

Lucrarea nr. 2

STUDIUL SI VERIFICAREA UNUI MULTIMETRU NUMERIC

I. INTRODUCERE

Aparatele de măsurare de tip multimetru permit măsurarea mărimilor electrice cele mai uzuale: tensiune, curent, rezistență. Primele tipuri de multimetre au fost realizate pe baza microampermetrelor magnetoelectrice. Următoarea categorie de multimetre au reprezentat-o cele electronice, la care partea de bază este un voltmetru de cc cu impedanță mare de intrare, datorită utilizării amplificatoarelor electronice, instrumentul de măsurare fiind, de regulă, tot magnetoelectric. Multimetrele numerice reprezintă o categorie de aparate de măsurare perfecționate, de precizie mare, la care mărimea electrică de măsurat se convertește într-un număr, pe baza unui convertor analog-digital, eliminând eroarea instrumentului electromecanic de ieșire. Proprietățile care disting multimetrele numerice de celelalte tipuri sunt: posibilitatea de funcționare automată, rapiditatea măsurării, programabilitatea și compatibilitatea cu sistemele de măsurare. Partea de bază a multimetrelor, figura 1, numerice o reprezintă un voltmetru de cc, de regulă de 0,1V sau 1V, ce permite măsurarea tensiunii până la 1000 V c.c datorită divizorului de intrare. Celelalte mărimi electrice pe care trebuie să le măsoare sunt convertite, prin convertoare adecvate, la tensiune în gama voltmetrului de bază.

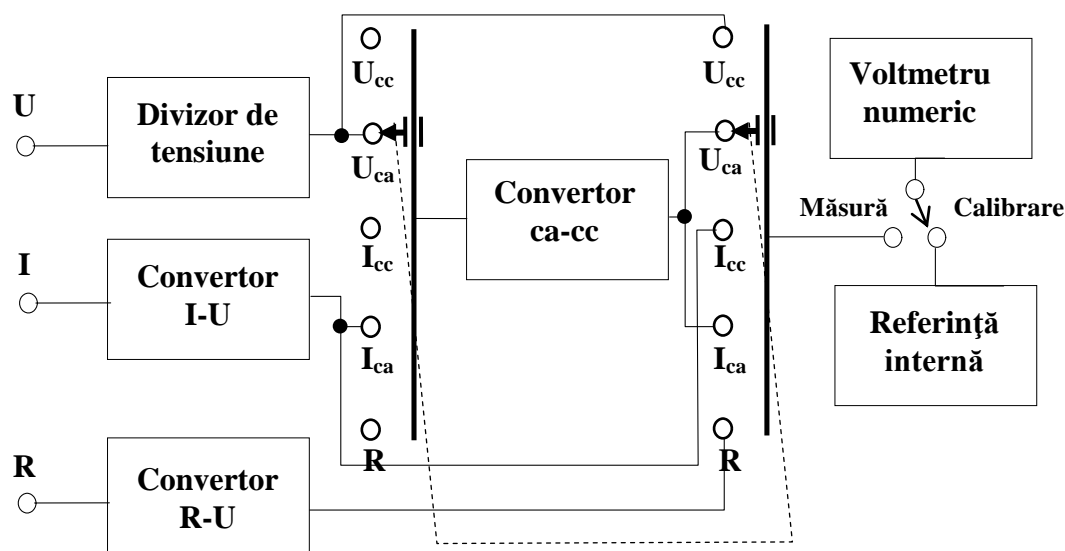


Figura 1

II. VOLTMETRUL DE BAZĂ AL MULTIMETRELOR NUMERICE

Partea cea mai importantă a unui voltmetru numeric, care determină în mare măsură proprietățile sale, este convertorul analog-numeric. Există o mare varietate de tipuri de astfel de convertoare ce pot fi împărțite în două mari categorii: neintegratoare și integratoare, împărțire ce se păstrează și pentru voltmetre.

Voltmetrele numerice neintegratoare, realizate pe baza convertoarelor A/D neintegratoare, eșantionează tensiunea necunoscută și îi măsoară valoarea instantanee, permițând obținerea unei viteze de măsurare mare. Când tensiunea de măsurat este afectată de perturbații este necesară filtrarea acesteia, ceea ce reduce considerabil viteza de măsurare a voltmetrului. Principalele tipuri de voltmetre numerice neintegratoare sunt cele cu aproximații succesive, cu rampă liniară și cu rampă în trepte.

Voltmetre numerice integratoare, realizate pe baza convertoarelor A/D integratoare, măsoară valoarea medie a tensiunii necunoscute prin integrarea acesteia pe un interval de timp determinat. Durata unei măsurări nu poate fi mai mică decât durata integrării și care este dictată de perioada semnalului perturbator (cel mai frecvent fiind de frecvența rețelei de 50 Hz). Aceste voltmetre nu depășesc cadența de 10 măsurări/secundă, în schimb prezintă o bună imunitate la tensiunile perturbatoare suprapuse peste cea măsurată, ceea ce le face să fie și cele mai răspândite. Principalele tipuri de voltmetre numerice integratoare sunt: cu conversie tensiune-frecvență, cu simplă integrare și cu dublă integrare.

Este de remarcat faptul că voltmetrele numerice folosesc o conversie intermediară tensiune-timp sau tensiune-frecvență, datorită ușurinței cu care se poate măsura numeric durata și frecvența (excepție fac voltmetrele cu aproximații succesive).

1. Voltmetrul numeric cu dublă integrare (dublă rampă)

Cele mai răspândite voltmetre numerice sunt cele care utilizează o variantă a conversiei intermediare tensiune - timp, efectuată în două etape. În figura 2 este prezentată schema bloc simplificată a unui voltmetru cu integrare dublă pantă, iar formele de undă asociate sunt prezentate în figura 3.

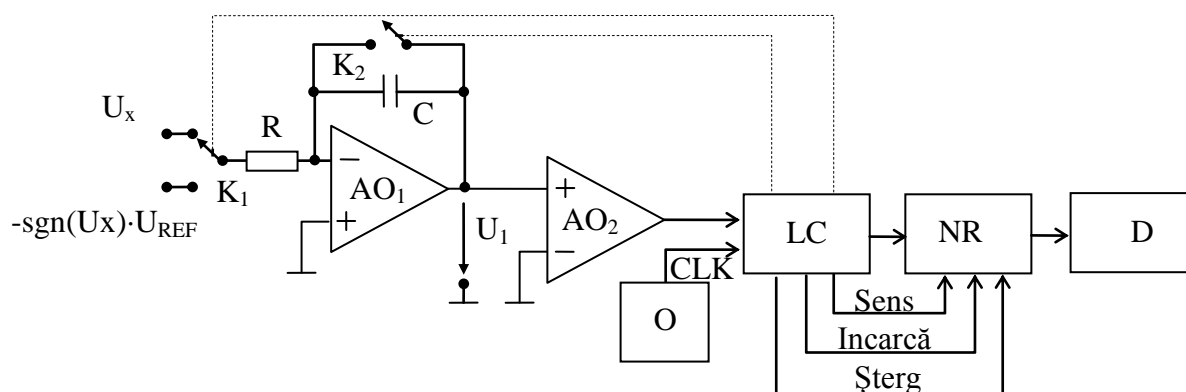


Figura 2

În prima etapă a măsurării, la intrarea convertorului se aplică tensiunea de măsurat U_x (K_1 în poziția 1), care este integrată un timp fix T_1 , iar tensiunea U_1 va fi

$$U_1 = -\frac{1}{RC} \int_0^t U_x dt = -U_x \cdot \frac{1}{RC} \quad (1)$$

La sfârșitul acestui interval de timp ($t=T_1$), valoarea sa va fi:

$$U_1(T_1) = -U_x \cdot \frac{T_1}{RC} \quad (2)$$

În etapa a doua (K_1 în poziția 2) la intrarea convertorului se aplică o tensiune cunoscută cu

precizie, $-sgn(U_x) \cdot U_{REF}$, de polaritate opusă tensiunii măsurate ce va determina scăderea valorii tensiunii U_1 cu pantă constantă, începând de la valoarea existentă pe condensator la finalul primei etape:

$$U_1 = U_1(T_1) - \frac{1}{RC} \int_{T_1}^{T_1+t} (-U_{REF}) dt = -U_x \cdot \frac{T_1}{RC} + U_{REF} \cdot \frac{t}{RC} \quad (3)$$

Descărcarea condensatorului integrator are loc până când $U_1 = 0$, pe o durată de timp T_2 . Din relația (3) se deduce:

$$U_1(T_2 + T_1) = 0 \Rightarrow U_x \cdot \frac{T_1}{RC} = U_{REF} \cdot \frac{T_2}{RC} \quad (4)$$

Durata de timp $T_1 = N_{max} \cdot T_0$ este dată de numărător, care se încarcă la capacitate maximă N_{max} și numără invers până la 0. În această etapă a doua, numărătorul va porni de la valoarea 0 și va număra impulsurile de tact T_0 pe durata T_2 . La sfârșit numărătorul va conține un număr N de impulsuri dat de relația $T_2 = N \cdot T_0$. Astfel relația (4) devine:

$$N = N_{max} \cdot \frac{U_x}{U_{REF}} \quad (5)$$

Din relația (4) se observă avantajele metodei de conversie prin dublă integrare: numărul N este proporțional cu tensiunea măsurată și factorul de proporționalitate nu depinde nici de perioada impulsurilor numărat T_0 , nici de elementele integratorului R și C , singura condiție rămânând ca acestea să fie stabile pe durata celor două etape.

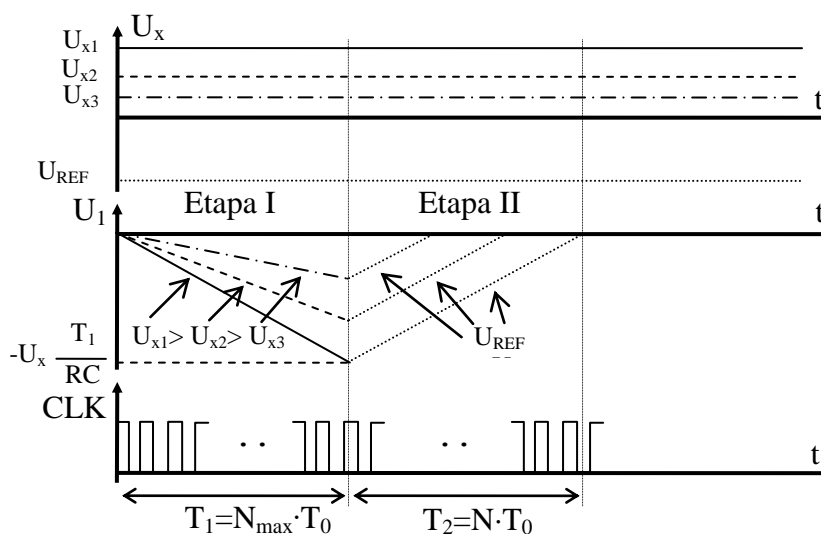


Figura 3

Se observă că în prima etapă panta tensiunii U_2 este variabilă funcție de tensiunea U_x , iar în etapa a 2-a panta este constantă, fiind dată de tensiunea de referință U_{REF} .

2. Erorile voltmetrului numeric cu dublă integrare

Din ecuația de funcționare (5) a voltmetrului numeric cu dublă integrare se deduce că erorile vor fi dictate de către referința de tensiune, U_{REF} , și numărător:

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \frac{\Delta U_{REF}}{U_{REF}} + \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta U_{REF}}{U_{REF}} + \frac{1}{N} \quad (6)$$

ceea ce permite obținerea unei clase de precizie de 0,01 pentru voltmetrele de laborator și 0,1 pentru cele de tablou și multimetre.

Timpul de măsurare T_I este ales multiplu al perioadei tensiunii de rețea (20 ms pentru 50Hz și 16.66 ms pentru 60Hz) ceea ce face ca efectul suprapunerii unei tensiuni alternative să fie mult atenuat, proprietate caracterizată prin raportul rejecției serie, $RRMS$, definit prin relația:

$$RRMS = 20 \cdot \lg \frac{\text{tensiunea alternativă perturbatoare}}{\text{tensiune continuă echivalentă}} [dB] \quad (7)$$

Acest raport este o funcție de frecvență.

Dacă peste tensiunea U_x este suprapusă o componentă alternativă perturbatoare de forma $U_m \cdot \sin(\omega_p t + \varphi)$ se va obține la sfârșitul etapei de măsurare o tensiune $U_1'(T_1)$ dată de relația:

$$U_1'(T_1) = -U_x \cdot \frac{T_1}{RC} + U_m \cdot \frac{\cos(\omega_p \cdot T_1 + \varphi) - \cos \varphi}{\omega_p RC} \quad (8)$$

Raportul rejecției serie va fi:

$$RRMS = 20 \cdot \lg \left| \frac{\omega_p T_1}{\cos \varphi - \cos(\omega_p \cdot T_1 + \varphi)} \right| \quad (9)$$

Acest raport este minim când $\varphi = \omega_p \cdot T_1 / 2 + (2k+1) \cdot \pi / 2$ și are valoarea:

$$RRMS = 20 \cdot \lg \left| \frac{\omega_p T_1 / 2}{\sin(\omega_p \cdot T_1 / 2)} \right| = -20 \cdot \lg \left| \text{sinc} \frac{\omega_p T_1}{2} \right| \quad (10)$$

Raportul rejecției serie este o funcție de frecvență (figura 4.a) și tinde la infinit când este îndeplinită condiția $T_I = m \cdot T_p$, unde $T_p = 1/f_p$ este perioada semnalului perturbator suprapus peste tensiunea continuă măsurată.

În afară de tensiunile perturbatoare serie, voltmetrele mai sunt afectate de tensiunile de mod comun, ce pot fi de cc sau ca. Proprietatea voltmetrelor de a fi afectate cât mai puțin de aceste tensiuni perturbatoare este apreciată prin raportul rejecției de mod comun:

$$RRMC = 20 \cdot \lg \frac{\text{tensiunea perturbatoare de mod comun}}{\text{tensiune continuă echivalentă}} [dB] \quad (11)$$

Pentru a avea proprietatea de rejecție a tensiunilor de mod comun voltmetrele se construiesc cu bornele de intrare flotante.

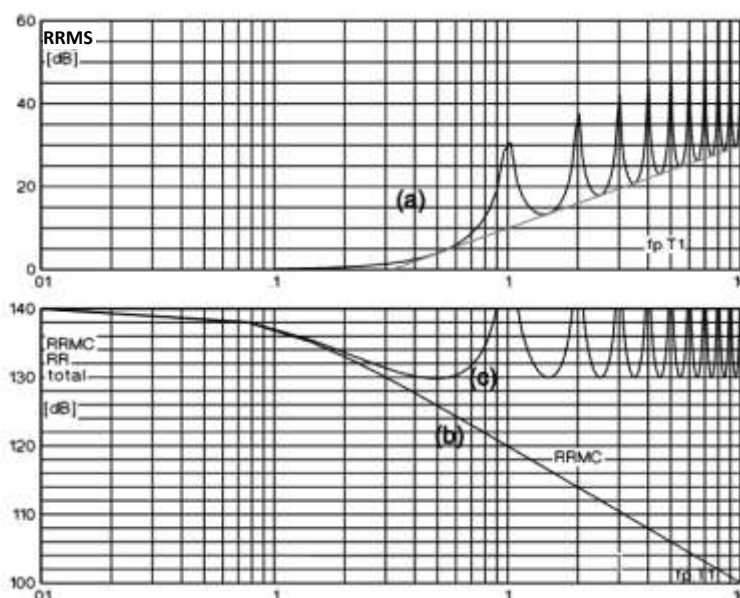


Figura 4

În figura 5 este reprezentat modul în care este obținută proprietatea de rejecție a semnalului de mod comun prin izolarea voltmetrului față de carcasa cu rol de ecran (intrare cu trei borne).

În această reprezentare r_1 și r_2 modelează rezistențele legăturilor de la sursa măsurată la intrările voltmetrului, iar Z_1 și Z_2 sunt date de rezistențele de izolație în paralel cu capacitățile parazite echivalente la intrările 1 și 2 (H și L). Tensiunea perturbatoare care apare între intrările 1 și 2 ale voltmetrului, în cazul în care există o tensiune de mod comun U_{mc} , este:

$$U_e = \left(\frac{r_2}{Z_2} - \frac{r_1}{Z_1} \right) \cdot U_{mc} \quad (12)$$

Deoarece $Z_1 \neq Z_2$ și $r_1 \neq r_2$, reducerea completă a acestei tensiuni este practic imposibilă. Reducerea se poate realiza prin micșorarea rezistențelor r_1 și r_2 , prin creșterea rezistențelor de izolație (R_{iz1} și R_{iz2}) și micșorarea capacităților parazite (C_1 și C_2) ale voltmetrului față de masă. Acestea sunt modelate prin impedanțele Z_1 și Z_2 .

Raportul rejecției de mod comun este dat separat în cc și în ca de relațiile:

$$RRMC_{cc} = -20 \cdot \lg \left(\left| \frac{r_2}{Z_2} - \frac{r_1}{Z_1} \right| \right) [dB] \quad (13)$$

$$RRMC_{ca} = -20 \cdot \lg(\omega_p \cdot |r_2 \cdot C_2 - r_1 \cdot C_1|) = -20 \cdot \lg(\omega_p \cdot r_2 \cdot C_2) [dB] \quad (14)$$

În figura 4.b) sunt reprezentate dependența RRMC și rejecția totală a voltmetrului cu dublă integrare cu frecvență, caracteristică obținută prin sumarea celor două componente ale rejecției.

III. VERIFICAREA PERFORMANTELOR UNUI MULTIMETRU NUMERIC

1. Performanțele unui multimetru numeric (DMM, Digital MultiMeter, eng.)

Multimetrul digital este un aparat de măsurare realizat pe baza unui voltmetru cu dublă integrare (Fluke 179) de 0,1 V, cu 3 5/6 cifre (6000 counts). Schema bloc a multimetrului este similară cu cea din figura 1. Principalele caracteristici ale unui multimetru digital pot fi descrise astfel:

a) În curent continuu: - la măsurarea tensiunii: rezoluție maximă 0,1 mV, tensiune nominală maximă 1000 V_{cc}, rezistența de intrare - >10 MΩ până la 1000 V; precizia $\pm 0,09\% \cdot citire \pm 2 \text{ counts}$; $RRMC_{cc} > 120 \text{ dB}$; $RRMC_{ca} > 60 \text{ dB}$ la 50Hz; $RRMS > 60 \text{ dB}$ la 50 Hz sau 60Hz; tensiunea maximă între borna L și masă: 1000 V.

- la măsurarea curentului: 10 μA rezoluția maximă, 10A curentul maxim, precizia $\pm 1\% \cdot citire \pm 3 \text{ counts}$.

b) În curent alternativ:

- la măsurarea tensiunii alternative (true RMS): banda de frecvență: 45 Hz-500 Hz; rezoluția maximă: 0,1 mV; tensiunea maximă: 1000V; impedanța de intrare: $>10 \text{ M}\Omega \parallel 100 \text{ pF}$; precizia $\pm 1\% \cdot citire \pm 3 \text{ counts}$ pe gamele de de 600mV la 600V și $\pm 2\% \cdot citire \pm 3 \text{ counts}$ pe 1000V.

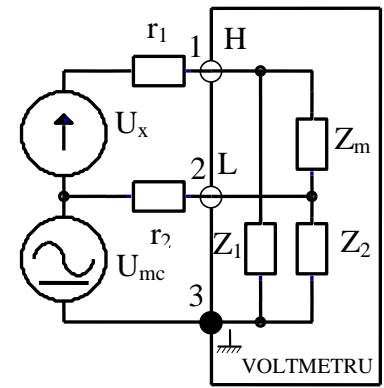


Figura 5

- la măsurarea curentului alternativ (true RMS): rezoluție maximă 10 μ A; curent maxim 10A; precizie $\pm 1,5\%$ *citire* ± 3 counts.

c) La măsurarea rezistențelor: - rezoluția maximă 0,1 Ω ; rezistența maximă 50 M Ω ; precizie $\pm 0,9\%$ *citire* ± 1 count cu excepția scărilor de 600 Ω ($\pm 0,9\%$ *citire* ± 2 counts) și 50 M Ω ($\pm 1,5\%$ *citire* ± 3 counts).

2. Verificarea clasei de precizie

În laborator se va verifica clasa de precizie a voltmetrului de bază al unui multimetru numeric pe sensibilitatea de 2 V. Verificarea se va face cu ajutorul unui compensator de curent continuu, tip *UCFs 1.05*, utilizat ca în figura 6. Ținând cont de schema compensatorului și de impedanța foarte mare pe care o prezintă voltmetrul, se poate considera că la apăsarea comutatoarelor (Fin) la bornele de intrare ale voltmetrului va apărea tensiunea U : $U_{HL} = U_G = U - U_{EXT} = U$, respectiv $0,1 \cdot U$, funcție de domeniul de lucru al compensatorului (x1 respectiv x0,1).

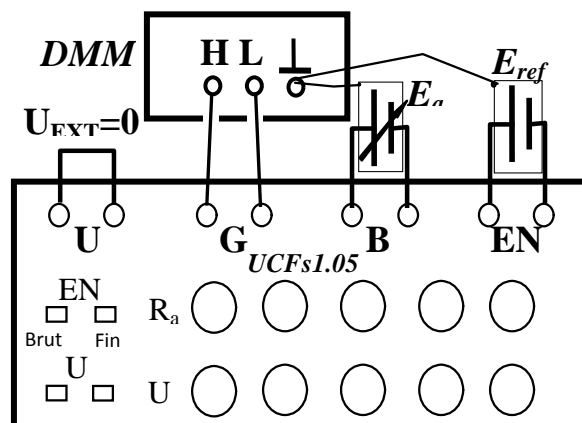


Figura 6

Verificarea voltmetrului numeric se va face în 20 de puncte ale intervalului de măsurare iar rezultatele și erorile (absolute, relative, raportate și admisibile) vor fi trecute într-un tabel adecvat (tabelul 1). Etalonarea compensatorului se va face cu ajutorul unui element normal Weston nesaturat (E_{ref}) având tensiunea de minim 1,018 V și clasa de precizie 0,01. Ca indicator de nul se va utiliza același voltmetru al multimetrului numeric (DMM) pe gama cea mai mică.

Tabelul 1

Nr. Crt.	U [V]	U_{VN} [V]	ΔU_{VN} [V]	$\Delta U_{VN}/U_{VN}$ [%]	$\Delta U_{VN}/U_{VNnom}$ [%]	$(\Delta U_{VN}/U_{VN})_{adm}$ [%]	$\Delta U/U$ [%]
1							
2							
..							

Eroarea la stabilirea tensiunii U , neglijând erorile de sensibilitate și ale etalonului de tensiune este dată de relația:

$$\frac{\Delta U}{U} = c \cdot \left(1 + 0,1 \cdot \frac{U_n}{U} \right) [\%] \quad (15)$$

unde U_n este tensiunea nominală a compensatorului (0,2 V pe x0,1 sau 2V pe x1), iar c este clasa de precizie a compensatorului indicată pe acesta.

3. Măsurarea raportului rejecției serie

Pentru a măsura raportul rejecției serie se realizează montajul din figura 7. Tensiunea de la intrarea multimetrului este constituită dintr-o tensiune continuă, E , sumată cu o tensiune alternativă având amplitudinea maximă egală cu valoarea tensiunii continue:

$$U_{HL} = E \cdot [1 + \sin(2\pi ft)] \quad (16)$$

Indicația multimetrului va fi dependentă de frecvența pe care o are semnalul alternativ serie, f . Se poate trasa astfel graficul $RRMS(f)$ alegând frecvențe la care perturbația are efect maxim și puncte la care perturbația are efect minim pentru f cuprins între 10 și 100Hz. Pentru a măsura $RRMS$ se procedează în modul următor:

- se măsoară tensiunea E în lipsa semnalului perturbator serie; se reglează compensatorul astfel încât să avem $E=1,000$ V, multimetrul fiind pe gama V–
- se conectează generatorul de semnal, se trece multimetrul pe poziția V~ și se reglează tensiunea generatorului, la frecvența de 100 Hz, până când indicația este $0,707 \cdot E$
- se trece multimetrul pe poziția V– și se reglează frecvența generatorului între 10 Hz și 100 Hz pentru a trasa prin puncte caracteristica $RRMS(f)$. Se vor lua și minim trei puncte de măsurare intermediare frecvențelor la care $RRMS$ are valori maxime.
- se calculează $RRMS$ din ecuația:

$$RRMS = 20 \cdot \lg \frac{E}{(U_{max} - U_{min})/2} [dB] \quad (17)$$

unde U_{max} și U_{min} sunt indicațiile maxime respectiv minime ale multimetrului

- se trasează graficul $RRMS(f)$ utilizând interpolarea pe baza caracteristicii teoretice (figura 4.a.).

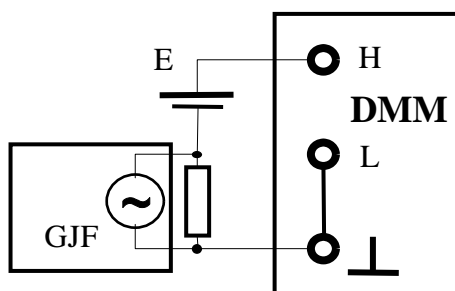


Figura 7

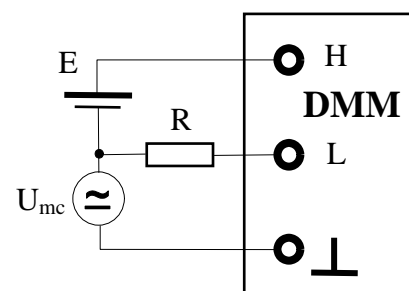


Figura 8

4. Măsurarea raportului rejecției de mod comun

Pentru determinarea $RRMC(f)$ sunt necesare două măsurări: în cc și la o frecvență dată (mai mare de 10 Hz). Măsurarea se va face numai pentru borna L deoarece reprezintă cazul cel mai defavorabil pentru acest parametru. Montajul de măsurare este dat în figura 8, unde tensiunea E este obținută de la compensator, iar tensiunea de mod comun, U_{mc} , este de maxim 400 V (pentru a nu depăși tensiunea admisibilă între L și masă) și este obținută de la un montaj adecvat. Pentru determinarea celor două puncte ale graficului $RRMC(f)$ se procedează în modul următor:

- se reglează tensiunea $E = 0,1000$ V la intrările $H - L$ ale multimetrului, funcționând pe poziția 0,2 V cc,

și se notează valoarea indicată U_1 ;

- se conectează tensiunea de mod comun $U_{mc} = 400 \text{ V}$ cc și se citește noua valoare indicată de multimetru U_2 după minim 10 s;

- se calculează tensiunea continuă echivalentă $U_e = U_1 - U_2$ și raportul rejecției de mod comun:

$$RRMC_{cc} = 20 \cdot \lg \frac{U_{mc}}{U_e} \text{ [dB]} \quad (18)$$

- se înlocuiește tensiunea continuă de mod comun cu o tensiune alternativă $U_{mc} = 280 \text{ V}$ ca (400 V_v) și se citesc indicațiile maximă, U_{max} , și minimă, U_{min} , ale multimetrului

- se calculează raportul rejecției de mod comun:

$$RRMC_{ca} = 20 \cdot \lg \frac{U_{mc}}{(U_{max} - U_{min})/2} \text{ [dB]} \quad (19)$$

- se trasează graficul $RRMC(f)$ ținând cont de cel teoretic, figura 4.b)

- se reprezintă grafic rejecția totală a multimetrului digital prin sumarea celor două componente ale rejecției și de reprezentarea din figura 4 c)

- se compară rezultatele obținute cu datele tehnice ale multimetrului.

IV. ÎNTREBĂRI DE AUTOVERIFICARE

Care este partea de bază a unui multimetru numeric? Ce măsoară de fapt această componentă?

Cum se realizează măsurarea curentului? Cum ați realiza fizic acest lucru (poziția comutatorului din figura 1)?

Cum se realizează măsurarea rezistenței? Cum ați realiza fizic acest lucru (poziția comutatorului din figura 1)?

Cum se pot măsura mărimile alternative? Cum ați realiza fizic acest lucru (poziția comutatorului din figura 1)?

Ce tip de convertor A/D este utilizat în multimetrele numerice?

Cum funcționează acest tip de convertor? Câte etape are procesul de măsurare?

Scrieți ecuațiile tensiunii U_I și a codului numeric de la ieșire.

Ce avantaje are de ce se utilizează în multimetrele numerice?

Care este eroarea de măsurare și care sunt factorii de influență?

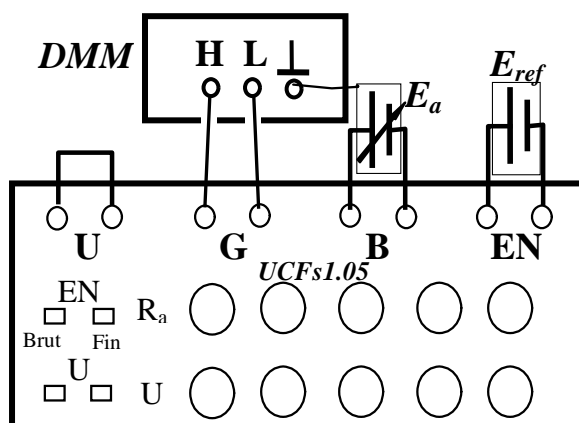
Cum se determină rejecția de mod serie? Care este răspunsul convertorului cu integrare dublă pantă cu frecvența semnalului perturbator serie?

Cum se determină rejecția de mod comun? Care este răspunsul convertorului cu integrare dublă pantă cu frecvența semnalului perturbator de mod comun?

V. MODUL DE LUCRU

1. Verificarea unui instrument de măsură se poate face fie prin comparație cu un aparat de 3-5 ori mai precis sau aplicând mărimea de măsură cu valori cunoscute cu acuratețe de 3-5 ori mai mare. În cazul de față verificarea se va face cu ajutorul unui compensator de curent continuu. Ținând cont de

schema compensatorului (vezi Anexa 1) și de impedanța foarte mare pe care o prezintă voltmetrul VN, dacă se face scurtcircuit la bornele +U-, la bornele DMM se va găsi tocmai tensiunea reglabilă U , care se obține pe baza curentului cunoscut cu precizie $I_a=0,10000\text{mA}$.



- Se realizează schema din fișa de lucru;
- Se ajustează o sursă de tensiune continuă la circa 4 V și se conectează la bornele B;
- Se ajustează valoarea rezistorului R_0 astfel încât să coincidă ultima cifră cu cea a tensiunii E_{ref} ;
- Se stabilește circuitul de calibrare (se apasă butonul EN) și se ajustează curentul auxiliar la 0,10000mA (până când VN indica valoarea 0);
- Se stabilește apoi circuitul de măsurare (se eliberează butonul EN și se apasă butonul U) și se aduce la zero rezistorul cu decade duble R (cel de jos care reglează tensiunea U). Se ajustează apoi din acesta, valorile tensiunii specificate în tabelul din fișa de lucru, între 0,1V și 2 V și se notează valorile de pe compensator în tabel;
- Se calculează valorile erorilor din coloanele ΔU_{VN} , $(\Delta U_{VN}/U_{VN}) \cdot 100$, $(\Delta U_{VN}/U_{VNnom}) \cdot 100$ – eroarea raportată, $(\Delta U_{VN}/U_{VN})_{adm} \cdot 100$ – eroarea admisibilă a multimetrului pe scara testată (din manualul multimetrului Fluke 179 și se află cele două componente b și c ale erorii acestuia) și $(\Delta U/U) \cdot 100$ – eroarea admisibilă a compensatorului

$$\left(\frac{\Delta U_{VN}}{U_{VN}}\right)_{adm} = \frac{b}{100} \cdot \frac{U_{VN} + c \cdot U_{LSB}}{U_{VN}} \cdot 100 = b + c \cdot \frac{U_{LSB}}{U_{VN}} \cdot 100 [\%]; \quad \frac{\Delta U}{U} = c \cdot \left(1 + k \cdot \frac{U_n}{U}\right) [\%]$$

- Se compară eroarea $\Delta U/U$ de generare a tensiunii etalon cu eroarea admisibilă $(\Delta U_{VN}/U_{VN})_{adm}$ a multimetrului pentru fiecare punct de determinare și se notează la concluzii dacă sunt îndeplinite

condițiile de valabilitate a măsurărilor ($\Delta U/U$ de 3-5 ori mai precisă);

- Se compară eroarea de măsurare experimentală ($\Delta U_{VN}/U_{VN}$) cu cea admisibilă ($\Delta U_{VN}/U_{VN}$)_{adm} și se notează la concluzii dacă aparatul se încadrează în limitele clasei de precizie dată de producător.

2. Se determină rejecția de mod serie a voltmetrului numeric. Se realizează schema din figura prezentată în fișa de lucru (multimetrul M9803R și generatorul de semnal G5100);

- Se ajustează amplitudinea tensiunii alternative generate de generatorul GJF la 0V;

- Se trece multimetrul numeric pe funcția V_{DC} (V-) și se ajustează tensiunea de offset a generatorului la 1V (indicația multimetrului);

- Se trece multimetrul pe funcția V_{AC} (V~) și se ajustează frecvența semnalului generat la 50Hz și apoi amplitudinea tensiunii alternative la $2V_{vv}$, adică o indicație 0,707V pe multimetru;

- În acest moment la intrarea multimetrului este aplicată o tensiune continuă $E = 1V$ peste care se suprapune o tensiune perturbatoare alternativă cu amplitudinea $U_v = 1V$. În funcție de frecvența semnalului perturbator, prin integrare se elimină total sau parțial această tensiune perturbatoare, lucru care se observă prin diferența dintre valorile maximă și minimă indicată de multimetru;

- Se variază frecvența semnalului generat de la 10Hz la 100Hz din 5Hz în 5 Hz și se notează valorile minimă și maximă indicate de multimetru;

- Se calculează $RRMS$ și $RRMS_{[dB]}$ cu formula:

$$RRMS_{[dB]} = 20 \cdot \lg RRMS = 20 \cdot \lg \frac{E}{(U_{max} - U_{min})/2} [dB];$$

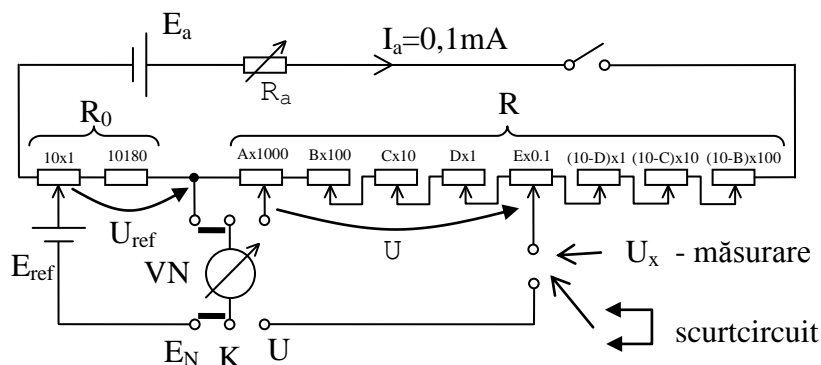
- Se reprezintă pe grafic valorile obținute în dB fără a se uni punctele;

- Se notează la concluzii modul de evoluție acestor valori și se explică cărui motiv se datorează această comportare.

Anexa 1

Compensatorul Feussner

Compensatorul Feussner, denumit și compensatorul cu decade duble, este derivat din compensatorul Poggendorf de care se deosebește prin utilizarea rezistorului R_0 de valoare constantă (obișnuit 10,180 k Ω), iar rezistorul R fiind realizat din decade duble conectate astfel încât rezistența circuitului pentru curentul auxiliar să fie constantă, iar căderea de tensiune pentru compensarea celei necunoscute să fie reglabilă decadic cu o rezoluție cuprinsă între 4 și 7 cifre.



În figura de mai sus se remarcă existența mai multor reglaje, unele pentru adaptarea compensatorului la valoarea etalonului de tensiune (R_0) și altele pentru ajustarea tensiunii U pentru compensare (R). Principiul de funcționare este simplu și se folosește de căderea de tensiune (U) creată de curentul I_a pe o rezistență de precizie reglabilă (R), care se reglează până U devine egală cu tensiunea sursei necunoscute U_x care se dorește a se măsura, acest lucru fiind detectat cu ajutorul unui voltmetru indicator de nul. Curentul I_a se obține prin reglarea rezistenței auxiliare R_a pe baza căderii de tensiune determinată de acesta pe rezistența R_0 , de asemenea de precizie și reglabilă în limite restrânse. Acest reglaj se realizează pe baza unui etalon fix de tensiune E_{ref} . Indiferent de pozițiile cursorilor, curentul I_a prin circuitul auxiliar (E_a , R_a , R_0 și R) nu se va modifica. Măsurarea unei tensiuni cu compensatorul presupune 2 etape:

a) etapa de ajustare a curentului I_a

- Se ajustează ultima cifră a rezistorului R_0 astfel încât aceasta să corespundă cu ultima cifră a etalonului de tensiune utilizat (etalon Weston);
- Se stabilesc conexiunile pentru comutatorul dublu K pe poziția EN - circuitul de calibrare;
- Se reglează rezistorul R_a până când indicatorul de nul (VN) va indica o tensiune egală cu 0 (0,000 V pe scara cea mai mică). În acest moment curentul prin circuitul auxiliar va fi $I_a = 0,10000 \text{ mA} = E_{ref}/R_0 = 1,018 \text{ V}/10180 \text{ }\Omega$ (deci $U_{ref} = E_{ref}$);

b) etapa de măsurare

- se stabilește apoi circuitul de măsurare (se stabilesc conexiunile pentru butonul K pe poziția U) și se aduce la zero rezistorul cu decade duble R .
- Se ajustează apoi din acesta, valoarea căderii de tensiune U pe jumătate din rezistorul R până

indicatorul de nul indică valoarea 0,000 V. În aceste condiții $U_x=U$, valoare care se citește de pe decadele rezistorului R . Atunci când se ajustează R , rezistența sa rămâne constantă deoarece dacă jumătatea din dreapta crește cu o valoare, jumătatea din stânga scade cu aceeași valoare și invers (în acest fel se menține constant curentul I_a prin circuitul auxiliar).

Eroarea de măsurare a tensiunii cu acest dispozitiv este dată de relația:

$$\frac{\Delta U}{U} = c \cdot \left(1 + k \cdot \frac{U_n}{U} \right) [\%]$$

unde c este clasa de precizie a compensatorului ($c=0,05$), k este o constantă ($k=0,1$), U_n este tensiunea nominală a compensatorului (valoarea maximă pe care o poate genera $U_n=0.2V$ sau $2V$), iar U este tensiunea generată (respectiv cea măsurată, la final $U_x=U$). Expresia denotă o eroare exprimată sub formă de combinație de eroare relativă și raportată, eroarea absolută având 2 componente, una constantă și o alta dependentă de valoarea măsurată.

Faptul ca acest dispozitiv generează o tensiune reglabilă și precisă, conduce la ideea că dacă în locul sursei necunoscute U_x facem scurtcircuit, atunci tensiunea U se va găsi pe afișajul indicatorului de nul (VN). În aceste condiții compensatorul se poate utiliza pentru a verifica multimetrul numeric dacă eroarea cu care se generează tensiunea U este de cel puțin 3 ori mai mică decât eroarea admisibilă a voltmetrului numeric.