupra indicației aparatelor

de măsurat

1.4. Influența formei de undă a semnalului asupra indicației aparatelor de măsurare

2.Mod de experimentare

2.1. Măsurarea directă a tensiunii și curentului electric se realizează cu aparate ce indică direct valoarea mărimii respective:

- **ampermetre** - pentru măsurarea intensității curentului electric. Conectarea se face în serie în circuitul prin care circulă curentul electric a cărui intensitate se măsoară (fig.1a).

- **voltmetre** - pentru măsurarea tensiunii electrice. Conectarea se face în paralel cu elementul la bornele căruia se dorește măsurarea tensiunii electrice (fig.1b)

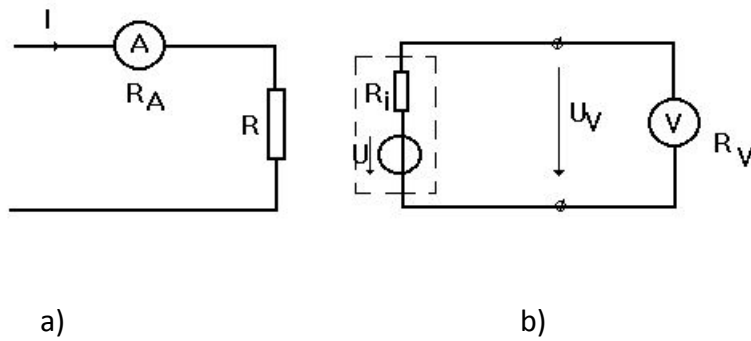


Fig.1. Conectarea în circuit. a ampermetrului și a voltmetrului

2.1.1. Deoarece aparatele de măsurat au rezistență internă (ideal $R_A = 0$, $R_V \rightarrow \infty$), conectarea în circuit perturbă mărimea măsurată, apărând o eroare de măsurare numită eroare de retroacțiune.

La măsurarea intensității curentului electric eroarea de retroacțiune datorată introducerii în circuit a ampermetrului se determină cu relația:

$$\varepsilon(\%) = \frac{I_m - I}{I} 100 = -\frac{R_A}{R + R_A} 100$$

unde: I - curentul real, în lipsa ampermetrului ; I_m -curentul măsurat de ampermetru, după introducerea sa în circuit.

Pentru ca eroarea de retroacțiune să fie mai mică decât o anumită valoare maximă ε_{\max} este necesar ca rezistența internă R_A a ampermetrului să îndeplinească condiția:

$$|\varepsilon| \leq \varepsilon_{\max} \quad R_A \leq R \cdot \frac{\varepsilon_{\max}}{1 - \varepsilon_{\max}}$$

► Se va determina rezistența internă a ampermetrului încât la măsurarea curentului absorbit de un bec cu incandescență (P_n, U_n cunoscute) eroarea să fie mai mică ca 1%.

La măsurarea tensiunii electrice eroarea de retroacțiune este:

$$\varepsilon(\%) = \frac{U_V - U}{U} 100 = -\frac{R_i}{R_i + R_V} 100$$

Pentru o măsurare corectă, rezistența internă a voltmetrului trebuie să fie de cel puțin două ordine de mărime mai mare decât rezistența circuitului R_i (privită de la bornele între care se realizează măsurarea). Rezistența R_V depinde de tensiunea nominală U_n a intervalului de măsurare al voltmetrului, putând fi specificată și ca $r_V = R_V / U_n$ ($/V$). Condiția :

$$|\varepsilon| \leq \varepsilon_{\max} \quad \text{implică } R_V = R_i \cdot \frac{1 - \varepsilon_{\max}}{\varepsilon_{\max}}$$

2.1.2. Consumul propriu al aparatului se determină în funcție de rezistența internă a acestuia, fiind un indicator al afectării mărimii de măsurat.

► Se vor determina consumurile proprii ale ampermetrelor și voltmetrelor aflate pe platformă, făcând o comparație între aparatele construite pe principii diferite.

2.2. Alegerea intervalului optim al aparatului pentru o anumită măsurare este dictată de necesitatea unei exactități cât mai mari.

Eroarea instrumentală absolută maximă se determină, în cazul aparatelor analogice, cu relația:

$$(\Delta X)_{\max} = \pm \frac{c \cdot X_{\max}}{100}$$

unde: c - indicele clasei de exactitate a aparatului; X_{\max} - valoarea maximă a intervalului de măsurare.

Eroarea relativă de măsurare, definită ca:

$$\varepsilon(\%) = \frac{\Delta X}{X} 100 \quad \rightarrow \quad \varepsilon(\%) = \frac{c \cdot X_{\max}}{X}$$

Această relație indică faptul că măsurarea este afectată de o eroare mai mică numai dacă acul indicator al aparatului analogic este mai aproape de X_{\max}

Se vor calcula erorile instrumentale pentru un multimetru analogic, pe toate intervalele de măsurare.

Datele se trec în tabelul următor

Mărimea măsurată	X_{\max}	c	$(X)_{\max}$	X	
		-			%

► Se vor reprezenta grafic erorile relative ale acestui multimetru pentru toate domeniile de măsurare a tensiunii continue. Concluzii privind rolul comutatorului în menținerea unei exactități rezonabile la utilizarea aparatului.

La aparatele digitale eroarea instrumentală se determină, în general, cu o relație de forma:

$$\Delta X = \frac{b(\%)}{100} \cdot X_{\text{citit}} + \frac{a(\%)}{100} \cdot X_{\text{max}} + n$$

coeficienții a și b fiind indicați în cartea tehnică a aparatului, pentru fiecare mărime măsurată și pentru fiecare interval de măsurare iar n fiind un număr de digiți ai rangului cel mai puțin semnificativ al afișorului.

Se va examina cartea tehnică a unui multimetru digital și se vor calcula erorile conform datelor oferite de fabricant.

2.3. Aparatele electrice de măsurat, funcție de principiul de realizare, pot măsura cu rezultate în clasa de exactitate într-un anumit interval de frecvențe. Pe cadranul aparatului (la aparatele analogice) sau în cartea tehnică (la aparatele numerice) se inscripționează acest interval pe care-l garantează fabricantul și în care erorile se încadrează în clasa de exactitate.

Utilizarea unui anumit aparat de măsurat pentru obținerea valorii unei anumite mărimi trebuie să țină cont de frecvența semnalului respectiv și dacă această frecvență se încadrează în intervalul de frecvență al aparatului respectiv.

Se va studia comportarea unor aparate de măsurat la aplicarea unor semnale de frecvență variabilă, comparându-se rezultatele experimentale cu cele indicate de fabricant.

Schema montajului este prezentată în fig.2.

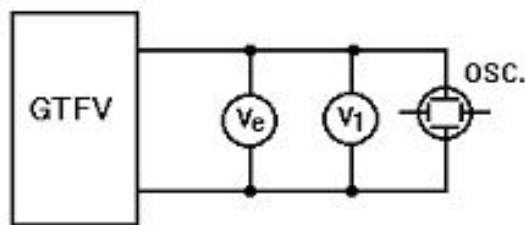


Fig.2. Determinarea intervalului de frecvență la diferite tipuri de voltmetre unde: GTFV - generator de tensiune sinusoidală cu frecvență variabilă, V_e - voltmetru etalon, V_1 - voltmetru supus probei, OSC - osciloscop catodic

Se va fixa de la generator o valoare a tensiunii de alimentare (cu ajutorul indicației voltmetrului etalon) și se va modifica frecvența acestui semnal la următoarele valori (orientativ): 20 Hz, 40 Hz, 45 Hz, 50 Hz, 55 Hz, 60 Hz, 100 Hz, 200 Hz, 300 Hz, 400 Hz, 500 Hz, 700 Hz, 1000 Hz, 2000 Hz, 3000 Hz, 4000 Hz, 5000 Hz, 7000 Hz, 10000 Hz, 15000 Hz, 20000 Hz. Forma semnalului, observabilă la osciloscop, trebuie să fie sinusoidală. Se vor nota, pentru toate aparatele, limitele maxime ale intervalelor de măsurare U_{max} și indicele clasei de exactitate c .

Se citesc indicațiile tuturor aparatelor conectate în circuit, valorile fiind trecute în tabelul de mai jos.

f	U_e	U_1	1
Hz	V	V	%

Se va calcula, pentru fiecare punct, eroarea raportată:

$$\varepsilon(\%) = \frac{U_1 - U_e}{U_{max1}} \cdot 100$$

Pentru fiecare aparat de măsurat se va trasa graficul erorilor relative funcție de frecvență.

Se vor trasa și erorile limită de măsurare (egale cu indicele clasei de exactitate - în %) și se va determina intervalul de frecvențe în care erorile relative determinate se încadrează în clasa de exactitate a aparatului.

Se va compara cu valoarea inscripționată pe cadranul fiecărui aparat.

2.4. În cazul măsurării unei mărimi nesinusoidale exactitatea aparatului de măsurare poate fi afectată, comportarea depinzând de principiul de funcționare al aparatului respectiv.

Parametrii ce caracterizează un semnal variabil periodic $x(t)$ sunt:

- valoarea efectivă $X = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) dt}$

- valoarea medie $X_{med} = \frac{1}{T} \int_0^T x(t) dt$

- valoarea maximă

$$X_{\max}$$

- valoarea medie pe o semiperioadă $X_{\text{med}_{T/2}} = \frac{1}{\frac{T}{2}} \int_0^{T/2} x(t) dt$

- factorul de formă

$$k_f = \frac{X}{X_{\text{med}_{T/2}}}$$

- factorul de vârf

$$k_v = \frac{X_{\max}}{X}$$

Aparatele electromecanice **analogice** indică, teoretic:

- valoarea medie -aparatele magnetoelectrice ;

- valoarea efectivă (numai in regim sinusoidal) - aparatele magnetoelectrice cu redresor ;

- valoarea efectivă - aparatele feromagnetice, electrodinamice și electrostatice.

Aparatele **numerice** pot indica, funcție de convertorul utilizat:

- valoarea efectivă (numai în regim sinusoidal);

- valoarea efectivă fără componenta de c.c.(RMS);

- valoarea efectivă a semnalului cu componentă continuă (True RMS).

Este necesară cartea tehnică a aparatului pentru cunoașterea specificațiilor indicate de fabricant.

Pentru studiul influenței formei de undă asupra indicației aparatelor electrice de măsurat se va utiliza montajul din fig.2 și aceleași aparate de măsurare. Se va alimenta cu o tensiune nesinusoidală (dreptunghi, triunghi) și se vor nota indicațiile voltmetrelor și valoarea maximă obținută cu ajutorul osciloscopului. Se vor compara rezultatele cu cele teoretice.

Datele se trec în tabelul următor.

Forma de undă	Tip voltmetru	Indicația voltmetrului	U_{\max} măsurat	U_{efectiv} calculat	U_{mediu} calculat	k_f	k_v
		V	V	V	V	-	-

LUCRAREA E 12

Laborator interactiv

Măsurarea puterii și energiei electrice

1. Chestiuni de studiat

Utilizarea laboratorului interactiv realizat cu platforma Lucas-Nulle pentru:

- 1.1 Măsurarea puterii electrice
- 1.2 Măsurarea energiei electrice

2. Mod de experimentare

Placa de experimente "Măsurarea puterii, $\cos\phi$ și frecvenței" - fig. 1 - conține trei zone cu circuite pentru experimentarea principiilor de măsurare a următoarelor mărimi:

- Puterile aparentă, activă și reactivă;
- $\cos\phi$ (factorul de putere);
- Frecvența.

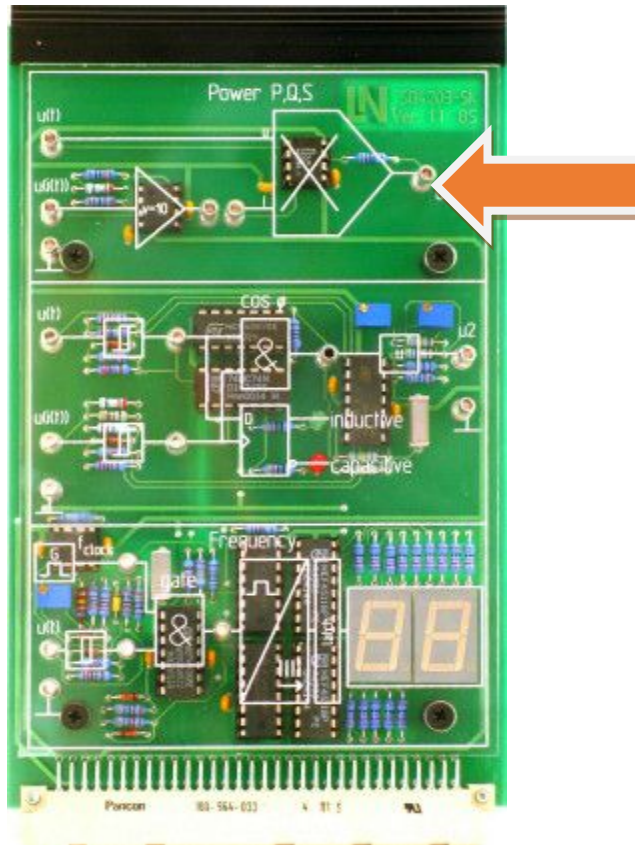


Fig. 1. Placa de experimentare

1.1.Măsurarea puterii electrice

1.1.1Placa de experimentare pentru putere

Intrări de tensiune:

- Tensiune măsurată 0... 10 V
- Tensiune maximă suportată 15V

Intrări de curent:

- Curent măsurat 0... 100 mA
- Curent maxim suportat 250 mA

Măsurarea puterii:

- leșire: $u_1 = u \cdot i \cdot k$; unde $k = 10$
- 0 ... 1 VA corespunzător 0 ... 10 V

Wattmetrul este aparatul de măsurare care măsoară direct valoarea puterii active dintr-un circuit electric. Principal, wattmetrele au două circuite: de tensiune și de curent. Valoarea deviației acului indicator este proporțională cu produsul dintre tensiune și intensitatea curentului electric. Wattmetrul electronic folosit este realizat pe baza unui multiplicator analogic ce face înmulțirea a două tensiuni: u din circuit și o tensiune obținută la trecerea curentului printr-un

rezistor de 10Ω . Afișarea tensiunii de ieșire u_1 se realizează pe voltmetrul magnetoelectric de $5V$, factorul de scară fiind $0,5W = 100\%$.

1.1.2 Măsurarea puterii în curent continuu

Se va realiza la platforma de experimentare schema din fig.2. Se măsoară puterea consumată de o lampă cu incandescență conectată la o tensiune continuă de $5V$.

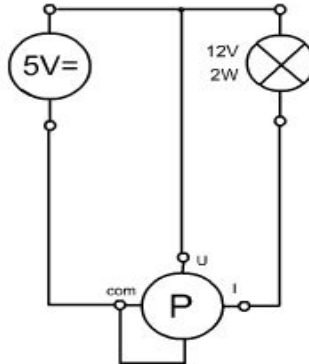


Fig. 2 Schema de conectare pentru măsurarea puterii electrice

Conexiunea la platforma de experimentare este prezentată în fig. 3



Fig.3. Măsurarea puterii electrice



Deschideți instrumentul virtual *Sursa de c.c.* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată și realizați setările indicate mai jos:

- Domeniu = 10 V
- Tensiune c.c.: 5.00 V
- POWER: ON

Citiți nivelul puterii (indicația în %) pe afișajul aparatului magnetoelectric. Determinați puterea pe baza pe baza procentului citit.

1.1.3. Măsurarea puterilor în curent alternativ

Se vor măsura puterile în circuite cu sarcini:

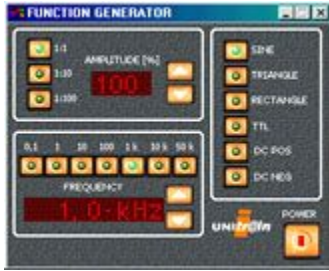
- rezistive $R = 100\Omega$
- capacitive $C = 4,7 \mu\text{F}$
- inductive: două bobine, fiecare cu $L = 100\text{mH}$

conectate la o tensiune alternativă monofazăată. Pe durata experimentului se va utiliza un wattmetru pentru măsurarea puterii active P și un aparat pentru măsurarea puterii aparente S .

Schema de conectare a platformei este prezentată în fig. 4.

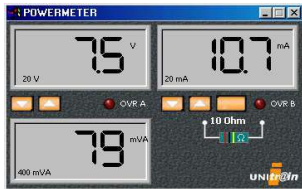


Fig.4 Schema de conectare a platformei.



Deschideți instrumentul virtual *Generator de funcții* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată și realizați setările indicate mai jos:

- Sinus
- Amplitudine: 1:1 și 90%
- Frecvență: 250 Hz
- POWER: ON



Deschideți instrumentul virtual *VA-metru* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată și realizați setările indicate mai jos:

- Domeniu de tensiune: 10 V
 - Domeniu de curent 100 mA
 - Șunt 10 Ω
- Acest aparat indică puterea aparentă S.

Realizați singuri modificările necesare în experiment pentru înlocuirea sarcinii rezistive $R = 100 \Omega$, cu sarcina capacitivă $C = 4,7 \mu\text{F}$ și apoi cu sarcina inductivă $L=200\text{mH}$. Sarcina inductivă se obține conectând, în serie cele două bobine de 100 mH fiecare.

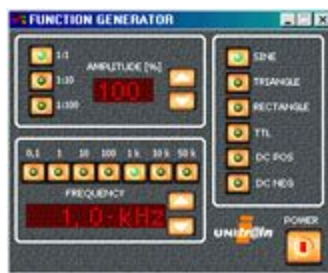
	P (W)	S (VA)	Q (VAr)
R			
L			
C			

2.2. Măsurarea energiei active

Determinarea energiei active este realizată prin intermediul unui contor electronic de energie electrică. Acesta este constituit dintr-un wattmetru și un circuit integrator.



Fig.5 Schema pentru măsurarea energiei electrice



Deschideți instrumentul virtual *Generator de funcții* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată și realizați setările indicate mai jos:

- Sinus
- Amplitudine: 1:1 și 50%
- Frecvență: 50 Hz
- POWER: ON



Deschideți instrumentul virtual *Contor de energie electrică A* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată

Descrieți ce se întâmplă cu indicațiile contorului în următoarele situații:

- Amplitudinea semnalului de la generator este zero
- Amplitudinea semnalului de la generator este 71%

1.Întrebări recapitulative și aplicații

- 1.1** Care este definiția puterii aparente S ?
- 1.2** De ce componenta reactivă a puterii nu există pentru un rezistor?
- 1.3** Ce măsoară contoarele mono și trifazate?
- 1.4** Care este definiția energiei electrice?
- 1.5** Contoarele uzuale mono sau trifazate indică consumul de energie electrică în kWh dar contorul nostru indică această valoare în Ws. Care este diferența?
- 1.6** Cum transformați kWh în Ws ?

LUCRAREA E 11

Laborator interactiv - Aparate analogice

1.Chestiuni de studiat

Utilizarea laboratorului interactiv realizat cu platforma Lucas-Nulle pentru:

- 1.1** Studiul aparatelor magnetoelectrice
- 1.2** Studiul aparatelor feromagnetice
- 1.3** Influența formei semnalului asupra indicației aparatelor analogic

2.Mod de experimentare

2.1Aparate magnetoelectrice

2.1.1. Instrumentul magnetoelectric

Instrumentul analogic de tip magnetoelectric cu bobină mobilă indică intensitatea curentului convertind valoarea acesteia într-o deplasare unghiulară proporțională în fața unei scări gradate - fig.1. Bobina mobilă (9) este solidară cu un ax și plasată în câmp magnetic creat de un magnet permanent și circuitul magnetic aferent (5 = pol sud, 6 = pol nord). Resoartele spirale (3, 4) servesc drept căi de curent pentru bobină și asigură și momentul mecanic de tip rezistent. La trecerea curentului prin bobină, de la bornele de intrare (1, 2), apare un cuplu de forțe asupra laturilor bobinei mobile aflate în câmp magnetic ce produce momentul cuplului activ proporțional cu valoarea intensității curentului. La egalitatea momentului activ cu cel rezistent deplasarea sistemului mobil atașat de ax și bobină se va opri și acul indicator (8) va indica valoarea curentului cu ajutorul scării gradate (7).

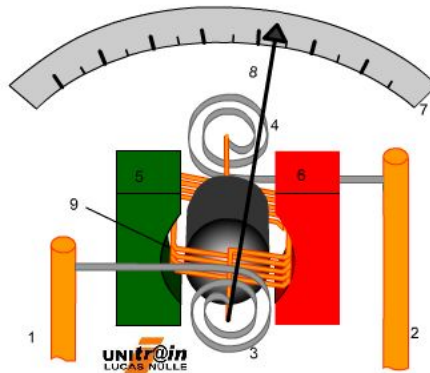


Fig.1 Principiul instrumentului magnetoelectric

Caracteristicile instrumentului analogic de tip magnetoelectric :

- scara liniară;
- prezintă polaritate; dacă se inversează sensul curentului prin bobină acul indicator deviază în sens contrar;
- funcționează numai în curent continuu;

În curent alternativ instrumentul magnetoelectric indică valoarea medie a curentului ce trece prin bobină. Pentru a măsura o mărime specifică curentului alternativ este necesar a obține, prin redresare, un semnal cu valoare medie nenulă –fig.2. Valoarea medie I_{med} este legată de valoarea efectivă a curentului I , dorită a se măsura, prin relația: $I_{med} = I/k_f$ unde k_f este factorul de formă ($k_f = 1,11$ în sinusoidal). Observație: instrumentul magnetoelectric cu redresor este calibrat doar pentru regim sinusoidal.

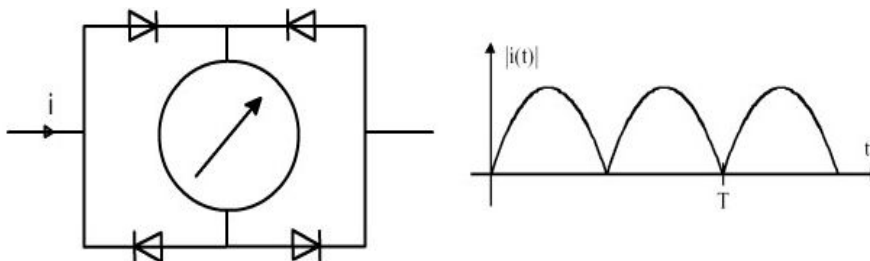


Fig. 2. Instrument magnetoelectric cu redresor

2.1.2. Experimentări cu platforma cuplată la calculator

2.1.2.1. Funcționarea în curent continuu

Se va realiza montajul din fig.3, conectând elementele platformei Lucas- Nulle: sursa de alimentare de curent continuu la bornele instrumentului magnetoelectric.



Fig.3 Mod de conectare elemente platformă

► Deschideți instrumentul virtual *Sursa de c.c.* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată și realizați setările indicate mai jos:

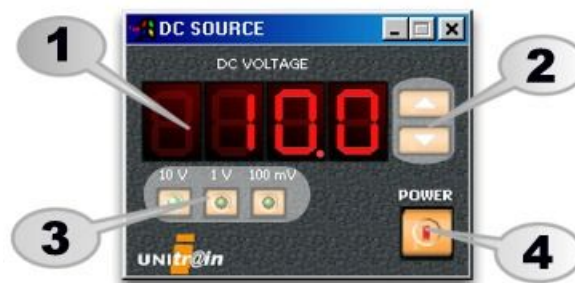


Fig. 4. Sursa de c.c. virtuală

► Se realizează setările indicate mai jos:

- Domeniu = 1 V din 3 și ajustabil din butonul 2
- POWER ON

► Se pornește cu tensiunea minimă și se crește corespunzător plasării acului indicator la reperele principale ale scării gradate. Datele se introduc în tabelul din "Experiment Galvanometru

magnetoelectric”. Se va construi diagrama deviația = f(U) și se va răspunde la întrebările din experimentul virtual.

► Se înlocuiește sursa de c.c cu instrumentul virtual *Generator de funcții* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată

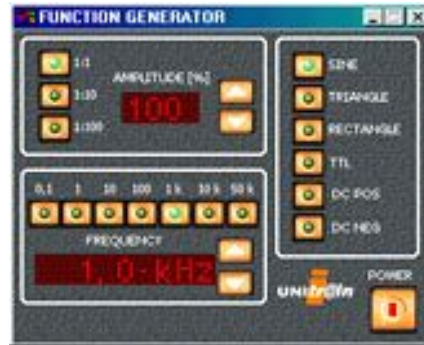


Fig. 5. Generator de funcții virtual

► Se realizează setările indicate mai jos:

- Domeniu = 1 : 10
- Amplitudine 25%
- Frecvență, domeniu 1: 1 Hz
- SINUS
- POWER ON

► Se crește lent frecvența până la 50Hz și se observă mișcările acului indicator. Se va răspunde la întrebările din experimentul virtual.

2.1.2.2. Realizarea ampermetrului magnetoelectric

Ampermetrele de acest tip se realizează conectând instrumentul magnetoelectric la bornele unui șunt (fig.6). Valoarea rezistenței șuntului pentru un instrument cu rezistența internă R_0 și curentul I_0 la capătul de scară se obține cu relația:

$$R_s = \frac{R_0}{n-1} \quad \text{cu} \quad n = \frac{I}{I_0}$$

Fig. 6. Realizarea ampermetrului magnetoelectric

Exemplu. Un instrument magnetoelectric cu deviația maximă la $I_0=400 \mu\text{A}$ și rezistența internă $R_0 = 1180 \Omega$ trebuie transformat în ampermetru de 0,5 A.

Se calculează: $n = 0,5/(400 \cdot 10^{-6}) = 1250$ $R_s = 1180/ (1250-1) = 0,945 \Omega$

Ampermetrele cu mai multe intervale de măsurare se realizează cu ajutorul unui șunt multiplu - fig.7.

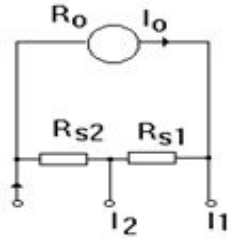


Fig.7. Ampermetru cu șunt multiplu

Exemplu: Un instrument magnetoelectric cu deviația maximă la $I_0=400 \mu\text{A}$ și rezistența internă $R_0= 1180 \Omega$ trebuie transformat în ampermetru cu intervalele de măsurare $I_1=50 \text{ mA}$ și $I_2= 500 \text{ mA}$.

Se utilizează relația de calcul pentru șunt: $R_s = \frac{R_0}{n-1}$ unde $n=I/I_0$. Rezultă ecuațiile din care se pot determina rezistențele R_{s1} și R_{s2} :

$$R_{s1} + R_{s2} = \frac{R_0}{n_1 - 1}$$

$$R_{s1} = \frac{R_0 + R_{s2}}{n_2 - 1}$$

$n_1 = I_1/I_0, n_2 = I_2/I_0$ iar $I_2 > I_1$.

2.1.2.3. Măsurarea intensității curentului

- Se realizează schema de conectare din fig.8.



Fig. 8. Schema de conectare la platformă pentru măsurarea curentului

► Se conectează ampermetrul cu șunt multiplu pe intervalul de măsurare maxim, ca în fig.8.
 ► Se alimentează cu tensiunea de 5 V. Consumatorul din circuit este reprezentat de două lămpi cu incandescență și rezistoare de 470Ω și 100Ω . Se măsoară curentul prin:

- Lampa 1
- Lampa 2
- Ambele lămpi în paralel
- Rezistorul 1
- Rezistorul 2

Se modifică conectarea la șuntul multiplu pentru a asigura intervalul de măsurare cel mai potrivit curentului prin sarcină, acul indicator trebuind să fie situat, pe cât posibil, în ultima treime a scării gradate.

► Se va răspunde la întrebările din experimentul virtual.

2.1.2.4. Realizarea voltmetrului magnetoelectric

Voltmetrele magneoelectrice se realizează din instrumentul magneoelectric căruia i se înseriază una sau mai multe rezistențe adiționale, pentru a obține unul sau mai multe intervale de măsurare - fig.9. Valoarea rezistenței adiționale R_a se calculează cu relația:

$$R_a = R_0(n - 1) \qquad n = \frac{U}{U_0} = \frac{U}{R_0 I_0}$$

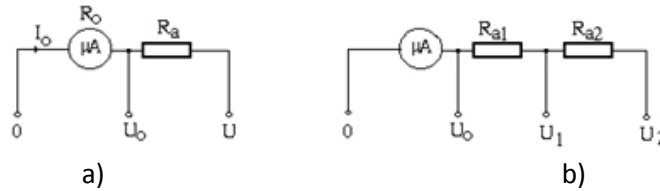


Fig.9. Realizarea voltmetrului magneoelectric:

a) cu un interval de măsurare;

b) cu intervale multiple.

Exemplu. Un instrument magneoelectric cu deviația maximă la $I_0=400 \mu A$ și rezistența internă $R_0 = 1180 \Omega$ trebuie transformat în voltmetru de 10V.

Se calculează: $n = 10 / (1180 \cdot 400 \cdot 10^{-6}) = 21,182$ $R_a = 1180 \cdot 21,182 = 25000 \Omega$

Exemplu. Un instrument magneoelectric cu deviația maximă la $I_0=400 \mu A$ și rezistența internă $R_0 = 1180 \Omega$ trebuie transformat în voltmetru cu intervalele de măsurare $U_1 = 1V$ și $U_2=10V$. Se calculează :

$$n_1 = 1 / (1180 \cdot 400 \cdot 10^{-6}) = 2,1182$$

$$R_{a1} = 1180 \cdot 2,1182 = 2500 \Omega$$

$$R_{a2} = (U_2 - U_1) / I_0 = (10-1) / (400 \cdot 10^{-6}) = 22500 \Omega$$

2.1.2.5. Măsurarea tensiunii electrice

Se realizează la platformă schema din fig.10. corespunzătoare unui voltmetru cu intervalul de măsurare de 10V.



Fig. 10. Schema de conectare la platformă pentru măsurarea tensiunii

► Deschideți instrumentul virtual *Sursa de c.c.* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată și realizați setările indicate mai jos:



► Se realizează setările indicate mai jos:

- Domeniu = 10 V din 3 și ajustabil din butonul 2
- Tensiune c.c. : 1,5V
- POWER ON

► Realizați diferite măsurători ale tensiunilor debitate de sursă, cu diferite intervale de măsurare ale voltmetrului (configurabile din rezistențele adiționale), notând rezultatele în fiecare situație. Eroarea relativă maximă se determină cu relația:

$$\varepsilon(\%) = c \frac{U_{max}}{U_{citit}} \quad c=2$$

2.2. Aparatul feromagnetic

2.2.1. Instrumentul feromagnetic

Instrumentul feromagnetic cu fier mobil indică valoarea intensității unui curent electric prin conversia acestuia într-o deplasare a unui ac indicator în fața unei scări gradate – fig.9. O piesă feromagnetică fixă (5) și una mobilă, solidară cu axul ce susține și acul indicator (8), sunt plasate în interiorul unei bobine (4). Când un curent electric parcurge bobina, ambele piese feromagnetice se magnetizează de aceeași polaritate și se resping, conducând la rotirea axului sistemului mobil. Deplasarea este însoțită de tensionarea arcului spiral (3) care produce momentul rezistent.

Caracteristici:

- Deviația instrumentului feromagnetic este direct proporțională cu pătratul intensității curentului măsurat.
- Scala aparatului nu este liniară ci are caracter pătratic
- Instrumentul feromagnetic se poate folosi în c.c. cât și în c.a.
- În curent alternativ indică valoarea efectivă

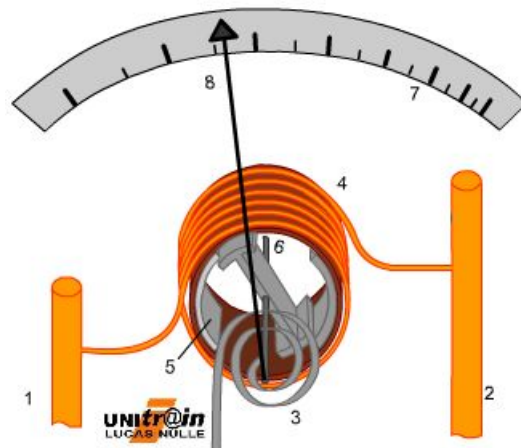


Fig.11. Instrument feromagnetic cu repulsie

2.2.2. Experimentări cu platforma cuplată la calculator

2.2.2.1. Măsurări în curent continuu și în curent alternativ

Se va conecta un aparat feromagnetic la o sursă de tensiune și se va observa deviația acului indicator pentru diferite valori ale tensiunii continue aplicate. Apoi se studiază proprietățile aparatului feromagnetic la măsurarea tensiunilor alternative sinusoidale.



Fig.12 Mod de conectare



Deschideți instrumentul virtual *Galvanometru feromagnetic* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată.

Aparatul virtual feromagnetic măsoară tensiunile între bornele A+ și A- ale intrării A.

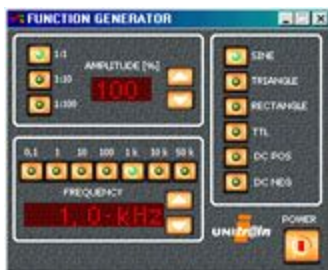


Deschideți instrumentul virtual *Sursa de c.c.* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată și realizați setările indicate mai jos:

- Domeniu = 1 V
- POWER ON
- Tensiune c.c: configurată conform instrucțiunilor de mai jos

Se crește tensiunea sursei de tensiune continuă până când acul ajunge la reperul dorit. Se notează în tabel reperul și valoarea tensiunii afișată de sursă.

Se va reprezenta grafic deviația = $f(U)$ și se vor indica concluzii legate de caracterul scării gradate.



Închideți Sursa de tensiune continuă.

Deschideți instrumentul virtual *Generator de funcții* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată și realizați setările indicate mai jos:

- Domeniu = 1 : 10
- Amplitudine 25%
- Frecvență, domeniu 1: 1 Hz

- SINUS
- POWER ON

Acum creșteți lent frecvența până la 50 Hz și observați mișcările acului indicator. Ce indică aparatul feromagnetic?

2.3. Influența formei semnalului

Se vor măsura tensiuni diferite între ele prin forma semnalului folosind atât instrumentul magnetoelectric cât și pe cel feromagnetic.

Schema de montaj este prezentată în fig. 13.

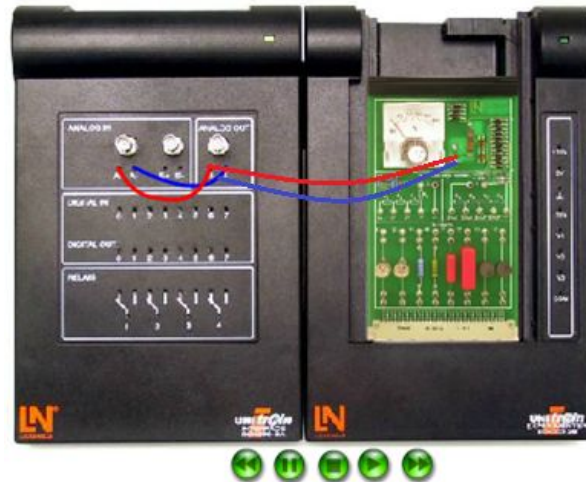


Fig.13. Schema de montaj pentru studiul influenței formei semnalului



Deschideți instrumentul virtual *Feromagnetic* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată.

Instrumentul feromagnetic virtual măsoară tensiunea la bornele de intrare A și deviația maximă a sa este echivalentă cu cea a instrumentului real magnetoelectric la 0,472 V.


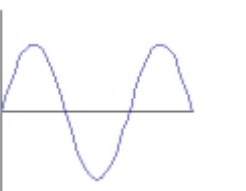
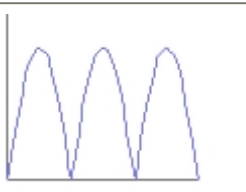



Deschideți instrumentul virtual *Generator de semnale arbitrare* din meniul *Instruments* sau dând click pe imaginea alăturată și realizați setările indicate mai jos:

- Amplitudine: 1:10, 77%
- Frecvență 50 Hz
- Power ON

Folosind acest generator de semnale se obțin diferite forme de semnal conform tabelului următor. Înainte de fiecare măsurătoare, apăsați butonul NEW afișat pe instrumentul virtual și introduceți un nume și formula corespunzătoare specificate în tabelul următor.

Citiți valorile de pe scările gradate ale celor două voltmetre, magnetoelectric și feromagnetic, pentru formele de undă specificate în tabel.

Formula		
	DC	0.707
	Sine	SIN(X)
	Full wave	ABS(SIN(X))
	Half wave	IN(0;PI)*SIN(X)



Platforma Lucas-Nulle

www.lucas-nulle.com