

### 1. Što su mjerni otpornici?

Elementi koji utjelovljuju električki otpor s velikom točnošću i u najvećoj mogućoj mjeri potisnutim parazitskim utjecajima.

### 2. Kolika je relativna mjerna nesigurnost najboljih izvedbi mjernih otpornika?

$10^{-5}$ .

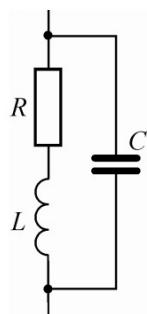
### 3. Primjena mjernih otpornika?

- kao mjerni shunt za posredno mjerenje struje
- u naponskim djelilima (za mjerenje viših napona)
- u mjernim mostovima

### 4. Čime je definiran otpornik?

- iznosom otpora  $R$  i njegovom dopuštenom promjenom (npr. tijekom 1 god.)
- dopuštenom snagom ili dopuštenom strujom
- temperaturnom karakteristikom

### 5. Nadomjesna shema otpornika?



$$Z = \frac{(R + j\omega L) \cdot \frac{1}{j\omega C}}{R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C}}$$

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{\operatorname{Im}(Z)}{\operatorname{Re}(Z)} = \omega \underbrace{\left[ \frac{L}{R} (1 - \omega^2 LC) - RC \right]}_{\tau}$$

Pri izmjeničnoj struji postoji fazni pomak između napona na otporniku i struje kroz otpornik:  $\varphi = \omega\tau$ . Na niskim frekvencijama ( $< 20$  kHz) vrijedi:  $\tau \approx \frac{L}{R} - RC$ .

### 6. Kako se minimiziraju učinci neželjenih $L$ i $C$ ?

Manji  $L$  postiže se smanjenjem površine presjeka tijela otpornika (plosnate izvedbe) ili načinom namatanja (npr. biliarni namot).

$C$  dolazi do izražaja kod visokoomskih otpornika, kada se rabe izvedbe s više sekcija (npr. Chaperonov namot). Uz  $\frac{L}{R} = RC$ , vremenska stalnica će biti jednaka nuli (iako  $L$  i  $C$  postoje).

Dobri otpornici imaju malu vremensku stalnicu koja se izražava u nanosekundama.

### 7. Izvedbe mjernih otpornika?

Žičana izvedba: za veće snage ( $1 \mu\Omega$  do  $100 \text{ k}\Omega$ , do  $10 \text{ W}$ ), traka ili žica od manganina, izaoma, konstantana, izabelina.

Slojna izvedba: za manje snage ( $1 \Omega$  do  $100 \text{ M}\Omega$ ,  $25 \text{ mW}$  do  $1 \text{ W}$ ), sloj metala ili metalnog oksida naparen na izolacijsku podlogu (porculan, staklo, keramika).

### 8. Temperaturna ovisnost otpornika?

Za temperaturni interval od  $0^\circ\text{C}$  do  $100^\circ\text{C}$  vrijedi nadomještanje s dva parametra. U užem temperaturnom području može se nadomjestiti samo linearnom promjenom.

$$R_\theta = R_{ref} \left[ 1 + \alpha(\theta - \theta_{ref}) + \beta(\theta - \theta_{ref})^2 \right]$$

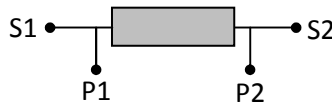
### 9. Strujno opterećenje otpornika?

Prolaskom struje kroz otpornik razvija se Jouleova toplina ( $P = I^2 R$ ) – poželjno je što manje jer utječe na poznavanje otpora.

### 10. Četiri stezaljke otpornika?

Dvije strujne (S1 i S2) – za dovod struje (vanjske), i dvije naponske (P1 i P2) – za „mjerenje“ napona (unutrašnje, definiraju otpor). Kod većih otpornika razlikuju se po obliku i veličini.

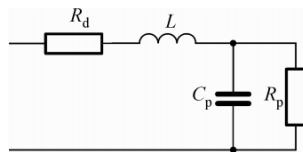
**Bilo kakvo točnije mjerenja otpora treba biti četverožično!**



### 11. Zahtjevi mjernih kondenzatora?

- njihov  $C$  točno poznat, vremenski stalan, neovisan o temperaturi, naponu i frekvenciji, te što „čišći“
- vrlo veliki izolacijski otpor između elektroda (koji postoji zbog polarizacije i provodnih struja, a predstavljamo ga djelatnim otporom  $R_p$ )
- neznatni otpor dovoda (predstavljamo ga sa  $R_d$ )
- neznatni vlastiti induktivitet  $L$

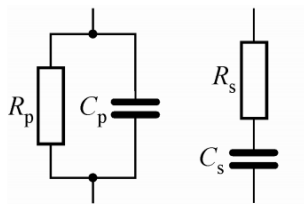
### 12. Nadomjesna shema realnog kondenzatora (za VF)?



Kod određene frekvencije (reda MHz) nastupa serijska rezonancija, nakon koje kondenzator iskazuje induktivni karakter!

### 13. Dvoelementna nadomjesna shema kondenzatora?

Za realni kondenzator (i niže frekvencije). Nadomještamo gubitke otporima  $R_s$  ili  $R_p$ .



$$C_s = C_p (1 + \tan^2 \delta)$$

### 14. Gubici u kondenzatoru?

Definiramo ih tangensom kuta gubitaka.

$$\tan \delta = \frac{1}{\omega R_p C_p} = \omega R_s C_s$$

Osim ovih veličina,  $\tan \delta$  ovisi i o temperaturi i naponu na kondenzatoru! (Npr.  $\tan \delta = 10^{-5}$  (kvarc),  $\tan \delta = 10^{-4}$  (tinjac),  $\tan \delta = 10^{-3}$  (plastične mase).)

### 15. Utjecaji parazitnih elemenata u kondenzatoru?

Zbog parazitnih elemenata, fazni pomak između  $U$  i  $I$  nesavršenog kondenzatora je  $\frac{\pi}{2} - \delta$ .

$$P = UI \cos \varphi = UI \sin \delta \approx UI \delta = U \cdot U \omega C \cdot \delta = U^2 \omega C \delta$$

### **16. Tlačni kondenzatori?**

Koriste se za visokonaponska mjerenja. Punjeni su komprimiranim plinom (dušik ili SF<sub>6</sub>). Imaju visoku probojnu čvrstoću (npr. 270 kV uz 1 cm razmaka i tlak od 15 atmosfera).

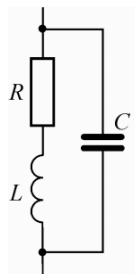
### **17. Kako se namataju mjerni svitci i zbog čega?**

Namataju se na neferomagnetska tijela da bi se izbjegao utjecaj nelinearne ovisnosti permeabilnosti o struji koja protječe svitkom, te gubici zbog histereze i vrtložnih struja.

### **18. Nadomjesna shema mjernih svitaka?**

- faktor dobrote:  $Q = \frac{\omega L}{R}$

- na VF utjecaj parazitskog  $C$  (rezonancija) i ovisnost  $R$  o frekvenciji (skin-efekt)



### **19. Dvoelementna nadomjesna shema mjernih svitaka?**

Realni svitak nadomještamo serijskom kombinacijom efektivnog otpora  $R_e$  i induktiviteta  $L_e$ . Rezonancija nastupa na frekvenciji  $f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$ .

$$Z = R_e + jL_e \quad R_e \approx R(1 + 2\omega^2 LC) \quad L_e \approx L(1 + \omega^2 LC)$$

### **20. Osnovna podjela mjerenih veličina?**

Istosmjerne: ne mijenjaju predznak, ali ne moraju nužno biti nepromjenjivog iznosa (pulzirajuće!).

Izmjenične: mijenjaju predznak, a opisuju ih:

- amplituda i frekvencija
- elektrolitična srednja vrijednost i efektivna vrijednost
- omjerni faktori: faktor oblika i tjemeni faktor

### **21. Elektrolitička srednja vrijednost?**

Srednja vrijednost punovalno ispravljene veličine.

$$I_{sr} = \frac{1}{T} \int_0^T |i(t)| dt$$

### **22. Efektivna vrijednost?**

Odgovara vrijednosti istosmjerne struje (napona) istog toplinskog učinka.

$$I_{ef} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt}$$

### **23. Amplituda?**

Ili tjemeni vrijednost. Najveća trenutna vrijednost veličine (npr. za napon  $U_m$ , za struju  $I_m$ ).

## 24. Faktor oblika i tjemeni faktor?

sin – sinusni; tr – trokutasti; pr – pravokutni

Faktor oblika:

$$\xi = \frac{I}{I_{sr}}$$

$$\xi_{\sin} = \frac{\frac{I_m}{\sqrt{2}}}{\frac{2I_m}{\pi}} = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} = 1.11$$

$$\xi_{tr} = \frac{\frac{I_m}{\sqrt{3}}}{\frac{I_m}{2}} = \frac{2}{\sqrt{3}} = 1.15$$

$$\xi_{pr} = \frac{I_m}{I_m} = 1.00$$

Tjemeni faktor:

$$\sigma = \frac{I_m}{I}$$

$$\sigma_{\sin} = \frac{I_m}{\frac{I_m}{\sqrt{2}}} = \sqrt{2} = 1.41$$

$$\sigma_{tr} = \frac{I_m}{\frac{I_m}{\sqrt{3}}} = \sqrt{3} = 1.73$$

$$\sigma_{pr} = \frac{I_m}{I_m} = 1.00$$

## 25. Istosmjerni laboratorijski izvori?

- baterije i akumulatori: jednokratna primjena ili višekratno punjenje; nema problema sa šumom mrežne frekvencije
- ispravljači: koriste se za napajanje; mrežni napon koji se ispravlja i filtrira (redovito i snižava na razine važne za laboratorijsku praksu)
- kalibratori: izvori s redovito finim namještanjem izlazne veličine, visoke točnosti i stalnosti (za napone do 1000 V i izlazne struje do više ampera)
- generatori: rabe se za veće snage

## 26. Izmjenični laboratorijski izvori?

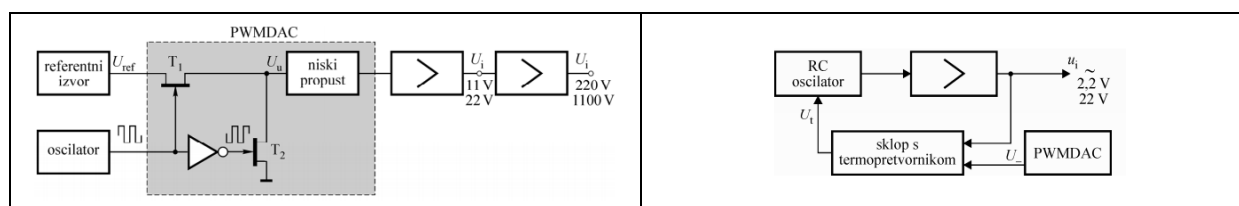
- električna mreža: izvor jedne frekvencije, kod koje su promjene napona do  $\pm 5\%$ , a promjene frekvencije do 0.1 Hz; preko regulacijskih transformatora napon mreže može se smanjiti na potreban iznos
- generatori: izrađuju se za frekvencije do nekoliko kiloherca i snage veće od 1 kVA
- elektronički izvori: sinusni oscilatori, sintetizatori frekvencije, generatori funkcija, signalni generatori, generatori impulsa, vobleri, kalibratori

## 27. Što su kalibratori?

Uređaji koji služe kao izvori vrlo stalnih i točno poznatih napona, struja i otpora.

- DC područje: 10 nV do 1100 V, 1 nA do 2.2 A
- AC područje: 10 Hz do 1 MHz

## 28. Načelo rada istosmjernog i izmjeničnog naponskog kalibratora?

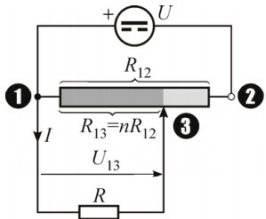
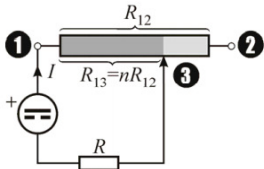


### 29. Otporničke dekade i klizni otpornici?

Otporničke dekade su slogovi dekadski stupnjevanih otpornika smještenih u zajedničku kutiju. Za svaki slog se obično navodi dozvoljena snaga ili struja.

Klizni otpornici (promjenjivi otpornik, potencijometar) omogućuju kontinuiranu promjenu otpora. Gibanje kliznika može biti pravocrtno ili kružno.

### 30. Ugađanje struje u krugu?

| Potenciometarski spoj – ugađanje struja kod velikih $R$ (što je $p$ manji, ugađanje je linearnije). | Ugađanje struje predotporom – ugađanje struja kod malih $R$ (što je $p$ manji, ugađanje je linearnije, ali su i manje granice unutar kojih se može ugađati). |
|---|--|
|                    |    |
| $I = \frac{Un}{R \left[ 1 - \frac{R_{12}}{R} (n^2 - n) \right]}$                                    | $I = \frac{U}{R + nR_{12}} = \frac{U}{R(1 + np)}$  |
| $n = \frac{R_{13}}{R_{12}} \quad p = \frac{R_{12}}{R}$  | $n = \frac{R_{13}}{R_{12}} \quad p = \frac{R_{12}}{R}$   |