

## Lucrarea nr. 11

### STUDIUL SI VERIFICAREA MULTIMETRULUI NUMERIC

#### 1. 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 (ex. MAVO 35). Următoarea categorie de multimetre au reprezentat-o cele electronice, la care partea de bază este un voltmetru de c.c. 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 c.c., de regulă de 0,1V sau 1V,

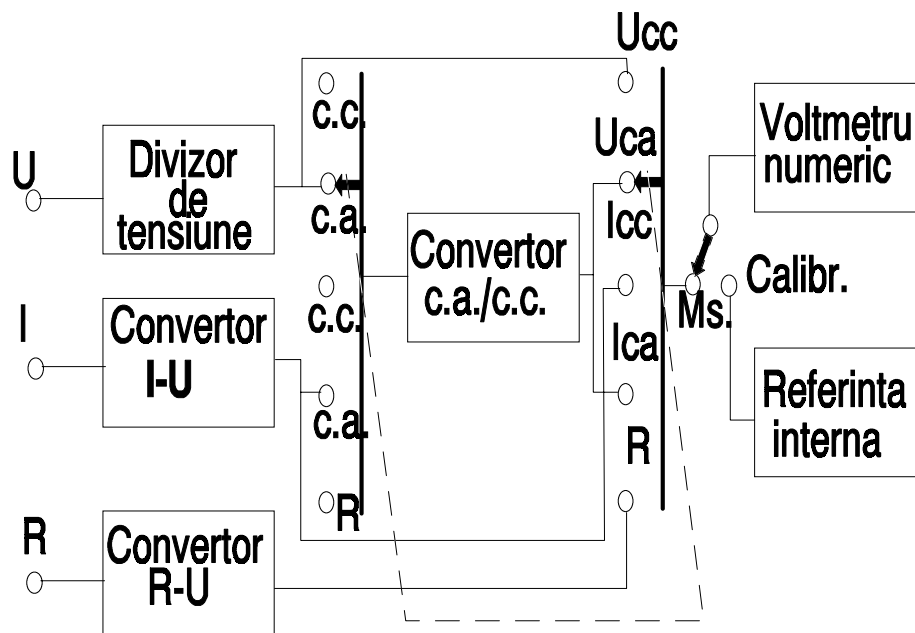


Figura 1

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.

## 2. VOLTMETRUL DE BAZA AL MULTIMETRELOR NUMERICE

Partea cea mai specifică a unui voltmetru numeric, care determină în mare 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.

**Voltmetre 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).

### 2.1. 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 fig. 2.a ) este dată schema bloc simplificată a unui voltmetru cu dublă integrare, reprezentată în fig. 2.b ).

În prima etapă a măsurării, la intrarea convertorului se aplică tensiunea de măsurat,  $U_x$ , (  $K$  în poziția 1 ) care este integrată un

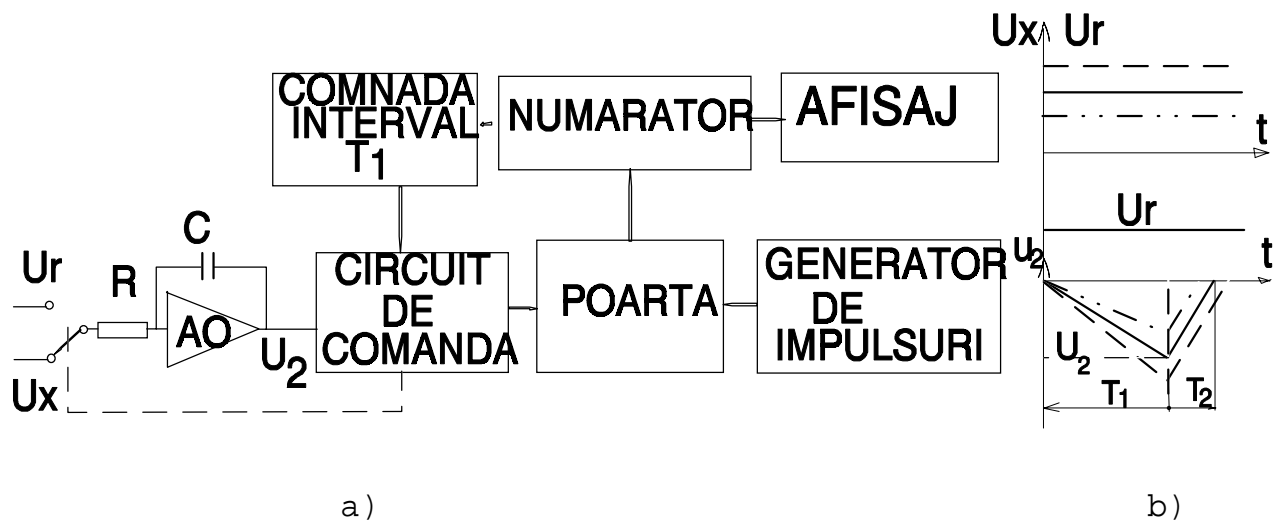


Figura 2

timp determinat,  $T_1$ , iar tensiunea  $U_2$  va fi, la sfârșitul acestui interval de timp, dată de relația:

$$U_2(T_1) = -U_x \cdot \frac{T_1}{R \cdot C} \quad (1)$$

În etapa a doua ( $K$  în poziția 2) la intrarea convertorului se aplică o tensiune cunoscută cu precizie,  $U_r$ , de polaritate opusă tensiunii măsurate ce va determina scăderea valorii tensiunii  $U_2$  cu pantă constantă:

$$u_2 = -U_x \cdot \frac{T_1}{R \cdot C} + U_r \cdot \frac{t}{R \cdot C} \quad (\mathbf{a}) ; \quad \frac{du_2}{dt} = \frac{U_r}{R \cdot C} = ct. \quad (\mathbf{b}) \quad (2)$$

Descărcarea condensatorului integrator are loc până când  $u_2 = 0$ , pe o durată de timp  $T_2$ . Din relația (2) se deduce:

$$U_x = U_r \cdot \frac{T_2}{T_1} \quad (3)$$

Durata de timp  $T_1$  este dată de numărător, care se încarcă la capacitate maximă,  $N_m$ , datorită impulsurilor, de perioadă  $T_2$  numărătorul va număra un număr  $N$  de impulsuri, deci  $T_2 = N \cdot T_0$ . Relația (3) devine:

$$U_x = U_r \cdot \frac{N}{N_m} \quad (4)$$

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

## 2.2. Erorile voltmetrului numeric cu dublă integrare

Din ecuația de funcționare (4) a voltmetrului numeric cu dublă integrare se deduce că erorile vor fi dictate de către referința de tensiune,  $U_r$ , și numărător:

$$\frac{\Delta U_x}{U_x} = \frac{\Delta U_r}{U_r} + \frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta U_r}{U_r} + \frac{1}{N} \quad (5)$$

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  $T_1$  este ales multiplu al perioadei tensiunii de rețea (20 ms) ceea ce facee ca efectul suprapunerii unei tensiuni alternative să fie mult atenuat, proprietate caracterizată prin raportul rejecției serie,  $R.R.S.$ , definit prin relația:

$$R.R.S. = 20 \cdot \lg \frac{\text{tensiunea alternativa perturbatoare}}{\text{tensiune continua echivalenta}} \quad [dB] \quad (6)$$

raport ce este o funcție de frecvență.

Dacă peste tensiune  $U_x$  este suprapusă o componentă alternativă de forma  $U_m \cdot \sin(\omega t + \varphi)$  se va obține la sfârșitul etapei de măsurare o tensiune  $U'_2$  dată de relația:

$$U'_2(T_1) = -U_x \cdot \frac{T_1}{R \cdot C} + U_m \cdot \frac{\cos(\omega \cdot T_1 + \varphi) - \cos \varphi}{\omega \cdot R \cdot C} \quad (7)$$

Raportul rejecției serie va fi:

$$R.R.S. = 20 \cdot \lg \frac{\omega T_1}{\cos \varphi - \cos(\omega \cdot T_1 + \varphi)} \quad (8)$$

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

$$R.R.S. = 20 \cdot \lg \frac{\omega \cdot T_1 / 2}{\sin(\omega \cdot T_1 / 2)} = -20 \cdot \lg \left( \text{sinc} \frac{\omega T_1}{2} \right) \quad (9)$$

Raportul rejecției serie este o funcție de frecvență (fig.3.a), și tinde la infinit când este îndeplinită condiția  $T_1 = m \cdot T$ , unde  $T = 1/f$  este perioada semnalului perturbator suprapus peste tensiunea continuă măsurată.

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

$$R.R.M.C. = 20 \cdot \lg \frac{\text{tensiune perturbatoare de mod comun}}{\text{tensiune de intrare echivalenta}} \quad (10)$$

Pentru a avea proprietatea de rejecție a tensiunilor de mod comun

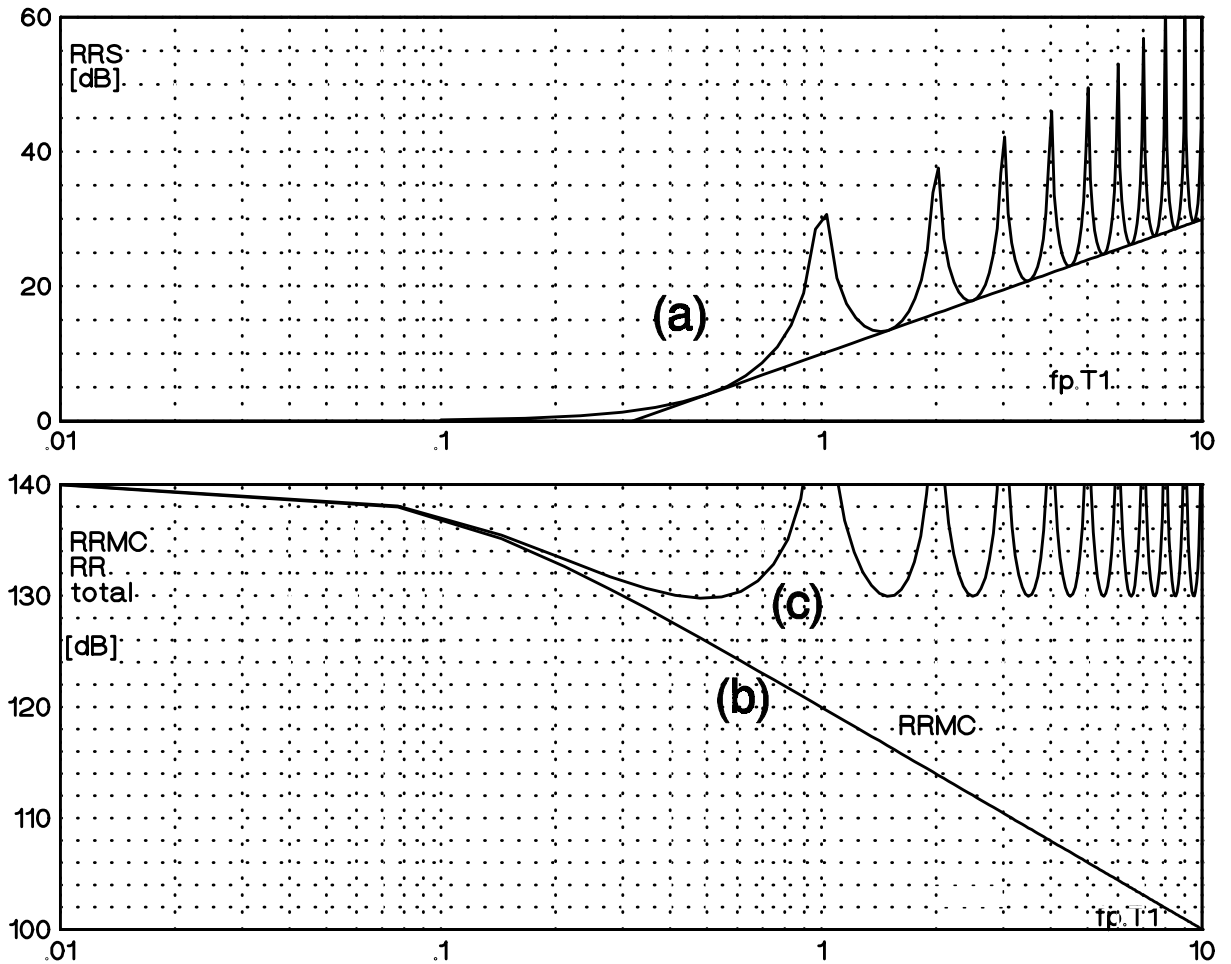


Figura 3

voltmetrele se construiesc cu bornele de intrare flotante.

În fig.4 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:

$$U_e = \left( \frac{r_2}{Z_2} - \frac{r_1}{Z_1} \right) \cdot U_{mc} \quad (11)$$

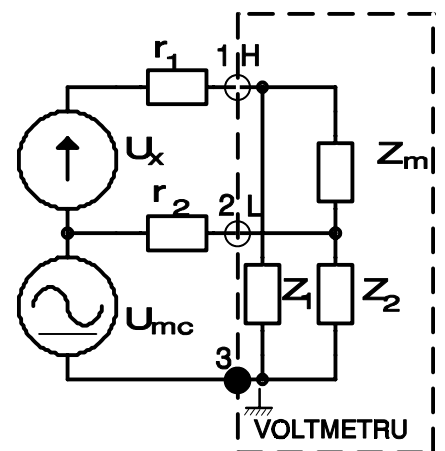


Figura 4

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 și micșorarea capacităților parazite ale voltmetrului față de masă.

Raportul rejecției de mod comun este dat separat în c.c. și în c.a. de relațiile:

$$R.R.M.C._{c.c.} = -20 \cdot \lg \left( \frac{r_1}{R_1} - \frac{r_2}{R_2} \right) \quad [dB] \quad (12)$$

$$R.R.M.C._{c.a.} = -20 \cdot \lg(\omega \cdot |r_2 \cdot C_2 - r_1 \cdot C_1|) \approx -20 \lg(\omega \cdot r_2 C_2) \quad [dB] \quad (13)$$

În fig. 3.b) sunt reprezentate dependența RRMC cu frecvența și rejecția totală a voltmetrului cu dublă integrare, caracteristică obținută prin sumarea celor două componente ale rejecției.

### 3. VERIFICAREA PERFORMANȚELOR UNUI MULTIMETRU NUMERIC

#### 3.1. Performanțele multimetrului numeric E 0302

Multimetrul E 0302 (IEMI - București) este un aparat de măsurare realizat pe baza unui voltmetru cu dublă integrare de 0,1 V, cu 3 și 1/2 cifre (depășire cu 100% a tensiunii nominale). Schema bloc a multimetrului este similară cu cea din fig. 1. Principalele caracteristici ale multimetrului E0302 sunt:

**a) In curent continuu:** - la măsurarea tensiunii: rezoluție maximă 0,1 mV, tensiune nominală maximă 1000 Vc.c., rezistența de intrare - 1000 MOhmi până la scara de 2V inclusiv și 10 MOhmi până la 1000 V; precizia  $\pm 0,1 \cdot ct. \pm 0,1 \cdot c.s.$  [%];  $RRMC_{c.c.} > 110$  dB;  $RRMC_{ca} > 70$  dB la 50Hz; RRS  $> 40$  dB la 50 Hz; tensiunea maximă între borna L și masă: 400V; depășirea admisă: 10% cu excepția scării de 1000V.

- la măsurarea curentului: 0,1  $\mu$ A rezoluția maximă 1A curentul maxim, precizia  $\pm 0,2 \cdot ct. \pm 0,1 \cdot c.s.$  [%], iar pe intervalul de 1A,  $\pm 0,5 \cdot ct. \pm 0,1 \cdot c.s.$  [%].

**b) In curent alternativ:**

- la măsurarea tensiunii alternative: banda de frecvență: 40 Hz- 20 KHz; rezoluția maximă: 0,1 mV; tensiunea maximă: 350V; impedanța de intrare: 10 M $\Omega$  || 100 pF până la 2V tensiune nominală și 1 MOhm || 50pF până la 350V; precizia  $\pm 0,5 \cdot ct. \pm 0,2 \cdot c.s.$  [%] pe gama de 0,2V și  $\pm 1 \cdot ct. \pm 0,3 \cdot c.s.$  [%] pe celelalte sensibilități; depășirea admisă: 10%.

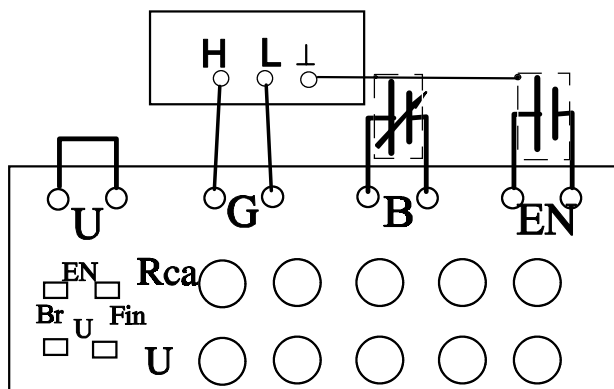
- la măsurarea curentului alternativ (prin redresare și scalare la valoarea efectivă): rezoluție maximă 0,1  $\mu$ A; curent maxim 1A; precizie  $\pm 0,7 \cdot ct. \pm 0,2 \cdot c.s.$  [%] cu excepția gamei de 1A, pe care precizia este  $\pm 1 \cdot ct. \pm 0,2 \cdot c.s.$  [%].

**c) La măsurarea rezistențelor:** - rezoluția maximă 0,1 Ω; rezistența maximă 2 MΩ; precizie ± 0,2\*ct. ± 0,1\*c.s. [%] cu excepția scării de 2 MΩ unde precizia este de ± 0,5\*ct. ± 0,1\*c.s. [%].

### 3.2. Verificarea clasei de precizie

În laborator se va verifica clasa de precizie a voltmetrului de bază al multimetrului numeric E 0302 pe sensibilitățile de 0,2 V și 2 V. Verificarea se va face cu ajutorul unui compensator de curent continuu, tip UCFs 1.05, utilizat ca în fig. 5. Ținând cont de schema compensatorului și de impedanța foarte mare pe care o prezintă voltmetrul, se poate considera că la apăsarea comutatoarelor U (Brut și Fin) la bornele de intrare ale voltmetrului va apărea tensiunea:

$U_{HL} = U_G = U - U_{EXT} = U$ , respectiv  $0,1*U$ , funcție de domeniul de lucru al compensatorului (x1 respectiv x0,1). Etalonarea compensatorului se va face cu ajutorul unui element



**Figura 5**

normal Westonn nesaturat având tensiunea de 1,0186 V și clasa de precizie 0,01. Ca indicator de nul se va utiliza același voltmetru al multimetrului numeric pe poziția 0,2 V c.c.. Verificarea celor două sensibilități ale voltmetrului numeric se va face în câte zece puncte ale intervalului de măsurare iar rezultatele și erorile (absolute, relative, raportate și admisibile) vor fi trecute într-un tabel adecvat, de forma tabelului 1.

**Tabelul 1**

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

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

$$\frac{\Delta U}{U} = c \left( 1 + 0,1 \cdot \frac{U_n}{U} \right) \quad (14)$$

unde  $U_n$  este tensiunea nominală a compensatorului (0,2 V pe x 0,1; 2V

pe x 1 ).

### 3.3. Măsurarea raportului rejecției serie

Pentru a măsura raportul rejecției serie se realizează montajul din fig.6. 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:

$$U_{HL} = E \cdot [1 + \sin(2\pi ft)] \quad (15)$$

Indicația multimetrului va fi dependentă de frecvența pe care o are semnalul alternativ serie,  $f$ . Se poate trasa astfel graficul  $RRS(f)$  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  $RRS$  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 poziția 2 V c.c.;

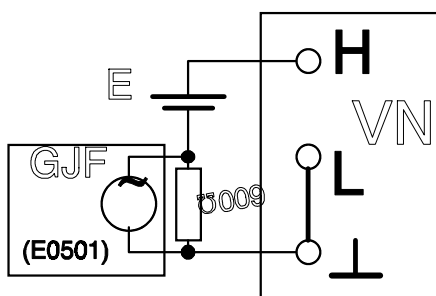


Figura 6

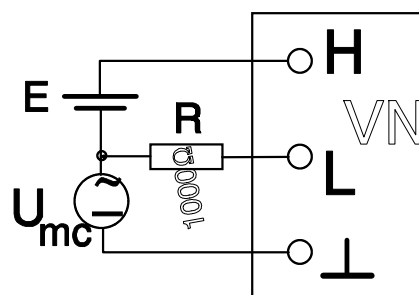


Figura 7

- se conectează generatorul de semnal alternativ (direct sau prin intermediul unui transformator adecvat), se trece multimetrul pe poziția 2 V c.a. și se reglează tensiunea generatorului, la frecvența de 100 Hz, până când indicația este  $0,707 \cdot E$ ;

- se trece multimetrul pe poziția 2 V c.c. și se reglează frecvența generatorului între 8 Hz și 110 Hz pentru a trasa prin puncte caracteristica  $RRS(f)$ . Se vor lua câte două puncte de măsurare în jurul frecvențelor la care  $RRS$  are maxime;

- se calculează  $RRS$  din ecuația:

$$R.R.S. = 20 \cdot \log \frac{E}{(U_{max} - U_{min}) / 2} \quad [dB] \quad (16)$$

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

- se trasează graficul  $RRS(f)$  utilizând interpolarea pe baza caracteristicii teoretice (fig. 3.a.).

### 3.4. Măsurarea raportului rejecției de mod comun

Pentru determinarea  $RRMC(f)$  sunt necesare două măsurări: în c.c. 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 fig. 7, 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 c.c., și se notează valoarea indicată  $U_1$ ;
- se conectează tensiunea de mod comun  $U_{mc} = 400$  V c.c. 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:

$$RRMC_{cc} = 20 \lg \frac{U_{mc}}{U_e} \quad [dB] \quad (17)$$

- se înlocuiește tensiunea continuă de mod comun cu o tensiune alternativă  $U_{mc} = 280$  V c.a. (400 Vv) și se citesc indicațiile maximă,  $U_{max}$ , și minimă,  $U_{min}$ , ale multimetrului;
- se calculează raportul rejecției de mod comun:

$$RRMC_{ca} = 20 \lg \frac{U_{mc}}{(U_{max} - U_{min}) / 2} \quad [dB] \quad (18)$$

- se trasează graficul  $RRMC(f)$  ținând cont de cel teoretic, fig.3.b);
- se reprezintă grafic rejecția totală a multimetrului E 0302 prin sumarea celor două componente ale rejecției și de reprezentarea din fig. 3 c);
- se compară rezultatele obținute cu datele tehnice ale multimetrului.