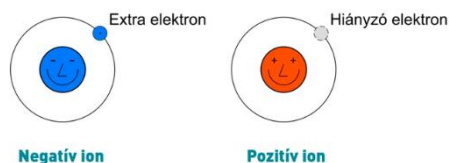


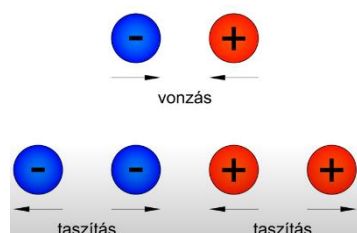
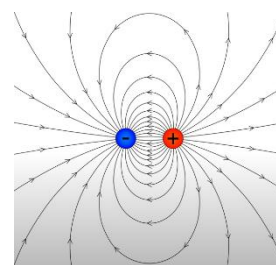
Elektromos alapjelenségek

Az elektromos alapjelenségek az anyag atomi szerkezetéből származtathatók. Minden stabil szerkezetű anyag atomja semleges állapotban nem mutat elektromos jelenséget. Ez azt jelenti, hogy az atommag protonjainak száma megegyezik az elektronok számával. Elegendő mértékű külső energia hatására egy vagy több elektron leválik az atomról, és elektron hiány lép fel, többlet proton marad. Az atommag úgynevezett pozitív ionná válik. Más kifejezéssel, pozitív töltés keletkezik! Ugyanez a helyzet, ha az atom



semlegessége külső energia hatására -egy vagy több- többlet elektron csatlakozásával borul fel –elektron többlet-, ilyenkor az atom negatív töltésű lesz! Látható, a töltés az atom saját tulajdonsága, csupán az egyensúlyi állapota felborulásának milyenségét fejezi ki a pozitív vagy negatív töltésűvé válásával.

Tapasztalható, az atom semleges állapotából történő kibillentéséhez külső energia kell, akkor az atom semleges állapotának fenntartásához is szükség van egy az atomon belüli, a protonokat és az elektronokat összetartó belső erőhatásra. Például, a leválasztott elektron hiánya az atommagból olyan erőhatást vált ki, ami visszavonozná az elektront, vagy egy másik elektrontöbblettel rendelkező atomot. Ez a visszahúzó erő nem pontszerű, hanem az atommag körül –térben, gömbszerűen- minden irányba ható erőhatás, amit erőtérek, esetünkben **elektromos erőtérek** nevezünk.



Az elektromos erőter polarizált, mert csak az ellentétes töltések jelenlétében jön létre vonzás, azonos töltések között taszító erő lép fel.

Hasonló jelenséget mutat például a mágnes erőter, ahol az ellentétes pólusok szintén vonzák, az azonosak taszítják egymást. Létezik polaritásfüggetlen, ismert erőter is, ilyen például a gravitációs erőter, mely a testek tömegvonzásából ered, és a ránk ható súlyerővel érzékeljük.

Megértettük a töltések kialakulásának okát, most ismerjük meg nagyságát és mértékegységét. Az egymásra ható pontszerű töltések jele a „Q”, mértékegységét, az erőhatások törvényszerűségét felismerő (Coulomb törvény) francia fizikusról Coulombról kapta [C]. Vizsgálatunk szempontjából nem is annyira a Coulomb törvény a jelentős, mint az 1 C-nyi töltésben rétszevő elemi (egy atomnyi) töltések iszonyatosan nagy száma, azaz $1\text{ C} = 6,24 \cdot 10^{18}$ elemi töltés.

Villamosságtani alap mennyiségek

Az előző bevezető csak a főbb villamosipari mennyiségek eredetéről szólt, most megnézzük azok főbb jellemzőit. Ezek a villamos áram, a villamos feszültség, és az ellenállás.

A villamos áram

Ahogy egy vízvezetékben a víz áramlik, úgy a villamosságtanban a vezetékben áramló mennyiség az elektromos áram. Az elektromos áram pedig a megismert töltések áramlását jelenti.

A villamos áram jele: **I**, mértékegysége: [A] (amper)

Működés szempontjából, az elektromos áram, a töltések egyirányú áramlását jelenti!

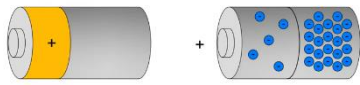
Mennyiségileg: 1 A áram folyik vezetéken, ha rajta 1 másodperc alatt 1 C töltés áramlik át!

Képlettel:

$$I = \frac{Q [C]}{t [s]} [A]$$

A villamos feszültség

A vízvezetésben nyomásra van szükség, hogy a víz áramoljon! **Villamos áramkörben a töltések áramlásához szükséges mozgató erőt**, a korábban ismertetett elektromos erőtér, amely tér két pontja közötti, úgynevezett potenciál különbség(erőhatás különbség) hozza létre, amit **villamos feszültségnek nevezünk!**



A feszültség előállításához olyan eszközt kell létrehozni, mely töltések szétválasztásával állítja elő a mozgathoz szükséges erőteret. Ilyen, kémiai és fizikai úton is létrehozható. A kémiai megvalósulást **elemnek**, vagy újra tölthető változatát **akkumulátornak** nevezzük. Fizikai szinten a feszültségforrásokat energiaátalakítási módszerrel állítják elő. Például a hőenergiát mozgási energiává(erőműben a gőzzel forgatnak generátort), majd mágneses elven működő **generátorral** állítják elő a villamos energiát.

A villamos feszültség jele: U, mértékegysége: [V] (volt)

Működés szempontjából az elektromos feszültség, a töltéseken végzett munkavégző képességet jelenti!

Mennyiségileg: 1 V feszültség, 1 C töltésen 1 Ws munkát végez!

Képlettel:

$$U = \frac{W [Ws]}{Q [C]} [V]$$

A vezetékjellemzők és az ellenállás

Az anyagok atomjai molekulává rendeződve, térbeli rácsszerkezetet alkotnak. Szobahőmérsékleten a rácsszerkezet hőmozgást végez. Egyes anyagok stabil kötést mutatnak a hőmozgás ellenére is, így még nagyobb feszültség által gerjesztett erőtér is csak csekély számú elektront képes leszakítani a stabil kötésből, **Ezeket az anyagokat szigetelőknek nevezzük.** A legtöbb anyag -szennyezetlen állapotban-, beleértve a mesterségesen előállított műanyagok többségét is, a szigetelők csoportjába tartozik.

A fémek rácsszerkezetéhez való kötése kis energiájú, így már a hőmozgás hatására is leválnak külső vegyérték elektronok (szabad elektron), melyek a fémekben rendezetlen mozgást végeznek. A vezetékre kapcsolt feszültség hatására rendezett mozgásba kezdenek a tápáramforrás + sarka felé, egyben könnyű haladást biztosítva az áramforrásból a vezetékbe lépő elektronok számára. Ilyen tulajdonságokkal rendelkező anyagokat nevezzük **vezetőknek.**

Természetesen különféle anyag, eltérő mértékben engedi a töltések áramlását, van ami jobban, van ami kevésbé. A mérhetőség érdekében két mennyiséget vezettek be a villamos iparban, a **vezetést**, jele G, mértékegysége [S](siemens) és az **ellenállást**, jele R, mértékegysége [Ω](ohm).

A két mennyiség egyenértékű. **A vezetés kifejezi, mennyire engedi át -, az ellenállás pedig mennyire akadályozza a vezetékek a töltések áramlását.** Viszonyukat egy reciprok érték fejezi ki.

$$R = \frac{1}{G[S]} [\Omega] \quad G = \frac{1}{R[\Omega]} [S]$$

A mi gyakorlatunkban az ellenállás fogalmának használata a szokásos.

A vezetékek ellenállásának elektromos tulajdonságait a **fajlagos ellenállás (jele: ρ (ró))** fogalmával jellemezhetjük. Az oldalsó táblázatban, néhány jól vezető anyag fajlagos ellenállását láthatjuk. A táblázatban szereplő adat, adott anyagú, 1m hosszú, 1 mm² keresztmetszetű vezeték ellenállása. Példa az első sor, egy ilyen méretű rézvezeték ellenállása 0,0178 Ω , vagy 17,8 m Ω (milliohm).

Anyag	Vegyjel	$\rho \left[\Omega \cdot \frac{\text{mm}^2}{\text{m}} \right]$
réz	Cu	0,0178
alumínium	Al	0,0286
ezüst	Ag	0,0160
arany	Au	0,0220

Mekkora az előző példában szereplő réz vezeték 100 m hosszú, és 0,5 mm² keresztmetszetű vezeték ellenállása? Találjuk ki a kiszámításhoz az összefüggést!

Mielőtt nekilátunk, ismerjük meg az ellenállás okát. Mi korlátozza a töltést (vezetékben elektront) a vezetékben történő áthaladásban? Tapasztalatok szerint az anyag rácsszerkezetének hőmozgása, mert abszolút 0 K^o-hoz (-273,15 C^o) közelítve az anyag hőmérsékletét, létrejön a szupravezetés jelensége, azaz a töltés akadálytalanul halad át a vezetéken, 0 ohmra csökken a vezeték ellenállása. Ebből kiindulva, a töltés minél hosszabb utat tesz meg a vezetékben, annál gyakoribb az ütközések valószínűsége (egyenes arány). Minél nagyobb a vezeték keresztmetszete, annál több töltéshordozó képes áthaladni rajta (fordított arány). Képletbe öntve a leírtakat:

$$R = \rho \frac{l [m]}{A [mm^2]} [\Omega]$$

Behelyettesítve: $R = 0,0178 \cdot 100 / 0,5 = 3,56 \Omega$

A szupravezetésre vonatkozó megállapításból következik, hogy az anyagok ellenállása a hőmérséklettől is függnek, növekvő hőmérsékletnél nő az ellenállás. A táblázat, szobahőmérsékleten (20C^o) mérhető értékeket adja.

Vezetékek ellenállásának hő függése

A teljesség bemutatásának igénye nélkül, megvizsgáljuk, hogy a hőmérséklet-változás, milyen változást okoz a vezeték ellenállásában. **A villamosipari gyakorlatban használt vezetők, pozitív hőmérsékleti együtthatóval (α -alfa [1/C^o]) rendelkeznek (PTK jelleg), azaz a hőmérséklet növekedés hatására növekszik az ellenállásuk.** A táblázatból látható, különféle anyag ellenére 4 mΩ (milliohm) közeli a fokenkénti ellenállás változás.

Anyag	Hőmérsékleti együttható: $\alpha = \frac{1}{K} = \frac{1}{\sigma_C}$
Réz	3,93 · 10 ⁻³
Alumínium	3,77 · 10 ⁻³
Vas	4,6 · 10 ⁻³
Ezüst	3,8 · 10 ⁻³
Arany	4 · 10 ⁻³

Számítása:

$$R = R_{20} + \Delta R = R_{20} + R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

$R_{20} = 20C^o$ -n mért ellenállás, ΔT = hőmérséklet változás (20C^o-hoz viszonyítva)

Előző példa szerinti 3,56 Ω-s ellenállás, milyen értékre növekszik 50C^o-n?

$$\Delta T = 50 - 20 = 30C^o \Rightarrow \alpha_{\text{réz}} = 3,93 \text{ m}\Omega / C^o \Rightarrow R = R_{20} + R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta T = 3,56 \Omega + 3,93 \cdot 30 \text{ m}\Omega = 3,56 + 0,12 = 3,68 \Omega$$

Vezetékek terhelhetősége

A vezető keresztmetszete mm ²	Megengedett terhelés „A” <small>www.novill.hu</small>						Biztosító betétek
	A csoport		B csoport		C csoport		
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	
0,5	7	-	10	-	13	-	-
0,75	10	-	13	-	16	-	-
1	12	-	16	-	20	-	6
1,5	16	13	20	17	25	22	10
2,5	21	16	27	21	34	27	16
4	27	21	36	29	45	35	20
6	35	27	47	37	57	45	25
10	48	36	65	51	78	61	35
16	63	51	87	68	104	82	50
25	83	65	115	90	137	107	63
35	110	86	143	112	168	132	80
50	140	110	178	140	210	165	100
70	175	140	220	173	260	205	125
95	215	175	265	210	310	245	160
120	255	205	310	245	365	285	200
150	295	235	355	280	415	330	250
185	340	270	405	320	475	375	315
240	400	300	480	380	560	440	400
300	470	375	555	435	645	510	500
400	570	455	690	540	770	605	630
500	660	530	820	640	880	690	-

A vezeték terhelhetőségének számítását összetett feladat. Az alábbi táblázat a keresztmetszett függvényében megmutatja rézre és alumíniumra a terhelhetőséget. A csoport képzés a vezeték elhelyezkedését jelenti. A csoport falban, csőben, B csoport vakolatba, C csoport szabadon vezetett vezeték jelenti.

Bevezethető az áramsűrűség (jele: j, mértékegysége A/mm²) fogalma.

Viszont az összetett számítások helyett, a táblázat szerint is biztonságos a **10 A/mm² érték**, amivel egyben könnyű is számolni!

Egy jól méretezett elektromos hálózatban is előfordulhat a megengedett

áramsűrűsége túl terhelés, például egy zárlat (rövidzár) esetén. Ilyenkor az áram ez eredetileg tervezettnek a sokszorosát is elérheti. Erre nem lehet áramsűrűséggel méretezni egy vezeték.

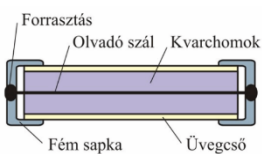
Fontos! A vezeték ellenállása, ha csak nem kifejezetten a hőtermelés a cél, a nem kívánatos kategóriát képviseli, mivel az a villamos energia átvitelekor veszteséget okoz! A veszteség leginkább hő formájában jelentkezik, túlmelegítve, akár tüzet is okozva a vezeték környezetében!

Túlterhelés elleni védelem

Egy biztonságosan tervezett és szakszerűen szerelt elektromos hálózatban is bekövetkezhet túlterhelés, a fogyasztó meghibásodása következtében. Például egy zárlat, több 100, de akár több 1000 A áramot is generálhat, ha áramkörünk nem rendelkezik védelemmel. **A védelmet szakaszolt biztosítékokkal oldják meg.** A biztosítékok leválasztják a zárlatos készüléket, vagy hálózatrészt, hogy ne essen ki a teljes rendszer az áramellátásból.

A védelmet nyújtó biztosítékok lehetnek **olvadók**, vagy a túl áram hatására, mágneses elven működő **megszakítók**. Az előbbi, a védelem eredményeként megsemmisül, tehát cserélni kell. Utóbbi a védelmet lekapcsolással biztosítja, és visszakapcsolható.

Olvadó biztosítékok

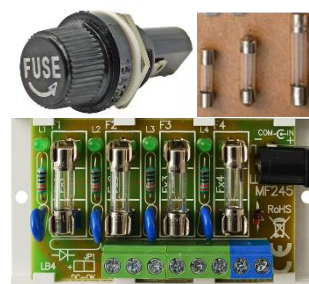


Az oldalsó ábra ugyan elektronikai berendezésekben használatos biztosítékot illusztrál, viszont ezen könnyen belátható a működés elve. Üvegcsőben egy vezeték darab, amely a túl áram hatására elolvad, és megszakítja a körben folyó áramot.

Olcso, biztonságos, egyszerűen elkészíthető tetszőleges túl áramhoz.



Elektronikus áramkörök elterjedt védelmi megoldása, mely tetszőlegesen szakaszolhat részáramköröket, vagy éppen a készülék fő tápellátását választja le a táphálózatról.



Gépkocsik kése olvadó biztosítéka látható a bal oldali fényképen, melyből a gépkocsi minden elektromos berendezése kap egy-egy darabot. Természetesen minden elektromos egységhez, különféle védőáramú biztosíték tartozik. A biztosítékok, egy vagy több biztosíték-táblán, kése csatlakozással kerülnek rögzítésre.



Még 40-50 évvel ezelőtt is az új lakások, irodák biztosíték tábláját is olvadó biztosítékkal szerelték fel, amit



mára felváltottak a korszerű kismegszakítók, melyek az olvadó biztosítékhoz hasonlóan, számított védőáramra kell használni. Előnyük, kioldást követően visszakapcsolhatók. A feltüntetett védőáram névleges érték, a kioldás annak többszörösénél (pl. 3-5 szörös) következik be.



Különleges kinézetű a jobb oldali képen látható, nagy áramú, szakaszoló olvadó biztosíték. Főbb szakaszok, pl. lakóházaknál, elosztó pontokon védik a hálózatot a szakaszon belüli túlterheléstől. Cseréje szakértelmet, és speciális kisedő szerszámot igényel.



Nézzünk meg egy gyakorlati példát!

Vettünk egy izzószálas reflektort, melynek áramfelvétele 4,35 A. 10 A/mm² áramsűrűséget engedünk meg a vezetéken. Mekkora átmérőjű vezetékot kell vásárolnunk, hogy teljesüljön a feltétel, és mekkora biztosítékot vegyünk a védelemhez?

Megoldás

A legkisebb szabványméretű kismegszakító 6 A-s. Látszólag ez elegendő a védelemhez, de mivel magas hőfokon működő terhelést működtetnénk róla, meg kell vizsgálnunk az izzó hideg ellenállását. Melegen 3020 C°-on izzó szál ellenállása $R=U/I=230/4,35=52,87 \Omega$. A wolfrám szál hőmérsékleti együtthatója $\alpha=4,8 \cdot 10^{-3} 1/C^\circ$. $R=R_{20}+R_{20} \cdot \alpha \cdot \Delta T \Rightarrow R_{20}=R/(1+\alpha \cdot \Delta T) \Rightarrow R_{20}=52,87/(1+4,8 \cdot 10^{-3} \cdot 3 \cdot 10^3) \Rightarrow 52,87/15,4=3,43 \Omega$

Ez bizony $I_{induló}=230/3,43=67,06 A$

Igaz, ez egy a szokásosnál lényegesen nagyobb terhelés, ami szélsőségesen magas hőfokon üzemel (nagyon kicsi a hideg ellenállása)

Leggyakrabban normál kioldású kismegszakítót lehet beszerezni (létezik gyors és lomha is). Ezek a kismegszakítók a névleges kioldási árama 3-5 szörösénél oldanak ki. Ennek oka, sok fogyasztó nagyobb induló áramot vesz fel, mint üzem közben. Egy izzólámpa teljes áramfelvétele a már felmelegedett fűtőszálra vonatkozik. Mint láttuk, a fémek ellenállása a hőmérséklet emelkedésével növekszik. Vagyis induláskor kisebb az ellenállásuk, így több áramot vesznek fel. 6 A-s kismegszakító biztosan kevés. legalább 16 A-el célszerű próbálkozni, de az sem kizárt, hogy a 20 A-s választás lesz a működő. Ezzel kerülhető el a nagyobb indulási áram miatti lekapcsolódás. Viszont zárlat esetén, lényegesen nagyobb áram fog folyni, így a nagyobb terhelhetőségű kismegszakító is biztosan leold.

A 10 A/mm² áramsűrűség. Így a 5 A-hez $I/j=5/10=0,5$ -s, 0,5 mm² az értéke.

A kör területét, azaz a vezeték keresztmetszetét $A=r^2 \cdot \pi \Rightarrow r=\sqrt{\frac{A}{\pi}}=\sqrt{0,5/3,14}=0,4 \text{ mm}$ d=2*r=0,8 mm

A villamos teljesítmény, - munka, határfok

A címben szereplő fogalmak már fizikából ismertek. A villamos jelenségek éppen a villamos áram munkavégző képességének hasznosítása miatt váltak jelentőssé. Ma már talán nincs is életünknek olyan területe, ahol a villamosipari szolgáltatások nélkülözhetők lennének.

A villamos teljesítmény jele: P mértékegysége:[W](watt)

A teljesítmény a munkavégző képesség mérőszáma. Nagyobb teljesítményű lámpa erősebben világít, nagyobb teljesítményű hősugárzó több hőt termel, nagyobb teljesítményű motor jobban terhelhető, erősebb. Például egy 4 KW-s hősugárzó, négyszer annyi hőt termel, mint egy 1KW-s.

$$P=U \cdot I \quad [V \cdot A=W]$$

Gyakorlásként számoljuk ki az előző 2 hősugárzó áramát 230V-s hálózati feszültségen! Az első, $I=P/U=4000/230=17,39 A$. A második $I=P/U=1000/230=4,35 A$

A teljesítménynek van egy másik, az elektronikában gyakoribb közelítése, amikor egy alkatrész teljesítményét adják meg, és az a működés során nem túlléphető, különben a túlmelegedés következtében tönkre megy (akár tüzet is okozhat).

Mielőtt erre a problémára megnéznünk egy példát, vizsgáljuk meg, a $P=U \cdot I$ összefüggést. Ellenállásról kezdünk beszélni, de az ellenállás nem szerepel a teljesítmény képletben. Csempésszük bele!

A teljesítmény összefüggés felfogható úgy is, hogy az U feszültség az ellenálláson mérhető feszültség, az I áram pedig az ellenálláson átfolyó áram. E két mennyiségből, Ohm törvényével felírható a teljesítmény összefüggés az ellenállások beépítésével.

$P=U*I \Rightarrow R=U/I \Rightarrow U=R*I \Rightarrow$ a P összefüggésbe behelyettesítjük az U-t $\Rightarrow P=R*I*I \Rightarrow P=R*I^2$
 $P=U*I \Rightarrow R=U/I \Rightarrow I=U/R \Rightarrow$ a P összefüggésbe behelyettesítjük az I-t $\Rightarrow P=U*U/R \Rightarrow P=U^2/R$

$$P=U*I$$

$$P=R*I^2$$

$$P=U^2/R$$

Most jöjjön a példa:

Mekkora maximális feszültség kapcsolható egy **100 Ω 1 W-os ellenállásra**, hogy az ne melegedjen túl?

$$P=U^2/R \Rightarrow U^2=P*R \Rightarrow U=\sqrt{P*R}=\sqrt{1*100}=\underline{10\text{ V maximum érték!}}$$

Mekkora maximális áram folyhat egy **1KΩ-s 0,5 W-os ellenállásra**, hogy az ne melegedjen túl?

$$P=I^2*R \Rightarrow I^2=P/R \Rightarrow I=\sqrt{P/R}=\sqrt{0,5/1000}=\underline{22,4\text{ mA maximum érték!}}$$

A villamos munka jele: W mértékegysége:[Ws](watt szekundum), gyakoribb KWh (kilowatt óra)

Az időegység alatt leadott villamos teljesítményt, vagy villamos energia fogyasztást villamos munkának nevezzük.

$$W=P[W]*t[s] \quad [Ws]$$

Mértékegysége a [Ws] (watt secundum), de a gyakorlatban gyakrabban fordul elő a KWh (kilowatt óra)

Áram vételező helyeken ezt mérik egy villanyórával, és ez után fizet a felhasználó adott tarifa szerint.

Nézzünk egy példát. Mennyit fogyaszt egy 2,2 KW teljesítményű sütő, ha abban fél óra alatt sült ki a sütemény, ha a villamos energia egységára 40.-Ft/KWh?

$$P=2,2\text{KW} \quad t=0,5 \text{ óra} \Rightarrow W=P*t=2,2*0,5=1,1\text{KWh} \Rightarrow \text{Ár}=W*\text{egységár}=1,1\text{KWh}*40.-\text{Ft}=\underline{44.-\text{Ft.}}$$

Hatásfok jele: η (nű)

A hatásfok (η) egy mértékegység nélküli 1alatti viszonyszám, mely %-s értékben jelenítünk meg, mely megadja egy villamos fogyasztóban hasznosuló teljesítmény $P_{hasznos}$, viszonyát a befektetett teljesítménnyel $P_{befektetett}$.

$$\eta = P_{hasznos} / P_{befektetett}$$

Egy példán keresztül lehet egyszerűen értelmezni a hatásfokot.

1. Van egy 100W-s izzólámpánk, melynek fénytelsítménye 5W. A befektetett teljesítmény az amennyit a lámpa fogyaszt a tápláló hálózatról, $P_{befektetett} = 100\text{W}$. Az $5\text{W} = P_{hasznos}$ viszont a hasznosított fény teljesítménye, amiért a lámpát használjuk, így a hatásfoka $\eta = P_{hasznos} / P_{befektetett} = 5/100 = 0,05 = 5\%$
2. Fénycső világítással az előző lámpához hasonló fényt állít elő egy 20W-s fénycső, melynek fénytelsítménye szintén 5W. A befektetett teljesítmény az amennyit a fénycső fogyaszt a tápláló hálózatról, $P_{befektetett} = 20\text{W}$. Az $5\text{W} = P_{hasznos}$ viszont a hasznosított fény teljesítménye, amiért a fénycsövet használjuk, így a hatásfoka $\eta = P_{hasznos} / P_{befektetett} = 5/20 = 0,25 = 25\%$
3. LED világítással az előző lámpához hasonló fényt állít elő egy 6W-s LED, melynek fénytelsítménye szintén 5W. A befektetett teljesítmény az amennyit a LED fogyaszt a tápláló hálózatról, $P_{befektetett} = 6\text{W}$. Az $5\text{W} = P_{hasznos}$ viszont a hasznosított fény teljesítménye, amiért a fénycsövet használjuk, így a hatásfoka $\eta = P_{hasznos} / P_{befektetett} = 5/6 = 0,83 = 83\%$

A példák összehasonlítása szerint, a hatásfok egy minőségi mutató, mely megmutatja, a fogyasztó milyen mértékben hasznosítja a betáplált teljesítményt. Ideális esetben ez az érték 100%.

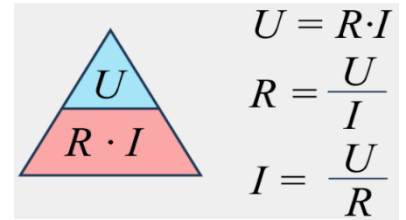
Ellenállás-kapcsolások törvényszerűségei

Ohm törvény

Az Ohm törvény az eddig tanult villamos alapjelenségek (I, U, R) egymáshoz viszonyított kapcsolatát írja le.

$$R[\Omega] = \frac{U[V]}{I[A]} \quad I[A] = \frac{U[V]}{R[\Omega]} \quad U[V] = R[\Omega] * I[A]$$

A felírt 3 összefüggés, láthatóan egyetlen képlet 3 különböző mennyiségre felírt rendezése, tehát nem kell mindet emlékezetbe vésni. Tudása viszont egy elektromossággal foglalkozó számára nélkülözhetetlen. Talán egyszerűbb memorizálni a képleteket, az oldalsó ábra rögzítésével.



Feladat

Adott egy 10 K Ω -s ellenállás, amit 9 V-ra kapcsolunk. Mekkora a rajta átfolyó áram?

$$I = U/R = 9/10K = \underline{0,9 \text{ mA}}$$

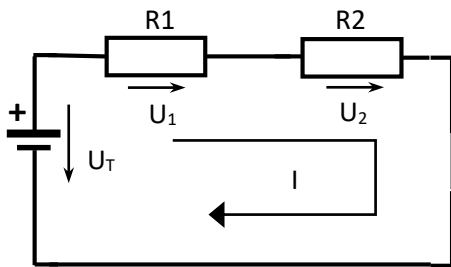
Egy ellenálláson mérünk 9V feszültséget és 4,5 mA áramot. Mekkora az ellenállás?

$$R = U/I = 9/4,5m = \underline{2 \text{ K}\Omega}$$

Egy 2,5 K Ω -s ellenálláson mérünk 2 mA-s áramot. Mekkora az eső feszültség?

$$U = R * I = 2,5 * 2m = \underline{5 \text{ V}}$$

Kirchoff hurok törvény



Kirchoff csomóponti törvénye kimondja, hogy egy zárt áramkörben vagy hurokban mérhető feszültségek összege 0!

$$U_T - U_1 - U_2 = 0 \text{ V}$$

Más formában, egy zárt áramkörben vagy hurokban az ellenállásokon mérhető feszültségek összege megegyezik a telep feszültségével!

$$U_T = U_1 + U_2$$

Mekkora az R2-s ellenálláson mérhető feszültség, ha a telep feszültsége $U_T=9V$, az R1-n mérhető feszültség 3V. $U_T - U_1 = U_2 = 9 - 3 = 6V$

Mekkora a telep feszültsége, ha a köráram 2 mA, $R_1 = 2 \text{ K}\Omega$, $R_2 = 3 \text{ K}\Omega$!

$$U_1 = R_1 * I = 2K * 2m = 4V \Rightarrow U_2 = R_2 * I = 3K * 2m = 6V \quad \underline{U_T = U_1 + U_2 = 4 + 6 = 10V}$$

Utóbbi feladatban felmerül, a telepből elfolyó áram milyen törvényszerűség alapján jön létre, hogy értelmezhető? $U_T=10V$, $I=2 \text{ mA}$ Milyen értéket kapunk, ha a 2 értéket kiszámoljuk Ohm törvénnyel?

A feszültség és az áram ismeretében egy ellenállás értéket kapunk. $R = U_T / I = 10/2m = 5 \text{ K}$ Mi ez?

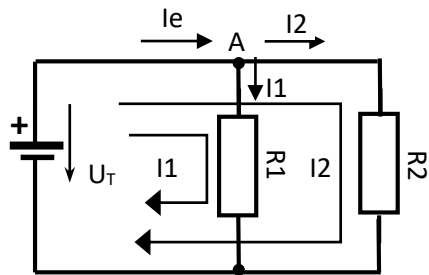
Ez a 2 ellenállás összege! Ez látható az elem irányából nézve, és nevezzük el eredő ellenállásnak!

Megállapítás: Mivel az ellenállás áramkorlátozó tulajdonságú, így az áramkörbe sorba kötve, csökkenti az eredő áramot, ami az eredő ellenállás növekedésével jár. Így a köráram minden ellenálláson azonos, függetlenül az ellenállások számától és értékétől! Az ilyen kapcsolást, az ellenállások soros kapcsolásának nevezzük!

$$R_e = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Az ellenállások soros kapcsolására –talán– a legismertebb gyakorlati példa a régi típusú karácsonyfa izzó. Bosszantó, ha az egyik izzó kiég, hiszen akkor megszakad az áramkör, és egyetlen lámpácska sem fog égni. Rémmálom megtalálni a kiégett izzót! Hogy működik? Természetesen lámpák soros kapcsolásával. A legolcsóbb megoldás, ha annyi lámpát kapcsolunk sorba, ahány kiadja a hálózati feszültséget. Számoljunk! Hány izzót kapcsolhatunk sorba a 230V-s hálózatra csatlakoztatva, ha a névleges teljesítményét (fényerejét) 5 V feszültségeseznél adja le? Soros kapcsolásnál a fogyasztókon (ellenállások) eső feszültségek összeadódnak. Így a 230V-hoz $230/5=46$ lámpa szükséges. Mekkora a köráram, ha egyetlen lámpácska teljesítménye 2W? Több módon is kiszámítható, lámpánként, vagy egyben a teljes fűzér. Utóbbit választva, ha 1 lámpa 2 W, 46 lámpa, $46 * 2W = 92 \text{ W}$. A köráram a $P = U * I$ egyenletet rendezve, $I = P/U = 92/230 = \underline{0,4 \text{ A}}$

Kirchoff csomóponti törvény



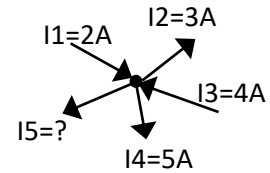
Kirchoff csomóponti törvénye kimondja, hogy egy csomópontba (pl. A) befolyó- és elfolyó áramok összege 0!

$$I_e - I_1 - I_2 = 0 \text{ A}$$

Más formában, egy csomópontba befolyó áramok összege megegyezik az onnan elfolyó áramok összegével!

$$I_e = I_1 + I_2$$

Egy példán keresztül nézzük meg, hogy értelmezhető a gyakorlatban a csomóponti törvény. Az oldalsó csomópontot ábrázoló rajzon található egy ismeretlen áramérték, Határozzuk meg annak előjel helyes értékét, ha a csomópontba befolyó áram előjele +, az elfolyó áramé - $I_1 + I_2 + I_3 + I_4 = I_5 \Rightarrow I_5 = 2 - 3 + 4 - 5 = -2 \text{ A}$



A fenti ábrán látható, a telepre két önálló áramkör csatlakozik. Az egyik az R1 ellenállással zárt áramkör I1 árammal, a másik az R2 ellenállással zárt áramkör, I2 árammal. **Önállóak**, hiszen ha az egyik ellenállást eltávolítjuk, a másik ellenállás áramköri jellemzői változatlanok. Érthetőbb, ha az ellenállások helyébe egy-egy lámpát képzelünk amik világítanak, és ha az egyiket eltávolítjuk, a másik változatlanul világít. Az ábrán is jól látható, ez az **önállóság, az ellenállások (fogyasztók) párhuzamos kapcsolásával érhető el**. Ebből következik, **minden ellenállásra ugyanaz a feszültség kapcsolódik!**

Vizsgáljuk meg az áramforrás (telep) irányából a terhelés alakulását. Láthatjuk, a párhuzamosan kapcsolt fogyasztók (ellenállások) önálló áramköröket alkotva, átfolyó áramaik összege, az eredő áram (I_e) terheli az áramforrást. Vezessük be a **vezetés (G)** fogalmát. Ez lényegében rokon az ellenállással, csak éppen fordított értelmezésű. Az ellenállás ($R[\Omega]$) a vezető áramkorlátozó tulajdonságát fogalmazza meg ohmban, a vezetés éppen a fordítottját, a vezeték vezetését ($G[S]$) siemensben fejezi ki. $G=1/R [S]$

Amíg a soros kapcsolásnál az ellenállások (R) összegződnek, addig a párhuzamos kapcsolásnál a vezetések (G). Párhuzamos kapcsolás eredő vezetése:

$$G_e = G_1 + G_2 + G_3 + \dots + G_n$$

$$\text{ellenállással kifejezve } 1/R_e = 1/R_1 + 1/R_2 + 1/R_3 + \dots + 1/R_n$$

A két fogalom egyenértékű volta ellenére, az elektronikában ritka a vezetés fogalmának használata, inkább átalakítva, az ellenállás fogalmát használjuk. A fenti eredő ellenállás összefüggést, un. replusz műveletté alapítjuk.

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} = \frac{R_1 + R_2}{R_1 \cdot R_2} \Rightarrow R_e = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Azonos értékű ellenállások párhuzamos eredőjének meghatározásához, be sem kell helyettesíteni, elég az ellenállás értékét elosztani a párhuzamosan kapcsolt ellenállások számával

Példa: Van egy csomag 3,6 K Ω -s ellenállásunk, mekkora az eredője 2, 3, 4 darabnak?

$$R_2 = R/2 = 1,8 \text{ K}\Omega, R_3 = R/3 = 1,2 \text{ K}\Omega, R_4 = R/4 = 0,9 \text{ K}\Omega.$$

Mekkora lesz a teljesítménye van annak a 120 Ω -s ellenállásnak, amit 3,6 K Ω -s 0,5 W-s ellenállások párhuzamos kapcsolásával állítunk össze?

Darabszám = $3600/120 = 30 \Rightarrow P = 30 \cdot 0,5 = 15 \text{ W}$ Így lehet nagy teljesítményű terhelő ellenállást készíteni!

Mekkora az $R_1 = 6 \text{ K}\Omega$ -s, $R_2 = 3 \text{ K}\Omega$ -s, $R_3 = 2 \text{ K}\Omega$ -s, ellenállások párhuzamos eredője?

Lehet így is számolni, $1/R_e = 1/6 + 1/3 + 1/2 = 0,166 + 0,333 + 0,5 = 1 \Rightarrow R_e = 1/1 = 1 \text{ K}\Omega$,

lehet replusz művelettel páronként számolva:

$$R_{12} = R_1 \cdot R_2 / (R_1 + R_2) = 6 \cdot 3 / (6 + 3) = 18/9 = 2 \text{ K}\Omega \Rightarrow R_e = R_{12} \cdot R_3 / (R_{12} + R_3) = 2 \cdot 2 / (2 + 2) = 4/4 = 1 \text{ K}\Omega$$

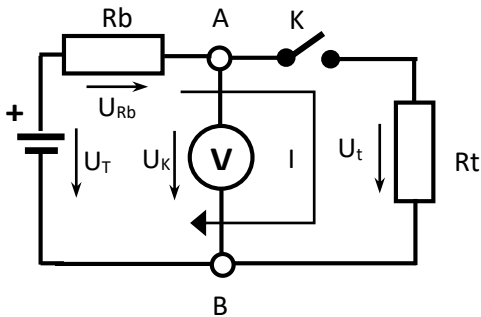
$U = 230 \text{ V}$ -s hálózatra párhuzamosan kapcsolunk 2 izzólámpát. Az egyik 100 W-s, a másik ismeretlen (P_{ism}). Mekkora az ismeretlen lámpa teljesítménye, ha eredő áramként (I_e) 600 mA-t mérünk?

$$I_{100} = P_{100}/U = 100/230 = 0,435 \text{ A} \Rightarrow I_{\text{ism}} = I_e - I_{100} = 0,6 - 0,435 = 0,165 \text{ A} \Rightarrow P_{\text{ism}} = U \cdot I_{\text{ism}} = 230 \cdot 0,165 = 38 \text{ W}$$

Áramforrások és tulajdonságaik

Eddig, főként a **fogyasztók**, más néven **terhelések** oldaláról közelítettük a villamosipari alapfogalmak vizsgálatát. **A fogyasztó működtetéséhez áramforrás kell!** A feszültség fogalmának bemutatásakor megismertedtünk annak forrásával, előállításával. Áramkörünkben –gyakran- elemeket, akkumulátorokat használunk. Számítások végzésekor az elemet ideális áramforrásnak tekintjük, miközben ha egy elemet terheléssel mérünk, csökken a feszültsége a terheletlen (üresjárás) állapotához képest. Eddigi ismereteink szerint, az áram hatására létrejövő feszültség esés jelensége, ellenállás jelenlétét feltételezi. Természetesen ez az ellenállás nem egy megismert ellenállás fizikai látványával azonos, hanem a valóságos elem veszteségének tekinthető. A könnyebb kezelhetőség érdekében, számításaink során két részre bontjuk feszültségforrásunkat, egy ideális U_T **feszültségű elemre**(feszültséggenerátor), és a **belső ellenállására R_b** .

Méréssel határozzuk meg egy elem belső ellenállását!



Az oldalsó ábra mutatja a mérési összeállítást. Az **AB** pontok a telep kapcsai, tőlük balra az U_T feszültségű ideális 0 belső ellenállású telep és a külön leválasztott belső ellenállás R_b . Az AB pontokat látszólag összekapcsolja a V jelű kör, ami egy ideális feszültségmérő, aminek végtelen nagy a belső ellenállása, vagyis nem terhel. Az elem kapcsaitól jobbra található a terhelés és a K kapcsoló. Az AB pontok közötti feszültséget **kapocs feszültségnek**(U_k) nevezzük! Az elem kapcsain mérhető kapocs feszültség terheletlenül U_T , terhelve U_t .

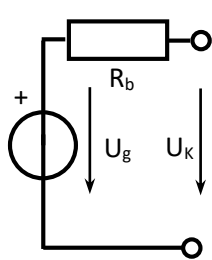
Adatok: $U_T=9,5$ V, $R_t=18$ Ω **Keressük R_b értékét!**

A mérést nyitott kapcsoló állásban kezdjük (terheletlen állapot)

A voltmérőn mérhető kapocs feszültség $U_k=U_T=9,5$ V

Zárjuk a kapcsolót! A kapocs feszültség leesik 9V-ra. $U_k=U_t=9$ V Mivel ismert az $R_t=18$ Ω , kiszámítható a terhelésen átfolyó áram $I=U_t/R=9/18=0,5$ A. Ez az áram folyik keresztül a belső ellenálláson(R_b).

A terhelés hatására a kapcsokon mérhető feszültség esés 0,5V. Ez a feszültség a belső ellenálláson esik 0,5 A hatására. A belső ellenállás $R_b=(U_T-U_t)/I=(9,5-9)/0,5=1$ Ω



Az elem helyett általánosabb megfogalmazás a **feszültséggenerátor** fogalma. Ez magába foglal minden, az elem tulajdonságaihoz hasonló eszközt, beleértve az elektronikusan előállítottat is, mint pl. a **tápegység**. Az ábrán a feszültséggenerátor rajzjele látható. Az ábra annyira általános, hogy használható bármely típusú áramforrás ábrázolásához, még a változó (AC) feszültséggenerátorok ábrázolásához is.

Egy valóságos feszültséggenerátor egyik eleme az ideális, fix U_g feszültséget szolgáltató, 0 belső ellenállású generátor, a másik a veszteségét ábrázoló belső ellenállás R_b .

A feszültséggenerátorok tetszőlegesen sorba köthetők, ha nagyobb feszültséget kívánunk előállítani vele! Természetesen ennek akkor van értelme, ha az ellentétes polaritású kapcsokat kötjük össze(egyik generátor + sarkát, a másik generátor – sarkával). Ilyenkor **az eredő feszültség $U_e=U_{g1} + U_{g2} + \dots + U_{gn}$. Viszont számolni kell, hogy a belső ellenállások is -a soros kapcsolódásuk miatt- összeadódnak!**

$$R_{be} = R_{b1} + R_{b2} + \dots + R_{bn}$$

A feszültséggenerátorokat csak azonos generátor feszültség esetén célszerű párhuzamosan kapcsolni, kivéve ha az egyik generátorral tölteni akarjuk a másikat (persze ha az tölthető akkumulátor)!

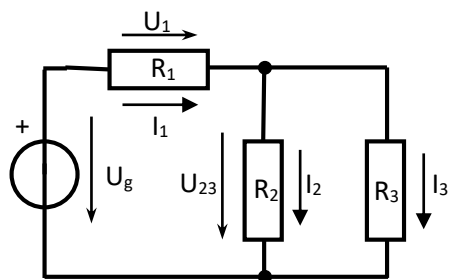
Párhuzamosan a generátor azonos polaritású pontjait (egyik generátor + sarkát, a másik generátor + sarkával) **kell összekapcsolni, így az eredő feszültség változatlan $U_e=U_{g1} = U_{g2}$**

A belső ellenállások párhuzamos kapcsolódása miatt, eredőjük lecsökken a párhuzamos eredő értékére. $1/R_{be} = 1/R_{b1} + 1/R_{b2} + \dots + 1/R_{bn}$

Ebből következik, áramforrásokat párhuzamosan kapcsolni, a terhelhetőség növelése érdekében érdemes.

A teljesség kedvéért, meg kell említeni a leginkább elektronikai áramkörökben használatos áramgenerátort. A későbbiekben az ellenállás hálózatok átalakítása témakörnél, még találkozunk ezzel az elemmel. Ott ismerjük meg a tulajdonságait.

Vegyes kapcsolású ellenállás hálózat számításai



Alapértelmezésben vegyes kapcsolású ellenállás hálózatról akkor beszélünk, ha hálózatban párhuzamosan- és sorba kapcsolt ellenállások együttesen találhatók. Ilyenkor a Kirchoff törvények együttes alkalmazására van szükség. Az oldalsó ábrán megfigyelhetjük, az áramkörben található csomópont, de látható hurok is. Ez a felépítés, egy nagyon **fontos szabályt** tesz szükségessé. **Az eredő számítást, mindig a tisztán párhuzamos, vagy soros tagok eredőjének meghatározásával kell kezdeni!** Példánkban látható, ilyen tiszta kapcsolat az R2 és R3

ellenállások párhuzamos kapcsolódása, tehát ezzel kell kezdeni a számolást! Még ami fontos, ha az áramok és feszültségek meghatározása a cél, először a teljes eredő ellenállást kell kiszámolni, hogy megkaphassuk az eredő áramot. Nézzük ezen szabályok szerint, aq fenti kapcsolás valamennyi megismerhető adatának kiszámítását.

Kiinduló adatok: $U_g=10V$, $R_1=3K\Omega$, $R_2=3K\Omega$, $R_3=6K\Omega$

Keressük, U_1 , I_1 , U_2 , I_2 , U_3 , I_3 értékeket.

1. Határozzuk meg az eredő ellenállást (R_e)! Ehhez keressük először a „tiszta” kapcsolási elemeket.

Egyetlen ilyen van, az R_2 és R_3 párhuzamos eredője (R_{23}). $R_{23}=R_2 \times R_3$ (ez a replusz művelet jelölése)

$$R_{23}=R_2 \times R_3 = R_2 * R_3 / (R_2 + R_3) = 3K * 6K / (3K + 6K) = 18/9 = 2K$$

$$R_e = R_1 + R_{23} = 3K + 2K = \underline{5K\Omega}$$

2. Határozzuk meg az eredő áramot (I_e)!

$$I_e = U_g / R_e = 10/5K = \underline{2mA}$$

3. Határozzuk meg az R_1 jellemzőit (I_1 , U_1)!

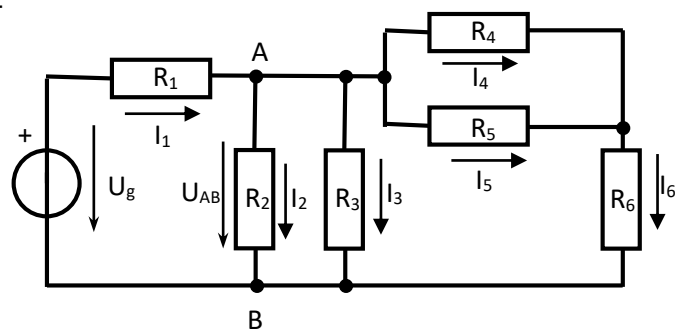
$$I_1 = I_e = \underline{2mA}, \quad U_1 = R_1 * I_1 = 3 * 2 = \underline{6V}$$

4. Határozzuk meg az R_2 és R_3 jellemzőit (I_2 , U_2 , I_3 , U_3)!

Ehhez először a rajtuk eső feszültséget kell meghatározni (U_{23}), ami a hurok egyetlen ismeretlen feszültsége! Mindkét ellenálláson ez a feszültség jelenik meg, hiszen párhuzamosak!

$$U_{23} = U_g - U_1 = 10 - 6 = \underline{4V} = U_2 = U_3 \quad I_2 = U_2 / R_2 = 4/3 = \underline{1,33mA} \quad I_3 = U_3 / R_3 = 4/6 = \underline{0,67mA}$$

2. példa A következő példában, egy az előzőnél összetettebb áramkörön gyakoroljuk a számítás sorrendjét. Vizsgálatunkat a generátor legtávolabbi áramköri pontjától kezdjük. Vegyük észre, az áramkör végén, az R_4 és R_5 tisztán párhuzamos, tehát annak eredő számításával (R_{45}) kell kezdeni. Ennek eredője, tiszta soros eredőt (R_{456}) ad az (R_6) ellenállással. Következő lépésként (R_{456}), tisztán párhuzamosan kapcsolódik a párhuzamos (R_2) és (R_3) ellenállásokkal. Végül az eddigi A-B pontok között megjelenő eredő (R_{AB}), tisztán sorba kapcsolódik az (R_1) ellenállással, ami már az ellenállás hálózat teljes eredőjét szolgáltatja (R_e).



Határozzuk meg R_5 jellemzőit (U_5 , I_5)! Minden ellenállás annyi $K\Omega$ értékű, amilyen az index száma.

$U_g=10V$ Határozzuk meg az R_e eredő értékét.

$$1. R_{45} = R_4 * R_5 / (R_4 + R_5) = 4K * 5K / 9K = 20K / 9K = 2,22K$$

$$2. R_{456} = R_{45} + R_6 = 2,22K + 6K = 8,22K$$

$$3. R_{23} = R_2 * R_3 / (R_2 + R_3) = 2K * 3K / 5K = 6K / 5K = 1,2K$$

$$4. R_{AB} = R_{23} * R_{456} / (R_{23} + R_{456}) = 1,2K * 8,22K / 9,42K = 9,86K / 9,42K = 1,05K$$

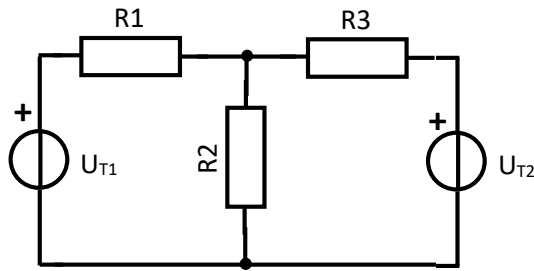
$$5. R_e = R_1 + R_{AB} = 1K + 1,05K = \underline{2,05K} \quad \Rightarrow \quad I_e = U_g / R_e = 10 / 2,05 = \underline{4,88mA} \quad \Rightarrow \quad U_1 = R_1 * I_e = 1K * 4,88m = \underline{4,88V}$$

$$6. U_{AB} = U_g - U_1 = 10 - 4,88 = \underline{5,12V} \quad \Rightarrow \quad I_6 = U_{AB} / R_{456} = 5,12 / 8,22K = \underline{0,62mA} \quad \Rightarrow \quad U_6 = R_6 * I_6 = 6K * 0,62m = \underline{3,72V}$$

$$7. U_5 = U_{AB} - U_6 = 5,12 - 3,72 = \underline{1,4V} \quad \Rightarrow \quad I_5 = U_5 / R_5 = 1,4 / 5K = \underline{0,28mA}$$

Több áramforrást tartalmazó ellenállás-hálózat számítása

A korábbi tanulmányainkban az ellenállás-hálózat egyetlen tápáram forrást tartalmazott. A gyakorlatban



nem ritka, hogy egy áramkörben több, tápforrásnak tekinthető elektronikai elem is szerepel. Egy ilyen egyszerű hálózat látható az oldalsó ábrán. Keressük az ellenállásokon folyó áramokat, és a rajtuk eső feszültségeket.

Az eddig tanult módszerekkel is megoldható a feladat, ha egy törvényszerűséget megismerünk. Korábbi áramkör ábrázolásainknál a tápáramforrásként az elem szerepelt. A jövőben ezen változtatunk, és bevezetjük az ábrán is látható feszültséggenerátor jelölést.

Az ideális feszültséggenerátor olyan tápáramforrás, ami a kapcsain beállított U_T feszültségét –terhelési értéktől függetlenül- rákényszeríti a terhelésre. Ebből következik, az ideális feszültséggenerátor belső ellenállása 0 ohm. Ezért az ideális feszültséggenerátort nem szabad rövidre zárni, hiszen a 0 ellenállás hatására végtelen áram alakulna ki, ami persze matematikailag is értelmezhetetlen.

Valós feszültséggenerátornak van belső ellenállása, , amit vele sorba kapcsolt ellenállás ábrázolásával értelmezzük.

Bármely egyen- és váltakozó feszültségű áramforrás helyettesíthető az áramkörben egy ideális feszültséggenerátorral, és vele sorba kapcsolt belső ellenállással (Thévenin tétel).

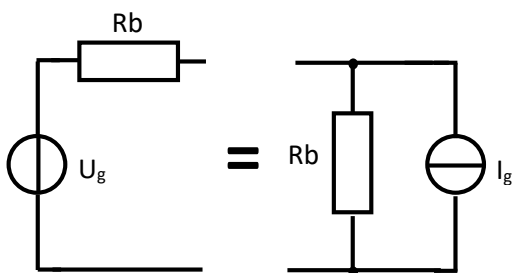
Bevezetünk egy újabb áramforrást, amit **áramgenerátornak** nevezünk. **Az ideális áramgenerátor olyan tápáramforrás, ami a kapcsain beállított I_T áramot –terhelési értéktől függetlenül- rákényszeríti a terhelésre. Ebből következik, az ideális áramgenerátor belső ellenállása ∞ (végtelen) ohm.**

Ezért az ideális áramgenerátort minden esetben terhelni kell, hiszen a ∞ (végtelen) ellenállás hatására végtelen feszültség alakulna ki, ami persze matematikailag is értelmezhetetlen.

Valós áramgenerátornak van belső ellenállása, , amit vele párhuzamosan kapcsolt ellenállás ábrázolásával értelmezzük.

Bármely egyen- és váltakozó áramú áramforrás helyettesíthető az áramkörben egy ideális áramgenerátorral, és vele párhuzamosan kapcsolt belső ellenállással (Norton tétel).

Norton-Thévenin tétel



Egy U_g feszültségű, R_b belső ellenállású feszültséggenerátor helyettesíthető, egy I_g áramú, R_b belső ellenállású áramgenerátorral, melynek I_g árama $I_g = U_g/R_b$ hányadossal számolható. Megfordítva, egy I_g áramú, R_b belső ellenállású áramgenerátor helyettesíthető, egy U_g feszültségű, R_b belső ellenállású feszültséggenerátorral, melynek U_g feszültsége $U_g = I_g \cdot R_b$ szorzattal számolható. A két ábrázolás egyenértékű!

Igazolás

Van egy $U_g=9V$ -s, $R_b=1Kohm$ belső ellenállású feszültséggenerátorunk, melyre $R_t=2 Kohm$ terhelést kapcsolunk. Mekkora a terhelésen folyó I_t áram, és U_t feszültség.

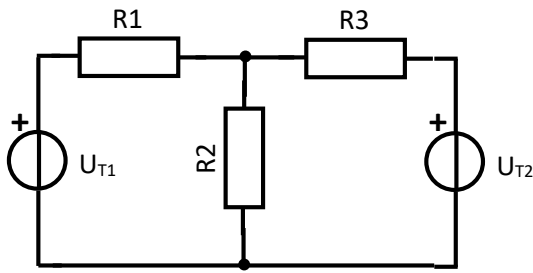
Feszültséggenerátorral $\Rightarrow R_e=R_b+R_t=1+2= 3Kohm \Rightarrow I_e=U_g/ R_e=9/3=3mA \Rightarrow U_t=I_e \cdot R_t=3 \cdot 2=6V$

Feszültséggenerátor átalakítása áramgenerátorrá $\Rightarrow I_g=U_g/ R_b=9/1=9mA$

Áramgenerátorral $\Rightarrow R_e=R_b \cdot R_t / (R_b+R_t)=1 \cdot 2 / (1+2)= 0,67Kohm \Rightarrow U_t=I_g \cdot R_e=9 \cdot 0,67=6V \Rightarrow I_t=U_t/R_t=6/2=3mA$

Az azonos végeredmény igazolta az átváltás egyenértékűségét!

A feladat megoldása az alaptörvények (Ohm, Kirchoff) ismeretében.



$$U_{T1} = 10V$$

$$U_{T2} = 15V$$

$$R1 = 5K\Omega$$

$$I1 = ? \quad U1 = ?$$

$$R2 = 10K\Omega$$

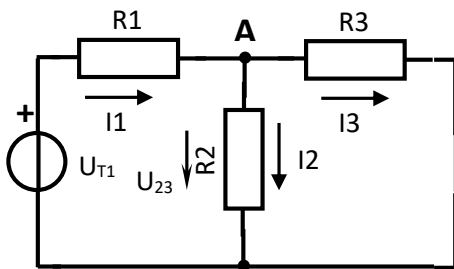
$$I2 = ? \quad U2 = ?$$

$$R3 = 15K\Omega$$

$$I3 = ? \quad U3 = ?$$

A megoldás 2 lépésben (A,B) történik úgy, hogy megoldásonként 1-1 generátor szerepel az áramkörben. A nem szereplő feszültséggenerátor helyébe rövidzár kerül, hisz 0 ohm a belső ellenállása. Végül a megoldásonként született áramértékeket előjelhelyesen összegezzük, és belőlük számoljuk az ellenállásokon ténylegesen eső feszültségeket.

„A” áramkör



$$R_e = R1 + (R2 * R3 / (R2 + R3)) = 5 + (10 * 15 / (10 + 15)) = 5 + 6 = 11 \Omega$$

$$I_e = U_{T1} / R_e = 10 / 11 = 0,91 \text{ mA} \quad I_e = I_{1A} = 0,91 \text{ mA}$$

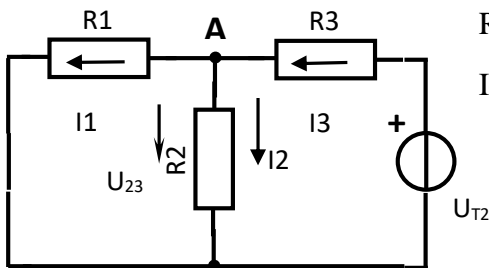
$$U1 = I1 * R1 = 0,91 * 5 = 4,55V$$

$$U_{23} = U_{T1} - U1 = 10 - 4,55 = 5,45V$$

$$I_{2A} = U_{23} / R2 = 5,45 / 10 = 0,545 \text{ mA}$$

$$I_{3A} = U_{23} / R3 = 5,45 / 15 = 0,36 \text{ mA}$$

„B” áramkör



$$R_e = R3 + (R2 * R1 / (R2 + R1)) = 15 + (10 * 5 / (10 + 5)) = 15 + 3,33 = 18,33 \Omega$$

$$I_e = U_{T2} / R_e = 15 / 18,33 = 0,82 \text{ mA} \quad I_e = I_{3B} = 0,82 \text{ mA}$$

$$U3 = I3 * R3 = 0,82 * 15 = 12,3V$$

$$U_{23} = U_{T2} - U3 = 15 - 12,3 = 2,7V$$

$$I_{2B} = U_{23} / R2 = 2,7 / 10 = 0,27 \text{ mA}$$

$$I_{1B} = U_{23} / R1 = 2,7 / 5 = 0,55 \text{ mA}$$

Az eredő eredmény a kiszámított áramok összegzéséből számolható ki. Az összegzésnél figyelembe kell venni az ábrán látható áramirányokat. Az „A” pontra mindkét esetben írjuk fel a csomóponti törvényt (befolyó áram +, elfolyó áram -)

$$I1 = I_{1A} + (-I_{1B}) = 0,91 + (-0,55) = 0,36 \text{ mA} \quad (\text{az eredő áram az A csomópontba befolyik!})$$

$$I2 = (-I_{2A}) + (-I_{2B}) = (-0,55) + (-0,27) = -0,82 \text{ mA} \quad (\text{az eredő áram az A csomópontból elfolyik!})$$

$$I3 = (-I_{3A}) + I_{3B} = (-0,36) + 0,82 = 0,46 \text{ mA} \quad (\text{az eredő áram az A csomópontba befolyik!})$$

Ellenőrizzük csomóponti törvénnyel, $I1 + I3 + I2 = 0$, $0,36 + 0,46 - 0,82 \text{ mA} = 0$, vagyis helyes az eredmény!

Hiányoznak még az ellenállásokon eső feszültségek, ami kiszámítható a rajtuk átfolyó eredő áramok és az ellenállásértékek ismeretében.

$$U1 = I1 * R1 = 0,36 \text{ mA} * 5K = 1,8V$$

$$U2 = I2 * R2 = 0,82 \text{ mA} * 10K = 8,2V$$

$$U3 = I3 * R3 = 0,46 \text{ mA} * 15K = 6,9V$$

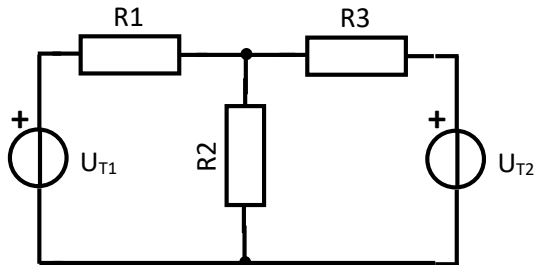
Ellenőrizzük hurok törvénnyel a hurkokat

$$U_{T1} \text{ áramköri hurokra, } U_{T1} - U1 - U2 = 0 \quad 10 - 1,8 - 8,2 = 0V \quad \text{vagyis helyes az eredmény!}$$

$$U_{T2} \text{ áramköri hurokra, } U_{T2} - U3 - U2 = 0 \quad 15 - 6,9 - 8,2 = -0,1V \quad (\text{kerekítési hiba}) \quad \text{vagyis helyes az eredmény!}$$

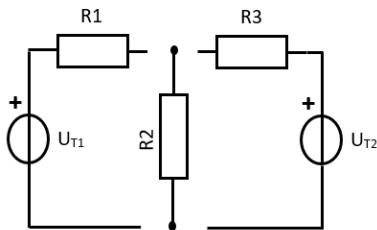
A feladat megoldása Norton-Thévenin tétel alkalmazásával.

Megjegyzem, a tétel részben, csak a terhelésre vonatkozóan működik helyesen. Ennek oka, hogy a több feszültséggenerátor alkalmazása miatt, a generátorok áramai ellenárammal hatnak a másik generátor belső ellenállására. A Norton átalakítás, a belső ellenállásokra ezt nem követi. Viszont a terhelő ellenálláson (R2) helyesen kiszámítható feszültség és áramviszonyok meghatározását követően, visszatérve az eredeti kapcsoláshoz, már helyesen határozhatók meg a belső ellenállásokon mérhető mennyiségek

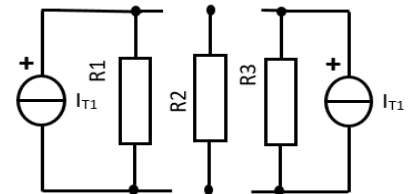


$$\begin{aligned} U_{T1} &= 10V \\ U_{T2} &= 15V \\ R1 &= 5K\Omega & I1 &=? & U1 &=? \\ R2 &= 10K\Omega & I2 &=? & U2 &=? \\ R3 &= 15K\Omega & I3 &=? & U3 &=? \end{aligned}$$

Bontsuk fel az áramkört 3 darab, 2 aktív és 1 passzív két pólusra!



Kézenfekvőnek látszik, a feszültséggenerátorok átalakítása -Norton-Thévenin tétel alapján- áramgenerátorrá, így az áramkör átalakul párhuzamosan kapcsolt ellenállások, és áramgenerátorok hálózatává.



Az átalakított áramkör elemei:

$$I_{T1} = U_{T1}/R1 = 10/5K = 2 \text{ mA (a valós feszültséggenerátor kapcsai rövidzárásával képződik)}$$

$$I_{T2} = U_{T2}/R3 = 15/15K = 1 \text{ mA}$$

$$I_{Te} = I_{T1} + I_{T2} = 2 + 1 = 3 \text{ mA}$$

$$1/Re = 1/R1 + 1/R2 + 1/R3 = 1/5 + 1/10 + 1/15 = 0,2 + 0,1 + 0,067 = 0,367 \quad Re = 1/0,367 = 2,73 \text{ Kohm}$$

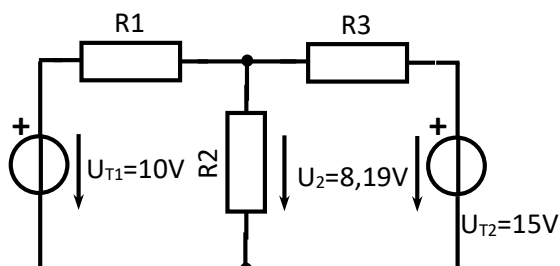
$$\text{Az eredő ellenálláson megjelenő feszültség kiszámítható } U_{Re} = I_{Te} * Re = 3\text{mA} * 2,73\text{Kohm} = 8,19\text{V}$$

Itt kell a kapott eredményt nagy odafigyeléssel kezelni. Az átalakítás során csak párhuzamos ellenállások képezik az eredő ellenállást, ami szerint valamennyi tagon azonos feszültségnek kellene lennie. Ez az Rb(R1, R3) belső ellenállásokra helytelen eredményt ad! Szerencsére viszont a terhelő ellenállásra (R2) helyes eredmény született, így a kapott eredményt behelyettesítve az eredeti áramkörbe, már kiszámíthatók a hiányzó adatok.

A kapott U_{Re} megfelel az R2-s ellenálláson eső feszültséggel, U_2 -vel (csomópontok között mérhető).

Ebből meghatározható az $I_2 = U_2/R2 = 8,19/10K = 0,82 \text{ mA}$ (A csomópontban – előjelű)

Az eredményt visszahelyettesítve az eredeti (feszültséggenerátoros) kapcsolásba, már meghatározhatók a hiányzó adatok.



$$U1 = U_{T1} - U_2 = 10 - 8,19 = 1,81\text{V}$$

$$I1 = U1/R1 = 1,81/5K = 0,36 \text{ mA}$$

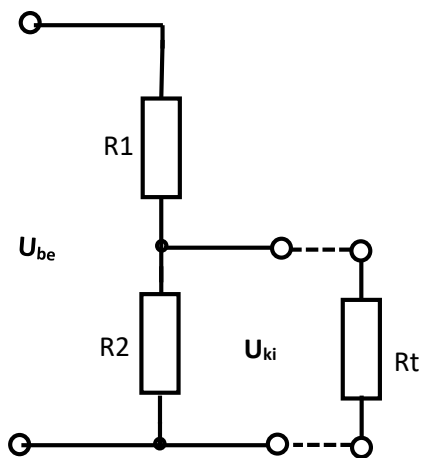
$$U3 = U_{T2} - U_2 = 15 - 8,19 = 6,81\text{V}$$

$$I3 = U3/R3 = 6,81/15K = 0,45 \text{ mA}$$

Összehasonlítva a kapott eredményeket az előző példa eredményeivel, a kerekítési hibáktól eltekintve, **azonos eredmények születtek. Utóbbi eljárás kevesebb számítást igényelt!**

A következőkben az eddig tanult ismeretek gyakorlati alkalmazásaira nézünk példákat. Az elektronikai áramkörök nélkülözhetetlen elemei az ellenállások. Működésük alapjait megismertük eddigi tanulmányaink során. Most megismerkedünk néhány hasznos és gyakori alkalmazással.

A feszültségosztó



Az oldalsó ábrán látható a feszültségosztó kapcsolása. Nem lehet ismeretlen, hiszen soros ellenállás-kapcsolásról beszélünk. Természetesen számítása is azonos a soros kapcsolás számításával, csak a speciális feladata miatt, más közelítéssel számolunk. **A feszültségosztónál a kimeneti/bemeneti feszültségek aránya a lényeges (U_{ki}/U_{be}), amelynek aránya <1 !**

A hurok törvényből megismert módon lehet kiszámolni ezt az U_{ki}/U_{be} arányt! A bemeneti feszültség (U_{be}) az $R1+R2$ eredőn jelenik meg, a kimeneti feszültség (U_{ki}) pedig az $R2$ -n. Ez a feszültségarány, felírható az ellenállásokra is.

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{R2}{R1 + R2}$$

A fenti összefüggés a feszültségosztó terheletlen állapotára érvényes!

Példa. Határozzuk meg $R2$ ellenállás értékét, ha az $U_{ki}=U_{be}/10$, azaz $1/10$ -s osztót szeretnénk előállítani, és van egy $R1=900\Omega$ -s ellenállásunk!

$$\frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{R2}{R1+R2} = 1/10 = R1/R1+R2 \Rightarrow 10R1=R1+R2 \Rightarrow 10R1-R1=R2=9R1 \quad \mathbf{R2=R1/9=900/9=100 \Omega}$$

Mégis, ez a számítási mód miért különbözik a soros kapcsolás közelítésétől? Itt nincs tápfeszültség, pontosabban **független a tápfeszültség értékétől, csak az ellenállások aránya, azaz az osztási arány a fontos!** Az előző feladat feszültségosztóját vizsgálva, ha a bemenetre $100V$ -t kapcsolunk, a kimeneten $10V$ -t, ha $1V$ -t kapcsolunk, a kimeneten $0,1 V$ -t mérhetünk. **A beállított feszültségosztás csak az ellenállások arányától függ, a rákapcsolt feszültségtől nem!**

Terhelt feszültségosztó

Az ábrán látható az R_t terhelő ellenállás, ami szaggatott vonallal kötődik a kimenethez, pontosabban a szaggatott vonal jelzi, hogy nem kötődik, csak ráköthető! Ha ráköjtjük, megváltozik az alsó ellenállás eredője, hisz párhuzamosan kapcsolódik, ami az osztási arányt megváltoztatja. Ilyenkor beszélünk **terhelt feszültségosztóról**. Milyen mértékben változtatja meg a terhelő ellenállás az osztási arányt?

Az előző példa adataival, határozzuk meg az osztási arányt $R_t=10K, 1K, 100\Omega$ terhelő ellenállások esetén!

$$\mathbf{R_t=10K} \Rightarrow R_e=R2 \times R_t \Rightarrow R_e=0,1K*10K/(0,1K+10K)=1K/10,1K=99,01\Omega$$

$$\text{az arány } U_{ki}/U_{be}=R_e/R1+R_e \Rightarrow 99,01/900+99,01=0,09911 \Rightarrow U_{be}=10V \quad \mathbf{U_{ki}=10*0,09911=0,9911V}$$

Az U_{ki} $1V$ helyett $0,991V$, a hiba kisebb 1% -nál.

$$\mathbf{R_t=1K} \Rightarrow R_e=R2 \times R_t \Rightarrow R_e=0,1K*1K/(0,1K+1K)=1K/1,1K=90,91\Omega$$

$$\text{az arány } U_{ki}/U_{be}=R_e/R1+R_e \Rightarrow 90,91/900+90,91=0,09174 \Rightarrow U_{be}=10V \quad \mathbf{U_{ki}=10*0,09174=0,9174V}$$

Az U_{ki} $1V$ helyett $0,9174V$, a hiba nagyobb 8% -nál.

$$\mathbf{R_t=100} \Rightarrow R_e=R2 \times R_t \Rightarrow R_e=100*100/(100+100)=10000/200=50\Omega$$

$$\text{az arány } U_{ki}/U_{be}=R_e/R1+R_e \Rightarrow 50/900+50=0,0526 \Rightarrow U_{be}=10V \quad \mathbf{U_{ki}=10*0,0526=0,526V}$$

Az U_{ki} $1V$ helyett $0,526V$, a hiba majdnem 50% .

A számításokból kiderül, a feszültségosztót terhelő ellenállás értékét, $10x$ -nél nagyobb értékűre kell választani, hogy az osztási hibát 8% -on belül tartsuk!

Mivel megtapasztaltuk, az osztási tényező, kizárólag az osztó ellenállások arányától függ, kézenfekvő, ha az értékeiket csökkentjük, csökkenni fog a terhelő ellenállás hatása is. Nézzük az előző példán! Ha a felső ($R1$) ellenállás $1K\Omega$ helyett, csak 100 ohmos, a terhelési hiba is, csak $1/10$ értékű terhelő ellenállásnál következik

be. Akkor miért nem vesszük –alapból- kisebbre az osztóellenállások értékét? Amíg az osztandó feszültség ideális feszültséggenerátor megegyezhetne, de nem az! Valóságos, belsőellenállással rendelkező feszültséggenerátorral hajtjuk meg az osztót. Kis osztó ellenállások esetén, a bemenet fog leosztódni, ami ha az osztási arányt nem is változtatja, de a feszültségosztó bemeneti kapcsaira érkező jelet már igen. Áramköri igény fogja meghatározni az osztó ellenállások optimális értékét!

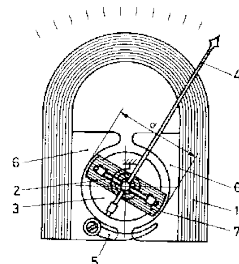
Precíziósabb, 1% alatti osztási igény esetén, a terhelő ellenállás 100x-nál nagyobb kell lennie! A precíziós feszültségosztók egy tipikus területe a mérés-technikai alkalmazások.

Egy kis mérés-technika

Egy elektronikai szakember egyik nélkülözhetetlen eszköze a mérőműszer. Ma már számkijelzős, digitális elven működő multimétereket használunk, mely a mérés-határ váltásakor rugalmasabban kezelhető, egyszerűbben méretezhető az osztó ellenállás alapértéke.



Az illusztráció kedvéért, na meg hogy megismerkedjünk a korábbi mérőműszerek működési elvével is, megnézzünk egy példát ilyen régebbi mutatós műszer felépítésére, és csinálunk is egy feladatot a mérés-határ növelésére (tipikus feszültségosztó probléma). A digitális műszerek előtti időszakban, a mért elektromos mennyiségek kijelzésére mutatós műszert használtak (az ábrán Deprez (ejtsd, döpré) műszert láthatunk). Elve, -jobb oldali ábra- egy mágnes(1) erőterébe, egy finommechanikai tücsapágyon helyezkedik el a viszonylag nagy menetszámú tekercs(7), amibe ha áramot folyatunk, mágneses erőter alakul ki a tekercsben is, és kölcsönhatás lép fel az állandó mágnes erőterével. A kölcsönhatás eredményeként a tekercs, a rajta átfolyó áram mértéke szerint elfordul, és mozgat egy mutatót(4), mely egy felrajzolt skálán mutatja az elmozdulás mértékét, és ezzel a tekercsen folyó áram nagyságát. Az áram megszűnésével, egy kis spirál rúgó visszahúzza a tekercset alapállapotába. Milyen elektromos jellemzői vannak ennek a műszernek? A tekercs huzalellenállása ($R_m=1000 \Omega$) ohmban, és a skála végkitérésekor mérhető áram ($I_m=0,1\text{mA}$). Ez az érték a műszer **érzékenységet** adja. Feszültségben kifejezve,



$U_m=I_m \cdot R_m=0,1\text{mA} \cdot 1\text{K}=0,1\text{V}$, azaz 100 mV.

Feladat. Szeretnénk a fenti adattal rendelkező műszer mérés-határát 10V-osra kiterjeszteni.

Először meg kell határoznunk a műszert végkitérésbe lendítő feszültséget! Ismerjük a végkitérés áramát $I=0,1\text{mA}$, és az ellenállását $R_m=1\text{K}$, a műszeren tehát $U_m=R_m \cdot I_m=1\text{K} \cdot 0,1\text{mA}=100 \text{ mV}$ feszültség esik. Ezzel létrehozhatunk egy **terheletlen** feszültségosztót, melynek alsó tagja maga a műszer, a felső tag egy előtét ellenállás, mely leosztja a rákapcsolt 10V-s bemeneti feszültséget a műszert végkitérésbe lendítő feszültségre, 0,1V-ra. Keressük R_{e10} értékét!

Írjuk fel az összefüggést!

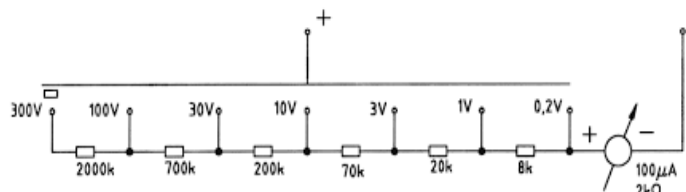
$$U_m/U_{be}=R_m/R_e+R_m=1\text{K}/R_m+1\text{K}=0,1/10 \Rightarrow (R_e+R_m)/100=R_m \Rightarrow R_e+R_m=100 \cdot R_m \Rightarrow R_e=100R_m-R_m=99R_m$$

$$\Rightarrow R_e=99 \cdot 1\text{K}=99\text{K}$$

Fejben, logikailag is eljuthattunk volna ehhez az eredményhez! Gondolkodjunk, számoljunk! Ha 1 K Ω -n 0,1V esik, akkor 10 V a 100 szoros, 100 K Ω -s ellenálláson, Mivel a 10V-ból 0,1V a műszer 1 K Ω -s ellenállásán esik, az előtét ellenálláson 9,9V-nak kell esnie. Így $R_e=99 \cdot 1\text{K}=99 \text{ K}\Omega$!

Mekkora előtét ellenállás kellene a 100V-s mérés határhoz ugyanennél a műszernél?

Megoldás: az előzőek szerint az előtét ellenálláson eső feszültség 99,9V, $R_e=999 \text{ K}\Omega$.

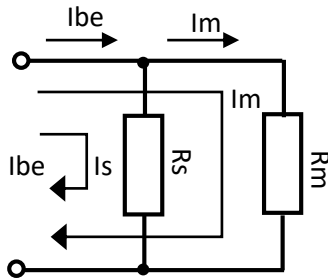


Az oldalsó ábrán az alaplóműszer R_m ellenállása 2K Ω , végkitérési feszültsége 200mV. Figyeljük meg, érdekes az előtét ellenállások nem önállóan, külön-külön, mérés-határonként kapcsolódnak az alaplóműszerhez, hanem ellenállás-sort alkotva. Például a 10V-s mérés-határban, hasonlóan az előző példához, az előtét ellenállás, összegezve az előtét elemeket, 98 K Ω , mert $R_m=2 \text{ K}\Omega$, 100V-s mérés-határban az $R_m=998 \text{ K}\Omega$.

Vegyük észre, a voltmérők mérőpont felől mérhető ellenállása meglehetősen nagy, pl. 10 V-s mérés-határban 100 K Ω . Ekkora a terhelése a mérendő áramkörre. **Ideális feszültségmérőnél ez az érték végtelen!**

Vegyük észre, a voltmérők mérőpont felől mérhető ellenállása meglehetősen nagy, pl. 10 V-s mérés-határban 100 K Ω . Ekkora a terhelése a mérendő áramkörre. **Ideális feszültségmérőnél ez az érték végtelen!**

Az áramosztó



Az áramosztó funkció ritkább az elektronikában, ha csak az ellenállások párhuzamos kapcsolását nem fogjuk fel annak. Fogalmilag értjük, hogy kifejezetten áramosztás célú feladat a ritkább kategóriát képviseli. Viszont most, a mérőműszerek kategóriában, igenis fontos jelentősége van, mégpedig az árammérés területén.

A fenti ábrán egy ilyen árammérő kapcsolást láthatunk, ahol a mérőműszert az R_m ellenállás képviseli, a bemenő áramot a bal oldali kapocspárra kötjük. R_s ellenállás a sönt (shunt), mely a mérőműszer végkiterése fölötti többlet áramot hivatott elvezetni. A többlet áramot, egy a műszer ellenállásánál kisebb értékű párhuzamos ellenállással vezethetjük el. Egyszerűen a csomóponti törvény ismeretében belátható, ha a csomópontba befolyik I_{be} áram, és a műszer felé maximálisan I_m áramot engedünk, akkor a különbözeti áramnak (I_s) kell az R_s sönt ellenállás irányába folynia. Konkrét példán keresztül nézzük a további megoldást.

Az előző példában a műszerünk belső ellenállása $R_b=1\text{ K}\Omega$ volt, végkiterési árama $I_{max}=0,1\text{ mA}$. Mekkora sönt ellenállás fogja ezt biztosítani, ha a méréshatárt 100 mA -re szeretnénk kiterjeszteni. Számoljunk először Ohm törvénnyel. A műszer $1\text{ K}\Omega$ -s ellenállása felé elfolyik a 100 mA -ból $0,1\text{ mA}$. Akkor a sönt ellenállás felé $I_s=I_{be}-I_m=100-0,1=99,9\text{ mA}$ áramnak kell folynia. Mivel a műszerünkön ilyenkor $U_m=0,1\text{ V}$ feszültség esik, ennyi esik a sönt ellenálláson is. Ez alapján $R_s=U_m/I_s=0,1/99,9\text{ m}=1,01\Omega$

Áramosztással számolva: $I=I_s+I_m \Rightarrow I_s=I-I_m \Rightarrow I_m \cdot R_m=(I-I_m) \cdot R_s$ (mert egyezik rajtuk a feszültség)
 $\Rightarrow R_s=I_m \cdot R_m/(I-I_m) \Rightarrow 0,1\text{ m} \cdot 1\text{ K}/(100\text{ m}-0,1)=0,1\text{ m} \cdot 1\text{ K}/99,9\text{ m}=0,00101 \cdot 1\text{ K}=1,01\Omega$

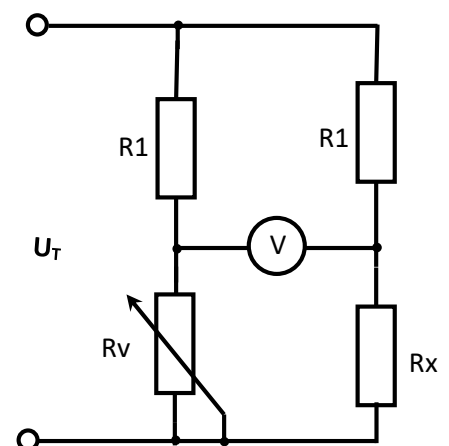
Az árammérőket a mérendő áramkörbe mindig sorosan kell bekötni!

Ideális esetben egy árammérő nulla ellenállású, de valóságos esetben is csak kis értékű, mint a példában is tapasztalhattuk.

Wheastone híd

A feszültségosztás elvének egy hasznos gyakorlati alkalmazása a Wheastone híd, mely egy praktikus jelenség eredményeként, nagy pontosságú **ellenállásmérésre** kínál lehetőséget. Az ábrán 2 párhuzamosan kapcsolt feszültségosztó látható. A feszültségosztók felső ellenállásai azonosak. Alul az R_x ellenállás ismeretlen (mérendő), az R_v , változtatható ellenállás (potencióméter). A két osztó középpontja az összekötött feszültségmérővel, úgynevezett hidat alkot. A változtatható ellenállást addig kell szabályozni, míg a voltmérő 0 értékre nem áll be. Mikor ez bekövetkezik, a híd kiegyenlített állapotáról beszélünk, az osztók között nincs feszültség-különbség, azonos feszültségűek (ekvipotenciális pontok). A kiegyenlített állapot akkor jön létre, ha $R_v=R_x$! R_x ellenállásunk értéke annál pontosabb le, ha precízen tudjuk leolvasni változtatható ellenállásunkat. Például potencióméter helyett, pontos ellenállás dekádok használva, gyakorlatilag dekád pontosságú ellenállásokat mérhetünk. Az összeállítás nem érzékeny se a tápláló U_T telepfeszültségre, se a voltmérő pontosságára, csak az R_1 -s ellenállások azonoságára, és R_v pontos leolvashatóságára.

Az összeállítás, ellenállásmérő feladatra használható. Létezik egy hasonló elvű műszer Thomson híd néven, mely precíziós felépítésével (a vezeték ellenállását is figyelembe veszik), még $0,1\text{ ohm}$ helyi értéken is nagy pontossággal mér!

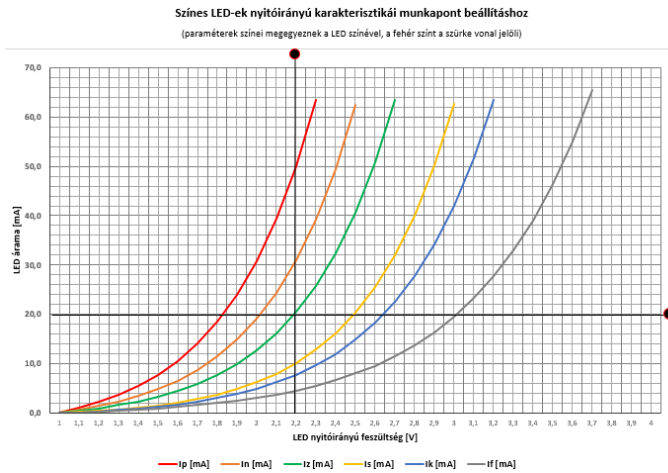


Munkapont-beállítás ellenállásokkal

Az elektronikus áramköri gyakorlat egyik kiemelkedő feladata az áramköri munkapontok beállítása. Ezeket a feladatokat részben az eddig tanultak alapján tudjuk megvalósítani. Erre nézünk néhány példát a következő fejezetben.

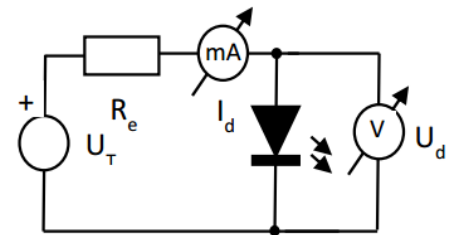
LED-ek munkapont beállítása.

Napjainkra a világítástechnika területén a LED-ek (világító diódák) kiváló hatásfokuk miatt, kiemelkedő



szerepet kaptak. A LED félvezető alapú eszköz, melynek működéséhez munkapont beállításra van szükség. Nemcsak a fényerősség beállítása, de még világító test színe is befolyásolja a munkapont meghatározását. A helyes működtetéshez szükség van adott alkatrész (LED) adatlapjára, karakterisztikájára. Erre látunk példát az oldalsó képen. A diagram színenként mutatja meg, hogy adott világítás erősséghez szükséges áram, mekkora munkaponti feszültséget igényel. Természetesen méréssel is meghatározhatók a szükséges munkaponti paraméterek, sőt az utóbbihoz diagram sem kell, hisz a mérési eredmények adják a munkaponti adatokat.

Jobbra a mérési összeállítás látható, a fekete alkatrész a LED elektronikai jelölése. **Fontos, a LED bekötése az ábra szerinti, nem cserélhetők fel a lábak!**



Fehér LED-ből szeretnénk összeállítani egy zseblámpához elegendő fény mennyiségű csomagot. Egy tápegységgel és multiméterrel vizsgáljuk, hány LED-re van szükségünk ez elvárt világosságához, és azon mekkora áramot szükséges áthajtani. Az eredmény 4 db, 26 mA-n működő LED fényforrás elegendőnek bizonyult a fényigényhez. Megmértük a feszültséget 26 mA-s áramnál, és LED-enként 3,15 V-t kaptunk.

Második lépés, határozzuk meg milyen tápáramforrást tudnánk használni, és hogy rendezhetők el a LED-ek, hogy ne kelljen feleslegesen nagy értékű ellenállást választanunk. Van egy 9 V-s elemünk, így adottá válik, 2 LED-t kapcsolunk sorosan, és azokat párhuzamosan. A 2 soros LED $2 \times 3,15\text{V}$ -t igényel, és a 2 párhuzamos ág ágaként 26 mA áramot. Összegezve, LED csomagunk feszültség igénye $U_L = 6,3\text{V}$, áram igénye $I_L = 52\text{mA}$. Az eredmények ismeretében, határozzuk meg az előtét ellenállást (R_e).

$U_{R_e} = U_T - U_L = 9 - 6,3 = 2,7\text{V}$ $R_e = U_{R_e} / I_L = 2,7 / 26\text{mA} = 103,85\ \Omega \Rightarrow 100\ \Omega$ a szabvány méret.

Mekkora a lámpánk hatásfoka, ha egyébként LED-jeink 90%-s hatásfokkal dolgoznak?

$$P_{\text{fény}} = \text{darab} \cdot U_L \cdot I_L \cdot \eta = 4 \cdot 3,15 \cdot 26\text{mA} \cdot 0,9 = 294,84\text{ mW}$$

$$P_{\text{felvett}} = U_T \cdot 2 \cdot I_L = 9 \cdot 2 \cdot 26\text{mA} = 468\text{ mW} \Rightarrow \eta = P_{\text{fény}} / P_{\text{felvett}} = 63\%$$

A LED hatásfokát rontotta, hogy előtét ellenállással kellett csökkenteni a tápfeszültséget!