
ELEKTRONIKAI TECHNIKUS KÉPZÉS

2 0 1 3

ELEKTROTECHNIKA I.

EGYENÁRAMÚ HÁLÓZATOK

ÖSSZEÁLLÍTOTTA
NAGY LÁSZLÓ
MÉRNÖKTANÁR

Tartalomjegyzék

Elektrotechnika tárgya és helye a tudományok között.....	3
Elektrotechnikai jelölések, mértékegységek, prefixumok.....	4
Elektrotechnikai alapfogalmak	4
Kétpólus fogalma, megadása, csoportjai.....	7
Elektrotechnika alaptörvényei	8
Az ellenállás	9
Az ellenállás meghatározása a vezető geometriai méreteiből	10
Az ellenállás hőmérséklet függése.....	11
Technikai ellenállások.....	11
Ellenállások hálózatai.....	12
Ellenállás hálózatok egyenértékű átalakítása	14
Aktív kétpólusok.....	15
Generátorok teljesítmény viszonyai.....	17
Energiaforrások hálózatai.....	19
Feszültségosztó	20
Áramosztó.....	21
Hídkapcsolás.....	22
Hálózatszámítási tételek	23
Hálózatszámítási módszerek.....	27
Méréshatár bővítés	30
A villamos áram hőhatása	32
Vezetékek méretezése	34
A villamos áram vegyi hatása.....	35

Elektrotechnika tárgya és helye a tudományok között

A fizika részterülete a villamosságtan, mely a villamos jelenségek általános törvényszerűségeit vizsgálja. A villamosság a villámlás szóból származik és az elektromossággal szinonim fogalom. Az elektromosság a görög eredetű elektron szóból ered, ami magyarra fordítva borostyánt jelent. Az ókori görögök észrevették, hogy egy borostyánt száraz anyaggal dörzsölve apró tárgyakat, porszemeket, gyapjúsálakat vonz magához. Azt is megfigyelték, hogy Magnesia hegységről származó kövek és vasdarabok között erőhatás lép fel. A kövek fellelési helyének nevéből ered a mágnes szavunk. A két jelenség részletesebb kutatására a 17. - 18. században került sor. A mai villamos ismereteinkhez jelentősen hozzájárultak:

Otto Guericke (1602-1686) szikra előállítására alkalmas dörzselektromos gép,
Franklin Benjamin (1706-1790) villámhárító felfedezése,
Luigi Galvani (1737-1798) elektrofiziológia alapjainak felfedezése,
Alessandro Volta (1745-1827) tartósan terhelhető galvánelem feltalálása,
Georg Simon Ohm (1787-1854) ohm törvény felállítása,
Gustav Kirchhoff (1824-1887) csomóponti és huroktörvény felállítása,
André-Marie Ampère (1775-1836) elektrodinamika alapjainak felállítása
Hans Christian Oersted (1777-1851) elektromágnesesség alapjainak felállítása
Michael Faraday (1791-1867) elektromágneses indukció felfedezése,
James Clerk Maxwell (1831-1879) villamos és mágneses terek matematikai leírása
Heinrich Hertz (1857-1894) villamos és mágneses terek közötti kapcsolat leírása.
Joseph John Thomson (1856-1940) az elektron létezésének bizonyítása

A villamosságtan vizsgálati módszerei:

- megfigyelés
- kísérletezés
- mérés
- törvényszerűség szóbeli megfogalmazása
- törvényszerűség matematikai megfogalmazása

Az elektrotechnika a villamos jelenségek technikai hasznosításával foglalkozó tudomány. A kapcsolódó tudományok: fizika, kémia, matematika, informatika.

Az elektrotechnika két csoportra osztható az áramot vezető közeg alapján:

ÁLTALÁNOS ELEKTROTECHNIKA

villamos áram a fémekben
villamos áram a folyadékokban
villamos áram a gázokban

ELEKTRONIKA

villamos áram a vákuumban
villamos áram a félvezetőkben

Elektrotechnikai jelölések, mértékegységek, prefixumok

Az elektrotechnikában és az elektronikában is az egyes fizikai jellemzőket, mennyiségeket a magyar, esetenként a görög ábécé betűivel jelöljük. Valamely mennyiséghez egyezményesen hozzárendelt betű, a mennyiség jele vagy dimenziója (pl. az erő jele az F betű). A dimenzióegyenlet egy matematikai kifejezés, amely egy adott mennyiség más mennyiségektől való függését mutatja be (pl. $B=\Phi/A$). A sokféle mennyiség miatt előfordul, hogy ugyanazt a betűt többször is használni kell (pl. Q-val jelöljük a töltést, a meddő teljesítményt és a jósági tényezőt). Az is előfordul, hogy egy mennyiséget több dimenzió jelöl (pl. út jele az s, a hosszúság jele az ℓ és távolság jele a d). A mértékegység egy mennyiség egyezményesen elfogadott és alapnak tekintett értéke (pl. az idő mértékegysége a másodperc, algebrai alakban [t]=sec). Magyarországon 1980. jan. 1.-től kötelező az SI nemzetközileg elfogadott mértékegység rendszer, mely 7 alap (hosszúság, tömeg, idő, áramerősség, hőmérséklet anyagmennyiség és fényerősség), illetve 2 kiegészítő (szög és térszög) mennyiségből áll. Előfordul, hogy számítással vagy méréssel meghatározott mennyiség túl nagy, vagy túl kicsi az alapegységhez viszonyítva. Ilyenkor a könnyebb kezelhetőség céljából ún. normál alakban, azaz az értékes számjegyek és 10 egész számú pozitív vagy negatív kitevőjű hatványának szorzataként adjuk meg a mennyiséget. Például $0,000123\text{ A} = 123\text{ }\mu\text{A}$ ahol a μ jel a prefixum és 10^{-6} értéket helyettesíti.

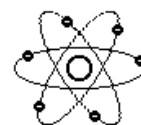
A prefixumok neve, jele és értéke:

exa	E	10^{18}	atto	a	10^{-18}
peta	P	10^{15}	femto	f	10^{-15}
tera	T	10^{12}	piko	p	10^{-12}
giga	G	10^9	nano	n	10^{-9}
mega	M	10^6	mikro	μ	10^{-6}
kilo	k	10^3	milli	m	10^{-3}
hekto	h	10^2	centi	c	10^{-2}
deka	da	10^1	dec	d	10^{-1}

A műszaki gyakorlatban hatványkitevőként a 3 egészszámú többszöröseit használjuk.

Elektrotechnikai alapfogalmak

A villamos jelenségek az anyag szerkezeti felépítéséből következnek. Az anyag kémiaiilag tovább nem osztható legkisebb része az atom. Az atom fizikailag tovább bontható az atommagra és az azt körülvevő atomburokra. Az atommagot a pozitív töltésű protonok és a semleges töltésű neutronok, összefoglaló névvel a nukleonok alkotják. Az atommagban lévő protonok száma jelenti az anyag rendszámát, és meghatározza a tulajdonságait is. Az atomburok, meghatározott pályákon keringő



negatív töltésű elektronokból áll. Egy pályán $2 \cdot k^2$ darab elektron keringhet, ahol a k a pálya sorszáma. Az atomburokban lévő elektronok számát a magban lévő protonok száma határozza meg, ahány p^+ , annyi e^- . Ha az atomban a protonok és az elektronok száma megegyezik, akkor egymás töltéseit semlegesítik és az ilyen anyag villamosan is semleges.

Külső hatásra az atomban elektron hiány vagy elektron többlet hozható létre. Hiány esetén pozitív töltésű, többlet esetén negatív töltésű ion keletkezik. Külső hatásra egy testen is létrehozható elektron hiány vagy elektron többlet.

Az az anyag melynek elektron többlete vagy elektron hiánya van villamosan töltött.

A villamos töltés jele: Q Mértékegysége: $[Q] = \text{As}$, C
1 Coulomb töltést $6,25 \cdot 10^{18}$ db. elektron hiány vagy többlet hoz létre. ($e^- = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ eV}$)



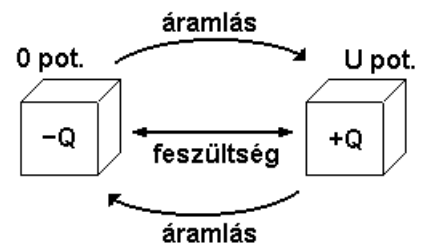
A töltés potenciálját az a munka jellemzi, amely a töltést a 0 potenciálú helyről elmozgatta. (a töltésnek potenciális - helyzeti - energiája van). Egységnyi töltés elmozgatására eső munkavégzés a feszültség.

A potenciál vagy feszültség jele: U Mértékegysége: $[U] = \text{V}$
1 Volt a feszültség, ha 1 C töltés elmozgatásakor (elmozdulásakor) 1 joule munkavégzés történik.



A töltések rendezett mozgása a villamos áram. Az áram erőssége az időegység alatt elmozduló (egy vezető keresztmetszeten áthaladó) töltések darabszáma.

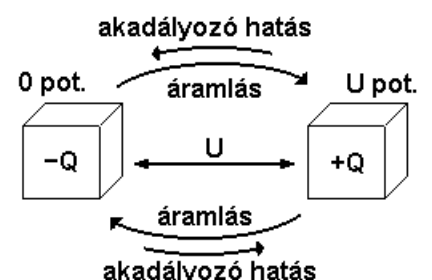
Az áramerősség jele: I Mértékegysége: $[I] = \text{A}$
1 Amper az áramerősség, ha 1 s alatt 1 Q töltés halad át egy vezető keresztmetszetén.



A töltések áramlását akadályozó hatás az ellenállás.

Az ellenállás jele: R Mértékegysége: $[R] = \text{V/A}$, Ω
1 Ω az ellenállás, ha 1 A áram 1 V feszültség esést hoz létre.
Az ellenállás reciproka a vezetés.

A vezetés jele: G Mértékegysége: $[G] = \text{A/V}$, S
1 Siemens a vezetés, ha 1 V feszültség 1 A áramot hoz létre.



A kiegyenlítő töltések akkora munkát végeznek, mint amekkorát a szétválasztásukhoz kellett végezni. A villamos áram által végzett munkát a töltés potenciálja határozza meg.

A villamos munka jele: W Mértékegysége: $[W] = \text{VAs}$, Ws , Wh , kWh
1 Wattsecundum a munkavégzés, ha 1 V feszültség 1 A áramot hajt 1 sec ideig.

Az időegységre eső munkavégzés, azaz a munka sebessége, a teljesítmény.

A villamos teljesítmény jele: P Mértékegysége: VA , W

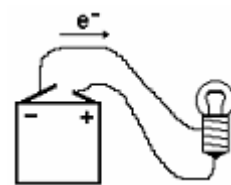
1 Watt a villamos teljesítmény, ha a fogyasztón 1 V feszültség esik és 1 A áram folyik.

Összefüggések az elektrotechnikai alapmennyiségek között:

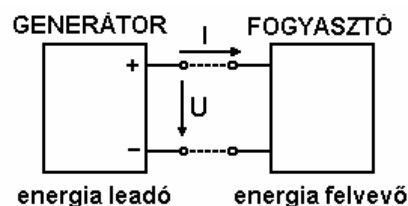
Töltés :	$Q = I \cdot t$	$A \cdot s = As$
Feszültség :	$U = \frac{W}{Q}$	$\frac{VAs}{As} = V$
Áram :	$I = \frac{Q}{t}$	$\frac{As}{s} = A$
Ellenállás :	$R = \frac{U}{I}$	$\frac{V}{A}$
Munka :	$W = U \cdot Q$	$V \cdot As = VAs = Ws$
Teljesítmény :	$P = \frac{W}{t}$	$\frac{VAs}{s} = VA = W$

A villamos áramkör

Az egyszerű villamos áramkör tartalmaz egy energiaforrást, egy fogyasztót és az ezeket összekötő vezetékét. Az ábrán az energiaforrás egy zseblámpa elem, a fogyasztó egy zseblámpa izzó és az ezeket összekötő vonal jelképezi a vezetékét. Ezt a zseblámpás elrendezést blokkvázlatszerűen is ábrázolhatjuk, mellyel bármilyen más hálózatra, általánosan érvényes ábrát kapjuk. A blokkvázlatban a zseblámpa elemet a generátor feliratú doboz, a zseblámpa izzót a fogyasztó feliratú doboz jelképezi. Az általánosítás miatt azonban teljesen mindegy, hogy milyen fizikai eszköz valósítja meg az energiaforrást és a fogyasztót. Az energia



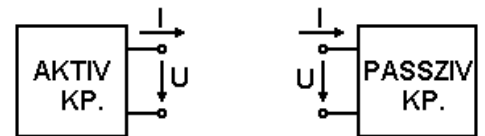
leadó dobozban valamilyen fizikai vagy kémiai folyamat gondoskodik a töltések folyamatos szétválasztásáról. Ennek következtében feszültség keletkezik, ami a fogyasztón keresztül áramot hajt át. A zseblámpa elemében a kémiai folyamat az elektronokat a negatívval jelölt kapcsan halmozza fel, így az áramkör zárásakor az elektronok ebből a kapocsból kiindulva hozzák létre az e^- áramot. A blokkvázlatban jelölt I áram iránya viszont az elektronok áramlásának irányával ellentétes. Elődeink azt feltételezték, hogy a villamos áramot a pozitív töltésű részecskék áramlása jelenti és ennek megfelelően állapodtak meg az áram irányában. Emiatt két áramirány létezik: az elektronok áramlásának iránya a technikai, az ezzel ellentétes pedig a konvencionális, vagyis megállapodás szerinti áramirány. A kézi és elektronikus műszerek a konvencio-



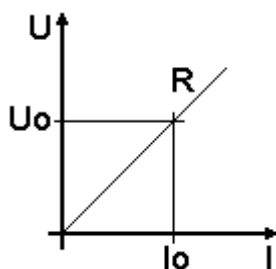
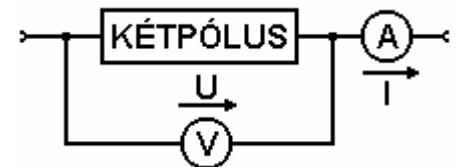
nális áramiránynak megfelelően vannak elkészítve, azaz a műszer pozitív kapcsát az energiaforrás pozitív kapocsára kell csatlakoztatni. A blokkvázlatban jelölt feszültség és áramirányt tekintjük szabványos mérőiránynak. Mérőirány alatt a műszerek pozitív kitérést adó csatlakoztatását értjük.

Kétpólus fogalma, megadása, csoportjai

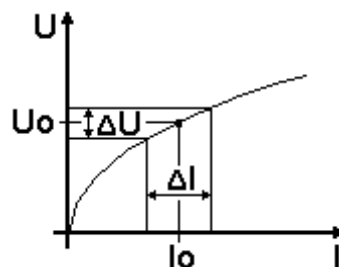
Egy egyszerű vagy összetett villamos hálózat (pl. egy erősítő fokozat) minden esetben kétpólusokra bontható. A kétpólusra bontáshoz mindössze az összekötő vezetéket kell eltávolítani, a megmaradt alkatrészek a kétpólusok. Az előző zseblámpás hálózatból eltávolítva a vezetékeket, kapunk egy energia leadó vagy aktív és egy energia felvevő vagy passzív kétpólust. Ahhoz, hogy egy villamos hálózat működését megismerjük, első lépésben a felépítő kétpólusok működését kell megismerni. Az egyes kétpólusok működésének ismeretében az összetett villamos hálózat működése is megismerhető.



Kétpólusnak nevezzük azokat a tetszőlegesen bonyolult hálózatokat, melyeknek két villamos csatlakozó pontjuk van. A definíció szerint kétpólusnak tekinthetők az egyszerű alkatrészek, pl. izzólámpa, egyenirányító dióda, tekercs, indítókondenzátor, akkumulátor, stb, vagy a különféle hálózati készülékek pl. egyfázisú motor, kávéőrlő, villanyvasaló, stb. és ide sorolható egy többhurkos hálózat tetszőlegesen kiválasztott két pontja is. A kétpólust a feszültség-áram (U - I) vagy áram-feszültség (I - U) karakterisztikája jellemzi. A karakterisztika végső soron egy olyan y - x koordináta rendszer, aminek a tengelyei feszültségben, illetve áramban vannak skálázva. Ismeretlen kétpólus karakterisztikáját méréssel lehet meghatározni. A passzív kétpólusok méréshez szükséges egy feszültség és egy árammérő, valamint egy változtatható feszültség vagy áramforrás. A mérés során, vagy az áram függvényében a feszültséget, vagy a feszültség függvényében az áramot kell mérni, és az összetartozó értékeket táblázatban rögzíteni és karakterisztikában ábrázolni. A mérési eredmények alapján lehet a kétpólust besorolni. Ha a karakterisztikában az összetartozó feszültség és áram értékpárok egy egyenesbe esnek, akkor a kétpólus lineáris, és ha valamilyen görbe vonalat alkotnak akkor a kétpólus nemlineáris.



$$R = \frac{U_0}{I_0}$$



$$R_e = \frac{U_0}{I_0}$$

$$r_d = \frac{\Delta U}{\Delta I}$$

A lineáris kétpólus egyszerűen egy adattal megadható, egy tetszőlegesen kiválasztott U_0 - I_0 munkapontban a két mennyiség, tehát a függő változó (U_0) és a független változó (I_0) hányadosaként. Például: $U_0 = 5 \text{ V}$, $I_0 = 25 \text{ mA}$, esetén az $R = 0,2 \text{ k}\Omega$. A munkapont fogalma alatt egy összetartozó feszültség és áram értékpárost értünk. Másik munkapontban képezve az előző hányadost, ugyanekkora értéket kapnánk, tehát egy adat elegendő a kétpólus megadásához. Nemlineáris kétpólus esetén szintén kiválasztható egy U_0 - I_0 munkapont és képezhető egy hányados, de ez az érték csak ebben az egy munkapontban érvényes a nemlineáris jelleg miatt. Másik munkapontban más lesz a hányados értéke is. A karakterisztika tetszőleges helyén képzett U_0/I_0 hányadost a nemlineáris kétpólus statikus vagy egyenáramú ellenállásának (R_e) nevezzük. Az egyenáramú ellenállás alatt azt az ellenállást kell érteni, mellyel egy áramkörben működő nemlineáris kétpólust helyettesítve, az áramkör többi része ezt a cserét nem veszi észre. A mérés során egy kiválasztott U_0 - I_0 munkapont környezetében az áramot (tehát a független változót) egy nagyon kis (0-hoz tartó) értékkel, szimmetrikusan megváltoztatjuk, akkor kapunk egy ΔI szakaszt, ami a másik tengelyen kijelöl egy ΔU szakaszt. A két változásból hányadost képezve megkapjuk az $r_d = \Delta U / \Delta I$ dinamikus vagy váltakozó áramú ellenállást. Dinamikus ellenállás alatt azt az ellenállást kell érteni, melyet a nemlineáris kétpólus az adott munkapontban, a váltakozó árammal szemben mutat. Például: $U_0 = 6 \text{ V}$, $I_0 = 20 \text{ mA}$ és $U_{\Delta} = 6,05 - 5,95 = 0,1 \text{ V}$, $I_{\Delta} = 21 - 19 = 2 \text{ mA}$ esetén $R_e = 300 \Omega$, és $r_d = 50 \Omega$. A nem lineáris kétpólus megadásához tehát két adat szükséges, de ezek is csak egy adott munkapontban érvényesek. Észre kell venni, hogy mind az egyenáramú, mind a váltakozó áramú ellenállás matematikailag meredekséget jelent, tehát az $y = mx + b$ egyenes egyenletéből az m -et. A meredekség, derékszögű háromszögben a szemben lévő és a mellette lévő befogók hányadosa. Ennek értelmében az R és R_e ellenállások a karakterisztika meredeksége, az r_d ellenállás pedig a munkaponthoz húzott érintő meredeksége.

A kétpólusok mérésekor akkora feszültség vagy áram tartományt kell választani, ami nem lépi túl a kétpólus működési tartományát. Egy 100 W-os izzólámpa üzemi árama kb. 0,5 A. Méréskor tehát ezt az áramértéket nem szabad jelentősen túllépni, mert az izzólámpa tönkremegy.

A kétpólusok csoportjai: aktív vagy energia leadó és passzív vagy energia felvevő
lineáris és nem lineáris

Aktív kétpólusok megadása szintén U - I , illetve I - U karakterisztikával történik.

A feszültség - áram irány aktív kétpólus esetén ellentétes, passzív kétpólus esetén azonos.

Elektrotechnika alaptörvényei

Ohm törvénye: egy feszültség és a hatására kialakuló áram hányadosa egy adott fogyasztóra jellemző és állandó érték, melyet ellenállásnak nevezünk. Az ellenállást a latin eredetű rezisztencia szó után R -el jelöljük. Az ellenállás nem függ sem a feszültségtől, sem az áram-

tól! A feszültség az áram és az ellenállás közötti összefüggés átrendezéssel más alakban is felírható. Az első összefüggés az ohm törvény. A középső összefüggés szerint egy ellenálláson eső feszültség egyenesen arányos a rajta folyó árammal és az ellenállás értékével. A baloldali összefüggés szerint egy ellenálláson folyó áram egyenesen arányos a rajta eső feszültséggel és fordítottan arányos az ellenállás értékével.

$$R = \frac{U}{I}$$

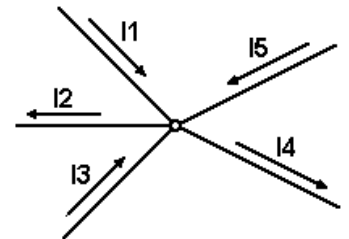
$$U = I \cdot R$$

$$I = \frac{U}{R}$$

Kirchoff I. (csomóponti) törvénye: egy csomópontba befolyó és kifolyó áramok összege nulla. Megállapodás szerint a csomópontba befolyó áramokat pozitív, a csomópontból kifolyó áramokat negatív előjellel kell figyelembe venni. Az ábra alapján felírható csomóponti törvény:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 + I_5 = 0$$

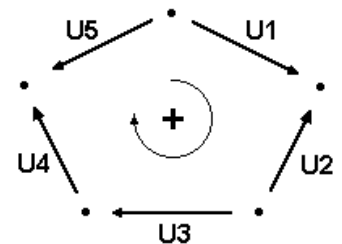
Ha a számítások során egy kérdéses áram eredménye negatív előjelű, akkor az az általunk felvett mérőiránnyal ellentétes irányú.



Kirchoff II. (hurok) törvénye: egy zárt hurokban működő feszültségesések összege nulla. Megállapodás szerint, az óramutató járásával megegyezően felvett körüljárási iránnyal azonos irányú feszültségeséseket pozitív előjellel, az ellenkező irányú feszültségeséseket negatív előjellel kell figyelembe venni. Az ábra alapján felírható hurok törvény:

$$U_1 - U_2 + U_3 + U_4 - U_5 = 0$$

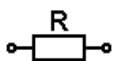
Ha a számítások során egy kérdéses feszültség eredménye negatív előjelű, akkor az az általunk felvett mérőiránnyal ellentétes irányú.



Az ellenállás

Az ellenállás áramkörüi szempontból lineáris passzív kétpólus. Rajzjelei:

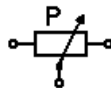
ellenállás



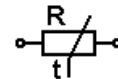
vezetés



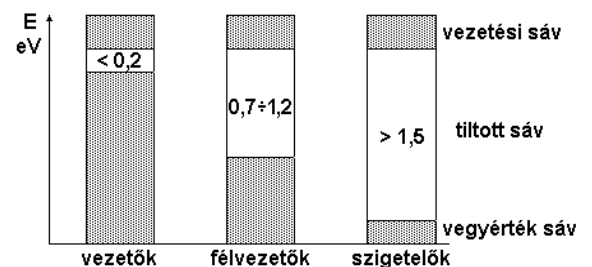
változtatható ellenállás



hőmérsékletfüggő ellenállás



Az anyagokat felépítő atomok legkülső elektronjai, energia közlés hatására (már 20°C-on is) a vegyérték sávból a vezetési sávba léphetnek át. A vezetési sávba átlépő elektronok, mint szabad töltéshordozók növelik az anyag vezető képességét. A vegyérték és vezetési sáv közötti ún. tiltott sáv szélessége



az anyagok a villamos árammal szemben mutatott akadályozó hatásuk jellemzője

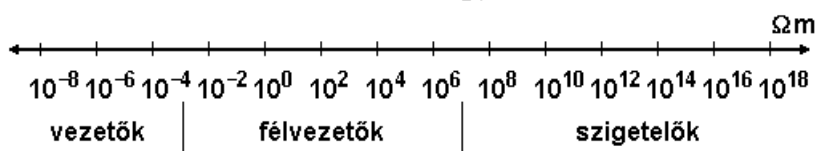
Az anyagok felosztása a tiltott sáv szélessége alapján: ($1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$)

Szigetelők: a szabad elektronok száma nagyon kevés, az áramot gyakorlatilag nem vezetik. Erős villamos tér hatására elektronok szakadhatnak ki a vegyérték sávból (átütés), de ilyenkor az anyag szerkezetének megváltozása miatt már nem tekinthetők szigetelőnek. Fontosabb szigetelők: porcelán, csillám, papír, bakelit, olaj, üveg, gázok, gumi, stb.

Félvezetők: kismértékű külső energia hatására pl. már szoba hőmérsékleten is jelentős számú szabad elektron keletkezik, de nem tekinthetők jó vezetőknek. A félvezetők bizonyos körülmények között vezetnek és bizonyos körülmények között szigetelnek. Fontosabb félvezető anyagok: Si, Ge, Ga, As, Se.

Vezetők: a kristályszerkezet miatt a vegyérték elektronok egyben vezetési elektronok is. Az anyag minden atomjából keletkezhet szabad elektron, ezért a villamos áramot nagyon csekély mértékben akadályozzák. Elsőrendű vezetők a fémek: réz, vas, alumínium, ezüst, arany, stb. Másodrendű vezetők az elektrolitok.

Az anyagok felosztása a villamos ellenállásuk alapján:



Az ellenállás meghatározása a vezető geometriai méreteiből

Egy vezető ellenállását a vezető hosszúsága, a keresztmetszete (áramvezető terület), az anyaga és a pillanatnyi hőmérséklete határozza meg. A hosszabb vezetőknek nagyobb, a vastagabb vezetőknek kisebb az ellenállása. Az ellenállás tehát egyenesen arányos a vezető hosszával és fordítottan arányos a vezető keresztmetszetével.

Az ellenállás, illetve a vezetés értéke állandó hőmérsékleten (20°C -on):

$$R = \rho \frac{\ell}{A} \qquad G = \gamma \frac{A}{\ell}$$

Az összefüggésekből a ρ (ró) fajlagos ellenállást és a γ (gamma) fajlagos vezetést kifejezve:

$$[\rho] = \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} = 10^{-6} \Omega \cdot \text{m} \qquad [\gamma] = \frac{\text{S} \cdot \text{m}}{\text{mm}^2}$$

megkapjuk az anyagi jellemzők mértékegységét.

Fizikailag a ρ az 1 m hosszúságú és 1 mm^2 keresztmetszetű anyag ellenállását jelenti Ω -ban, és a γ pedig az 1 mm^2 keresztmetszetű 1 Ω ellenállású vezető hosszát jelenti m-ben.

Az ellenállás hőmérséklet függése

A vezető anyagok ellenállásának hőmérséklet függését a villamos árammal szemben kifejtett akadályozó hatásuk megváltozása okozza. A hőmérséklet és az ellenállás változás közötti kapcsolat alapján a vezetők lehetnek:

PTK jellegűek = növekvő hőmérséklet - növekvő ellenállás

NTK jellegűek = növekvő hőmérséklet - csökkenő ellenállás

Egy $\Delta T = T_m - T_{20}$ hőmérsékletváltozás hatására, egy ellenállás $\Delta R = R_m - R_{20}$ értékkel változik meg. Az ellenállás megváltozása egyenesen arányos a hőmérsékletváltozással, a 20°C-on mért kezdeti ellenállással valamint az anyagra jellemző állandóval a hőfoktényezővel. A hőfoktényező (Temperature Coefficient = TK) az egységnyi hőmérsékletváltozásra eső egységnyi, azaz 1Ω ellenállás megváltozásának értékét adja meg.

A hőfoktényező jele: α mértékegysége: 1 / C° (negatív előjel esetén NTK jellegű)

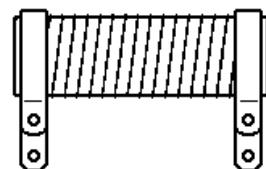
Az ellenállás megváltozása: $\Delta R = R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta T$

Az ellenállás értéke T_m hőmérsékleten: $R_m = R_{20} + \Delta R = R_{20} + R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta T = R_{20} \cdot (1 + \alpha \cdot \Delta T)$

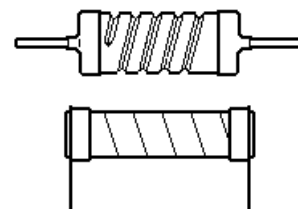
A hőfoktényező nem állandó érték, kis mértékben a pillanatnyi hőmérséklettől is függ. Vezetők hőfoktényezőit táblázatok tartalmazzák. A T_{20} -at mindig 20 C°-al kell helyettesíteni.

Technikai ellenállások

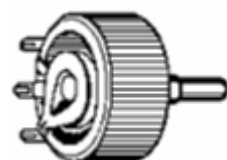
Huzalellenállás: tömör henger vagy cső alakú kerámia hordozó, palástjára egy rétegben feltekercselt ellenállás huzal, bilincs vagy rézfonat kivezetésekkel. Az alkatrészt lakk, zománc vagy cement bevonat védi a korróziótól és a mechanikai sérüléstől. Az ellenállás értékét a huzal anyaga és méretei határozzák meg. A huzalellenállás 10 Ω ÷ 10 kΩ értéktartományban és általában nagyobb, 1 ÷ 100 W teljesítményre készül.



Rétegellenállás: tömör, henger alakú kerámia hordozó palástjára felgőzölöggetett szén vagy újabban fém réteg, a hordozóra sajtolt axiális (felső rajz) vagy radiális (alsó rajz) irányú huzal kivezetésekkel. Az ellenállás névleges értékét a hordozó palást spirál köszörülésével lehet közelítőleg beállítani. A vékony ellenállás réteget lakk bevonat védi. Általában 0,1 ÷ 2 W teljesítményre, 1 Ω ÷ 10 MΩ értéktartományban készül.



Változtatható ellenállások vagy potencióméterek: huzal vagy rétegellenállás pályával érintkező csúszka helyzete határozza meg az ellenállás pillanatnyi értékét. Az ellenállás pálya kialakítása lehet kör alakú (forgató potm.) vagy egyenes vonalú (toló potm.). Felhasználás alapján vannak



szerszámmal állítható ún. trimmer és üzemszerűen állítható (pl. hangerő beállítás) potencióméterek. Igen sokféle kivitelben, értéktartományban és teljesítményre készülnek.

Az ellenállásokon feltüntetett adatok:

Típus jelzés: gyártó által definiált egyedi azonosító jelzés. elsősorban az alkatrész megnevezésénél van szerepe.

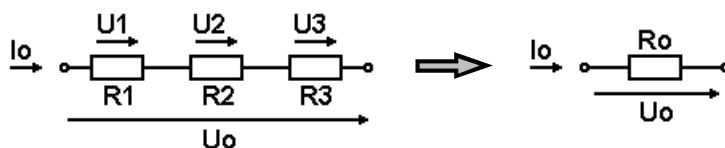
Névleges érték: ami az alkatrészen fel van tüntetve szöveggel vagy színkóddal. A tizedes pont helyett újabban a prefixumot tüntetik fel, ami nehezebben kopik le. Például a 6k8 = 6,8 kΩ, az M470 = 470 kΩ, a 330R = 330 Ω felel meg. Az ellenállások névleges értékeit az ún. E sor rögzíti, és szoros kapcsolatban van a tűréssel. Az E6 sor ±20%-os, az E12 sor ±10%-os, az E24 sor ±5%-os, az E48 sor ±2%-os és az E96 sor ±1%-os ellenállásokból áll. Az egyes értékek úgy vannak megállapítva, hogy a tűrés felső határa és következő érték tűrésének alsó határa ne fedjék egymást. Az E6 sor 6 db. az E12 sor 12 db stb. értéket tartalmaz. Az E6 sor esetén az n. tag értéke $\sqrt[6]{10^n}$.

Tűrés: a névleges értéktől való eltérés %-ban. Például egy 100 Ω-os és 10%-os ellenállás értéke 90 Ω és 110 Ω között lehet.

Névleges teljesítmény: amivel az alkatrész üzemszerűen, tartósan, károsodás nélkül terhelhető. Általában nincs feltüntetve és ilyenkor az alkatrész adatlapját kell megnézni vagy a méretéből következtetni a terhelhetőségre. A gyártó megadhat a tartós vagy időszakos terhelésre különféle előírásokat. Például: 150%-os túlterhelés 30 másodpercig.

Ellenállások hálózatai

A sorosan kapcsolt ellenállások helyettesíthetők egyetlen eredő ellenállással, melyen ugyanakkora I_0 esetén ugyanakkora U_0 esik, mint a sorosan kapcsolt ellenállásokon.



A huroktörvény alapján:

$$U_0 = U_1 + U_2 + U_3$$

A sorosan kapcsolt elemeken az áram azonos:

$$I_0 \cdot R_0 = I_0 \cdot R_1 + I_0 \cdot R_2 + I_0 \cdot R_3$$

Az eredő ellenállás:

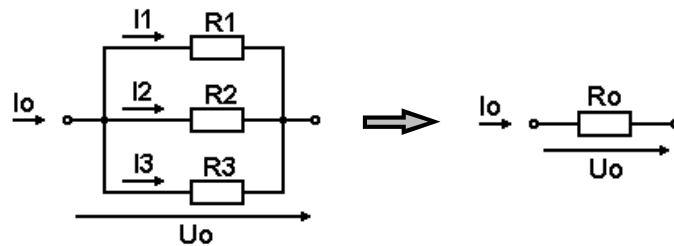
$$R_0 = R_1 + R_2 + R_3$$

A sorosan kapcsolt ellenállások eredője a részellenállások összegével egyenlő.

Sorosan kapcsolt n db. azonos értékű ellenállás eredője a részellenállás n-szerese.

A sorosan kapcsolt ellenállások eredője minden esetben nagyobb, mint a legnagyobb részellenállás.

A párhuzamosan kapcsolt ellenállások helyettesíthetők egyetlen eredő ellenállással, melyen ugyanakkora U_0 esetén ugyanakkora I_0 folyik, mint a párhuzamosan kapcsolt ellenállásokon.



A csomóponti törvény alapján:

$$I_0 = I_1 + I_2 + I_3$$

A párhuzamosan kapcsolt elemeken a feszültség azonos:

$$\frac{U_0}{R_0} = \frac{U_0}{R_1} + \frac{U_0}{R_2} + \frac{U_0}{R_3}$$

Az eredő ellenállás:

$$\frac{1}{R_0} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3}$$

A párhuzamosan kapcsolt ellenállások eredője a részellenállások reciprokok összegének reciprokával egyenlő.

Párhuzamosan kapcsolt n db. azonos értékű ellenállás eredője a részellenállás n -ed része.

A párhuzamosan kapcsolt ellenállások eredője minden esetben kisebb, mint a legkisebb részellenállás.

Két párhuzamos ellenállás eredőjének számítása a "replusz" művelettel:

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_A} + \frac{1}{R_B} = \frac{R_A + R_B}{R_A \cdot R_B} \quad \Rightarrow \quad R_e = \frac{R_A \cdot R_B}{R_A + R_B} = R_A \otimes R_B$$

A replusz műveletnek két párhuzamosan kapcsolt ellenállások szorzatának és összegének a hányadosát nevezzük. Kettőnél több párhuzamos ellenállás eredőjének meghatározásához a replusz művelet többször ismételhető, de a művelet minden esetben csak két ellenállással végezhető el.

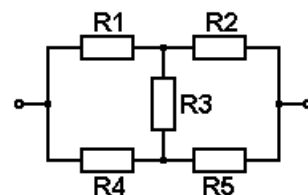
A sorosan, illetve a párhuzamosan kapcsolt vezetések eredője, az ellenállásos hálózatoknál levezett összefüggések felhasználásával és $R_n = 1 / G_n$ helyettesítéssel határozható meg.

soros vezetések $\frac{1}{G_0} = \frac{1}{G_1} + \frac{1}{G_2} + \frac{1}{G_3}$	párhuzamos vezetések $G_0 = G_1 + G_2 + G_3$
--	---

Az összefüggések alapján, a soros vezetések eredője a részvezetések reciprokok összegének a reciprokával, a párhuzamos vezetések eredője pedig a részvezetések összegével számítható ki.

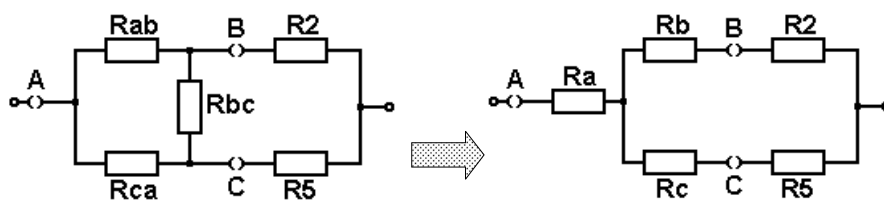
Ellenállás hálózatok egyenértékű átalakítása

Ellenállás hálózatok eredője a megfelelő soros-párhuzamos, vagy párhuzamos-soros átalakítások sorozatával meghatározható. Belső pontokra csatlakozó ellenállás esetén a hálózat eredője nem határozható meg, mivel nem kapcsolódik sem sorosan, sem párhuzamosan a többi ellenállással. A hálózat egy részének ekvivalens átalakításával az (R3) áthidalás megszüntethető.



Háromszög-csillag átalakítás: Az A,B,C pontok közötti R_{ab} , R_{bc} , R_{ca} ellenállásokból álló háromszög (delta) kapcsolást egyenértékű csillag (ipszilon) kapcsolásra alakítva a hálózat eredője már meghatározható.

Az átalakítás akkor lesz egyenértékű ha a delta kapcsolás A, B, C pontjai között mérhető ellenállások megegyeznek a csillag



lag kapcsolás A, B, C pontjai között mérhető ellenállásokkal. Ha mindkét hálózatban a C kivezetést szabadon hagyjuk, akkor a csillag kapcsolás A-B pontja és a delta kapcsolás A-B pontja közötti eredő ellenállások azonossága, tehát $R_a + R_b = R_{ab} \otimes (R_{ca} + R_{bc})$ alapján felírható egy egyenlet. Ezt az eljárást követve a B-C és A-C pontokkal egy három ismeretlenes egyenletrendszer jön létre. Az egyenleteket R_a , R_b , R_c ellenállásokra kifejezve megkapjuk az egyenértékű csillag hálózat ellenállásait:

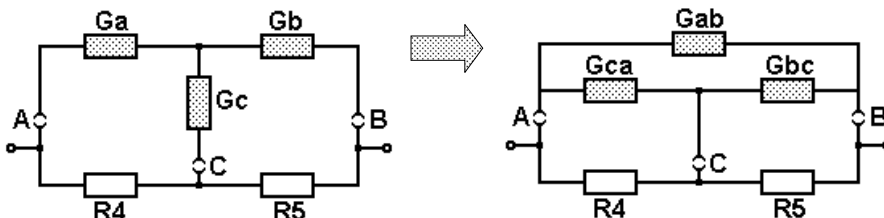
$$R_a = \frac{R_{ab} \cdot R_{ca}}{\Delta R}$$

$$R_b = \frac{R_{ab} \cdot R_{bc}}{\Delta R}$$

$$R_c = \frac{R_{bc} \cdot R_{ca}}{\Delta R}$$

A ΔR a delta hálózat ellenállásainak összege, tehát $R_{ab} + R_{bc} + R_{ca}$.

Csillag-háromszög átalakítás: Az A,B,C pontok közötti G_a , G_b , G_c vezetésekből álló csillag (ipszilon) kapcsolást egyenértékű háromszög (delta) kapcsolásra alakítva a hálózat eredője már meghatározható. Formailag teljesen hasonló egyenletrendszer adja meg a delta kapcsolás elemeit, de ehhez célszerű az eredőket vezetéssel felírni és az alap egyenleteket egy kapocs (A) és a rövidre-zárt másik kettő kapocs között meghatározni. Az egyenértékű háromszög hálózat vezetése:



$$G_{ab} = \frac{G_a \cdot G_b}{Y_G}$$

$$G_{bc} = \frac{G_b \cdot G_c}{Y_G}$$

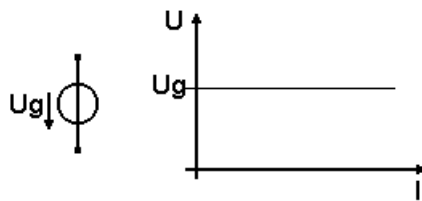
$$G_{ca} = \frac{G_c \cdot G_a}{Y_G}$$

Az Y_G a csillag hálózat vezetéseinek összege, tehát $G_a + G_b + G_c$.

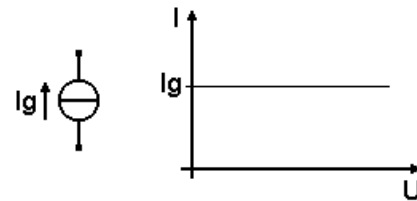
Aktív kétpólusok

Az ideális generátorok

Az ideális feszültségforrás a töltések folyamatos szétválasztásával állítja elő az U_g forrásfeszültséget, mely minden körülmények között, terhelési állapottól függetlenül állandó. Rajzjele és feszültség-áram karakterisztikája:



Az ideális áramforrás a töltések folyamatos mozgásával állítja elő az I_g forrásáramot, mely minden körülmények között, terhelési állapottól függetlenül állandó. Rajzjele és áramfeszültség karakterisztikája:

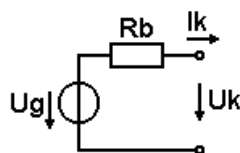


A fizikában a forrásfeszültség elnevezése elektromotoros erő.

Az ideális feszültséggenerátornak a rövidzárási (tehát ha 0Ω -ot kötünk rá), az ideális áramgenerátornak pedig az üresjárási üzeme (tehát ha $\infty\Omega$ -ot kötünk rá) nem értelmezhető.

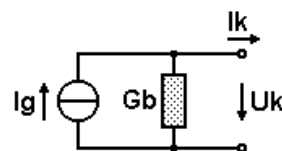
A valóságos feszültséggenerátorok kapocsfeszültsége és a valóságos áramgenerátorok kapocsárama a terhelő ellenállás hatására nem marad állandó. Például, ha egy zseblámpa elemre rákötünk egy zseblámpa izzót, akkor az üzemszerűen világít. Ha még egy vagy kettő izzót is rákötünk, akkor az első és a többi izzó is egyre halványabban világít. Ezt a jelenséget a generátorok belső ellenállása okozza. A valóságos feszültséggenerátor egy ideális feszültség forrásból és egy soros belső ellenállásból és a valóságos áramgenerátor egy ideális áramforrásból és egy párhuzamos belső vezetésből (ellenállásból) áll. Mind a két aktív kétpólus három, azaz üresjárási, rövidzárási és terhelt üzemmódban működhet.

Üresjárásban a generátorok kapcsaira végtelen nagy ellenállás (szakadás) csatlakozik:



$$I_k = 0$$

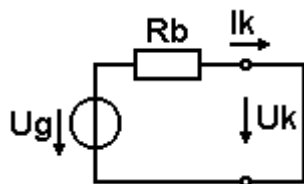
$$U_k = U_g$$



$$I_k = 0$$

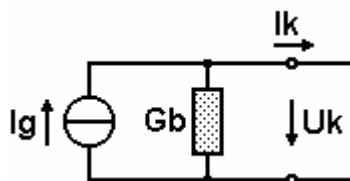
$$U_k = U_{\bar{u}} = \frac{I_g}{G_b}$$

Zárlatban a generátorok kapcsaira nullaértékű ellenállás (rövidzár) csatlakozik:



$$I_k = I_z = \frac{U_g}{R_b}$$

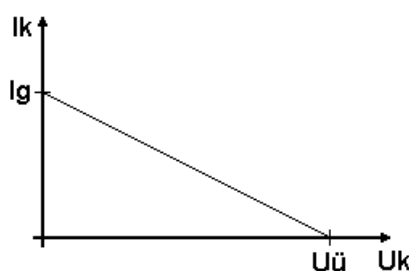
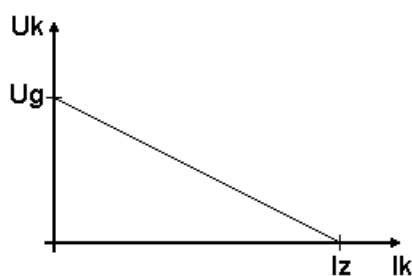
$$U_k = 0$$



$$I_k = I_g$$

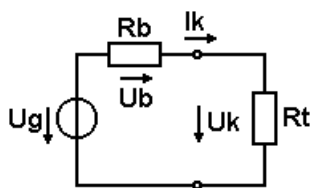
$$U_k = 0$$

Az üresjárási és rövidzárási adatok ismeretében megrajzolható az aktív kétpólusok karakterisztikája:



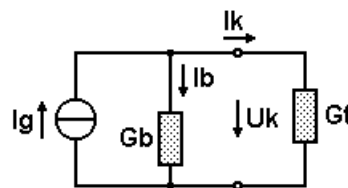
A valóságos feszültséggenerátor esetén, ha a kapocsáram nulla, akkor a kapocsfeszültség megegyezik a forrásfeszültséggel, és ha a kapocsfeszültség nulla, akkor a kapocsáram megegyezik a feszültséggenerátor által a belső ellenálláson áthajtott (zárlati) árammal. A karakterisztika tengelyein ez a két pontot bejelölhető. Mivel a kapocs mennyiségek között lineáris a kapcsolat, ezért a két pont egy egyenessel összeköthető. Ez az egyenes lesz a valóságos feszültséggenerátor karakterisztikája. A valóságos áramgenerátor esetén, ha a kapocsfeszültség nulla, akkor a kapocsáram megegyezik a forrásárammal, és ha a kapocsáram nulla, akkor kapocsfeszültség megegyezik az áramgenerátor által a belső vezetéken létrehozott (üresjárási) feszültséggel. A tengelyeken bejelölve a pontokat és szintén egy egyenessel összekötve, kapjuk meg a valóságos áramgenerátor karakterisztikáját.

Terhelt üzemmódban a generátorok kapcsaira egy R_t terhelő ellenállás csatlakozik.



$$I_k = \frac{U_g}{R_b + R_t}$$

$$U_k = I_k \cdot R_t = U_g \frac{R_t}{R_b + R_t}$$

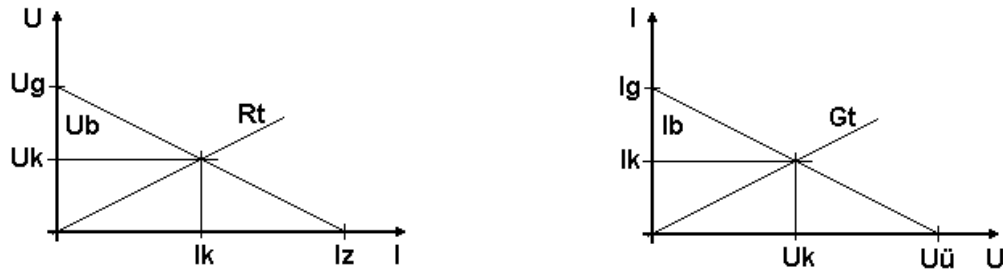


$$U_k = \frac{I_g}{G_b + G_t}$$

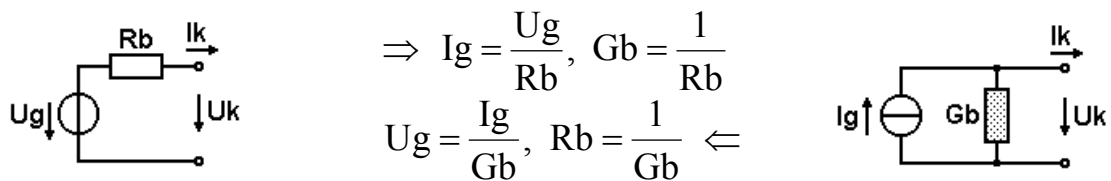
$$I_k = U_k \cdot G_t = I_g \frac{G_t}{G_b + G_t}$$

A valóságos feszültséggenerátor kapocsárama a belső ellenálláson egy $U_b = I_k \cdot R_b$ belső feszültségesezt hoz létre, mely a forrásfeszültséggel szembe kapcsolódva csökkenti a kapocsfeszültséget. Hasonló módon a valóságos áramgenerátor kapocsfeszültsége a belső vezetéken egy $I_b = U_k \cdot G_b$ áramot hajt, mely a forrásáramból táplálkozva csökkenti a kapocsára-

mot. A terhelt üzemmódban a villamos jellemzők közötti kapcsolat grafikusán jól bemutat-
ható, ha az aktív kétpólusok karakterisztikáit kiegészítjük a terheléssel.



Az aktív és passzív kétpólusok karakterisztikáinak metszéspontja a kapocsmennyiségeket jelöli ki a tengelyeken. A feszültség tengelyen leolvasható az $U_g = U_b + U_k$ huroktörvény és az áramtengelyen az $I_g = I_b + I_k$ csomóponti törvény. Az R_t növelésével a metszéspont az U_g felé vándorol, a kapocsfeszültség növekszik, a kapocsáram csökken. A G_t csökkentésével a metszéspont távolodik az I_g -től, a kapocsáram csökken a kapocsfeszültség növekszik. A szakirodalom a valóságos feszültséggenerátort Thevenin generátornak, a valóságos áramgenerátort Norton generátornak nevezi. Ha egy Thevenin és egy Norton generátort azonos fogyasztóval terhelve, a kapocsfeszültségük és a kapocsáramuk megegyezik, akkor a két generátor egymással ekvivalens. Minden Thevenin generátornak létezik Norton ekvivalense és fordítva. Az átalakítás alapja, hogy az üresjárási feszültségek és a zárlati áramok azonosak legyenek. Egyezőség esetén a két generátor karakterisztikája fedésbe kerül.



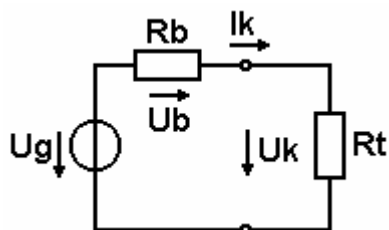
A rajzokon a feszültséggenerátor forrásfeszültsége lefelé, az áramgenerátor forrásárama felfelé mutat. Emiatt mindkét rajzon a felső kapocs a + polaritás. Egy Thevenin - Norton vagy Norton - Thevenin átalakításkor a kapcsok polaritásának nem szabad felcserélődnie. Egy aktív kétpólusra csatlakozó hálózatnak semmilyen villamos jellemzője nem változhat meg, ha a meghajtó kétpólust az ekvivalensére cseréljük.

Generátorok teljesítmény viszonyai

Egy ohmos jellegű fogyasztón keletkező teljesítmény (az időegységre eső munka) a feszültséggel és az árammal arányos:

$$P = U \cdot I = \frac{U^2}{R} = I^2 \cdot R$$

Egy valóságos, terhelt üzemmódban működő generátor esetén három féle teljesítmény határozható meg:

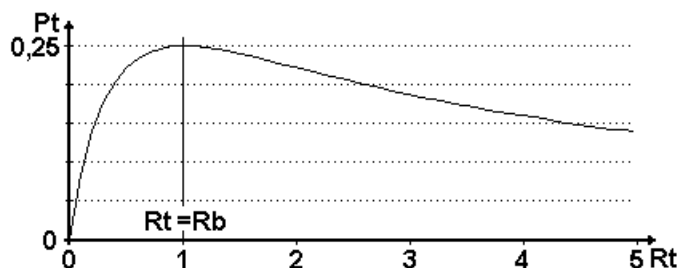


$$U_g = U_b + U_k \Rightarrow \begin{aligned} P_g &= U_g \cdot I_k \\ P_b &= U_b \cdot I_k \\ P_t &= U_k \cdot I_k \end{aligned} \Rightarrow P_g = P_b + P_t$$

A huroktörvényből következik, hogy a generátor által leadott és az ellentétes áram irány miatt negatív P_g teljesítmény a belső ellenálláson P_b veszteségi és a terhelésen P_t hasznos teljesítményekre oszlik meg. A terhelésen kialakuló teljesítményt a generátor állandó forrásfeszültségét figyelmen kívül hagyva, a terhelő és a belső ellenállás együttesen határozza meg:

$$P_t = U_k \cdot I_k = U_g \cdot \frac{R_t}{R_b + R_t} \cdot \frac{U_g}{R_b + R_t} = U_g^2 \cdot \frac{R_t}{(R_b + R_t)^2}$$

Az összefüggésben R_t ellenállás az egyedüli változó, mivel a forrásfeszültség és a belső ellenállás egy adott hálózat esetén állandó, így nem befolyásolja P_t teljesítményt. A R_t ellenállás értékét nullának vagy végtelennek véve a P_t teljesítmény, mindkét szélső helyzetben nullához tart. Ha az R_t értéke nulla, akkor nagy a kapocsáram, de a kapocsfeszültség nulla, ezért teljesítmény nem jön létre. Ha az R_t értéke végtelen, akkor a kapocsfeszültség nagy, de a kapocsáram nulla, ezért ebben az esetben sem jön létre teljesítmény. A függvényt ábrázolva megkapjuk az egységnyi generátor feszültség és belső ellenállás mellett a hasznos teljesítmény-terhelő ellenállás kapcsolatát:



A függvényen látszik, hogy ahol R_t értéke azonos R_b értékével, ott a terhelésre jutó teljesítmény maximális, minden más esetben ennél kisebb. Egy generátorból $R_t = R_b$ esetén vehető ki a legnagyobb teljesítmény. Azt a teljesítményt, melyet egy generátor a saját belső ellenállásával megegyező terhelésen hoz létre, illesztési teljesítménynek, az állapotot illesztésnek nevezzük. Egy generátort az illesztési teljesítménynél nagyobb teljesítménnyel nem lehet terhelni.

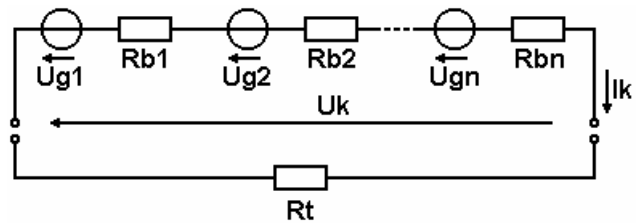
A generátor hatásfoka:

$$\eta = \frac{P_t}{P_g} = \frac{U_k}{U_g} = \frac{R_t}{R_b + R_t}$$

A hatásfok $R_t \gg R_b$ esetén tart 100 %-hoz, de soha sem éri el. Illesztés esetén a teljesítmény átadás maximális és a hatásfok 50 %.

Energiaforrások hálózatai

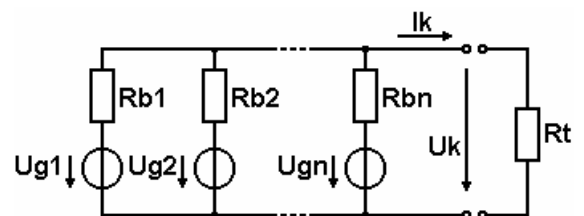
Energiaforrások soros kapcsolására akkor van szükség, ha egy generátor feszültsége kisebb a szükségesnél. A soros kapcsolás úgy jön létre, hogy az első generátor pozitív kapcsára a második generátor negatív kapcsát, a második ge-



nerátor pozitív kapcsára a harmadik generátor negatív kapcsát és így tovább kötjük. A fennmaradó kapcsokra csatlakozik a terhelés. A sorosan kapcsolt energiaforrások egyetlen feszültséggenerátorral helyettesíthetők, melynek üresjárási feszültsége az egyes generátorok forrásfeszültségeinek, belső ellenállása az egyes generátorok belső ellenállásainak összegével egyezik meg, tehát: $U_{k\bar{u}} = U_{g1} + U_{g2} + \dots + U_{gn}$ és $R_{be} = R_{b1} + R_{b2} + \dots + R_{bn}$. Terheléskor valamennyi generátoron azonos áramerősség folyik, ezért csak olyan energiaforrások kapcsolhatók sorba, amelyeknek a megengedett áramerőssége a soros kapcsolást terhelő áramerősséggel egyenlő vagy annál nagyobb. Eltérő forrásfeszültségű és belső ellenállású generátorok csak akkor köthetők sorba, ha a rövidzárási áramuk azonos, különben előfordulhat, hogy a kisebb feszültségű generátor kapcsain a feszültség polaritása megfordul, azaz fogyasztóvá válik.

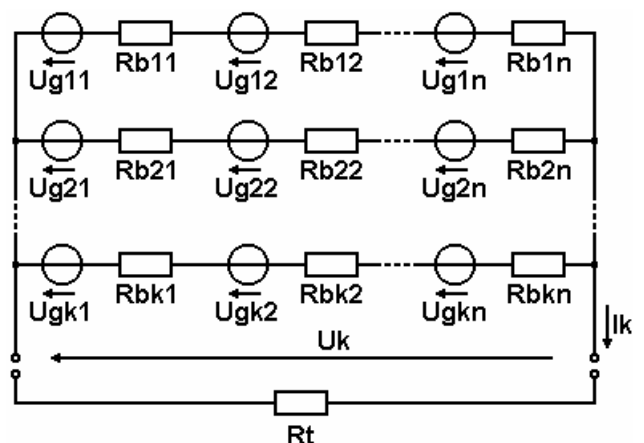
Energiaforrások soros kapcsolásának speciális esete a szembe kapcsolás. Ilyenkor általában két, üresjárásban működő generátorból áll a hálózat és az eltérő nagyságú forrásfeszültségek különbsége jelenik meg a fennmaradó kapcsokon.

Energiaforrások párhuzamos kapcsolására akkor van szükség, ha egy generátor megengedett árama kisebb a szükségesnél. A párhuzamos kapcsolás úgy jön létre, hogy minden generátor pozitív és negatív kapcsait egy-egy csomópontba összekötjük, és a ter-



helést is erre a két csomópontba csatlakoztatjuk. A párhuzamosan csak azonos forrásfeszültségű és azonos belső ellenállású energiaforrások kapcsolhatók össze. A helyettesítő feszültséggenerátor üresjárási feszültsége azonos lesz egy generátor üresjárási feszültségével, a belső ellenállása a párhuzamos generátorok belső ellenállásainak párhuzamos eredője lesz, tehát: $U_{k\bar{u}} = U_{g1}$ és $R_{be} = R_{b1} / n$.

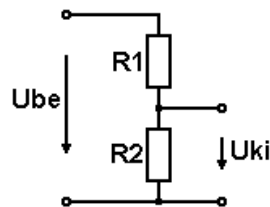
Energiaforrások vegyes kapcsolására akkor van szükség, ha egy generátor feszültsége és árama is kisebb a szükségesnél. Az összekapcsolás feltételei azonosak az előzőkkel. A gyakorlatban a villamos hajtású tárgoncák akkumulátor telepei vannak vegyesen kapcsolva.



Feszültségosztó

Feszültségosztónak nevezzük a kettő vagy több sorosan kapcsolt ellenállás hálózatát. Az ellenállásláncre kapcsolt feszültség az osztó táp vagy bemeneti feszültsége, a leosztott feszültség az egyes ellenállásokon jelenik meg. A legegyszerűbb feszültségosztó két ellenállásból áll. Egy részellenálláson eső feszültség:

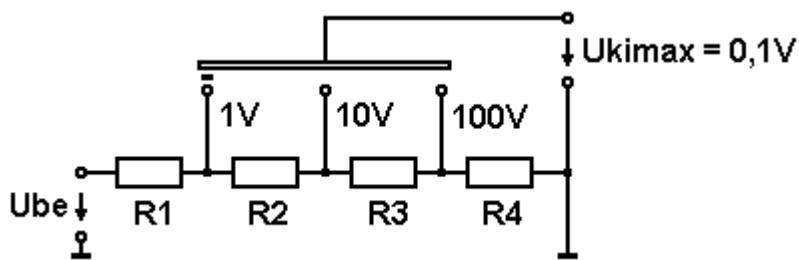
$$U_{ki} = I_{be} \cdot R_2 = U_{be} \frac{R_2}{R_1 + R_2} = U_{be} \frac{R_2}{\Sigma R}$$



Az R_2/R_1+R_2 a feszültségosztó osztásviszonya vagy csillapítása:

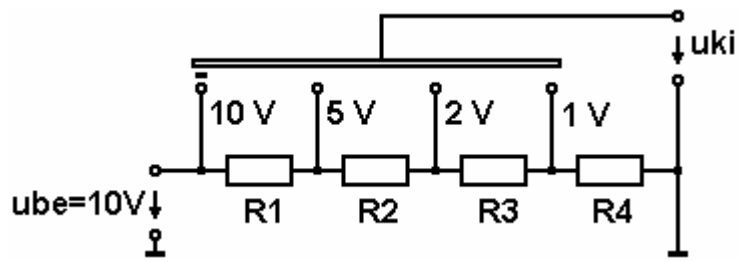
egységnyi U_{be} bemenő feszültségre eső U_{ki} kimenő feszültség. A ΣR az ellenálláslánc eredő ellenállása. Ha az R_1 -en eső feszültségre van szükség, akkor az R_1 -t kell a számlálóba írni, tehát a számlálóban mindig az az ellenállás szerepel, melyen a leosztott feszültséget keressük. Ha az osztó kimenete terhelt, azaz az R_2 -vel párhuzamosan kapcsolódik egy külső ellenállás, akkor ezt a kimeneti feszültség számításakor figyelembe kell venni!

A feszültségosztó alkalmazásának elsősorban a mérés technikában van jelentősége. Funkció szerint vannak bemeneti és kimeneti osztók. A kézi és elektronikus feszültségmérők nélkülözhetetlen áramköri egysége a bemeneti feszültségosztó, mivel a különféle (pl. 1, 10, 100, 1000 V) nagyságú mérendő bemeneti feszültségeket, a készülék számára feldolgozható (pl. 0,1V) értékre ezekkel előállítani. Az ilyen osztók több ellenállásból állnak és a leosztott feszültséget egy többállású vagy fokozat kapcsolóval (Yaxley) lehet kiválasztani. Az egyes fokozatokat a méréshatár vagy az osztásviszony felirattal lehet azonosítani. A mérési eredmény kiértékeléséhez szükség van a méréshatárra, ami a mérőműszer végkitéréséhez szükséges bemeneti feszültséget jelenti. Az osztó ellenállásainak méretezésekor figyelembe kell venni, hogy a fokozatkapcsoló kimenetén az egyes osztásponti feszültségek összegződve jelennek meg. Ez az ábra jelöléseinek alapján azt jelenti, hogy $U_{be}=1V$ esetén az R_4 -en 1mV, az R_3 -on 9mV és az R_2 -en 90mV esik, azaz a közös vonatkozási ponthoz (közös földelés) viszonyítva összesen 100mV jelenik meg a az U_{ki} kapcsan. A mérendő feszültséget mérés közben az osztó ΣR bemeneti ellenállása terheli, emiatt nem a mérendő feszültséget, hanem a ΣR -el terhelt feszültséget fogjuk mérni. Ez a mérési hiba a bemeneti ellenállás növelésével csökkenthető. A bemeneti osztó jellegzetessége, hogy a bemeneti feszültségük változik, a kimeneti feszültségük legnagyobb értéke állandó. Az osztók másik csoportja a kimeneti osztó, melylyel a hang, a szignál, a funkciógenerátorok (stb.) kimenetén lehet a megfelelő kimeneti feszültség szintet kiválasztani. Ezek az osztók, valamilyen belső áramkör által előállított, állandó nagyságú - általában szinuszos váltakozó - feszültséget osztanak le előírt értékre.

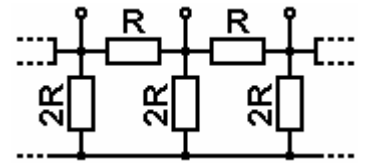


Az osztók másik csoportja a kimeneti osztó, melylyel a hang, a szignál, a funkciógenerátorok (stb.) kimenetén lehet a megfelelő kimeneti feszültség szintet kiválasztani. Ezek az osztók, valamilyen belső áramkör által előállított, állandó nagyságú - általában szinuszos váltakozó - feszültséget osztanak le előírt értékre.

Felépítésük gyakorlatilag nem tér el a bemeneti osztótól, de az egyes fokozatok vagy a leosztott feszültséggel vagy a csillapítás értékével vannak megjelölve. Előfordul, hogy a kimeneti szint vagy a csillapítás megadása logaritmikus mérőszámmal történik. A logaritmikus átvitel, az osztásviszony 10-es alapú logaritmusának 20-szorosával számítható, mértékegysége a deciBell (dB). Az ábrába ezeket az értékeket lehetne feltüntetni: 0 dB, -6 dB, -14 dB és -20 dB. A kimeneti feszültség elsősorban üresjárásban pontos és csak nagy értékű ellenállással terhelhető. A kimeneti osztó jellegzetessége, hogy a bemeneti feszültségük állandó, a kimeneti feszültségük változik.



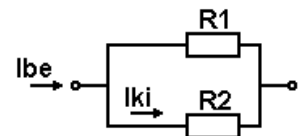
A soros ellenállásokból álló feszültségosztók kedvezőtlen tulajdonsága, hogy a kimeneti ellenállásuk, tehát amekkora ellenállást a kimenetre csatlakozó áramkör lát, nem állandó. Az elektronikai gyakorlatban használatos egy különleges kialakítású, R és 2R ellenállásokból álló ún. létrahálózatos osztó, melynek minden fokozatában azonos a kimeneti ellenállása, de a leosztott feszültségek kötöttek, szabadon nem méretezhetők.



Áramosztó

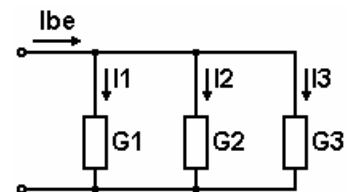
Áramosztónak nevezzük a két vagy több párhuzamosan kapcsolt ellenállás hálózatot. A főágban folyó bemeneti áram az egyes ellenállásokon leosztva jelenik meg. A legegyszerűbb áramosztó két ellenállásból áll. Egy részellenálláson folyó áram:

$$I_{ki} = \frac{U_{be}}{R_2} = \frac{I_{be} \cdot (R_1 \otimes R_2)}{R_2} = I_{be} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$



Az R_1/R_1+R_2 az áramosztó osztásviszonya vagy csillapítása: egységnyi I_{be} bemenő áramra eső I_{ki} kimenő áram. Az áramosztó összefüggés csak két ellenállás esetén használható, és a számlálóban mindig az az ellenállás szerepel, amelyen nem a leosztott áramot keressük. Kettőnél több ellenállás esetén célszerű vezetést használni, mert akkor formailag a feszültségosztóhoz hasonló összefüggést kapunk:

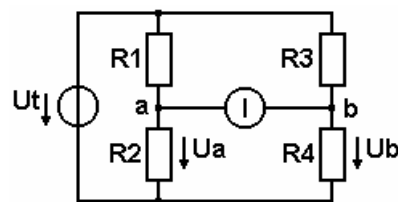
$$I_n = I_{be} \frac{G_n}{G_1 + G_2 + G_3} = I_{be} \frac{G_n}{\Sigma G}$$



Vezetéssel számolva a számlálóba az a vezetés kerül, amelyiken keressük az áramot. A ΣG a párhuzamos vezetések eredője. Az áramosztónak szintén a mérés technikában, az árammérés mérés határának bővítése témakörben van elsősorban jelentősége.

Hídkapcsolás

A hídkapcsolás két szembekapcsolt feszültségosztóból épül fel, melyeknek osztásponti feszültségét indikátor műszer jelzi. A feszültségosztók tápfeszültsége közös. Az ábra alapján az „a” és „b” pontok közötti U_{ab} feszültség, azaz a hídkapcsolás általános kimeneti feszültsége:



$$U_{ab} = U_a - U_b = U_t \frac{R_2}{R_1 + R_2} - U_t \frac{R_4}{R_3 + R_4} = U_t \left(\frac{R_2}{R_1 + R_2} - \frac{R_4}{R_3 + R_4} \right)$$

Ha $U_a = U_b$, akkor az $U_{ab} = 0$. Ebben az esetben a hídkapcsolás kiegyenlített. Az osztáspontok különbségi feszültsége csak az osztásviszonyok egyenlősége esetén lehet nulla: Az utolsó összefüggés a hídkapcsolás kiegyenlítési feltétele: ha

$$\frac{R_2}{R_1 + R_2} = \frac{R_4}{R_3 + R_4}$$

a hídátlóban lévő ellenállások szorzata egyenlő, akkor a híd kiegyenlített. A hídkapcsolás fontos tulajdonságai:

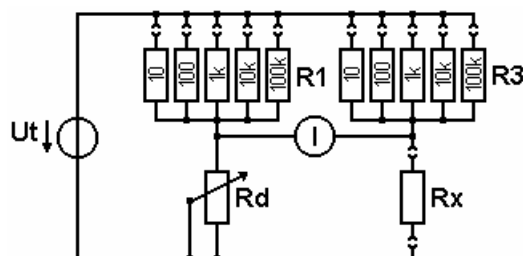
$$R_2 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_4 = R_1 \cdot R_4 + R_2 \cdot R_4$$

$$R_1 \cdot R_4 = R_2 \cdot R_3$$

- a kiegyenlített híd bármelyik ellenállás megváltoztatásával kiegyenlíthető,
- a kiegyenlített híd kimenő feszültsége nem függ a tápfeszültségtől, tehát a tápfeszültség ingadozása nem jelenik meg a kimenő feszültségben,
- a kiegyenlítési állapotot csak a „0” indikálás pontossága határozza meg, tehát, hogy egy híd mikor van kiegyenlítve az indikátor műszerünk érzékenysége határozza meg.

A hídkapcsolás alkalmazási területe az ellenállásmérés.

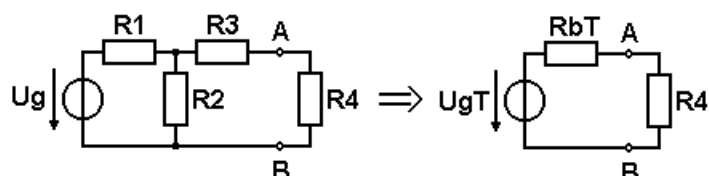
Ellenállás mérésére készült egyenáramú hidakat Wheatstone hídnak nevezzük. A kapcsolásban az R_x az ismeretlen az R_d pedig egy változtatható ellenállás. Az R_d általában forgatógombokkal dekadikusan változtatható, azaz 1-10-100-1k-10k-100kΩ-os ellenállások be-, illetve kiiktatásával 1Ω-tól 999,999kΩ-ig állítható be. Az R_1 és az R_3 ellenállások egy-egy dugaszolóval 10-100-1k-10k-100kΩ-os nagyon pontos értékű ún. normállenállások közül választhatók ki. A tápfeszültséget az R_x ill. az R_d terhelhetősége határozza meg, általában néhány, pl. 1,5÷4,5 V. Az indikátor bármilyen egyenfeszültség mérésére alkalmas kézi műszer is lehet, de precíziós mérések esetén tükrös galvanométer szükséges. Az ismeretlen ellenállást a mérőkapcsok közé kell csatlakoztatni, majd a hídkapcsolást az R_d változtatásával ki kell egyenlíteni. A kiegyenlítési feltétel alapján: $R_x = R_d \cdot R_3 / R_1$. Az R_3 / R_1 hányados a híd áttétele, melyet a mérőszemélyzet választ meg. Az ismeretlen ellenállás értékét a dekadellenálláson beállított ellenállás hídáttétel szerese adja meg. Ha az R_3 / R_1 arány =1, akkor az R_x az R_d -ről közvetlenül leolvasható. Ha az R_3 / R_1 arány 1/10 vagy 1/100, akkor az R_x 0,1Ω-os vagy 0,01Ω-os pontossággal határozható meg. A mérés akkor a legpontosabb, ha az R_d / R_1 arány (hídviszony) értéke közelít az 1-hez.



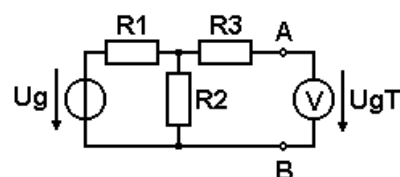
Hálózatszámítási tételek

Thevenin tétel szerint bármely bonyolult aktív hálózat, tetszőlegesen kiválasztott két pontjára nézve helyettesíthető egy valóságos feszültséggenerátorral, melynek forrásfeszültsége a kiválasztott két pont között üresjárásban mérhető feszültséggel, belső ellenállása a kiválasztott két pont között, kikapcsolt generátorok esetén mérhető eredő ellenállással egyezik meg. A kikapcsolt ideális feszültséggenerátor rövidzár, az ideális áramgenerátor szakadás.

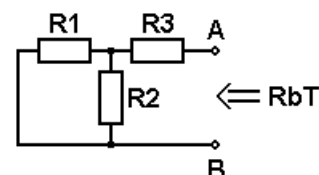
1. Az aktív hálózat kiválasztott két pontja A-B:



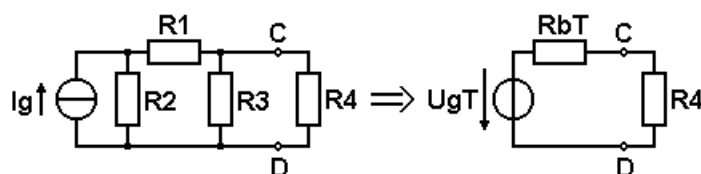
A helyettesítő Thevenin generátor forrásfeszültsége:



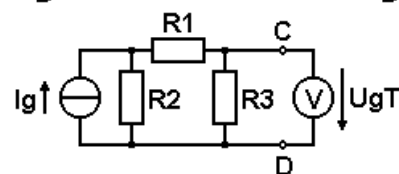
A helyettesítő Thevenin generátor belső ellenállása:



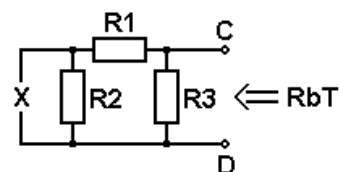
2. Az aktív hálózat kiválasztott két pontja C-D:



A helyettesítő Thevenin generátor forrásfeszültsége:



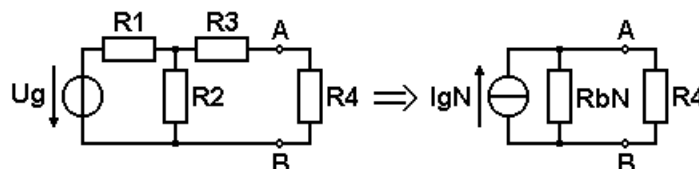
A helyettesítő Thevenin generátor belső ellenállása:



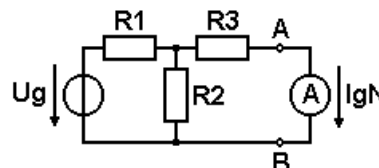
Egy hálózatban működő ellenállásnak teljesen mindegy, hogy egy összetett hálózat vagy egy vele egyenértékű egyszerű Thevenin generátor hajtja meg. Ha az összetett hálózatot átalakítjuk egy egyszerű Thevenin generátorra, akkor az ellenállás feszültségének vagy áramának meghatározása is egyszerűsödik.

Norton tétel szerint bármely bonyolult aktív hálózat, tetszőlegesen kiválasztott két pontjára nézve helyettesíthető egy valóságos áramgenerátorral, melynek forrásárama a kiválasztott két pont között rövidzárban mérhető árammal, belső vezetése a kiválasztott két pont között, kikapcsolt generátorok esetén mérhető vezetéssel egyezik meg. A kikapcsolt ideális feszültség generátor rövidzár, a kikapcsolt ideális áramgenerátor szakadás.

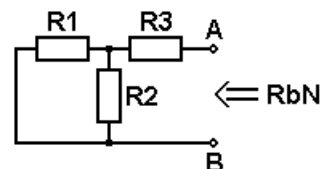
1. Az aktív hálózat kiválasztott két pontja A-B:



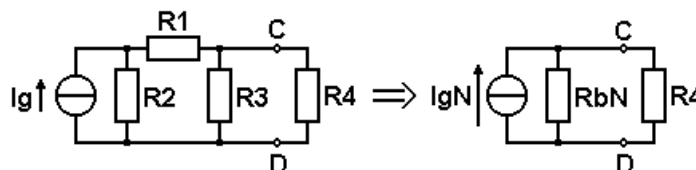
A helyettesítő Norton generátor forrásárama:



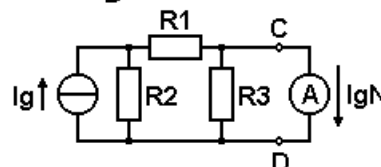
A helyettesítő Norton generátor belső ellenállása:



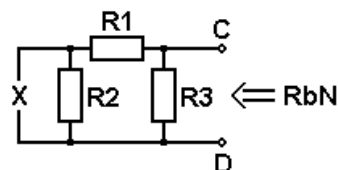
2. Az aktív hálózat kiválasztott két pontja C-D:



A helyettesítő Norton generátor forrásárama:



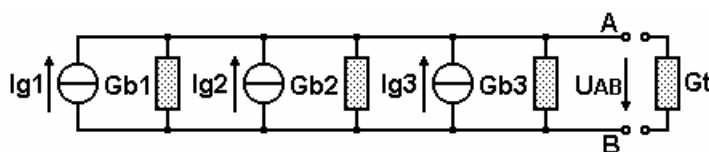
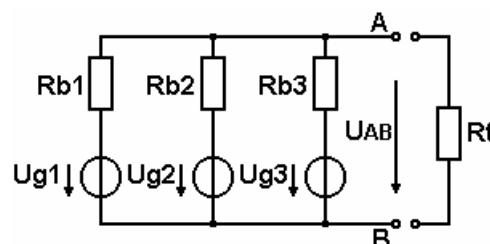
A helyettesítő Norton generátor belső ellenállása:



Egy hálózatban működő ellenállásnak teljesen mindegy, hogy egy összetett hálózat vagy egy vele egyenértékű egyszerű Norton generátor hajtja meg. Ha az összetett hálózatot átalakítjuk egy egyszerű Norton generátorrá, akkor az ellenállás feszültségének vagy áramának meghatározása is egyszerűsödik.

Millmann tétel egy eljárást mutat be, mellyel több párhuzamosan kapcsolt valóságos feszültséggenerátor közös kapcsainak feszültsége határozható meg.

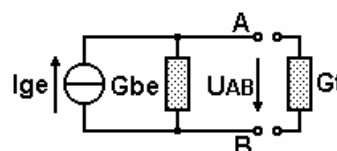
A párhuzamosan kapcsolt feszültséggenerátorok közös kapcsai az A és B pontok. A terheletlen U_{AB} feszültség csak azonos forrásfeszültségű generátorok esetén lesz ismert, mivel meg fog egyezni egy generátor üresjárási feszültségével. Ilyenkor a generátorok egymás feszültségeivel egyensúlyt tartanak, a belső ellenállásokon nem folyik áram. A terhelt U_{AB} feszültség, az előző feltétel teljesülése mellett, csak azonos belső ellenállású generátorok esetén lehet ismert, mivel ilyenkor a közös terhelés egyenletesen terheli mindegyik generátort. A terhelt U_{AB} meghatározásához szükség van egy R_t -vel terhelt Thevenin generátorra, melynek forrásfeszültsége U_{AB} és a belső ellenállása a generátorok belső ellenállásainak párhuzamos eredője. Ez a megoldás kizárólag azonos paraméterű generátorok esetén alkalmazható. Ha a generátorok forrásfeszültsége vagy belső ellenállása különböző, akkor az U_{AB} csak a Millmann tétel alapján határozható meg. Első lépésben az összes feszültséggenerátort átalakítjuk áramgenerátorrá. Az ellenállások helyett célszerűen vezetésre térünk át, mivel a párhuzamos eredő meghatározása egyszerűbb.



Második lépésben az áramgenerátorokat összevonjuk, és a belső vezetések eredőjét képezzük, melyekkel az A-B pontra a helyettesítő Norton generátor:

$$I_{ge} = I_{g1} + I_{g2} + I_{g3}$$

$$G_{be} = G_{b1} + G_{b2} + G_{b3}$$



A terheletlen vagy a terhelt U_{AB} ezek után egyszerű számítással meghatározható. Az eljárás bármennyi párhuzamos ág esetén is alkalmazható.

A Millmann tétel általános alakjában a zárlati áramokat a forrásfeszültséggel adjuk meg. Ha a nevezőben a belső vezetésekhez nem adjuk hozzá a terhelő vezetést, akkor az üresjárási U_{AB} -t kapjuk meg.

$$U_{AB} = \frac{U_1 \cdot G_{b1} + U_2 \cdot G_{b2} + U_3 \cdot G_{b3}}{G_{b1} + G_{b2} + G_{b3} + G_t}$$

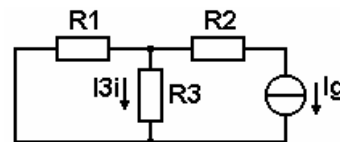
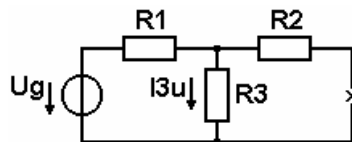
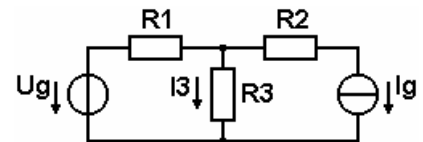
Ha a nevezőben szerepel a terhelő vezetés is, akkor a terhelt U_{AB} -t lehet kiszámítani. A Millmann tétel tehát, párhuzamos ágakkal összekötött két csomópont közötti feszültség meghatározására használható. az ágak tartalmazhatnak feszültséggenerátorokat és áramgenerátorokat valamint passzív elemeket. Legnagyobb jelentősége a háromfázisú váltakozó áramú hálózatok számításánál van.

Szuperpozíció tétel szerint több generátort tartalmazó hálózatban, a hálózat minden ágára, minden generátor kifejti a hatását. Egy ág feszültsége vagy árama, az egyes generátorok által, az ágba létrehozott feszültségek vagy áramok előjeles algebrai összegével egyezik meg.

Egy több generátoros hálózatban egy adott ág feszültségének vagy áramának számításakor csak egy generátort működtetünk, míg a többi 0-ra állítjuk. A 0-ra állított feszültséggenerátor rövidzár, az áramgenerátor szakadás. Az adott ág villamos jellemzőinek meghatározása után, az eddig működő generátort kikapcsoljuk, majd következőt bekapcsolva ismét meghatározzuk az adott ág villamos jellemzőit. Az eljárást addig folytatjuk, míg az összes generátor egyenként vett hatását nem határoztuk meg. A számítások során ügyelni kell a vonatkozási irányokra is. Az adott ág feszültsége vagy árama az egyenként létrejövő feszültségek vagy áramok algebrai összege lesz.

1. Az ábrán egy kétgenerátoros hálózat ismeretlen árama I_3 .

Az ismeretlen áram megállapításához, elsőként az áramgenerátor kikapcsolásával meghatározzuk az I_{3u} áramot, majd a feszültséggenerátor kikapcsolásával az I_{3i} áramot.

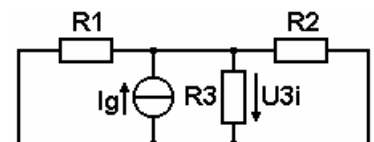
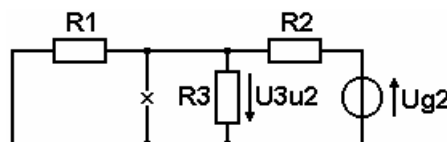
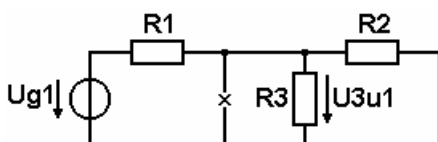
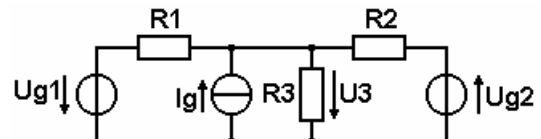


$$I_{3u} = \frac{U_3}{R_3} = \frac{U_g \frac{R_2 \otimes R_3}{R_1 + R_2 \otimes R_3}}{R_3}$$

$$- I_{3i} = I_g \frac{R_1}{R_1 + R_3}$$

Az I_{3i} azért negatív, mert az áramgenerátor a felvett mérőiránnyal ellentétes áramot hajt az R_3 -on. A két áram algebrai összege a vonatkozási irányt figyelembe véve: $I_3 = I_{3u} - I_{3i}$.

2. Az ábrán egy háromgenerátoros hálózat ismeretlen feszültsége U_3 . Az ismeretlen feszültség megállapításához, a generátorokat egyenként működtetve rendre meghatározzuk az I_{3u} áramot, majd a feszültséggenerátor kikapcsolásával az I_{3i} áramot.



$$U_{3u1} = U_{g1} \frac{R_2 \otimes R_3}{R_1 + R_2 \otimes R_3}$$

$$- U_{3u2} = U_{g2} \frac{R_1 \otimes R_3}{R_2 + R_1 \otimes R_3}$$

$$U_{3i} = I_g (R_1 \otimes R_2 \otimes R_3)$$

Az ismeretlen feszültség a részeredmények algebrai összege: $U_3 = U_{3u1} - U_{3u2} + U_{3i}$.

Hálózatszámítási módszerek

Az előző fejezetben bemutatott hálózatszámítási tételek elsősorban egy hálózat, egy-egy feszültségének vagy áramának meghatározására alkalmasak. Abban az esetben, ha egy hálózat összes feszültségének, illetve áramának megismerése, azaz a teljes analízis a cél, akkor ez a feladat valamilyen hálózatszámítási módszerrel vagy eljárással végezhető el. A hálózatok számítására több eljárás létezik. Ezek közös jellemzője, hogy a hálózatban fellelhető ágakra, csomópontokra és hurkokra felírható egyenletek megoldásával jut el a megoldásig. Az ág, két csomópontot köt össze és sorosan kapcsolt passzív és / vagy aktív elemeket tartalmaz. Két csomópont között több ág is lehet. A csomópont a vezetéken két vagy többirányú elágazás. A hurok tetszőleges számú ágból áll és az ágak mentén körüljárható.

Vegyes módszer alapja a hálózatra felírható csomóponti és hurokegyenletek megoldása. A független csomóponti egyenletek száma a csomópontok számánál (c) egysel kevesebb ($c - 1$). Például: ha egy hálózatban két csomópont van, akkor ezek egymásnak -1 -szeresei, tehát nem függetlenek, mert ugyanazt fejezik ki, de egyedül már bármelyik független. A független hurokegyenletek száma (h) az elemi, azaz az összes ágat érintő hurkok számával egyezik meg. Például: a minta hálózatban az $U1-R1-R2-R4-R5-U2$ is egy hurok, de ez már nem független, mert a bejelölt hurkokból matematikailag előállítható. Bizonyítás nélkül: $h = a - (c - 1)$. Általában egy hálózat analíziséhez szükséges egyenletek (e) száma az ágak, azaz az ismeretlenek számával (a) egyezik meg. Vegyes módszer esetén a hálózatban csak feszültséggenerátorok működhetnek, tehát ha vannak áramgenerátorok, akkor azokat át kell alakítani. A minta hálózat 6 ágában folyó $I1 \div I6$ áram kiszámításához $4 - 1 = 3$ csomóponti egyenletre és $6 - 3 = 3$ hurokegyenletre van szükség. Elsőként tetszőlegesen bejelöljük az áramok vonatkozási és minden hurokban azonosan a hurkok körüljárási irányait, és a 3 csomópont kiválasztása után felírhatók az egyenletek:

a hurok: $-U1 + R1 \cdot I1 + R2 \cdot I2 + R3 \cdot I3 = 0$

b hurok: $U2 - R3 \cdot I3 + R4 \cdot I4 + R5 \cdot I5 = 0$

c hurok: $-U3 + R6 \cdot I6 - R4 \cdot I4 - R2 \cdot I2 = 0$

d csomópont: $I1 - I2 - I6 = 0$

e csomópont: $I2 - I3 - I4 = 0$

f csomópont: $I4 - I5 + I6 = 0$

A hálózat aktív és passzív elemeinek értékei:

$$U1 = 50 \text{ V}$$

$$R1 = 100 \text{ } \Omega$$

$$R4 = 600 \text{ } \Omega$$

$$U2 = 60 \text{ V}$$

$$R2 = 500 \text{ } \Omega$$

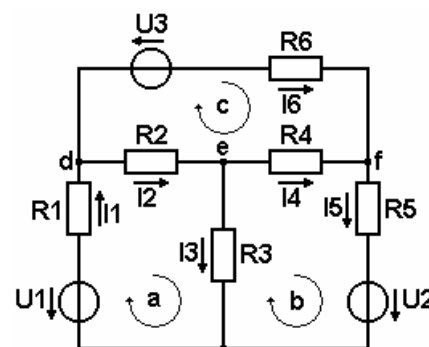
$$R5 = 120 \text{ } \Omega$$

$$U3 = 16 \text{ V}$$

$$R3 = 400 \text{ } \Omega$$

$$R6 = 200 \text{ } \Omega$$

Az egyenletekbe be kell helyettesíteni az ellenállások és a forrásfeszültségek értékeit és a konstans tagokat jobb oldalon rendezni. A hálózatra felírható 6 ismeretlenes egyenletrendszer: (megoldáshoz valamilyen táblázatkezelő pl. Excel, használata célszerű)



$$\begin{array}{rcl}
 + 100 I_1 + 500 I_2 + 400 I_3 & & = 50 \\
 & - 400 I_3 + 600 I_4 + 120 I_5 & = - 60 \\
 - 500 I_2 & - 600 I_4 & + 200 I_6 = 16 \\
 + 1 I_1 & - 1 I_2 & - 1 I_6 = 0 \\
 + 1 I_2 & - 1 I_3 & - 1 I_4 & = 0 \\
 & + 1 I_4 & - 1 I_5 & + 1 I_6 = 0
 \end{array}$$

Az egyenletrendszer megoldása szerint az ágáramok értékei:

$$I_1 = 50 \text{ mA} \quad I_2 = 30 \text{ mA} \quad I_3 = 75 \text{ mA} \quad I_4 = -45 \text{ mA} \quad I_5 = -25 \text{ mA} \quad I_6 = 20 \text{ mA}$$

Az I_4 és I_5 áram negatív eredménye az ellentétes irányra utal. Az eredmény helyességét a csomóponti és hurokegyenletek alapján lehet ellenőrizni. Az eljárás hátránya a sok ismeretlenes egyenletrendszer megoldása. A vegyes módszer elnevezés arra utal, hogy feszültségekre, illetve áramokra írjuk fel az egyenleteket.

Hurokáramok módszere a vegyes módszerhez viszonyítva kevesebb, csak a független hurok számával megegyező számú egyenlettel határozza meg a hálózat ágáramait. A módszer alapelve, hogy minden azonos körüljárási iránnyal felvett elemi hurokban feltételez egy fikatív (képzelt) áramot. Ezeknek az áramoknak az iránya (a mintahálózatban I_a , I_b és I_c) azonos a körüljárási iránnyal. A módszer alkalmazásának feltétele, hogy a hálózatban csak feszültséggenerátorok működhetnek, ha vannak áramgenerátorok, akkor azokat át kell alakítani feszültséggenerátorrá. Az egyenletek felírásához meg kell határozni a hurok saját és a szomszédos hurok közös ellenállásait. A mintahálózatban ezek:

$$\text{saját ellenállások: } R_a = R_1 + R_2 + R_3 \quad R_b = R_3 + R_4 + R_5 \quad R_c = R_2 + R_4 + R_6$$

$$\text{közös ellenállások: } R_{ab} = R_{ba} = - R_3 \quad R_{bc} = R_{cb} = - R_4 \quad R_{ca} = R_{ac} = - R_2$$

A közös ellenállás előjele negatív, ha a rajtuk folyó szomszédos hurokáramok iránya ellentétes, és pozitív, ha az áramok iránya azonos. A hurokegyenletekben azok a feszültségek fognak szerepelni, melyeket egyrészt a hurokáram hoz létre a saját ellenállásokon, másrészt a szomszédos hurokáram hoz létre a közös ellenálláson. Az egyenletek:

$$\text{a: } - U_1 + I_a R_a + I_b R_{ab} + I_c R_{ac} = 0$$

$$\text{b: } + U_2 + I_a R_{ba} + I_b R_b + I_c R_{bc} = 0$$

$$\text{c: } - U_3 + I_a R_{ca} + I_b R_{cb} + I_c R_c = 0$$

A hálózat adatai az előbbiekkal azonosak.

Az egyenletekbe az ellenállások és a forrásfeszültségek értékeit behelyettesítve, majd a konstans tagokat jobb oldalra rendezve, az összevonások után a hálózatra felírható 3 ismeretlenes egyenletrendszer:

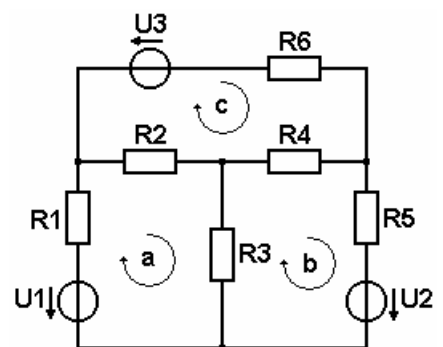
A hurokáramok megoldása:

$$I_a = 50 \text{ mA} \quad I_b = - 25 \text{ mA} \quad I_c = 20 \text{ mA}$$

$$+ 1000 I_a - 400 I_b - 500 I_c = 50$$

$$- 400 I_a + 1120 I_b - 600 I_c = - 60$$

$$- 500 I_a - 600 I_b + 1300 I_c = 16$$



Az ágramok a hurokáramok alapján:

$$I_1 = I_a = 50 \text{ mA}$$

$$I_2 = I_a - I_c = 30 \text{ mA}$$

$$I_3 = I_a - I_b = 75 \text{ mA}$$

$$I_4 = I_c - I_b = 45 \text{ mA}$$

$$I_5 = I_b = -25 \text{ mA}$$

$$I_6 = I_c = 20 \text{ mA}$$

A pozitív előjelű ágramok a hurokárammal azonos, a negatív előjelű ágramok a hurokárammal ellentétes irányúak. Például az I_5 ellentétes az I_b irányával, ezért negatív, tehát a rajzon felfelé mutat. Az eredmények teljesen egybevágznak a vegyes módszer eredményeivel, de lényegesen egyszerűbb.

Csomóponti potenciálok módszere a vegyes módszerhez viszonyítva szintén kevesebb, csak a független csomópontok számával megegyező számú egyenlettel határozza meg a hálózat csomópontjain megjelenő feszültségek értékeit. A módszer alapelve, hogy a hálózat egy tetszőlegesen kiválasztott és 0 potenciálúnak tekintett csomópontjához viszonyítva, az összes többi csomópont feszültségét meghatározza. Ezeknek a feszültségeknek az irányát (a mintahálózatban U_a , U_b és U_c) a csomópontoktól a 0 potenciálú hely felé mutatónak vesszük fel. A módszer alkalmazásának egyik feltétele, hogy a rezisztív elemeket vezetéssel kell paraméterezni, a másik, hogy a hálózatban csak áramgenerátorok működhetnek. Ha vannak feszültséggenerátorok, akkor azokat át kell alakítani áramgenerátorrá. Az egyenletek felírásához meg kell határozni a csomópontok saját és a szomszédos csomópontok közös vezetéseit. A mintahálózatban ezek:

$$\text{saját vezetések:} \quad G_a = G_1 + G_2 + G_6 \quad G_b = G_2 + G_3 + G_4 \quad G_c = G_4 + G_5 + G_6$$

$$\text{közös vezetések:} \quad G_{ab} = G_{ba} = -G_2 \quad G_{bc} = G_{cb} = -G_4 \quad G_{ca} = G_{ac} = -G_6$$

A saját konduktív elemeken a 0V-os hely felé mutató feszültség, a csomópontból kifelé mutató áramokat hajt, tehát a csomópontból kifolyó áram előjele pozitív, és ebből következően a befolyó áram előjele negatív. A közös elemek előjele mindenképpen negatív lesz, mert vagy az egyik, vagy a másik szomszédos csomópont feszültségével kerül ellentétes irányba. A csomóponti egyenletekbe azok az áramok fognak szerepelni melyeket egyrészt a csomópont feszültsége a saját vezetéseken, másrészt a szomszédos csomópont feszültsége hoz létre a közös vezetéseken. Az egyenletek:

$$\text{a:} \quad I_3 - I_1 + U_a G_a + U_b G_{ab} + U_c G_{ac} = 0$$

$$\text{b:} \quad + U_a G_{ba} + U_b G_b + U_c G_{bc} = 0$$

$$\text{c:} \quad - I_2 - I_3 + U_a G_{ca} + U_b G_{cb} + U_c G_c = 0$$

A hálózat adatai átalakítás után:

$$I_1 = 500 \text{ mA}$$

$$G_1 = 10 \text{ mS}$$

$$G_4 = 1,6666 \text{ mS}$$

$$I_2 = 500 \text{ mA}$$

$$G_2 = 2 \text{ mS}$$

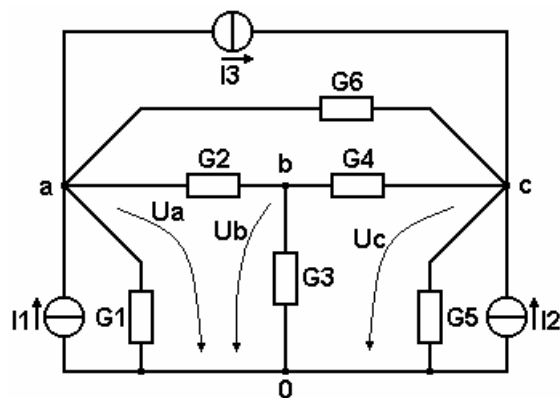
$$G_5 = 8,3333 \text{ mS}$$

$$I_3 = 80 \text{ mA}$$

$$G_3 = 2,5 \text{ mS}$$

$$G_6 = 5 \text{ mS}$$

Az egyenletekbe a vezetések és a forrásáramok értékeit behelyettesítve, majd a konstans tagokat jobb oldalra rendezve, az összevonások után a hálózatra felírható 3 ismeretlenes egyenletrendszer:



A csomóponti potenciálok megoldása:

$$U_a = 45 \text{ V} \quad U_b = 30 \text{ V} \quad U_c = 57 \text{ V}$$

$$\begin{aligned} + 17 U_a & - 2 U_b & - 500 U_c & = 420 \\ - 2 U_a + 6,166 U_b & - 1,666 U_c & = 0 \\ - 5 U_a - 1,666 U_b & + 15 U_c & = 580 \end{aligned}$$

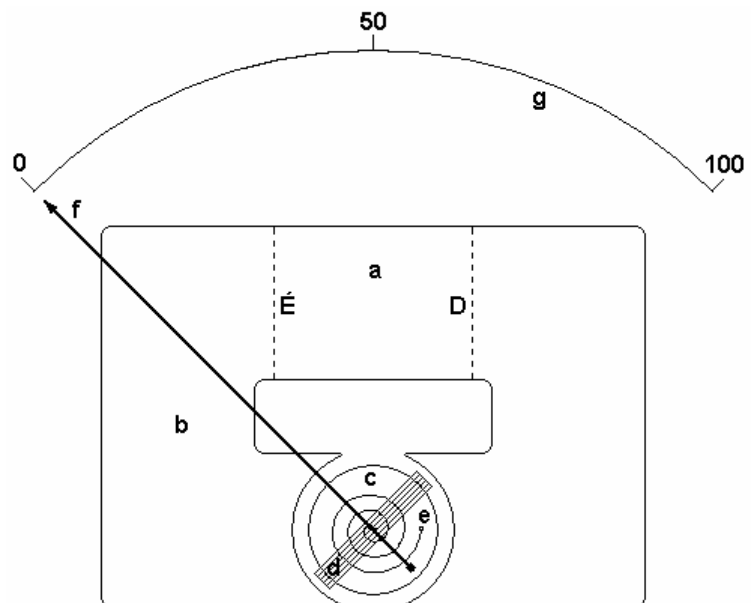
Az $R_3 = 400 \, \Omega$ ellenálláson eső 30 V feszültség

75 mA áramot hajt, ami egyezik a hurokáramok módszerével meghatározott áramnak. A vegyes módszer megoldása szerint az $R_6 = 200 \, \Omega$ ellenálláson 20 mA folyik az "f" csomópont felé, tehát rajta 4 V esik. Az U_3 generátor forrásfeszültségét figyelembe véve a "d" és "f" csomópontok közötti hurok $45+16-4=57 \text{ V}$.

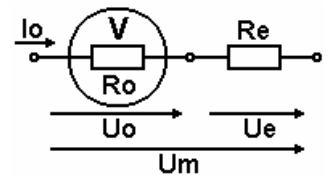
A mintahálózat számításai mindhárom módszerrel egybevágó eredményekhez vezettek. A gyakorlatban azt a módszert kell alkalmazni, amelyik az adott hálózathoz legegyszerűbben használható.

Méréshatár bővítés

Az elektrotechnikában leggyakrabban alkalmazott mérőeszköz a Deprez rendszerű vagy állandó mágnesű mérőműszer. A működés, egy mágneses térbe helyezett áramjárta vezetőre ható erőn alapszik. A mágneses teret egy állandó mágnes (a) hozza létre a lágyvas saruk (b) és egy lágyvas mag (c) közötti légrésben. Mivel a mágneses tér a felületből merőlegesen lép ki, ezért a légrésben sugárirányú homogén tér alakul ki. Ebben a mágneses térben helyezkedik el az ún. lengőtekercs (d), melyben a mérendő áram folyik. Az áramot a lengő tekercsen két foszforbronz anyagú spirál rugó (e) vezet át, melyek egyben a visszatérítő nyomatékokat is szolgáltatják. Áram hatására a lengő tekercsre kitérítő nyomaték hat és addig fordul el, amíg az ellenkező irányú rugóerő visszatérítő nyomatékával egyensúlyba nem kerül. A lengő tekercsre erősített mutató (f) helyzetét egy alatta elhelyezett skálán (g) lehet leolvasni. A kitérítő nyomaték a lengőtekercsen átfolyó egyen áram átlagértékével arányos, a skála lineáris. Mivel végkitéréskor a műszeren I_0 áram folyik és a lengőtekercs R_0 ellenállásán U_0 feszültség esik, ezért a műszer akár áram, akár feszültség mérésére alkalmas. Egy átlagos Deprez műszer adatai $50 \, \mu\text{A} \div 1 \text{ mA}$, $100 \text{ mV} \div 500 \text{ mV}$ és $100 \, \Omega \div 2 \text{ k}\Omega$ tartományokba esnek. A műszer I_0 és U_0 alapérzékenységénél nagyobb értékek méréséhez méréshatás bővítésre van szükség.



Feszültségméréshez a méréshatárt soros ún. előtét ellenállásokkal lehet bővíteni. Az előtét ellenálláson is átfolyik a műszer I_o árama, így nagyobb feszültség esetén jön létre a végkitérés. Egy U_m mérendő feszültséghez az előtét ellenállás meghatározása:

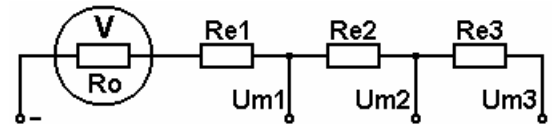


A huroktörvény alapján: $U_m = U_o + U_e$ amiből $U_e = I_o R_e = U_m - U_o$

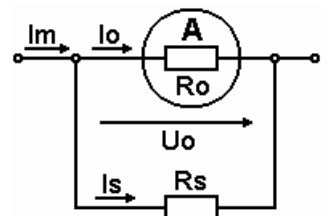
Az U_o -t kiemelve: $I_o \cdot R_e = U_o \left(\frac{U_m}{U_o} - 1 \right) = U_o(n - 1)$

Re-re kifejezve: $R_e = \frac{U_o}{I_o}(n - 1) = R_o(n - 1)$

Az összefüggésben az n a mérendő és mérhető feszültségek aránya. Több méréshatár esetén az előtét ellenállásokat célszerű sorba kapcsolni, így egy kisebb méréshatár ellenállása része lehet egy nagyobb méréshatár ellenállásának. Az egyes méréshatárok kiválasztása dugaszolással vagy fokozat kapcsolással oldható meg. Dugaszolás esetén annyi aljzat van a műszeren amennyi a méréshatár. Nem túl biztonságos megoldás, mert másik méréshatárhoz a csatlakozó vezetékét másik aljzatba kell dugaszolni, és ha nem válasszuk le a mérendő hálózatról a vezetékét, akkor áramütés érheti a mérőszemélyzetet. A fokozat kapcsoló biztonságos, kezelése egyszerű, de olyan kivitel szükséges, melynél váltáskor nem záródik össze két egymás melletti méréshatár.



Áramméréshez a méréshatárt párhuzamos ún. sönt (shunt=elterel; angol) ellenállásokkal lehet bővíteni. A sönt ellenálláson is az U_o feszültség esik, így nagyobb áram esetén jön létre a végkitérés. A sönt ellenállás áramosztót alkot a műszer belső ellenállásával. Egy I_m mérendő áramhoz a sönt ellenállás meghatározása:



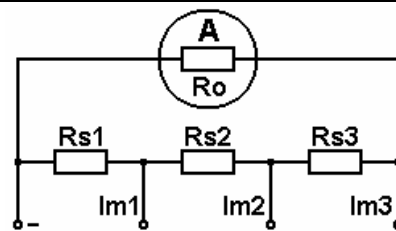
A csomóponti törvény alapján: $I_m = I_o + I_s$ amiből $I_s = I_m - I_o$

Az I_o -t kiemelve: $I_s = \frac{U_o}{R_s} = I_o \left(\frac{I_m}{I_o} - 1 \right) = I_o(n - 1)$

R_s -re kifejezve: $R_s = \frac{R_o}{n - 1}$

Az összefüggésben az n a mérendő és mérhető áramok aránya. Több méréshatár esetén a sönt ellenállások csak külön-külön kapcsolhatók párhuzamosan az alapműszerrel. Váltáskor előfordulhat, hogy egy sönt ellenállás áramköre megszakad. Ilyenkor az összes mérendő áram a műszeren folyik keresztül, ami a műszer végleges károsodását okozhatja. Ennek elkerülésére alkalmazható az Ayrton sönt, amivel a sönt ellenállások áramkörének megszakadása nem fordulhat elő. A kapcsolás lényege, hogy a sönt ellenállások sorba vannak kap-

csolva és a soros sönt lánc kapcsolódik párhuzamosan a műszerrel. Az egyes méréshatárok kiválasztása dugaszolással vagy fokozat kapcsolóval oldható meg. A fokozat kapcsolóval szemben követelmény, hogy váltás átlapolással, azaz két egymás melletti méréshatár összezárásával történhet. Az ábrán az



Rs1 méretezésénél figyelembe kell venni, hogy az Rs2 és Rs3 sorba kapcsolódik az Ro-al. Feszültség és áram mérésére is alkalmas műszereket kombinált műszernek nevezzük. Igen sokféle típus létezik és használatos az iparban és különféle villamos szakterületen, szervizelési, hibakeresési és javítási munkák során. A műszerek használhatóságát leginkább a belső ellenállásuk jellemzi, azaz a mérés során mekkora hibát okoznak a mérendő hálózat működésében. Egy ideális feszültségmérő belső ellenállása végtelen, egy ideális árammérő belső ellenállása nulla.

A villamos áram hőhatása

Egy vezetőben folyó áram hatására hő fejlődik. A villamos áramot alkotó töltéshordozók rendezett mozgása közben az energiájuk egy részét a vezető molekuláinak átadják. Ha más energia átadás nincs, akkor ez az átadott energia teljesen hővé alakul, a keletkezett hőmennyiség egyenlő lesz a villamos munkával. Joule törvény szerint a hőmennyiség és a munka:

$$Q = W = U \cdot I \cdot t = \frac{U^2}{R} t = I^2 \cdot R \cdot t$$

Az SI mértékegység rendszerben a hőmennyiség és a munka mértékegysége megegyezik. A munka lehetséges mértékegységei: $[W] = VAs = Ws = J = Nm$. Az SI bevezetése előtt a hőmennyiség mértékegysége a kalória volt. A cal, illetve a kcal mértékegységek elsősorban az élelmiszerek energiatartalmának megadásakor használatosak. Az átszámítási tényezők:

$$1 J = 0,239 \text{ cal} \cong 0,24 \text{ cal} \quad \text{és} \quad 1 \text{ cal} = 4,18 J \cong 4,2 J$$

Testek melegítésekor a felvett hőmennyiség: $Q = c m (T_m - T_k) = c m \Delta T$, ahol:

- c a fajhő: megadja, hogy mekkora energia szükséges 1 kg tömegű anyag hőmérsékletének 1 C° - al történő emeléséhez. A fajhő mértékegysége $[c] = kJ / kg C^\circ$.
- m a test tömege kg-ban.
- ΔT a hőmérséklet változása: a T_k kezdeti és a T_m melegített hőmérsékletek különbsége C°-ban.

Az áram által keltett hő lehet hasznos, például a különféle melegítő készülékek esetén, hőszugárzó, forrasztópáka, merülőforraló, stb. és lehet káros, például a táv- és hálózati vezetékek, energiaátviteli transzformátorok, váltakozó áramú forgógépek, elektronikai alkatrészek, teljesítmény félvezetők esetén. A melegedő alkatrész működése növekvő hőmérséklet hatására megváltozik, szélső esetben tönkremegy. Károsodás elkerülése érdekében gondos-

kodni kell a megfelelő hűtésről. A hő terjedésének nevezzük azt a folyamatot, mialatt a hőenergia egy magasabb hőmérsékletű rendszerből eljut egy másik alacsonyabb hőmérsékletű rendszerbe. A terjedés történhet vezetéssel, áramlással és sugárzással. Vezetéssel a szilárd anyagokban terjed a hő. Különböző szilárd anyagok között a jó hővezetés, csak nagy érintkezési felület esetén érhető el, például tranzisztor tok és hűtőborda között. Legjobb hővezetők a fémek. Áramlással terjed a hő folyadékokban és gázokban. A magasabb hőmérsékleten a molekulák mérete növekszik, a sűrűsége csökken, ezért felfelé áramlik, helyére hidegebb anyag kerül. A radiátorokat, hűtőbordákat úgy kell elhelyezni, hogy a levegő akadálytalanul áramolhasson a lamellák között. Sugárzással terjedő hőenergia hordozója az elektromágneses sugárzás infravörös tartománya, melynek hullámhossza a 780 nm és 1 mm közé esik. A 800 nm és 400 nm közötti részt az emberi szem fénynek érzékeli. A hevített testek lehűléskor, meghatározott hullámhosszúságú sugárzást bocsátanak ki. A lesugárzott hőteljesítmény függ a test hőmérsékletétől, a sugárzó felület nagyságától, a test színétől és az anyagától. A feketére eloxált alumínium hűtőborda jobban lesugározza a hőt, mint a tiszta fémfelületű. Elektronikai berendezések hűtését kisméretű ventilátorok is segítik.

A villamos áram hőhatásának leggyakoribb alkalmazásai:

Fűtés és melegítés. Előnye, hogy jó a hatásfoka, tiszta, könnyű a kezelése. Hátránya, hogy a felmelegedés lassú, viszonylag költséges. Fűtőtest anyaga nikkel, réz, króm, mangán, alumínium, és vas ötvözetek (króm - alumínium - acél ötvözet a kantal 1300 C°-ig használható). Főbb alkalmazások a helyiségek fűtése, ipari edző és olvasztókemencék, háztartási tűzhely, vasaló, forrasztópáka, stb.

Villamos hegesztés két változata használatos. Az ellenállás-hegesztés esetén a hegesztendő alkatrészeket összeérintik és nagy áram hatására az érintkező felületek felizzás után összehegednek. Létezik ponthegesztés, például gépkocsi karosszéria gyártása során és vonalhegesztés, amikor az alkatrészek két görgő között áthaladva hegednek össze. Az ívhegesztés esetén villamos ív jön létre és marad fenn egy fémelektroda vége és a munkadarab között. A megolvadt fémcseppek az elektródáról az íven át jutnak a hegesztési ömledékbe. Az eljárást leginkább szerkezeti acélmunkák, hajóépítés és általános gépipari tevékenység során vasötvözeteknél alkalmazzák.

Világítási eszközök több változata létezik. Az izzólámpa egy légritkított üvegburában elhelyezett, wolframból készült, többnyire duplaspirál izzószálból áll. Az izzószálat a rajta folyó áram kb. 2100 C°-ra melegíti fel, ezért erős fényt sugároz. A hatásfoka nagyon rossz, a bevezetett villamos energia több mint 90 %-a a környezetet melegíti. Alkalmazásukat a fénycsöves és a LED-es eszközök kiszorítják. Az ívlámpa elve, hogy két, kb. egy ujjnyi vastag, néhányszor 10 V feszültségre kapcsolt szénrúd összeérintésekor villamos ív jön létre. A nap fényéhez hasonló ívet 50 - 100 A tartja fenn. A működés során a fogyó szénrudak előtolásáról gondoskodni kell.

Olvadó biztosító az energia szolgáltató hálózatot, illetve a fogyasztót védi meg a túláramtól és a zárlati áramtól. Túláram esetén a fogyasztó névleges áramfelvétele túlterhelés vagy va-

lamilyen más ok miatt megnövekszik. Zárlati áram a fogyasztót tápláló vezetékek közötti szigetelés megszűnésekor lép fel, a hálózatra káros hatással van. Az olvadó biztosító egy vékony 20 - 40 mm hosszú vezető, melyen a fogyasztó árama folyik át. Ha az áram megnövekszik, akkor a vékony szál annyira felmelegszik, hogy elolvad, így megszakítja az áramkört. Olvadó biztosító igen sokféle kialakításban és kioldási karakterisztikával készül, széles névleges áram tartományban.

Ikerfém vagy más néven bimetál a túláram védelem egyik eszköze. Felépítésére nézve, két különböző hőtágulású hosszúkas fém lapocskából áll, melyek egyik végükön szigetelten másik végükön galvanikusan vannak egymáshoz rögzítve. A sorosan kapcsolódó lemezekén a fogyasztó árama folyik át. Ha ez az áram túllép egy adott értéket, akkor a lemezek a felmelegedés miatt a kisebb hőtágulású lemezke irányába elhajlanak. A néhány mm-es elhajlással érintkezőket lehet működtetni. Az ikerfémes kapcsoló késleltetési, időzí-tési feladatokra is alkalmazható.

Vezetékek méretezése

Egy fogyasztót tápláló vezetéken, mint ellenálláson feszültség esés, teljesítmény felvétel és az átfolyó áram hatására hő fejlődés lép fel. Ezek mind veszteségként jelennek meg a fogyasztó működésének szempontjából. A veszteségek csökkentése a vezeték anyagának és méretének megfelelő megválasztásával megoldható, de ez minden esetben a gazdaságosság rovására megy. A túlságosan vékony vezetéken nagy a veszteség, a túlságosan vastag vezeték drága. A vezetékek méretezésének célja, hogy a kivitelezési és üzemeltetési költségek valamint a várható veszteségek között elfogadható egyensúly legyen.

Melegedésre történő méretezés alapja az áramsűrűség, azaz a fogyasztó áramának és a vezeték keresztmetszetének viszonya. A szabványos megengedett áramsűrűség értékeket táblázatok tartalmazzák. Az áramsűrűség jele: $J = I / A$ mértékegysége $[J] = A / mm^2$

Feszültségesésre történő méretezés alapja, a fogyasztó árama által a vezetéken létrehozott feszültségesés nagysága. A feszültségesés a vezeték ellenállásának csökkentésével, a hossz kötöttsége miatt, a keresztmetszet növelésével csökkenthető. A feszültségesés számítása az áram és a vezető adataiból: $\Delta U = I R = I \rho 2 \ell / A$

A százalékos feszültségesés jele: $\varepsilon = 100 \Delta U / U_k [\%]$

Teljesítményvesztésre történő méretezés alapja a vezetéken, mint fogyasztón fellépő teljesítmény nagysága. A veszteségi teljesítmény a vezeték ellenállásának csökkentésével, a hossz kötöttsége miatt, szintén a keresztmetszet növelésével csökkenthető. A veszteségi teljesítmény számítása az áram és a vezető adataiból: $\Delta P = I^2 R = I^2 \rho 2 \ell / A$

A százalékos teljesítményvesztés jele: $\alpha = 100 \Delta P / P_k [\%]$

A villamos áram vegyi hatása

Elektrolitnak nevezzük a savak, lúgok és sók vizes oldatát. Az oldott anyagok ionos kötésében az egyik, általában a fém atom, elektront ad le, a másik általában nem fém atom ezt az elektront felveszi. Oldódáskor az ionos kötések felbomlanak és ionok jönnek létre. Az elektront leadó ion pozitív, az elektront felvevő ion negatív töltésű lesz. Ionos kötés atomcsoport esetén is (pl. szulfátion) létrejöhet. Az ionokra bomlást disszociációnak nevezzük. Példák a disszociációra:

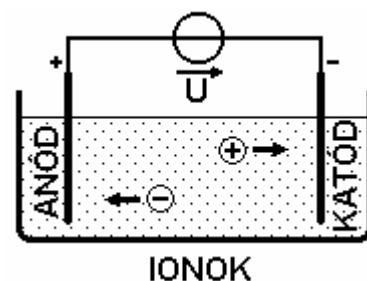
Kénsav	H_2SO_4	2H^+	és	SO_4^{--}
Nátronlúg	NaOH	Na^+	és	OH^-
Cink-klorid só	ZnCl_2	Zn^+	és	2Cl^-
		kationok		anionok

Az elektrolit oldatban tehát mozgékony ionok vannak melyek, mint töltéshordozók a villamos áram vezetésére képesek. Két, néhány voltos feszültségforrásra kapcsolt szén rudat (elektrodát) merítve az elektrolitba, áram indul meg. A negatív ionok a pozitív elektróda (az anód), a pozitívak a negatív elektróda (a katód) felé vándorolnak. Folyadékokban tehát nem elektronok, hanem ionok a töltéshordozók. Az oldatok általában már szobahőmérsékleten is sok iont tartalmaznak, ezért viszonylag jó vezetők. Magasabb hőmérsékleten több molekula disszociál, vagyis a szabad töltéshordozók száma a hőmérséklettel arányosan növekszik, és az oldat ellenállása csökken. Az elektrolit NTK jellegű. Az ionok tömege és mérete több ezerszer nagyobb, mint az elektronoké, így sokkal kisebb sebességgel áramlanak, mint fémekben az elektronok. Ha az elektrolitban valamilyen só van feloldva, akkor a pozitív ionok a katódhoz érve onnan elektront vesznek fel és mint semleges fématom kiválnak az elektródán. Ugyanekkor a negatív ionok az anódon leadják elektronjaikat és a vízből H^+ ionokat vesznek fel, azaz savvá alakulnak. A hidrogénjétől megfosztott vízmolekula oxigénje gáz formájában kiválik az anódon. Ha az elektrolitban valamilyen sav van feloldva, akkor a katódon nem fém válik ki, hanem hidrogén. A víz oxigénre és hidrogénre bontását, illetve az elektrolitból a fém kiválasztását elektrolízisnek nevezzük. A kiválasztott fém mennyiségét Faraday határozta meg először, mely szerint a kiválasztott fém tömege függ az áramerősségtől, az időtartamtól, azaz a töltéstől és az adott anyagra jellemző állandótól, az egységni töltés által kiválasztott anyag mennyiségtől.

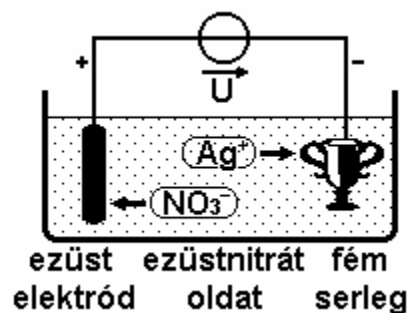
$$m = c \cdot I \cdot t = c \cdot Q$$

Az elektrokémiai egyenérték jele: c , mértékegysége $[c] = \text{mg} / \text{As}$.

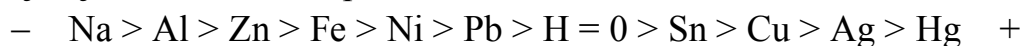
Az elektrolízis folyamán, a katódon annyi fém válik ki, amennyit az elektrolitban feloldott só vagy lúg tartalmaz. Ha fém ionok mind kiválnak, akkor az oldat savas kémhatásúvá válik. A katódon a fém kiválasztása fenntartható, ha az anód szénrúd elektródáját egy fém-tömbre cseréljük, és ennek a fémnek a sójából állítjuk elő az elektrolitot. Például rézhez



rézszulfát, cinkhez cink-klorid, ezüsthöz ezüst-nitrát, stb. elektrolit szükséges. A negatív töltésű (pl. SO_4^{--} savmaradék) ionok az anódon leadják az elektronjaikat és egyben a fém tömbből pozitív fémiont visznek az oldatba. Ez a fémion fog a katódon kiválni. Az elektrolit vegyi összetétele nem változik meg. Ha katód szén rúd elektródáját is valamilyen fém alkatrészre cseréljük, akkor ennek a felületén fog a kiváló fém réteget létrehozni. Ezt az eljárást nevezzük galvanizálásnak. Műanyag alkatrészeken is lehet fémbevonatot képezni, ha a felületüket előzőleg grafittal vonják be. A galvanizálást esztétikai, kopásállósági, korrózió védelmi és villamos tulajdonságok javítási céljából alkalmazzák. Az elektrolízis fontos alkalmazási területe a fémkohászat, a réz, alumínium, magnézium, kálium, nátrium stb. előállítása.

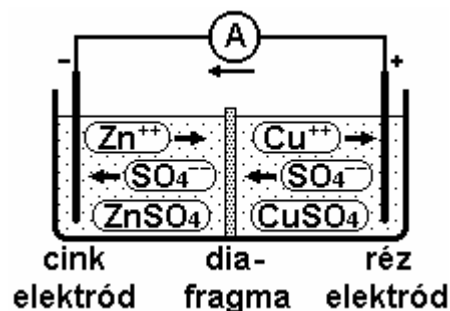


A galvánelem olyan feszültségforrás, melyben a kémiai energia elektromos energiává alakul át úgy, hogy az elektródáknál végbemenő folyamatokat térben elkülönítjük egymástól. A galvánelem működésének alapja az elektródpotenciál. Saját sójának vizes oldatába merített fém elektróda és az elektrolit között potenciálkülönbség alakul ki. A fémről, elektronok hátrahagyásával pozitív fémionok mennek az oldatba, tehát a fém töltése az oldathoz képest negatív lesz. Az oldatból, elektronok hátrahagyásával pozitív ionok válnak ki az elektróda felületén, tehát a fém töltése az oldathoz képest pozitív lesz. A potenciálkülönbség nagysága akkora, hogy megakadályozza a további elektronátadást. A különféle fémek sorba rendezhetők a rájuk jellemző elektródpotenciál értéke szerint:

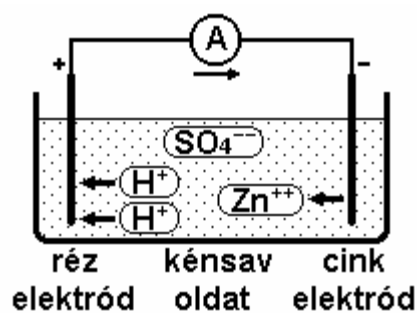


A pontos értékek táblázatokban megtalálhatók.

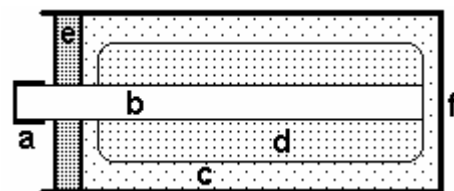
Egy elektróda és az elektrolitja zárt rendszert alkot, tehát a közöttük fellépő feszültséget nem lehet sem mérni, sem hasznosítani. Galvánelem előállításához két elektróda szükséges úgy, hogy az egyiket a H-tól jobbra, a másikat a H-tól balra lévőkből választjuk ki. Zárt áramkört a diafragma (máztalan cserép esetleg pergament papír) biztosítja úgy, hogy az ionokat átengedi, de az elektrolitok keveredését megakadályozza. Az ábra a Daniell elem szerkezeti felépítését mutatja. Az egyik elektróda cink, mely ZnSO_4 oldatba, a másik elektróda réz, mely CuSO_4 oldatba merül. Az oldatok koncentrációja 1 mol/dm^3 -es. A Zn elektródból Zn^{++} ionok lépnek az oldatba, miközben két elektront hátrahagynak. Az elektronok a vezetéken és az árammérőn keresztül átáramlanak a Cu elektródra, ahol az oldatban lévő Cu^{++} ionok ezeket felvéve fémréz formájában kiválnak az oldatból. A réz elektród potenciálja $0,34 \text{ V}$, a cinké $-0,76$, tehát az elrendezés üresjárási feszültsége $U = 0,34 - (-0,76) = 1,1 \text{ V}$. Az energia átalakítási folyamat a Zn elektróda elfogyásáig, illetve az összes réz kiválásáig tart.



A Volta-féle elem elektródái is rézből, illetve cinkből állnak, de mivel a hígított kénsav elektrolitjuk közös, ezért nincs szükség diafragmára. Az elektrolitban a kénsav H^{++} -ra és SO_4^{--} -ra disszociál. A szulfácion, a cink elektródából két elektron hátrahagyásával kilépő Zn^{++} ionnal cinkszulfátot képez, a két hidrogénion a réz elektródáról elektron felvétellel semlegesítődik és parányi gázbuborékok formájában az elektródot beborítva kiválik. Réz helyett a $\text{H} = 0\text{V}$ -os hidrogén merül az oldatba és így a réz elektródpotenciálja nem vesz részt az forrásfeszültség képzésében, tehát az üresjárási feszültség a cink elektródpotenciáljával, $U = 0 - (-0,76) = 0,76\text{ V}$ lesz azonos. A hidrogén kiválás jelenségét átpolarizálódásnak nevezzük, és kialakulását az elektróda mozgatásával vagy depolarizátor alkalmazásával igyekszünk megakadályozni. Az energia átalakítás során a cink elektróda egyre jobban fogy, az elektrolit cinkszulfáttá alakul, az elem kimerül és nem lehet regenerálni sem. A Volta-féle elem alapján készülnek a mindennap használatos szárazelemek.



Az elem egy hengeres cink serlegben (f) helyezkedik el, ami egyben a negatív elektróda is. A pozitív elektróda egy néhány mm átmérőjű grafit rúd (b), egyik végére sajtolt fém érintkező sapkával (a). A depolarizátor mangándioxid (MnO_2), más néven barnakőpor (d), ami az elektródon fejlődő hidrogént, oxigén leadásával megköti. Az elektrolit ammónium-klorid más néven szalmiáksó (NH_4Cl) és cink-klorid (ZnCl_2) oldat keveréke (c). A száraz elem elnevezést az indokolja, hogy az elektrolit keményítőben van elegyítve, ezért nem folyik. A párolgást egy szurok réteg (e) akadályozza meg. A szén és a cink elektródpotenciálja alapján a forrásfeszültség $U = U_C - U_{\text{Zn}} = 0,74 - (-0,76) = 1,5\text{ V}$. Az elem működése közben elfogy a cink serleg, emiatt az elektrolit károsíthatja a működtetett készüléket. Ennek elkerülésére készülnek acélköpeny borítású elemek is. A kereskedelemben, többféle méretben, góliát, bébi, ceruza és mikro ceruza néven, A, AA, AAA jelzéssel forgalmazzák. Korszerű, hosszú élettartamú elemekben alkalmazott elektródák alkáli-mangán, higanyoxid, ezüstoxid és lítium. Széles mérettartományban készülnek gombaelemek is.



Akkumulátorok olyan energia átalakítók, melyekben a lejátszódó vegyi folyamatok megfordíthatók. Alaphelyzetben az elektródák anyaga azonos, ezért közöttük potenciál különbség nincs. Töltéskor külső energiaforrás elektrolízist indít meg, az elektródák minősége megváltozik, polarizálódnak. Kisütéskor galvánelemként működve a töltéskor felvett energiát egy külső fogyasztónak adják át, miközben az elektródák anyaga alaphelyzetbe kerül.

A savas vagy ólom akkumulátor elektrolitja 30%-os hígított kénsav. A negatív elektród (katód) több párhuzamosan kötött rácsos szerkezetű, lemez alakú ólom-antimon öntvény. A rácsok közé ólomoxiddal kevert minium masszát préselnek. Töltés közben szivacsos ólom alakul. A pozitív elektród (anód) szerkezetileg azonos felépítésű, mint a katód, de az ólom-oxid és minium massa kénsavat is tartalmaz. Töltés során ólomdioxiddá alakul. A lemezek

távtartó szigetelők segítségével, fésűszerűen egymásba csúsztatva, üveg vagy keménygumi edénybe kerülnek. A negatív lemezekből eggyel több van, így a pozitív lemezeket közrefogva, minden oldal részt kémiai folyamatban. A lejátszódó teljes vegyi folyamat:

katód	elektrolit	anód	folyamat	katód	elektrolit	anód
PbSO ₄	2H ₂ O	PbSO ₄	töltés ⇒	Pb	2H ₂ SO ₄	PbO ₂
			⇐ kisütés			

Töltéskor a katódon hidrogén, az anódon oxigén szabadul fel, a töltő helyiséget szellőztetni kell. A sav koncentrációja töltéskor növekszik, kisütéskor csökken, a pillanatnyi energiatartalom savszint mérésével meghatározható. Cellafeszültségek: üresjárási 2 V, töltési 2,4 V, kisütési 1,8 V. Az akkumulátor névleges tároló képessége (kapacitása) az az Ah-ban mért töltésmennyiség, amely a teljesen feltöltött akkumulátorból, a megengedett legkisebb feszültségig kisütve kivehető. Belső ellenállás mérettől függően 0,1 mΩ ÷ 1 Ω tartományba esik. A zárlati áram 1 kA-t is elérheti, és a tartós túlterhelést kerülni kell, mert károsítja a belső szerkezetet. Az Ah hatások a kivehető és betáplált töltések viszonya (80 ÷ 90 %). A Wh hatások a kisütéskor és töltéskor végzett villamos munkavégzés viszonya (60 ÷ 80 %). A Wh hatások rosszabb az Ah hatásoknál, mert az akkumulátoron átfolyó mindkét irányú áram hőt fejleszt. Végleges károsodás lép fel a túlságos kisütéskor, az 1,8 V-nál kisebb cellafeszültséget nem szabad megengedni. Töltési adatok tapasztalati értéke: töltési idő 10 óra, a töltőáram az Ah kapacitás 1/10-e. Például egy 45 Ah akkumulátort 4,5 A-rel 10 órán keresztül célszerű tölteni. Felhasználási területek: gépkocsi ipar, vészvilágítás és vagyonvédelmi berendezések, telefonközpontok, szünetmentes tápegységek, stb. Hátránya, hogy nehéz, rázkódásra érzékeny, használati helyzete kötött.

A lúgos akkumulátor elektrolitja 25 %-os kálilúg (KOH). A negatív elektróda vashidroxid (Fe(OH)₂), a pozitív elektróda nikkelt-hidroxid (Ni(OH)₂). Az elektróda anyagok rácsos szerkezetű, lemez alakú hordozóba vannak sajtolva. A lejátszódó vegyi folyamat:

katód	anód	folyamat	katód	anód
Fe(OH) ₂	2Ni(OH) ₂	töltés ⇒	Fe	2Ni(OH) ₃
		⇐ kisütés		

A Ni-Fe akkumulátor cellafeszültsége 1,35 V. Teljes kisütés után is újratölthetők. Az ólom akkumulátorokhoz viszonyítva hosszabb az élettartamuk, könnyebbek és kevésbé érzékenyek a külső mechanikai hatásokra. Hátrányuk a kisebb kapocsfeszültség és rosszabb hatások. A Ni-Fe akkumulátor korszerű utódja a nikkelt-kadmium (Ni-Cd) és az ezüst-cink akkumulátor.
