

## ALEGEREA FRECVENȚEI DE SEMNAL MĂSURĂTOR

N. S. Dimitrachi, M. Balanici, A. Zubarev  
Universitatea Tehnică a Moldovei

În lucrările cunoscute [1...10], dedicate măsurării rezistenței pe unitate de lungime sau a diametrului (de asemenea prin măsurarea rezistenței numite) a microfirului conductor turnat prin metoda prof. A. Ulitkovskii [11], nu se arată din ce considerente se alege valoarea frecvenței de semnal măsurător. În același timp firul conductor turnat din metal topit în stare de suspensie este o linie lungă cu parametrii: rezistența  $r$  și inductanța  $L$ , distribuiți pe unitate de lungime.

Raportul dintre  $r$  și  $L$  depinde de secțiunea  $S$  a microfirului și rezistența specifică  $\rho$  a materialului de microfir.

În lucrările sus numite, în procesul de măsurare a rezistenței  $r$  cu componenta inductivă  $L$  se neglijează. Această neglijare poate fi corectată numai când frecvența de semnal măsurător este aleasă corect, la care eroarea de măsurare a rezistenței condiționată de prezența inductanței  $L$  și neglijată nu depășește valoarea de eroarea admisă.

În lucrarea actuală se arată și se dau relațiile principale ce permit alegerea corectă a frecvenței de semnal măsurător pentru orice raport dintre  $r$  și  $L$ .

În metodele de măsurare a rezistenței  $r$  cunoscute în realitate se măsoară impedanța  $|Z| = \sqrt{r^2 + (\omega L)^2}$  pe unitate de lungime a microfirului și nu rezistența lui ohmică  $r$ , practic mai mică ca  $|Z|$ :  $r < \sqrt{r^2 + (\omega L)^2}$  ce provoacă eronări de măsurare.

Lucrările [1...10] după metoda de măsurare folosită se împart în două grupe – prin măsurare directă a rezistenței  $r$  ( $d$ ) și prin măsurare prin compensare. Apreciem eroarea de măsurare a rezistenței  $r$  condiționată de neglijarea componentei  $L$  și arătăm condiția de alegere corectă a frecvenței de semnal măsurător.

**1. Măsurarea rezistenței  $r$  prin metoda directă** (se măsoară impedanța  $Z$  a unei porțiuni de microfir, fiind considerată egală cu rezistența  $r_0$  a porțiunii de microfir etalon)

$$|Z| = \sqrt{r_x^2 + (2\pi f L)^2} = r_0, \quad (1)$$

unde  $r_0$  și  $r_x$  sînt respectiv rezistențele de microfir etalon și măsurat,  $f$  – frecvența de semnal

măsurător. Din (1) determinăm valoarea reală de rezistență ohmică  $r_x$  a microfirului măsurat:

$$r_x = \sqrt{r_0^2 - (2\pi f L)^2} = r_0 \sqrt{1 - 2\pi f \frac{L}{r_0}} < r_0 \quad (2)$$

Evident, eroarea relativă de măsurare a rezistenței  $r_x$  este:

$$\delta_{L \neq 0} = \frac{r_0 - r_x}{r_0} = 1 - \sqrt{1 - \left(2\pi f \frac{L}{r_0}\right)^2}.$$

Când  $\frac{2\pi f L}{r_0} \ll 1$ , ceea ce practic are loc, atunci:

$$\delta_{L \neq 0} \approx \frac{2\pi f L}{r_0}. \quad (3)$$

Pentru valoarea de  $\delta_{L \neq 0}$  dată, frecvența de semnal  $f$  se alege din condiția:

$$f \leq \frac{1}{2\pi} \frac{r_0}{L} \delta_{L \neq 0} \quad (4)$$

Inductanța firului conductor pe lungimea  $l$  se determină cu relația (5):

$$L = 5.08 \cdot 10^{-3} l \left( \ln \frac{l}{\pi R} + 1.193 + 0.223 \frac{\pi R}{l} \right) [Hn] \quad (5)$$

iar cea pe unitate de lungime cu relația (6):

$$L_{ul} = 5.08 \cdot 10^{-3} \left( \ln \frac{2l}{\pi d} + 1.193 + 0.223 \frac{\pi d}{2l} \right) \left[ \frac{Hn}{m} \right] \quad (6)$$

unde  $l$ ,  $R$  și  $d$  se măsoară în mili (1mili=0,0254mm, corespunzător 1mm = 1mili/0,0254),  $R$  și  $l$  sînt corespunzător raza și lungimea conductorului măsurat.

Rezistența pe lungimea de microfir măsurat este:

$$R_{mf} = 4\rho \frac{\lambda}{\pi d^2} [\Omega] \quad (7)$$

iar pe unitatea lui de lungime:

$$r = 4\rho \frac{1}{\pi d^2} \left[ \frac{\Omega}{m} \right] \quad (8)$$

Substituind (6) și (8) în (4) obținem:

$$f \leq \frac{1}{\pi\sqrt{2}} \sqrt{\delta_{L \neq 0}} \frac{\frac{4\rho}{\pi d^2} \left[ \frac{\Omega}{m} \right]}{5.08 * 10^{-3} \left( \ln \frac{2l}{\pi d} + 1.193 + 0.223 \frac{\pi d}{2l} \right) \left[ \frac{Hn}{m} \right]} \quad (9)$$

În fig. 2 sînt date diagrama de  $f = \varphi(d \text{ și } \rho)$  pentru valori de  $\delta_{L \neq 0}$  practic admisibile și anumite grupuri de materiale de microfîr, din care se poate alege frecvența de semnal măsurător la eroarea dată.

## 2. Măsurare prin compensare

$$\sqrt{r_x^2 + (2\pi f L_x)^2} = \sqrt{r_0^2 + (2\pi f L_0)^2} \quad (10)$$

sau  $(r_x - r_0)(r_x + r_0) = (2\pi f)^2(L_0 - L_x)(L_0 + L_x)$   
de unde:

$$r_x - r_0 = \frac{L_0^2 (1-k)(1+k)}{r_0 (1+m)} (2\pi f)^2 \quad (11)$$

unde:  $k = \frac{L_x}{L_0}$ ;  $m = \frac{r_x}{r_0}$ .

Când  $L_x \approx L_0$ , avem:

$$r_x - r_0 \approx 6(\pi f)^2 \frac{L_0^2 (1-k)}{r_0 (1+m)} \quad (12)$$

iar:

$$r_x = r_0 + 6(\pi f)^2 \frac{L_0^2 (1-k)}{r_0 (1+m)} \quad (13)$$

Eroarea relativă de măsurare a rezistenței este

$$\delta r_{L \neq 0} = \frac{r_x - r_0}{r_0} = 6(\pi f)^2 \left( \frac{L_0}{r_0} \right)^2 \frac{1-k}{1+m} \quad (14)$$

Pentru  $\delta r$  dat, frecvența de semnal se alege din relația:

$$f \leq \frac{1}{2\pi\sqrt{6}} \sqrt{\frac{1+m}{1-k}} \frac{r_0}{L_0} \sqrt{\delta_{L \neq 0}} \quad (15)$$

Substituind (6) și (8) în (15) obținem:

$$f[\text{Hz}] \leq \frac{1}{2\pi\sqrt{6}} \sqrt{\frac{1+m}{1-k}} \sqrt{\delta_{L \neq 0}} * \frac{\frac{4\rho}{\pi d^2} \left[ \frac{\Omega}{m} \right]}{5.08 * 10^{-3} \left( \ln \frac{2l}{\pi d} + 1.193 + 0.223 \frac{\pi d}{2l} \right) \left[ \frac{Hn}{m} \right]} \quad (16)$$

În (16) lungimea microfîrului se consideră de un metru. În ceea ce privește măsurarea diametrului de microfîr prin măsurarea rezistenței  $r$  pentru alegerea corectă a frecvenței  $f$  procedăm în modul următor.

Pe unitatea de lungime avem:

$$r \left[ \frac{\Omega}{m^2} \right] = 4 \frac{\rho}{\pi d^2} \quad (17)$$

Substituind (6) și (8) în (16) obținem:

$$f \leq \frac{\sqrt{2}}{2\pi} \sqrt{\delta} \frac{\frac{4\rho}{\pi d^2} \left[ \frac{\Omega}{m} \right]}{5.08 * 10^{-3} \left( \ln \frac{2l}{\pi d} + 1.193 + 0.223 \frac{\pi d}{2l} \right) \left[ \frac{Hn}{m} \right]} \quad (18)$$

## 3. Măsurarea diametrului

$$R = \rho \frac{l}{S} = \rho \frac{l}{\pi d^2} = \frac{4\rho}{\pi} \frac{l}{d_0^2}; \quad r_0 = \frac{4}{\pi} \frac{\rho}{d_0^2}; \quad \gamma_x = \frac{4}{\pi} \frac{\rho}{d_x^2};$$

$$\delta = \left( \frac{2\pi f L}{V_0} \right)^2 = \left( \frac{2\pi f L}{\frac{4\rho}{\pi d_0^2}} \right)^2 = \left( \frac{1}{2} \frac{\pi^2 f d^2 L}{\rho} \right)^2 \approx 5 \left( \frac{f d^2 L}{\rho} \right)^2$$

$$\begin{aligned} \frac{\frac{4}{\pi} \rho \left( \frac{1}{d_0^2} - \frac{1}{d_x^2} \right)}{\frac{4}{\pi} \rho \frac{1}{d_0^2}} &= 1 - \frac{d_0^2}{d_x^2} = 1 - \frac{d_0^2}{(d_0 \pm \Delta d)^2} = \\ &= 1 - \frac{d_0^2}{d_0^2 \pm 2d_0\Delta d + (\Delta d)^2} \approx \\ &\approx \frac{d_0^2 \pm 2d_0\Delta d - d_0^2}{d_0^2 \pm 2d_0\Delta d} = \pm \frac{2d_0\Delta d}{d_0(d_0 \pm 2\Delta d)} \end{aligned} \quad (19)$$

$$\text{Când } \Delta d \ll d_0, \text{ avem: } \delta r = \pm \frac{\Delta d}{d_0} = \delta d.$$

Așadar  $\delta d$ , de asemenea, se determină de relația (20):

$$\delta d_{L \neq 0} = 2\pi^2 f^2 \left( \frac{L}{r_0} \right)^2 \quad (20)$$

iar pentru valoarea dată de  $\delta d$  frecvența de semnal se alege din condiția:

$$f \leq \frac{\sqrt{\delta d_{L \neq 0}} V_0}{\sqrt{2\pi} L} = \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\delta d_{L \neq 0}}{2} \frac{4\rho}{\pi d^2}} \quad (21)$$

$$= \frac{1}{\pi} \sqrt{\frac{\delta d_{L \neq 0}}{2} \frac{4\rho}{5.08 \cdot 10^{-3} \left( \ln \frac{2l}{\pi d} + 1.193 + 0.223 \frac{\pi d}{2l} \right)}}$$

unde  $l$  se consideră egal cu unitatea.

### Bibliografie

1. **P. L. Kosmin, N. N. Filippov.** *Beskontakny'e izmereniya diametrov zhil provodov, mikroprovodov i koaksial'ny'x kabelej. Trudy aspirantov, LITMO, 1966.*
2. **P. L. Kosmin.** *K voprosu ispol'zovaniya beskontaktnogo sposoba dlya kontrolya i izmereniya konstruktivny'h i elektricheskikh parametrov mikroprovoda diametrom menea 20 mikron. Trudy aspirantov, LITMO, 1966.*
3. **N. D. Fridman.** *Metody i aparatura dlya izmereniya i avtomaticheskogo kontrolya soprotivleniya litogo mikroprovoda v processe proizvodstva bez razrusheniya izolyaczii. Avtoreferat dissertaczii kandidata tehniceskix nauk, L, 1970, -24 s.*
4. **V. A. Mixajlov, I. A. Nesterovskij, Z. I. Zelikovskij.** *Beskontaktnoe izmerenie pogonnogo soprotivleniya vysokoomnogo mikroprovoda.-V. kn.: Mikroprovod i pribory soprotivleniya. - Kishinev: Cartea Moldovenească, 1971, s.67-77.*
5. **S. N. Dimitraki.** *Metody nekontaktnogo izmereniya izolirovannogo soprotivleniya - Kishinev: Shtiintza, 1978, s.123.*
6. **V. Z. Fejgel's.** *Metody i aparatura dlya nekontaktnyh izmerenij soprotivleniya dvizhushhejsya izolirovannoj provolki. Avtoreferat dissertaczii kandidata texniceskix nauk, L, 1963, 16s.*
7. **I. D. Fridman.** *Izmerenie soprotivleniya i tolshchiny izolyaczii mikroprovoda v processe lit'ya. Izvestiya VUZov. Priborostroenie, 1969, Nr.2, s.36-40.*
8. **L. E. Degtyar, Z. I. Zelikovskij, V. P. Czetens.** *Izmerenie pogonnogo soprotivleniya mikroprovoda v processe lit'ya.-V sb.: Mikroprovod i pribory'*

*soprotivleniya.-Kishinev: Cartea Moldovenească, 1962, vy'p.1., s.24-31.*

9. **V. S. Tyun'kov.** *Ustrojstvo dlya kontrolya pogonnogo soprotivleniya mikroprovoda v steklyannoj izolyaczii v processe lit'ya. A.s 365738 (SSSR). Opubl.v B.I., 1973, Nr.6.*

10. **I. N. Borodin, V. P. Bordar.** *Ustrojstvo avtomaticheskogo regulirovaniya pogonnogo soprotivleniya v ustanovke dlya ego lit'ya. A.s 469148 (SSSR). Opubl. v B.I., 1975, Nr.16.*

11. **Kolton,** *Firma RCA Laboratories (Prinston, sht. N'yu-Dzherzi), Pul, Otdelenie e'lektronny'x komponentov firmy' RCA (Sommervill, sht. N'yu-Dzherzi). Proektirovanie usilitelej SVCH na elementax s sosredotochennymi parametrami.*