

Merenja

8. predavanje

Pretvarači signala

- Pretvarači signala služe za menjanje prirode ili veličine signala. Cilj pretvaranja signala je shodno tome proširenje mernog opsega ili pretvaranje signala u signal druge vrste ili oblika koji je pogodniji za prenos ili dalju obradu.
- Tokom merenja struja ili napona obično će nam trebati puno pretvaranja, zato je zgodno najvažnije pretvarače signala pre početka proučavanja merenja napona ili struja proučiti.

RCL elementi

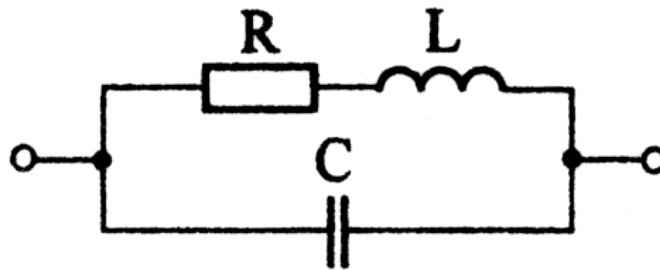
Otpornosti, induktivnosti i kapacitivnosti se javljaju kao pretvarači signala sa jedne strane, i kao sastavni elementi složenih strujnih kola sa druge strane.

U daljem delu prikazaćemo modele realnih elemenata

Otpornosti

Sa slike se vidi da usled konstrukcije i tehnologije proizvodnje moramo voditi računa o parazitnim induktivnostima i parazitnim kapacitivnostima kod preciznijih merenja.

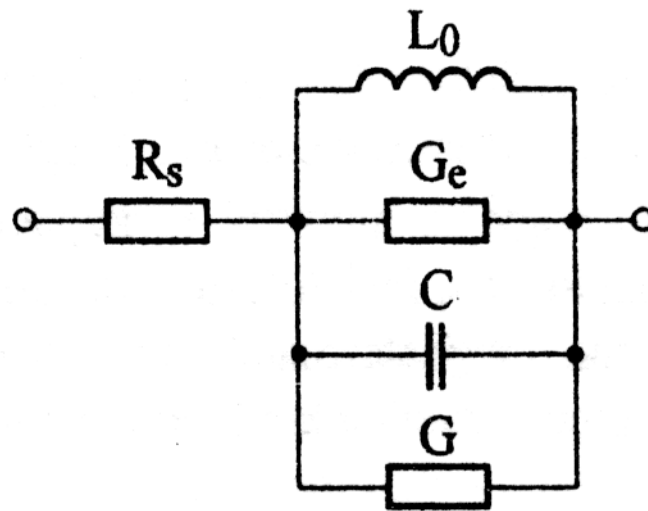
U modelu L reprezentuje rednu induktivnost, a C paralelnu kapacitivnost. Ekvivalentna impedansa modela je frekventno zavisna (čak i omska otpornost zbog skin efekta!).



Model otpornika

Induktivnosti

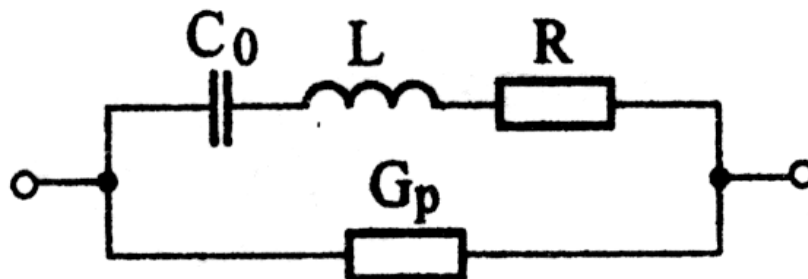
U modelu induktiviteta sa vazdušnim jezgrom R_s predstavlja rednu otpornost bakra, G_e gubitak u bakarnom provodniku usled vihornih struja, C kapacitivnost između navojaka G je dielektrični gubitak u kondenzatoru C .



model induktiviteta sa vazdušnim jezgrom

Kondenzatori

U modelu kondenzatora R i L predstavljaju omski otpor i induktivnost elektroda i izvoda. G_p predstavlja dielektrični gubitak i provođenje jednosmerne struje. C_0 je kapacitivnost kondenzatora pri jednosmernoj struji.



model kondenzatora

Merni otpornici, kondenzatori i induktiviteti

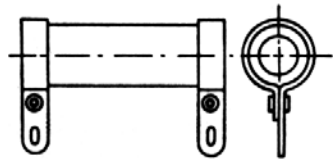
Merni otpornici, kondenzatori i induktiviteti nalaze najširu primenu u električnoj mernoj tehnici, i susreću se u gotovo svim električnim mernim instrumentima i uređajima kao predotpornici, uporedni elementi, zakretači faze itd. Često se na osnovu upoređenja sa njima određuju nepoznati otpori, kapaciteti i induktivnosti. Tačnost merenja u tom slučaju direktno zavisi od tačnosti upotrebljenih mernih otpornika kondenzatora itd.

Od ovih elemenata se zahteva da ostanu nepromenjeni mnogo godina, te da budu što manje podložni uticaju temperature okoline, vlažnosti, blizine susednih predmeta, vanjskih električnih i magnetnih polja itd, da imaju što manji parazitni kapacitet, induktivitet i otpornost, da predstavljaju što "čišći" otpornost, kapacitet i induktivitet.

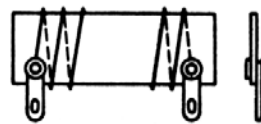
Merni otpornici

Od mernih otpornika zahtevamo da imaju visok specifičan otpor, neznatan temperaturni koeficijent otpora, neznatan termički napon prema bakru, konstantnost u vremenu i da ne menjaju otpor zbog mehaničkih naprezanja.

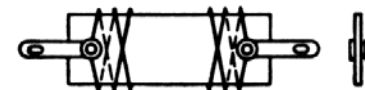
Prema načinu namotavanja razlikujemo: žičani otpornik namotan na telo okruglog preseka, pljosnati žičani otpornik, unakrsno namotan pljosnati žičani otpornik (namotan prema Ayrton-Perryu) i bifilarno namotani otpornici, itd.



Slika 2.3. Žičani otpornik namotan na tijelo okrugla presjeka

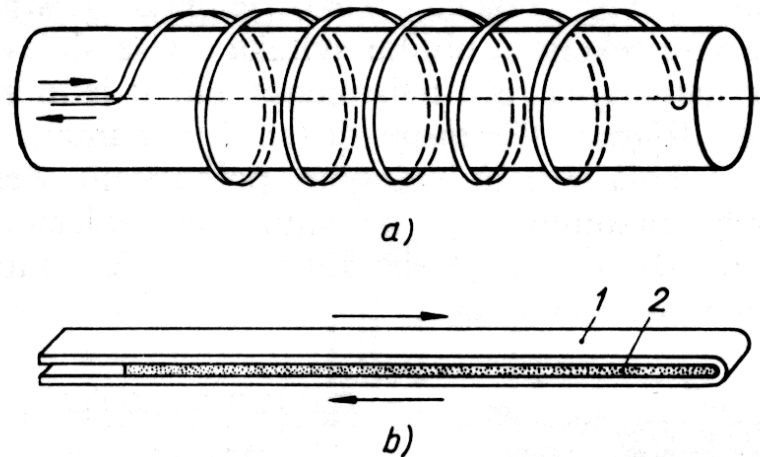


Slika 2.4. Plosnati žičani otpornik



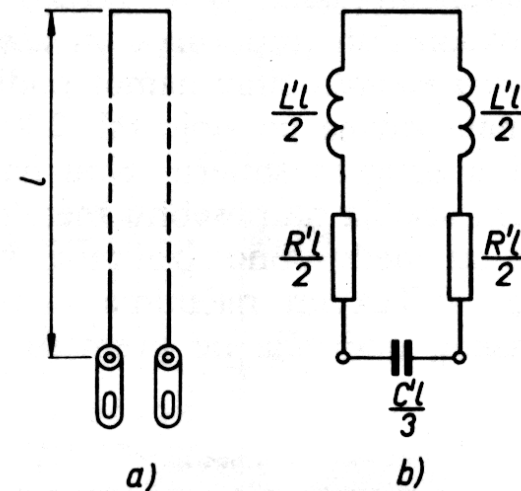
Slika 2.5. Plosnati žičani otpornik unakrsno motan (namatanje prema Ayrton-Perryu)

U laboratorijskim merenjima često se upotrebljavaju grupe preciznih otpornika smeštenih u zajedničku kutiju. Susreću se izvedbe sa čepovima i preklopnicama.



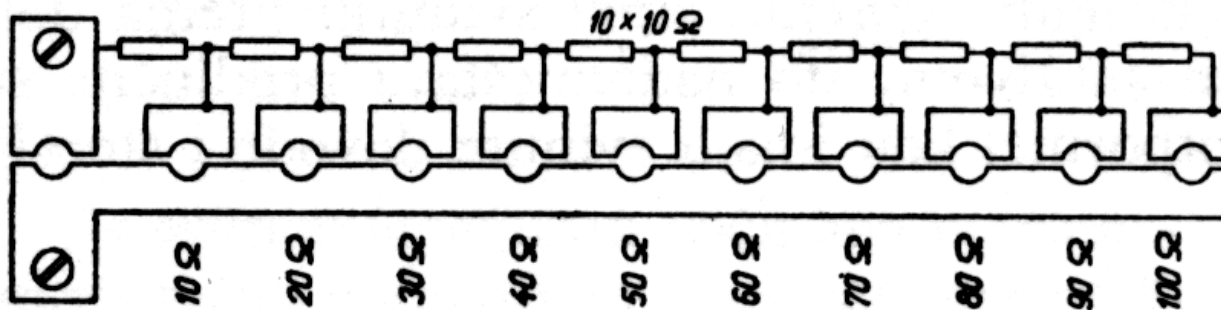
Slika 2.6. Bifilarno motani otpornici: a) s otpornom žicom; b) s otpornim limom za vrlo male iznose otpora

1 manganinski lim; 2 izolacija od tinjca

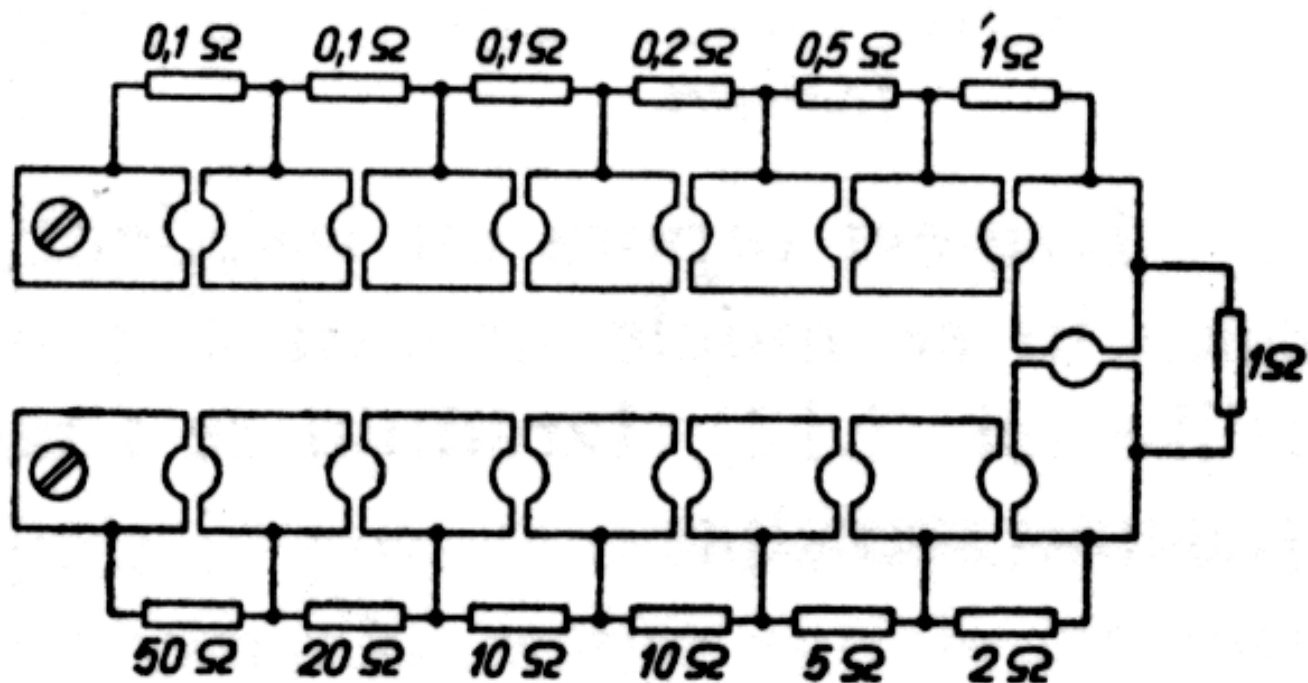


Slika 2.7. Bifilarno motan otpornik: a) prikazan kao dvožilni vod koji je na kraju kratko spojen; b) nadomjesna shema

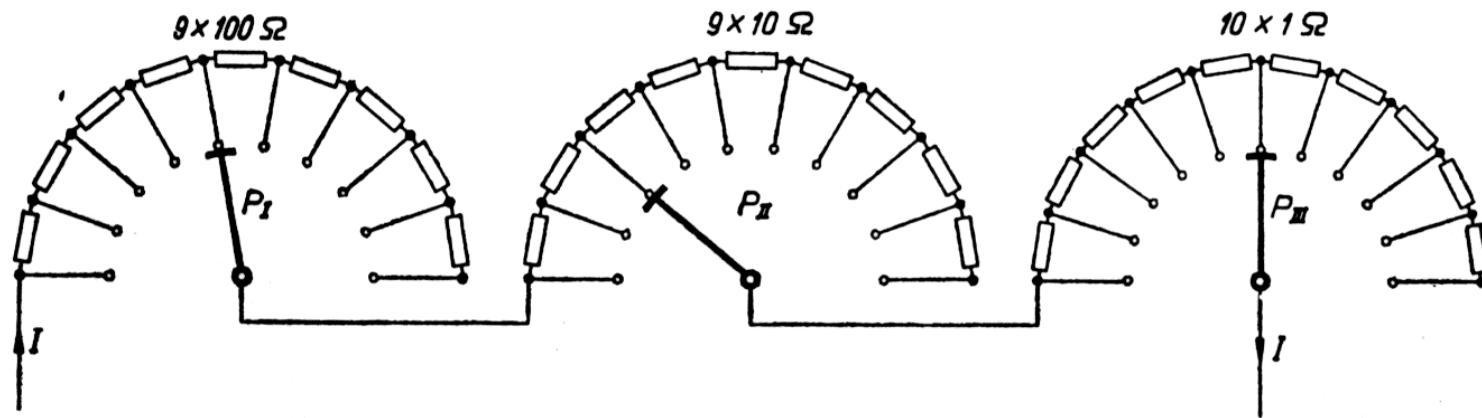
Prema konstrukciji razlikujemo: Otpornu dekadu sa
čepovima, grupu otpornika sa čepovima, otpornike sa
preklopnicima, otpornike sa kliznom žicom itd.



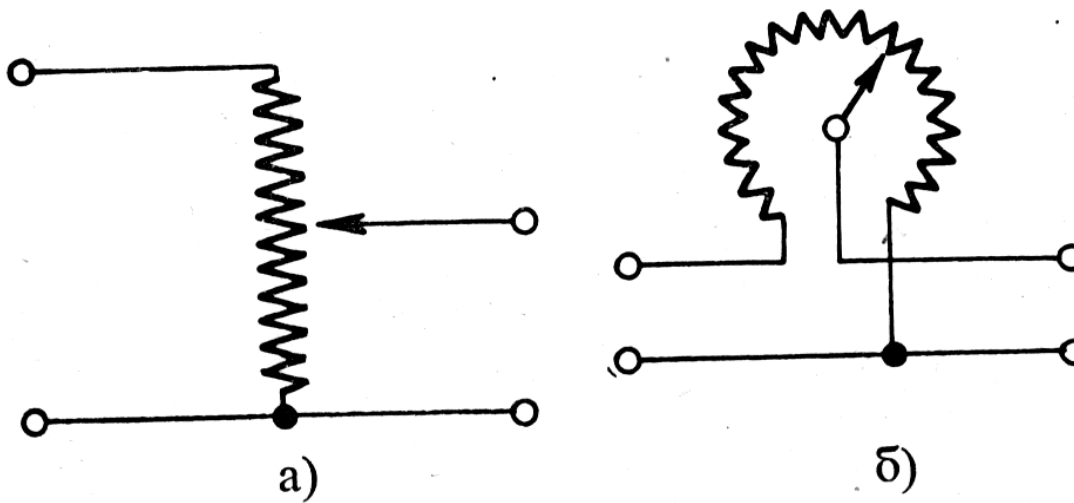
Slika 2.15. Otporna dekada s čepovima

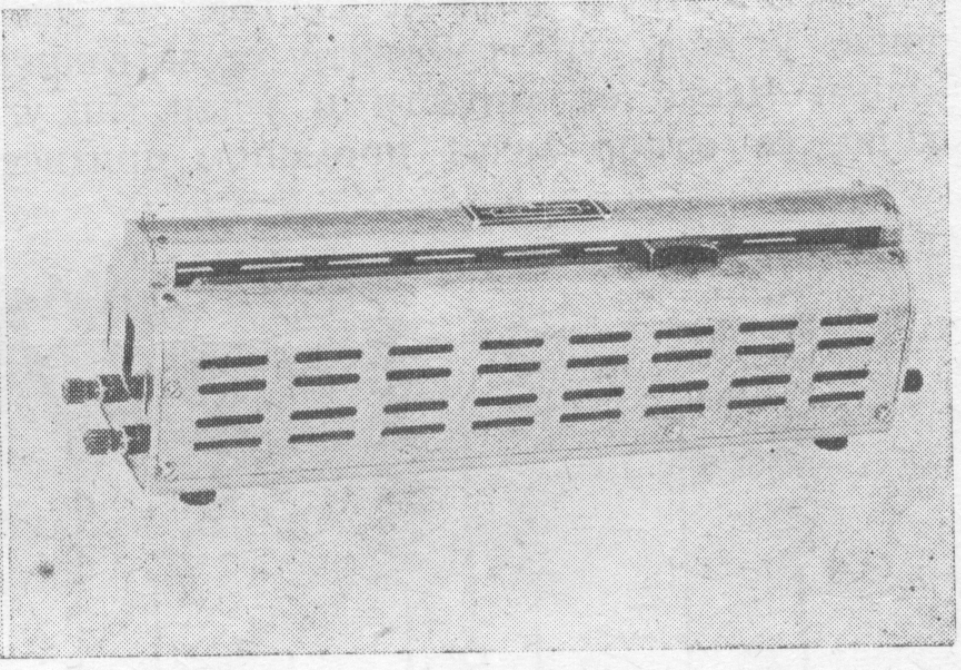
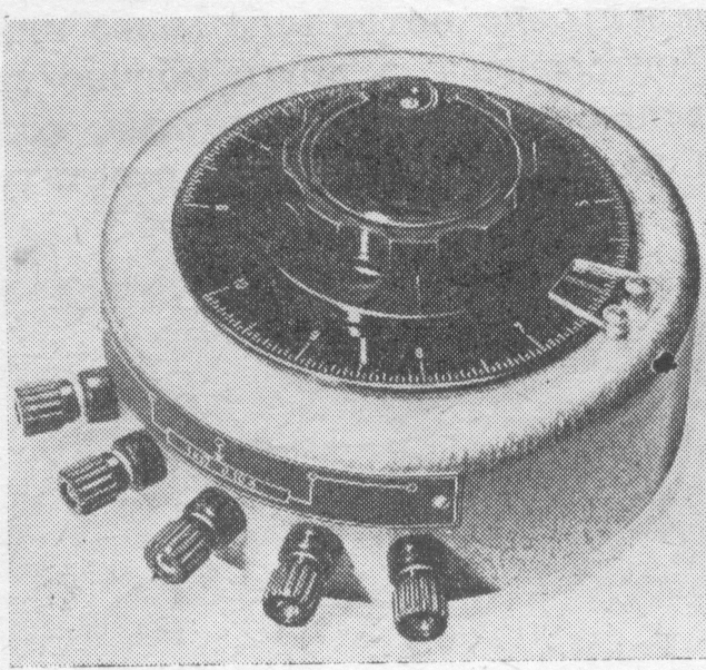


Slika 2.16. Skupina otpornika s čepovima



Slika 2.17. Otpornici s preklopkama

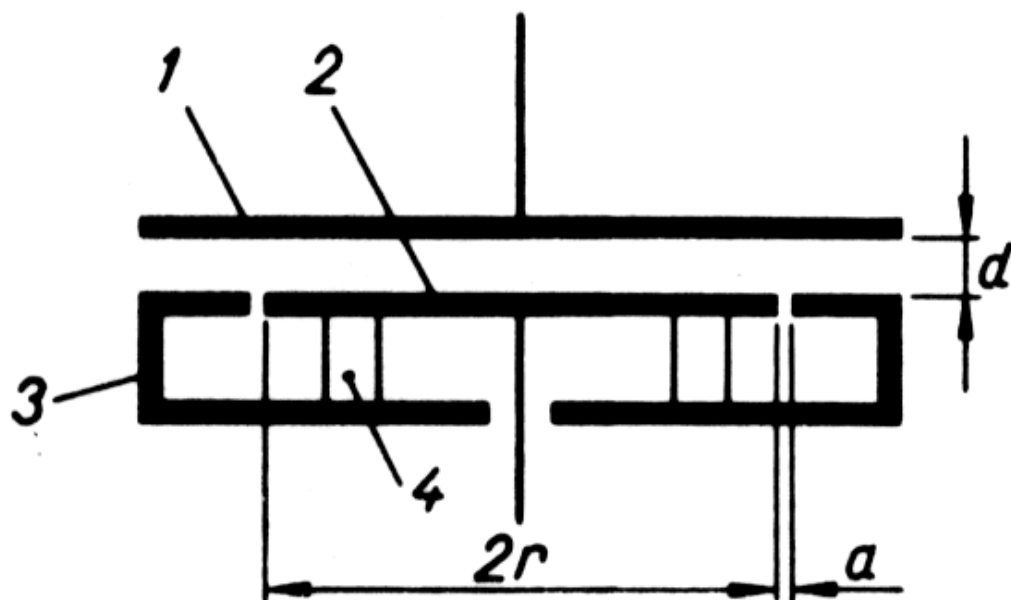




Ср. 22

Merni kondenzatori

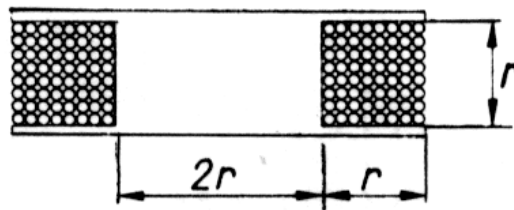
Od mernih kondenzatora zahtevamo, da njihov kapacitet bude tačno poznat, da je vremenski stalan, nezavisan od temperature, napona i frekvencije. Dalje zahtevamo da oni predstavljaju što "čišći" kapacitet, odnosno da imaju velik izolacioni otpor između elektroda, neznatne gubitke u dielektriku i dovodima, i neznatan sopstveni induktivitet.



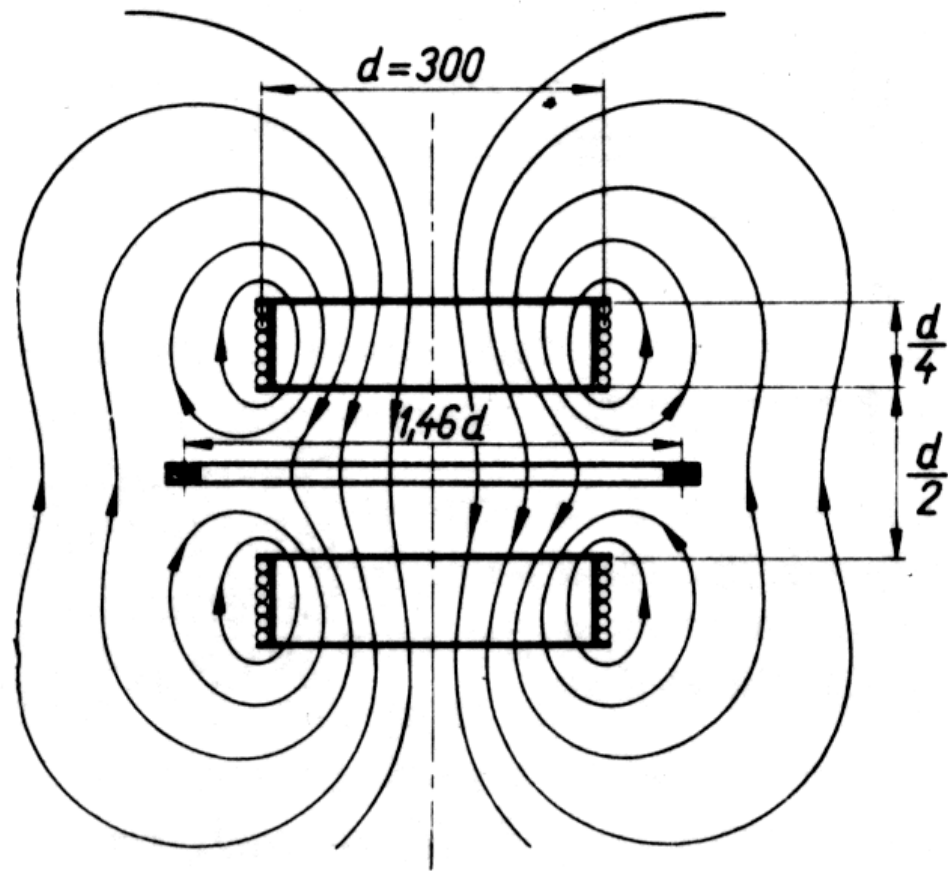
Slika 2.24. Pločasti kondenzator sa zaštitnom elektrodom:
1 i 2 gornja i donja elektroda;
3 zaštitna elektroda; 4 izolator

Merni induktiviteti

- Tražimo, da sopstvena i međusobna induktivnost tih namotaja bude dovoljno tačno poznat, da te veličine budu vremenski nepromenljive, nezavisne od frekvencije, struje, temperature i vanjskih magnetskih polja te da sopstveni kapacitet bude što manji.



Slika 2.29. Upotrebnii etalon samoinduktiviteta



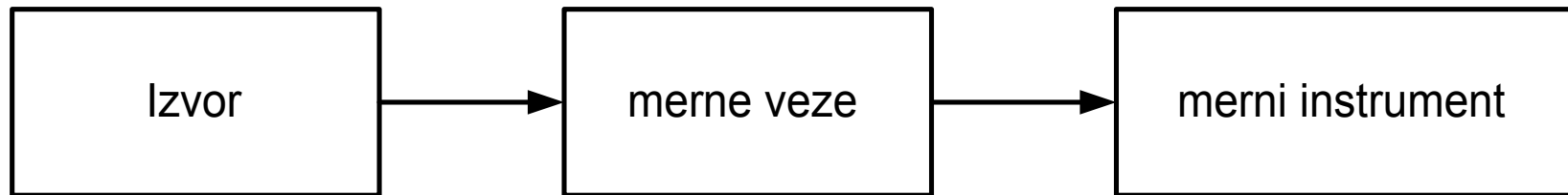
Slika 2.30. Apsolutni etalon među-
induktiviteta, prema Campbellu
($M = 0,01 \text{ H}$)

Merni sistemi

Struktura mernih sistema

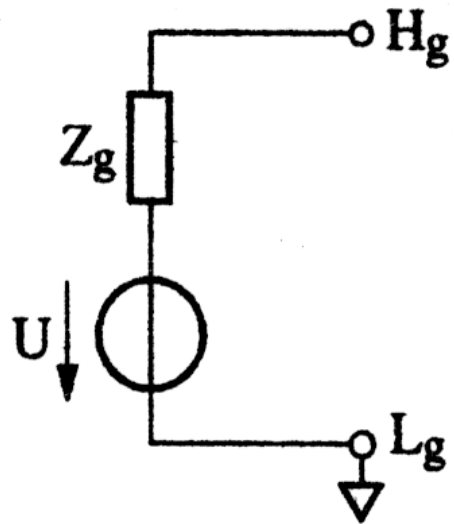
Merenje napona i struja zahteva pažljivo isplanirani merni sistem. Da bi sastavili merni sistem moramo uzeti u obzir osobine ispitanog objekta, izvora i osobine smetnji.

Najjednostavniji funkcionalni model mernog sistema sastoji se od izvora signala, mernih veza i mernog instrumenta.

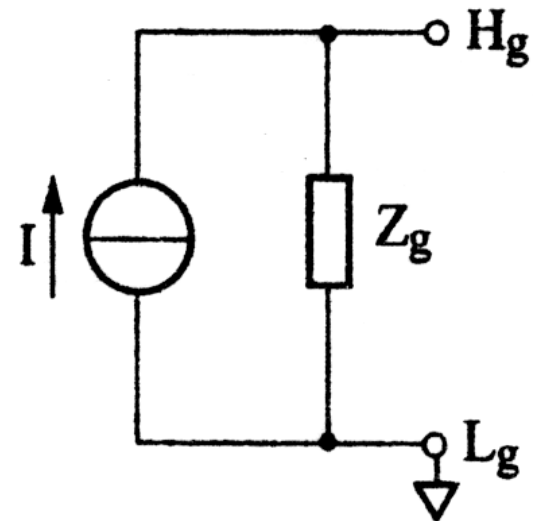


Ispitajmo redom pojedine elemente mernih sistema. Prvo proučimo modele izvora signala. Izvori napona i struja mogu da se modeliraju sledećim šemama:

U slučaju naponskog i strujnog izvora treba da računamo sa unutrašnjom impedansom Z_g .



a)

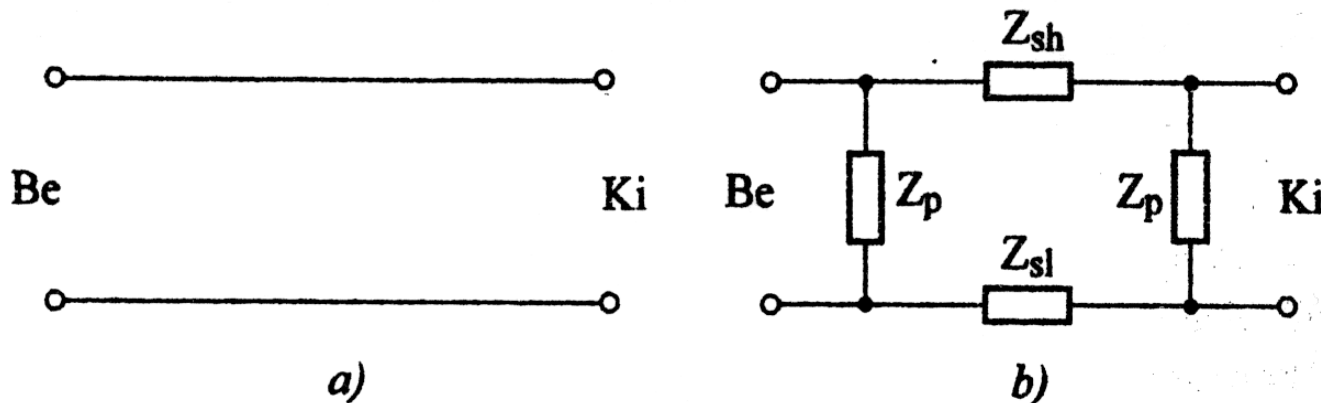


b)

Modeli izvora:

a) Naponski izvor; b) strujni izvor

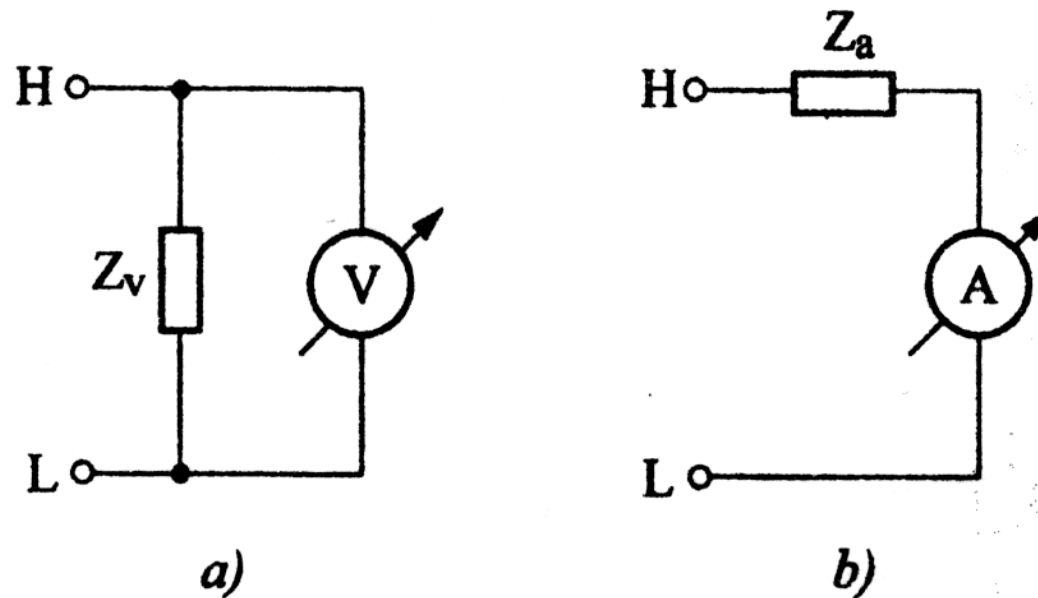
Izvor i merni instrument se spajaju sa mernim vezama. U idealnom slučaju oni prenose strujni i naponski signal bez greške, međutim u praksi imaju i rednu i paralelnu impedansu. Ulazni i izlazni signali se razlikuju. Odstupanje je frekventno zavisna. Za procenu greške može se upotrebiti sledeća nadomesna shema.



Modeli mernih veza:

a) U idealnom-, b) u realnom slučaju

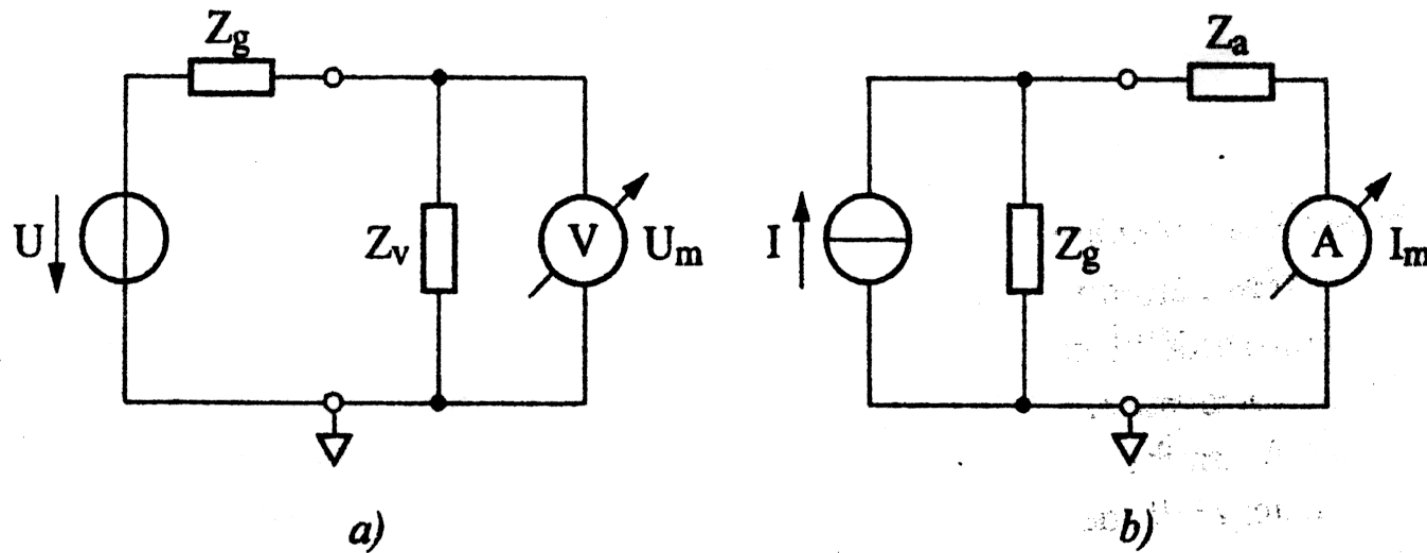
Najjednostavniji modeli mernih instrumenata mogu se videti na sledećoj slici. U oba slučaja izdvojeći unutrašnju impedansu instrumenata, zamišljamo idealni voltmetar i ampermetar. Idealni voltmetar ima beskonačnu, a ampermetar nultu unutrašnju impedansu.



Modeli instrumenata:

a)voltmetar; b)ampermetar.

Vezujući izvor i merni instrument idealnim mernim vezama, dolazimo do modela koji omogućava proračun grešaka opterećenja.



greška opterećenja.

Merljivi napon ili struja opterećen sistematskim greškama može se dati sledećim izrazima:

$$U_m = U \frac{Z_v}{Z_v + Z_g}$$

$$I_m = I \frac{Z_g}{Z_a + Z_g}$$

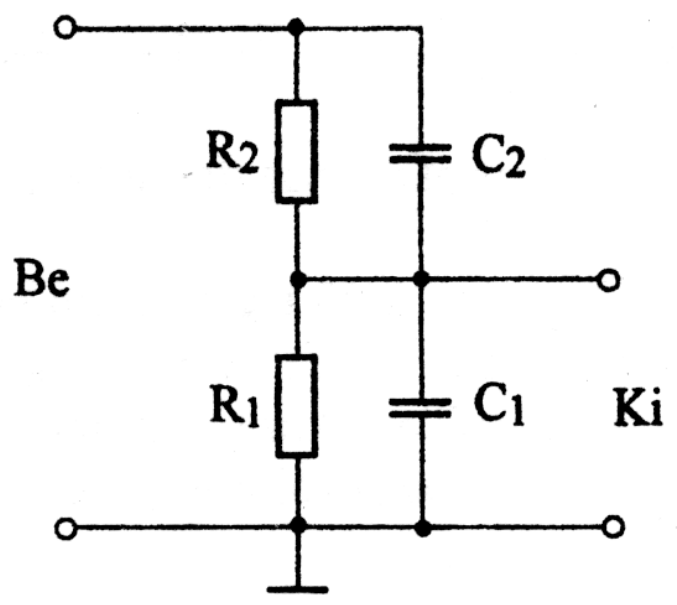
U slučaju idealnih mernih instrumenata greška opterećenja je nula.

Delitelji napona

Delitelji napona služe za proširenje mernog opsega. Od njih se zahteva osobina da imaju definisani prenosni odnos bez promene faznog ugla. Nije loše (ali nije neophodno) ako je prenosni odnos nezavisan od frekvencije, napona, temperature i opterećenja.

Delitelje napona treba graditi od otpornosti koji su znatno manji od unutrašnje otpornosti mernog instrumenta. Delitelji napona imaju znatno veću struju od mernog instrumenta i zato se koriste samo kod instrumenta sa velikom ulaznom otpornošću, na primer kod elektronskih mernih instrumenta. Područje primene delitelja napona ograničava i činjenica da je merni instrument u galvanskoj vezi sa njima. Kod visokih napona (iznad 1000 V) se ne mogu koristiti.

Najjednostavniji delitelj sagrađen od omskih elemenata vidi se na slici, gde C_1 i C_2 reprezentuju paralelne kapacitivnosti (rasipanja).



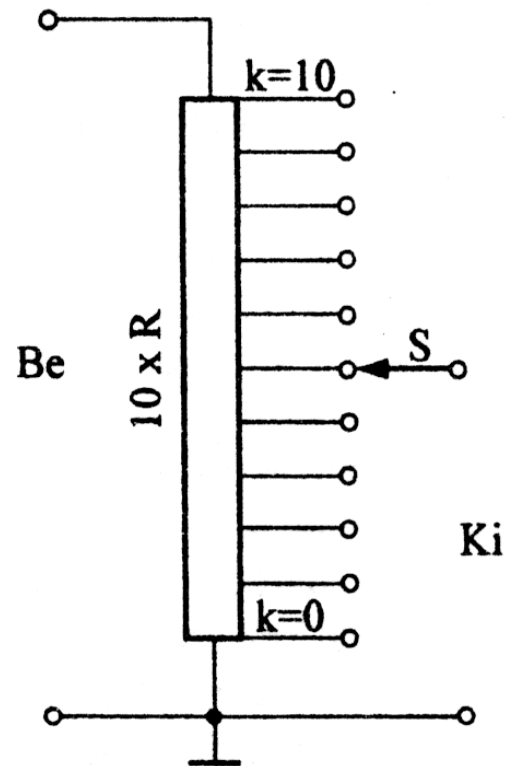
2.29. ábra. Ohmos feszültségosztó

Prenosna karakteristika delitelja, pretpostavljajući da je RC -konstanta donjeg i gornjeg člana ista, može dati u sledećem obliku:

$$H = \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

U slučaju visokonaponske izvedbe otpornik R_2 je veoma velikih dimenzija i kapacitet rasipanja prema zemlji se više ne može zanemariti. Zbog toga treba računati sa značajnim faznim pomakom.

U praksi česti je zahtev za promenljivošću prenosnog odnosa

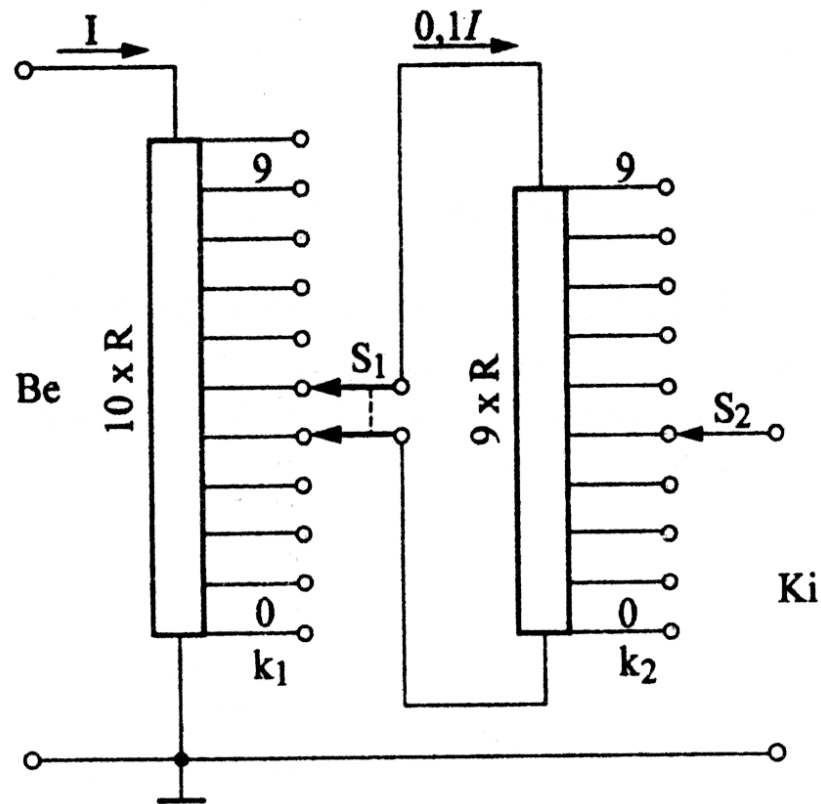


$$H = \frac{k}{10}$$

$$k = 0, 1, \dots, 10$$

2.31. ábra. Változtatható ohmos osztó

Kaskadni delitelj napona

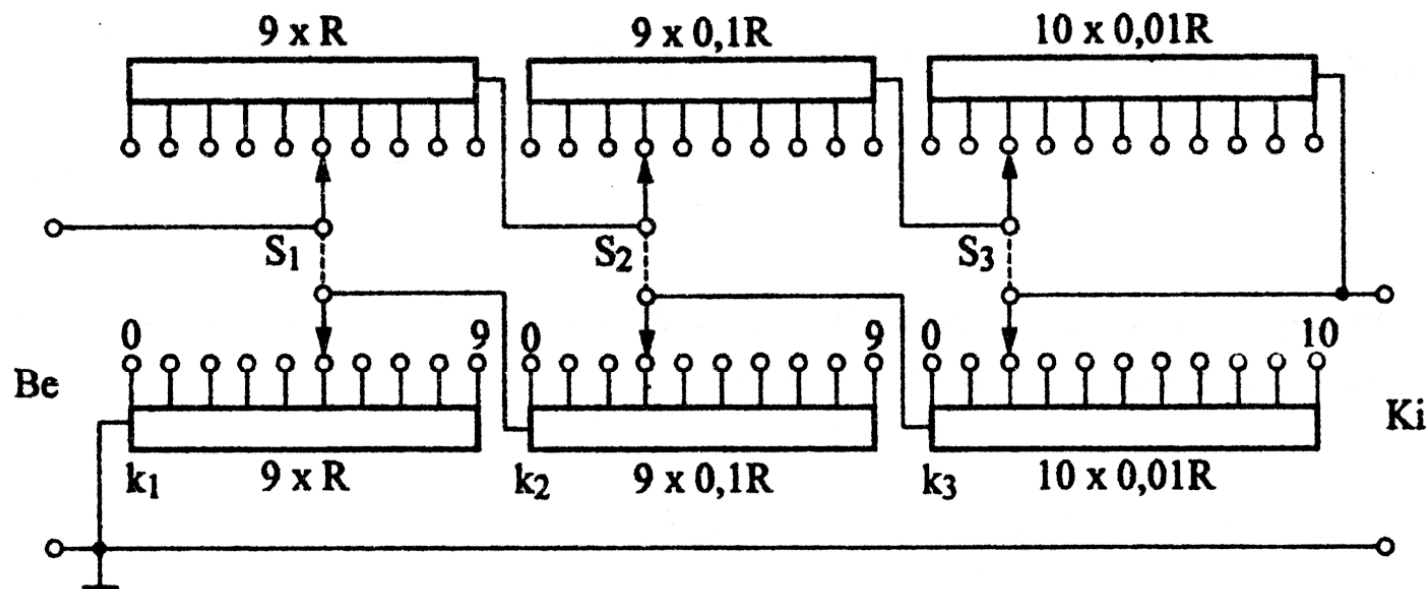


$$H = \frac{100}{99} \sum_{i=0}^2 \frac{k_i}{10^i}$$

$$k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 9$$

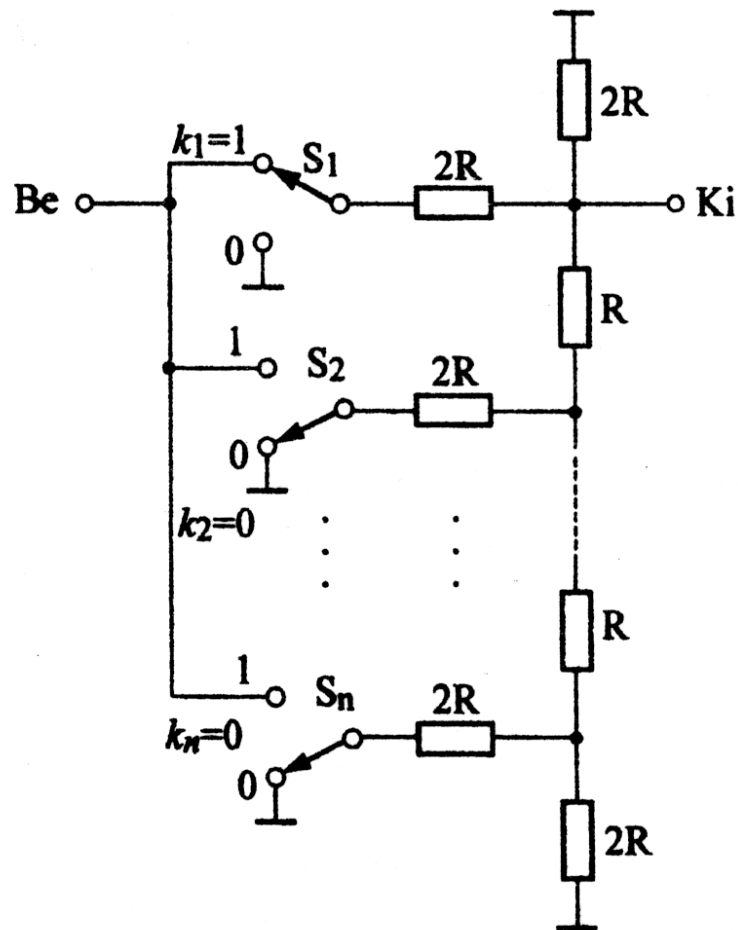
2.32. ábra. Ohmos kaskádosztó

Na sledećoj slici se vidi **trodekadni delitelj** koji ima jednu značajnu karakteristiku: pošto gornji i donji prekidači se kreću vezano ulazna impedansa mu je konstantna.



2.33. ábra. Soros ohmos osztó

Letvičasti delitelj napona R-2R



prenosni odnos mu je :

$$H = \frac{2}{3} \sum_{i=1}^n \frac{k_i}{2^i}$$

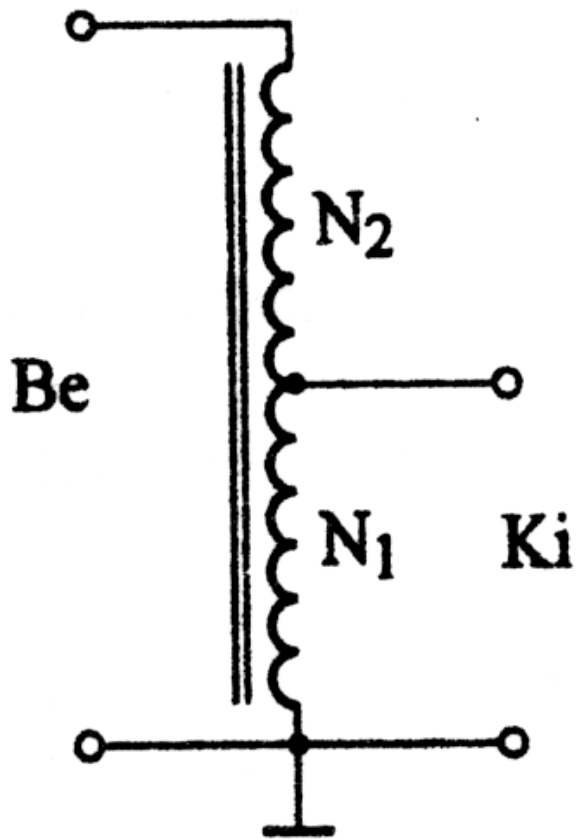
$$k_i = 0 \text{ ili } 1,$$

Zavisno od položaja prekidača.

Letvičasti delitelj napona

Induktivni delitelj napona

- Delitelj napona može da se realizuje i pomoću induktivnih elemenata. Induktivni delitelji su veom tačni pošto prenosni odnos im je određen odnosom broja namotaja. Greška opterećenja im je znatno manja nego kod omskih delitelja. Najjednostavnije rešenje je:

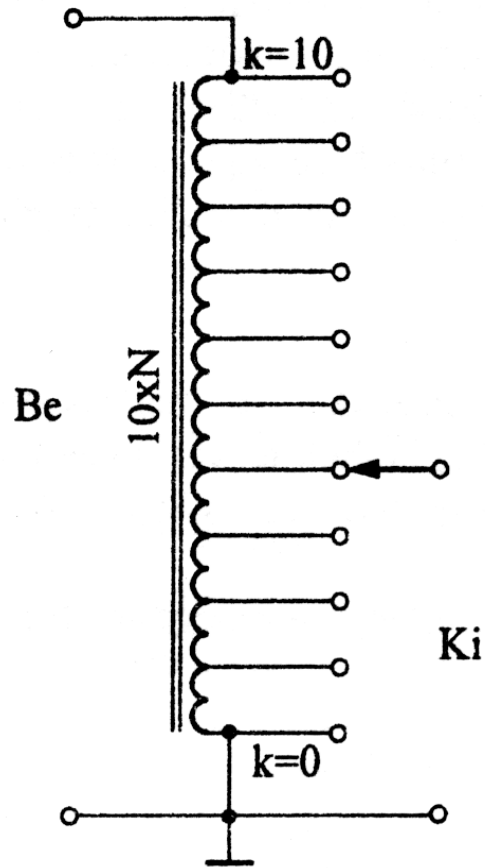


prenosni odnos mu je:

$$H = \frac{N_1}{N_1 + N_2}$$

Induktivni delitelj napona

Induktivni delitelj sa promenljivim prenosnim odnosom i jednom dekadom

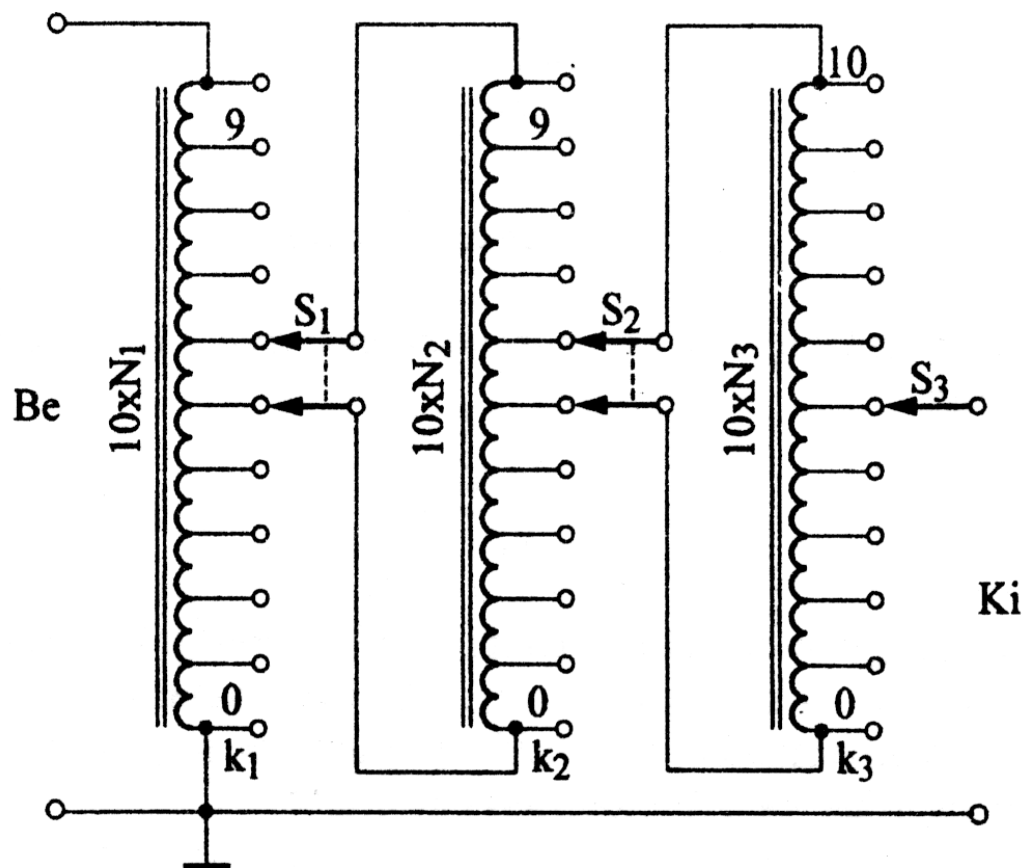


prenosni odnos mu je:

$$H = \frac{k}{10}$$

$$k = 0, 1, \dots, 10$$

Kaskadni induktivni delitelj



prenosni odnos mu je:

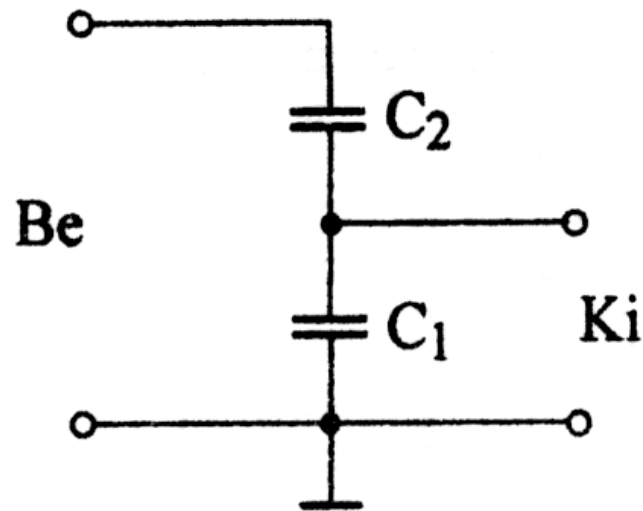
$$H = \sum_{i=0}^3 \frac{k_i}{10^i}$$

$$k_1, k_2 = 0, 1, \dots, 9 \quad k_3 = 0, 1, \dots, 10$$

Kapacitivni delitelji napona

Kod većih napona, kod omskih delitelja javljaju se problemi disipacije, dok kod induktivnih delitelja realizacija potrebno velikog broja navojaka predstavlja poteškoće. U takvim slučajevima kapacitivni delitelji imaju prednosti.

Najjednostavniji oblik kapacitivnog delitelja je prikazan na slici:

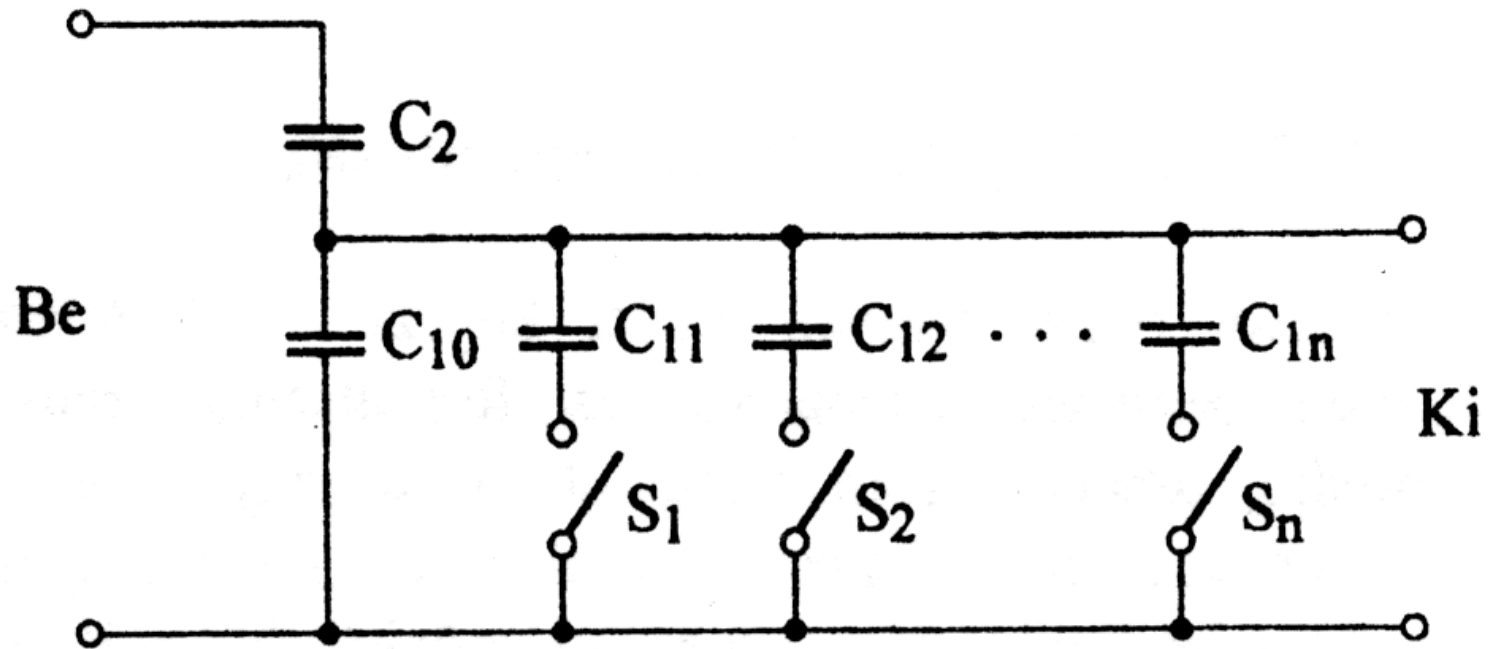


Sl.2.38: kapacitivni delitelj

prenosni odnos mu je:

$$H = \frac{C_2}{C_1 + C_2}$$

Kapacitivni delitelji sa promenljivim prenosim odnosom



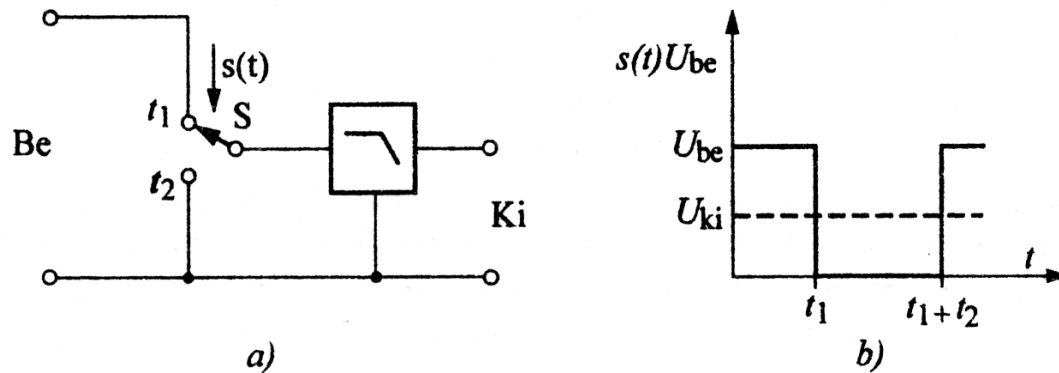
prenosni odnos mu je:

$$H = \frac{C_2}{C_{10} + C_2 + \sum_{i=1}^n k_i C_{1i}}$$

gde je $k_i = 0$ ili 1 a C_{10} je sigurnosni kapacitet koji obezbeđuje minimalno deljenje napona.

PWM delitelj

Modulacijom širine impulsa (PWM) moguće je realizovati precizno deljenje jednosmernog napona. Delitelj se sastoji od prekidača S i niskopropusnog filtera:



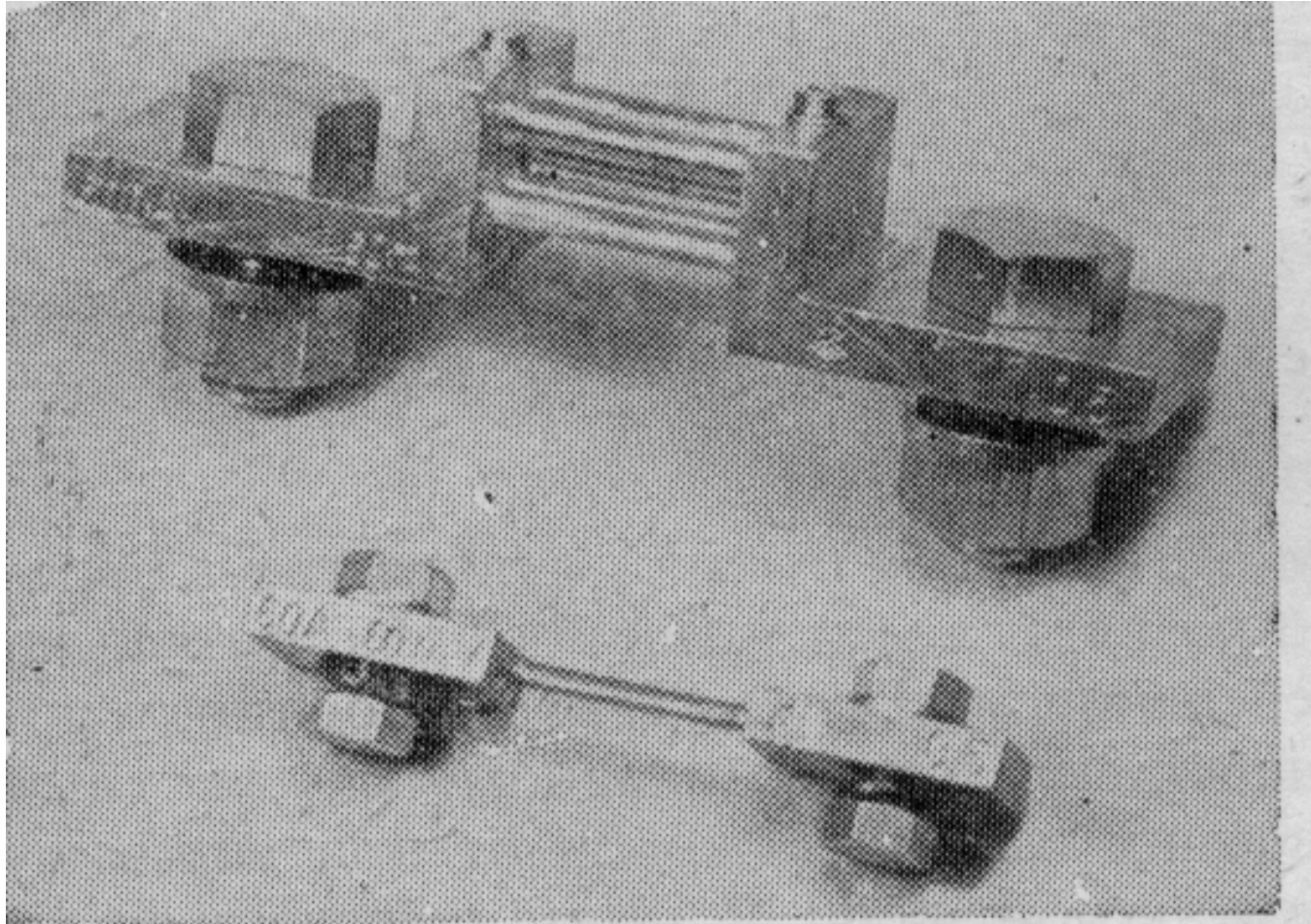
2.41. ábra. PWM-osztó
a) felépítés; b) idődiagram

prenosni odnos mu je
$$H = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

Šant

Šant je otpornost koja je vezana paralelno sa instrumentom, čiji je zadatak, da samo deo merene struje teče kroz instrument

Kod šantova manje otpornosti uvođenje struje može da prouzrokuje neodređeni pad napona na priključcima struje. Da bi eliminisali ovaj nesigurni element na šantovima postoje priključci za uvođenje struje i priključci za priključenje mernog instrumenta.



Merenje napona i struje

Električna merenja se zasnivaju na merenjima struje i napona. Poznato je puno metoda i uređaja za merenje ovih osnovnih veličina, i saznanja o njima su dobro došla (pomažu) prilikom merenja snage, energije, otpornosti, induktiviteta, kapaciteta i uopšteno prilikom merenja impedanse.

Merenje struje i napona moguća je u veoma širokim granicama pomoću raznih instrumenata i pomagala.

Pomoću veoma osetljivih elektrometara moguće je izmeriti struje reda 10^{-17} A odnosno 10 aA. Tako malu struju stvara prolazak 62 elektrona u sekundi, (tako da je i pojam jednosmerne struje diskutabilna u ovom slučaju).

Gornju granicu određuju disipacioni gubici. Sa specijalnim strujnim transformatorima moguće je meriti struje reda 100 kA. Ova struja je tako velika, da bakarna šina dužine 1 m i prečnika 1 dm² stvara disipaciju reda 17,5 kW.

Granice merenja napona se nalaze u intervalu od 10 nV do 1 MV. Merenje veoma niskih napona zahteva instrumente sa velikom selektivnošću, jer nije lako razlikovati mereni signal od termičkog šuma koji može biti reda μ V.

U merenja napona i struje spadaju merenja sledećih karakteristika:

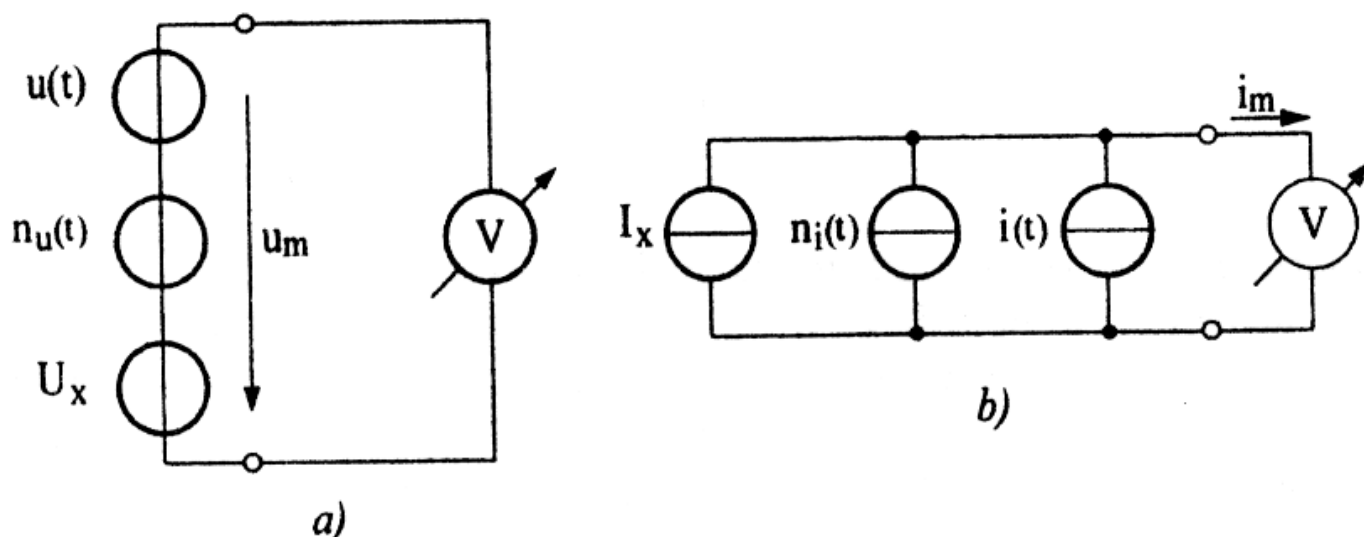
- jednosmerni napon,
- jednosmerna struja,
- srednja vrednost,
- apsolutna srednja vrednost,
- maksimalna vrednost,
- efektivna vrednost,
- trenutna vrednost,
- vektorske komponente i
- spektar frekvencija.

Merenjem bilo koje od ovih karakteristika treba obratiti pažnju na šumove i smetnje koje se javljaju.

Tipovi merača napona i struje

Neintegrirajući merači jednosmerne struje i napona

Instrumenti koji su neintegrirajućeg tipa, mere trenutnu vrednost signala, i zato nisu sposobni da eliminišu smetnje i greške normalnog modusa. Greške i smetnje normalnog modusa mogu se modelirati na sledeći način:



Greške normalnog modusa:

- a) U slučaju naponskih izvora
- b) U slučaju strujnih izvora

U_x predstavlja jednosmerni napon koji se meri dok I_x predstavlja jednosmernu struju koja se meri. Termičke smetnje opisuju funkcije: $n_u(t)$) odnosno $n_i(t)$ dok $i(t)$, odnosno $u(t)$ predstavljaju periodične smetnje. Periodične smetnje potiču najčešće iz mreže i frekvencija im je celobrojni umnožak frekvencije mreže.

Trenutna vrednost merene veličine koja se meri neintegrirajućim instrumentom je:

$$u_m(t_0) = U_x + n_u(t_0) + u(t_0)$$

odnosno

$$i_m(t_0) = I_x + n_i(t_0) + i(t_0)$$

gde je t_0 trenutak uzorkovanja.

Relativne greške u toku merenja mogu se opisati sledećim formulama:

$$G_u = \frac{n_u(t_0) + u(t_0)}{U_x}$$

$$G_i = \frac{n_i(t_0) + i(t_0)}{I_x}$$

Iz ovih jednačina se vidi da relativna greška merenja zavisi od trenutka uzorkovanja, njen mogući maksimum određuju relativne veličine termičkih i periodičnih smetnji u odnosu na merenu veličinu.

Integrirajući merači jednosmerne struje i napona

Instrumenti integrirajućeg tipa, sposobni su da eliminišu smetnje i greške normalnog modusa jer umesto merenja trenutne vrednosti usrednjavaju merenu veličinu u jednom određenom intervalu.

Ovakvi instrumenti posle isteka vremena T_i pokazuju vrednost:

$$X_m = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} x(t) \cdot dt$$

gde je $x(t)$ funkcija signala u vremenu, koja se dovodi na instrument.

Tehnika usrednjavanja može se realizovati na više načina, na primer u slučaju elektromehaničkih instrumenata momentom inercije pokretnog dela, u elektronici niskopropusnim filterom, ili integratorom koji realizuje gornju formulu.

Srednja vrednost signala može se realizovati i uzorkovanjem na sledeći način:

$$X_m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_m(i)$$

gde je : n broj uzorkovanja ,
 $x_m(i)$ vrednost i -tog uzorkovanja

Integrirajući instrumenti potiskuju superponirane greške.
Pretpostavimo da na ulaz instrumenta vodimo samo jedan signal, smetnju sinusnog oblika:

$$x(t) = X_p \sin \omega t$$

sa integrirajućeg instrumenta može se očitati:

$$X_m = \frac{1}{T_i} \int_0^{T_i} X_p \sin \omega t \cdot dt$$

Merači apsolutne srednje vrednosti

Merači apsolutne srednje vrednosti daju signal koji je srazmeran sa apsolutnom srednjom vrednošću periodičnog signala:

$$X_m = \frac{\pi}{2\sqrt{2}} \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| \cdot dt$$

Merači maksimalne vrednosti

Merači maksimalne vrednosti mere pozitivni maksimum, negativni maksimum ili razliku pozitivnog i negativnog maksimuma. Bitno je u toku obrade signala dali merač odvaja jednosmernu komponentu signala ili ne.

Merači efektivne vrednosti

Merači efektivne vrednosti na signal $x(t)$ daju sledeći odziv:

$$X_m = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T x^2(t) \cdot dt}$$

Instrumenti koji mere efektivnu vrednost osetljivi su na superponirane greške.

Pretpostavimo da je na ulaz instrumenta priključen sledeći signal:

$$u_m(t) = u_x(t) + n(t) + u(t)$$

gde je:

- $n(t)$ komponenta šuma, a
- $u(t)$ komponenta periodičnih smetnji.

Uvrštavanjem u jednačinu dobijamo:

$$U_m = \sqrt{U_x^2 + \sigma^2 + U^2}$$

gde je:

- U_x mereni signal
- σ šum čija je očekivana vrednost nula
- U efektivna vrednost periodičnih smetnji.

relativna greška je:

$$G = \frac{U_m - U_x}{U_x}$$

pretpostavljajući male greške u slučaju merenja efektivne vrednosti činimo približno sledeću grešku:

$$G \approx \frac{1}{2} \left(\frac{\sigma}{U_x} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{U}{U_x} \right)^2$$

iz izraza se vidi da prilikom merenja malih signala smetnje mogu postati opasni izvori grešaka.

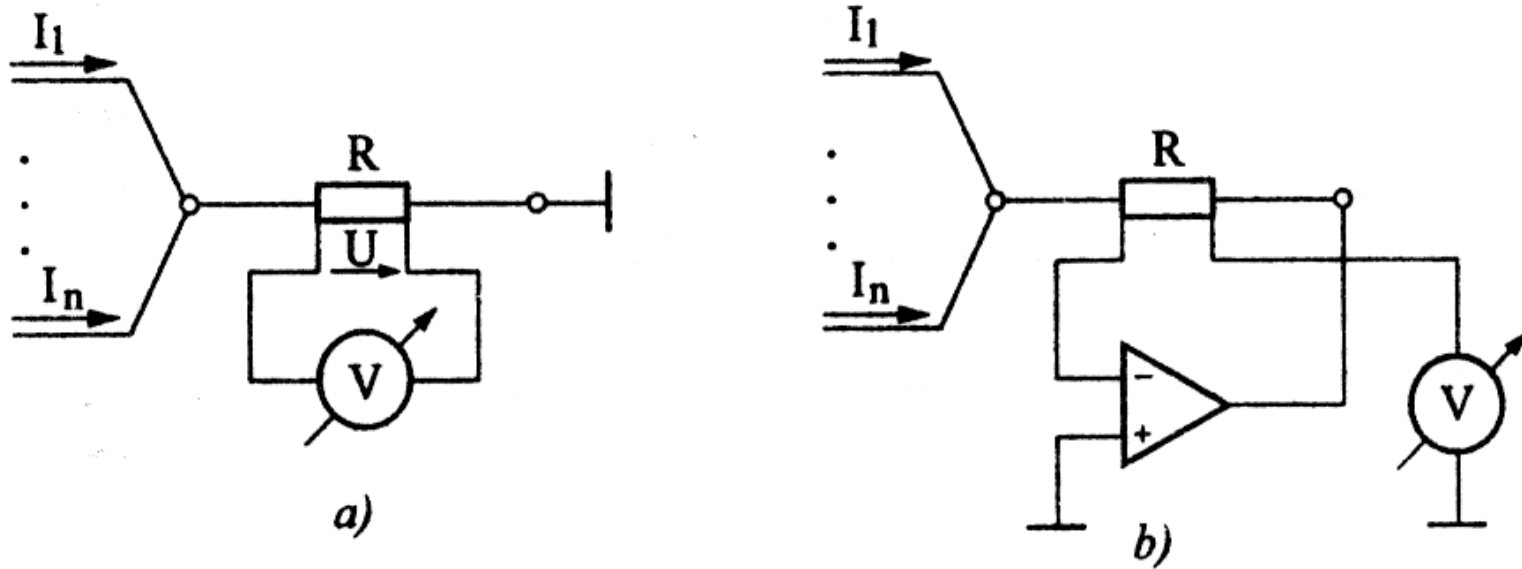
Merači vektorskih komponenti

Merači vektorskih komponenti služe za merenje kompleksnih signala, i rezultat daju predstavljenu ili u Descartesovom ili u polarnom koordinatnom sistemu.

Selektivni instrumenti

Selektivni instrumenti pružaju priliku za obradu (izbor) signala u frekventnom domenu. Ovi instrumenti mogu da popravljaju odnos smetnja-koristan signal tokom merenja. Instrument se ponaša kao jedan podešljivi filter.

Pretvarač struje u napon



2.66. ábra. Ohmos I/U átalakítók
a) passzív; b) aktív

Pretvarač struje u napon služi da proizvede na svom izlazu napon koji je srazmeran ulaznoj struji. Ovo pretvaranje struje u napon može da se obavi na dva načina. Struja može da se pretvori u napon koristeći otpornik a onda se tako dobijeni napon pojačava, ili se struja direktno dovodi na sabirajući ulaz operacionog pojačavača

Izlazni napon pretvarača je:

$$U = R \sum_{i=1}^n I_i$$