

2 STUDIUL MULTIMETRULUI NUMERIC

2.1 Generalități. Obiectul lucrării

2.1.1 Considerații generale

Multimetrul numeric este un aparat derivat dintr-un voltmetru numeric de tensiune continuă echipat cu accesorii specializate ce permit măsurarea și a tensiunilor alternative, curenților continui și alternativi și a rezistențelor. Aceste accesorii sunt: atenuatorul de tensiuni continue care extinde domeniul de măsură a voltmetrului numeric la valori mai mari de 10V, unde sunt limitate superior tensiunile de intrare a convertoarelor analog numerice; convertorul tensiune-curent, echipat cu șunturi de precizie, destinat pentru măsurarea curenților; convertorul alternativ-continuu, prevăzut tot la intrarea voltmetrului numeric, destinat pentru măsurarea tensiunilor alternative – cel mai folosit convertor alternativ – continuu este detectorul de valori medii și detectorul de valori absolute; convertorul rezistență – tensiune, prevăzut tot în circuitul de intrare și este destinat pentru măsurarea rezistențelor.

Alegerea modurilor de operare: măsurare tensiune c.c., măsurare rezistențe se face în majoritatea cazurilor prin intermediul unui comutator dispus pe panoul frontal al aparatului; dimensiunea (V, mA, Kohm etc.) se alege tot manual prin intermediul unui alt accesoriu al aparatului numit comutator de domenii (RANGE).

Schema bloc a unui multimetrului numeric este prezentată în figura 5.1 și conține următoarele blocuri:

A) Atenuatoarele de intrare folosesc la măsurarea tensiunilor continue și alternative pe scările mai mari de 2V. Există și o bornă separată pentru măsurarea tensiunilor mai mari decât 200 V și un atenuator separat.

B) Amplificatorul de intrare de c.c. este un amplificator transconductanță. El convertește tensiunea de măsurat într-un curent proporțional, asigurând totodată o impedanță mare de intrare a aparatului.

C) Convertorul cu dublă integrare – preia dintr-un redresor de curent curentul de la ieșirea amplificatorului de intrare și încarcă liniar condensatorul de integrare C. Descărcarea lui se face printr-un curent de referință. La descărcarea completă, ieșirea unui detector de zero reia starea de la începutul integrării, oprind numărarea impulsurilor de la generatorul de impulsuri. Două comutatoare statice, I1 și I2 fac posibilă încărcarea (prima rampă) și descărcarea (a doua rampă) a condensatorului de integrare. Încărcarea condensatorului se face pe o durată fixă de 20 ms determinată de totalizarea unui număr de 2000 de

impulsuri în numărător, iar durata descărcării este proporțională cu mărimea de intrare.

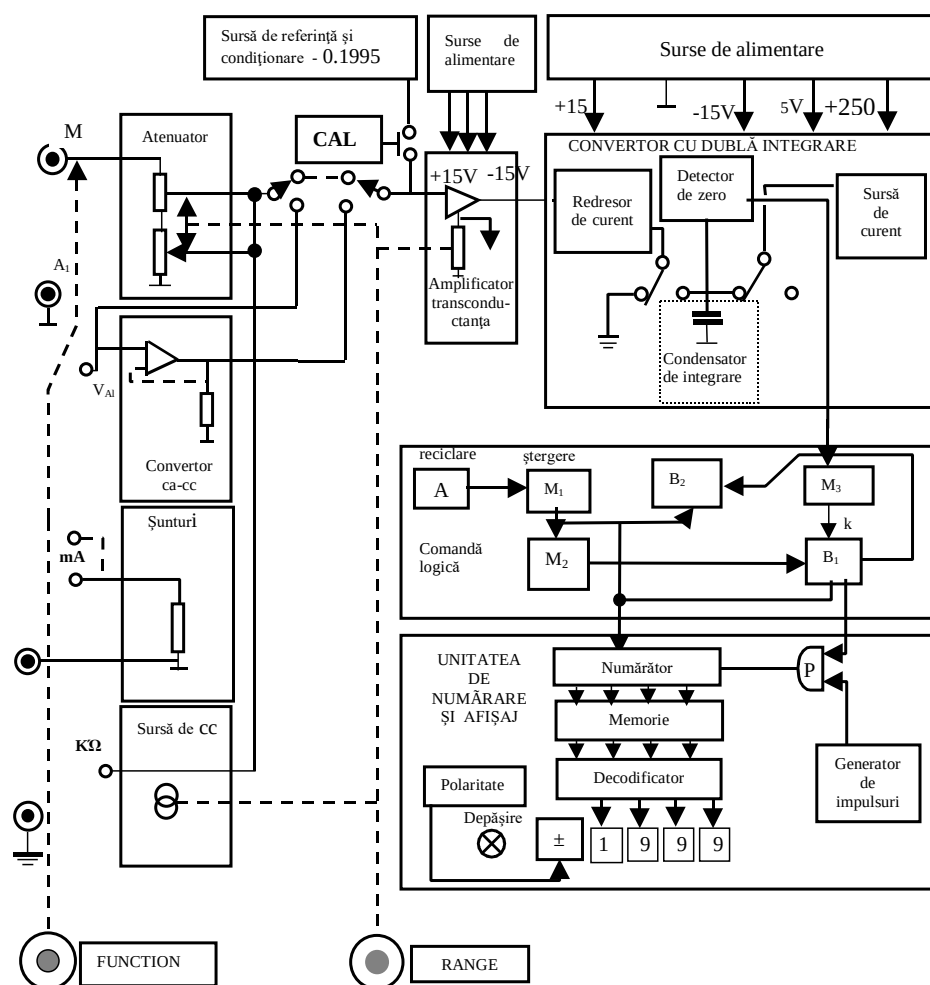


Fig. 2.1 Schema bloc a unui multimetru numeric

D) Blocul de comandă logică – este compus din: astabilul de reciclare A –(realizat prin interconectarea a două porți ȘI-NU) ce determină reluarea ciclului de măsurare la intervale de maxim 300 ms; monostabilul de aducere la zero, M1, comandat pe frontul negativ al astabilului, are o durată de aproximativ 40 μ s și asigură ștergerea registrului de numărare și starea inițială a circuitelor bistabile B1 și B2; monostabilul de întârziere M2 – comandat de frontul negativ posterior al impulsului monostabilului M1, are de asemenea o

durată de aproximativ 40 μ s - și are rolul de a da comanda START a următorului ciclu de măsurare; bistabilul B1 comandă poarta principală din blocul de numărare, care este deschisă de la începutul integrării până la comanda de închidere dată de detectorul de zero prin intermediul unui alt monostabil, M₃. Bistabilul B2 asigură schimbarea stării întrerupătoarelor I1 și I2, după intervalul de 20 ms, în care s-a integrat curentul proporțional cu tensiunea de intrare. Este comandat pe o intrare de frontul anterior al bistabilului B1, iar pe cealaltă de frontul negativ dat de numărător după numărarea impulsului 2000. Monostabilul M3 – comandat de frontul posterior al detectorului de zero la sfârșitul ciclului de integrare, determină revenirea bistabilului B1 și deci, închiderea porții P și asigură totodată transferul conținutului de numărare în memorie.

E) Unitatea de numărare și afișaj conține: numărătorul (care totalizează impulsurile de la generatorul de impulsuri ce trec prin poarta P numai în perioada de integrare a curentului de referință); memoria și decodificatorul transmit conținutul decadelor numărătorului afișajului; circuitul de detectare a polarității și circuitul de depășire format dintr-un circuit bistabil care primește comanda din partea numărătorului când acesta și-a umplut și decada cea mai semnificativă.

F) Sursa de referință pentru calibrare – furnizată de o diodă ZENER de referință, este de 0.1995 V.

G) Convertorul c.a. - c.c. transformă tensiunea alternativă aplicată la intrare sau tensiunea provenită din trecerea curentului alternativ de la intrare prin șunturi, într-o tensiune continuă ce se aplică amplificatorului de intrare.

H) Șunturile de curent sunt constituite dintr-un lanț de rezistențe de precizie, prin care trece curentul continuu sau alternativ aplicat la bornele de intrare "Hi sau 1A".

I) Generatorul de curent constant servește la convertirea rezistenței aplicate la intrare într-o tensiune.

J) Sursele de alimentare cuprind: o sursă de tensiune stabilizată +/-15V pentru alimentarea amplificatorului de intrare, sursele +/-15V, 5V pentru alimentarea celorlalte circuite și o sursă de 250V pentru alimentarea afișajului

2.1.2 Efectuarea măsurărilor

În funcție de mărimea de măsurat se trec comutatorul de funcții pe poziția corespunzătoare și cu ajutorul comutatorului de scări se alege scara de măsură adecvată în raport cu mărimea semnalului de măsurat. Dacă nu se cunoaște ordinul de mărime al mărimii de măsurat se începe

cu scara cea mai puțin sensibilă și se rotește comutatorul de scări spre scări mai sensibile.

Observație: - Valoarea “2000” se afișează astfel: “0000” și cu becul de depășire aprins, a nu se confunda cu situația “0000” și cu becul de depășire stins, care corespunde indicației zero.

Mărimile de măsurat se aplică între borna “Hi” (borna caldă) și borna “LO” (borna comună care se leagă la borna de masă prin cleva 13), dacă nu se fac măsurări flotante.

Borna “1000” V se folosește în locul bornei “Hi” pentru tensiuni continue și alternative mai mari de 220 c.c (respectiv 220V valoare efectivă).

Borna 1A se folosește în locul bornei “Hi” pentru curenți continui și alternativi mai mari de 220mA c.c. (respectiv 220mA ef.)

2.1.3 Precizia măsurării

- eroarea de citire $-e_{ct}$ – reprezintă eroarea relativă procentuală din valoarea citită;
- eroarea de capăt de scală $-e_{cs}$ – reprezintă eroarea relativă procentuală raportată la capătul de scală, ea include și eroarea de ± 1 bit al ultimei cifre semnificative (egală cu rezoluția pe domeniul respectiv) – eroare inerentă aparatelor cu afișare numerică.

Când se dispune de un aparat etalon, eroarea relativă este dată de relația:

$$e_r = \frac{V_m - V_e}{V_e} \cdot 100 = e_{ct} + e_{cs} \cdot \frac{V_{cs}}{V_e} \quad (2.1)$$

unde: V_m este valoarea indicată de multimetru; V_e este valoarea indicată de etalon; e_{ct} este eroarea procentuală de citire; V_{cs} este valoarea corespunzătoare capătului de scală;

OBSERVAȚIE : În lipsa unui aparat etalon, eroarea se calculează cu relația:

$$e_r = e_{ct} + e_{cs} \cdot \frac{V_{cs}}{V_m} \quad (2.2)$$

Datorită erorii din capăt de scală, eroarea relativă de măsurare este minimă pentru o mărime măsurată reprezentată de un număr maxim de biți și crește cu cât mărimea măsurată se micșorează față de capătul de scară.

Relația (2.1) nu ține seama de erorile provenite datorită suprapunerii zgomotelor peste semnalul util. Expresiile de definire a rapoartelor de rejecție sunt:

$$RRMC = 20 \cdot \lg \frac{U_p}{\Delta U_p} \quad (2.3)$$

unde:

- U_p este semnalul perturbator regăsit la intrarea aparatului;
- ΔU_p este fracțiunea din semnalul perturbator care se suprapune peste semnalul util regăsit la ieșire (ce nu a fost rejectat de aparat).

Raportul de rejecție este de mod comun (RRMC) sau de mod serie (RRMS) și se referă la perturbații de curent alternativ (de 50Hz sau mai mari de 50Hz) și la perturbații de c.c.

Dacă se cunoaște amplitudinea perturbației, U_p din (2.3), se determina componenta de eroare ΔU_p :

$$\Delta U_p = U_p \cdot 10^{-RRM / 20}$$

Și eroarea datorată componentei nerejectate este:

$$e_p = \frac{\Delta U_p}{V_e} = \frac{\Delta U_p}{V_m} \quad (2.4)$$

Deci, eroarea relativă totală este:

$$e_{rp} = e_r + \sum e_p \quad (2.5)$$

Unde $\sum e_p$ reprezintă suma erorilor datorită tuturor componentelor de zgomot (de c.a., c.c., de mod serie sau de mod comun etc.).

OBSERVAȚIE:

Încă nu există un mod unitar de apreciere a erorilor aparatelor de măsură numerice – aceasta în primul rând datorită multitudinii de soluții de

realizare cu componente discrete și a imposibilități de apreciere a componentei de eroare introdusă de schema electrotehnică.

De aceea se consideră că metoda de comparație cu un voltmetru etalon de determinare a erorilor unui voltmetru numeric este cea mai puțin afectată de erori și acceptată în metrologie.

O altă posibilitate de determinare a erorilor multimetrului este cea statistică. De exemplu, pentru funcția de ohmmetru, dacă se măsoară un set de rezistențe etalon, se poate aprecia eroarea maximă absolută pentru un nivel de încredere ales. Dar nici această metodă nu s-a generalizat, în primul rând datorită incertitudinii de etalonare a elementelor de comparație.

2.1.4 Chestiuni de studiat

- a) Se va studia funcționarea multimetrului după schema bloc prezentată în figura 2.1 și explicațiile aferente.
- b) Se vor stabili rezoluțiile multimetrului pentru fiecare gamă și pentru fiecare mod de operare.
- c) Se vor face măsurători de tensiuni, curenți în c.c. și c.a. până la 20kHz
- d) Se va determina eroarea relativă a multimetrului funcționând ca voltmetru prin metoda comparației cu:
 - Un calibrator de tensiune
 - Un voltmetru digital de precizie superioară și o sursă de tensiune variabilă necalibrată
- e) Se va determina curentul de intrare în voltmetru
- f) Se va determina rezistența internă a voltmetrului
- g) Se va determina eroarea raportată maximă a multimetrului pe post de ohmmetru

2.2 Schema de montaj. Aparatura folosită. Modul de experimentare

2.2.1 Aparatura necesară

- sursă de tensiune continuă variabilă
- sursă de tensiune alternativă variabilă sau autotransformator ATR-8
- element normal
- cutii decadică de rezistențe etalon
- generator de semnale sinusoidale 0 – 200 kHz cu tensiunea de ieșire 0 – 10V
- voltmetru numeric

- cabluri de legătura ecranate
- osciloscop

2.2.2 Rezoluția absolută

Rezoluția absolută pentru un domeniu se calculează multiplicând cu 10^{-1} unitatea din poziția cea mai semnificativă a gamei. De exemplu, pentru domeniul 0 – 0,2V rezoluția aparatului este.

$$1 \cdot 10^{-4} = 0,1 \text{mV}$$

Un alt mod de a calcula rezoluția este prin raportul dintre domeniul de măsurare (valoarea nominală) și numărul maxim de valori alea număratorului. În cazul multimetrului E302, tipul număratorului este de $3\frac{1}{2}$ cifre, valoarea maximă afișată fiind 1999, în total 2000 de valori (0-1999). Astfel rezoluția pe domeniul 0,2 V este:

$$\frac{U_n}{N} = \frac{0,2V}{2000} = \frac{200mV}{2000} = 0,1mV$$

2.2.3 Determinarea amplitudini, valorii medii și valorii efective

Se va determina Amplitudinea, valoare medie și valoarea efectivă pentru diferite semnale alternative. Se va studia și compara diferența între voltmetru de valori medii și voltmetru de valori efective (true RMS). Datele se completează în tabelul 2.1:

Tipul semnalului	Valoarea măsurată (voltmetru true RMS)	Valoarea măsurată (voltmetru valorii medii)	Amplitudinea indicată (osciloscop)	Coeficient de vârf k_v	Coeficient de formă k_f	Valoare medie calculată	Valoare efectivă calculată	Amplitudinea calculată
Sinusoidal								
Dreptunghiular								
Triunghiular								
Dinte de fierăstru								

- Voltmetru de valori medii:
 - Valoare efectivă : $A_{ef} = A_m \cdot k_f$, unde A_m este valoarea medie redresată, k_f este coeficientul de formă
 - Amplitudinea : $A = A_{ef} \cdot k_v$, k_v este coeficientul de vârf
- Voltmetru de valori efective (true RMS – achiziție în puncte):
 - Valoare efectivă : $A_{ef} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x[n]^2}$, unde $x[n]$ este valoare de tensiune măsurată în punctul n, N numărul de puncte achiziționate.

2.2.4 Determinarea bandei de frecvență

Se va conecta multimetrul la bornele generatorului de semnal și în paralel la osciloscop. Se vor măsura tensiuni de frecvențe: 10Hz, 100Hz, 500Hz, 10kHz, 20kHz, 200kHz. Se va verifica dacă nu apar erori grosolane .

Tabelul 2.2. Determinarea bandei de frecvență

Frecvență [Hz]	Valoare efectivă	Valoare măsurată	$\frac{V_{ef}}{V_m}$	$\frac{V_{ef}}{V_m}$ [dB]
10				
100				
500				
1000				
10000				
20000				
200000				

Se consideră banda de frecvență a voltemerului este frecvența la care tensiunea măsurată scade cu – 3dB (adică scade la valoarea 0.7 din valoarea indicată de osciloscop). Astfel dacă de exemplu tensiunea

inițială la frecvențe joase este de valoare efectivă 1V, indicată de voltmetru (vârf-la-vârf de 2.82 V, indicată de osciloscop) iar la frecvența 222 kHz ,tensiunea indicată de voltmetru va fi de 0.7 V, în timp ce osciloscopul indică în continuare 2.82 V, tragem concluzia că banda de frecvență a voltmetrului este de 222 kHz.

2.2.5 Funcționarea ca ohmetru

2.2.5.1 Determinarea curentului debitat de multimetru

La funcționarea ca ohmmetru sunt injectați curenți prin rezistențele R_x – cuplate la intrare. Măsurarea acestor curenți se face după schema din figura 2.2

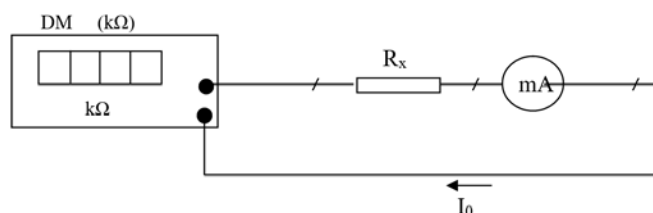


Fig. 2.2. Punerea în evidență a curentului debitat de generatorul de curent constant al multimetrului în cazul măsurării rezistențelor

Prin intermediul unei cutii decadice de rezistențe se selectează valori ale rezistenței R_x :10Ω, 100Ω, 1kΩ, 10kΩ, 100kΩ, 1MΩ. Se alege corespunzător domeniul de măsurare, pentru funcția de ohmmetru (KΩ). Cu miliampermetrul mA se citesc valorile curenților I_0 injectați. Se completează tabelul de mai jos:

Tabelul 2.3. Valorile curenților pentru diverse domenii de măsurare

R_x	10Ω	100Ω	1kΩ	10kΩ	0,1MΩ	1MΩ
I_0 [mA]						

2.2.5.2 Calculul erorilor de măsurare în modul de funcționare ca ohmetru

Se fac măsurări asupra a patru rezistențe etalon de valori: 1Ω, 1kΩ. Fiecare rezistență se măsoară de 30(20) ori. Se vor calcula parametrii statistici:

- Valoare medie $R_{med} = \frac{\sum R_k}{n}$
- Dispersia $\sigma^2 = \frac{\sum (R_k - R_{med})^2}{n-1} = \frac{\sum \Delta R_k^2}{n-1}$
- Abaterea individuală $\Delta R_k = R_k - R_{med}$
- Abaterea standard $\sigma = \sqrt{\sigma^2}$
- Abaterea medie $\sigma_{med} = \frac{\sigma}{n}$

Se va completa tabelul 2.3.

	n	R_k [Ω]	R_{med} [Ω]	ΔR_k [Ω]	σ [Ω]	σ_{med} [Ω]
1Ω	1..20					
1kΩ	1..20					

2.2.6 Vizualizarea caracteristicii de ieșire a convertorului analog numeric în dublă pantă

Convertorul analog numeric lucrează în două etape:

- În prima etapă, într-un timp constant, de durată T_1 , se integrează tensiunea U_x – în punctul B avem:

$$U_B = -U_x \cdot \frac{T_1}{RC} \quad (2.6)$$

Unde RC este constanta de integrare

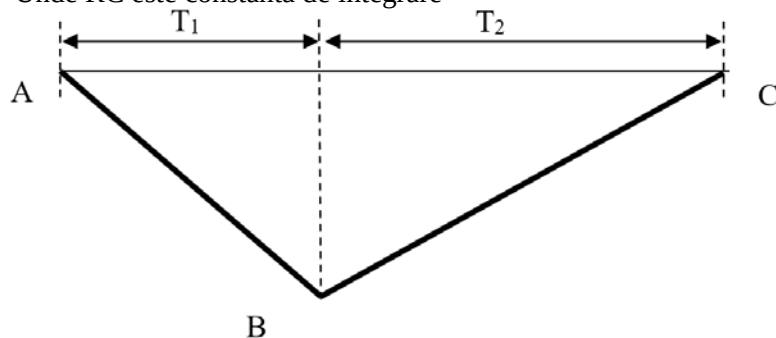


Fig. 2.3. Evoluția tensiunii pe condensatorul din circuitul de integrare

- În a doua etapă se integrează tensiunea constantă de valoare U . În punctul final, C , avem:

$$U_C = 0 = -U_x \cdot \frac{T_1}{RC} + U \cdot \frac{T_2}{RC} \quad (2.7)$$

Rezultă:

$$T_2 = U_x \cdot \frac{T_1}{U} \quad (2.8)$$

Sau

$$T_2 = U_x \cdot k_V \quad (2.9)$$

Unde

$$k_V = \frac{T_1}{U} \quad [ms \cdot V^{-1}] \quad (2.10)$$

Experimentare

- se vizualizează cu osciloscopul cu memorie semnalul integrat din figura 2.3.
- se lucrează cu osciloscopul în regim monodeclanșat, baza de timp pe poziția TRIG, cu sincronizare exterioară (se alege panta pozitivă "slope +").

OBSERVAȚIE: Este indicat să se aleagă coeficientul de blocaj $c_{x2} = 5ms/div$, iar coeficientul de deviație $c_y = 0,1 V/div$.

Semnalul de sincronizare și semnalul în dublă rampă se iau de pe panoul posterior al multimetrului numeric.

Atenție: Se vor lega bornele "1" și "Lo" pe panoul frontal.