

Mérések

8. Előadás

Jelátalakítók

- A jelátalakítók a jel nagyságát vagy megjelenési formáját megváltoztató eszközök. A jelátalakítás célja ennek megfelelően a mérési tartomány kiterjesztése, vagy olyan más formájú jel előállítása, amely az eredeti jelnél alkalmasabb a jelátvitelre vagy a jelfeldolgozásra.
- Az áram és feszültség mérése során általában számos jelátalakításra van szükség. Célszerű ezért a legfontosabb jelátalakítókat még a konkrét mérési módszerek ismertetése előtt méréstechnikai szemlélettel áttekinteni.

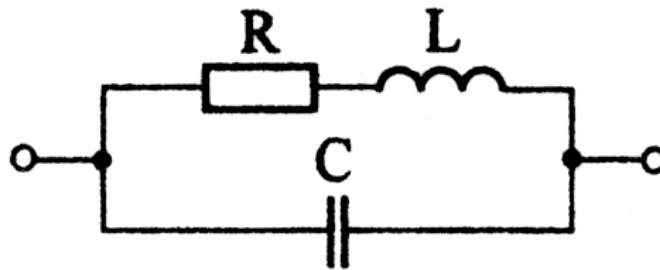
RCL elemek

Az ellenállások, induktivitások és kondenzátorok egyfelől mint jelátalakítók, másfelől mint bonyolultabb jelátalakítók építőelemei jelennek meg a mérés technikában.

A továbbiakban áttekintjük a valós elemek modelljeit.

Ellenállások

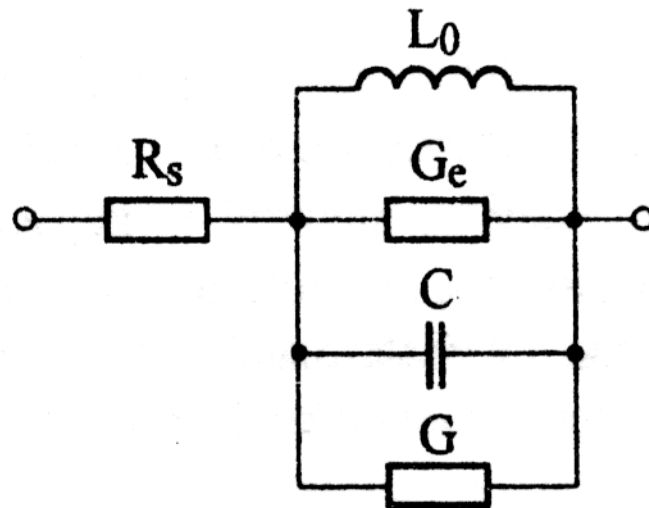
- A modell azt fejezi ki, hogy az ellenállás konstrukciója és a megvalósítás technológiája miatt mindig számolni kell parazita induktivitásokkal és kapacitásokkal különösen pontosabb méréseknél.
- A modellben L a soros induktivitást, C a párhuzamos kapacitást reprezentálja, a koncentrált paraméterű helyettesítőképpen. A model ekvivalens impedanciája frekvenciafüggő (még az ohmos ellenállás is a Szkinhatás miatt).



2.25. ábra. Az ellenállás modellje

Induktivitások

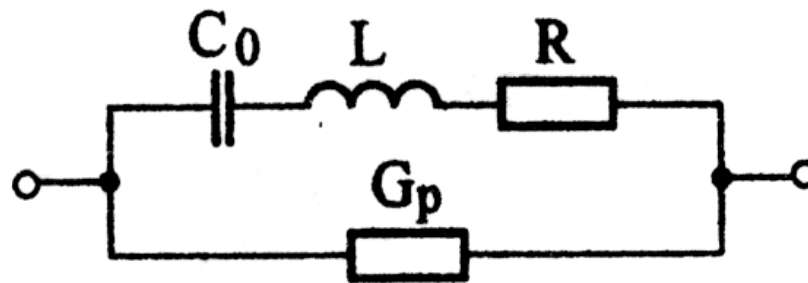
A modellben R_s a soros rézellenállást, G_e a rézvezetőben az örvényáramok okozta veszteséget, C a menetek közötti kapacitást, G pedig a kapacitás dielektrikumában keletkező dielektromos veszteséget jelképezi.



2.26. ábra. Légmagos induktivitás modellje

Kondenzátorok

A modellben R és L az elektródák és a kivezetések ohmos ellenállását, illetve induktivitását, G_p a dielektromos veszteséget és az egyenáramon jeletkező átvezetést reprezentálja, C_0 az egyenáramon értelmezett kapacitás.



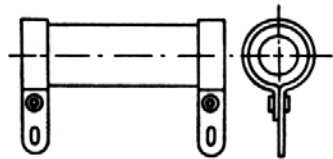
2.27. ábra. A kondenzátor modellje

Mérő ellenállások, kondenzátorok és induktivitások

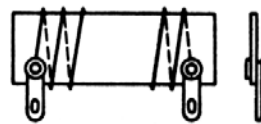
A méréstechnikában széles körben alkalmazzuk a mérő ellenállásokat, kondenzátorokat és induktivitásokat. Szinte minden mérőműszerben megtalálhatóak, mint előtétellenállások, fázisfordítók vagy mint összehasonlítóelemek. A mérés pontossága közvetlenül a felhasznált ellenállások, kondenzátorok és induktivitások pontosságától függ. Ezekről az elemektől elvárjuk, hogy évekig változatlanok maradjanak, hogy a környezet hőmérséklete, nedvessége, a környező tárgyak közelsége valamint a külső mágneses és elektromos terek hatása elenyésző legyen rájuk, hogy a parazita kapacitásuk, ellenállásuk és induktivitásuk minél kisebb legyen, hogy minél "tisztább" ellenállások, kapacitások vagy induktivitások legyenek.

Mérő ellenállások

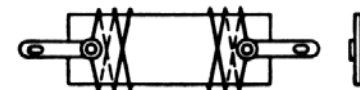
- Az ellenállások gyártásakor használt nyersanyagok kívánatos tulajdonságai: magas fajlagos ellenállás, jelentéktelen hőmérsékleti állandó, alacsony termikus feszültség a rézzel szemben, időbeni állandóság, és ne változzon az ellenállásuk mechanikai terhelés hatására.
- Tekercselés szempontjából megkülönböztetünk: huzalból körkeresztmetszetű testre tekercselt, huzalból lapos keresztmetszetű testre tekercselt, keresztbetekercselt (Ayrton-Perryu), bifilárisan tekercselt ellenállásokat, stb.



Slika 2.3. Žičani otpornik namotan na tijelo okrugla presjeka

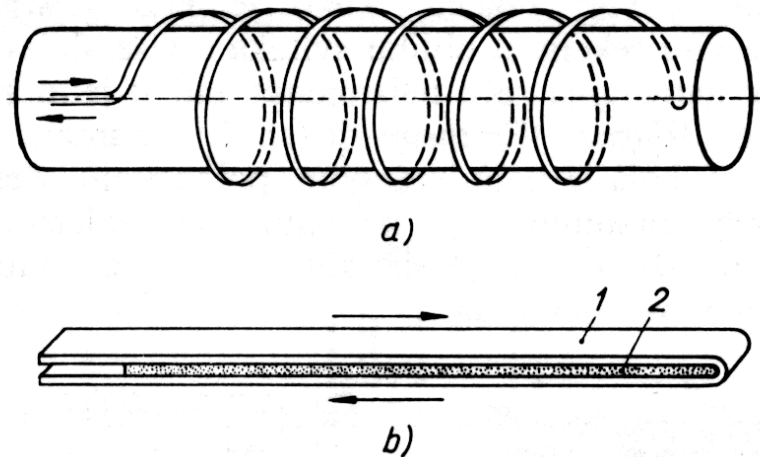


Slika 2.4. Plosnati žičani otpornik



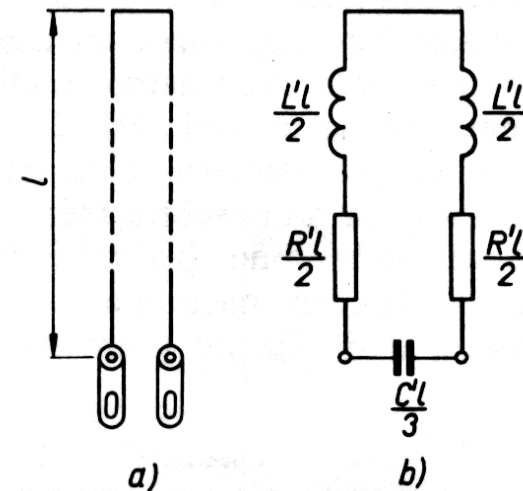
Slika 2.5. Plosnati žičani otpornik unakrsno motan (namatanje prema Ayrton-Perryu)

Laboratóriumi méréseknél gyakran használunk pontos, közös dobozba helyezett ellenálláscsoportokat. Létezik dugaszolós és átkapcsolós kivitelezés.



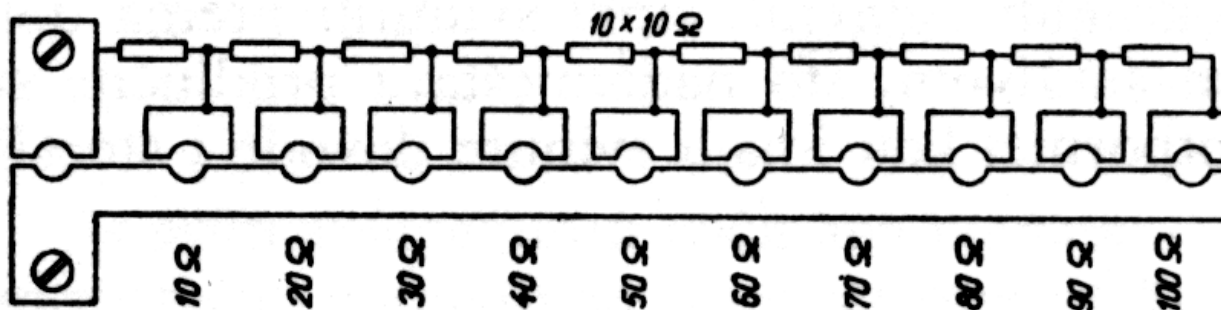
Slika 2.6. Bifilarno motani otpornici: a) s otpornom žicom; b) s otpornim limom za vrlo male iznose otpora

1 manganinski lim; 2 izolacija od tinjca

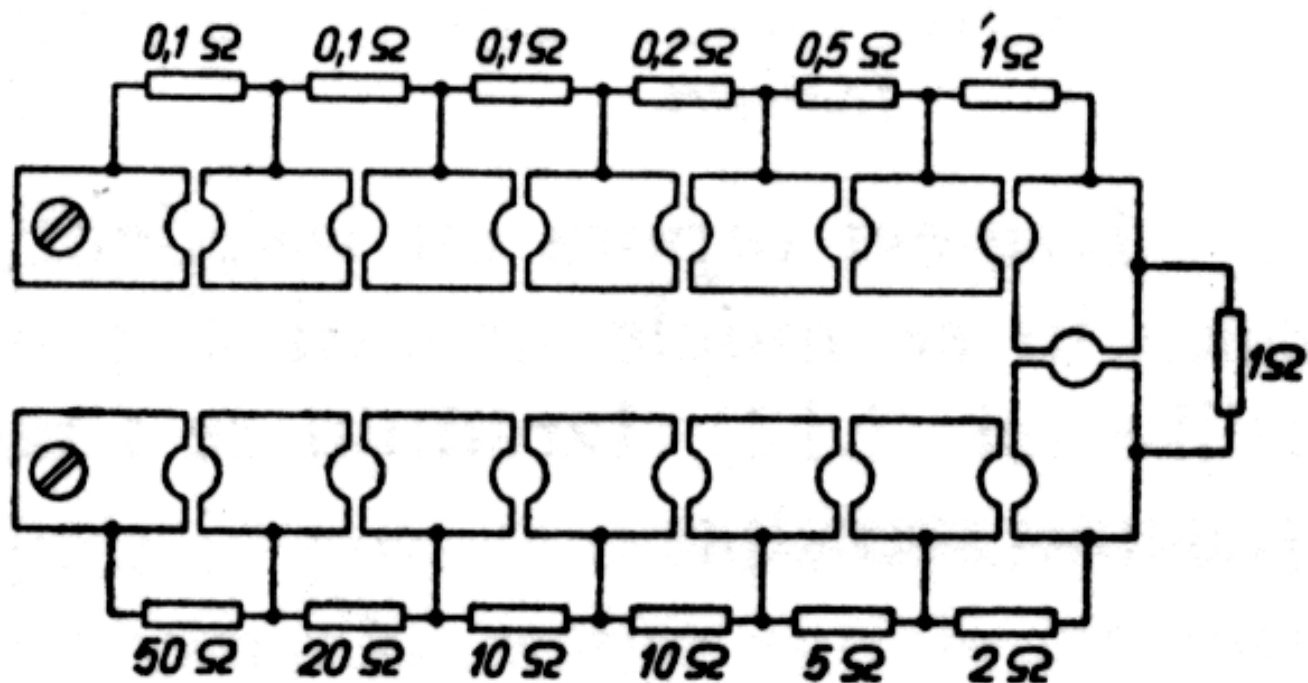


Slika 2.7. Bifilarno motan otpornik: a) prikazan kao dvožilni vod koji je na kraju kratko spojen; b) nadomjesna shema

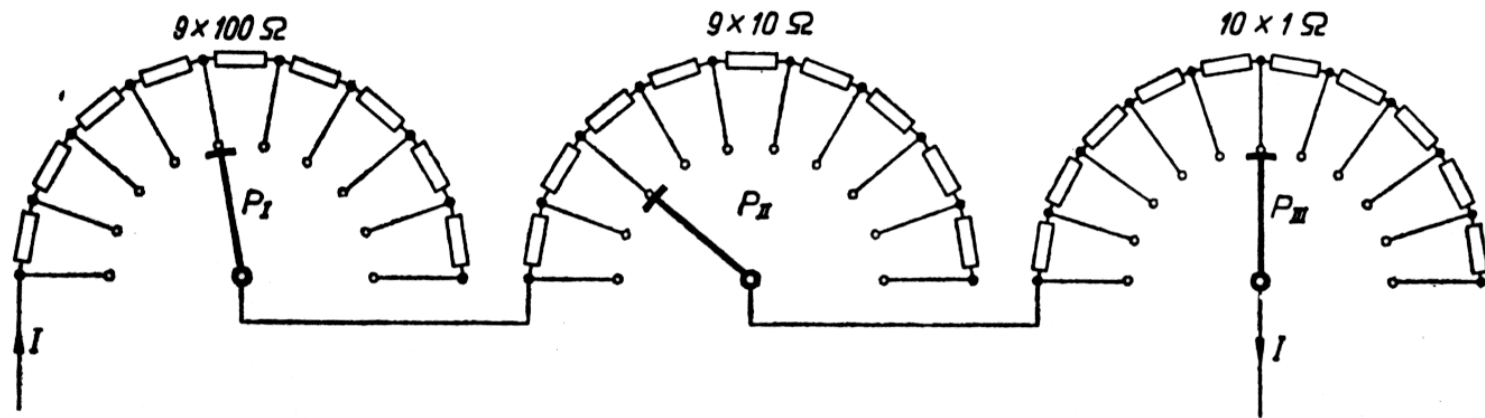
Konstrukciójuk (szerkezetük) szerint megkülönböztetünk:
dugaszos ellenállás dekádát, dugaszos ellenállás csoportot, átkapcsolós ellenállásokat valamint csúszóérintkezős huzalellenállásokat, stb.



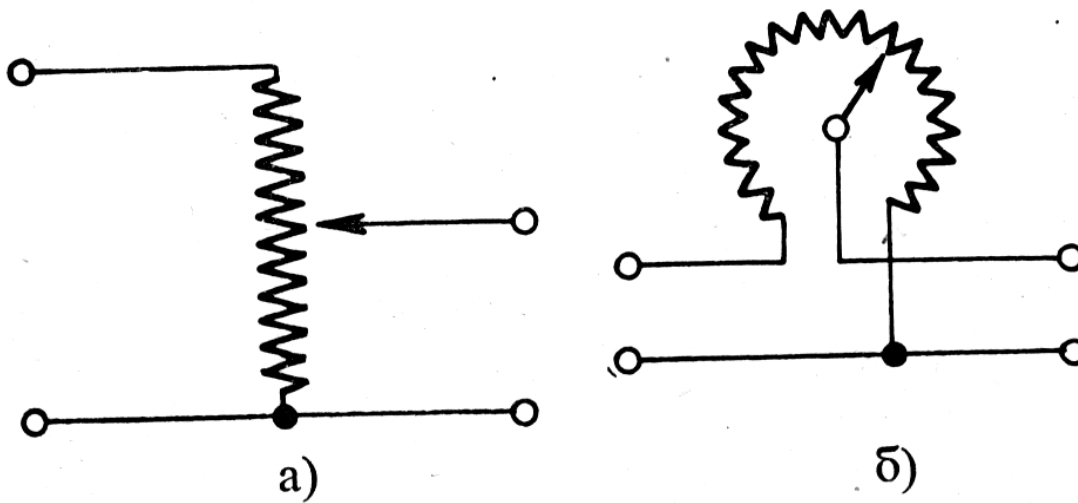
Slika 2.15. Otporna dekada s čepovima

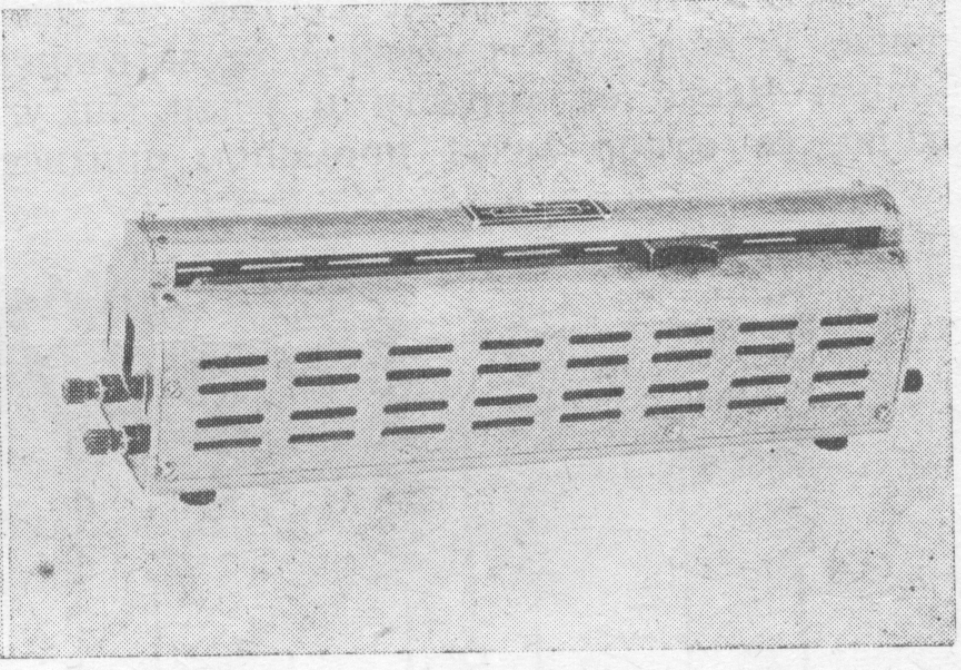
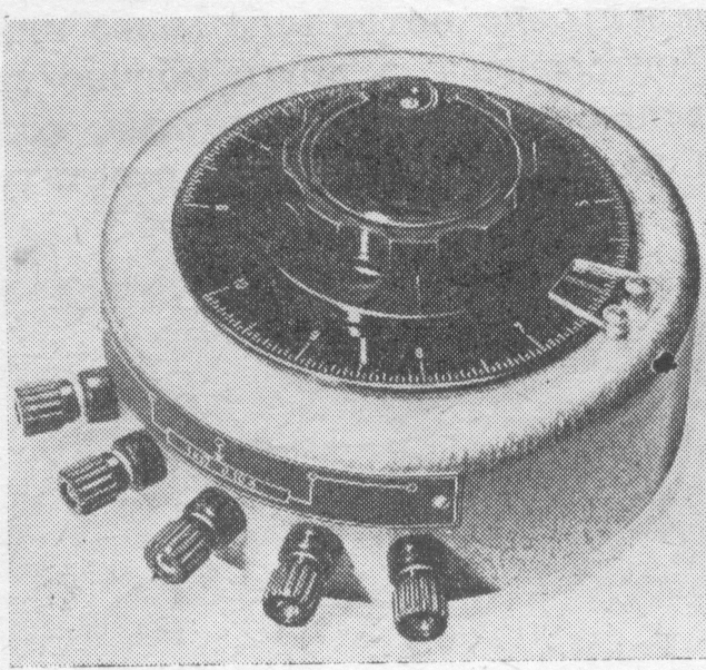


Slika 2.16. Skupina otpornika s čepovima



Slika 2.17. Otpornici s preklopkama

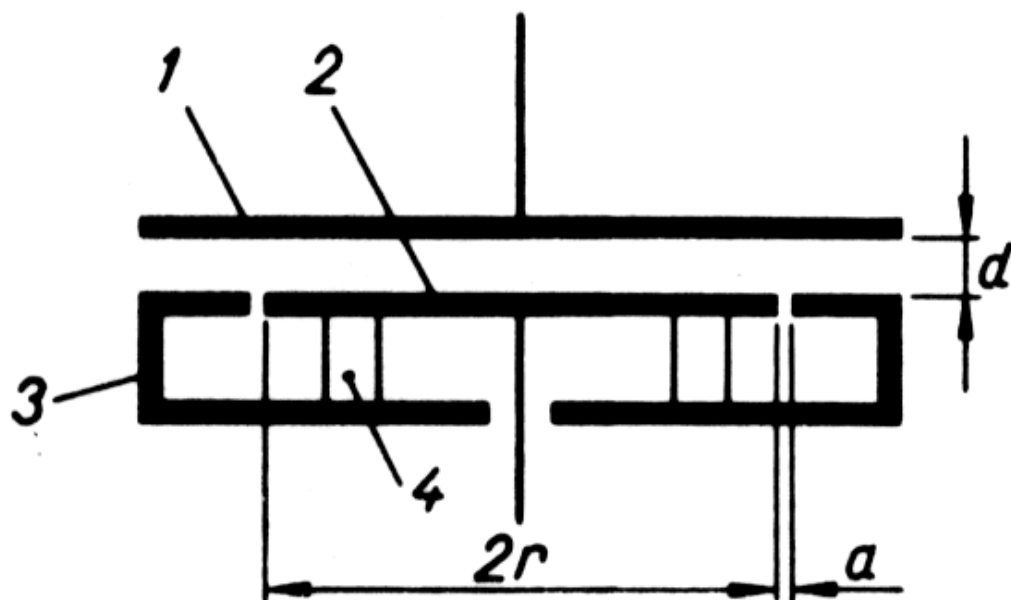




Ср. 22

Mérő kondenzátorok

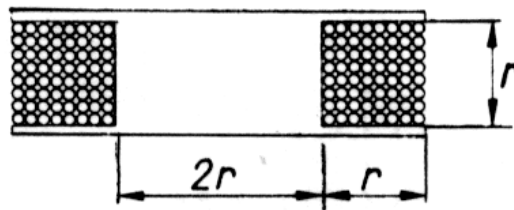
A mérőkondenzátoroktól megköveteljük, hogy a kapacitásukat pontosan ismerjük, az legyen időben állandó, független a hőmérséklettől, feszültségtől és frekvenciától. Továbbá elvárjuk hogy minél „tisztább” kapacitást képezzen, azaz hogy az elektródák (fegyverzetek) között nagy szigetelőellenállást képezzen, jelentéktelen dielektrikum-béli és csatlakozóvezetékeken létrejövő veszteségek mellett, valamint alacsony öninduktivitása legyen.



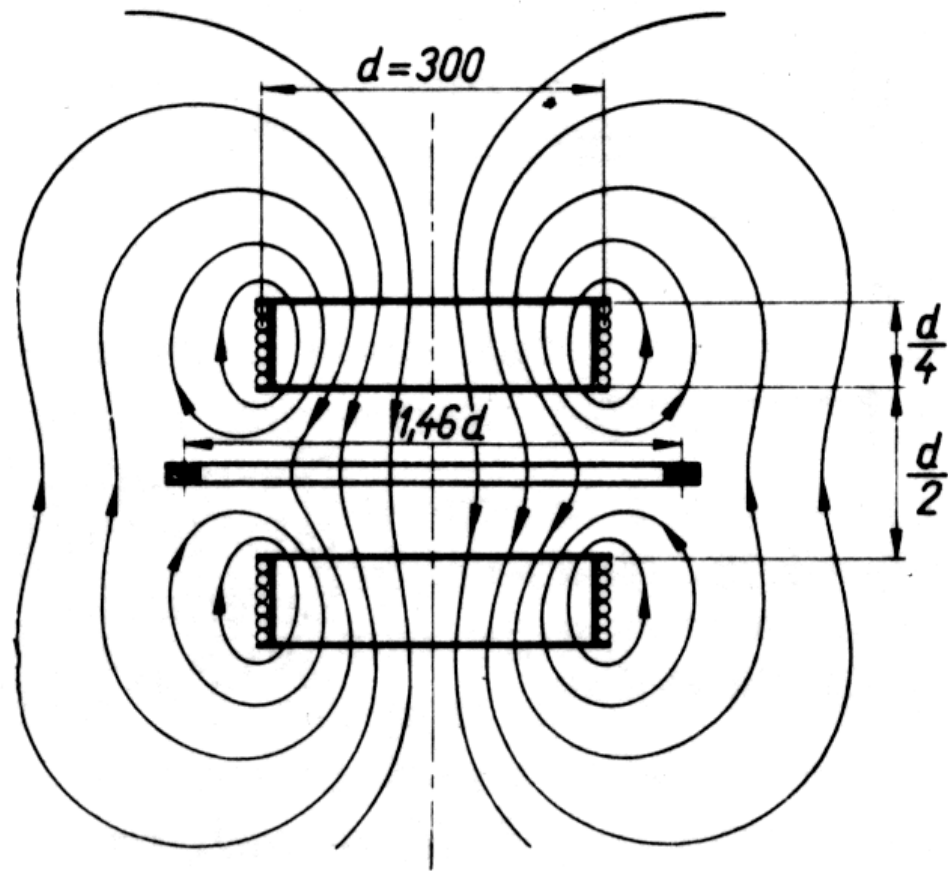
Slika 2.24. Pločasti kondenzator sa zaštitnom elektrodom:
1 i 2 gornja i donja elektroda;
3 zaštitna elektroda; 4 izolator

Mérő induktivitások

Elvárjuk hogy a tekercsek kölcsönös- és öninduktivitása kielégítő pontossággal ismert legyen, hogy ezek a nagyságok állandóak legyenek az idő folyamán, függetlenek a frekvenciától, áramtól, hőmérséklettől és a külső mágneses terektől valamint hogy a kapacitásuk minél kisebb legyen.



Slika 2.29. Upotrebni etalon samoinduktiviteta



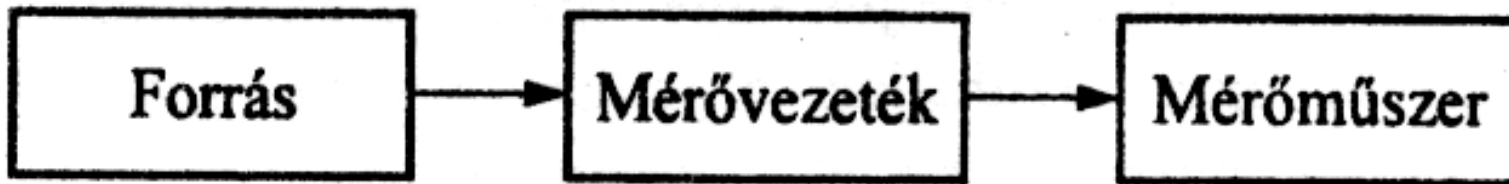
Slika 2.30. Apsolutni etalon među-
induktiviteta, prema Campbellu
($M = 0,01 \text{ H}$)

Mérőhálózatok

A mérőhálózatok szerkezete

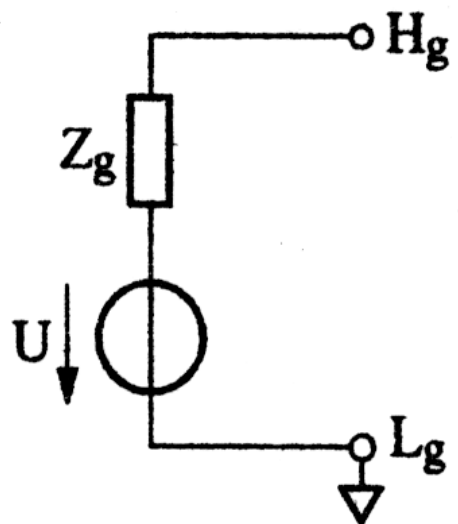
Az áram és feszültség mérése gondosan megtervezett mérőhálózatokat igényel. A mérőhálózat kialakításához a vizsgált objektum tulajdonságait és a zavarforrásokat kell elsősorban figyelembe venni.

A mérőhálózat legegyszerűbb funkcionális modellje a 2.9. ábrán látható, ahol a vizsgált jelforrást egy mérővezeték köti össze a mérőműszerrel.

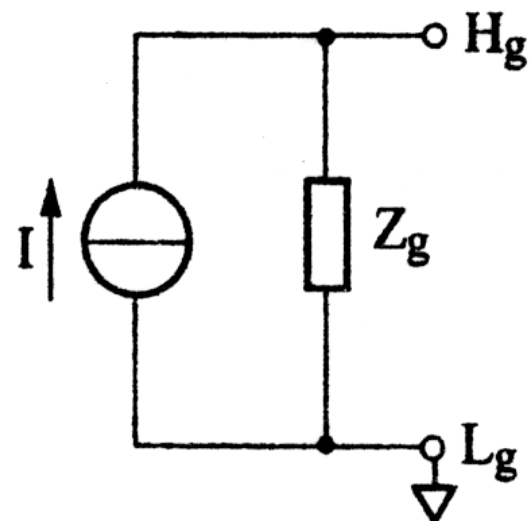


2.9. ábra. A mérőhálózat funkcionális modellje

Vegyük sorra a mérőhálózat legfőbb egységeit. Elsőként vizsgáljuk meg, miként modellezhető a vizsgált jelforrás. A forrásmodell feszültségforrás és áramforrás esetén a 2.10. ábrán látható. Mindkét esetben a földelt forrás Z_g belső impedanciájú.



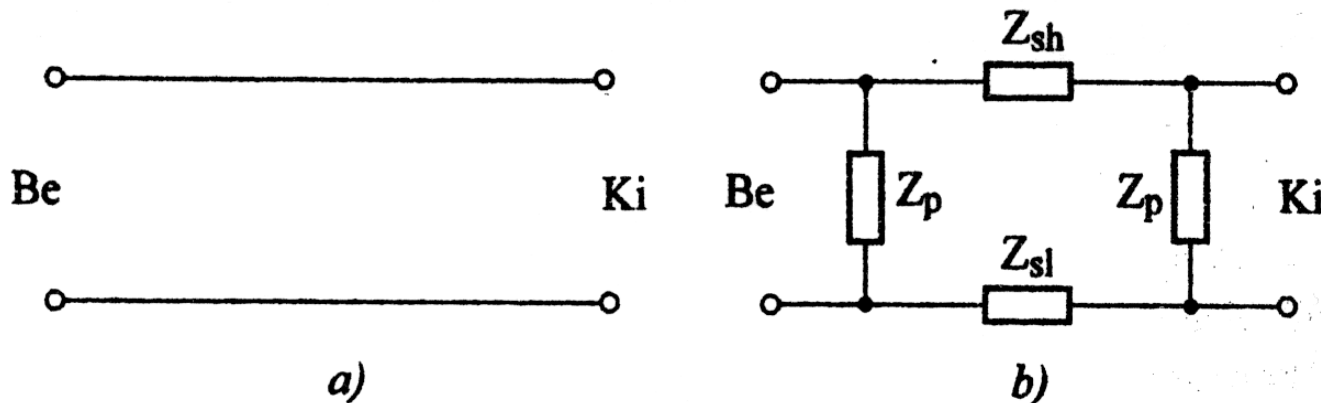
a)



b)

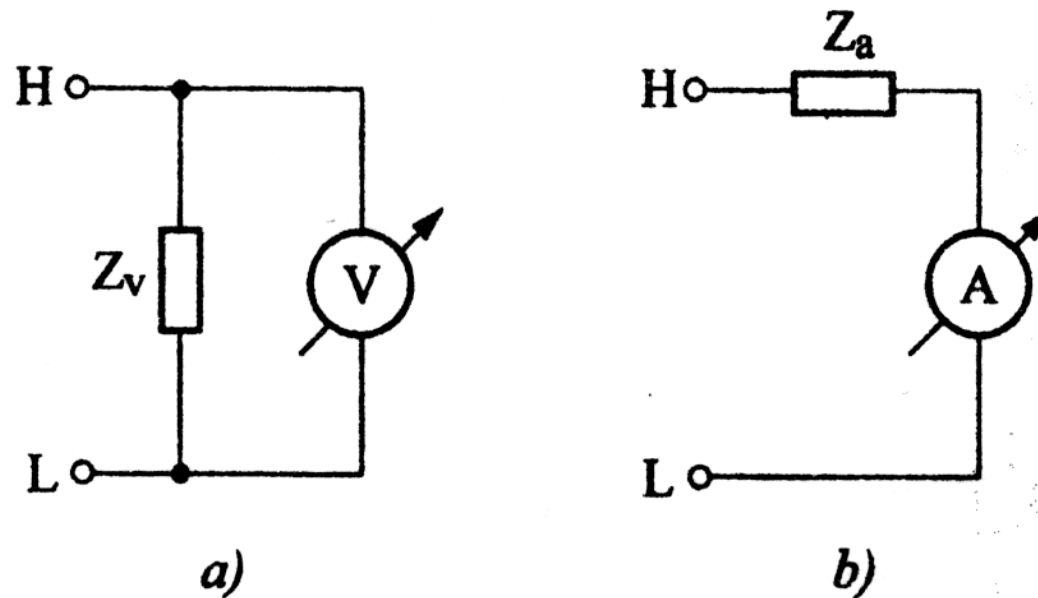
2.10. ábra. Forrásmodellek
 a) feszültségforrás; b) áramforrás

A forrást és a mérőműszert összekötő mérővezeték ideális esetben hibátlanul viszi át a bemenetre kerülő áram- illetve feszültségjeleket. Reális esetben, a mérővezeték soros és párhuzamos impedanciái miatt a ki- és bemeneti áramok, illetve feszültségek eltérőek, és az eltérés frekvenciafüggő. A hiba számítására, becslésére jól használható a lenti modell.



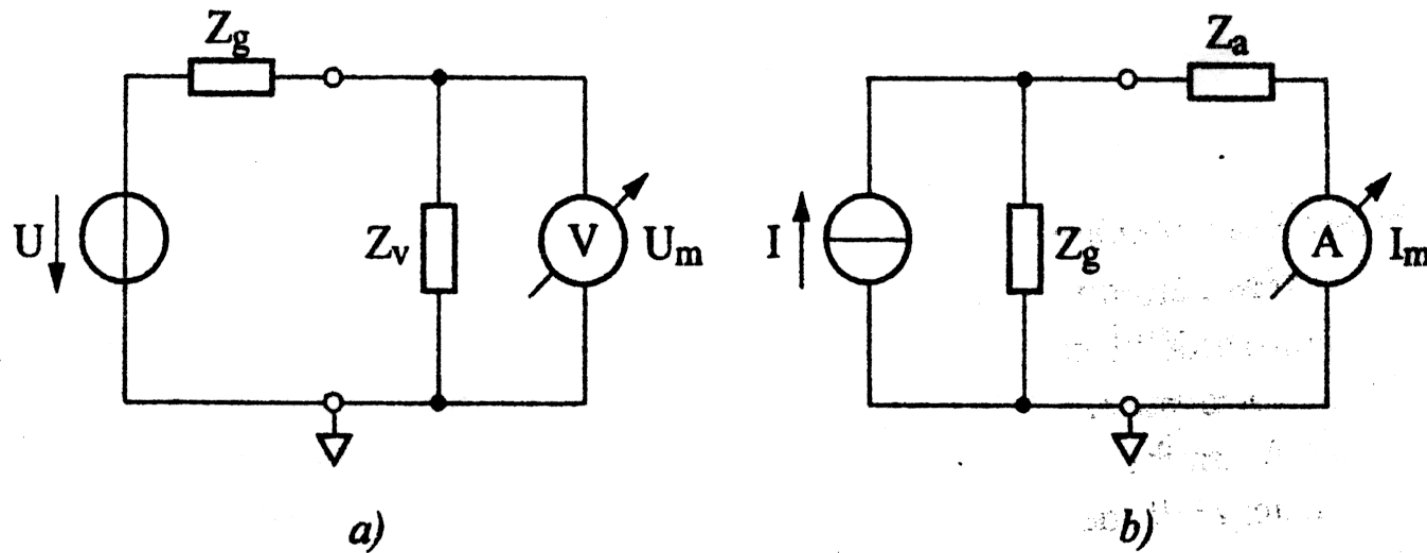
2.11. ábra. A mérővezeték modellje
a) ideális; b) reális esetben

- A mérőműszerek legegyszerűbb modellje a 2.12. ábrán látható. Mindkét esetben a műszerek belső impedanciáját kiemelve, ideális volt- illetve ampermérőt képzelünk el. Az ideális voltmérőnek végtelen nagy, az ideális ampermérőnek pedig nulla belső impedanciája van.



2.12. ábra. Műszermodellek
 a) voltmérő; b) ampermérő

- Ideális mérővezetékkel összekötve a forrást és a mérőműszert, a terhelési hiba számítására alkalmas modellhez jutunk. (2.13. ábra)



2.13.) Terhelési hiba
 a) feszültség; b) árammérés esetén

A mérhető, rendszeres hibával terhelt feszültség, illetve áram a következő összefüggésekkel adható meg:

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

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

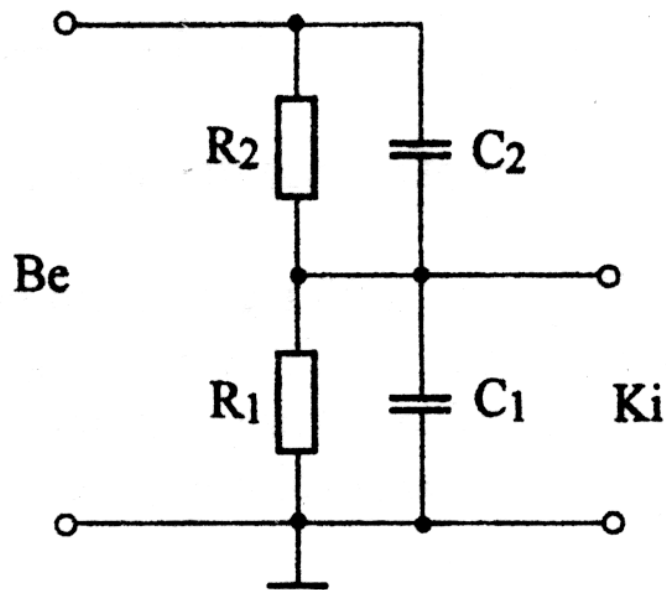
Ideális voltmérő, illetve ideális ampermérő esetén a terhelési hiba 0

Ohmos osztók

A feszültségosztókat a méréshatár kiterjesztésére lehet használni. Az osztók alapvető követelménye, hogy jól definiált, fázistolásmentes átviteli tényezőjük legyen. Fontos, bár nem kívánatos jellemzőjük az átviteli tényező frekvencia-, feszültség-, hőmérséklet- és terhelésfüggése.

A feszültségosztót a műszer belső ellenállásánál jóval kisebb ellenállással célszerű építeni, mert ekkor a leosztás aránya nem függ a műszer belső ellenállásától. A feszültségosztó áramfelvétele a műszer áramának sokszorososa, ezért csak kisfogyasztású (nagy bemenő ellenállású, elektronikus) műszerek esetében használható. A feszültségosztók alkalmazását korlátozza az, hogy velük a mérőműszer fémes kapcsolatban van a mérendő hálózattal, ezért nagy feszültség esetén (1000 V felett) nem használhatók.

Az ohmos elemekből felépített legegyszerűbb osztó a 2.29. ábrán látható ahol C_1 és C_2 a szórt, párhuzamos kapacitásokat reprezentálja.



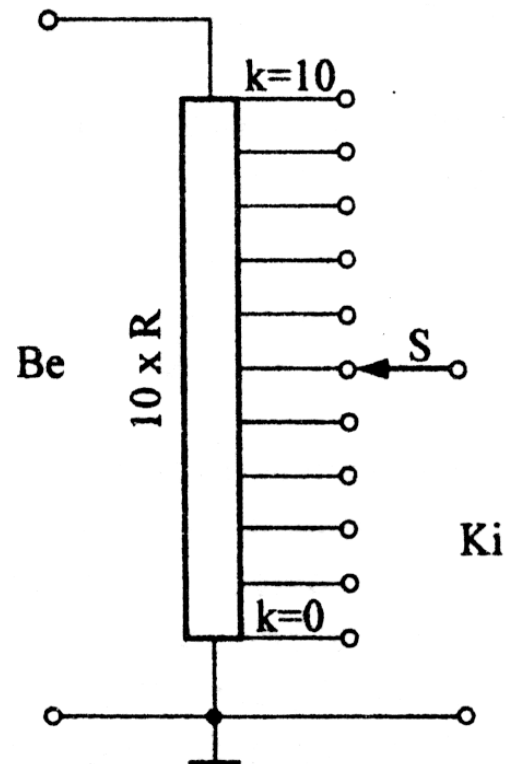
2.29. ábra. Ohmos feszültségosztó

Az osztó átviteli tényezője, feltételezve hogy az alsó és felső tag RC időállandója azonos, a következő egyszerű alakban adható meg:

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

Nagyfeszültségű kivétel esetén az R_2 ellenállás nagy kiterjedése miatt az ellenállás és a föld között fellépő szórt kapacitás már nem hanyagolható el, emiatt jelentős fázishibával kell számolni.

A gyakorlatban sokszor igény az osztásviszony
változtathatósága

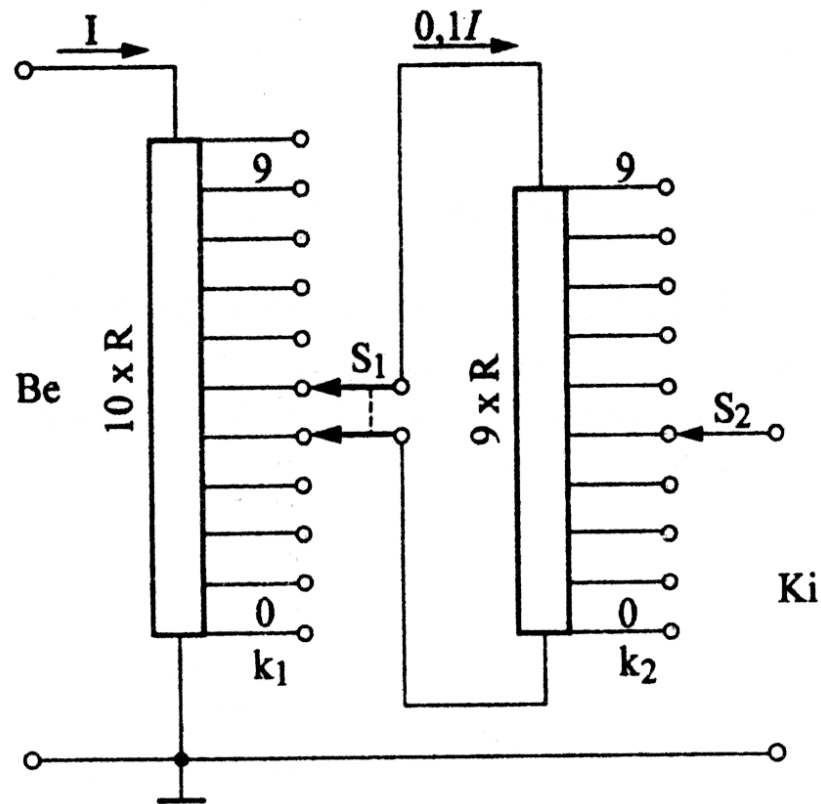


$$H = \frac{k}{10}$$

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

2.31. ábra. Változtatható ohmos osztó

Kaszád (feszültség) osztó

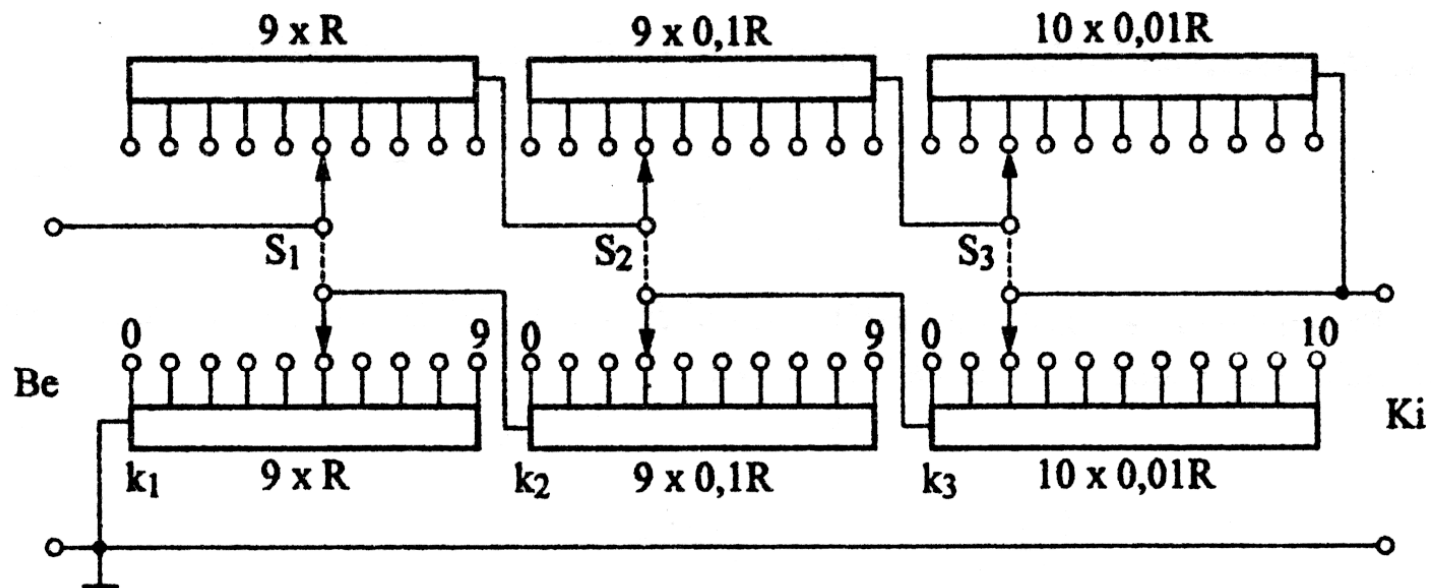


$$H = \frac{100}{99} \sum_{i=0}^2 \frac{k_i}{10^i}$$

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

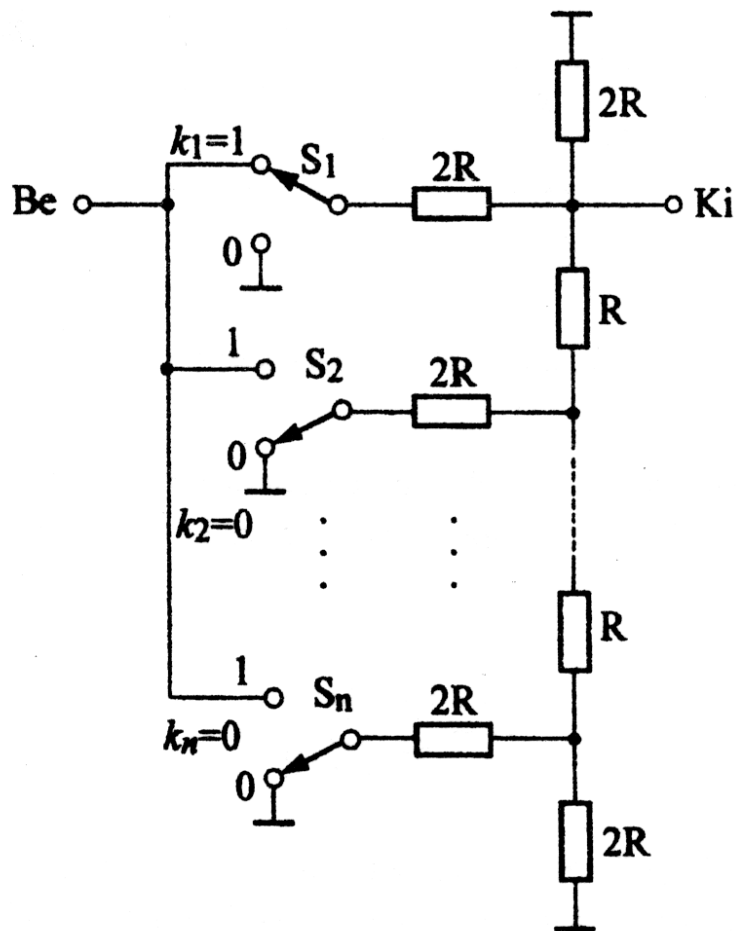
2.32. ábra. Ohmos kaszkádosztó

A 2.33. ábrán háromdekádos soros osztó látható, amelynek lényeges tulajdonsága hogy az alsó és felső kapcsolók együttfutása folytán állandó bemeneti ellenállású. Ezen tulajdonsága miatt az osztó árama független a kapcsolók pozíciójától.



2.33. ábra. Soros ohmos osztó

Létrahálózatos R-2R feszültségosztó



az átviteli tényező:

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

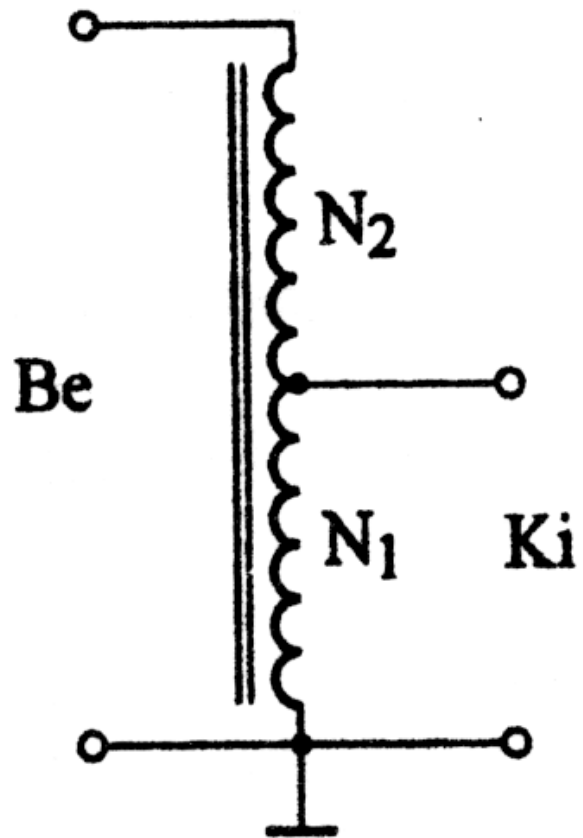
$k_i = 0$ vagy 1 ,

a kapcsolók beállításától függően.

2.34. ábra. Létrahálózatos feszültségosztó

Induktív osztók

A feszültségosztás induktív eszközökkel is megvalósítható. Az induktív osztók kimagasló pontosságúak, miután az átviteli tényezőjüket a menetszámok aránya szabja meg. Működési elvükből adódóan terhelési hibájuk jóval kisebb mint az ohmos osztóké. A legegyszerűbb, vasmagon elhelyezett megcsapolt tekercsből álló induktív osztó a 2.35. ábrán látható.

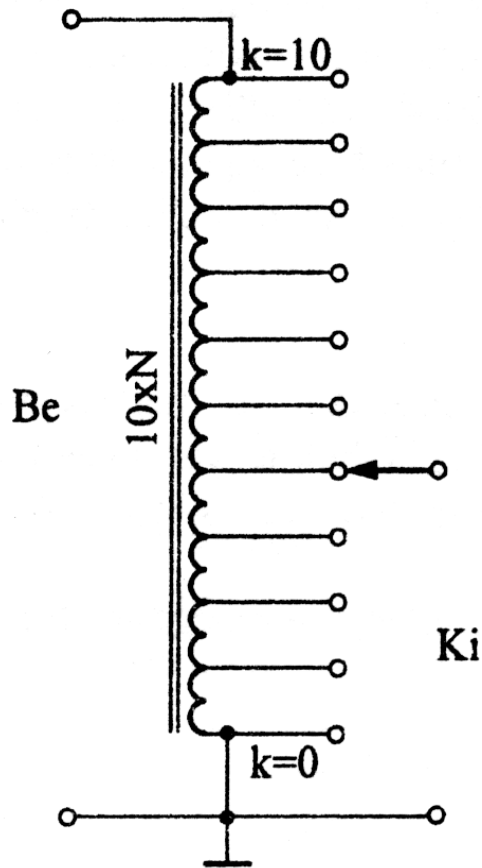


ideális esetben
az átviteli tényező:

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

2.35. ábra. Induktív osztó

Változtatható átviteli tényezőjű, egydekádós induktív osztó



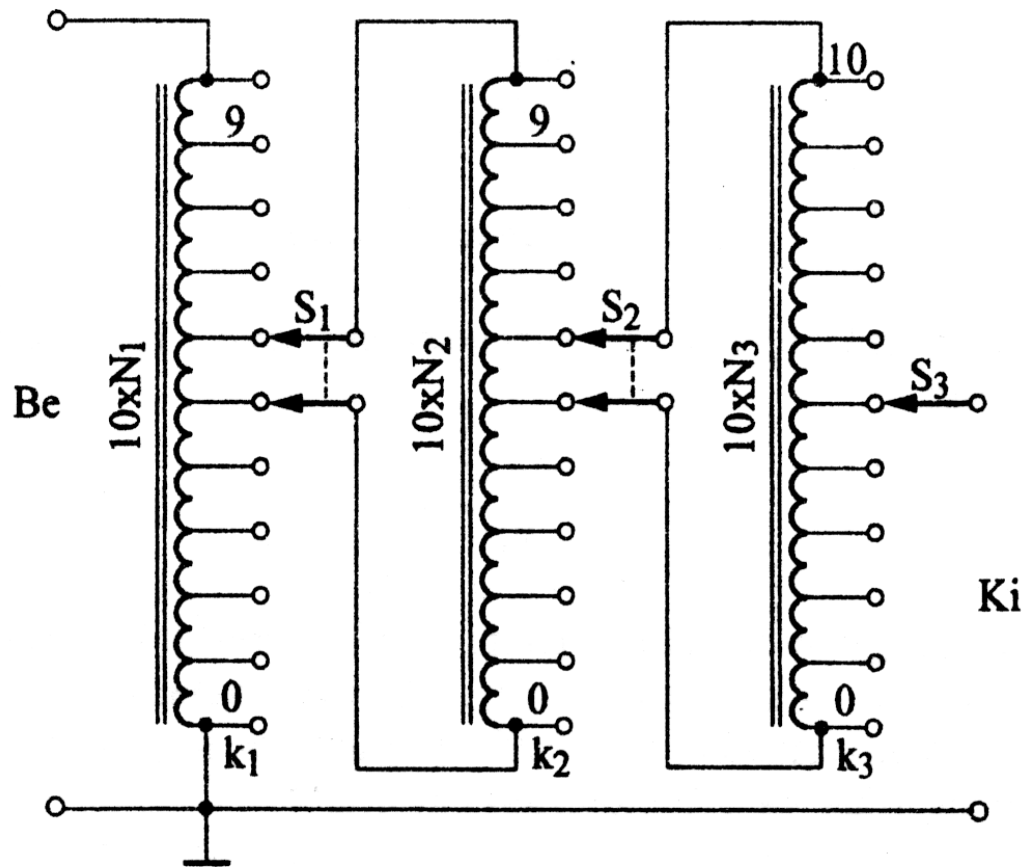
az átviteli tényező:

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

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

2.36. ábra. Változtatható induktív osztó

Kaszád kivitelű induktív osztó



2.37. ábra. Induktív kaszkádosztó

az átviteli tényező a kapcsolók beállításától függően:

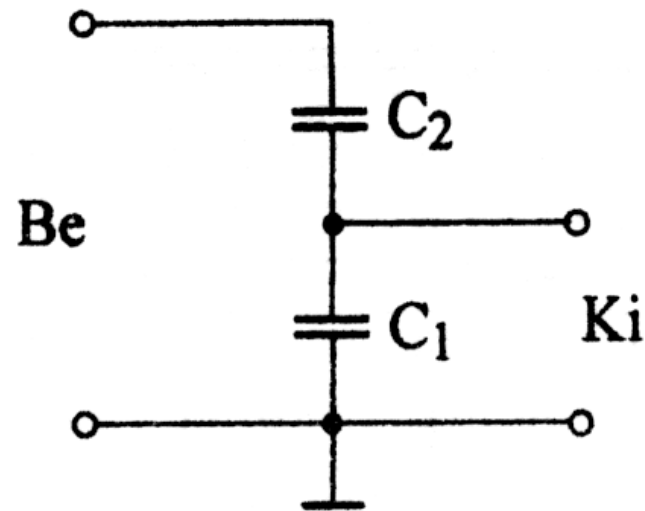
$$H = \sum_{i=0}^3 \frac{k_i}{10^i}$$

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

Kapacitív osztók

Nagyobb feszültségek osztása esetén az ohmos osztónál disszipációs problémák merülnek fel, míg az induktív osztóknál a szükséges nagy menetszámok megvalósítása akadályokba ütközik. Ilyen esetekben előnyös a kapacitív osztó.

A kapacitív osztó legegyszerűbb formája a következő ábrán látható:

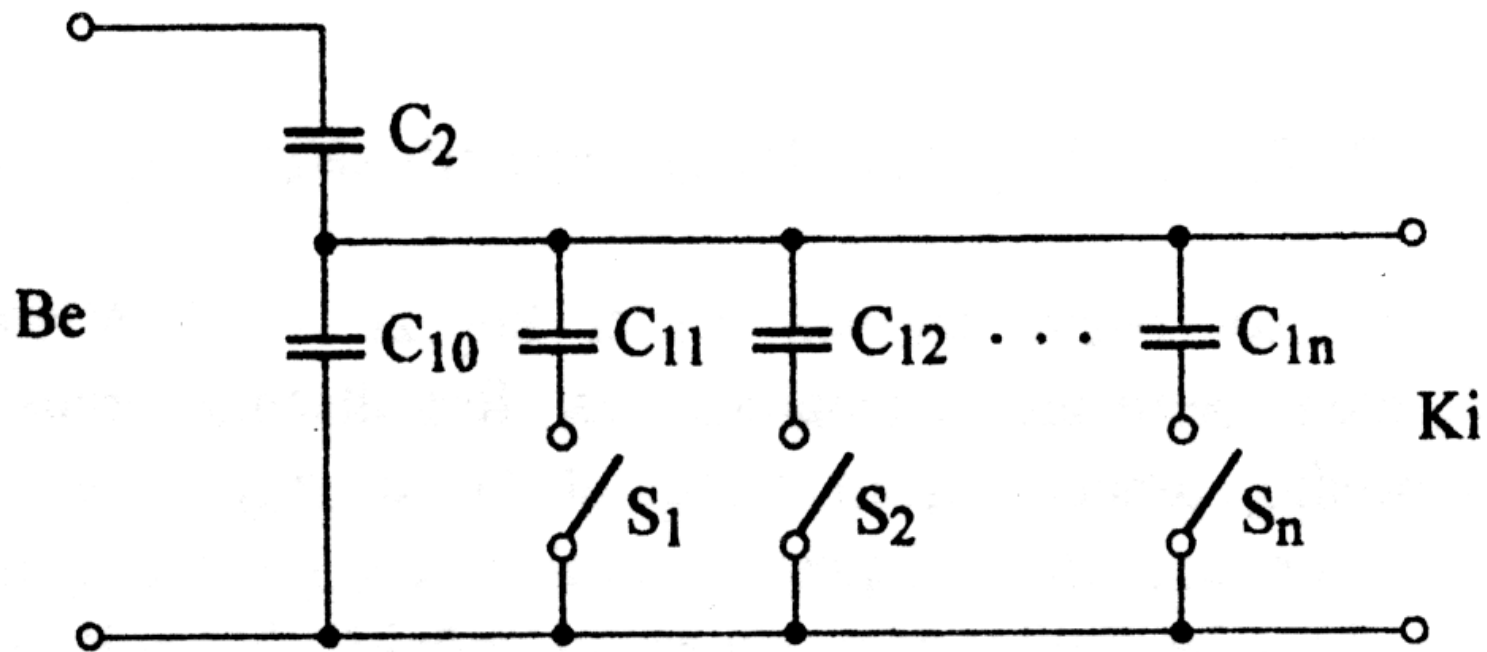


2.38. ábra. Kapacitív feszültségosztó

az átviteli tényező:

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

Változtatható átviteli tényezőjű kapacitív osztók



2.39. ábra. Változtatható kapacitív osztó

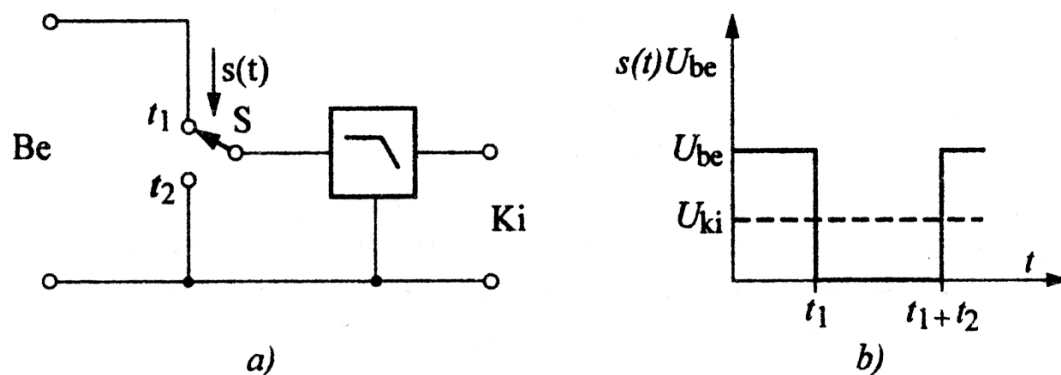
az átviteli tényező:

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

ahol $k_i = 0$ vagy 1 , C_{10} pedig a minimális feszültségosztást biztosító biztonsági kapacitás.

PWM osztó

Pulzusszélesség moduláció (PWM) alkalmazásával precíz egyenfeszültség-osztásra nyílik lehetőség. S kapcsolóból és aluláteresztő szűrőből felépített PWM osztó látható a 2.41. ábrán:



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

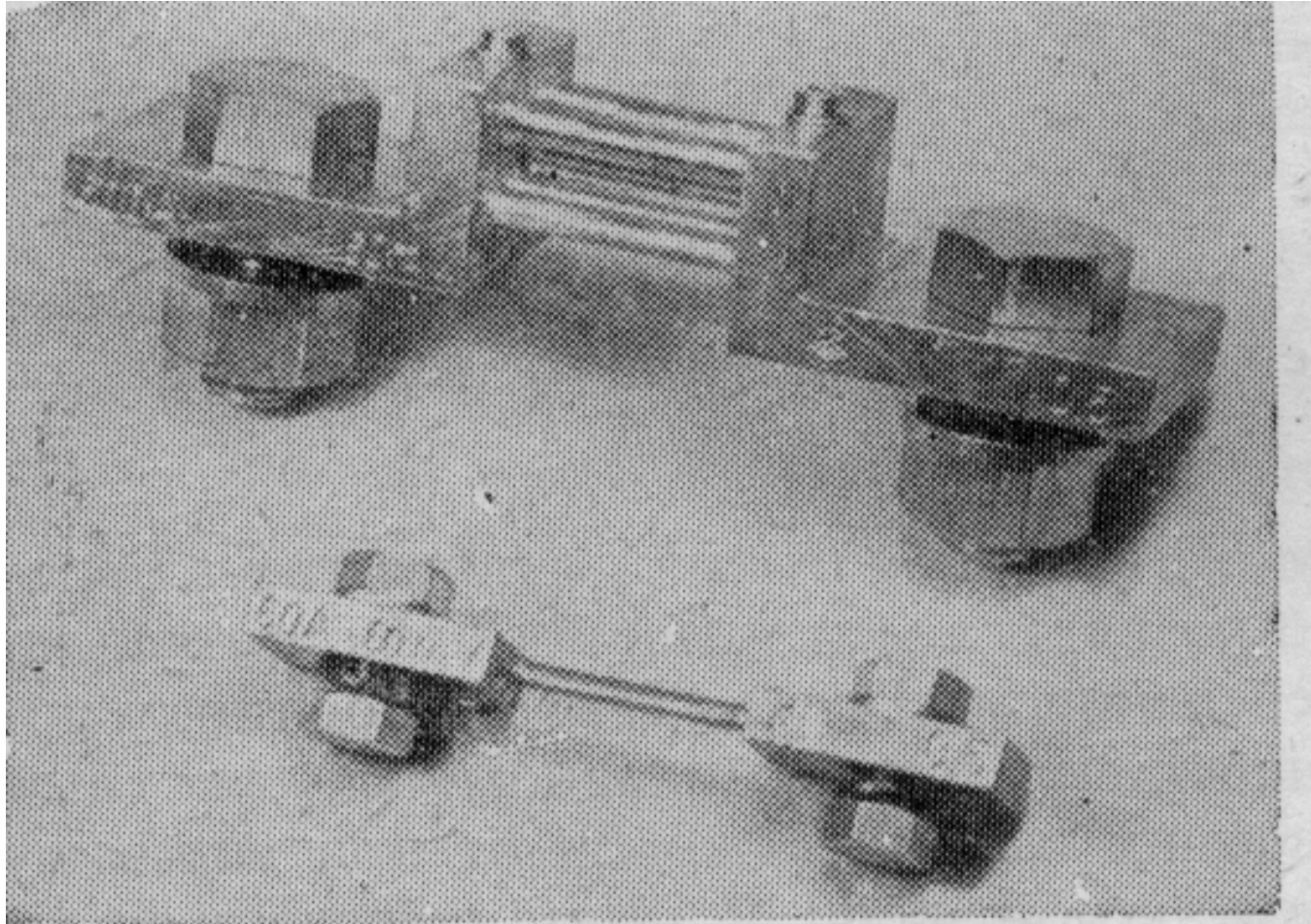
az átviteli tényező:

$$H = \frac{t_1}{t_1 + t_2}$$

Sönt

A sönt a műszerrel párhuzamosan kapcsolt ellenállás, amelynek az a rendeltetése, hogy a műszeren, a mérendő áramnak, csak kicsiny ismert hányada folyjon keresztül.

Kis ellenállásértékű söntöknél (1 ohm alatt) az áram bevezetés bizonytalan nagyságú átmeneti ellenállásainak megkerülésére ezeket külön árambevezető kapcsokkal és a feszültség levétele céljából külön definíciós kapcsokkal látják el. A sönt névleges értéke a definíciós kapcsok között mérhető. A kapcsok szokásos jelölése I és U.



Az áram és feszültség mérése

A villamos mérések áram és feszültség mérésén alapulnak. Igen sok módszer és eszköz ismert ezen alapmennyiségek mérésére. Ismeretük segítséget nyújt a teljesítmény, energia, ellenállás, induktivitás, kapacitás valamint az impedancia mérésénél.

Az áram és feszültség mérése különböző műszerek illetve eszközök segítségével igen széles tartományban lehetséges

Az érzékeny elektrométerek például 10 aA azaz 10^{-17} A nagyságú áramok mérésére is képesek. Ilyen kis áramot másodpercenként 62 elektron hoz létre, amely olyan töltésáramlást jelent, hogy már az egyenáram fogalmának értelmezése is problémát jelent.

Az árammérés felső határa többek között disszipációs nehézséget támaszt. Speciális áramváltókkal 100 kA nagyságú áramok is mérhetők. Ez olyan nagy áram, amely az 1 m hosszú, 1 dm^2 keresztmetszetű tömör rézrúdban 17,5 kW disszipációt hozna létre.

A feszültségmérés szélső határai: 10 nV tól 1 MV. Az ilyen kis feszültség kiszűrése a termikus zajból nagy szelektivitású mérőműszert igényel, mivel a termikus zaj szintje elérheti a μV nagyságrendet.

Az áram és feszültség mérésének tárgykörébe a következő jellemzők mérése tartozik:

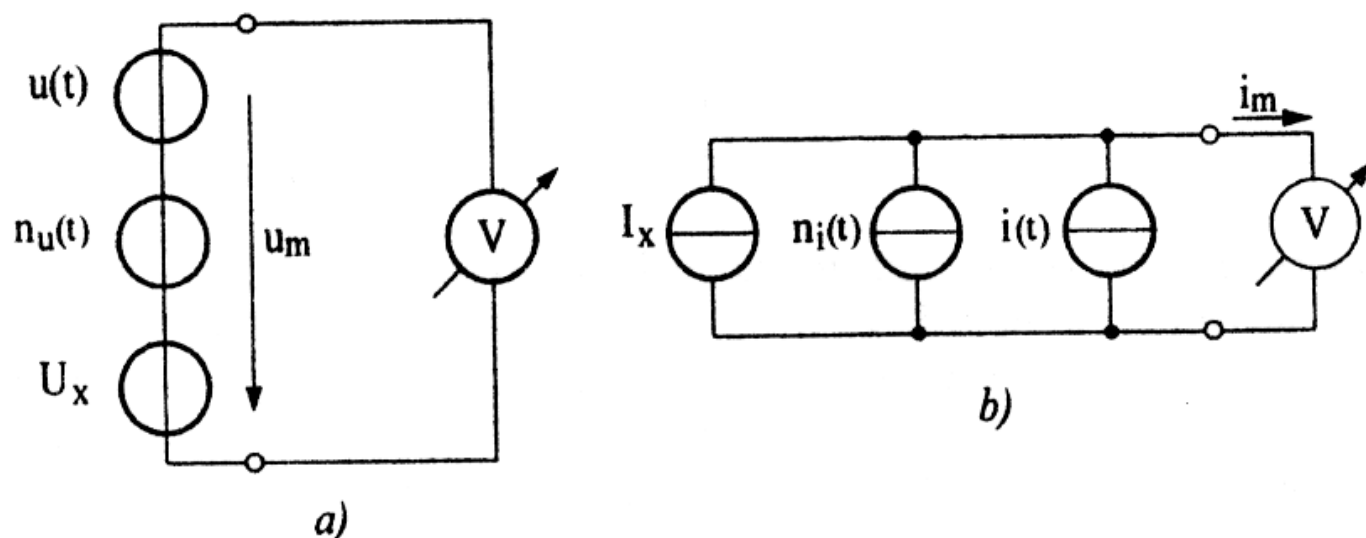
- egyenfeszültség,
- egyenáram,
- középérték,
- abszolút középérték,
- csúcsérték,
- effektív érték,
- pillanatérték,
- vektorkomponensek és
- frekvenciaspektrum.

Bármely jellemző méréséről is legyen szó, különös gondot kell fordítani a külső és belső eredetű zajok elleni védekezésre.

Az áram- és a feszültségmérők típusai

Nemintegráló DC-mérő

A nemintegráló típusú műszerek a jel pillanatértékét mérik, ezért a szuperponált (normál módusú) zavarok elnyomására alkalmatlanok. A normál módusú zavarok modellezési lehetőségeit a következő ábra mutatja.



2.4. ábra. Normál módusú zavarok
 a) feszültségforrások, b) áramforrások esetén

U_x a mérendő egyenfeszültséget, I_x a mérendő egyenáramot jelöli. A termikus eredetű zajokat $n_u(t)$ illetve $n_i(t)$ írja le, míg $i(t)$, illetve $u(t)$ a periódikus zavarokat reprezentálja. A periódikus zavarok többnyire a villamos hálózatból származnak, frekvenciájuk a hálózati frekvencia egész számú többszöröse.

A nemintegráló műszerekkel mért t_0 időpontbeli pillanatérték a következő formában adható meg:

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

illetve

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

ahol t_0 a mintavétel időpontja.

A feszültség illetve áram mérésében elkövetett relatív mérési hibák a következő összefüggésekkel adhatók meg:

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

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

Az összefüggésekből látható, a relatív mérési hiba a mintavétel időpontjától függ és lehetséges maximumát a termikus zajok, valamint a periodikus zavarok mérendő mennyiséghez képesti nagysága szabja meg.

Integráló DC-mérő

Az integráló típusú DC-mérők képesek a szuperponált (normál módusú) zavarok elnyomására, mert a pillanatérték mérése helyett meghatározott ideig átlagolják a mérendő jelet. Az ilyen típusú műszerek a T_i integrálási idő eltelte után

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

éréket mutatnak, ahol $x(t)$ a műszerre jutó jel időfüggvénye

Az átlagolás technika igen sokféleképpen valósítható meg, például elektromechanikus műszerek esetén a lengőrész tehetetlenségi nyomatékával, az elektronikában aluláteresztő szűrőkkel, vagy a fenti képletet megvalósító vezérelt integrátorokkal.

A mérednő jel középértéke mintavételezéssel, digitális úton is meghatározható, a következők szerint:

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

ahol: n a mintavételek száma,
 $x_m(i)$ az i -edik mintavételi érték

Az integráló típusú műszerek a periódikus zavarokat is elnyomják. Tételezzük fel, hogy a műszer bemenetére csak egyetlen jel, a szinuszos zavarjel jut:

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

az integráló műszer kijelzése:

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

Az abszolútközépérték-mérők

Az abszolútközépérték-mérők a periodikus jel abszolút középértékével arányos számértéket jelenítenek meg, a következők szerint:

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

Csúcsértékmérők

A csúcsértékmérők a jel pozitív csúcsértékét, negatív csúcsértékét vagy pedig a kettő összegét (csúcstól csúcsig) mérik. Fontos gyakorlati szempont, hogy a mérés során a jel egyenkomponensét leválasztják-e.

Effektívérték-mérők

Az effektívérték-mérők $x(t)$ periodikus jelre a következő választ adják:

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

Az effektív értéket mérő műszerek érzékenyek a szuperponált (normál módusú) zavarokra.

Ezen problémát megvizsgálandó, tételezzük fel hogy a műszer bemenetére a következő jel jut:

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

ahol:

- $n(t)$ a zajkomponens
- $u(t)$ a periodikus zavarkomponens

Behelyettesítve a következő egyenletet kapjuk:

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

ahol:

- U_x a mérendő jel
- σ nulla várható értékű zaj
- U a periódikus zavarjel effektív értéke

a relatív hibát:

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

formában definiálva és kis hibákat feltételezve, az effektív érték mérésében elkövetett relatív hiba közelítőleg a következő:

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

Az eredményből látható, kis szintek mérésénél a zajok, zavarok veszélyes hibaforrássá válhatnak

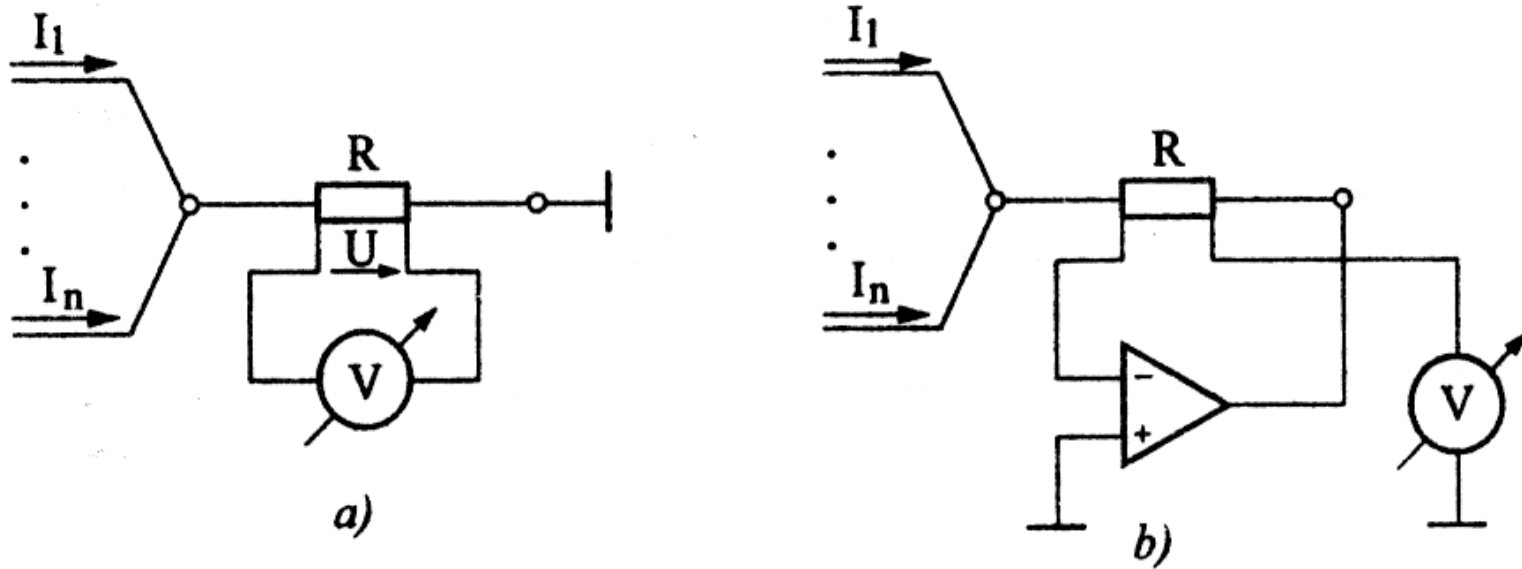
Vektormérők

A vektormérők komplex jelek mérésére használhatók és az eredményt derékszögű vagy polárkoordináta rendszerben értelmezve szolgáltatják.

Szelektív műszerek

Szelektív műszerek segítségével a jelek frekvenciatartománybeli feldolgozására nyílik lehetőség. Ilyen eszközökkel kiszűrhetjük vagy legalábbis elnyomhatjuk a szuperponált zavarokat, zajokat, azaz javíthatjuk a zaj/jel viszonyt. A műszer egy hangolható szűrő funkcióját tölti be

Áram-feszültség átalakítók



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

Áram-feszültség átalakítók feladata hogy a kimenetükön a bemenő árammal arányos feszültséget hozzanak létre. Ez az átalakítás két módon jöhet létre: az áram egy ellenálláson feszültséggé alakul ami utána tovább erősíthető, vagy az áramo(ka)t közvetlenül egy műveleti erősítő bemenetére vezetjük.

Az átalakító kimenő feszültsége:

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