

Budapesti Műszaki Főiskola

Bánki Donát Gépészmérnöki
Főiskolai Kar

Nagy István, f. adj.

**ELEKTROTECHNIKAI
PÉLDATÁR**

BUDAPEST
2001

1. KIADÁS

ELŐSZÓ

Az elektrotechnikai példagyűjtemény a Budapesti Műszaki Főiskola, Bánki Donát Gépészmérnöki Kar keretén belül, kiegészítésként használatos az Elektronika Alapjai, illetve a Mechatronikai Alapismeretek, című tantárgyakkal kapcsolatban, mint példagyűjtemény. Mivel gépészmérnöki karról van szó, a példák nagy része is inkább az ezzel kapcsolatos témakörökhöz kötődik, követve azt a tendenciát, hogy manapság a gépészetben is egyre nagyobb mértékben használatosak az elektronikai alkatrészek. A példákban az elméleti levezetések helyett, inkább a gyakorlati dolgokra összpontosítottam, és az egyes alkatrészek (kapcsolások) tulajdonságait a felhasználásukon keresztül próbáltam közelebb hozni a diákokhoz. A megoldott példák mintapéldaként szolgálnak, és nagyon fontosak a hozzájuk tartozó megjegyzések, magyarázatok. Az egyes példák három csillaggal (***) vannak elválasztva egymástól, míg az egyes egymáshoz közel álló témakörök csak egy csillaggal (*). Maga a példatár két fő részre van osztva. Az első részben (I) az elektronika alapjait ismétli át, a második rész (II), félvezetőkkel és a műveleti erősítőkkel foglalkozik. A fejezetek végén a *függelék* található, mely néhány gyakorlati kapcsolást tekint át.

Természetesen a gyakorlatot, egy bizonyos fokú elméleti felkészülés nélkül nem lehet elképzelni, ezért az egyes fejezeteknél a bevezetésben megtaláljuk, hogy milyen irodalomból tudunk felkészülni az adott részhez tartozó elméletre.

A jegyzet nem egy egészét képezi az elektronikával és az elektrotechnikával kapcsolatos témaköröknek, hanem egy, az intézetünkben használatos ún. testreszabása a megadott témának.

A szerző.

TARTALOM

ELŐSZÓ	2
TARTALOM	3
I. ELEKTRONIKA ALAPJAI	6
1. ALAPFOGALMAK.....	6
Elektromos töltés:	6
<i>A villamos áram</i>	9
<i>Az elektromos feszültség</i>	10
<i>Elektromos potenciál</i>	10
<i>Ellenállás, fajlagos ellenállás</i>	10
<i>Villamos áramkör</i>	11
Áramköri elemek.....	11
<i>A galvánelem működésének elve</i>	12
<i>Fogyasztók</i>	12
<i>Ohm törvény</i>	15
<i>Kirchoff törvények</i>	16
Kirchoff I. törvénye.....	16
Kirchoff II. törvénye	16
<i>Ellenállások kapcsolása</i>	17
Ellenállások soros kapcsolása	18
Ellenállások párhuzamos kapcsolása.....	18
Ellenállások vegyes kapcsolása.....	20
Ellenállások hídkapcsolása.....	20
<i>Villamos energiaforrások kapcsolása</i>	24
Terhelés.....	24
Energiaforrások soros kapcsolása	25
Energiaforrások párhuzamos kapcsolása.....	26
<i>Mérőműszerek kapcsolása</i>	27
Mutatott érték.....	27
MINTAPÉLDÁK SZÁMOLÁSA AZ EGYENÁRAMÚ RÉSZHEZ	30
<i>A villamos töltéssel kapcsolatos példák</i>	30
<i>Ohm törvénnyel kapcsolatos példák</i>	30
<i>Példák az eredőellenállás kiszámolására</i>	33
<i>Eredőellenállások számolása híd-kapcsolású áramköröknél</i>	37
További példák az eredőellenállás kiszámolásának gyakorlására	41
NÉHÁNY ALAPMETÓDUS AZ EGYENÁRAMÚ PÉLDÁK MEGOLDÁSÁVAL KAPCSOLATBAN	43
<i>Eredőellenállás segítségével való számolás</i>	43
<i>Kirchoff törvények alkalmazása</i>	44
<i>Maxwell ciklusok segítségével való számolás</i>	47
<i>A szuperpozíció elv</i>	49
<i>Egyéb gyakorlásra szolgáló példák</i>	51
<i>Méréstechnikával kapcsolatos példák</i>	64
2. VÁLTAKOZÓ MENNYISÉGEK.....	67
<i>Alapfogalmak</i>	67
<i>A váltakozó áram / feszültség ábrázolása</i>	67

PÉLDÁK A VÁLTAKOZÓ MENNYISÉGEK KÖZÉPÉRTÉKEINEK SZÁMOLÁSÁRA.....	68
<i>Váltakozó áramú körök passzív áramkörü elemei.....</i>	73
a.) Váltakozó feszültségre kapcsolt ellenállás (impedancia).....	73
b.) Váltakozó áramra kapcsolt önindukciós tekercs.....	73
c.) Váltakozó feszültségre kapcsolt kondenzátor.....	74
<i>Ellenállás, induktív és kapacitív reaktancia kapcsolásai.....</i>	76
II. FÉLVEZETŐK.....	86
1. ELMÉLETI ALAPOK.....	86
<i>Bevezetés.....</i>	86
A FÉLVEZETŐ ANYAGOK FELOSZTÁSA.....	86
1. <i>Struktúrájuk alapján.....</i>	86
2. <i>Szennyezettségük alapján.....</i>	86
<i>Félvezető anyagok energia-sávdiagramja.....</i>	87
AZ ANYAGOK FELOSZTÁSA AZ ELEKTRONIKA SZEMPONTJÁBÓL.....	88
A P ÉS N RÉTEGEK KIALAKÍTÁSA.....	88
<i>P-N átmenet.....</i>	89
FÉLVEZETŐ (BIPOLÁRIS) DIÓDÁK.....	90
<i>Egyenirányítás, simítás, szűrés.....</i>	95
A kapacitás fogalma.....	98
A kondenzátor kisütése.....	98
A kisütőáram erőssége.....	99
A kondenzátor töltési, és kisütési feszültségei, áramai.....	99
BIPOLÁRIS TRANZISZTOROK.....	105
<i>A tranzisztor működési elve.....</i>	105
<i>Tab.II/1.1. Erősítési tényezők.....</i>	107
<i>Tab. II/1.2. Az általános tranzisztor feszültségei aktí és szaturációs (telítettségi) állapotban.....</i>	108
<i>TAB.II/1.3. Megközelítőleges értékhatárok: $T_{(Si)}$.....</i>	109
<i>TAB.II/1.4 A tranzisztor működési tartományai (npn tranzisztor):.....</i>	115
Túlvezérlési tényező.....	125
<i>Az erősítők osztályozása a nyugalmi munkapont és a kivezérlés ismeretében.....</i>	128
Erősítők osztályozása.....	128
<i>Differenciálerősítők.....</i>	132
2. MŰVELETI ERŐSÍTŐK.....	135
<i>Legáltalánosabb felhasználási területei.....</i>	135
<i>Működési elve, tulajdonságai, paraméterei.....</i>	135
VISSZACSATOLT ERŐSÍTŐK.....	137
(ÁTVITELI TÉNYEZŐK).....	137
<i>Pozitív visszacsatolás.....</i>	138
<i>Negatív visszacsatolás.....</i>	139
<i>Invertáló (negatívan visszacsatolt) ME.....</i>	139
<i>Nem invertáló (poz. visszacsatolt) ME.....</i>	142
MŰVELETI ERŐSÍTŐKBŐL ÖSSZEÁLLÍTOTT ANALÓG MŰVELETI ÁRAMKÖRÖK.....	143
<i>Összeadó áramkör.....</i>	143
<i>Kivonó áramkör.....</i>	144
<i>Integrátor.....</i>	145
<i>Derivátor.....</i>	147
<i>Röviden néhány szó a logaritmikus-frekvencia diagrammokról.....</i>	149
Három alapesetet különböztetünk meg.....	150

1. FÜGGELÉK.....	158
NÉHÁNY PÉLDA A SZÁMÍTÁSTECHNIKÁBAN HASZNÁLATOS ALAPELEMEKRE.....	158
<i>Logikai áramkör családok.....</i>	<i>158</i>
DRL – dióda-ellenállás logika.....	158
DCTL – egyenesen-csatolt tranzisztoros logika.....	160
DTL – dióda-tranzisztoros logika.....	161
TTL – tranzisztor-tranzisztoros logika.....	161
Schmitt trigger.....	164
NÉHÁNY ADATÁTVITELRE SZOLGÁLÓ ÁRAMKÖR.....	166
<i>Párhuzamos adatátvitel.....</i>	<i>166</i>
<i>Soros adatátvitel.....</i>	<i>166</i>
Izochrón.....	166
Anizochrón.....	166
Szinkron.....	166
Aszinkron.....	166
<i>TTL és V.24 szintű adatok.....</i>	<i>168</i>
*.....	168
OPTOCSATOLÓVAL MEGVALÓSÍTOTT ADATÁTVITEL.....	169
DIFFERENCIÁL ERŐSÍTŐVEL TÖRTÉNŐ ADATÁTVITEL.....	172
NÉHÁNY MEMÓRIA ALAPKAPCSOLÁS.....	173
<i>Néhány alapfelosztás.....</i>	<i>173</i>
Technológia alapján.....	173
Hozzáférés alapján.....	173
Felhasználás alapján.....	174
TÁRGYMUTATÓ.....	177
FELHASZNÁLT IRODALOM.....	181

I. ELEKTRONIKA ALAPJAI

1. Alapfogalmak

Elektromos töltés:

Mindig valamilyen "anyag" kíséretében van jelen. Az anyag szó alatt ebben az esetben elementáris részecskék (atomok, molekulák) halmazát értjük, melyeknek nyugalmi tömege m_0 . Az elektromos töltés körül mindig található **elektrosztatikus tér**, ez az **elektromos tér** egy speciális formája, mégpedig az, amelyik időben állandó. Ha a részecskénk - amelyik az elektromos töltést is hordozza-, a térben mozog, akkor az elektromos tér mellett a részecske körül **mágneses teret** is észlelhetünk.

Megj.:

Az elektromos és mágneses terek tehát az anyaghoz kötődnek, így relatív változásoknak is alávetődnek hasonlóan, mint ahogy a mozgó részecske tömege is változik a Lorenz törvény értelmében:

$$m = \frac{m_0}{\sqrt{1 - \frac{v^2}{c^2}}} ;$$

Ahol: m_0 – a részecske tömege nyugalmi állapotban, v – a részecske sebessége, c - fénysebesség a vákuumban ($2,998 \cdot 10^8$ [m/s]).

Ha a részecskénk mozgása gyorsuló/lassuló vagy a mozgás pályája valamilyen görbét ír le, akkor egy önálló tér figyelhető meg, amit **elektromágneses térnek nevezünk**, és ez már nincs az anyaghoz kötve, **elektromágneses hullámzás** formájában terjed a feltételezett töltésünktől a tér minden irányában.

Megj.:

Az elektromágneses hullám vákuumban is terjed, ún. "csomagok" formájában. Bizonyos értelemben mondhatjuk, hogy az elektromágneses hullám fotonokkal reprezentált.

Ha az elektromágneses tér, időben f -frekvenciával változik, akkor egy foton energiája a Planck konstans segítségével kiszámítható:

$$W = h \cdot f ;$$

Ahol : $h = 6,626 \cdot 10^{-34} [Ws^2]$; a Planck konstans.

Az elektrotechnika szempontjából egyik legjelentősebb töltéshordozó részecske az **elektron**. Megtalálható az atommag körül, ahol egy meghatározott pályán kering. Az elektron töltése negatív, és egy bizonyos szempontból felfoghatjuk mint a legkisebb elektromos mennyiséget is:

$$e = - 1,602 \cdot 10^{-19} [C];$$

Megj.:

C-Coulomb, az SI-rendszerben megegyezik $C = A \cdot s$;

Az atommag apróbb részecskékből, **protonokból** és **neutronokból** áll. Míg a neutronok külsőleg elektromosan semlegesnek tekinthetők, a protonok a pozitív töltésűek. Töltésük nagyjából megegyezik az elektron töltésének nagyságával. Mivel az atom külsőleg villamosan semleges ezért a töltések, - protonok és neutronok- száma meg kell, hogy egyezzen.

Megj.:

Szabad protonok előfordulnak a természetben, pl. a kozmikus sugárzásokban.

Az általános elektrotechnikában szabad protonokkal nem foglalkoznak, mivel a protonokat az atommagból nagyon körülményes felszabadítani az ott fellépő kohéziós erők miatt.

Az elektron antirészecskéje a **pozitron**, aminek nyugalmi tömege ugyanakkora, mint az elektroné, töltése is ugyanakkora csak ellentétes. A pozitron is csak vákuumban fordulhat elő szabadon. Az anyagokban csak nagyon rövid ideig "él", mivel egyesül a legközelebbi elektronnal, és semlegesítik egymást, miközben **gamma-sugárzást** észlelhetünk. Mivel ez is nagyon gyors

folyamat, az elektrotechnikában vele sem nagyon számolunk. (Egyéb felhasználásoknál viszont kihasználásra kerül.)

A további kérdés tehát az lehet, hogy mi az amit a villamosságban használunk? A válasz a következő:

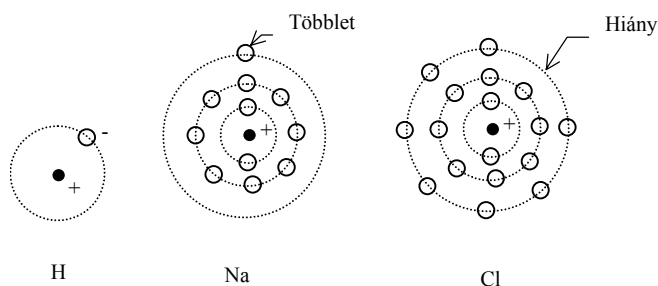
- azokat az atomokat melyeknek a külső elektronszféra szabad elektronjaik közül külső behatásra néhány elektron felszabadul, és így túlsúlyba kerülnek a pozitív töltésű protonok, külsőleg pozitív töltésűek, és **pozitív ionoknak** hívjuk őket.

- az eredetileg külsőleg "semleges" atomokhoz viszont "hozzáragadhatnak" szabad elektronok, így túlsúlyban lesznek az elektronok és így keletkeznek a **negatív ionok**. Ezek általában a nem teljesen betöltött külső héjjal rendelkező atomok.

Ha ezeket a folyamatokat mesterségesen idézzük elő, akkor azt **ionizációnak** nevezzük.

I/1.1. ábra

Az elektronok megoszlása az elektronszféraon



Megj.:

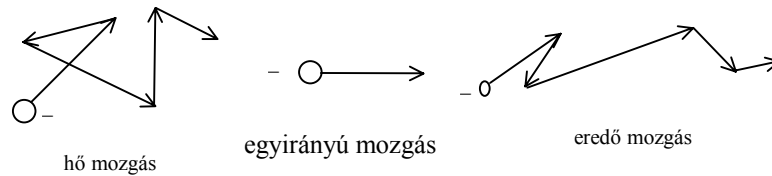
A két ellentétes töltésű ion vonzza egymást, így keletkezik a **molekula**, pl. Na^+Cl^- a konyhasó. A fémek mindig elektront adnak át, tehát pozitív iont alkotnak. A nemesgázok külső elektronszféra telített, tehát elektront se leadni, se felvenni nem tudnak (nem alkotnak vegyületeket).

Az atommagnak, elektronnak és az ionnak, tehát villamos töltése van. A szabad elektronok és az ionok vándorlása a **töltésvándorlás**. Ezt nevezzük villamos áramnak. Az elektronok az anyagban általában hőmozgást végeznek, ennek hatására a lazán kötött elektronok a külső héjjáról leszakadnak, és ezekből lesznek a szabad elektronok. Ha ezekre a szabad elektronokra valamilyen irányú külső erő hat (általában elektromos tér formájában), akkor az erő irányában megindul a szabad elektronok rendezett (egyirányú)

vándorlása **villamos áram** formájában. Fémeknél gyakorlatilag az egész anyagban egyszerre indul meg az elektronok mozgása. A szigetelő anyagokban a töltött részecskék nem képesek vándorolni. A félvezető anyagok bizonyos energiaszint alatt nem tartalmaznak szabad részecskéket.

I/1.2. ábra

A szabad elektron mozgása



A villamos áram

Eltételezve a bonyolultabb megfogalmazásokról, az előzőekből kiindulva mondhatjuk, hogy a *villamos áram egységnyi felületen, bizonyos időegység alatt áthaladt töltésmennyiség.*

$$I = Q / t; \quad \left[\frac{[C]}{[s]} = A \right];$$

ahol Q - a vill. Töltés [C]
 I - egyenáram jelölése [A]
 t – idő [s].

Az elektromos feszültség

A tér adott két pontja között lévő potenciálkülönbség. Jele U , egysége [V] (egyenfeszültség).

Elektromos potenciál

Az elektrosztatikus térben, ha egy töltést akarunk áthelyezni a 0 pontból az 1 pontba, akkor valamilyen W_1 energiát kell kifejtenünk. Ha ugyanezt a töltést akarjuk a 0 pontból a 2 pontba áthelyezni, akkor $W_2 \neq W_1$ energiát kell kifejtenünk.

$$W_i = \int_0^i \overline{F}_{\text{külső}} \cdot \overline{ds} = -Q \cdot \int_0^i \overline{E} \cdot \overline{ds},$$

A képletből látható, hogy a W_i energia nagysága csak az i pont térbeli helyzetétől függ az örvénymentes elektromos térben. Vagyis mondhatjuk, hogy a tér minden egyes pontjához hozzárendelhetünk bizonyos W_i energiát, amit *potenciális energiának* (a hely elektromos potenciálja - φ) nevezünk.

$$\varphi_i = \lim_{Q \rightarrow 0} \frac{W_i}{Q} = - \int_0^i \overline{E} \cdot \overline{ds},$$

Ellenállás, fajlagos ellenállás

A fajlagos ellenállás (ρ), a fajlagos vezetőképesség (γ) reciproka, tehát mindkettő az anyag tulajdonsága. Ebből az ellenállás:

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} [\Omega];$$

Megj.:

A vezetők fajlagos ellenállása a hőmérséklet csökkenésével csökken. Némely fémeknél ez a csökkenés monoton, egészen a legkisebb hőmérsékletig, majd az abszolút nulla közelében hirtelen megszűnik a fajlagos ellenállás és az anyagok ideális vezetővé válnak. Ezt az állapotot nevezik **szupravezetésnek**. A további kutatások arra irányulnak, hogy az anyagok kristályszerkezetét, úgy

kell megváltoztatni, hogy tulajdonságaik csak kis mértékben változzanak, ellenben a szupravezetéshez szükséges hőmérséklet, ne legyen olyan alacsony (abszolút nulla felett, - végcél a szobahőmérsékleten lévő szupravezetés lenne).

Villamos áramkör

A legegyszerűbb villamos áramkör **energiaforrásból**, **fogyasztóból** és az őket összekötő **vezeték**ből áll.

Áramköri elemek

Villamos energiaforrások: -azok a készülékek, melyeknek elektromos erejük van és villamos energia előállítására alkalmasak:

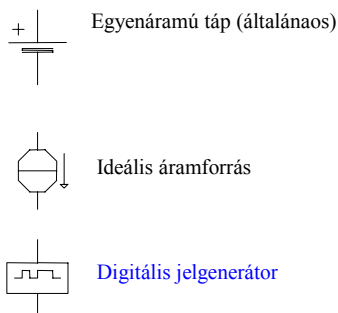
vegyi energiát → villamos energiára (galvánelem, szárazelem, akkumulátor, ...)

fényenergiát → villamos energiára (napelem, ...)

mech. energiát → villamos energiára (generátorok, ...)

Jelölések (lásd I/1.3 ábra):

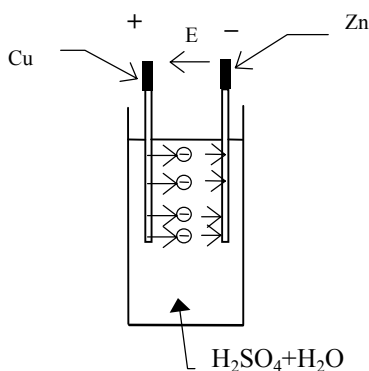
I/1.3. ábra



A galvánelem működésének elve

Vízzel hígított kénsavban ($\text{H}_2\text{SO}_4 + \text{H}_2\text{O}$) helyezünk el egy réz (Cu) és egy horganylemezt (Zn). A rézlemezről -vegyi hatás következtében- elektronok lépnek ki a kénsavba, így a rézlemez pozitív töltésűvé válik. A horganylemezen ennek a folyamatnak a fordítottja játszódik le. Ott az elektronok a kénsavból lépnek át a horganyba, vagyis a horganylemez negatív töltésű lesz. Így a két lemez ellentétes töltésű lesz. A két töltés között fellépő erős **elektromos erőnek** nevezzük (E). A galvánelem kapcsain (+, -) megjelenő különneű töltések vonzzák egymást, de az elektromos erő szétválasztó hatása miatt kiegyenlítődni nem tudnak. Ha azonban a kapcsokat vezetővel kötjük össze, akkor ezen a vezetőkön keresztül megindulhat a kiegyenlítődés **villamos áram** formájában.

I/1.4. ábra



Fogyasztók

Azok a készülékek, amelyekben az áramló villamos töltések hatására a villamos energia más: -hő, -fény, -vegyi, -mechanikai energiává alakul át. A fogyasztókat az áramkörökben általában szimbolikusan ellenállással jelöljük (kiv. villamos motorok, ...).

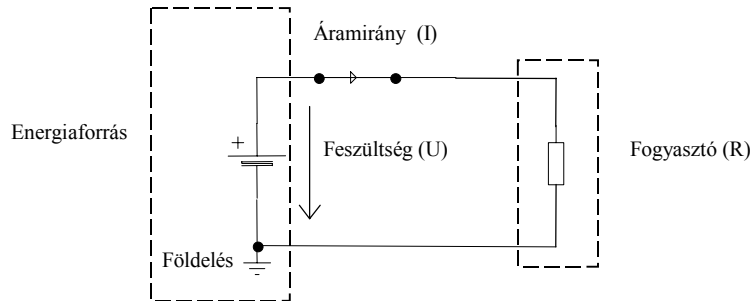
Ezek után definiálhatjuk a **legegyszerűbb áramkört**, ami energiaforrásból, fogyasztóból és az őket összekötő vezetékből áll. (A példák számolásánál a vezetékek ellenállását elhanyagoljuk, ill. ha figyelembe kell venni, ellenállással jelöljük.)

Általános jelölések és szimbólumok:

- Nyomtatott nagybetűk: **-Egyen-**mennyiségek.
(Pl.: **I**-egyenáram, **U**-egyenfesz.)
- Írott nagybetűk: **- Váltakozó-**mennyiségek.
(Pl.: **U**-vált. fesz.)
- Kisbetűk: **- Pillanatnyi** értékek.
(Pl.: **i**-pillanatnyi áram,)

Általános megegyezés alapján az áramirányt a poz. elektródából kiindulva a fogyasztón keresztül a neg. elektróda, ill. föld, felé fogjuk jelölni. Természetesen az elágazások után csak feltételezett áramirányokat fogunk majd bejelölni. A feszültséget szintén a pozitívól a negatív pólus felé fogjuk jelölni. Lásd I/1.5 ábra, a legegyszerűbb áramkör.

I/1.5. ábra



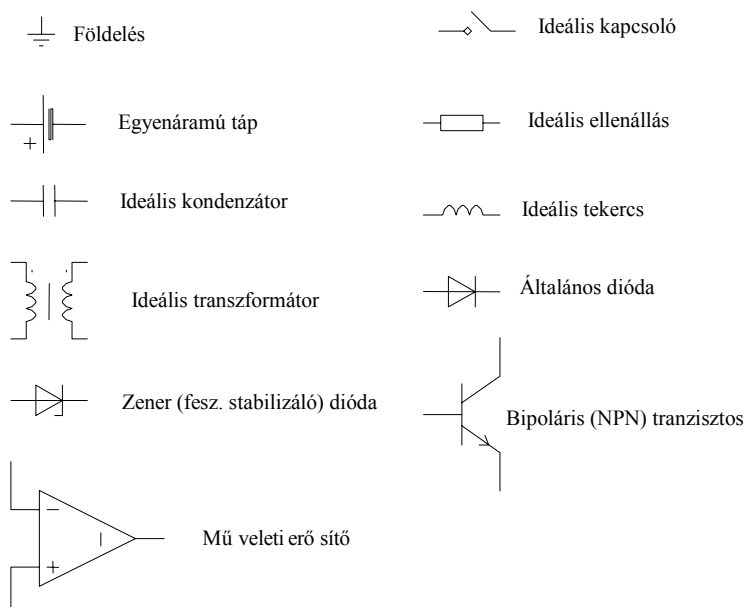
A leggyakrabban használatos méretegységek (lásd Tab. I/1.1):

Tab.I/1.1

Egység :	Példa :
p = piko = 10^{-12}	pF (pikofarad)
n = nano = 10^{-9}	nF (nanofarad)
μ = mikro = 10^{-6}	μ F (mikrofarad)
m = milli = 10^{-3}	mV (millivolt)
k = kilo = 10^3	kV (kilovolt)
M = mega = 10^6	M Ω (megaohm)
G = giga = 10^9	G Ω (gigaohm)

A példákban használatos további áramköri elemek és jelöléseik, lásd I/1.6. ábra:

I/1.6. ábra



Az **ideális ellenállás** olyan fogyasztó, amely a villamos energiát hőenergiára alakítja át. Egyetlen paramétere van (**R**).

Az **ideális kondenzátort**, a villamos tér energiájának tárolójaként foghatjuk fel. Villamos energiát vehet fel (töltések formájában), majd ezt az energiát (egy részét) vissza is adhatja az áramkörbe. Egyetlen paramétere a kapacitása (**C**).

Az *ideális tekercset*, a mágneses tér energiájának tárolójaként foghatjuk fel, amit felvehet és egy részét vissza is tudja szolgáltatni az áramkörbe. Egyetlen paramétere az induktivitása (**L**).

A példák megoldása során felhasznált törvények:

Ohm törvény

G.S. Ohm megfigyelte, hogy konstans hőmérsékleten fém vezetőknél a feszültség és az áramerősség között lineáris összefüggés van.:

$$U = konst. \cdot I = R \cdot I$$

vagyis felírhatjuk, hogy:

$$I = \frac{U}{R} = G \cdot U ;$$

ahol, G - a villamos vezetőképesség : $G = 1/R$

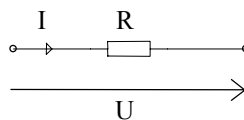
Tehát mondhatjuk, hogy: *Ha egy R ellenálláson I áram folyik keresztül, akkor az ellenállás kapcsain mérhető feszültség Ohm törvénye értelmében:*

$$U = R \cdot I [V];$$

Megj.:

Az áram iránya megegyezik a feszültség irányával.

I/1.7 ábra



Kirchoff törvények

A villamos hálózatokra vonatkoznak. A villamos hálózatok egy vagy több energiaforrásból és ellenállásokból tevődnek össze. Ennek a speciális esete lehet az egyszerű áramkör is (lásd: I/5 ábra), de általában ennél bonyolultabb áramkörökkel találkozunk.

Csomópont - három, vagy több vezető találkozási pontja.

Hurok - azoknak az ágaknak az összessége, amelyeken végighaladva a kiindulási pontba érünk vissza úgy, hogy közben egy ágon sem haladtunk kétszer végig.

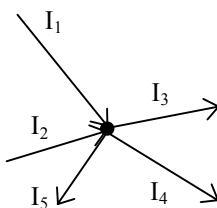
Kirchoff I. törvénye

(csomóponti)

A csomópontba befolyó és a csomópontból kifolyó áramok aritmetikai összege egyenlő nullával.

Aritmetikai alatt azt értjük, hogy az egyes áramirányok értelmezve vannak. Általános megegyezés lehetne (természetesen ez lehet egyéni is), hogy a csomópontba befolyó áramokat +, a csomópontból kifolyó áramokat - előjellel látjuk el.

I/1.8 ábra



Ezek alapján felírhatjuk, hogy:

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

vagyis általánosan:

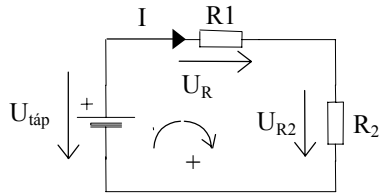
$$\sum_{n=1}^{\infty} I_n = 0 ;$$

Kirchoff II. törvénye

(huroktörvény)

Zárt hurokban a feszültségek aritmetikai összege egyenlő nullával. Itt az értelmezést (+,-) az óramutató járásával adhatjuk meg .

I/1.9 ábra



vagyis felírhatjuk, hogy:

$$-U_{\text{táp}} + U_{R1} + U_{R2} = 0 ;$$

általánosan:

$$\sum_{n=1}^{\infty} U_n = 0 ;$$

Ellenállások kapcsolása

Az áramköröket nagyon gyakran egyszerűsíthetjük azzal, ha kiszámítjuk az áramkör egy bizonyos szegmensének ún. **eredőellenállását**, így a szegmensben szereplő ellenállásokat ezzel az eredőellenállással tudjuk helyettesíteni, ami áttekinthetőbbé, egyszerűbbé teszi a további számolást (lásd: **Norton-Thevenin** féle helyettesítés, 3.10 példa). Természetesen ez feladattól függ, hiszen lehet, hogy csak egy bizonyos ágban vagyunk kíváncsiak az áramerősségre ekkor csak a feladat egy részén tudunk könnyíteni.

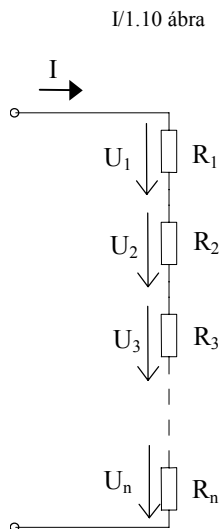
Ellenállások soros kapcsolása

Az ellenállás végét összekötjük a második elejével a második végét a harmadik elejével, ...etc., végül az első elejét és az utolsó végét rákapcsoljuk a tápfeszültségre. Sorba kapcsolt ellenállásoknál ugyanaz az áram folyik át az összes ellenálláson, viszont az egyes különböző nagyságú ellenállásokon különböző nagyságú feszültség esik. Csak olyan ellenállások köthetők sorba, amelyekben az adott áramerősség az ellenállások megrongálása nélkül átfolyhat. Az eredőellenállás az egyes ellenállások összegével egyenlő.

Megj.:

Sorosan kapcsolt ellenállásokon, az összes ellenálláson ugyanaz az áram folyik keresztül.

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



Ellenállások párhuzamos kapcsolása

Az ellenállások kezdeteit, majd azok végeit egyesítjük egymással és az így összekötött kezdeteket, ill. végeket kötjük a tápfeszültségre. Az így kialakított csomópontok között csak egy feszültség mérhető, viszont az egyes ágakban a különböző nagyságú ellenállásokon különböző nagyságú áramok folynak. Az eredő ellenállás reciproka egyenlő az egyes ellenállások reciprokának összegével. (Vagy az

eredő vezetőképesség (G), egyenlő az egyes ágakban lévő vezetőképességek összegével.)

$$\frac{1}{R_e} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} = \sum \frac{1}{R_n};$$

$$G = G_1 + G_2 + \dots + G_n = \sum G_n;$$

Megj.:

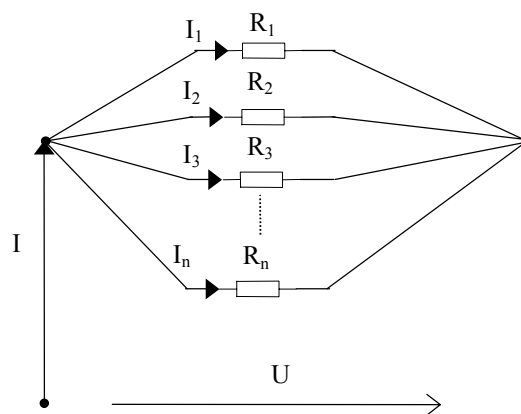
Párhuzamosan kapcsolt ellenállásoknál, az összes ellenálláson ugyanaz a feszültség mérhető.

A párhuzamosan kapcsolt ellenállásoknál használatos még az eredőellenállások kiszámolására az ún. **repluszos (x)** felírás:

$$R_e = R_1 \times R_2 \times R_3 \dots R_n,$$

Gyakorlati felhasználását lásd a további példákban.

I/1.11. ábra



Megj.:

Kondenzátorok kapcsolásánál az eredő kapacitás (C_e) számolása:
- *Sorba kapcsolt kondenzátorok eredőkapacitása:*

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n};$$

- *Párhuzamosan kapcsolt kondenzátorok eredőkapacitása:*

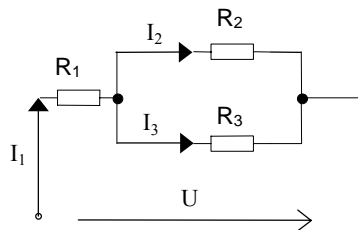
$$C_e = C_1 + C_2 + \dots + C_n;$$

*

Ellenállások vegyes kapcsolása

A vegyes kapcsolások valójában sorba és párhuzamosan kapcsolt ellenálláscsoportokból tevődnek össze. Itt általában kiszámoljuk a sorba kapcsolt ellenállások eredőjét, majd a párhuzamosan kapcsolt ellenállások eredőjét, és végül az egyes eredő ellenállásokat összegezzük (ΣR_e).

I/1.12 ábra



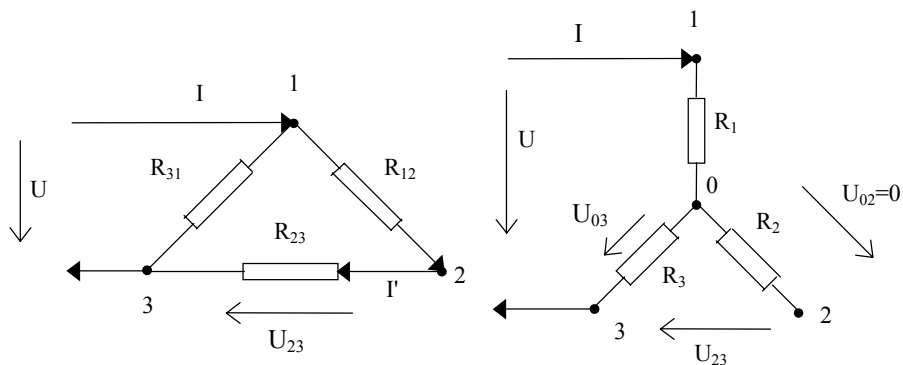
Ellenállások hídkapcsolása

Összetettebb hálózatoknál gyakran találkozhatunk olyan kapcsolásokkal, amelyek sem a soros, sem a párhuzamos kapcsolásokhoz nem hasonlítanak. Ezek általában a hídkapcsolások, ahol az ellenállások vagy háromszög (delta), vagy csillagkapcsolásban találhatók. Gyakran, hogy ezeket a kapcsolásokat egyszerűsíteni tudjuk, szükségünk van a **delta** kapcsolás helyettesítésére a neki egyenértékű **csillag**kapcsolással, vagy fordítva. Így a hálózatunkat egyszerűsíthetjük soros / párhuzamos / vegyes kapcsolássá, amit az előzőek alapján könnyen számolhatunk. Az átalakításnál egy alapszabályt be kell tartani, : a csillag-kapcsolásnál két pont között **(1,2)** lévő ellenállások nagysága ugyanakkora kell, hogy legyen, mint a delta-kapcsolásban a megfelelő két pont között **(1,2)** szereplő ellenállás nagysága.

Az átalakító képletek levezetése:

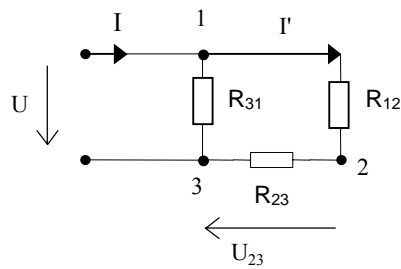
Tételezzük fel, hogy az ellenállás háromszög (delta) a hálózathoz az egyes **(1)** és a hármas **(3)** pontokon csatlakozik, vagyis az **1** ponton az **I** áram befolyik a deltába, a **3** ponton pedig ki. Írjuk fel az U_{23} feszültséget az **I'** áram segítségével (**I'** a delta egy ágában folyó áram., lásd I/1.13. ábra).

I/1.13. ábra



Az **I'** áramot az ágakban megoszló áramok és ellenállások fordított arányai segítségével írhatjuk fel. Lásd: I/1.14. ábra.

I/1.14. ábra



$$\frac{I'}{I} = \frac{R_{31} \cdot (R_{12} + R_{23})}{R_{12} + R_{23}}$$

$$I' = I \frac{R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}}$$

Megj.:

Az X az ún. **replusz**, amivel a párhuzamosan kapcsolt ellenállások számolásán tudjuk a felírást áttekinthetőbbé tenni.

Gyakorlati jelentése:

Ha R_1 és R_2 két párhuzamosan kapcsolt ellenállás, akkor az eredő ellenállás nagyságát felírhatjuk a replusz segítségével a következőképpen:

$$R_e = R_1 \cdot R_2 = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2};$$

*

Ebből felírhatjuk az R_{23} ellenálláson eső U_{23} feszültséget:

$$U_{23} = R_{23} \cdot I' = \frac{R_{23} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}} \cdot I; \quad (1.)$$

Ha az egyenértékű csillagban is kifejezzük az U_{23} feszültséget:

$$U_{23} = -U_{02} + U_{03} = U_{03} = R_3 \cdot I; \quad (2.)$$

mivel, $U_{02} = 0$. Továbbá, rendezve az (1.) és (2.) egyenleteket, és U_{23} kifejezésével, megkapjuk a transzformációs képletet:

$$R_3 = \frac{R_{23} \cdot R_{31}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}};$$

Ugyanígy, az indexek ciklikus cseréjével megkapjuk a csillagban szereplő többi ellenállás nagyságát is. (Természetesen akkor másik két pont között (pl.: 1, 2) folytatjuk a levezetést).

$$R_2 = \frac{R_{12} \cdot R_{23}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}};$$

$$R_1 = \frac{R_{31} \cdot R_{12}}{R_{12} + R_{23} + R_{31}};$$

Tehát ezek a transzformációs képletek akkor érvényesek, ha ismerjük a deltába kapcsolt ellenállások értékeit és keressük a neki megfelelő csillag-kapcsolásban szereplő ellenállások nagyságát. Hasonló módszerrel levezethetjük a csillagból deltába történő számolás transzformációs képleteit.

Tételezzük fel, hogy az 1 és 3 csomópontok között U feszültségünk van (lásd: I/1.13 ábra), és a 2 és 3 csomópontok rövidre vannak kötve egy vezetékkel. Ebben az esetben a háromszögre (delta) egyenesen az Ohm törvényből felírhatjuk:

$$I_{23} = \frac{U}{R_{12}}; \quad (3.)$$

továbbá, a csillagban az ellenállások vegyes kapcsolásából kiindulva felírhatjuk, hogy:

$$I_{23} = \frac{U \cdot R_3}{R_1 R_2 + R_1 R_3 + R_2 R_3}; \quad (4.)$$

A (3.) és (4.) egyenletekből megkapjuk az átalakító képletet:

$$R_{12} = R_1 + R_2 + \frac{R_1 \cdot R_2}{R_3};$$

majd hasonlóan a többi képletet is:

$$R_{23} = R_2 + R_3 + \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1};$$

$$R_{31} = R_3 + R_1 + \frac{R_3 \cdot R_1}{R_2};$$

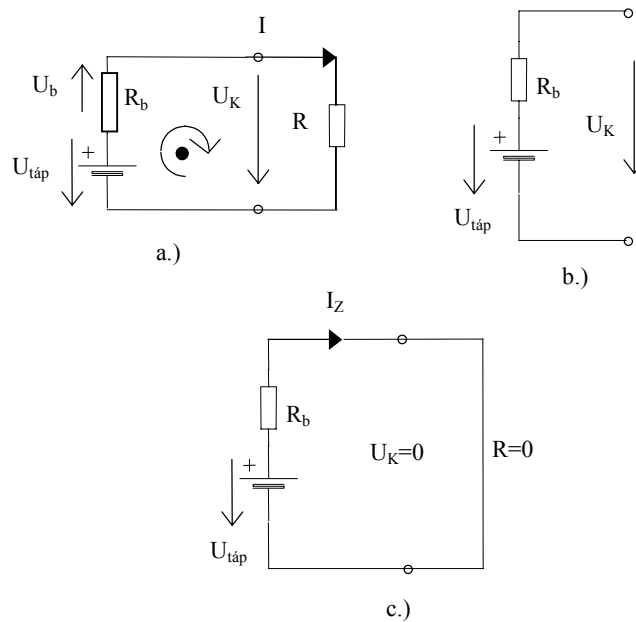
Villamos energiaforrások kapcsolása

Minden villamos energiaforrásnak van belső ellenállása, (R_b) amit az ideális energiaforrásból kiemelve és azzal sorba kapcsolva tüntetünk fel.

Terhelés

Ha az energiaforrás kapcsait egy ellenálláson keresztül összekötjük, akkor az energiaforrást terheljük, mert az energiaforrásból a terhelő ellenálláson keresztül áram folyik át (lásd: I/1.15a. ábra).

I/1.15 ábra



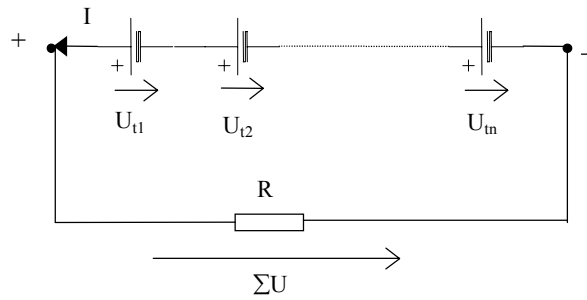
I/1.15b.) ábra, az energiaforrás **üresjárása**, vagyis az energiaforrás nincs terhelve, nem folyik semmilyen áram.

I/1.15c.) ábra az energiaforrás **rövidrezárása**, ha a kapcsait ellenállásmentesen összekötjük. Ilyenkor a tápból I_z zárlati áram folyik.

Energiaforrások soros kapcsolása

Energiaforrásokat akkor kell sorba kapcsolni, ha a szükséges feszültség nagyobb, mint egy energiaforrás feszültsége. Az egyes kapocsfeszültségek összeadódnak, így kapjuk az eredő feszültséget (ΣU). Valamennyi energiaforráson azonos áramerősség folyik keresztül. (Tehát csak olyan energiaforrások kapcsolhatók össze, melyeknek megengedett terhelhetősége nagyobb, mint a kapcsolást terhelő ellenállás nagysága.)

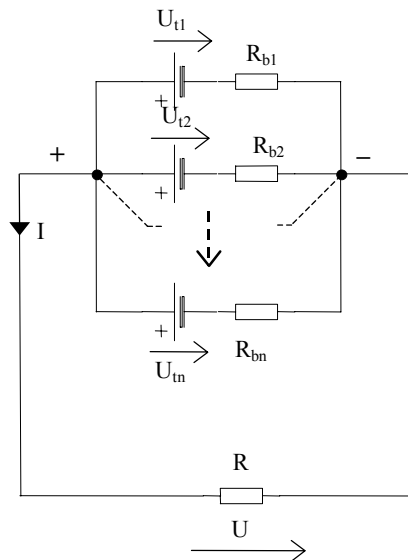
I/1.16. ábra



Energiaforrások párhuzamos kapcsolása

Energiaforrásokat akkor kell párhuzamosan kapcsolni, ha a szükséges áramerősség nagyobb, mint egy energiaforrás megengedett legnagyobb terhelhetősége. Az egyes áramerősségek összeadódnak, ebből kapjuk az eredő áramerősséget. (ΣI).

I/1.17. ábra



Mérőműszerek kapcsolása

Mutatott érték

A régebbi, analóg kijelzésű, több méréstartományú (univerzális) műszereken valamennyi méréstartományra csak egyetlen skála van. Ebből adódik, hogy a *mért érték* (X_m) a *mutatott értékből* (m) és a *skálatényezőből* (c) tevődik össze.

$$X_m = c \cdot m ;$$

Továbbá, a mért mennyiség *helyes értéke* (X_h), eltérhet a mért értéktől (X_m). A mérési értéktől pozitív és negatív irányban megengedett eltérést *hibahatárnak* (h) nevezzük. A százalékos hibahatárok a mérőműszerek *pontosági osztálya* (k) alapján ismerhetők fel. (Pl.: $k=1,5$ esetén a százalékos pontosság $\pm 1,5\%$).

A skálatényezőt (c), a méréstartomány végértékének és a skála végértékének aránya adja meg:

$$c = \frac{m_v}{s} ;$$

A hibahatár:

a.) Analóg mérőműszerre:

$$h = \frac{k \cdot m_v}{100} ;$$

b.) Digitális mérőműszerre:

$$h = \frac{k \cdot X_m}{100} + z ;$$

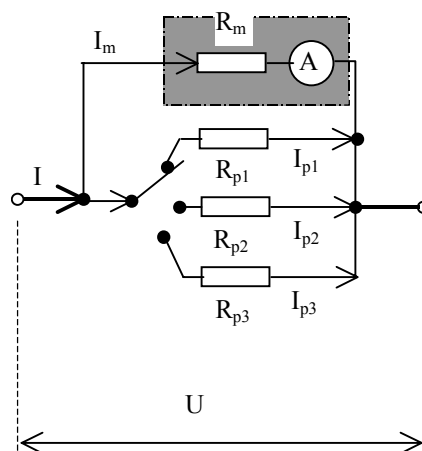
Megj.:

Analóg mérőműszerek esetén ez a százalékos érték mindig a méréstartomány végső értékére (m_v , pl.: $m_v=500[V]$ -ra), digitális mérőműszereknél pedig általában a mutatott értékre, tehát az X_m , mért értékre vonatkozik. Digitális mérőműszerek esetén még az

utolsó helyi érték bizonytalanságát (z), is figyelembe kell venni (pl.: ± 2 számjegy). A gyakorlati példákat lásd, a „*Méréstechnikával kapcsolatos példák*” c. fejezetben.

Az áramerősséget kis ellenállású, sorosan kapcsolt *ampermérővel* mérik. A mérőműszer tehát része az áramkörnek, ezért fontos, hogy a mérőműszer kis fogyasztású legyen. A lengőtekercses árammérő műszer méréshatára az I_p többletáramot a műszertől elvezető, párhuzamos (sönt-) ellenállással bővíthető. (lásd. I/1.18 ábra). A műszer belső ellenállása, $R_m=1,2[\Omega]$.

I/1.18 ábra



Ahol érvényesek a következő képletek:

$$R_p = \frac{U}{I_p}; \quad I_p = I - I_m;$$

$$R_p = \frac{U}{I - I_m}; \quad R_p = \frac{R_m}{n - 1};$$

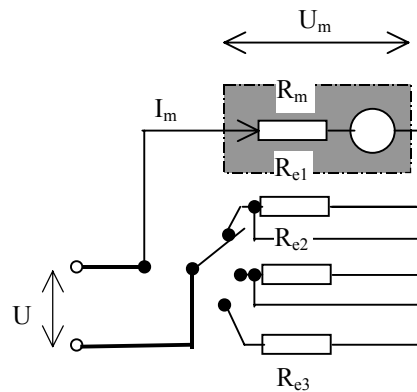
Ahol „ n ” a méréshatár-növelés tényezője.

A feszültséget nagy ellenállású párhuzamosan kapcsolt *voltmérővel* mérik. A lengőtekercses műszerrel működő feszültségmérők méréshatára sorosan kapcsolt előtét ellenállásokkal bővíthető. Az univerzális műszerekben általában a beállított

méréshatártól független, Ω/V egységben kifejezett r_m hányadost (*műszerállandó*) használják, hogy ne kelljen mindegyik mérésstartárhoz az ellenállást megadni. (A három mérésstartományú feszültségmérő belső kapcsolási rajzát lásd a I/1.19 ábrán.). A műszer belső ellenállása, $R_m=20[k\Omega]$.

R_{e1}, \dots, R_{en} , a sorosan kapcsolt belső ellenállások, amin esnek az U_{e1}, \dots, U_{en} előtét feszültségek.

I/1.19 ábra



Érvényesek a következő összefüggések:

$$R_e = \frac{U - U_m}{I_m}; \quad n = \frac{U}{U_m};$$

$$R_e = (n - 1) \cdot R_m;$$

$$r_m = \frac{R_m}{U_m}; \quad r_m = \frac{1}{I_m};$$

Továbbá, a mérendő U feszültségre igaz:

$$U = \sum_{n=1}^{\infty} U_{en} + U_m;$$

Figyelem!

Az r_m műszerállandó, nem összekeverendő az R_m , műszer belső ellenállásával.

* * *

Mintapéldák számolása az egyenáramú részhez

A villamos töltéssel kapcsolatos példák

1.1 Egy akkumulátortelep 160 [Ah] (amperóra) töltést tárol. Határozzuk meg, hogy mekkora ez a töltés As-okban kifejezve, és mennyi ideig tart a kisütés, ha 50[A]-rel megy végbe?

Megoldás:

$$Q = 160 \text{ Ah} = 160 \cdot 3600 = 576 \text{ 000 [As]};$$

$$t = Q / I = 11 \text{ 520 [s]} = 3,2[h] = 3h \text{ 12}' ;$$

* * *

1.2 Hány [As] töltést tárol egy zseblámpaelem, ha 5 [h]-n keresztül 400 [mA]-rel lehet terhelni? (7200[As]).

* * *

Ohm törvénnyel kapcsolatos példák

1.3 Határozzuk meg, hogy egy 1,5 [mm] átmérőjű és 12 [m] hosszú rézhuzalnak mekkora az ellenállása és vezetése, ha a réz fajlagos ellenállása 0,0175 [$\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}$].

Megoldás:

$$A = (d^2 \cdot \pi) / 4 = 1,77 [\text{mm}^2] ;$$

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} = 0,119[\Omega];$$

$$G = 1 / R = 8,4[S];$$

Határozzuk meg, hogy ezen az ellenálláson 2[V] feszültség mekkora áramerősséget eredményez.

$$I = U / R = 16,8 [A];$$

* * *

1.4 Mekkora legyen az ellenállás értéke, hogy egy 220 [V]-os energiaforrás 2,5 [A] áramot hajtson át rajta? Milyen hosszú 0,8 [mm] átmérőjű kábel ($\rho = 1,45 [\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}]$) huzalra van szükségünk az ellenállás elkészítéséhez?

Megoldás:

A szükséges ellenállás:

$$R = U / I = 88 [\Omega];$$

A keresztmetszet:

$$A = (d^2 \cdot \pi) / 4 = 0,503 [\text{mm}^2];$$

A szükséges hossz:

$$l = \frac{R \cdot A}{\rho} = \frac{88 \cdot 0,503}{1,45} = 30,6 [\text{m}];$$

* * *

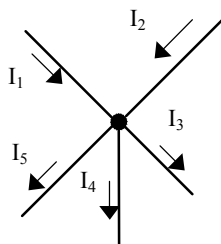
1.5 Egy ellenálláson 110[V] feszültség 5 [A] áramerősséget hajt keresztül. Mekkora az ellenállás értéke, és milyen milyen nagy az ellenállás anyagának fajlagos ellenállása, vagyis miből van az ellenállás, ha a keresztmetszetének átmérője 2 [mm] és hossza 2510 [m]. ($22[\Omega]$, $0,0175 [\Omega \text{ mm}^2 / \text{m}]$, réz).

* * *

A Kirchoff törvényekkel és az eredő ellenállásokkal kapcsolatos példák.

1.6 A I/1.20 ábra jelölései szerint $I_1 = 5[A]$, $I_2 = 4[A]$, $I_3 = 2[A]$, $I_4 = 1[A]$. Mekkora az I_5 áramerősség?

I/1.20. ábra



Megoldás:

A csomóponti törvény értelmében:

$$5 + 4 - 2 - 1 - I_5 = 0 ;$$

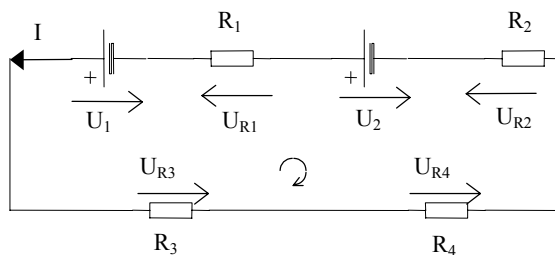
$$I_5 = 6[A] ;$$

* * *

1.7 A II/1.21 ábra jelölései szerint $U_1 = 2[V]$, $U_2 = 8[V]$, $U_{R1} = 1[V]$, $U_{R2} = 1,5[V]$, $U_{R3} = 2[V]$. Mekkora az U_{R4} feszültségesés?

A körüljárási irány legyen az óramutató járásával megegyező.

II/1.21. ábra



Megoldás:

$$\begin{aligned}
 U_1 - U_{R1} + U_2 - U_{R2} - U_{R4} - U_{R3} &= 0 ; \\
 2 - 1 + 8 - 1,5 - U_{R4} - 2 &= 0 ; \\
 U_{R4} &= \mathbf{5,5 [V]} ;
 \end{aligned}$$

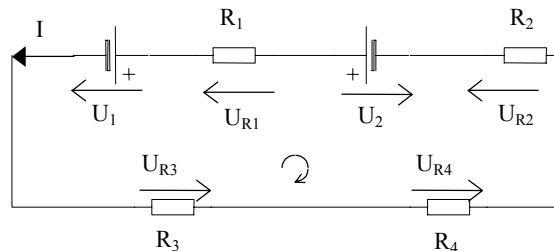
Megj.:

Az eredmény pozitív, tehát az ismeretlen feszültségre felvett feltételezett irány a tényleges iránnyal megegyező.

* * *

1.8 Az 1.7 példában szereplő $U_1=2[V]$ -os energiaforrás kapcsait cseréljük fel (I/1.22. ábra), és határozzuk meg így is az U_{R4} feszültséget.

I/1.22 ábra



Megoldás:

$$\begin{aligned}
 -U_1 - U_{R1} + U_2 - U_{R2} - U_{R4} - U_{R3} &= 0 ; \\
 -2 - 1 + 8 - 1,5 - U_{R4} - 2 &= 0 ; \\
 U_{R4} &= \mathbf{1,5 [V]} ;
 \end{aligned}$$

Megj.:

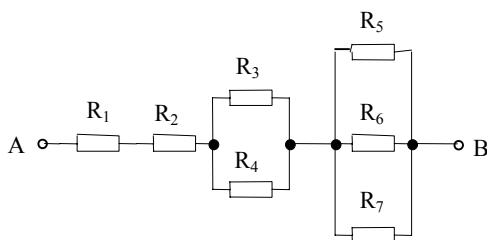
A felvett feltételezett feszültség iránya (U_{R4}), itt is megegyezik a valós U_{R4} feszültség irányával.

* * *

Példák az eredőellenállás kiszámolására

1.9 Számolja ki a I/1.23 ábrán megadott kapcsolás A és B pontjai között lévő eredőellenállás nagyságát. Az egyes ellenállások értékei megegyeznek az ellenállások indexeivel, Pl.: $R_1= 1[\Omega]$, $R_2= 2[\Omega]$, ...etc.

I/1.23. ábra



Megj.:

A példa számolásánál a fokozatos egyszerűsítésre törekszünk. Először kiszámoljuk a párhuzamosan kapcsolt ellenállások eredőjét (R_{34} , R_{567}), majd pedig az így kapott eredőket összegezzük, lásd I/1.24. ábra.

Megoldás:

Gyakorlottabbak számára mindjárt felírható az ábrából a végső eredőellenállás képlete:

$$R_{AB} = R_1 + R_2 + (R_3 \cdot R_4) + (R_5 \cdot R_6 \cdot R_7); \quad (5)$$

Nézzük meg, hogy hogyan is jutottunk el ehhez a képlethez.

Az ábrán az ellenállásokat feloszthatjuk sorosan és párhuzamosan kapcsolt ellenállások csoportjaira. Így kapjuk a részleges eredő ellenállásokat:

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 3[\Omega];$$

$$R_{34} = R_3 \cdot R_4 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} = \frac{12}{7}[\Omega];$$

$$R_{567} = R_5 \cdot R_6 \cdot R_7 = \frac{R_5 \cdot R_6 \cdot R_7}{R_5 \cdot R_6 + R_5 \cdot R_7 + R_6 \cdot R_7} = \frac{210}{107}[\Omega];$$

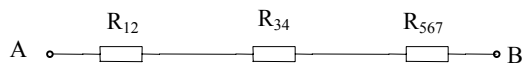
Ha berajzoljuk ezeket a részleges eredő ellenállásokat az eredeti ábránkba, kapjuk a sokkal egyszerűbb II/1.24. ábrát, ahonnét az R_{AB} eredőellenállás nagysága már a soros kapcsolás alapján nyilvánvaló:

$$R_{AB} = R_{12} + R_{34} + R_{567};$$

$$R_{AB} \cong 6,677[\Omega];$$

ami megfelel az (5) egyenletnek is.

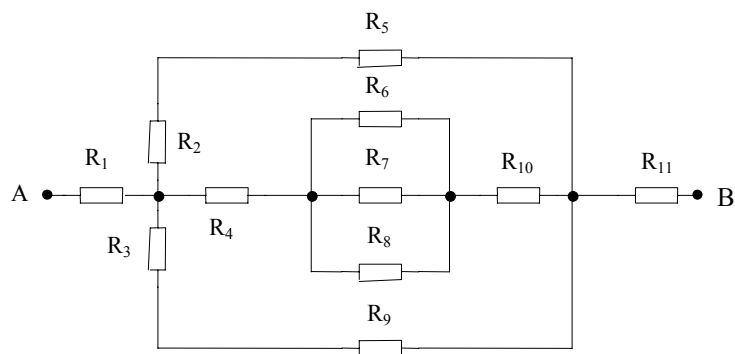
I/1.24. ábra



* * *

1.10 Számoljuk ki az A és B pontok között lévő eredőellenállás nagyságát az adott kapcsolási rajz (lásd I/1.25. ábra), alapján. Az ellenállások értékei megegyeznek az ellenállások indexszelivel.

I/1.25. ábra

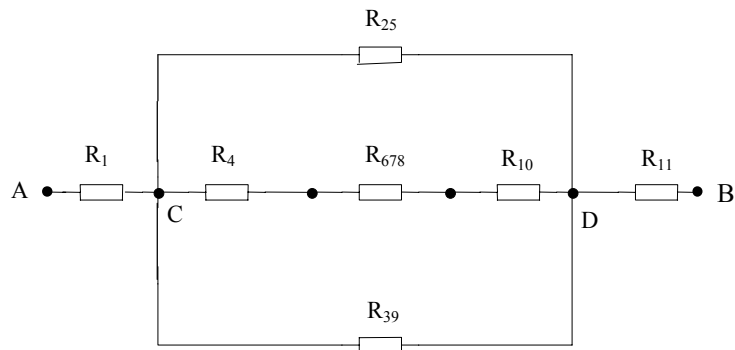


Megoldás:

$$R_{AB} = R_1 + \{(R_2 + R_5) \times [R_4 + (R_6 \times R_7 \times R_8) + R_{10}] \times (R_3 + R_9)\} + R_{11} \\ [15,47 \Omega];$$

A fokozatos egyszerűítéssel kapott képletek és ábrák:

I/1.26.ábra



$$R_{AB} = R_1 + [R_{25} \times (R_4 + R_{678} + R_{10}) \times R_{39}] + R_{11};$$

$$\begin{aligned} R_{25} &= R_2 + R_5; \\ R_{678} &= R_6 \times R_7 \times R_8; \\ R_{39} &= R_3 + R_9; \end{aligned}$$

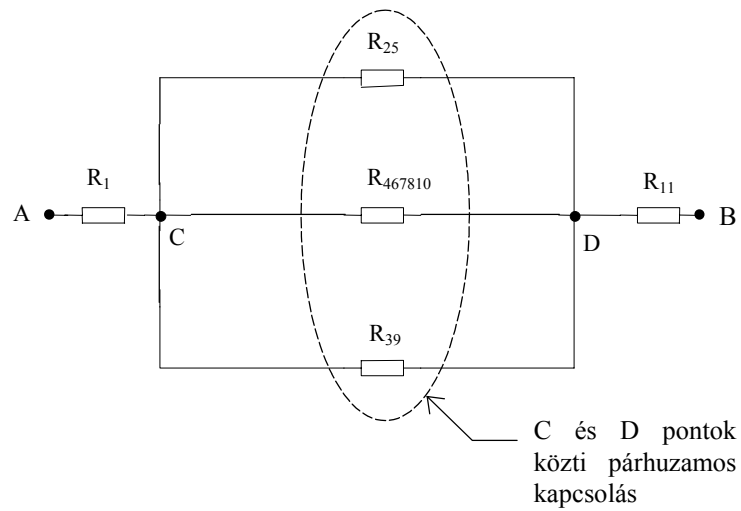
Az egyszerűsítésnél mindig a csomópontok közti ellenállásokat vonjuk össze. Tehát a C és D csomópontok között sorosan találjuk az R_4 , R_{678} , R_{10} ellenállásokat. Ezeket összeadva kapjuk a I/1.27. ábrát. Majd a párhuzamosan kapcsolt ellenállások eredőjének kiszámolásával a kapcsolásunk három sorosan kapcsolt ellenállásra csökken, aminek az eredője már egyértelműen adja az R_{AB} ellenállást.

$$R_{AB} = R_1 + R_{CD} + R_{11};$$

Ahol

$$R_{CD} = R_{25} \times (R_4 + R_{678} + R_{10}) \times R_{39};$$

I/1.27.ábra



* * *

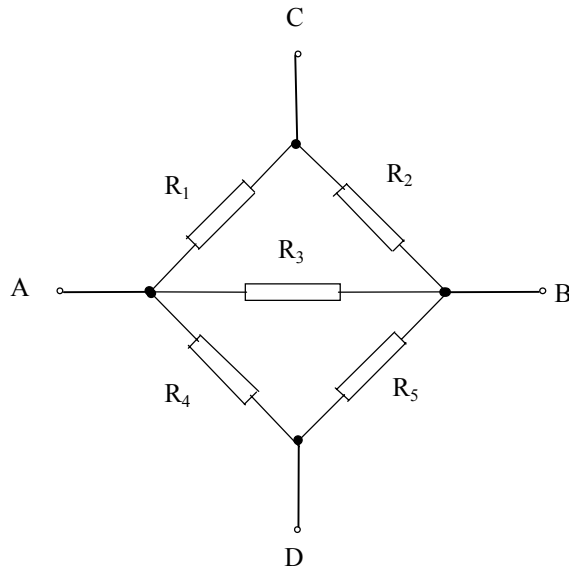
Eredőellenállások számolása híd-kapcsolású áramköröknél

Megj.:

Figyeljük meg a következő két példa közti különbséget!

1.11 Számoljuk ki az A és B pontok között lévő eredőellenállás nagyságát az adott kapcsolási rajz (lásd: I/1.28 ábra), alapján. Az ellenállások értékei megegyeznek az ellenállások indexszelével.

I/1.28. ábra



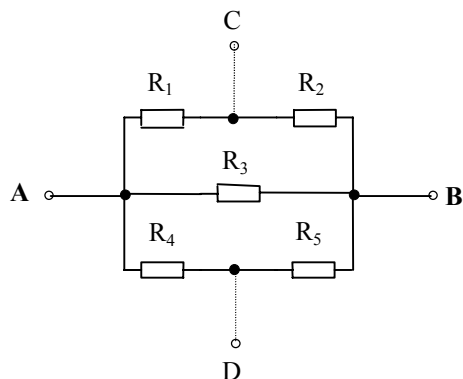
Megoldás:

Az ábrából láthatjuk, hogy amennyiben az **A** és **B** pontok között lévő ellenállások eredőjének (R_{AB}) nagyságát keressük, (takarjuk le a **C** és **D** vezetékeket) nincs nehéz feladatunk, ugyanis felismerhető, hogy az ellenállások vegyes kapcsolást alkotnak. Vagyis:

$$\begin{array}{ll}
 R_1 \text{ sorosan } R_2 = R_{12} & (R_{12}=R_1+R_2); \\
 R_4 \text{ sorosan } R_5 = R_{45} & (R_{45}=R_4+R_5); \\
 R_3 \text{ párhuzamosan } R_{12} \text{ és } R_{45} & (R_{AB}=R_3 \times R_{12} \times R_{45});
 \end{array}$$

Ezekből már felírható az alapképlet, ami alapján az eredőellenállás könnyen kiszámolható. A jobb érthetőség kedvéért az ábra átrajzolható a következő alakba. (lásd I/1.29.ábra)

I/1.29. ábra



Ezek után:

$$R_{12} = R_1 + R_2 = 3[\Omega];$$

$$R_{45} = R_4 + R_5 = 9[\Omega];$$

$$R_{AB} = R_{12} \times R_3 \times R_{45} = \frac{R_{12} \cdot R_3 \cdot R_{45}}{R_{12} \cdot R_3 + R_{12} \cdot R_{45} + R_3 \cdot R_{45}} = \frac{81}{63} [\Omega];$$

* * *

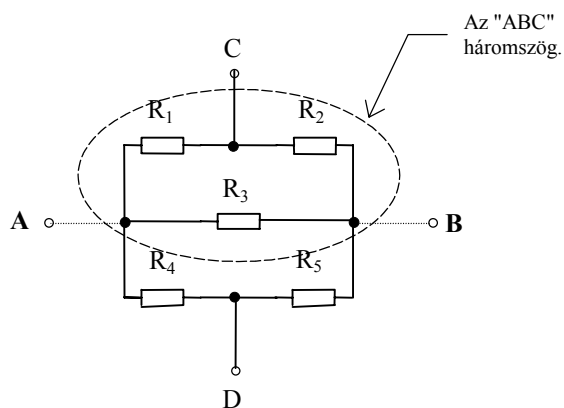
1.12 Az 1.11 példában megadott I/1.28. ábra alapján számoljuk ki a C és D pontok közötti ellenállások R_{CD} eredőjének nagyságát. Az ellenállások értékei megegyeznek az ellenállások indexszelivel.

Megoldás:

*Ebben az esetben, a jobb érthetőség kedvéért, az A és B vezetőket takarjuk le. Ekkor azonban látjuk, hogy az ellenállások a C és D pontok között úgy vannak kapcsolva, hogy ún. **hidat** alkotnak. Ezt kell nekünk valahogy úgy átalakítani, hogy valamilyen vegyes kapcsolású rendszert kapjunk.*

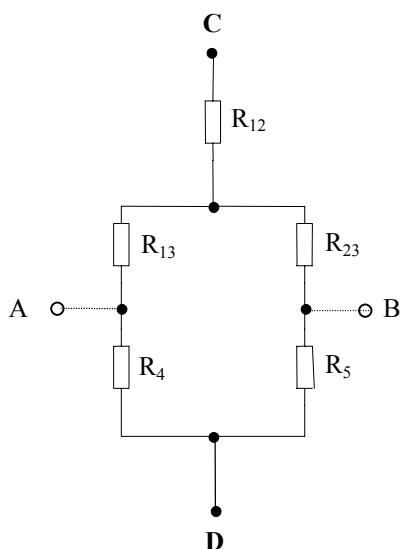
Ha figyelmesen megnézzük a II/1.28 ábrát, két háromszöget (delta-kapcsolás) fedezhetünk fel rajta, az ABC és az ABD háromszögeket. Ezekből, ha bármelyiket átalakítjuk csillaggá, egy vegyes kapcsolású rendszert kapunk. (Lásd I/1.30, I/1.31. ábra.)

I/1.30.ábra



A I/1.28. ábra értelmezése az 1.12 példára
(ez az ábra csak vízszintes és függő leges vonalakat használ.)

I/1.31 ábra



Az "ABC" háromszög csillaggá alakítva.

*A vegyes kapcsolású rendszerben viszont a transzformációs képletek segítségével, (lásd - Ellenállások híd-kapcsolása: **delta-csillag** átalakítás) ki kell számolnunk az R_{12} , R_{23} , R_{13} ellenállások értékeit. Ezek után a feladatunk már triviálissá válik.*

$$R_{CD} = R_{12} + [(R_{13} + R_4) \times (R_{23} + R_5)];$$

$$R_{12} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{2}{6} = 0,333[\Omega];$$

$$R_{13} = \frac{R_1 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{3}{6} = 0,5[\Omega];$$

$$R_{23} = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{6}{6} = 1[\Omega];$$

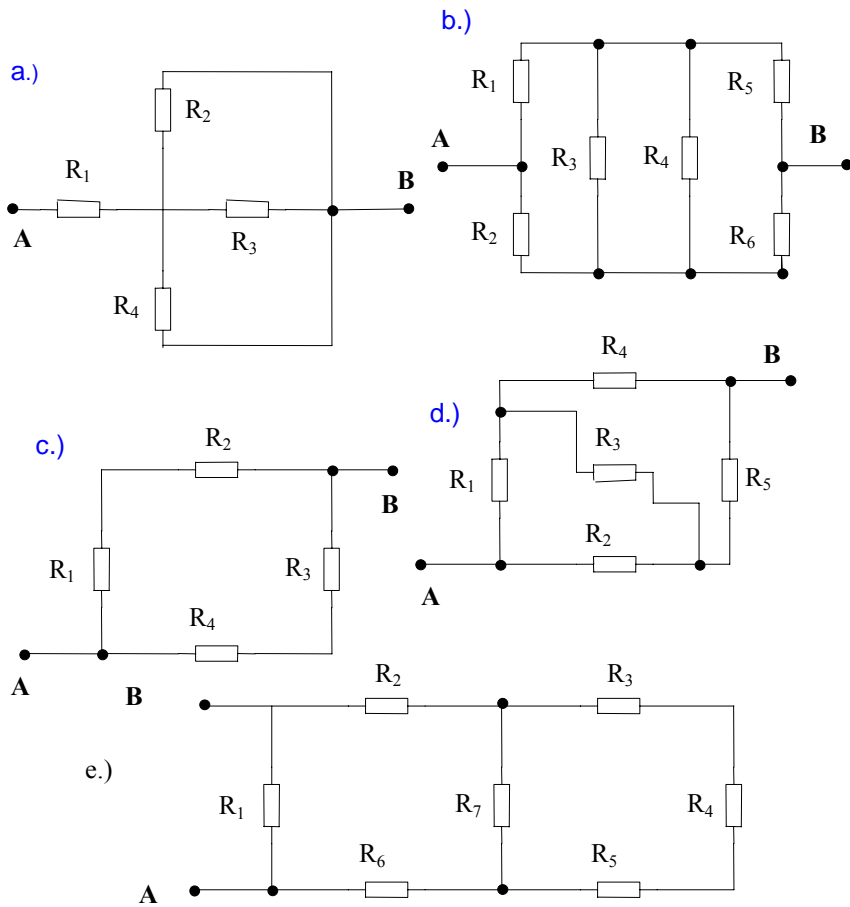
$$R_{CD} = R_{12} + \frac{(R_{13} + R_4) \cdot (R_{23} + R_5)}{(R_{13} + R_4) + (R_{23} + R_5)} = \frac{1}{3} + \frac{4,5 \cdot 6}{4,5 + 6} \cong 2,904[\Omega];$$

* * *

További példák az eredőellenállás kiszámolásának gyakorlására

1.13 Számolja ki a megadott ábrán (I/1.32) lévő kapcsolások R_{AB} eredő ellenállásait! Az ellenállások értékei megegyeznek az ellenállások indexszeivel.

I/1.32. ábra



Útmutató a példák megoldásához:

- a.) $R_{AB} = R_1 + (R_2 \times R_3 \times R_4)$;
 b.) R_1, R_2, R_3 és R_4, R_5, R_6 háromszögeket csillaggá alakítani.
 c.) $R_{AB} = [(R_1 + R_2) \times (R_3 + R_4)]$;
 d.) R_1, R_2, R_3 vagy R_3, R_4, R_5 háromszögeket csillaggá alakítani.
 e.) R_3, R_4, R_5 sorosan $\Rightarrow R_{345}$,
 $R_7 // R_{345} \Rightarrow R_{3457}$,
párhuzamos kapcsolat jelölése,
 R_2, R_{3457}, R_6 sorosan $\Rightarrow R_{234567}$,
ami egyenértékű a x jelöléssel, lásd példa.
 $R_1 // R_{234567} \Rightarrow R_{AB}$;

Megj.: // -
 ami egyenértékű a x

* * *

Néhány alapmetódus az egyenáramú példák megoldásával kapcsolatban

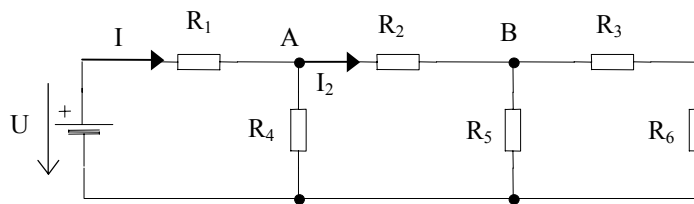
Eredőellenállás segítségével való számolás

Általában akkor használatos, ha a rendszerben az ellenállás kapcsolásunk aránylag bonyolult és mi csak a rendszer egy bizonyos ágában folyó áramra vagyunk kíváncsiak. Ekkor az ellenállásokat egy, vagy két eredő ellenállásra redukálhatjuk.

1.14 A megadott I/1.33. ábra alapján számolja ki az egyenáramú táp által kibocsátott I áram nagyságát!

Megadott adatok: $U=24[V]$, $R_1=12[\Omega]$, $R_2=13[\Omega]$, $R_3=14[\Omega]$, $R_4=16[\Omega]$, $R_5=17[\Omega]$, $R_6=18[\Omega]$.

I/1.33. ábra



Megoldás:

Az ellenállás hálózatot helyettesíthetjük egy eredő ellenállással (R_e), ezután a feladatunk is már triviálissá válik. Lásd I/1.34. ábra. Az eredőellenállás számolásánál az egyszerűsítés útján az egyenáramú táptól legtávolabb eső ellenállással indulunk el, majd fokozatosan haladunk a táp felé. Mindig a csomópontok között lévő ellenállások egymáshoz való viszonyát figyelembe véve számolunk.

$$R_{36} = R_3 + R_6 = 32[\Omega];$$

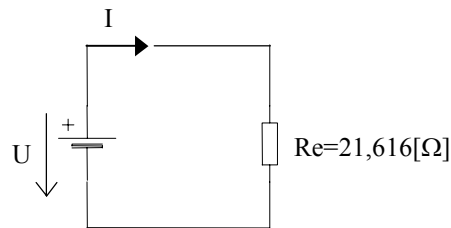
$$R_{536} = R_5 // R_{36} = \frac{R_5 \cdot R_{36}}{R_5 + R_{36}} = \frac{17 \cdot 32}{17 + 32} \cong 11,102[\Omega];$$

$$R_{2356} = R_2 + R_{356} = 13 + 11,102 \cong 24,102[\Omega];$$

$$R_{23456} = R_4 // R_{2356} = \frac{R_4 \cdot R_{2356}}{R_4 + R_{2356}} = \frac{16 \cdot 24,102}{16 + 24,102} \cong 9,616[\Omega];$$

$$R_e = R_1 + R_{23456} \cong 21,616[\Omega];$$

I/1.34. ábra



$$I = \frac{U}{R_e} = \frac{24}{21,616} = 1,110[A];$$

* * *

Kirchoff törvények alkalmazása

1.15 Az 1.14 példában megadott adatok és I/1.33. ábra alapján számoljuk ki az I_2 áram nagyságát!

Megoldás:

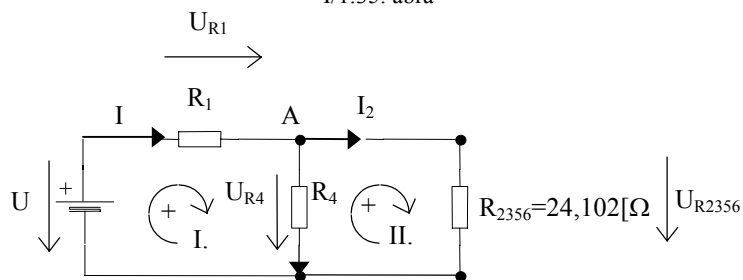
Kiszámoljuk az R_{2356} részleges eredő ellenállást, így az ábránk merőben leegyszerűsödik, (lásd I/1.35.ábra) majd alkalmazzuk a Kirchoff törvényeket.

$$R_{36} = R_3 + R_6 = 32[\Omega];$$

$$R_{536} = R_5 // R_{36} = \frac{R_5 \cdot R_{36}}{R_5 + R_{36}} = \frac{17 \cdot 32}{17 + 32} \cong 11,102[\Omega];$$

$$R_{2356} = R_2 + R_{356} = 13 + 11,102 \cong 24,102[\Omega];$$

I/1.35. ábra



A I/1.35. ábrán láthatunk két hurkot, amit római számokkal jelöltünk (**I.**, **II.**), a két huroknak megadtuk az értelmezését (+), továbbá megjelöltünk egy csomópontot is (**A**). Mindegyik hurokra és a csomóponttra is fel tudunk írni egy-egy egyenletet, így a három egyenletből ki tudjuk számolni az összes szükséges adatunkat.

$$\begin{array}{lll}
 1.) (A) & I - I_2 - I_4 = 0; & (1.) \\
 2.) (I.) & -U + U_{R1} + U_{R4} = 0; & (2.) \\
 3.) (II.) & U_{R2356} - U_{R4} = 0; & (3.)
 \end{array}$$

Az U_{R1} , U_{R4} , U_{R2356} a megfelelő ellenállásokon eső feszültségek, kifejezhetőek az Ohm törvény értelmében a rajtuk keresztül folyó áramok segítségével.

$$U_{R1} = I \cdot R_1; \quad (4.)$$

$$U_{R4} = I_4 \cdot R_4; \quad (5.)$$

$$U_{R2356} = I_2 \cdot R_{2356}; \quad (6.)$$

A 4, 5, 6 egyenleteket visszahelyettesítve az 1, 2, 3 -ba egy egyenletrendszert kapunk három ismeretlennel, aminek többféle matematikai megoldását is ismerjük.

$$\begin{array}{l}
 I - I_2 - I_4 = 0; \\
 -24 + I \cdot R_1 + I_4 \cdot R_4 = 0; \\
 I_2 \cdot R_{2356} - I_4 \cdot R_4 = 0;
 \end{array}$$

Ezeből:

$$I \cong 1,110 [A];$$

$$I_2 \cong 0,443 [A];$$

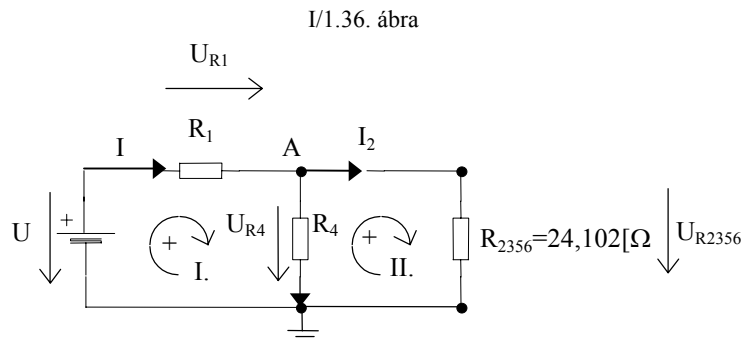
$$I_4 \cong 0,667 [A];$$

(Megj.:

mivel az áramok pozitív előjellel jöttek ki a számolás alapján, ez azt jelzi, hogy a feltételezett áramirányok megegyeznek a valós áramirányokkal.)

* * *

1.16 A megadott adatok és a I/1.36 ábra alapján számoljuk ki az A csomópontban lévő feszültség nagyságát a nulla (föld) feszültséghez képest. Az adatok: $U=24[V]$, $R_1=12[\Omega]$, $R_4=16[\Omega]$, $R_{2356}=24,102[\Omega]$.



Megoldás:

Kiszámoljuk az I-áram nagyságát az előzőekben tanult módszerek valamelyikével (eredőellenállás, Kirchoff törvények), majd az Ohm törvény segítségével kiszámoljuk, hogy ez az áram (I) mekkora feszültségesést hoz létre az R_1 ellenálláson (U_{R1}). Végül az A pontban lévő feszültséget megkapjuk, ha a tápfeszültségből (U) kivonjuk a kapott U_{R1} feszültséget.

Az előző példa alapján $I=1,1102[A]$;

$$U_{R1} = I \cdot R_1 = 13,322[V];$$

$$U_A = U - U_{R1} = 10,677[V];$$

* * *

1.17 Az 1.16 példához hasonlóan, az 1.14 példa adataival és a I/1.33 ábra alapján számolja ki a B pontban lévő feszültséget ($U_B=?$).

* * *

Maxwell ciklusok segítségével való számolás

A módszert Maxwell (1831-1879) dolgozta ki, innét az elnevezés. Itt ún. hurokáramokkal (I_{S1}, I_{S2}, \dots) számolunk. Ezeket a hurokáramokat választjuk ismeretlennek, így az egyenletrendszerünk leeredukálódik, vagyis kevesebb egyenlettel dolgozhatunk, mint a Kirchoff törvények egyenes alkalmazásánál. Ebből adódik, hogy általában bonyolultabb áramkörök számolásánál alkalmazzuk ezt a módszert.

A módszer megértése érdekében figyeljük meg a következő példát, egyelőre adatok nélkül.

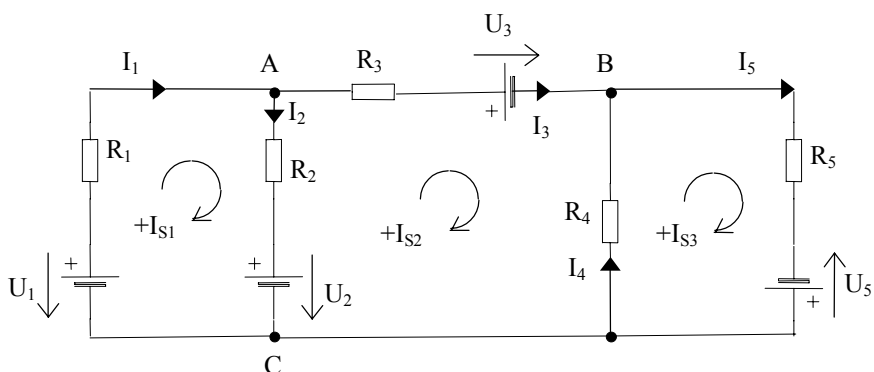
1.18 Fejezze ki az egyes ágakban folyó áramokat a Maxwell-ciklusos módszer segítségével! Lásd I/1.37. ábra.

Megj.:

Az ábrán találunk három csomópontot: **A**, **B**, **C**.

A hurokáramok pozitív értelmezése is adott. ($+I_{S1}, +I_{S2}, +I_{S3}$).

I/1.37 ábra



Megoldás:

1. Ha a feladatot a Kirchoff törvények egyenes alkalmazásával szeretnénk megoldani, akkor a három hurokra és a két csomópontra felírhatnánk összesen öt egyenletet. Vagyis öt egyenletből álló egyenletrendszert kellene megoldanunk.

2. A Maxwell ciklusok alkalmazásával a megoldás három egyenletből álló egyenletrendszerre redukálódik:

$$(R_1+R_2) \cdot I_{S1} - R_2 \cdot I_{S2} + U_2 - U_1 = 0 ; \quad (1)$$

$$(R_2+R_3+R_4) \cdot I_{S2} - R_2 \cdot I_{S1} - R_4 \cdot I_{S3} + U_3 - U_2 = 0 \quad (2)$$

$$(R_4+R_5) \cdot I_{S3} - R_4 \cdot I_{S2} - U_5 = 0 ; \quad (3)$$

Láthatjuk, hogy a hurokáramokat a huroktörvény értelmében használjuk. Két hurokáram találkozásánál figyelembe vesszük egymáshoz képest lévő irányukat, lásd (1): $-R_2 \cdot I_{S2}$ tag.

Rendezve (mátrixos alakra előkészítve) az egyenletrendszert a következő alakot kapjuk:

$$\begin{array}{rcl} (R_1+R_2) \cdot I_{S1} & - R_2 \cdot I_{S2} & = U_1 - U_2 ; \\ - R_2 \cdot I_{S1} + & (R_2+R_3+R_4) \cdot I_{S2} - & R_4 \cdot I_{S3} & = U_2 - U_3 ; \\ & - R_4 \cdot I_{S2} + & (R_4+R_5) \cdot I_{S3} & = U_5 ; \end{array}$$

A feladat innét már matematikai feladattá redukálódik. Az ismeretlenjeink az I_{S1} , I_{S2} , I_{S3} , amik valójában csak képzetes áramok. Ezekből a valódi áramokat - az ábra alapján - a következőképpen kapjuk:

$$\begin{array}{l} \mathbf{I}_1 \equiv I_{S1} , \quad \mathbf{I}_3 \equiv I_{S2} , \quad \mathbf{I}_5 \equiv I_{S3} , \\ \mathbf{I}_2 = I_{S1} - I_{S2} , \quad \mathbf{I}_4 = I_{S3} - I_{S2} , \end{array}$$

Az egyenletrendszerek megoldásának egyik leggyakoribb matematikai módszere a rendszer mátrixba történő felírása, majd ennek megoldása. A mi esetünkben az egyenletek mátrixos alakja:

$$\begin{array}{ccc} R_1+R_2 & -R_2 & 0 \\ -R_2 & R_2+R_3+R_4 & -R_4 \\ 0 & -R_4 & R_4+R_5 \end{array} \cdot \begin{array}{c} I_{S1} \\ I_{S2} \\ I_{S3} \end{array} = \begin{array}{c} U_1 - U_2; \\ U_2 - U_3; \\ U_5; \end{array}$$

Vagyis általánosan írható:

$$\underline{\mathbf{R}}_S \cdot \underline{\mathbf{I}}_S = \underline{\mathbf{U}}_S;$$

Ahonnét az ismeretlenek:

$$\underline{\mathbf{I}}_S = \underline{\mathbf{R}}_S^{-1} \cdot \underline{\mathbf{U}}_S;$$

* * *

1.19 Az 1.18 példát számolja ki a következő adatokkal, és ellenőrizze a feltételezett áramirányok helyességét!

Adatok: $U_1=24[\text{V}]$, $U_2=12[\text{V}]$, $U_3=9[\text{V}]$, $U_5=6[\text{V}]$;
 $R_1=11[\Omega]$, $R_2=12[\Omega]$, $R_3=13[\Omega]$, $R_4=14[\Omega]$, $R_5=15[\Omega]$;

Feladat: $I_1=?$, $I_2=?$, $I_3=?$, $I_4=?$, $I_5=?$

* * *

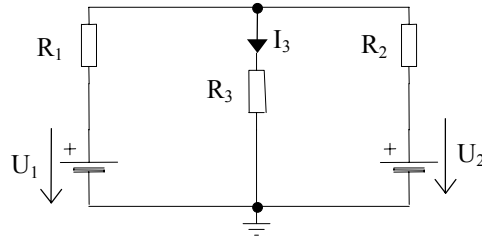
A szuperpozíció elv

Általában több tápfeszültséggel ellátott lineáris (egyenáramú) áramköröknél alkalmazzák. A számolás szóbeli definíciója a következőképpen hangozhatna:

A több tápfeszültséggel táplált lineáris áramkör áramai adottak az egyes önálló tápok által adott részleges áramok összegeivel. Ezeket a részleges áramokat megkapjuk, ha az áramkört megoldjuk külön-külön mindegyik tápra egyenként, míg a többi, "nem aktuális" tápokot rövidre zárjuk. (Kiválasztjuk az első tápot a többit egy sima vezetékkel helyettesítjük, és kiszámoljuk az áramkör áramait -vagy csak azt amelyik ágban folyó áramra kíváncsiak vagyunk-, megkapjuk az első részleges áramot. Ezek után ezt megismételjük a második, harmadik, ..., tápokkal, így kapjuk a második, harmadik, ..., részleges áramokat. Végül ezeket a részleges áramokat összeadjuk, ebből kapjuk az adott ágban folyó valós áramot.) Lásd 1.20 példa.

1.20 Fejezzük ki a I/1.38. ábrán megadott kapcsolás alapján a középső ágban folyó áramot ($I_3=?$) a szuperpozíció elv alapján.

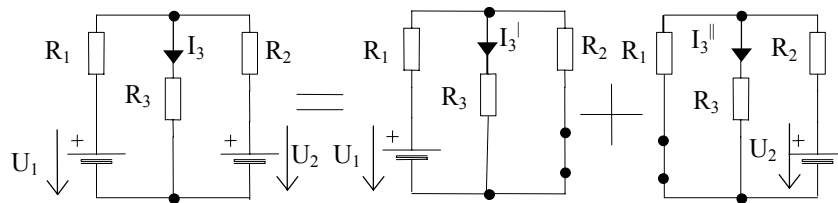
I/1.38 ábra



Megoldás:

Az előzőekben megfogalmazott definíció alapján az ábrát a következőképpen is megrajzolhatjuk. Lásd I/1.39. ábra.

I/1.39. ábra



$I_3^{|}$ az U_1 táppal számított részleges áram:

$$I_3^{|} = \frac{U_1 \cdot R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3};$$

$I_3^{||}$ az U_2 táppal számított részleges áram:

$$I_3^{||} = \frac{U_2 \cdot R_1}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3};$$

Legyen:

$$D = R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 ;$$

Ekkor a végleges I_3 áramot megkapjuk:

$$I_3 = I_3^I + I_3^{II} = U_1 \cdot \frac{R_2}{D} + U_2 \cdot \frac{R_1}{D} ;$$

* * *

1.21 Az 1.20 példa és a I/38. ábra alapján számolja ki az I_3 áramot a szuperpozíció elv alapján a következő adatokkal: $U_1=9[V]$, $U_2=6[V]$, $R_1=15[K\Omega]$, $R_2=20[K\Omega]$, $R_3=18[K\Omega]$.

* * *

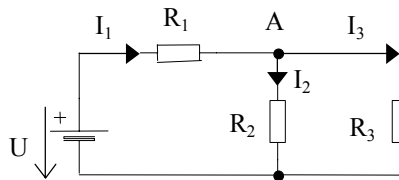
Egyéb gyakorlásra szolgáló példák

1.22 Számoljuk ki a I/1.40. ábrával megadott áramkörben folyó áramok nagyságát.

Adatok: $U=120[V]$, $R_1=3[\Omega]$, $R_2=4[\Omega]$, $R_3=5[\Omega]$.

- Mekkora az áramkör teljesítménye?
- Számoljuk ki a feladatot a Kirchoff törvények alkalmazásával.
- Számoljuk ki a feladatot a Maxwell-ciklusok segítségével.

I/1.40. ábra



Megoldás:

a.) Az ábrából látható, hogy az ellenállásaink egyszerű vegyes kapcsolást alkotnak. Ebből az egyes ágakban folyó áramokra levezethetők a következő egyenlőségek:

$$I_1 = U \cdot \frac{R_2 + R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} = \frac{120 \cdot (4 + 5)}{3 \cdot 4 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 5} = 22,98 [A];$$

$$I_2 = U \cdot \frac{R_3}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} = \frac{120 \cdot 5}{3 \cdot 4 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 5} = 12,77 [A];$$

$$I_3 = U \cdot \frac{R_2}{R_1 \cdot R_2 + R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3} = \frac{120 \cdot 4}{3 \cdot 4 + 3 \cdot 5 + 4 \cdot 5} = 10,21 [A]$$

A teljesítményre érvényes:

$$P = U \cdot I_1 = R_1 \cdot I_1^2 + R_2 \cdot I_2^2 + R_3 \cdot I_3^2 = 2\,757,6 [W];$$

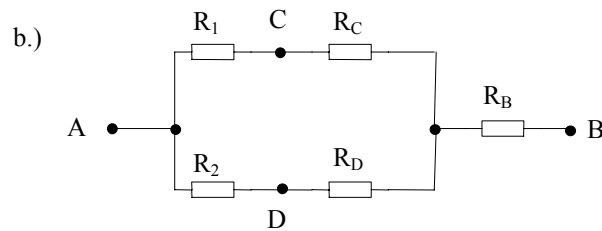
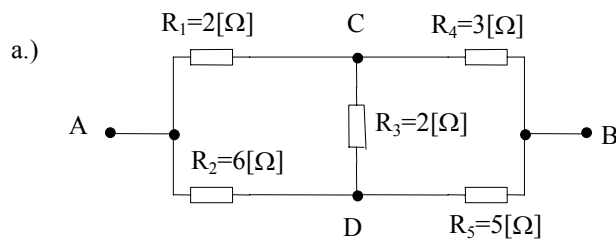
Megj.:

a b.) és c.) esetekben a teljesítményekkel nem kell számolnunk.

* * *

1.23 Számoljuk ki a I/1.41a ábrán megadott kapcsolás R_{AB} eredő ellenállását!

I/1.41. ábra



Megoldás:

A "BCD" háromszöget csillaggá alakítjuk, lásd I/1.41b. ábra, majd a konverziós képletek segítségével kiszámoljuk az R_B , R_C , R_D ellenállások értékeit. Utána az eredőellenállás nagyságát szintén a 38-b. ábra alapján írjuk fel.

$$R_C = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{2 \cdot 3}{2 + 3 + 5} = 0,6[\Omega];$$

$$R_B = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{3 \cdot 5}{2 + 3 + 5} = 1,5[\Omega];$$

$$R_D = \frac{R_3 \cdot R_5}{R_3 + R_4 + R_5} = \frac{2 \cdot 5}{2 + 3 + 5} = 1[\Omega];$$

És az eredőellenállás:

$$R_{AB} = \frac{(R_1 + R_C) \cdot (R_2 + R_D)}{R_1 + R_C + R_2 + R_D} + R_B = 3,396[\Omega];$$

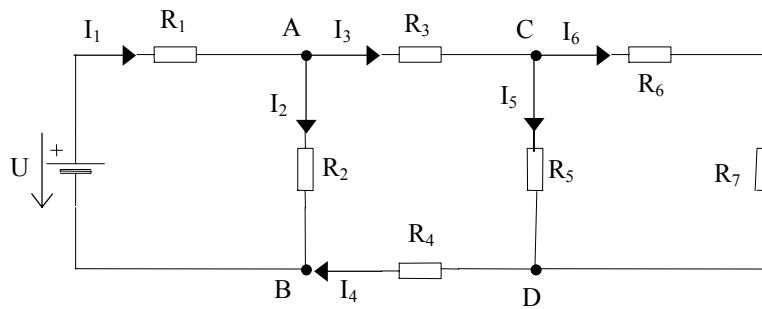
* * *

1.24 Számoljuk ki a I/1.42 ábrán megadott áramkör áramait a következő adatok segítségével : $U=10[V]$,
 $R_1=10[\Omega]$, $R_2=24[\Omega]$, $R_3=6[\Omega]$, $R_4=6[\Omega]$, $R_5=40[\Omega]$, $R_6=40[\Omega]$,
 $R_7=20[\Omega]$.
**($I_1=0,4098[A]$, $I_2=0,2459[A]$, $I_3=I_4 = 0,1639[A]$, $I_5=0,0983[A]$,
 $I_6=0,0655[A]$).**

(Megj.:

Az áramok indexszei megegyeznek az egyes ellenállások indexszeivel.)

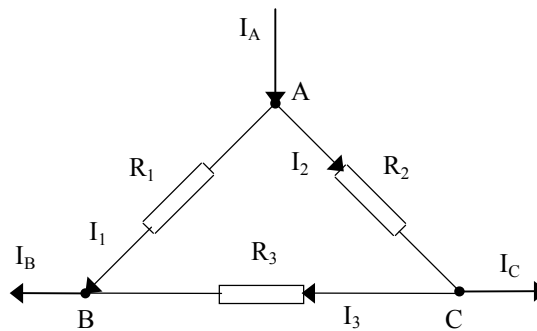
I/1.42. ábra



* * *

1.25 Állapítsa meg az I_C és az I_1, I_2, I_3 áramok nagyságát az adott ellenállás háromszögben a következő adatokkal : $I_A=2[A]$, $I_B=1[A]$, $R_1=350[\Omega]$, $R_2=175[\Omega]$, $R_3=700[\Omega]$. Lásd I/1.43. ábra.

I/1.43. ábra



Megoldás:

Senkit ne tévesszen meg, hogy az ellenállások háromszögbe vannak kapcsolva. Most nem eredő ellenállást, hanem áramokat számolunk, és ezt a Kirchoff törvények alapján valósítjuk meg.

Az I_C áramot a csomóponti törvény alapján ki tudjuk számolni:

$$I_A - I_B - I_C = 0 ;$$

$$I_C = I_A - I_B = 1[A] ;$$

A továbbiakban az egyetlen hurokra felírjuk a huroktörvényt:

$$R_1 \cdot I_1 - R_3 \cdot I_3 - R_2 \cdot I_2 = 0 ;$$

Az I_2 és I_3 áramokat kifejezzük az I_A , I_B , és I_1 segítségével, és így egyismeretlenes egyenletet kapunk.

$$\begin{aligned} I_3 &= I_B - I_1 ; \\ I_2 &= I_A - I_1 ; \\ R_1 \cdot I_1 - R_3 \cdot (I_B - I_1) - R_2 \cdot (I_A - I_1) &= 0 ; \end{aligned}$$

$$I_1 = \frac{R_3 \cdot I_B + R_2 \cdot I_A}{R_1 + R_2 + R_3} = \frac{700 \cdot 1 + 175 \cdot 2}{350 + 175 + 700} = 0,8571[A];$$

$$I_2 = I_A - I_1 = 1,1429[A];$$

$$I_3 = I_B - I_1 = 0,1429[A];$$

Megj.:

Számolhatunk úgy is, hogy a háromszöget átranszformáljuk csillaggá, (kapunk R_A , R_B , R_C ellenállásokat, amiknek az értékeit ki kell számolnunk). Kiszámoljuk az egyes végpontok közti feszültségeket (U_{AC} , U_{CB} , U_{AB}), majd ezekből kiszámoljuk az I_1 , I_2 , I_3 áramokat. Ez a módszer számolásigényesebb!

b.) Ellenőrizzük le az I_1 , I_2 , I_3 áramok helyességét csillag módszerrel!

* * *

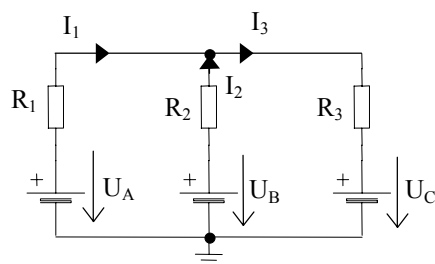
1.26 A I/1.44. ábra és a megadott adatok alapján számoljuk ki az egyes ágakban folyó áramok nagyságát,

- a Kirchoff törvények segítségével
- a Maxwell-ciklusok segítségével
- a szuperpozíció elv alapján.

Adatok: $U_A=10[V]$, $U_B=8[V]$, $U_C=4[V]$, $R_1=6[\Omega]$, $R_2=4[\Omega]$, $R_3=2[\Omega]$.

($I_1=0,6364[A]$, $I_2=0,4545[A]$, $I_3=1,091[A]$).

I/1.44. ábra



* * *

1.27 A I/1.45a. ábrán megadott kapcsolásban számolja ki az egyes tápok által kibocsátott áramok nagyságát! ($I_1=?$, $I_2=?$, $I_3=?$).

Megadott adatok: $U_A=18[V]$, $U_B=10[V]$, $U_C=30[V]$, $R_1=3[\Omega]$, $R_2=R_4=R_5=4[\Omega]$, $R_3=R_6=8[\Omega]$.

Megoldás:

Mivel az R_4 , R_5 , R_6 ellenállásokkal alkotott háromszögben lévő áramok minket nem érdekelnek, - csak a tápok által kibocsátott áramokra vagyunk kíváncsiak-, ezért e három ellenállás által alkotott háromszög-kapcsolást átalakítjuk csillaggá. (Lásd: I/1.45b. ábra).

Továbbá a feladatunkat megoldjuk,

- a.) Maxwell-ciklusok segítségével
- b.) Kirchoff törvények segítségével.

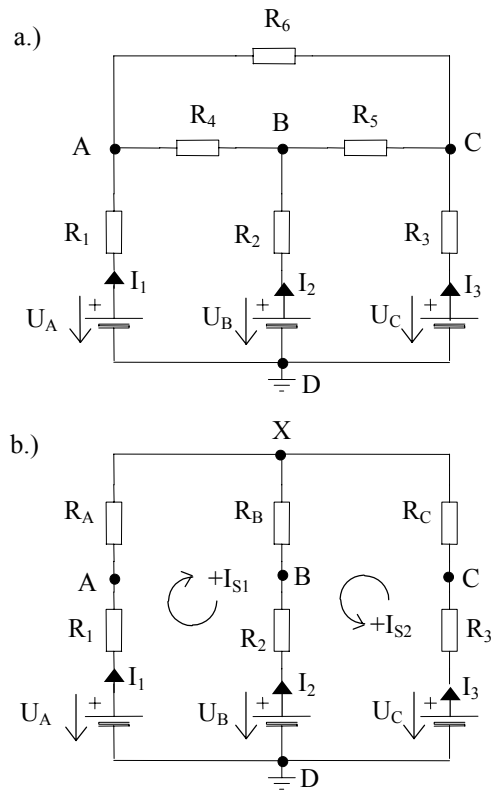
Mindezek előtt viszont ki kell számolnunk az R_A , R_B , R_C ellenállások értékeit.

$$R_A = \frac{R_4 \cdot R_6}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{4 \cdot 8}{4 + 4 + 8} = 2[\Omega];$$

$$R_B = \frac{R_4 \cdot R_5}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{4 \cdot 4}{4 + 4 + 8} = 1[\Omega];$$

$$R_C = \frac{R_5 \cdot R_6}{R_4 + R_5 + R_6} = \frac{4 \cdot 8}{4 + 4 + 8} = 2[\Omega];$$

I/1.45. ábra



a.) Maxwell-ciklusok segítségével:

A hurokáramok I_{S1} , I_{S2} , egyenletei:

$$\begin{aligned} (R_1 + R_A + R_B + R_2) \cdot I_{S1} + (R_2 + R_B) \cdot I_{S2} &= U_A - U_B ; \\ (R_2 + R_B) \cdot I_{S1} + (R_2 + R_B + R_C + R_3) \cdot I_{S2} &= U_C - U_B ; \end{aligned}$$

behelyettesítve kapjuk:

$$\begin{aligned} 10 I_{S1} + 5 I_{S2} &= 8 ; \\ 5 I_{S1} + 15 I_{S2} &= 20 ; \\ I_{S1} &= 0,16 [A]; \\ I_{S2} &= 1,28 [A]; \end{aligned}$$

Az egyes ágakban folyó áramok:

$$\begin{aligned} I_1 &= I_{S1} = 0,16[A]; \\ I_2 &= -I_{S1} - I_{S2} = -1,44[A]; \\ I_3 &= I_{S2} = 1,28[A]; \end{aligned}$$

*

b.) A Kirchoff törvények segítségével:

Ebben a példában megmutatunk a Kirchoff törvények alkalmazásának egy további lehetséges módszerét, az ún. szakaszfeszültséggel (U) való számolást.

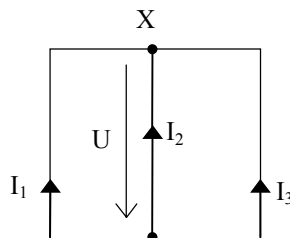
Maradunk továbbra is a I/1.45b. ábránál.

Jelöljük:

$$\begin{aligned} R_I &= R_1 + R_A; \\ R_{II} &= R_2 + R_B; \\ R_{III} &= R_3 + R_C; \end{aligned}$$

Kiszámoljuk az U szakaszfeszültség nagyságát:
(A jobb megértés érdekében lásd I/1.46. ábra)

I/1.46. ábra



Felírjuk az X csomópontra a csomóponti törvényt:

$$I_1 + I_2 + I_3 = 0 ;$$

Behelyettesítve az áramok helyére:

$$\frac{U_A - U}{R_I} + \frac{U_B - U}{R_{II}} + \frac{U_C - U}{R_{III}} = 0;$$

$$\left(\frac{1}{R_I} + \frac{1}{R_{II}} + \frac{1}{R_{III}}\right) \cdot U = \frac{U_A}{R_I} + \frac{U_B}{R_{II}} + \frac{U_C}{R_{III}};$$

$$\left(\frac{1}{5} + \frac{1}{5} + \frac{1}{10}\right) \cdot U = \frac{18}{5} + \frac{10}{5} + \frac{30}{10};$$

$$U = 17,2[V];$$

Az áramokra érvényes:

$$I_1 = \frac{U_A - U}{R_I} = \frac{18 - 17,2}{5} = 0,16[A];$$

$$I_2 = \frac{U_B - U}{R_{II}} = \frac{10 - 17,2}{5} = -1,44[A];$$

$$I_3 = \frac{U_C - U}{R_{III}} = \frac{30 - 17,2}{10} = 1,28[A];$$

* * *

1.28 Oldjuk meg az 1.27 példa adataival a I/1.45a. ábrával megadott példát a Maxwell ciklusok segítségével.

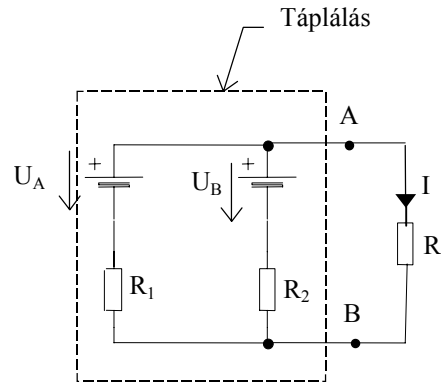
Figyelem. három hurokáram lesz : I_{S1} , I_{S2} , I_{S3} és ebből három egyenlet!

$$(I_1 = I_{S1} = 0,16[A], I_2 = I_{S2} - I_{S1} = -1,44[A], I_3 = -I_{S2} = 1,28[A], I_4 = I_{S1} - I_{S3} = 0,44[A], I_5 = I_{S2} - I_{S3} = -1[A], I_6 = I_{S3} = -0,28[A]).$$

* * *

1.29 A I/1.47. ábrán megadott áramkörbe tervezzük be úgy az R ellenállás nagyságát, hogy az a maximális teljesítményt nyújtsa. Az $U_A=50[V]$, $U_B=60[V]$ tápokat belső ellenállásukkal ($R_1=2[\Omega]$, $R_2=3[\Omega]$) reprezentáljuk. Állapítsuk meg ezen teljesítmény nagyságát is.

I/1.47. ábra



Megoldás:

Az ábrából látjuk, hogy a tápunk két egymással párhuzamos forrásból áll. Ezt helyettesítjük, ezekkel ekvivalens egy feszültségforrással, aminek kiszámoljuk a zárlati áramát (I_N), és a belső ellenállását (R_N), majd ehhez méretezzük a terhelő ellenállást. Tudjuk azt, hogy a teljesítmény akkor a maximális, ha a belső ellenállás (R_N) megegyezik a terhelő ellenállással (R). Az A és B pontok a terhelés kapcsolódási pontjai a tápra.

Az egyes tápok által kibocsátott maximális (zárlati) áramok:

$$I_A = U_A / R_1 = 25[A];$$

$$I_B = U_B / R_2 = 20[A];$$

Az összesen kibocsátott zárlati áram:

$$I_N = I_A + I_B = 45[A];$$

A belső ellenállás:

$$R_N = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = \frac{6}{5} = 1,2[\Omega];$$

Belső feszültség:

$$U_N = R_N \cdot I_N = 1,2 \cdot 45 = 54 [V];$$

A maximális teljesítményt akkor kapjuk, ha

$$\mathbf{R = R_N = 1,2[\Omega]},$$

Ekkor a fogyasztón folyó áram:

$$I = \frac{U_N}{R_N + R} = \frac{54}{1,2 + 1,2} = 22,5[\Omega];$$

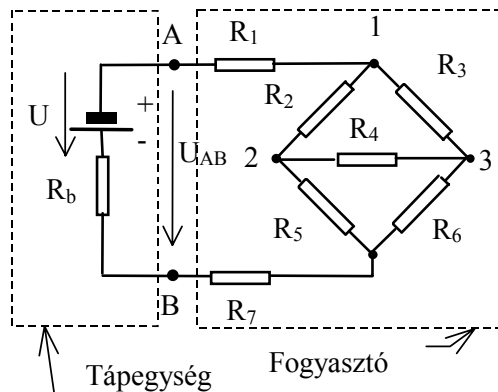
És a fogyasztó teljesítménye:

$$P = P_{max} = R \cdot I^2 = 1,2 \cdot 22,5^2 = \mathbf{607,5 [W]};$$

* * *

1.30 Számoljuk ki az ábrán (I/1.48 ábra) látható fogyasztó fogyasztását, ha ismerjük belső kapcsolását, az egyenáramú táp által szolgáltatott feszültséget, a táp belső ellenállását, és a fogyasztó egyes ellenállásainak értékeit. Milyen hatásfokkal dolgozik a rendszerünk? Az ellenállások indexszei megegyeznek az értékeikkel, $R_1=1[\Omega]$, ..., $R_6=1,5[\Omega]$, $U=12[V]$.

I/1.48. ábra

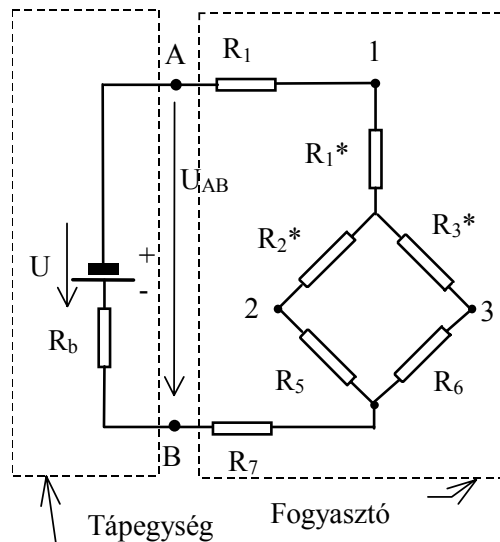


Megoldás:

A megoldás menete:

1. Kiszámoljuk a fogyasztó eredő ellenállását
2. Ehhez szükségünk van az 1,2,3 háromszög csillaggá alakítására és az R_1^* , R_2^* , R_3^* ellenállások értékeire, amit a konverziós képletek segítségével kapunk meg. (Megj. az átalakításnál figyelembe kell vennünk, hogy a két pont között szereplő ellenállások nagyságának ugyanakkorának kell lennie, vagyis az 1 és 2 pont között lévő összellenállás nagyságának a háromszögben, ugyanakkorának kell lennie mint az összellenállás nagysága az 1 és 2 pont között a csillagban. Lásd: előzőek $\nabla \rightarrow Y$ átalakítás, I/1.49 ábra).
3. Kiszámoljuk a táp által kibocsátott áramot
4. Kiszámoljuk a kapcsol feszültséget
5. Kiszámoljuk az össz. ill. hasznos teljesítményeket
6. Kiszámoljuk a hatásfokot

I/1.49 ábra



1. $R_{AB} = R_1 + R_1^* + [(R_3^* + R_6) \times (R_2^* + R_5)] + R_7 = 11,92$
[k Ω]

- 2.

$$R_1^* = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3 + R_4} = 0,66[k\Omega],$$

$$R_2^* = \frac{R_2 \cdot R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = 0,88[k\Omega],$$

$$R_3^* = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_2 + R_3 + R_4} = 1,33[k\Omega],$$

$$3. \quad I = \frac{U}{R_{AB} + R_b} = 0,89 [mA]$$

$$4. \quad U_{AB} = U - (I \cdot R_b) = 10,66 [V]$$

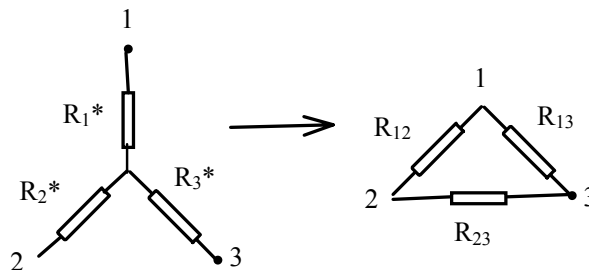
$$5. \quad P_{\text{összt.}} = U \cdot I = 10,68 [mW] ; P_{\text{haszn.}} = U_{AB} \cdot I = 9,48 [mW]$$

$$6. \quad \eta = P_{\text{haszn.}} / P_{\text{összt.}} = 88 \% ;$$

Megj.:

Ismétlésképpen a csillagból háromszögbe (deltába) való átalakítás konverziós képletei:

I/1.50 ábra



Ismertek R_1^* , R_2^* , R_3^* és ki kell számolnunk az R_{12} , R_{13} , R_{23} ellenállások értékeit az előzőekben leírtak figyelembevételével.

$$R_{12} = R_1^* + R_2^* + [(R_1^* \cdot R_2^*) / R_3^*];$$

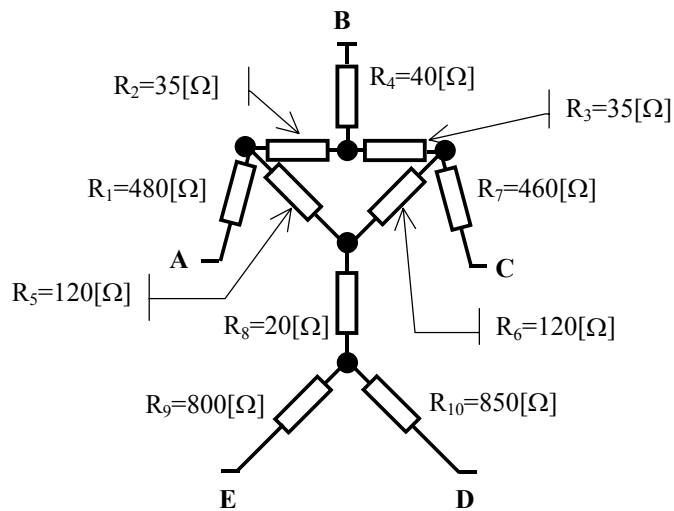
$$R_{13} = R_1^* + R_3^* + [(R_1^* \cdot R_3^*) / R_2^*];$$

$$R_{23} = R_2^* + R_3^* + [(R_2^* \cdot R_3^*) / R_1^*];$$

* * *

1.31 Az emberi test leegyszerűsítve ellenállások vegyes kapcsolásának tekinthető (lásd I/1.51 ábra). Számítsa ki 150[V], érintési egyenfeszültség hatására az emberi testen átfolyó áramot, ha a feszültség az: a.) A és C, b.) B és D, c.) A és D, d.) A és B pontok között hat a testre. [a.) 150,87[mA] b.) 151,89[mA], ...]

I/1.51



* * *

Méréstechnikával kapcsolatos példák

1.32 Egy több méréstartományú műszer skálavégértékei: $s_1=30$, és $s_2=100$ egységek. Az $m_v=500[V]$ -os méréstartományban a mutatott érték $m=74$ egység. Határozzuk meg a skálatényezőt és a mért feszültség értékét.

Megoldás:

A skálatényező: - mivel a mutató $m=74$ értéket mutat, így az s_2 skálavégértéket kell figyelembe vennem,

$$c = \frac{m_v}{s_2} = \frac{500}{100} = 5[V];$$

Ebből a mért feszültség értéke:

$$U = X_m = c \cdot m = 5 \cdot 74 = 370[V];$$

* * *

1.33 A $k=1,5$ pontossági osztályú mérőműszer méréstartománya $m_v=400[V]$, a mért érték $X_m=150[V]$. Számítsuk ki a hibahatárt, továbbá, hogy milyen alsó és felső határok közé esik a mért feszültség valódi értéke.

Megoldás:

Mivel analóg műszerről van szó, az egész méréstartományra vonatkozó hibahatárt számolom:

$$h = \frac{k \cdot m}{100} = \frac{1,5 \cdot 400}{100} = 6[V];$$

Az alsó (X_a) és felső (X_f) határértékek kiszámítása a mért érték és a hibahatár segítségével történik.

$$\begin{aligned} X_a &= X_m - h = 144[V]; \\ X_f &= X_m + h = 156[V]; \end{aligned}$$

* * *

1.34 Az első osztályú digitális mérőműszer bizonytalansága ± 2 számjegy. Mekora X_a , és X_f határok közé esik a feszültség valódi értéke, ha a mért érték $X_m=224[V]$.

Megoldás:

Mivel digitális mérőműszerről van szó, a pontosság (első osztályú, $k=1$) a mért értékre vonatkozik.

$$h = \frac{k \cdot X_m}{100} + z = \frac{1.224}{100} + 2 = 4,24[V];$$

Az alsó és felső határok kiszámolásánál a kerekített értékkel dolgozunk:

$$X_f = X_m + h = 228[V];$$
$$X_a = X_m - h = 220[V];$$

* * *

1.35 Egy több méréstartományú műszer skálavégértéke $s=30$. Számítsa ki a c skálatényezőt az $m_v=1,5[V]$ méréstartományra, ill. az $m_1=23,5$ és $m_2=17,2$ mutatott értékekre vonatkozó feszültségeket.

* * *

1.36 Az 1 pontossági osztályú (a mérési értékre vonatkoztatva) digitális műszer járulékos bizonytalansága $+2/-1$ számjegy. A műszer a $2[A]$ -es méréstartományban az első mérésnél a.) $1,432$; a második mérésnél b.) $0,085$ -et mutatott. Mekkora határértékek közé eshetnek az a.) és b.) esetben mért áramerősségek?

* * *

2. Váltakozó mennyiségek

Alapfogalmak

A váltakozó mennyiségek a mi esetünkben általában váltakozó áramot/feszültséget vagy impedanciát jelentenek. Váltakozó áramról/feszültségről akkor beszélünk, ha az áram/feszültség -nek nemcsak a nagysága, hanem az iránya is változik.

(A továbbiakban vagy csak az áramról, vagy csak a feszültségről fogunk beszélni, a kettő jellegében "csaknem" megegyezik. Az eltéréseknél külön tárgyaljuk mindegyiket.)

Többféleképpen váltakozó áramot ismerünk, pl.: sztochasztikusan, harmonikusan, periodikusan, szinuszosan és ezeknek a kombinációi, etc.

A példáinkban a szinuszosan váltakozó mennyiségekkel fogunk foglalkozni. A továbbiakban, amire még szükségünk lesz:

periódus: - a görbe egymás után azonosan megismétlődő szakasza, ahol T - a periódusidő,

frekvencia: másodpercenkénti periódusok száma, $f=1/T$ [Hz].

impedancia: váltakozó áramú ellenállás, vagyis: váltóáramú elektromos hálózatban a komplex feszültség és a komplex áram hányadosa.

(Megj. A váltakozó áram létrehozása, lásd: 3.Váltakozó áramú gépek ; A váltakozó áram teljesítménye és ennek mérése.)

A váltakozó áram / feszültség ábrázolása

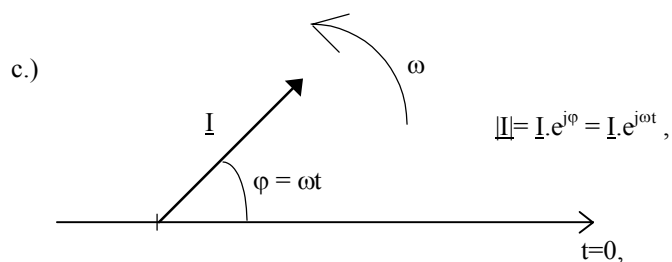
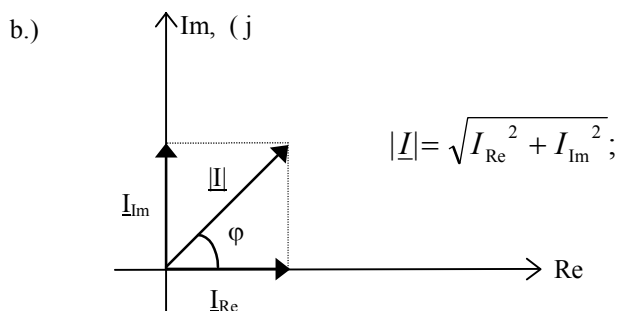
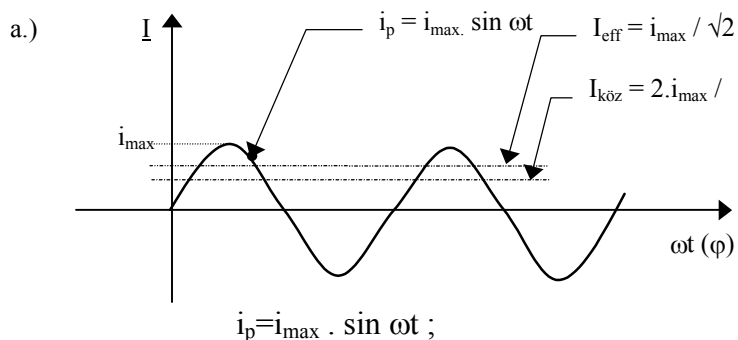
1.) **Áram/feszültség görbe** segítségével (lásd I/2.1a. ábra).

Jellemző adatok: középérték ($I_{köz}$), effektív érték (I_{eff}), pillanatnyi érték (i_p), max. érték (i_{max}).

2.) **Vektoros** formában (lásd I/2.1b. ábra). Jellemző adatok: abszolút érték ($|\vec{I}|$), valós összetevő (I_{Re}), képzetes összetevő (I_{Im}), bezárt szög (φ).

3.) **Forgó vektor (fázor)** formájában (lásd I/2.1c. ábra). Jellemző adatok: komplex vektor ($\vec{I} \cdot e^{j\varphi}$), szögsebesség (ω), elfordulási szög ($\varphi=\omega t$).

I/2.1 ábra



Példák a váltakozó mennyiségek középértékeinek számolására

2.1 Határozzuk meg az $i_p = i_m \cdot \sin \omega t$ szinuszosan folyó áram négyzetes középértékét (effektív érték) !

Megj.:

A négyzetes középérték (effektív, I_{eff}) általános képlete:

$$I_{\text{eff}} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2 \cdot dt};$$

Az elektrolitikus (számtani) középérték ($I_{\text{köz}}$) általános képlete:

$$I_{\text{köz}} = \frac{1}{T} \int_0^T |i| \cdot dt;$$

Ha a periodikus görbe két félperiódusa alatti terület azonos:

$$I_{\text{köz}} = \frac{2}{T} \int_0^{T/2} i \cdot dt;$$

*

Megoldás:

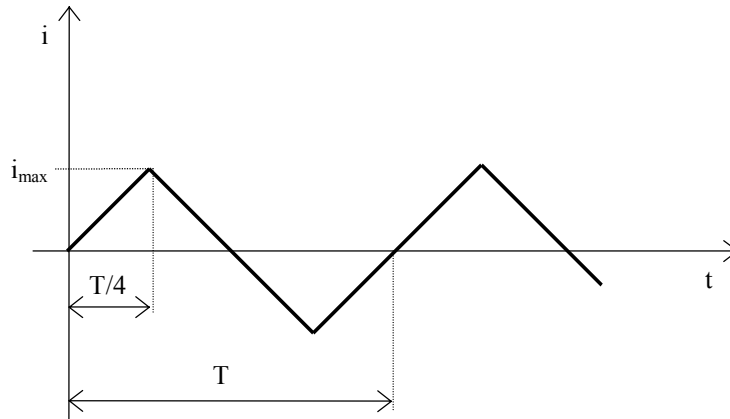
Behelyettesítünk az általános képletbe az $i=i_p$ elvégezzük az integrálást és megkapjuk a végeredményt.

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T (i_m \cdot \sin \omega t)^2 \cdot dt} = i_m \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \sin^2 \omega t \cdot dt} = \\ & i_m \cdot \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T \frac{1}{2} \cdot (1 - \cos 2\omega t) \cdot dt} = i_m \cdot \sqrt{\frac{1}{2T} \left[t - \frac{\sin 2\omega t}{2\omega} \right]_0^T} = \\ & i_m \cdot \sqrt{\frac{1}{2T} \left[T - \frac{\sin \frac{4\pi}{T} \cdot T}{\frac{4\pi}{T}} \right]} = i_m \cdot \sqrt{\frac{T}{2T}} = \frac{i_m}{\sqrt{2}}; \end{aligned}$$

Figyelem! Az eredmény a szinuszosan váltakozó áram effektív értékének levezetése.

2.2 Határozzuk meg a I/2.2 ábrán megadott áram négyzetes középértékét!

I/2.2. ábra



Megoldás:

A nullától T/4-ig szakaszon a függvényünk egy egyenes, ebből kifolyólag az áram lefolyását leíró függvény:

$$i = \operatorname{tg}\beta \cdot t = \frac{i_{\max}}{T} \cdot t = \frac{4i_{\max}}{T} \cdot t;$$

És ebből:

$$i^2 = \frac{16 \cdot i_{\max}^2}{T^2} \cdot t^2;$$

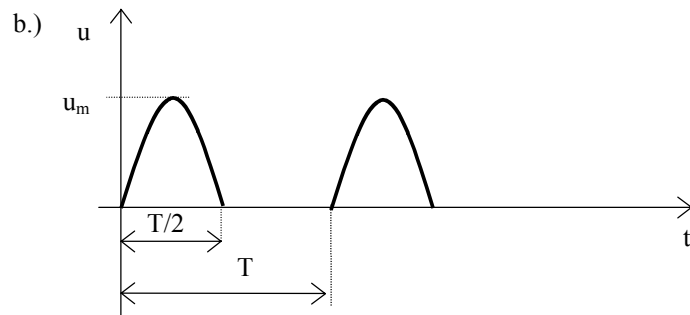
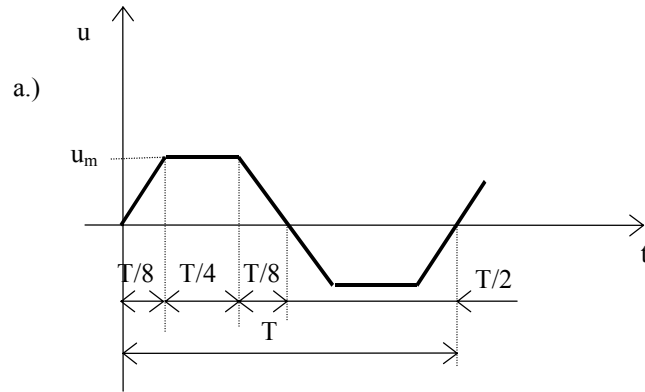
Elég a számítást csak egy negyed periódusra elvégezni, mert az áramgörbe negyedperiódusonként szimmetrikus:

$$\begin{aligned} I &= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^{T/4} i^2 \cdot dt} = \sqrt{\frac{4}{T} \int_0^{T/4} \frac{16i_{\max}^2}{T^2} \cdot t^2 \cdot dt} = \frac{8i_{\max}}{T \cdot \sqrt{T}} \sqrt{\int_0^{T/4} t^2 \cdot dt} = \\ &= \frac{8i_{\max}}{T \cdot \sqrt{T}} \cdot \sqrt{\left[\frac{t^3}{3} \right]_0^{T/4}} = \frac{8i_{\max}}{T \cdot \sqrt{T}} \cdot \sqrt{\frac{T^3}{3 \cdot 64}} = \frac{8i_{\max}}{T \cdot \sqrt{T}} \cdot \frac{T \cdot \sqrt{T}}{\sqrt{3 \cdot 8}} = \frac{i_{\max}}{\sqrt{3}}; \end{aligned}$$

2.3 Határozzuk meg a I/2.3a., I/2.3b. ábrák négyzetes középértékeit!

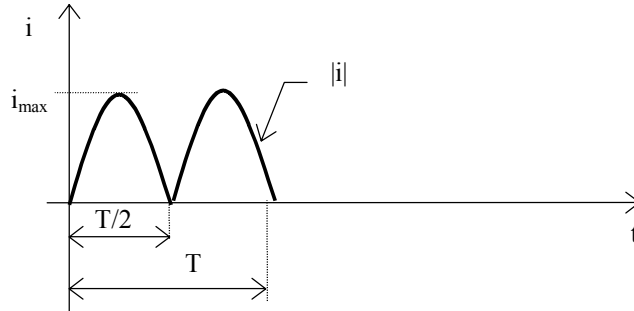
$$\left(u_m \cdot \frac{2}{3}; \frac{u_m}{2}\right).$$

I/2.3. ábra



2.4 Határozzuk meg az $i=i_{\max}\cdot\sin \omega t$, egyenirányított áram elektrolitikus középértékét!
 (Egyenirányított áramról van szó, vagyis $|i|$. Lásd I/2.4. ábra.)

I/2.4. ábra



Megoldás:

Mivel a két félperiódus azonos számolhatunk a $T/2$ integrálási határral:

$$\begin{aligned}
 I_k &= \frac{2}{T} \cdot \int_0^{T/2} i \cdot dt = \frac{2}{T} \cdot \int_0^{T/2} i_{\max} \cdot \sin \omega t \cdot dt = \frac{2i_{\max}}{T} \cdot \int_0^{T/2} \sin \omega t \cdot dt = \\
 &= -\frac{2i_{\max}}{T} \cdot \left[\frac{\cos \omega t}{\omega} \right]_0^{T/2} = -\frac{2i_{\max}}{T} \left[\frac{\cos \omega \cdot \frac{T}{2}}{\omega} - \frac{1}{\omega} \right] = \\
 &= -\frac{2i_{\max}}{T} \left[\frac{\cos \frac{2\pi}{T} \cdot \frac{T}{2}}{\frac{2\pi}{T}} - \frac{1}{\frac{2\pi}{T}} \right] = -\frac{2i_{\max}}{T} \left[\frac{T \cdot \cos \pi}{2\pi} - \frac{T}{2\pi} \right] = \\
 &= -\frac{2i_{\max}}{T} \left[-\frac{T}{2\pi} - \frac{T}{2\pi} \right] = \frac{2 \cdot i_{\max}}{\pi};
 \end{aligned}$$

* * *

Váltakozó áramú körök passzív áramköri elemei

a.) Váltakozó feszültségre kapcsolt ellenállás (impedancia)

Kapcsoljunk \vec{U} váltakozó feszültségre egy önindukció és kapacitásmentes R ellenállást. Az \vec{U} feszültség hatására az R ellenálláson \vec{I} áram indul meg, aminek pillanatnyi értéke az Ohm-törvény értelmében:

$$i = \frac{u}{R};$$

Ez azt jelenti, hogy az **áram a feszültség ütemében (fázisában)** változik. (Lásd I/2.5a. ábra). Az Ohm törvény a maximális értékre és a középvértékekre is igaz, mivel a maximális értékek egy meghatározott időponthoz tartoznak, a középvértékek pedig ezeknek valamilyen konstanssal lévő szorzatai ($1/\sqrt{2}$, $2/\pi$). A váltakozó áramú áramkörbe kapcsolt ellenállás komplex impedanciája egyenlő a hatásos ellenállás nagyságával:

$$\vec{Z}_R = R$$

b.) Váltakozó áramra kapcsolt önindukciós tekercs

Folyjon $i = i_m \cdot \sin \omega t$ váltakozó áram olyan kapacitásmentes önindukciós tekercsen keresztül, amelynek hatásos ellenállása elhanyagolhatóan kicsi. Az áram hatására a tekercsben váltakozó fluxus jön létre, $\Phi = \Phi_m \cdot \sin \omega t$, ami a tekercsben,

$$u = L \cdot \frac{di}{dt} = L \cdot \frac{d(i_m \cdot \sin \omega t)}{dt} = L \cdot i_m \cdot \omega \cdot \cos \omega t = L \cdot i_m \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + 90^\circ); (1)$$

feszültséget indukál.

Már a képletből is láthatjuk, hogy az **áram 90° -ot késik a feszültséghez képest** (Lásd I/2.5b. ábra). Az (1) alapján felírhatjuk a feszültség maximális és négyzetes középvértékét:

$$\begin{aligned} u_m &= i_m \cdot \omega L ; \\ \vec{U} &= \vec{I} \cdot \omega L ; \end{aligned}$$

A váltakozó áramra kapcsolt tekercs komplex impedanciája:

$$\bar{Z}_L = j\omega L.$$

Ahol az ωL szorzatot X_L -lel jelöljük és,

induktív reaktanciának nevezzük: $X_L = \omega L$, egysége [Ω],

reciproka **induktív szuszceptancia**: $B_L = 1 / X_L$ [S].

c.) Váltakozó feszültségre kapcsolt kondenzátor

Kapcsoljunk egy ideális kondenzátort $u = u_m \cdot \sin \omega t$ váltakozó feszültségre. Tudjuk, hogy a kondenzátor lemezeinek töltése minden pillanatban arányos a fegyverzetek (kondenzátor lemezei) közötti feszültségkülönbséggel:

$$q = C \cdot u ;$$

Ez azt mutatja, hogy a töltés (q) is változik, ami csak úgy lehetséges, hogy:

- növekvő feszültség esetén töltés áramlik az energiaforrásból a lemezekre

- csökkenő feszültségen viszont a töltés a lemezekről áramlik az energiaforrásba.

A kondenzátor áramát tehát felírhatjuk:

$$\begin{aligned} i &= \frac{dq}{dt} = \frac{d(Cu)}{dt} = C \cdot \frac{d(u_m \cdot \sin \omega t)}{dt} = C \cdot u_m \cdot \omega \cdot \cos \omega t = \\ &= C \cdot u_m \cdot \omega \cdot \sin(\omega t + 90^\circ); \end{aligned}$$

Láthatjuk, hogy az **áramerősség 90° -ot siet a feszültséghez képest** (Lásd I/2.5-c. ábra). Az áramerősség max. és effektív értéke:

$$i_m = u_m \cdot \omega C ;$$

$$\bar{I} = \bar{U} \cdot \omega C ;$$

A váltakozó áramkörbe kapcsolt kondenzátor komplex impedanciája:

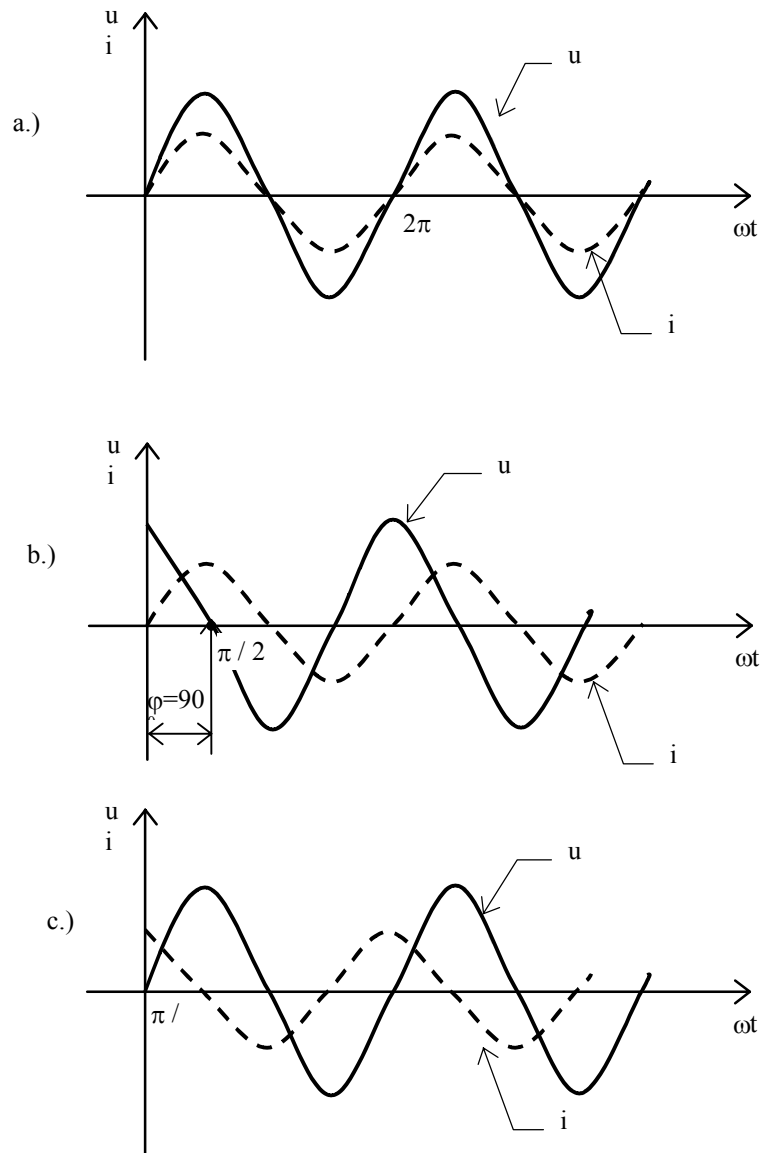
$$\bar{Z}_C = \frac{1}{j\omega C};$$

Ahol az $X_C = \frac{1}{\omega C}$; a **kapacitív reaktancia**, egysége [Ω],

aminek a reciproka a **kapacitív szuszceptancia**:

$$B_C = 1 / X_C = \omega C \text{ [S].}$$

I/2.5. ábra

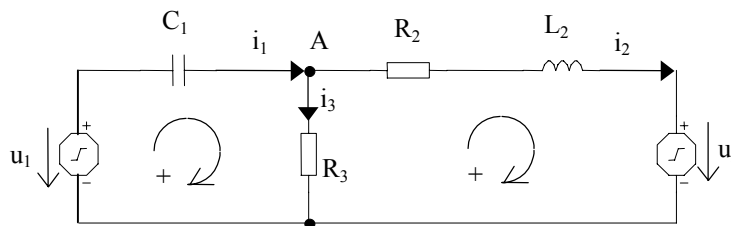


Ellenállás, induktív és kapacitív reaktancia kapcsolásai

Hasonló az egyenáramú részben tárgyalt "ellenállások kapcsolása" -hoz, itt is létre tudjuk hozni ugyanazokat a kapcsolásokat, -csak a számításaink bonyolódna annyiban-, hogy itt az impedancia egy komplex vektor, és amennyiben pontosak akarunk lenni számolni kell ezen vektor valós, ill. képzetes összetevőjével is. Az elektronikában általában a komplex szám exponenciális alakját használjuk (ami azt jelenti, hogy **fázorokkal** számolunk), így a példák végeredményeit is exponenciális alakban adjuk meg. Valójában ez a fázoros alak is az eredetileg felírható integrál-differenciál egyenletrendszer egy operátoros (egyszerűsített) alakja, ahol az *integrálás helyére $j\omega$ -val való osztást*, a *deriválás helyére $j\omega$ -val való szorzást* helyettesítünk. Figyeljük meg a következő példát:

2.5 Írjuk fel a I/2.6 ábrán megadott áramkör integrál-differenciál egyenletrendszerét.

I/2.6. ábra



Megoldás:

Három egyenletünk lesz, egy az A csomópontra, kettő pedig a két hurokra:

$$\begin{aligned}
 -i_1 + i_2 + i_3 &= 0; \\
 u_{C1}(0) + \frac{1}{C_1} \cdot \int_0^t i_1 \cdot dt + R_3 \cdot i_3 &= u_1; \\
 R_2 \cdot i_2 + L_2 \cdot \frac{di_2}{dt} - R_3 \cdot i_3 &= -u_2;
 \end{aligned}$$

Ahol $u_{C1}(0)$ a feszültség a $t=0$ időpontban.

Figyelem! Ezek az egyenletek érvényesek a nem lineáris mennyiségekre. Amennyiben harmonikus lefolyású mennyiségeink vannak, akkor operátoros alakban írhatóak az egyenletek, vagyis az integrálás helyére $\frac{1}{j\omega}$; -át, a deriválás helyett pedig $j\omega$ -t írhatunk.

b.) Írjuk fel az egyenletrendszer operátoros alakban! (Az u_1 és u_2 tápok periodikusan-harmonikus szinuszos feszültséget szolgáltatnak.)

$$-\vec{I}_1 + \vec{I}_2 + \vec{I}_3 = 0;$$

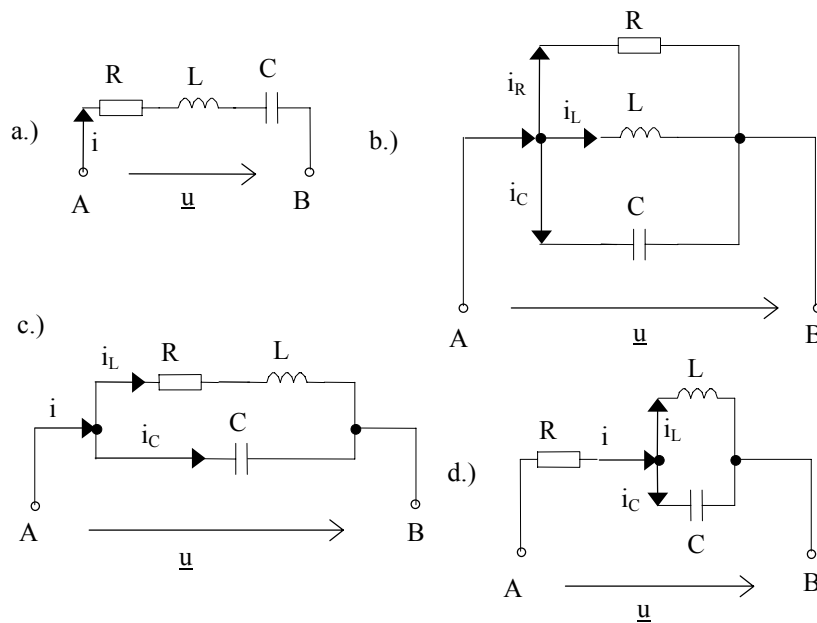
$$\vec{I}_1 \cdot \frac{1}{j\omega C} + \vec{I}_3 \cdot R_3 = \vec{U}_1;$$

$$\vec{I}_2 \cdot R_2 + \vec{I}_2 \cdot j\omega L - \vec{I}_3 \cdot R_3 = -\vec{U}_2;$$

* * *

2.6 Számolja ki a I/2.7a, I/2.7b, I/2.7c, I/2.7d ábrákkal megadott kapcsolásokon a Z_{AB} eredő impedanciát a következő adatok segítségével: $R=50[\Omega]$, $L=0,15[H]$, $C=30[\mu F]$, $f=100[Hz]$. Az eredményeket exponenciális alakban adja meg.

I/2.7 ábra



Megoldások:

A megoldásoknál jelöljük a tekercsek impedanciáit $\vec{Z}_L = j\omega L$, és a kondenzátorok impedanciáit $\vec{Z}_C = \frac{1}{j\omega C}$;

a.) Az ábrából kitűnik, hogy az impedanciák sorba vannak kapcsolva. Az impedanciákra is érvényes az, ami az egyenáramú áramköröknél az ellenállások kapcsolására, vagyis ebben az esetben az eredő impedancia:

$$\vec{Z}_{AB} = \vec{Z}_R + \vec{Z}_L + \vec{Z}_C ;$$

Behelyettesítve az impedanciába kapjuk:

$$\vec{Z}_{AB} = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} ;$$

A tört nevezőjéből el kell távolítanunk a "j" komplex egységet, (tudjuk, hogy $j^2 = -1$). Így kapjuk:

$$\vec{Z}_{AB} = R + j \cdot \left(\underbrace{\omega L}_{X_L} - \underbrace{\frac{1}{\omega C}}_{X_C} \right) =$$

$$50 + j \cdot \left(2\pi \cdot 100 \cdot 0,15 - \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 30 \cdot 10^{-6}} \right) = 50 + j41,2 [\Omega];$$

Így megkaptuk az impedancia valós ($Z_{re}=50[\Omega]$), és képzetes ($Z_{im}=41,2[\Omega]$) összetevőit.

Ezekből a komplex impedancia vektor (Lásd I/2.8. ábra):

1.) a \vec{Z} nagysága:

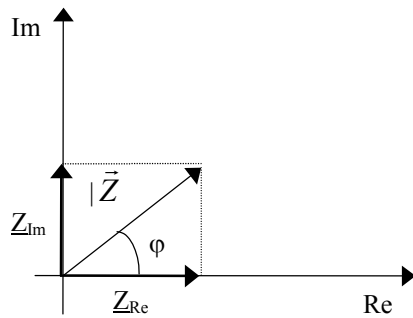
$$|\vec{Z}| = \sqrt{Z_{RE}^2 + Z_{Im}^2} = \sqrt{50^2 + 41,2^2} = 64,787 [\Omega];$$

2.) a \vec{Z} iránya:

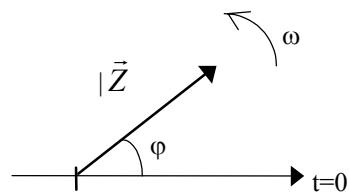
$$\varphi = \arctg \frac{Z_{IM}}{Z_{Re}} = \arctg \frac{41,2}{50} = 39,488^\circ;$$

$$\vec{Z} = 64,787 \cdot e^{j39,488^\circ} [\Omega],$$

I/2.8. ábra



a.) Vektoros ábrázolása a Z impedanciavektornak.



b.) Fázoros ábrázolása a Z impedanciavektornak

b.) Ebben az esetben az impedanciák párhuzamosan vannak kapcsolva. Itt is kiindulhatunk az egyenáramú példából, és felírhatjuk az eredő impedanciát:

$$\frac{1}{\vec{Z}_{AB}} = \frac{1}{\vec{Z}_R} + \frac{1}{\vec{Z}_L} + \frac{1}{\vec{Z}_C};$$

Tudjuk, hogy az impedancia reciproka az **admittancia** (\vec{Y}), vagyis:

$$\vec{Y}_{AB} = \frac{1}{\vec{Z}_{AB}}; . \quad \text{Ezt kihasználva és behelyettesítve az}$$

alapösszefüggésbe kapjuk:

$$\begin{aligned} \vec{Z}_{AB} &= \frac{1}{\vec{Y}_{AB}} = \frac{1}{\frac{1}{R} + j \cdot (\omega C - \frac{1}{\omega L})} = \\ &= \frac{1}{\frac{1}{50} + j \cdot (2\pi \cdot 100 \cdot 30 \cdot 10^{-6} - \frac{1}{2\pi \cdot 100 \cdot 0,15})} = 42,74 - j17,67[\omega]; \end{aligned}$$

Ebből:

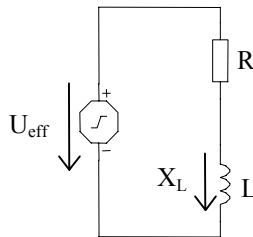
$$\vec{Z}_{AB} = 46,248.e^{-j22,46^\circ} [\Omega],$$

A c.) és d.) vegyes kapcsolású feladatokat oldjuk meg gyakorlásképpen (c.) $87,36.e^{-j67,43^\circ} [\Omega]$; d.) $131,25.e^{-j67,60^\circ} [\Omega]$).

* * *

2.7 Kapcsoljunk sorba egy $U_{\text{eff}} = 220[\text{V}]$, $f = 50[\text{Hz}]$, frekvenciájú feszültségre egy $R = 20[\Omega]$ -os ellenállást, és egy $L = 0,05[\text{H}]$ önindukciós tényezőjű tekercset. Határozzuk meg a körben folyó áramerősséget, és a létrejövő feszültségeséseket komplex számok segítségével. Lásd I/2.9. ábra.

I/2.9. ábra



Megoldás:

Az áramkör komplex eredő impedanciája:

$$\vec{Z} = R + \vec{Z}_L = R + j\omega L = 20 + j15,7 [\Omega];$$

Az áramkörben folyó áramerősség:

$$I_{\text{eff}} = U_{\text{eff}} / Z ;$$

Ha behelyettesítünk az Ohm törvénybe, ismét egy olyan törtet kapunk, ahol a nevezőben komplex kifejezés található. Itt úgy távolítjuk el a nevezőből a komplex kifejezést, hogy a számlálót is és a nevezőt is beszorozzuk a komplex szám konjugáltjával (\vec{Z}^*).

$$\vec{I} = \frac{\vec{U}}{\vec{Z}} = \frac{\vec{U} \cdot \vec{Z}^*}{\vec{Z} \cdot \vec{Z}^*} = \frac{220 \cdot (20 - j15,7)}{400 + 246,49} = 6,80 - j5,34 [A];$$

$$\vec{I} = 8,64 \cdot e^{-j38,6^0} [A];$$

Az impedanciákon létrejövő feszültségesések:

1.) Az R ellenálláson létrejövő feszültségesés.

Tudjuk, hogy az ellenállás nem fordítja fázisban a feszültséget az áramhoz képest, ezt a számítás is igazolja, vagyis ugyanaz a φ szög ($38,6^0$) jött ki az ellenálláson eső feszültségnél, mint az áramnál. Vagyis a feszültségesés az árammal fázisban van.

$$\vec{U}_R = \vec{I} \cdot R = (6,8 - j5,34) \cdot 20 = 136 - j106,8 [V];$$

$$\vec{U}_R = 172,92 \cdot e^{-j38,6^0} [V];$$

2.) A tekercsen létrejött feszültségesés.

$$\vec{U}_L = \vec{I} \cdot j\omega L = (6,8 - j5,34) \cdot j15,7 = 83,83 + j106,9 [V];$$

$$\vec{U}_L = 135,85 \cdot e^{j51,89^0} [V];$$

Itt már látjuk a φ szög alapján ($51,89^0$), hogy a tekercsen átfolyó áram és a feszültség nincsenek fázisban.

Próbaképpen kiszámolhatjuk a két feszültségesés vektoriális összegét, ami a tápfeszültséget kellene, hogy adja.

$$U_{eff} = \sqrt{\vec{U}_R^2 + \vec{U}_L^2} = \sqrt{172,92^2 + 135,85^2} \cong 219,90 [V];$$

* * *

2.8 $U=220[V]$, $f=50[Hz]$ frekvenciájú feszültségre kapcsoljunk sorba egy $R=10[\Omega]$ -os ellenállást és egy $L=47,8[mH]$, önindukciós tényezőjű tekercset. Mekkora az I nagysága és a fáziszög. **(12,18[A], $56,1^0$).**

* * *

2.9 Kapcsoljuk a $\vec{Z}_1=Z_{R1L1}$, és $\vec{Z}_2=Z_{R2L2}$, impedanciákat sorba. Az impedanciák adatai: $R_1=10[\Omega]$, $L_1=0,1[H]$, $R_2=5[\Omega]$, $L_2=0,2[H]$. Az

impedanciákon $I_{\text{eff}}=10[\text{A}]$, erősségű áram folyik keresztül. A frekvencia $f=50[\text{Hz}]$. Mekkora az impedanciákra kapcsolt feszültség és fázisszög? **(953,86.e^{j80,95} [V],)**.

* * *

2.10. A párhuzamosan kapcsolt $R=2[\text{K}\Omega]$ -os ellenállással és $L=0,5[\text{H}]$ önindukciós tényezőjű tekercsel kapcsoljunk sorba egy $C=1[\mu\text{F}]$ -os kondenzátort. Mekkora a kapcsolás komplex impedanciája $\omega=5000[\text{rad/s}]$ körfrekvencia esetén? **(1369,40.e^{j34,46}).**

* * *

2.11. Számolja ki a I/2.10a ábrán megadott áramkör $\vec{I}_1, \vec{I}_2, \vec{I}_3$ komplex áramait, ha az áramkör harmonikusan szinuszos feszültségre van kapcsolva, aminek pillanatnyi értéke, $u(t)=\sqrt{2}\cdot 100\cdot \cos 314t$ [V], és $R_1=R_2=R_3=100[\Omega]$, $L_1=0,397[\text{H}]$, $L_2=0,795[\text{H}]$, $C=42,44[\mu\text{F}]$.

Megoldás:

A számítás egyszerűsítése érdekében számoljuk ki először a $\vec{Z}_1, \vec{Z}_2, \vec{Z}_3$ impedanciákat a következőképpen:

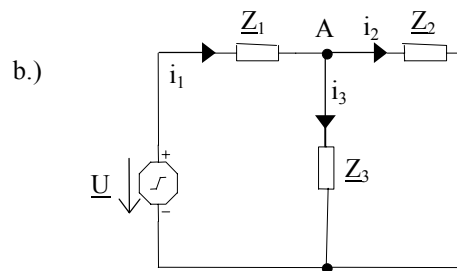
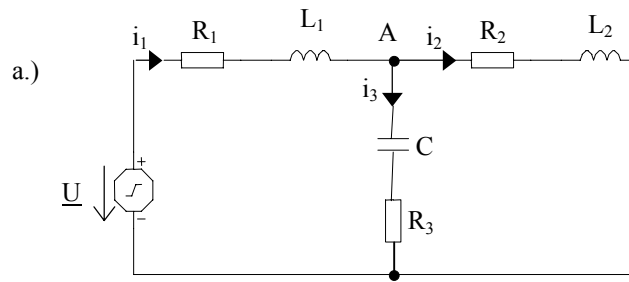
$$\vec{Z}_1=R_1+\vec{Z}_{L1}=R_1+j\omega L_1=100+j314\cdot 0,397=100+j124,65[\Omega];$$

$$\vec{Z}_2=R_2+\vec{Z}_{L2}=R_2+j\omega L_2=100+j314\cdot 0,795=100+j249,63[\Omega];$$

$$\vec{Z}_3=R_3+\vec{Z}_C=$$

Utána ezeket berajzolva (Lásd I/2.10b. ábra) kapunk egy egyszerű vegyes kapcsolást, amit az egyenáramú részhez hasonlóan (Lásd I.20, I.22 példák) megoldhatunk.

I/2.10. ábra



Legyen az egyszerűség kedvéért,

$$\begin{aligned}
 \mathbf{D} &= \vec{Z}_1 \cdot \vec{Z}_2 + \vec{Z}_2 \cdot \vec{Z}_3 + \vec{Z}_3 \cdot \vec{Z}_1 = \\
 &= (100 + j124,65) \cdot (100 + j249,63) + (100 + j75) \cdot (100 + j249,63 + 100 + j124,65) = 26875 + j60000 \cong 6,574 \cdot 10^4 \cdot e^{j66} \text{ [}\Omega\text{]};
 \end{aligned}$$

Levezetés után, a vegyes kapcsolásra felírt egyenletekből kapjuk:

$$\vec{I}_2 = U \frac{\vec{Z}_3}{D} = 100 \cdot \frac{100 - j75}{6,574 \cdot 10^4 \cdot e^{j66}} \cong 0,190 \cdot e^{-j102,74^0} [A];$$

$$\vec{I}_3 = U \frac{\vec{Z}_2}{D} = 100 \cdot \frac{100 + j250}{6,574 \cdot 10^4 \cdot e^{j66}} \cong 0,409 \cdot e^{j2,33^0} [A];$$

$$\vec{I}_1 = U \frac{\vec{Z}_2 + \vec{Z}_3}{D} = \vec{I}_2 + \vec{I}_3 \cong 0,404 \cdot e^{-j24,69^0} [A];$$

* * *

II. FÉLVEZETŐK

1. Elméleti alapok

Bevezetésképpen röviden átmétegeljük a félvezetőkkel kapcsolatos elméleti alapokat.

(Ajánlott irodalom : Klaus Beuth, Olaf Beuth: **Az elektronika alapjai, II. Félvezetők.** [1])

Megj.: A megoldott mintapéldákban nem törekedtem az abszolút pontosságra, ez azt jelenti, hogy nem számolok a félvezető elemeknél a hőmérsékleti együttható hatásával és a szaturációs - szivárgási- áramokkal, ...etc.)

Bevezetés

Egy aránylag széles értelmezés alapján, félvezetők azok az anyagok, amelyekben a töltések vándorlását (áramot) vagy csak a negatív töltésű elektronok, vagy pedig csak a pozitív töltésű lyukak valósítják meg (bipoláris félvezetők), miközben a konduktivitásuk 300⁰K hőmérsékleten nagyságrendileg ($10^5 \div 10^{11}$) [Sm^{-1}] intervallumba esik.

A félvezető anyagok felosztása

1. Struktúrájuk alapján

- egykristályos (mono-kristály) anyagú
 - többkristályos (poly-kristály) anyagú
 - nem kristályos (üveges, amorf) anyagú
- Továbbá a felhasználási alak alapján lehetnek:
- térfogati
 - réteges

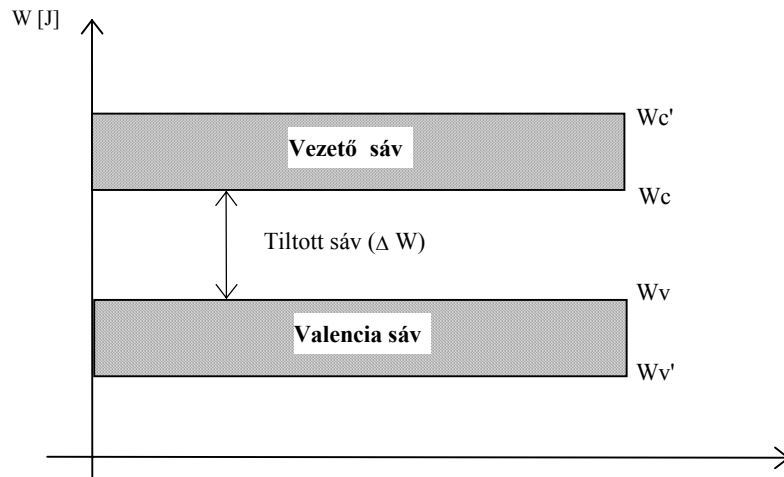
2. Szennyezettségük alapján

- maximálisan tiszta (szennyezettség nélküli)
 - tervezett szennyezettségű
- Kémiai összetételük alapján:
- kémiai elemek
 - vegyületek (kettős, hármas ...etc. vegyületek is lehetnek.)

Természetesen figyelembe kell vennünk, hogy a félvezetők nagy része a szilárd, szerves anyagok csoportjába tartozik de itt is, mint általában mindenhol, vannak kivételek, mint pl.: megfigyelték egyes folyadékok félvezető tulajdonságait, továbbá Japánban folytattak kísérleteket egy, a ló szívéből nyert anyag félvezető tulajdonságaival kapcsolatban. Ezekben az esetekben természetesen azon igyekeznek, hogy csökkentsék az ún. "tiltott sáv" nagyságát, gyorsítva így a félvezető kapcsolási tulajdonságait. Ha már a "tiltott sáv" nagyságáról beszélünk, megemlíthetjük, hogy a legkisebb értéket egy hármass vegyületnél mérték (1987.). Továbbá még a félvezetők csoportjába soroljuk a gyémántot is, ahol a tiltott sáv szélessége $\Delta W_z \approx 5,6$ [eV].

Félvezető anyagok energia-sávdiagramja

II/1.1. ábra



Megj.:

valenciaelektron = vegyértékelektron,
 az atom elektronburkának külső héjában lévő elektronok, a kémiai kapcsolatok létesítői. Valencia sáv: az az energiamező, ahol ezek az elektronok még a helyükön maradnak.

Az anyagok felosztása az elektronika szempontjából

- **Szigetelők**, ahol a tiltott sáv szélessége, $\Delta W \approx 6$ [eV]-től kezdődik.
- **Félvezetők**, ahol a tiltott sáv szélessége, $\Delta W \approx 1$ [eV] körül mozog.
- **Vezetők**, ahol a tiltott sáv és a valencia sáv átfedésben vannak.

A továbbiakban a szilárd, rétegesen szennyezett félvezető anyagokkal fogunk foglalkozni. A legelterjedtebb bipoláris félvezető anyagokat a szilícium (*Si*), ill. germánium (*Ge*) kristályokból állítjuk elő.

Az ideális szilícium egykristályban a rácsszerkezet tökéletes rendszerben van, az elektronok egymáshoz lazának mondható kovalens kötéssel kapcsolódnak. A kristályrácsban nincs elektronhiány sem elektrontöbblet (lásd II/1.2.a ábra). Amennyiben ez a kovalens kötés maradna a szilícium egykristály tökéletes szigetelőként működhetne. Azonban a szilícium tiltott sávja aránylag kicsi (cca 1[eV]), ez azt jelenti, hogy külső energia hatására (pl.: hő, vagy fény) a laza kovalens kötés alól elektronok szabadulnak fel (vagyis az elektron átjut a valencia sávból a vezető sávba - felszabadul) és elkezdődik az elektronok, ill. lyukak vándorlása az anyagban. (Lyukaknak nevezzük a rácsszerkezetben azokat a helyeket, ahonnan az elektronok „kiszakadtak”. A lyukak pozitív töltésűek.)

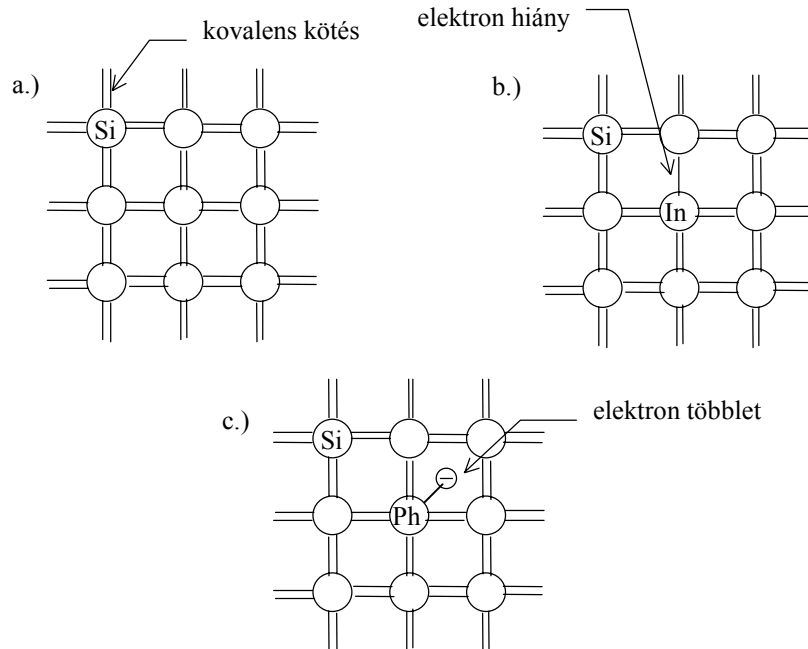
A *P* és *N* rétegek kialakítása

A négy vegyértékű szilícium kristályrács szerkezetén (II/1.2a ábra) látjuk, hogy a négy valencia elektron, hogy vesz részt a kötésben. Amennyiben ebbe a rácsszerkezetbe bejuttatunk egy három vegyértékű atomot (pl. indium, gallium), akkor a negyedik kovalens kötéshez hiányzik egy elektron, vagyis kialakul a rácsszerkezetben egy szabad lyuk (lásd II/1.2b ábra). A szabad lyukak (**P**) pozitív töltésűek és többségben (majoritásban) vannak a szabad elektronokkal szemben. Az így szennyezett szilícium kristályokat **P** típusú félvezetőknek nevezzük.

Az **N** típusú félvezetőket hasonló módon állítjuk elő. A négy vegyértékű szilícium kristályrácsba bejuttatunk egy öt vegyértékű elemet (antimón Sb, foszfor Ph, arzén As, ...). Itt is négy elektron

szükséges a kovalens kötés létrehozásához, viszont marad egy szabad elektronunk az öt vegyértékű elemekből (lásd II/1.2c ábra). Itt a negatív töltésű szabad elektronok (N) vannak többségben a lyukakhoz képest, így N típusú félvezetőt kapunk.

II/1.2 ábra

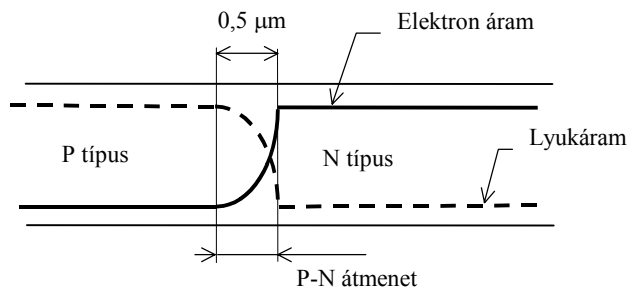


A réteges félvezetőket ezen rétegek (P, N) különböző kombinálásával kapjuk.

P-N átmenet

A P és N típusú félvezetők találkozási felülete. Az elektromos töltések áramlása a P-N átmenetben, lásd II/1.3. ábra.

II/1.3. ábra



A továbbiakban nem térünk ki az egyes félvezető elemekre ilyen részletességgel, az egy másik jegyzet anyagát képezheti, inkább példákon keresztül fogjuk az egyes félvezetők tulajdonságait elemezni.

Félvezető (bipoláris) diódák

Alapvető tulajdonságok: egyenirányítás, elektronikus kapcsolás, feszültség stabilizálás, ...

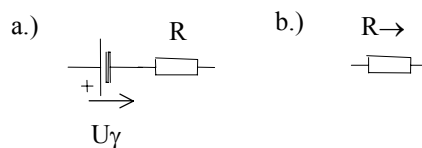
A dióda olyan félvezető elem, amely **két** különbözőképpen szennyezett rétegből tevődik össze (P és N rétegek).

A félvezető dióda, a bekötésétől függően, az áramot az egyik irányban átengedi, a másik irányban lezárja. Ebből kiindulva megrajzolhatjuk a dióda helyettesítő ábráját is, (lásd II/1.4a.) a dióda helyettesítő ábrája:

Áteresztő irányban (U_{γ} - a nyitófeszültség, ami Ge alapú diódánál $\approx 0,2[V]$, Si alapú diódánál pedig $\approx 0,7[V]$; R- pedig a dióda ellenállása).

Záróirányban, (II/1.4b. ábra) a dióda egy végtelen nagyságú ellenállással helyettesíthető.

II/1.4. ábra



A diódák legáltalánosabb felhasználási területei:

- egyenirányítás (Graetz bekötés, ...)

- kapcsolás (gyors elektronikus kapcsolók, ...)
- feszültség stabilizálás (Zener diódák, ...)
- elektromos hangolás (kapacitásdiódák, ...)

3.1 A megadott kapcsolási rajz alapján (II/1.5a. ábra) számolja ki az egyes ágakban folyó áramokat, figyelembe véve, hogy D_1 Ge, D_2 Si dióda a következő adatokkal:

D_1 : $U_{\gamma 1}=0,2[\text{V}]$, $R_{V1}=10[\Omega]$, $R=50[\Omega]$;

D_2 : $U_{\gamma 2}=0,7[\text{V}]$, $R_{V2}=15[\Omega]$;

$U=5[\text{V}]$;

Ahol R_{V1} , R_{V2} a diódák vezető irányú ellenállásai és $U_{\gamma 1}$, $U_{\gamma 2}$ az egyes nyitó, ill. küszöbfeszültségek.

Megoldás:

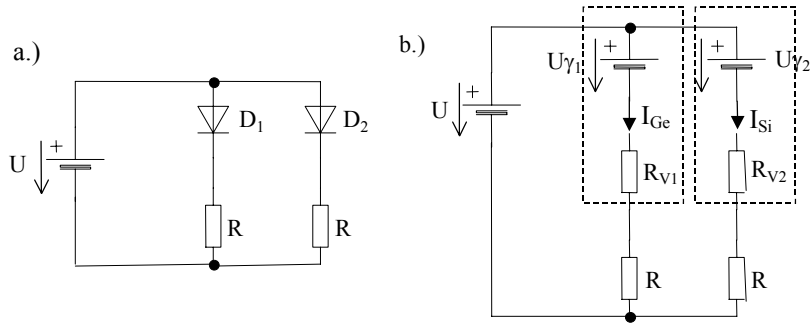
A megadott ábrából látható, hogy egy egyenáramú energiaforrásról van szó, tehát mindkét dióda átengedi az áramot. Valójában itt csak arra szeretnénk rámutatni, hogy a két különböző szubsztrátú (alapanyagú) dióda, különböző tulajdonságokkal (itt az R_V és U_γ katalógusadatokra gondolunk) rendelkezve különböző áramok (I_{Si} , I_{Ge}) átengedését eredményezik. A jobb áttekinthetőség érdekében berajzoljuk az ábrába a diódák helyettesítő ábráit (lásd II/1.5b ábra)

Felhasználva az előzőekben tanultakat az II/1.5b ábra alapján kapjuk:

$$I_{Ge} = \frac{U - U_{\gamma 1}}{R_{V1} + R} = \frac{4,8}{60} = 0,08[A];$$

$$I_{Si} = \frac{U - U_{\gamma 2}}{R_{V2} + R} = \frac{4,3}{65} = 0,066[A];$$

II/1.5. ábra

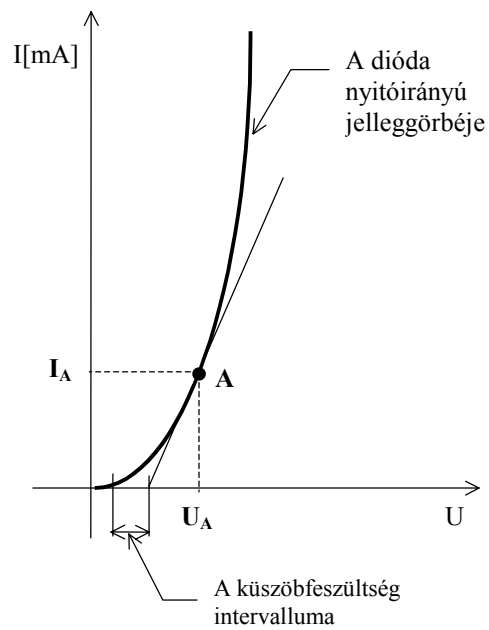


* * *

Megj.:

Az egyes küszöbfeszültségek nem statikus jellegűek, hanem egy bizonyos intervallumon belül a terheléssel változnak, ezért adjuk meg csak az általánosan használt középértéket.

II/1.6. ábra



A dióda nyitóirányú jelleggörbéje matematikailag a következő összefüggéssel közelíthető meg:

$$I = I_0 \cdot (e^{\frac{U}{k \cdot U_T}} - 1) \quad (*^1)$$

Ahol U_T a termikus feszültség, ami normál hőmérsékleten 26[mV].

k – egy konstans, és $D_{(Ge)} \Rightarrow k=1$, $D_{(Si)} \Rightarrow k=2$,

A dódáknál megkülönböztetünk egyenáramú, (R_f) és váltakozó áramú, vagy differenciális, (r_f) ellenállásokat. Ha kiválasztunk a dióda jelleggörbéjén egy pontot, (ami lehet a dióda munkapontja is, lásd II/1.6 ábra), akkor az adott (A) ponthoz tartozó egyenáramú ellenállás:

$$R_A = \frac{U_A}{I_A};$$

A differenciális ellenállást egy bizonyos intervallumban számoljuk, pl. ha a feszültségünk egy ΔU_A , az áramunk egy ΔI_A tartományban mozog, akkor a differenciális ellenállás:

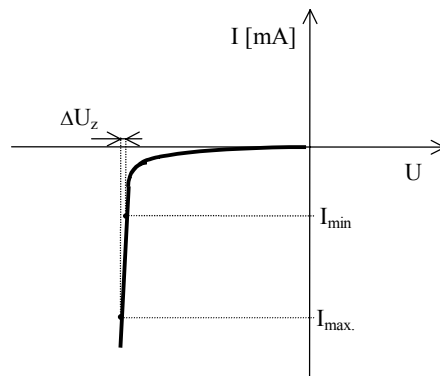
$$r_f = \frac{\Delta U_A}{\Delta I_A};$$

Figyelem: A fentírt ellenállások a jelleggörbe minden pontján különbözőek!

A stabilizáló (*Zener*) diódák a jelleggörbe záróirányú tulajdonságain alapszanak. Ezt használják ki a feszültség stabilizálására (lásd II/1.7 ábra). Itt a számunkra (példákhoz szükséges) lényeges katalógusadatok az $I_{max.}$, $I_{min.}$ és U_z zénerfeszültségre vonatkoznak. Az $I_{max.}$ és $I_{min.}$ között a Zener dióda még képes megtartani az adott zénerfeszültséget.

¹ Valójában a jelleggörbe 3 szakaszra osztható, mindegyik szakasznak megvan a maga matematikai képlete, ez a „*¹”-gal jelölt a nyitófeszültségtől jobbra levő szakaszra vonatkozik.

II/1.7. ábra

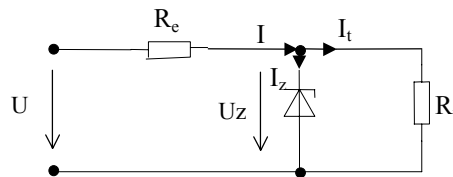


3.2 Egy 50[V] feszültségre szabályzó Zenerdióda árama (5÷40) [mA] között mozoghat. A belépő feszültségünk $U \approx 200$ [V]. (Lásd II/1.8. ábra)

1.) Határozzuk meg az R_e előtét-ellenállás értékét, ha a terhelőáramunk (I_t) a 0-tól maximumig mozoghat.

2.) Miután beállítottuk az R_e nagyságát, és tudjuk, hogy a terhelőáram nagysága $I_t = 25$ [mA], mi az a feszültséghatár, ami között a bemenő feszültségünk mozoghat?

II/1.8. ábra



Megoldás:

1.) Az előtét-ellenállást úgy állítjuk be, hogy amennyiben lekapcsoljuk az R_t terhelést az áramkörrel, akkor se terheljük túl a zenerdiódát. Vagyis a csomóponti törvény értelmében ($I = I_z + I_t$) és annak tudatában, hogy $I = \text{konstans}$, mivel $U_z = \text{konstans}$, az $I_{z_{\max}} = 40$ [mA] akkor lesz, ha az $I_t = 0$, vagyis ha nincs terhelésünk. Ennek alapján R_e az Ohm törvényből:

$$I = \frac{U - U_z}{R_e} \Rightarrow R_e = \frac{U - U_z}{I} = 3,75 [\text{K}\Omega];$$

2.) Miután beállítottuk az előtét-ellenállásunkat ($R_e=3,75[\text{K}\Omega]$) és stabilizáltuk a terhelő áramunkat $I_t=25[\text{mA}]$ -re. Kiszámoljuk, hogy milyen értékek között mozoghat a bemenő feszültségünk, ahol még a stabilizáló hatás érvényesül.

Ha változik a bemenő feszültségünk, változik az I áram is. Ezen változások intervallumát az $I_{z_{\max}}$, ill. $I_{z_{\min}}$ segítségével tudjuk kiszámolni a csomóponti törvény alapján.

$$a.) I_{\min}=I_{z_{\min}}+I_t=5+25=30[\text{mA}];$$

$$U_{\min}=U_z+I_{\min}\cdot R_e=50+112,5=162,5 [\text{V}];$$

$$b.) I_{\max}=I_{z_{\max}}+I_t=40+25=65[\text{mA}];$$

$$U_{\max}=U_z+I_{\max}\cdot R_e=50+243,75=293,75 [\text{V}];$$

Tehát az U bemenő feszültségünk $[162,5\div 293,75][\text{V}]$ -os intervallumban mozoghat.

* * *

3.3 A megadott adatok alapján, számolással válassza ki, hogy a három stabilizáló dióda közül melyik felel meg az adott kapcsolásba úgy, hogy a dióda stabilizáló hatása még érvényesüljön. (Kapcsolás, lásd II/1.8. ábra).

Adatok: bemenő feszültség ingadozása $U=(250\div 350)[\text{V}]$;
 $R_e=3[\text{K}\Omega]$; $R_t=0,8[\text{K}\Omega]$; $U_z=50[\text{V}]$;

A katalógus alapján megadott három zenerdióda $I_{z_{\min}}$ és $I_{z_{\max}}$ adatai:

$$a.) I_z=[3,9\div 38] [\text{mA}];$$

$$b.) I_z=[4,1\div 37,5] [\text{mA}];$$

$$c.) I_z=[4,5\div 39,5] [\text{mA}];$$

Megoldás: ($I_z=[4,16\div 37,5] [\text{mA}]$).

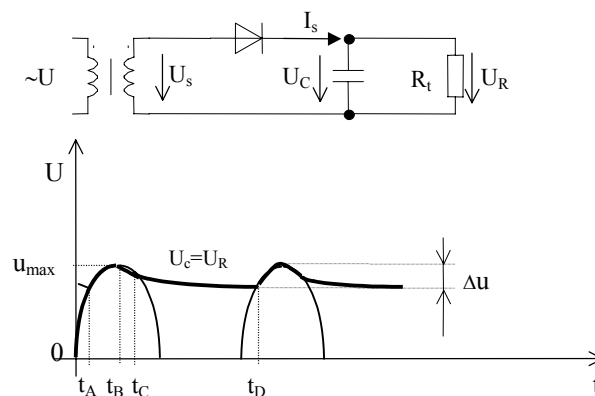
* * *

Egyenirányítás, simítás, szűrés

Az egyenirányításnál általában a váltakozó feszültségek kiszűrésére szűrőköröket alkalmaznak. Ez nem más, mint egy **RC**-szűrőlánc. A legegyszerűbb szűrő egy kondenzátorból (C) áll, amelyet a terheléssel (R_t) párhuzamosan kapcsolunk (lásd II/1.9. ábra). Amikor az egyutas egyenirányító átereszt és a transzformátor u_s szekunder feszültsége nő, a terhelő ellenállásra és a C szűrőkondenzátorra az egyenirányítón (dióda) át rákapcsolódik az u_s feszültség. A terhelő ellenálláson a feszültséggel fázisban lévő, a kondenzátorban 90° -kal siető töltőáram folyik. Mindkettőt a transzformátor szolgáltatja, tehát az árama: $i_s = i_R + i_C$, a t_A - t_B idő alatt. A feszültségmaximum t_B időpillanata után a feszültség csökkenése miatt a kondenzátor kezd kisülni. A feszültség csökkenése egyre nagyobb mértékű, tehát az i_C kisütőáram is nő, és a terhelést a t_B - t_C idő alatt a transzformátor és a kondenzátor közösen táplálják. A t_C időpontban a kondenzátor kisütőárama eléri a terhelőáram értékét, a transzformátor nem ad áramot: $i_s = 0$, $i_R = i_C$.

A transzformátor feszültségének további csökkenése miatt a kondenzátor még nagyobb kisütőáramot adna, és visszatáplálná töltését a transzformátor felé, ha az egyenirányítóba nem ütközne ez a visszáram. Az egyenirányító azonban nem engedi visszafolyni ezt az áramot, emiatt a kondenzátor és a transzformátor közötti kapcsolat megszűnik és a kondenzátor, a kisülésnek megfelelő exponenciális görbe alapján, a terhelésen keresztül kisül (lásd: kondenzátor kisütése). A t_D időpont után a transzformátor ΔU_A feszültsége a kondenzátor feszültsége fölé nő, tehát újra kezdődik a töltés, helyreáll a kapcsolat a transzformátor és a kondenzátor között, és a t_A - t_D idő alatt lejátszódott jelenségek ismétlődnek.

II/1.9. ábra



A gyakorlatban a szűrőkört azonban több, egymással párhuzamosan kapcsolt kondenzátorokból állítják össze, ami nagyban javítja a kimenő feszültség "simaságát", vagyis $\Delta u \rightarrow 0$, ahol Δu a feszültségingadozás az u_{\max} és t_D időpontban lévő feszültségek között. Egy adott frekvenciánál minél nagyobb a szűrőkondenzátor(ok) kapacitása és minél kisebb a terhelő áram, annál kisebb lesz a Δu maradékfeszültség is. A pufferkondenzátoros szűrőkört és működésének leírását lásd a fentemlített irodalomban [1]. (Az elektronika alapjai, II. Félvezetők, 17-18 old.)

(Megj.

Jelenleg a gyakorlatban aktív feszültség/áram stabilizátorokat használnak az egyenfeszültség/egyenáram szabályozására.)

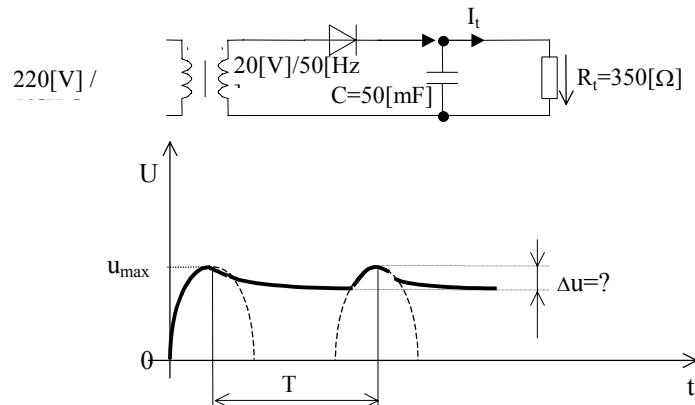
Az elméletben leírtakat nézzük meg egy példán keresztül.

(Megj.

A példáknál feltételezzük, hogy a kondenzátoraink úgy vannak méretezve, hogy valós ellenállásuk: ≈ 0 , vagyis nem számolunk a kondenzátorok impedanciáival.)

3.4 Számolja ki a Δu feszültségingadozást, a II/1.10. ábra alapján megadott adatokkal, ha a bemenő feszültségünk szinuszosan harmonikus.

II/1.10. ábra



Megj.:

A példában effektív értékekkel számolunk. A megadott feszültségek is effektív értéket képviselnek, $U_{\text{eff}}=220[\text{V}] / f=50[\text{Hz}]$.

Megoldás:

A megoldáshoz ismernünk kell a kondenzátor áramával és a kondenzátor fegyverzetén kialakult feszültséggel kapcsolatos összefüggéseket.

*

A kapacitás fogalma

A síkkondenzátor feszültsége:

$$U = E \cdot d = \frac{d}{A \cdot \epsilon_0} \cdot Q; \quad (1)$$

Ahol:

E - térerősség, d - fegyverzetek egymástól lévő távolsága, A - fegyverzetek felülete,

ϵ_0 - vákuum permitivitás, Q - töltés.

Ha az egymástól d távolságra elhelyezett A felületű lemezek helyzetét nem változtatjuk, akkor $\frac{d}{A \cdot \epsilon_0}$; állandó. Az állandókat

összevonva, a kondenzátor kapacitására vonatkozó összefüggést kapjuk:

$$\frac{A \cdot \epsilon_0}{d} = C$$

Ezt visszahelyettesítve az (1)-be kapjuk a

$$Q = C \cdot U$$

összefüggést.

Továbbá tudjuk, hogy $Q = I \cdot t$ (lásd a fejezet elején: A villamos áram).

*

A kondenzátor kisütése

Ha egy feltöltött kondenzátorra R ellenállást kapcsolunk, akkor a kondenzátor az ellenálláson keresztül kisül. A kisütőáram a

kondenzátorból táplálódik, tehát mondhatjuk azt, hogy a lemezek (fegyverzet) töltése csökken:

$$i = -\frac{u}{R} = \frac{dq}{dt} = C \cdot \frac{du}{dt}$$
$$\frac{du}{u} = -\frac{dt}{C \cdot R}$$

Integrálva:

$$\ln u = -\frac{t}{C \cdot R} + k$$

Ahol a kezdeti feltételek:

$$t=0, u=U, \text{ tehát: } \ln U = k.$$

k -t visszahelyettesítve és rendezve az egyenletet kapjuk:

$$\ln u = -\frac{t}{C \cdot R} + \ln U$$

$$\ln u - \ln U = -\frac{t}{C \cdot R}$$

$$u = U \cdot e^{-\frac{t}{C \cdot R}}$$

A kisütőáram erőssége

$$i = -\frac{u}{R} = -\frac{U}{R} e^{-\frac{t}{C \cdot R}};$$

Tehát mind a kondenzátor feszültsége, mind a kisütőáram exponenciálisan csökken.

A példában a kisütést és a töltést nem fogjuk ennyire aprólékosan számolni, mivel csak effektív értékekkel dolgozunk, tehát elmaradhatnak az integrálások is.

A kondenzátor töltési, és kisütési feszültségei, áramai

A felülírott levezetések alapján ezek után fel tudjuk rajzolni a kondenzátor töltési és kisütési jelleggörbéit, lásd II/1.11a, II/1.11b ábrákat.

A folyamatot a következőképpen írhatjuk le: egy feltöltetlen C kapacitású kondenzátorral kössünk sorba egy R ellenállást, és az egészet kapcsoljuk egy egyenáramú U feszültségforrásra.

Az első pillanatokban a töltőáram erősségét az U feszültség és a vezetékre kapcsolt R ellenállás nagysága szabja meg. Ahogy a kondenzátor töltődik, nő a feszültsége is, ami azonban ellene dolgozik a tápegység feszültségének. Így a két feszültség kezd kiegyenlítődni, ami a töltőáram csökkenését okozza. A töltés folyamata akkor fejeződik be, amikor eltűnik a tápegység és kondenzátor közötti feszültségkülönbség. A feszültséggörbe növekedését, ill. az áramgörbe csökkenését az időállandó jellemzi. Az időállandó (τ) az az idő, amely alatt a feszültség a végső értékének 63%-át eléri.

A kisütés a töltéssel ellentétes folyamat. A kisütőáram a töltőárammal ellentétesen folyik. Kezdetben nagy a kisütőáram, mert nagy a kondenzátor feszültsége. A nagy kisütőáram azt jelenti, hogy gyorsan távoznak a töltések a kondenzátorból, ez viszont azt eredményezi, hogy hirtelen csökkenni fog a kondenzátor feszültsége is. Mikor már alig van töltés a lemezeken, alig van feszültsége is a kondenzátornak. Az időállandóra itt is érvényes a 63%-os csökkenés.

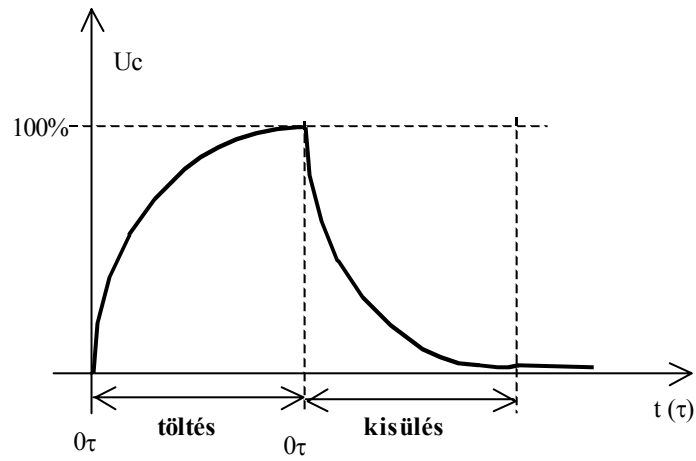
II/1.11.a ábra

A kondenzátor töltési és kisülési feszültségei:

$$\text{Töltés: } U_c = U_0(1 - e^{-\frac{t}{\tau}})$$

$$\text{Kisülés: } U_c = U_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

U_0 – töltési feszültség; U_c – kondenzátor fegyverzete között lévő feszültség; $\tau=R.C$ időállandó.



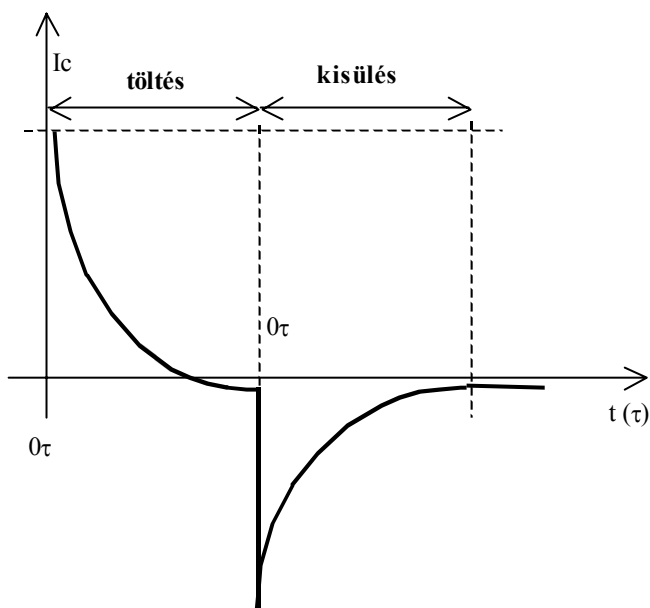
II/1.11.b ábra

A kondenzátor töltési és kisülési áramai:

$$\text{Töltés: } I_c = I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$$\text{Kisülés: } I_c = -I_0 \cdot e^{-\frac{t}{\tau}}$$

$I_0 = (U/R)$ kezdeti áramerősség; I_c – a kondenzátorban folyó áram



*

Visszatérve a példára:

- meg kell határoznunk a kisütési időt, amit az adott frekvencia periódusidejéből számítunk ki. ($T=1/f$)
- meg kell állapítanunk, hogy ezalatt az idő alatt mennyi töltés távozott a kondenzátorból. ($Q=I_{eff} \cdot T$)
- meg kell határoznunk, hogy ez a töltésmennyiség mekkora feszültségesést okozott a kondenzátor fegyverzetén. ($\Delta U=Q/C$), ami maga a válasz is egyben.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02[s] = 20[ms];$$

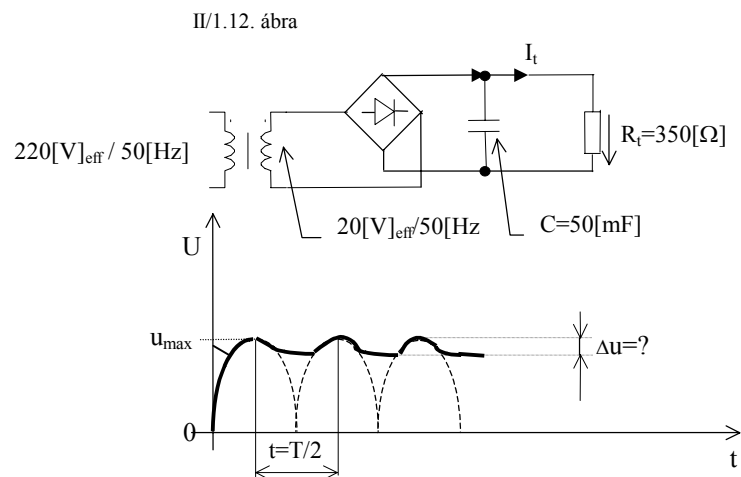
$$Q = I_{eff} \cdot T = \frac{U_{eff}}{R} \cdot T = \frac{20}{350} \cdot 0,02 = 1,142 \cdot 10^{-3} [C];$$

$$\Delta u = \frac{Q}{C} = \frac{1,142 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-3}} = 0,02284 [V] = 22,84 [mV];$$

Tehát mondhatjuk azt, hogy a kimenő feszültség ingadozása 0,114 %-os.

* * *

3.5 A 3.4-es példát oldjuk meg kétutas egyenirányítás esetén. A kétutas egyenirányításra használjunk **Graetz** - hídkapcsolást (lásd II/1.12. ábra).



Megoldás:

A kisülési időt (t) kivéve a példa nagyon hasonlít az előző esethez. Ebben az esetben ugyanis a kisülési idő nem egyezik a T periódusidővel. Mivel a kétutas egyenirányítás eredménye az abszolút érték szinusz, ebből kifolyólag a kisülési idő is a periódusidő fele lesz.

$$T = \frac{1}{f} = \frac{1}{50} = 0,02 [s] = 20 [ms];$$

$$t = T / 2 = 10 \text{ [ms]};$$

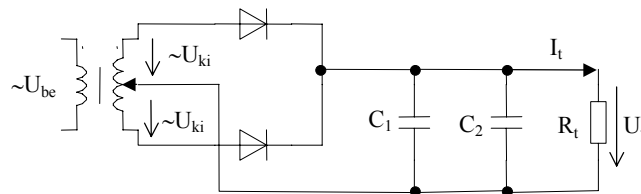
$$Q = I_{\text{eff}} \cdot t = \frac{U_{\text{eff}}}{R} \cdot t = \frac{20}{350} \cdot 0,01 = 0,5714 \cdot 10^{-3} \text{ [C]};$$

$$\Delta u = \frac{Q}{C} = \frac{0,5714 \cdot 10^{-3}}{50 \cdot 10^{-3}} = 0,01142 \text{ [V]} = 11,42 \text{ [mV]};$$

* * *

3.6 Számoljuk ki a II/1.13 ábrán megadott középvezetésű egyenirányítás szűrés utáni feszültségingadozását, ha a transzformátor szekunder tekercsén lévő feszültség pillanatnyi értéke $u_{\text{ki}} = 30 \cdot |\sin|314 \cdot t \text{ [V]}$, kondenzátorok kapacitása $C_1 = 30 \text{ [mF]}$, $C_2 = 20 \text{ [mF]}$ a terhelő áramunk pedig $I_{\text{t eff.}} = 30 \text{ [mA]}$.

II/1.13. ábra



Megj.:

A példa megoldásához ismerni kell a középvezetésű egyenirányítás működését, a pillanatnyi értékek megadási módját ($u_p = u_{\text{max}} \sin \omega t$), és a kondenzátorok soros/párhuzamos kapcsolásával összefüggő képleteket. Továbbá vegyük figyelembe, hogy effektív értékekkel számolunk.

($\Delta u = 6 \text{ [mV]}$).

* * *

Bipoláris tranzisztorok

Olyan félvezető elem, amely **három** különbözőképpen szennyezett rétegből tevődik össze. A rétegek sorrendje alapján ismerünk **PNP**, és **NPN** tranzisztorokat.

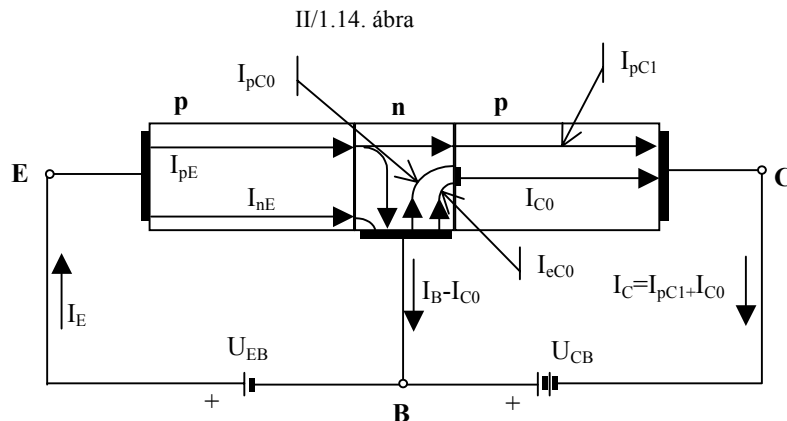
Alapvető tulajdonságaik: erősítés, gyors elektronikus kapcsolás, áram/fesz. stabilizálás.

Legáltalánosabb felhasználási területeik

- áram/feszültség erősítő áramkörök
- kapcsoló áramkörök (digitális ák. alapjai)
- feszültség, ill. áram stabilizálás

A tranzisztor működési elve

A végbemenő folyamatok áttekintésének megkönnyítése érdekében ábrázoljunk egy PNP tranzisztort úgy, hogy látható legyen a két PN átmenet. Továbbá az egyik PN átmenetre áteresztő irányú, a másikra pedig záró irányú feszültséget kapcsolunk. Lásd II/1.14. ábra.



A nyitott (emitter) átmeneten át a középső tartományba áram folyik, amelynek értéke

$$I_E = I_0 \cdot (e^{\frac{qU_C}{kU_T}} - 1);$$

Ami, ha figyelmesen megnézzük, nem más, mint a diódán átfolyó áram értéke [lásd II/1.6 ábra (*)]. Ez az áram a P és N tartomány lyuk- és elektronáramaiból tevődik össze, vagyis:

$$I_E = I_{pE} + I_{nE}.$$

Továbbá az N tartományba hatoló lyukak elérhetik a második (lezárt) átmenetet, ha az N-tartomány vastagsága a lyukak *diffúziós hosszánál* jelentősen kisebb. A kollektort elérő lyukakat a kollektorátmenet nagy térerőssége magához vonzza. Ennél fogva a kollektoráram:

$$I_C = I_{C0} + I_{pC1}$$

(*Megj.:*

Diffúziós hossz – az a közepes táv, amit a kisebbségi töltéshordozók megtesznek a teljes rekombinációig).

Érthető, hogy minél nagyobb az emitterátmenet lyukáramú összetevője (I_{pC1}), az emitteráramnak annál nagyobb része jut a kollektor körébe. Az emitterátmeneten áthaladó lyukáramnak a teljes áramhoz való viszonya az emitter hatékonyságát jellemzi (α - erősítési tényező).

A tranzisztoros példákkal kapcsolatban csak a bipoláris tranzisztorokkal fogunk foglalkozni, itt is nagyrészt a **munkapont** körüli területtel, és beállításával.

A munkapont az elektronikus kapcsolás egy megadott üzemi állapotához tartozó paraméterek összessége, amely a vezérlés hatására egy -a kapcsolás által meghatározott- görbén/egyenesen (munkagörbe/**munkaegyenes**) mozog. A vezérlésmentes esethez tartozó munkapontot **nyugalmi munkapontnak** nevezzük. (Példáinkban többnyire ezt fogjuk számolni.). Az erősítőeszköznek ezt az állapotát a *munkapont beállító áramkör* hozza létre, amely a tápforrást és ellenállásokat tartalmaz. A vele szemben támasztott követelmények a következők:

- biztosítsa a nyugalmi munkapont állandó értékét
- feleslegesen ne terhelje a vezérlőgenerátort (bemenő jel előállítás)

- lehetőleg egy tápforrást igényeljen
- teljesítse a tervező különleges előírásait (pl.: minimális legyen a torzítás és a zajtényező.)

Ezekből is látható, hogy a munkapont beállítás egy összetett műszaki feladat.

A tranzisztorokkal kapcsolatban használt leggyakoribb paraméterek áttekintése.

Tab.II/1.1. Erősítési tényezők
(Ahol a szivárgási áramokat elhanyagoljuk)

	Közös emmiterű	Közös bázisú
Egyenáramú	$B = \frac{I_C}{I_B} = (20 \div 500)$	$A = \frac{I_C}{I_E} = \frac{B \cdot I_B}{I_B \cdot (1 + B)} =$ $= \frac{B}{1 + B} = (0,95 \div 0,995)$
Váltakozó áramú	$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B};$	$\alpha = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_E};$

A táblázatban említetteken kívül találkozhatunk még a tranzisztor különböző matematikai modelljeivel (*Hibrid* modell, *Ebers-Moll* modell, *Admittációs* modell ...etc) kapcsolatban emlegetett erősítési tényezőkkel, mint pl.: h_{21} , (h_{FE}), ami a tranzisztor hibrid modelljével kapcsolatos, és nagyjából megfelel a β -nak.

Továbbá nézzük meg a közös emmiterű kapcsolás néhány jellegzetes értékeit NPN tranzisztornál.

Megj.:

sat – (szaturáció) a telítettségi állapotra vonatkozó adat.

akt. – az aktív tartományra vonatkozó adat.

Si – szilícium alapú tranzisztor, Ge – germánium alapú tranzisztor.

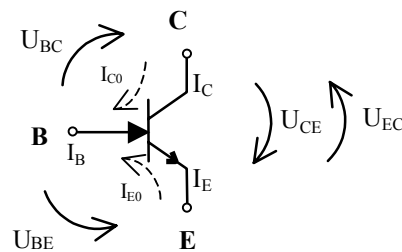
A Tab.II/1.2. táblázat a nyitó feszültségekre (U_{BE} , U_{γ}), ill. a U_{CE} kimenő feszültségre vonatkozó adatokat tartalmazza.

Tab. II/1.2. Az általános tranzisztor feszültségei aktí és szaturációs (telítettségi) állapotban.

	U_{CE} (SAT)	U_{BE} (SAT)	U_{BE} (AKT)
$T_{(Si)}$	0,2 [V]	0,8 [V]	0,65 [V]
$T_{(Ge)}$	0,1 [V]	0,3 [V]	0,2 [V]

A továbbiakban nézzük meg egy NPN tranzisztorban értelmezett feszültségek és áramok irányát, lásd II/1.15. ábra.

II/1.15. ábra



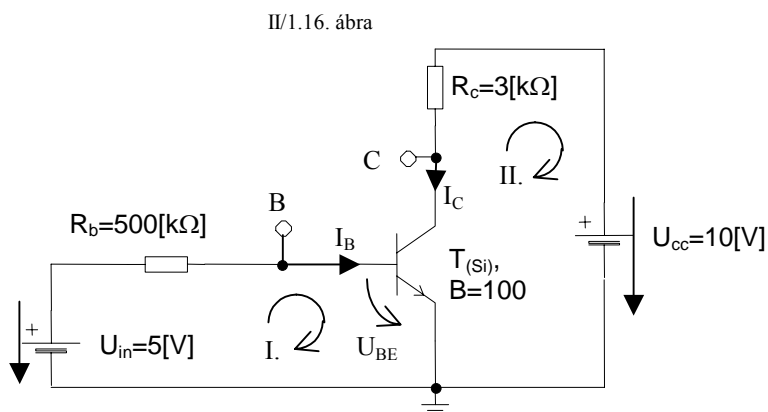
Egy NPN tranzisztor munkaponti jellemzői:
(Természetesen csak megközelítőleges értékekkel)

TAB.II/1.3. Megközelítőleges értékhatárok: $T_{(Si)}$

U_{BE}	0,65 .. 0,85 [V]
I_B	0,1[μ A] .. 100 [mA]
U_{CE}	2 .. 50 [V]
I_C	10 [μ A]..10[A]

Nézzük meg a legegyszerűbb munkapontbeállítást a következő példán.

3.7 Állítsuk be a következő adatokkal rendelkező tranzisztor (T_{Si}) munkapontját és a munkaponti értékeket rajzoljuk be a tranzisztor bemenő, illetve kimenő jelleggörbéibe. Lásd II/1.16. ábra.



Megj.:

A példa megoldásánál figyelembe kell venni az U_{BE} feszültséget, ami a T_{Si} (Szilícium alapú) tranzisztoroknál legyen 0,65[V]. Az áramkört most úgy rajzoltuk, hogy lehessen látni a hurkokat, I.,II., de a továbbiakban, a gyakorlatban használt formát fogjuk használni (lásd II/1.18. ábra). Vizsgálni fogjuk a B és C mérőpontokban lévő feszültségeket, ill. áramokat.

Megoldás:

1. Az I. hurokból a huroktörvény segítségével kiszámoljuk az I_B áramot.

$$-U_{in} + U_{Rb} + U_{BE} = 0 ;$$

$$-U_{in} + I_B \cdot R_b + U_{BE} = 0 \Rightarrow$$

$$I_B = \frac{U_{in} - U_{BE}}{R_b} = \frac{5 - 0,65}{500[k\Omega]} = 0,0087[mA];$$

Megállapítottuk, hogy a **B** pontban folyó áram $0,0087[mA]$, és tudjuk, hogy ebben a pontban lévő feszültség a földeléshez képest $0,65[V]$ (katalógusadat). A **B**-erősítési tényező segítségével kiszámoljuk az I_C áramot, majd a **C** pontban lévő feszültséget.

2. Az I_C áram nagysága az erősítés alapján:

$$I_C = B \cdot I_B = 0,87 [mA] ;$$

3. A **C** pontban lévő feszültség, a földeléshez képest (U_{CE}) a II. hurok alapján:

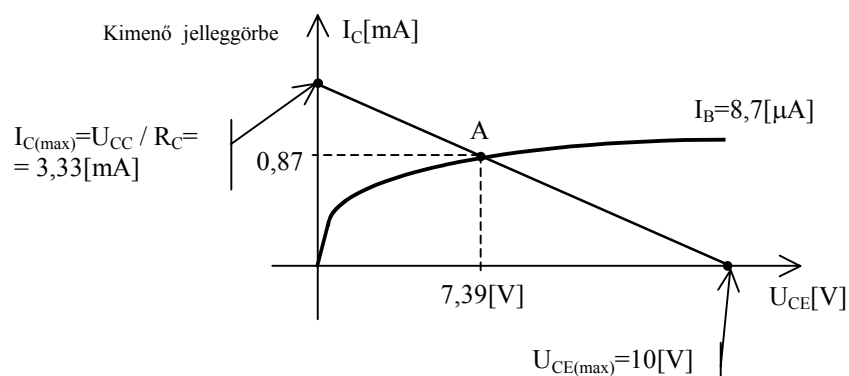
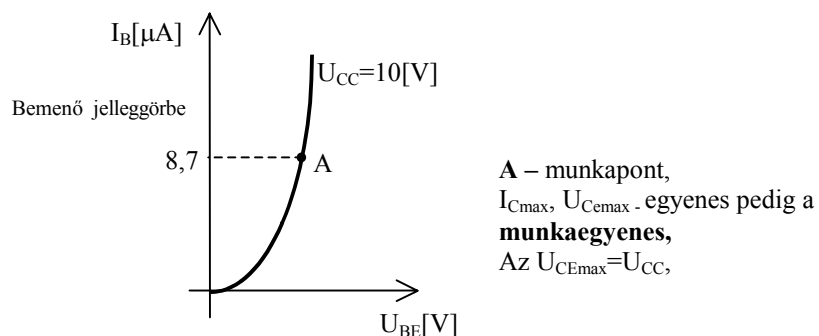
$$-U_{CE} - U_{RC} + U_{CC} = 0;$$

$$U_{CE} = U_{CC} - U_{RC} = U_{CC} - I_C \cdot R_C = 10 - (0,87[mA] \cdot 3[k\Omega]) = 7,39[V];$$

4. Nézzük meg, hogy a kiszámolt adatok hol szerepelnek a tranzisztor jelleggörbéiben.

Lásd II/1.17.ábra

II/1.17.ábra



Megj.:

Tudjuk, hogy a munkapont (A) a munkaegyenesen mozog. A munkaegyenes két végpontját megkapjuk, ha:

1. ha a kimenő áramkört rövidre zárjuk =>

$$I_{C\text{max}} = \frac{U_{CC}}{R_C};$$

2. ha a kimenő áramkör feszültségét terhelés nélkül mérjük =>

$$U_{CE\text{max}}=U_{CC};$$

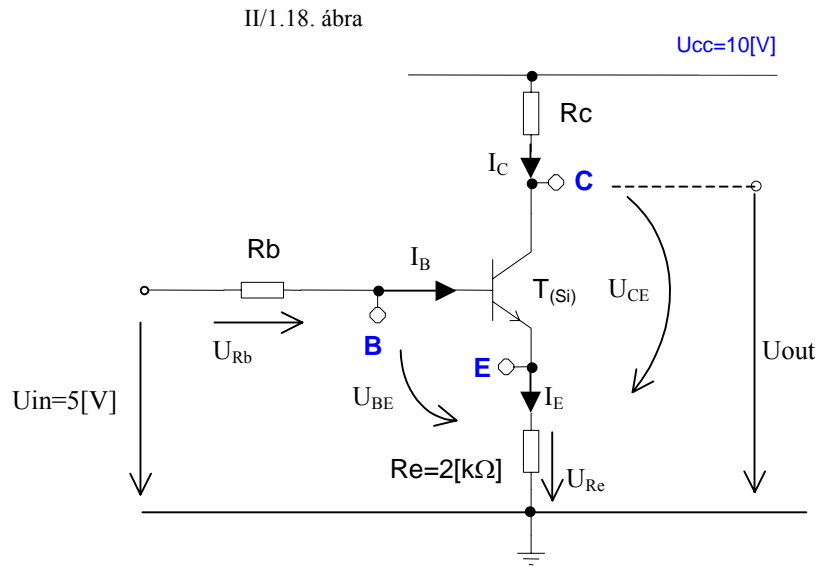
Továbbá meg tudjuk határozni a kiszámolt adatokból a tranzisztor feszültség-, (A_U), ill. áramerősítését (A_I).

$$A_U = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{U_{CE}}{U_{in}} = \frac{7,39}{5} = 1,478;$$

Az A_I áramerősítés adott volt a B áramerősítési tényezővel.

* * *

3.8 Vizsgáljuk meg a 3.7 – ben megadott példát arra az esetre, ha az emitter áramkörbe beiktatunk egy $2[\text{k}\Omega]$ - os ellenállást.
Lásd II/1.18. ábra.



Legyen a feladat az U_{out} , kimenő feszültség meghatározása. A feladat megoldása annyiban változik az előző feladattól, hogy a I. hurok egyensúlyegyenletének felírásánál figyelembe kell vennünk az R_e ellenálláson eső U_{Re} feszültséget. A feladat megoldásának menete nem változik.

Figyelem, az U_{CE} feszültség ebben az esetben már nem egyenlő az U_{out} kimenő feszültséggel. Az U_{out} a C- pont és a földelés között van, az U_{CE} , a C- pont és az E-pont között.

Megoldás:

1. A bázisáram (I_B) nagyságának meghatározása.

$$-U_{in} + U_{Rb} + U_{BE} + U_{Re} = 0 ;$$

$$U_{Re} = I_E \cdot R_e = (I_B + I_C) \cdot R_e = (I_B + B \cdot I_B) \cdot R_e = I_B \cdot (1 + B) \cdot R_e ;$$

$$U_{Rb} = I_B \cdot R_b ;$$

$$I_B = \frac{U_{in} - U_{BE}}{R_b + R_e \cdot (1 + B)} = \frac{5 - 0,65}{500[k\Omega] + 202[k\Omega]} = 6,19[\mu A];$$

2. A kollektoráram (I_C).

$$I_C = B \cdot I_B = 0,619 [mA] ;$$

3. A C- pontban lévő feszültség a földponthoz képest (ami nem más mint az U_{out} kimenő feszültség):

$$U_{out} = U_{CC} - I_C \cdot R_c = 10[V] - 0.619[mA] \cdot 3[k\Omega] = 8,143[V];$$

4. Az I_E – emitteráram nagysága és az R_e ellenálláson eső U_{Re} feszültség:

$$I_E = I_B + I_C = 0,625[mA] ;$$

$$U_{Re} = I_E \cdot R_e = 1,25[V] ;$$

5. A C és E pontok közötti U_{CE} feszültség:

$$U_{CE} = U_{out} - U_{Re} = 6,892[V] ;$$

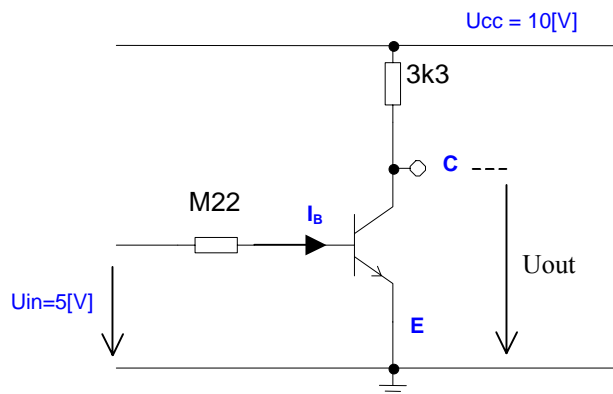
A példát végigszámolva láthattuk, hogy a kimenő feszültségünk nem sokban változott az előző esethez (3.7 példa) képest, viszont az emitter ellenállás a tranzisztor munkapontjának stabilitása szempontjából nagy szerepet játszik azokban az esetekben, ahol a tranzisztor melegevése által okozott munkaponti csúszásokat szeretnék kiküszöbölni. Ugyanis, vezérlési szempontból tekinthetjük ezt a kapcsolást egy **negatív visszacsatolásnak**. A rövid működési folyamat: a tranzisztor melegedésével nő az I_C kollektoráram, ezáltal az I_E is (változik az R_e ellenálláson eső feszültség), ami

magával vonzza az U_{BE} csökkenését (visszaszabályoz). Ezt **lineáris munkapont stabilizálásnak** nevezik.

* * *

3.9 Számoljuk ki a II/1.19. ábra alapján megadott szilícium alapú tranzisztorban folyó áramokat, ha a tranzisztor áramerősítési tényezője, $\beta=100$, és a szivárgási áram $I_{C0}=20$ [nA]. A számolás eredménye alapján győződjünk meg arról, hogy a tranzisztorunk melyik tartományban dolgozik. ($U_{BE}=0,65$ [V]).

II/1.19. ábra



Megj.:

A gyakorlatban gyakran használatos az ellenállás értékeinek az ábrán látható módon történő megadása. Itt a betű valójában a tizedesvesszőt helyettesíti, vagyis $M22=0,22$ mega-ohm, ami 220 [k Ω].

Megoldás:

A tranzisztor kapcsolásából látjuk, hogy a tranzisztor áteresztő irányban van polarizálva, tehát nyitott. ($U_{in}>0,65$ [V]).

Tételezzük fel, hogy a tranzisztorunk az aktív tartományban dolgozik. Ekkor a bemenő áramkörre érvényes a következő összefüggés:

$$-U_{in} + I_B \cdot R_B + U_{BE} = 0 ;$$

Ebből:

$$I_B = \frac{U_{in} - U_{BE}}{R_B} = \frac{5 - 0,65}{220[k\Omega]} = 1,97 \cdot 10^{-5} [A];$$

Továbbá, mivel látjuk, hogy $I_{C0} \ll I_B$, ennél fogva I_{C0} -át elhanyagolhatjuk, és a kollektoráramra érvényes:

$$I_C = \beta \cdot I_B = 1,97 \cdot 10^{-3} [A];$$

Végül győződjünk meg arról, hogy a példa elején megadott feltevés helyes-e, vagyis, hogy a tranzisztorunk valóban az aktív tartományban dolgozik-e.

Megj.:

TAB.II/1.4 A tranzisztor működési tartományai (npn tranzisztor):

Normál aktív	Inverz aktív	Telítési	Lezárási
$U_{BE} > 0$ ($U_{EB} < 0$)	$U_{BE} < 0$	$U_{BE} > 0$	$U_{BE} < 0$
$U_{BC} < 0$ ($U_{CB} > 0$)	$U_{BC} > 0$	$U_{BC} > 0$	$U_{BC} < 0$

Erről úgy győződjünk meg, hogy a kiszámolt adatok alapján ellenőrizzük a tranzisztor elektródái között lévő feszültségeket és összehasonlítjuk az eredményt a TAB.II/1.4 tartalmával.

A tranzisztor feszültségeire érvényes a következő összefüggés, ($U_{CB} + U_{BE} \cong U_{CE}$): =>

$$-U_{CC} + I_C \cdot R_C + U_{CB} + U_{BE} = 0;$$

Ahonnét:

$$U_{CB} = U_{CC} - I_C \cdot R_C - U_{BE} = 2,86 [V];$$

A TAB II/1.4. táblázatból és a kiszámolt U_{CB} értékből látjuk, hogy a tranzisztorunk valóban az aktív tartományban dolgozik. Az R_C ellenállás növelésével a tranzisztorunk a telítettségi tartományba jut, vagyis, $U_{CB} < 0$.

Gyakorlásképpen számoljuk ki:

- Milyen R_C értéknél éri el a tranzisztor a telítettségi állapotot,
- U_{out} kimenő feszültség nagyságát!

* * *

A továbbiakban olyan példákat fogunk számolni, ahol a bemenő feszültséget feszültségosztó segítségével állítjuk be. Ezeknél a példákknál nagy előnyt jelent a **Norton-Thevenin** féle behelyettesítés használata.

A Norton-Thevenin generátor elméletével nem foglalkozunk, mindjárt egy példa kapcsán mutatjuk be a behelyettesítés lényegét.

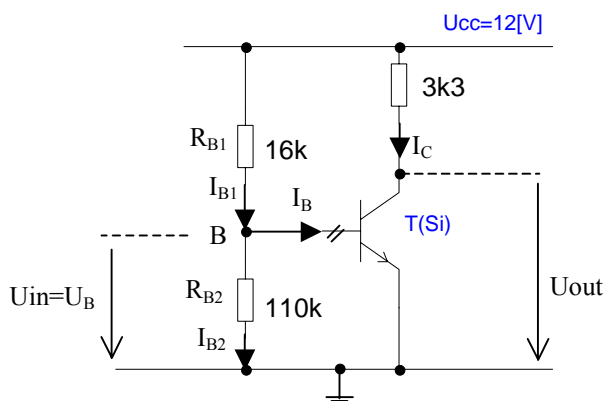
3.10 A megadott kapcsolási rajz alapján (lásd II/1.20 ábra) számolja ki a tranzisztor nyugalmi munkaponti értékeit:

- a.) klasszikus módszerrel
- b.) Norton-Thevenin behelyettesítéssel

A tranzisztorunk egy szilíciumtranzisztor, $U_{BE}=0,65[V]$ nyitófeszültséggel, $B=80$ erősítési tényezővel.

Megoldás:

II/1.20. ábra



a.)

1. Kiszámoljuk a **B** pontban lévő feszültséget, (ami nem más, mint a tranzisztor bázisának **előfeszítése**) úgy, mintha az ábrán a „//” jelzett helyen szakadás volna. Itt arra vagyunk kíváncsiak, hogy a tranzisztorunk előfeszítése eléri-e a nyitófeszültséget, azaz $U_B > (?) 0,65[V]$.

Az ábrából látjuk, hogy az R_{B1} és R_{B2} ellenállások egy feszültségosztót alkotnak. Ennek alapján számoljuk ki az U_B feszültséget.

$$U_B = \frac{U_{CC} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{12[V] \cdot 110[k\Omega]}{(16 + 110)[k\Omega]} = 10,476[V];$$

Látjuk, hogy $U_B > 0,65[V]$, tehát meghaladja a nyitófeszültséget. Ez azt engedi feltételezni, hogy amennyiben a szakadást összekötjük, a tranzisztorunk valószínűleg az aktív tartományban fog működni. A további számításokkal ezt vizsgáljuk majd. Figyelembe kell venni, hogy amikor a szakadást összekötjük, a **B** pontban a feszültség a nyitófeszültség környékére esik. Ennek segítségével ki tudjuk számolni az I_B áramot az I_{B1} és I_{B2} áramok segítségével.

2. Az ábrából látjuk, hogy:

$$I_B = I_{B1} - I_{B2}$$

$$I_{B1} = \frac{U_{CC} - U_B}{R_{B1}} = \frac{12 - 0,65}{16[k\Omega]} = 0,709[mA];$$

$$I_{B2} = \frac{U_B}{R_{B2}} = \frac{0,65}{110[k\Omega]} = 0,0059[mA];$$

$$I_B = I_{B1} - I_{B2} = 0,7031[mA];$$

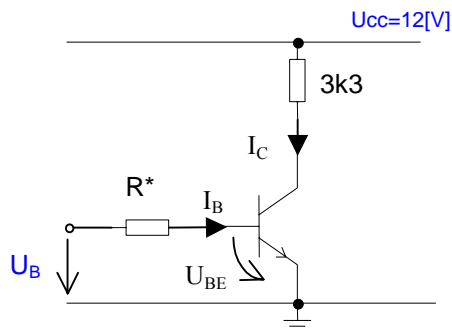
3. Amennyiben I_{C0} -át elhanyagoljuk:

$$I_C = B \cdot I_B = 56,248 [mA] .$$

b.)

1. Megrajzoljuk a II/1.20. ábra Norton-Thevenin féle helyettesítő kapcsolását, lásd II/1.21. ábra.

II/1.21. ábra



2. Kiszámoljuk az U_B értékét az előzőekhez hasonlóan, $U_B = 10,476[V]$,

3. Behelyettesítjük az R^* értéket, ami nem más mint az $R_{B1} \times R_{B2}$, párhuzamos kombinációja

$$R^* = \frac{R_{B1} \cdot R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = \frac{16 \cdot 110}{16 + 110} = 13,968[k\Omega];$$

4. Kiszámoljuk az I_B -t, mint a klasszikus esetekben.

$$I_B = \frac{U_B - U_{BE}}{R^*} = \frac{10,476 - 0,65}{13,968[k\Omega]} = 0,7034[mA];$$

5. Amennyiben I_{C0} -át elhanyagoljuk:

$$I_C = B \cdot I_B = 56,277 [mA];$$

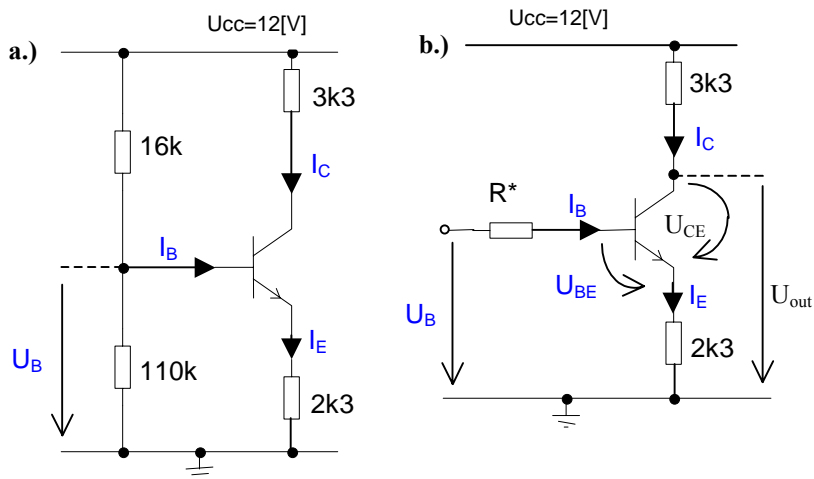
Mondhatjuk, hogy az eredmények mindkét esetben megegyeznek. (Az esetleges eltéréseket a kerekítési hibáknak lehet vélni.)

További gyakorlásként számoljuk ki az U_{out} kimenő feszültség nagyságát.

* * *

3.11 A megadott kapcsolási rajz alapján (lásd II/1.22a. ábra), számolja ki a tranzisztor nyugalmi munkaponti értékeit. Tranzisztorunk egy szilíciumtranzisztor $U_{BE}=0,65[V]$ nyitófeszültséggel, és $B=30$ erősítési tényezővel.

II/1.22.ábra



Megoldás:

A megoldást a Norton-Thevenin módszer segítségével kapjuk.

1. Megrajzoljuk a helyettesítő ábrát, lásd II/1.22b. ábra.
2. Kiszámoljuk az U_B feszültséget (feszültségosztó).

$$U_B = \frac{U_{CC} \cdot 110[k\Omega]}{126[k\Omega]} = 10,476[V];$$

3. Kiszámoljuk az R^* nagyságát:

$$R^* = \frac{16 \cdot 110}{16 + 110} = 13,968[k\Omega];$$

4. Kiszámoljuk az I_B nagyságát:

$$I_B = \frac{U_B - U_{BE}}{R^* + R_E(1 + B)} = \frac{10,476 - 0,65}{13,968 + 2,3(30 + 1)[k\Omega]} = 0,115[mA];$$

5. Kiszámoljuk az I_C nagyságát:

$$I_C = B \cdot I_B = 30 \cdot 0,115 = 3,457[mA];$$

Gyakorlásképpen számolja ki az I_E áram nagyságát, az U_{CE} feszültséget, és az U_{out} kimenő feszültséget.

* * *

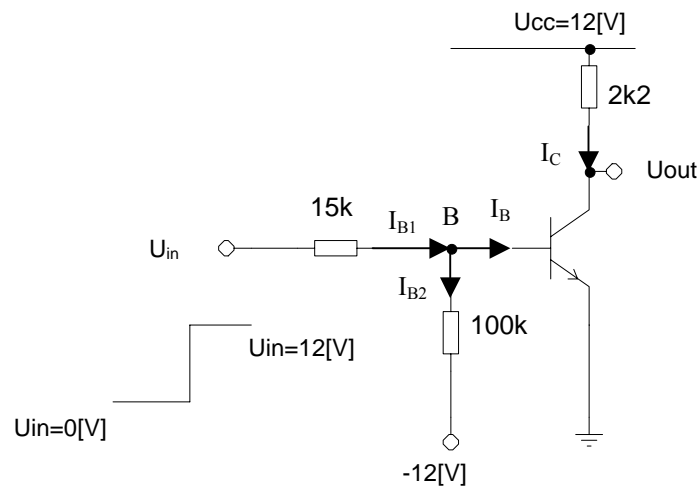
A továbbiakban azt vizsgáljuk meg, hogy hogyan dolgozik a tranzisztor a kapcsoló üzemmódban.

3.12 A II/1.23. ábra alapján állapítsuk meg a tranzisztor kimenő feszültségeit, ha a bemenő feszültségünk:

- a.) 0 [V],
- b.) 12 [V].

A tranzisztorunk egy szilíciumtranzisztor, $h_{21}=30$ áramerősítési tényezővel, és $U_{BE}=0,65[V]$, nyitófeszültséggel.

II/1.23. ábra



Megj.:

Megfigyelhetjük, hogy a bázisfeszültség beállításánál mínusz értékeket is használunk. Az ábrából ki tudjuk következtetni, hogy amikor az U_{in} bemenő feszültségünk $0[V]$ lesz, a bázisunk negatív feszültséggel lesz előfeszítve. Ez azért van, mert ha megfigyeljük a tranzisztor jelleggörbéit, azokból látszik, hogy $0[V]$, bázisfeszültségnél a kollektoráramkörben még folyik valami kis áram (a termikus feszültség miatt). Ha azt szeretnénk, hogy ne folyjék semmilyen áram a kimenő áramkörben, akkor a tranzisztor bázisát (a földhöz képest) negatív feszültséggel, kell előfeszíteni (Lásd. A tranzisztorban folyó áramok). Tudjuk, hogy a kapcsoló üzemmódban a tranzisztor egy vezérelt kapcsolóként működik, ahol a vezérlést a bázisfeszültséggel (ill. bázisárammal) végezzük. Ennek alapján, a tranzisztor kimenetén vagy **minimális** a feszültség (a tranzisztor a **telítettségi** tartományban működik), vagy **maximális**, - ami egyenlő U_{CC} -, (a tranzisztor a **lezárási** tartományban dolgozik).

Megoldás:

I/1. A feszültségosztó segítségével kiszámoljuk a B pontban lévő feszültséget az $U_{in} = 0[V]$ esetre:

$$U_B = -12 \cdot \frac{15[k\Omega]}{(100 + 15)[k\Omega]} = -1,565[V];$$

I/2. Látjuk, hogy a tranzisztorunk negatívan van előfeszítve, $U_{BE} < 0$. A TAB.II/1.4 alapján, a tranzisztorunk a lezárási tartományban dolgozik.

Amennyiben a tranzisztort el tudjuk képzelni egy kapcsolónak, akkor ez az állapot egy szétkapcsolt kapcsolónak felel meg, vagyis a kimenet U_{out} nincs összekötve a földdel, csak az U_{CC} tápfeszültséggel. A kimeneten lévő feszültségünk tehát megegyezik az U_{cc} tápfeszültséggel, vagyis:

$$U_{out} = U_{CC} = 12[V].$$

II/1. A feszültségosztó segítségével kiszámoljuk a B pontban lévő feszültséget az $U_{in} = 12[V]$ esetre:

$$U_B = 12[V] - \left(\frac{24[V] \cdot 15[k\Omega]}{115[k\Omega]} \right) = 8,869[V];$$

*Látjuk, hogy a tranzisztorunk a földhöz képest pozitívan van előfeszítve. Most a tranzisztorunk egy **bekapcsolt kapcsolónak** felel meg. (Teljesen nyitott állapotban a tranzisztor ellenállása minimális, de nem nulla, ebből adódik az $U_{CE(sat)} = 0,2[V]$, Lásd TAB.II/1. 2.)*

II/2. Tételezzük fel, hogy a tranzisztorunk a telítettségi tartományban dolgozik. A TAB II/1.2-ből tudjuk, hogy a szilícium alapú tranzisztornál $U_{CE(sat)} = 0,2[V]$ és $U_{BE(sat)} = 0,8[V]$ a telítettségi tartományban. Ennek alapján ki tudjuk számolni a tranzisztor $I_{C(sat)}$ áramát, amit majd a későbbiekben az I_B és a h_{21} tényezőik segítségével ellenőrizzük.

$$I_C(\text{sat}) = \frac{U_{CC} - 0,2}{2,2[k\Omega]} = 5,363[mA];$$

Az előző példából szintén tudjuk, hogy amennyiben nincs az emitterkörben ellenállásunk, akkor az U_{CE} feszültség egyben a kimenő feszültség is. Vagyis, egyben megvan a kimenő feszültségünk is az $U_{in}=12[V]$ esetre:

$$U_{out} = U_{CE} = 0,2[V];$$

II/3. Ellenőrizzük a feltevéseket: számoljuk ki a valós I_B áramot (az I_{B1} ill. I_{B2} segítségével), majd a h_{21} tényező segítségével ellenőrizzük az $I_C(h_{21})$ áramot:

$$I_{B1} = \frac{12[V] - 0,8[V]}{15[k\Omega]} = 0,746[mA];$$

$$I_{B2} = \frac{0,8[V] - (-12)[V]}{100[k\Omega]} = 0,128[mA];$$

$$I_B = I_{B1} - I_{B2} = 0,618[mA];$$

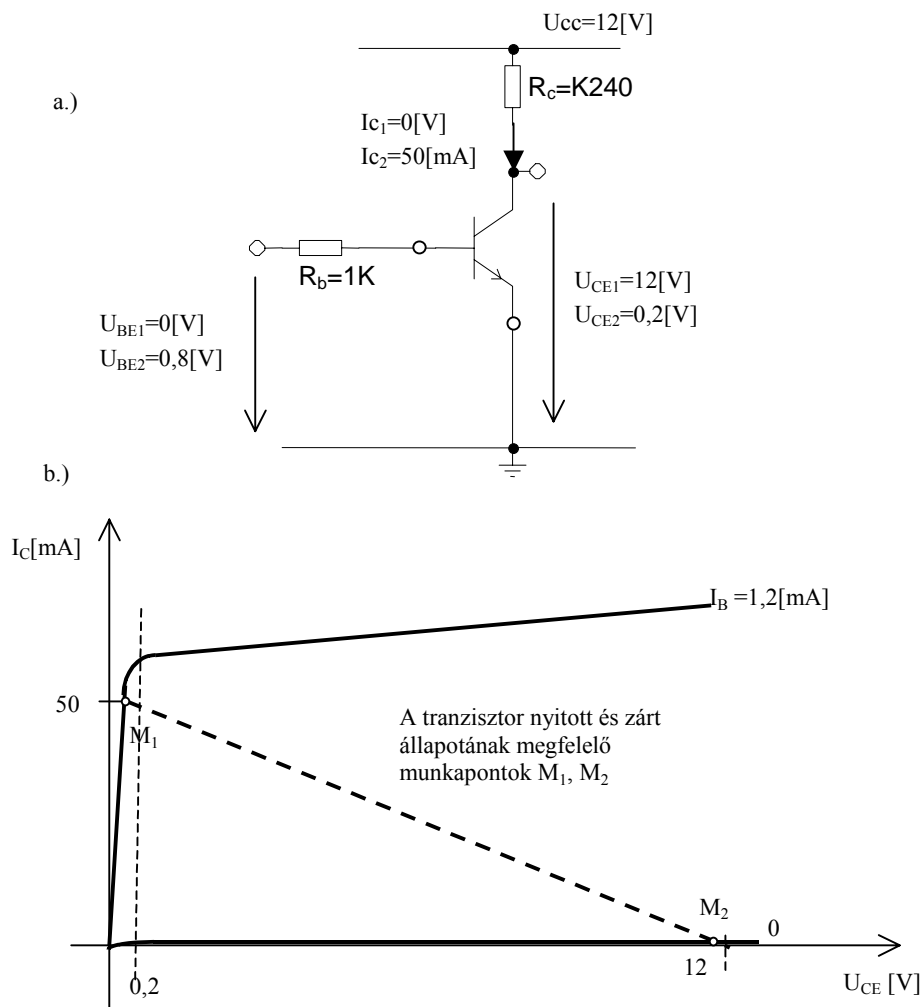
$$I_C(h_{21}) = h_{21} \cdot I_B = 18,54[mA];$$

A megoldásból látjuk, hogy a tranzisztor telítettségi állapotához szükséges $I_C(\text{sat})$ áramunk jóval kisebb, mint a tranzisztor erősítési tényezőjének segítségével kapott $I_C(h_{21})$ áramunk. Tehát a tranzisztorunk bizonyítottan **a telítettségi tartományban** fog dolgozni.

Végeredményként kimondhatjuk, hogy a bemenő és a kimenő feszültségek szempontjából a tranzisztorunk egy 12[V]-os logikával működő **inverter**. (A digitális technikában nagy szerepük van a tranzisztorokból összeállított logikai, „diszkrét” áramköröknek).

* * *

II/1.24. ábra



3.13 Gyakorlásképpen az előző példához hasonlóan ellenőrizzük a II/1.24a. ábrán megadott példa adatait. A II/1.24b. ábrán pedig látjuk a tranzisztor kimenő jelleggörbéjén, hogy hogyan kapjuk a kimenő feszültségeket.

* * *

Túlvezérlési tényező

A tranzisztor biztonságos kapcsolásának érdekében a t túlvezérlési tényezővel felszorozott bázisáramot választják. Így a kellően nagy bázisárammal túlvezérelt tranzisztor elektronikus kapcsolóként használható. A vezető állapotba kapcsolt tranzisztor kollektor-emitter szakaszára csak az $U_{CE(SAT)}$ telítési feszültség jut. A bázis ellenállása (R_b) a bemeneti feszültségtől (U_{in}), valamint az U_{BE} (bázis-emitter) és I_B biztonságos átkapcsolásához szükséges értéktől függ.

A számoláshoz szükséges képletek:

1. A legnagyobb megengedhető kollektoráram:

$$I_{c \max} = \frac{U_{cc} - U_{CE(SAT)}}{R_c};$$

2. A legkisebb bázisáram:

$$I_{B \min} = \frac{I_{C \max}}{B_{\min}}; \quad I_B = t \cdot I_{B \min};$$

valamint:

$$I_B = \frac{t \cdot I_{C \max}}{B_{\min}};$$

3. Amennyiben alapkapcsolásról beszélünk, (Lásd II/1.19. ábra) akkor a bázisellenállásra (R_b) és a rajta eső feszültségre (U_{Rb}) érvényes összefüggések:

$$U_{Rb} = U_{in} - U_{BE} = I_B \cdot R_b;$$

$$U_{Rb} = \frac{t \cdot I_{C \max}}{B_{\min}} \cdot R_b;$$

$$U_{in} - U_{BE} = \frac{t \cdot I_{C \max}}{B_{\min}} \cdot R_b;$$

$$R_b = \frac{(U_{in} - U_{BE}) \cdot B_{\min}}{t \cdot I_{C \max}};$$

Ahol: R_c – kollektor köri (terhelő) ellenállás, B – erősítési tényező, U_{in} – bemenő feszültség, U_{CC} – tápfeszültség.

*

Néhány, gyakran használatos tranzisztor katalógusadatai:

TAB II/1.5

A tranzisztorok adatai				
Jellemzők	BC 548	BCY 58	BSY 95A	2N22 22
$U_{CE(SAT)}$ [V]	0,09	0,12	0,35	0,4
$U_{BE(SAT)}$ [V]	0,9	0,9	0,87	1,3
I_{cmax} [A]	0,1	0,2	0,1	0,8
B_{min}	150	120	50	100
B_{max}	-	220	200	-
P_v [mW]	500	1000	300	500

3.14. A BDY 20 típusú tranzisztort ($U_{BE(SAT)}=1,1[V]$, $U_{CE(SAT)}=1,8[V]$, $I_{cmax}=15[A]$, $B=20..70$), alapkapcsolásban kapcsolótranzisztorként használják. A túlvezérlési tényező, $t=2$. A tápfeszültség $U_{cc}=24[V]$, a bemeneti feszültség $U_{in}=4,8[V]$. Számítsuk ki milyen kollektor (R_c) és bázisellenállás (R_b) szükséges a kapcsolásba.

Megoldás:

A kollektorellenállás nagysága:

$$R_c = \frac{U_{cc} - U_{CE(SAT)}}{I_{C \max}} = \frac{24 - 1,8}{15} = 1,48[\Omega];$$

A bázisellenállás nagysága:

$$R_b = \frac{(U_{in} - U_{BE}) \cdot B_{\min}}{t \cdot I_{C \max}} = \frac{(4,8 - 1,1) \cdot 20}{2 \cdot 15} = 2,47[\Omega];$$

* * *

3.15. A BSY 95A típusú tranzisztoros kapcsolóval (Lásd TAB II/1.5), $U_{cc}=12[V]$ feszültségen jelfogót kapcsolnak. A bemeneti feszültség $U_{in}=4[V]$, $t=3$. Számolja ki a legnagyobb bázisellenállás és a legkisebb terhelő ellenállás (R_c) értékét.

* * *

3.16. A 2N2222 típusú tranzisztornak (Lásd TAB II/1.5), $50[\Omega]$ ellenállású, és $24[V]$ névleges feszültségű jelfogót kell működtenie akkor, ha a tranzisztor bemenetére legalább $4[V]$ feszültség jut. A bázisköri ellenállás $50[\Omega]$, a tápfeszültség $24[V]$. Határozza meg a túlvezérlési tényezőt és győződjön meg arról, hogy a tranzisztor kollektorárama és legnagyobb teljesítményvesztése alkalmas-e a feladat megoldására.

* * *

A tranzisztor kapcsoló üzemmódja után tegyünk említést a tranzisztor első fontos tulajdonságáról, az erősítésről. Itt, eltekintve azoktól a fontos alapkérdésektől (erősítő alapkapcsolások, erősítő áramkörök: többfokozatú erősítők, teljesítményerősítők, egyenfeszültség erősítők, ...), amik a fejezet elején említett [1] irodalomban megtalálhatók. Olyan dolgokat említenék csak meg, amik az említetteken kívül, a gyakorlatban és a példák további megoldásában még fontosak lehetnek.

Az erősítők osztályozása a nyugalmi munkapont és a kivezérlés ismeretében

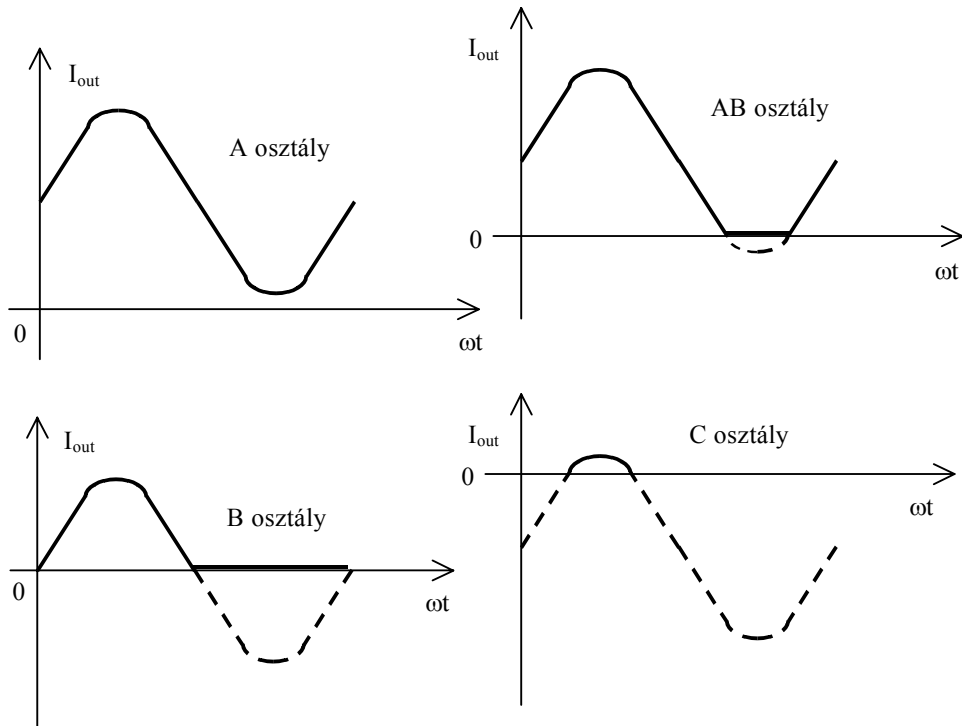
Mint azt tudjuk, a bementi áramkör valamelyik paraméterét változtatva, a munkapontunk a munkaegyenesen mozog. Ez a folyamat a vezérlés. Mivel a tápforrás (U_{CC}) csak egyirányú áramot szolgáltat, így a kimeneti kör árama is egyirányú lesz., vagyis a kimeneti áram a vezérlés hatására a megállapított nyugalmi munkaponti értékhez (M) képest nő vagy csökken. (Ha szükséges, az egyenáramú összetevők leválaszthatóak kondenzátorok segítségével, ekkor csak a vezérlés hatására létrejött változások érvényesülnek a kimeneten.)

Erősítők osztályozása

(lásd II/1.25. ábra)

Alapjában véve megkülönböztetünk: **A, AB, B, és C (D)** osztályú erősítőket. Ezeknek az erősítőknek a működését akkor tudjuk legjobban elképzelni, ha egy szinuszos bemenő jellel vezéreljük az erősítőt és figyeljük a kimenetet:

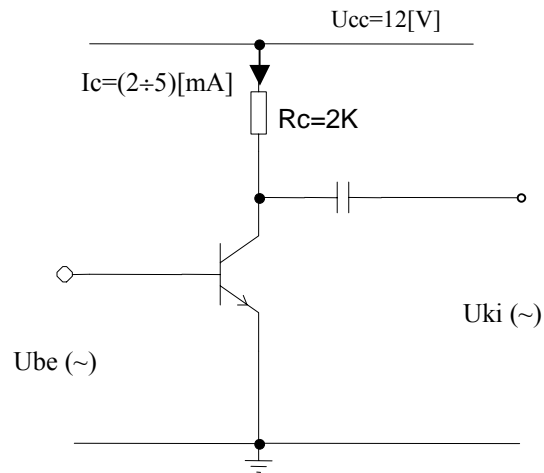
II/1.25. ábra



- 1.) **A** osztályú erősítő: egészében erősíti a bemenő jelet, tehát ugyanúgy a pozitív, mint a negatív félhullámot.
- 2.) **AB** osztályú erősítő: a negatív félhullám egy részét levágja, és nem erősíti.
- 3.) **B** osztályú erősítő: az egész negatív félhullámot levágja.
- 4.) **C** osztályú erősítő: még a pozitív félhullám egy részét is levágja.
- 5.) Megemlíthető még a **D** osztályú erősítő is, amikor a munkapont valójában a kimenő szinusz csúcspontjára (vagy fölé) kerül. Ez a túlvezérlés és ez valójában nem más, mint a tranzistor kapcsoló üzeme.

3.17 Határozzuk meg, hogy szinuszos vezérlés esetén mekkora lehet az ábrán látható kapcsolás kimeneti jelfeszültsége! Lásd II/1.26. ábra

II/1.26.ábra



Megoldás:

Ahogy a II/1.26 ábrából látható a kollektoráramunk $2[mA]$ és $5[mA]$ között mozog. Kiszámoljuk a két szélső nyugalmi munkapontra az értékeket, és abból megállapítjuk a torzításmentes kivezérelhetőség nagyságát.

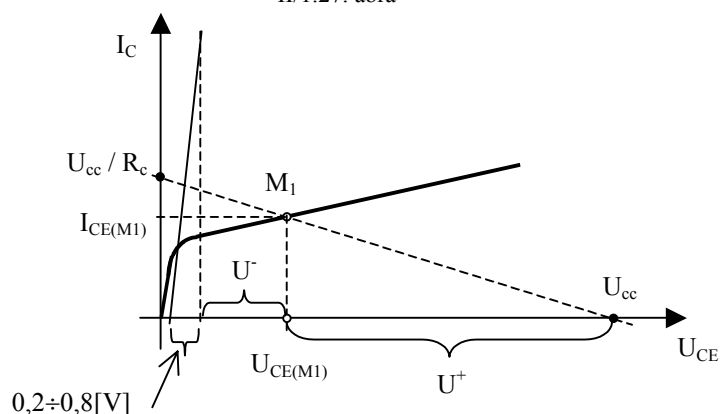
A kollektoráram alapján a kimenő munkaponti feszültségek:

$$U_{CE(M1)} = U_{CC} - I_{C1} \cdot R_C = 12[V] - (2[mA] \cdot 2[K\Omega]) = 8[V];$$

$$U_{CE(M2)} = U_{CC} - I_{C2} \cdot R_C = 12[V] - (5[mA] \cdot 2[K\Omega]) = 2[V];$$

A kivezérelhetőség megvilágítása érdekében lásd II/1.27. ábra

II/1.27. ábra



Pozitív irányba a kivezérelhetőség:

$$U_{-1}^+ = U_{CC} - U_{CE(M1)} = 4[V] ;$$

$$U_{-2}^+ = U_{CC} - U_{CE(M2)} = 10[V] ;$$

Negatív irányba a kivezérelhetőség:

$$U_{-1}^- = U_{CE(M1)} - U_M = 8 - 0,6 = 7,4[V] ;$$

$$U_{-2}^- = U_{CE(M2)} - U_M = 2 - 0,6 = 1,4[V] ;$$

Ahol U_M a maradékfeszültség, ami szilícium alapú tranzisztoroknál $(0,2 \div 0,8)[V]$ közé esik. Lásd II/1.27. ábra.

A maximális kivezérelhetőséget, ami a torzítatlan kimenő jelet illeti, akkor kapjuk, ha a pozitív (U^+), és a negatív (U^-) irányú kivezérelhetőségek minimumát vesszük. Tehát a mi esetünkben a pozitív és negatív irányokban a torzítatlan kivezérelhetőségek:

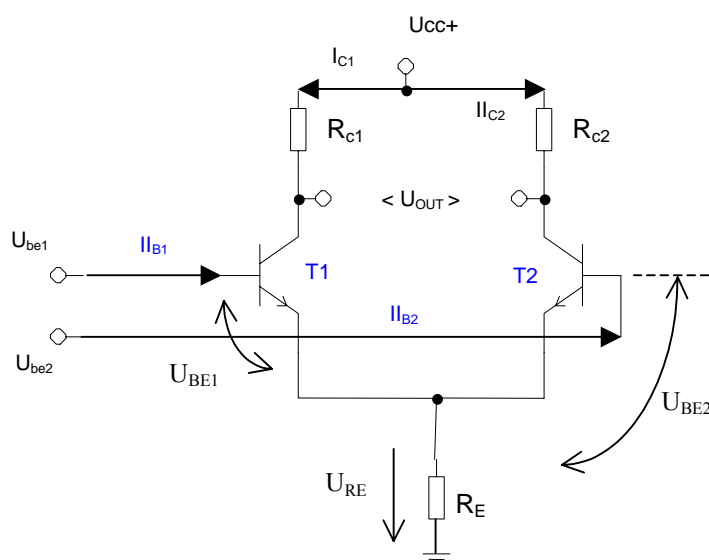
$$U^+ = 4[V] ;$$

$$U^- = 1,4[V] ;$$

Differenciálerősítők

Az erősítők egy külön csoportját alkotják, hisz alapbeállításban két bemenettel rendelkeznek. Alapvető tulajdonságuk, hogy a két bemenetre érkezett feszültségek *különbségét* erősítik fel. Legáltalánosabb kapcsolása, mikor két erősítőfokozat van egy közös emitterellenálláson (R_E) összekapcsolva (közös módusú üzem) ahol a két bázis a két bemenet, a kollektorokon levett feszültségek, pedig a kimenő feszültséget adják. További jelentőségük, hogy ezek a kapcsolások alkotják a *műveleti erősítők (ME)* bemenő áramkörét. A II/1.28. ábrán nézzük meg a differenciálerősítőben folyó áramokat és a hozzájuk tartozó feszültségeket.

II/1.28. ábra



A tranzisztor *hibrid modelljének* segítségével vizsgáljuk meg a differenciálerősítő működését. A hibrid modellben a h_{21} – az erősítési tényező, a h_{11} – pedig a nyitott bemenet *bemenő impedanciája*. A többi tényező az ábrából világosan látszik.

Felírva a kollektoráramokat, kapjuk:

$$i_{C1} = h_{21} \cdot I_{B1} = h_{21} \cdot \frac{U_1 - U_{RE} - U_{BE1}}{h_{11}},$$

$$i_{C2} = h_{21} \cdot I_{B2} = h_{21} \cdot \frac{U_2 - U_{RE} - U_{BE2}}{h_{11}},$$

Továbbá felírhatjuk az R_{C1} és R_{C2} ellenállásokon eső feszültségeket:

$$U_{RC1} = R_{C1} \cdot i_{C1} = R_{C1} \cdot h_{21} \cdot \frac{U_1 - U_{RE} - U_{BE1}}{h_{11}},$$

$$U_{RC2} = R_{C2} \cdot i_{C2} = R_{C2} \cdot h_{21} \cdot \frac{U_2 - U_{RE} - U_{BE2}}{h_{11}},$$

Ezek után a kimenő feszültségeink:

$$U_{ki1} = U_{CC} - U_{RC1},$$

$$U_{ki2} = U_{CC} - U_{RC2},$$

$$U_{out} = U_{ki2} - U_{ki1},$$

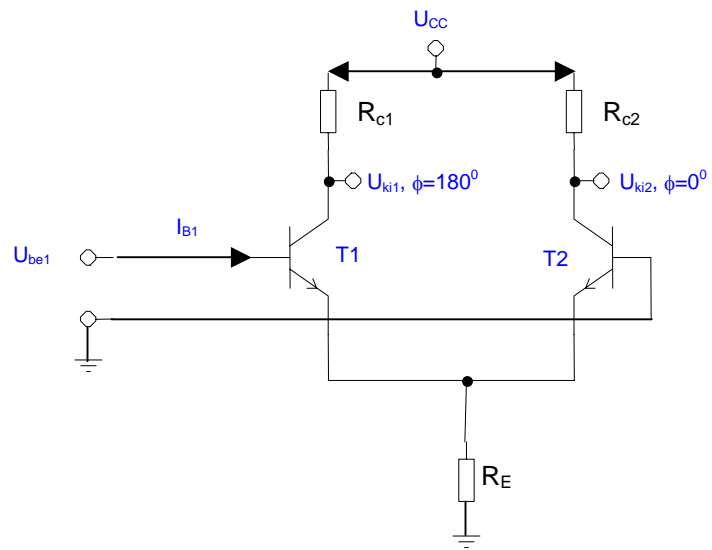
Továbbá ha feltételezzük, hogy a két tranzisztor egyforma (paramétereik megegyeznek), és $R_{C1} = R_{C2} = R_C$, akkor az U_{out} , kimenő feszültségre kapjuk:

$$U_{out} = R_C \frac{h_{21}}{h_{11}} \cdot (U_2 - U_1),$$

Ahol az $A = R_C \frac{h_{21}}{h_{11}}$, tényező az erősítést adja meg.

Abban az esetben, ha csak egy bemeneten akarunk erősítést létrehozni, akkor a másik tranzisztor bázisát a „föld”-re kötjük. Ekkor viszont a kimeneti jel fázisa (ϕ) attól függ, hogy melyik tranzisztor kollektoráról vesszük le a kimenetet. Lásd II/1.29. ábra.

II/1.29. ábra



* * *

2. Műveleti erősítők

Napjaink elektronikájának egyik legelterjedtebb eszköze. Belső kapcsolása aránylag összetett, ezért részletesebben nem is foglalkozunk vele. Mi, mint felhasználók, azt keressük, hogy mire hasznosítható. Természetesen azért annyit illik tudni, hogy belső kapcsolásuk révén „kifelé” kitűnő tulajdonságokkal rendelkeznek. A műveleti erősítő (ME) definíciója az lehetne, hogy: *olyan, legalább négypólusú áramkör, aminek a bemenete mindig szimmetrikus, a kimenete a felhasználástól függően szimmetrikus vagy aszimmetrikus.*

Legáltalánosabb felhasználási területei

Itt azt kell mondanunk, hogy az analóg technikában és a mérés technikában szinte nincsen olyan alkalmazás, ahol ne találkoznánk velük.

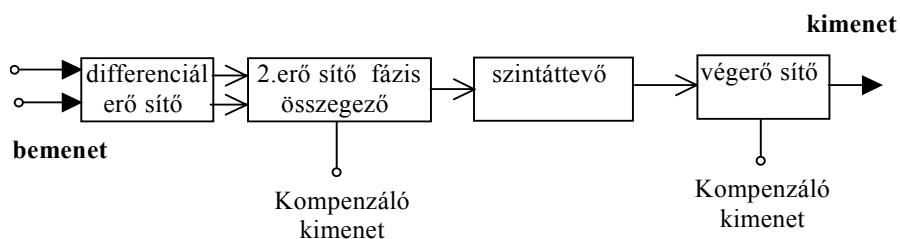
A továbbiakban talán a legelterjedtebbeket próbáljuk kiemelni:

- analóg műveleti áramkörök (összegző –D/A átalakítók-, kivonó, deriváló és integráló áramkörök)
- összehasonlító áramkörök, - komparátorok-,
- jelátalakító áramkörök, (mérés technika)
- alul/felül áteresztő szűrő áramkörök,
- nem lineáris elektronikus áramkörök (logaritmikus erősítő,) ...

Működési elve, tulajdonságai, paramétere

A műveleti erősítőket differenciálerősítőnek is nevezik, mert a bemenő áramköre nem más, mint egy differenciálerősítő és a továbbiakban ennek az erősítőnek vannak a tulajdonságai, úgy mond „feljávítva”. A belső felépítés blokkábráját lásd a II/2.1. ábrán.

II/2.1. ábra



Az ábrán egy egyszerűbb ME belső blokkábráját látjuk. Az egyes részekhez még hozzá lehet tenni:

- differenciál erősítő (lásd előző)
- fázisösszegező: a szimmetrikus és aszimmetrikus átmenetknél keletkező veszteségek kompenzálása. (Szimmetrikus: a diff. erősítő mindkét irányba erősít, aszimmetrikus: csak egyik irányba erősít)
- szintáttevő: a láncba kapcsolt erősítő fokozatoknál a munkapontok eltolódnak, csökken a tranzistorok kivezérrelhetősége, ennek elkerülése érdekében a lánc bizonyos fokozatán szinteltolást végeznek
- végerősítő: kimenő fokozat, feszültséggenerátor, impedanciaátalakító

Már az egyes blokkok funkciójából is adódnak a ME legfontosabb tulajdonságai: Lásd Tab. II/2.1.

Tab.II/2.1.

	Ideális ME	Valós ME
Erősítési tényező (A)	∞	$\approx 10^6$
Bemeneti ellenállás (R_{be})	∞ [Ω]	$\approx 1..1000$ [$M\Omega$]
Kimeneti ellenállás (R_{ki})	0 [Ω]	≈ 10 [Ω]
Alsó határfrekvencia (f_{min})	0 [Hz]	0 [Hz]
Felső határfrekvencia (f_{max})	∞ [Hz]	≈ 100 [MHz]
Kimeneti zajfeszültség (U)	0 [V]	≈ 3 [μV]

A ME működését az egyes kapcsolások erősítésének matematikai modellje alapján ismerjük majd meg.

A levezetésekhez szükséges előismeretek: bemeneti szimmetrikus feszültség (U_{beS}), bemeneti szimmetrikus áramok (I_p, I_n), virtuális földpont (X). Jelentésüket, lásd II/2.3 ábra.

*

Visszacsatolt erősítők (átviteli tényezők)

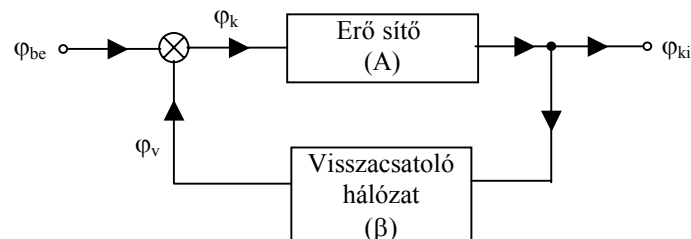
Az erősítőknél gyakran előfordul, hogy a kimeneti jel arányos része visszajut a bemenetre. Itt kétféle fogalomról beszélhetünk:

- visszahatás: nem tervezett visszajutása a kimeneti jelnek
- visszacsatolás: a kimeneti jel tudatos visszacsatolása a bemenetre.

A kimenetről visszajutott jel a bemenő (vezérlő) jellel algebrailag összegeződik, és amennyiben a két jel egymás hatását erősíti a visszacsatolás **pozitívnak** mondható, ellenkező esetben (gyengítik egymást) pedig **negatívnak**.

A visszacsatolás elve: (lásd II/2.2. ábra)

II/2.2. ábra



A visszacsatolt erősítő erősítésének (A_u) levezetése:

$$A_u = \frac{\varphi_{ki}}{\varphi_{be}},$$

A visszacsatolt erősítő átviteli tényezője:

$$A = \frac{\varphi_{ki}}{\varphi_k},$$

A visszacsatoló hálózat átviteli tényezője:

$$\beta = \frac{\varphi_v}{\varphi_{ki}},$$

A visszacsatolt rendszer bemenetére (a különbségképzés értelmében) felírható:

$$\varphi_k = \varphi_{be} - \varphi_v,$$

Így az egész rendszer átviteli tényezőjére felírható:

$$A_u = \frac{A}{1 + A.\beta}, \quad (*)$$

Ahol,

$$\begin{aligned} F = 1 + A.\beta & \text{ a visszacsatolás mértéke, és} \\ H = A.\beta & \text{ a hurokerősítés.} \end{aligned}$$

*

Pozitív visszacsatolás

A φ_v - visszacsatolt jel a φ_{be} - bemenő (vezérlő) jellel összeadódik, tehát $A_v > A$, és a visszacsatolás mértéke és hurokerősítése ebben az esetben a (*) alapján:

$$F = \frac{A}{A_u} < 1,$$

és,

$$H = A.\beta < 0,$$

Egy új helyzet keletkezik abban az esetben, ha a pozitív visszacsatolás hurokerősítése,

$$H = A \cdot \beta = -1 ,$$

Ekkor ugyanis a (*) tört nevezője nulla, vagyis $A_u \rightarrow \infty$, ami azt jelenti, hogy bemeneti jel nélkül is van kimeneti jelünk. Ezt az állapotot *gerjedésnek* nevezik, ami az erősítőknél nem kívánatos jelenség, de a rezgőköröknél (oszillátorok) viszont a rezgéskeltésre nagyon alkalmas.

*

Negatív visszacsatolás

Mivel a φ_v kivonódik a φ_{be} vezérlőjelből, $\Rightarrow A_u < A$. Ezekből a visszacsatolás mértéke és a hurokerősítés:

$$F = \frac{A}{A_u} > 1,$$

és

$$H = A \cdot \beta > 0,$$

Megj.:

A „ $H = A \cdot \beta = 0$ ” feltétel teljesülésekor az erősítő visszacsatolása megszűnik.

*

Invertáló (negatívan visszacsatolt) ME

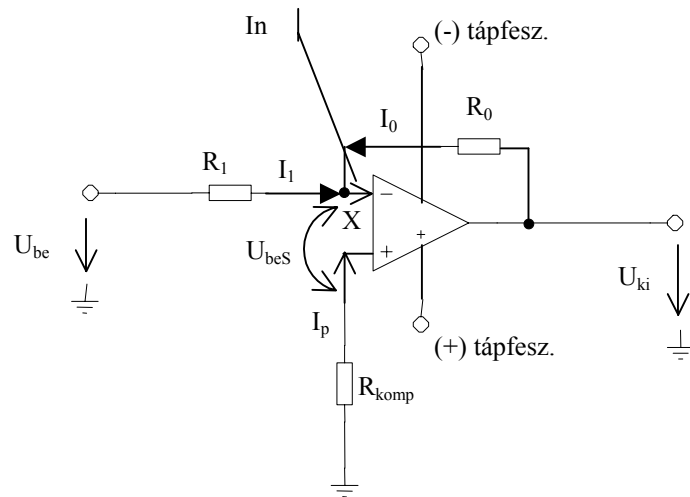
3.18 Vezessük le a negatívan visszacsatolt, invertáló ideális ME erősítésének matematikai képletét.

Az ábrából világosan látni, hogy az **X** virtuális földpontba folynak a visszacsatolási áram (**I₀**), a bemeneti áram (**I₁**), és kifelé a ME szimmetrikus áramaiból az **I_n**. Az ideális ME alaptulajdonságainak ismeretében (lásd TAB.II/2.1) tudjuk bejelölni az áramirányokat. Tudjuk, hogy az **I_n**, ill. **I_p** bemeneti szimmetrikus áramok ideális esetben nullák. A köztük lévő **U_{bes}** feszültség is nulla. Ezek az induló feltételek az ideális esetre vonatkozó erősítési képlet levezetéséhez.

Az ábrán látható, hogy a ME-nek kettős táplálása van, ami valójában megadja az erősítési határokat a pozitív ill. negatív irányokba. Ezen kívül láthatunk a kapcsolatban egy **R_{komp}**

kompenzáló ellenállást is, aminek feladata az I_n és I_p áramok esetleges „offsetjének” (különbségének) kiegyenlítése. Így az U_{beS} feszültség is közelít nullához, vagyis próbáljuk megközelíteni az ideális ME tulajdonságait. (Igénytelenebb kapcsolásokban ezt ki is hagyják, és a bemenetet egyenesen a „földre” kötik.)

II/2.3. ábra



Ezek után felírhatjuk az erősítés levezetéséhez szükséges kiinduló egyenleteket.

Az X virtuális földpontra felírható két egyenlet:

1.)

$$\begin{aligned}U_{be} &= I_1 \cdot R_1, \\U_{ki} &= I_0 \cdot R_0,\end{aligned}$$

2.)

$$I_n = I_1 + I_0,$$

Az ideális ME esetében tudjuk, hogy:

$$I_n = 0,$$

Ebből kifolyólag:

$$I_1 = -I_0,$$

Ezeket felhasználva az erősítésre felírhatjuk:

$$A_u = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{I_0 \cdot R_0}{I_1 \cdot R_1} = - \frac{R_0}{\underline{\underline{R_1}}},$$

Megemlíthetjük még az R_{komp} kompenzáló ellenállás nagyságát. Mivel az R_0 , R_1 ellenállások, -az egyik szimmetrikus bemenet kapcsolása- azok, amiket ki kell egyenlítenünk az R_{komp} , földre kapcsolt másik szimmetrikus bemenet nagyságával. Így vizsgáljuk az R_0 és R_1 viszonyát a földhöz képest, ami nem más, mint a két ellenállás párhuzamos kombinációja. Tehát a kompenzáló ellenállás nagysága a két bemenő ellenállás párhuzamos kapcsolásával kell, hogy egyenlő legyen, ha ki akarjuk küszöbölni a ME működésére negatívan ható offszet összetevőket.

Így a kompenzáló ellenállás nagysága:

$$R_{komp} = \frac{R_1 \cdot R_0}{R_1 + R_0},$$

* * *

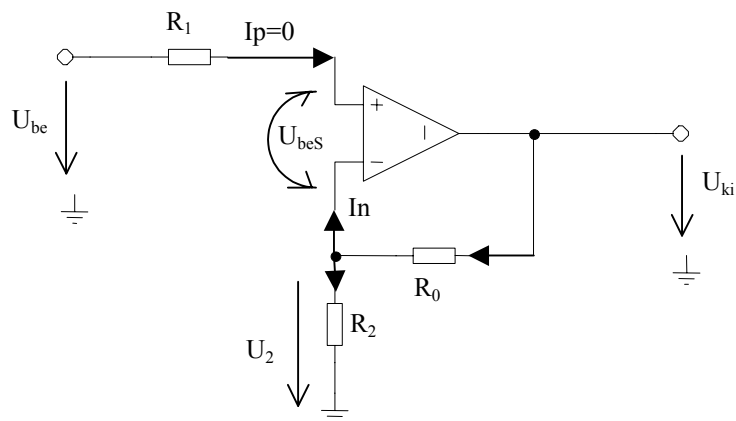
Nem invertáló (poz. visszacsatolt) ME

3.19 Vezessük le a nem invertáló ideális ME erősítését. (lásd II/2.4. ábra)

A kapcsolás nem más, mint egy negatív soros-feszültségvisszacsatolt erősítő. Ennek a fogalomnak a megértéséhez egy kicsit vissza kell kanyarodnunk a visszacsatolt erősítők fogalmához. (Lásd előző fejezet).

Megoldás:

II/2.4 ábra



Az $U_{beS}=0$ feltételből kiindulva mondhatjuk, hogy a bemenő feszültség (U_{be}) egyenlő az R_2 ellenálláson eső U_2 feszültséggel. Az ábrából láthatjuk, hogy a kimeneti pont és a földpont között az R_0 és R_2 ellenállások egy feszültségosztót alkotnak. Felírva a feszültségosztóra érvényes arányokat kapjuk, :

$$\frac{U_{ki}}{R_2 + R_0} = \frac{U_{be}}{R_2}$$

Ahonnét az erősítés:

$$A_u = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = \frac{R_2 + R_0}{R_2} = 1 + \frac{R_0}{R_2},$$

Amennyiben ($R_0 / R_2 \rightarrow 0$) akkor az erősítés, $A_u=1$. Az ilyen áramkört feszültségkövetőnek nevezik.

* * *

Műveleti erősítőkből összeállított analóg műveleti áramkörök

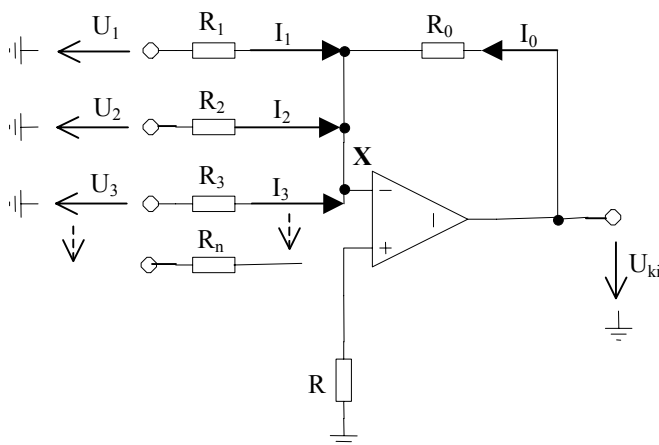
Ezeket az áramköröket elsősorban analóg számítógépekben modellezésre használják fel. A digitális gépekkel szemben ott használhatók előnyösen, ahol a pontossági követelmények mérsékeltek, a számítási sebesség viszont nagy kell, hogy legyen.

Összeadó áramkör

(lásd II/2.5. ábra)

A virtuális földpont ténye alkalmassá teszi a ME- t ideális áramösszegzésre. Ha definiálnánk a kimeneti feszültséget, akkor az úgy szólhatna, hogy: *a kimeneti feszültség az egyes bemenetekre kapcsolt feszültségek súlyozott összegével egyenlő.*

II/2.5. ábra



Az **X** virtuális földpontra felírt csomóponti törvény értelmében:

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \dots + \frac{U_n}{R_n} + \frac{U_{ki}}{R_0} = 0,$$

amiből a kimeneti feszültség:

$$U_{ki} = -R_0 \cdot \sum_{i=1}^n \frac{U_i}{R_i},$$

Megj.:

Az $1/R_i$ súlytényező megfelelő választásával készítik a súlyozott *digitál - analóg* (D/A) átalakítót.

Az R ellenállás szerepe, itt is a bemeneti munkaponti áram hatásának kompenzálása. Nagysága a következő egyenletből számolható ki:

$$\frac{1}{R} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_i},$$

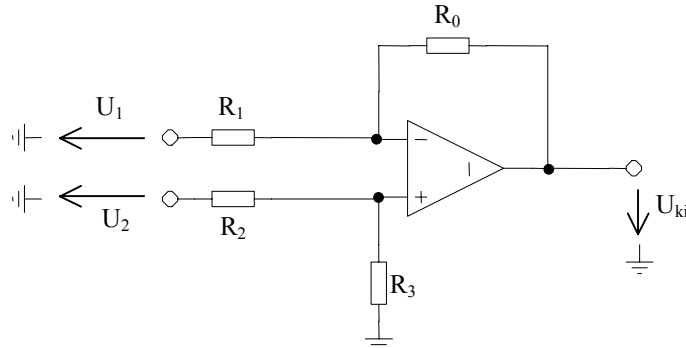
*

Kivonó áramkör

(lásd II/2.6. ábra)

A kimeneti feszültség a két bemenetre kapcsolt feszültség súlyozott különbségével egyenlő.

II/2.6. ábra



A két bemenetre adott feszültség a *szuperpozíció elv* felhasználásával számítható ki.

$$U_{ki} = U_2 \cdot \frac{(R_0 + R_1) \cdot R_3}{R_1 \cdot (R_2 + R_3)} - U_1 \cdot \frac{R_0}{R_1},$$

Ha az

$$R_0 + R_1 = R_2 + R_3$$

Feltétel teljesül, akkor a kifejezés tovább egyszerűsödik:

$$U_{ki} = U_2 \cdot \frac{R_3}{R_1} - U_1 \cdot \frac{R_0}{R_1},$$

Továbbá, a gyakorlatban az ellenállásokat általában úgy állítják be, hogy:

$$R_1 = R_2 \text{ és } R_0 = R_3,$$

Ekkor a kimenő feszültségünk:

$$U_{ki} = \frac{R_0}{R_1} \cdot (U_2 - U_1),$$

*

Integrátor

(integráló áramkör, II/2.7. ábra)

Az analóg számítástechnika egyik legfontosabb építőeleme. A kimeneti feszültség a bemenetre kapcsolt feszültség időbeli integráltjával arányos. A legegyszerűbb felépítése, ha az invertáló visszacsatolt erősítő R_0 visszacsatoló ellenállását C kondenzátorral helyettesítjük.

Az áramkör átviteli függvénye a *Laplace* transzformátor (s) segítségével:

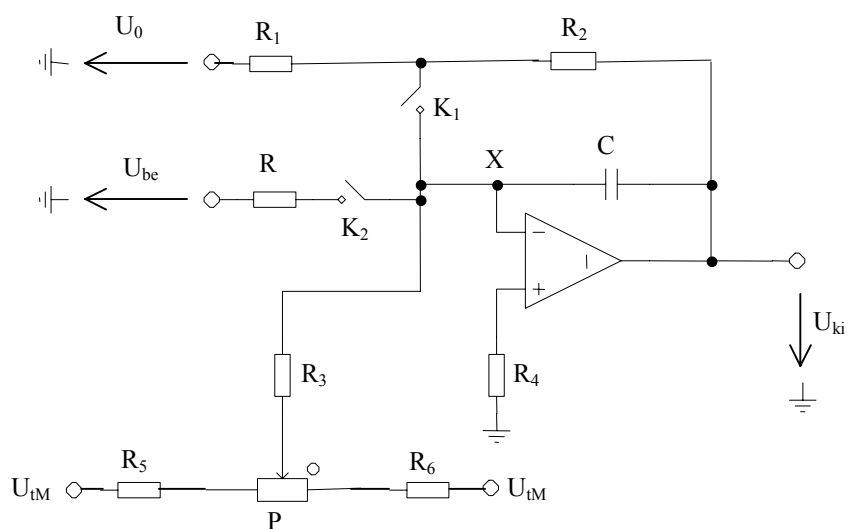
$$A_u(s) = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = -\frac{1}{s \cdot RC} = -\frac{1}{sT},$$

Ebből az összefüggésből a kimenő feszültség időbeli lefolyása az inverz Laplace transzformációval nyerhető:

$$U_{ki}(t) = L^{-1} \cdot U_{be}(s) \cdot A_U(s) = -\frac{1}{RC} \cdot \int_0^T U_{be}(t) dt + U_{ki} |_{t=0}, \quad (**)$$

Sajnos, az ilyen típusú ME véges üresjárású feszültségerősítése és véges szimmetrikus bemeneti ellenállása integrálási hibát okoz, amit általában *egységugrás*, vizsgálójellel értékelünk. Ennek további elemzésébe nem megyünk bele, inkább említést teszünk egy következő problémáról, amivel az integrátoroknál találkozunk. Ez a bemeneti munkaponti áram és a nullponthiba hatása a kimenetre. Ugyanis, ha ezeket nem kompenzáljuk, hatásuk a vezérlőjellel együtt érvényesül a kimeneten és egyre növekvő hibát okoz. Ennek elkerülése érdekében az integrátort „szakaszos” üzemben működtetik. Egy ilyen ME kapcsolását lásd II/2.7. ábra. A K_1 , K_2 kapcsolók az integrátor üzemmódját állítják be.

II/2.7. ábra



A K_1 kapcsoló zárt, K_2 nyitott állapotában az integrátor kimeneti feszültsége, az:

$$U_{ki} |_{t=0} = -U_0 \cdot \frac{R_2}{R_1},$$

ún. kezdeti értékre áll. Utána a K_1 megszakításával és a K_2 zárásával érvényesül az U_{be} feszültség arányos időbeli integrálása.

Felírva az **X** virtuális földpontra az egyenleteket, megkapjuk az (**)
említett egyenletet.

$$U_{be} = R \cdot I_{be} \Rightarrow I_{be} = \frac{U_{be}}{R},$$

$$I_{ki} = C \cdot \frac{dU_{ki}}{dt},$$

Mivel,

$$I_{be} = -I_{ki},$$

Ezekből a kimenő feszültség:

$$\frac{U_{be}}{R} = -C \cdot \frac{dU_{ki}}{dt} \Rightarrow U_{ki} = -\int_0^T \frac{U_{be}}{C \cdot R} \cdot dt = -\frac{1}{R \cdot C} \int_0^T U_{be} \cdot dt,$$

Ahol az $R \cdot C$ szorzatot integrálási időalapnak is nevezik, és $R \cdot C = T$.

*

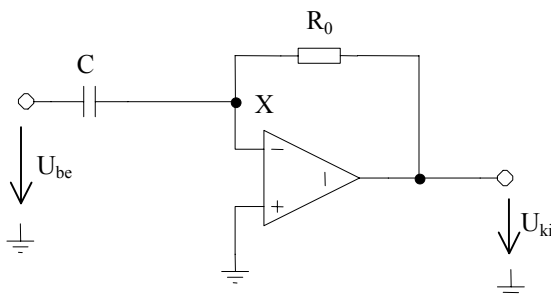
Derivátor

(deriváló áramkör, II/2.8. ábra)

Gyakorlati jelentősége jóval kisebb, mint az előbb leírt integráló áramkörnek. A legegyszerűbb felépítését úgy kapjuk, ha az invertáló ME bemenő ellenállását egy **C** kondenzátorral helyettesítjük, lásd 36. ábra. Az átviteli függvény *Laplace* transzformátoros alakja:

$$A_U(s) = \frac{U_{ki}}{U_{be}} = -sR \cdot C,$$

II/2.8. ábra



Itt is felírhatjuk az **X** pontra az egyenleteket, amiből utána megkapjuk az U_{ki} kimenő feszültséget.

$$I_{be} = C \cdot \frac{dU_{be}}{dt},$$

$$I_{ki} = \frac{U_{ki}}{R_0},$$

Itt is érvényes az összefüggés, miszerint:

$$I_{be} + I_{ki} = I_n = 0,$$

Ennek tudatában a kimenő feszültségünket a következő összefüggés alapján tudjuk felírni:

$$C \cdot \frac{dU_{be}}{dt} = -\frac{U_{ki}}{R_0},$$

$$U_{ki} = -R_0 \cdot C \frac{dU_{be}}{dt},$$

*

Észrevehettük, az utolsó két kapcsolásnál használtunk egy részben új kifejezést, *átviteli függvény*. Azért említettem csak részben újnak, mert ha megfigyeljük a kifejezést nem más, mint a kapcsolás feszültségerősítése. A bonyodalom csak abban van, hogy a feszültségerősítés ezekben az esetekben frekvenciafüggő, ezért ezeknek a kapcsolásoknak a jellegzetességeit a *komplex frekvenciatartományokban ún. Bode diagramok* segítségével ábrázoljuk.

Röviden néhány szó a logaritmus-frekvencia diagrammokról.

A komplex számok ábrázolásánál külön kell ábrázolnunk az amplitúdót (A) és a fázist (φ). (Lásd előzőek, Z-komplex impedanciák) Vegyük tehát, az előző eseteknél (integrátor, derivátor) maradva, a feszültség- ill. teljesítményerősítést

$$A_{(u)} = \frac{U_{ki}}{U_{be}},$$

Ez felírva a teljesítményre:

$$A_{(p)} = \frac{P_{ki}}{P_{be}} = \frac{\frac{U_{ki}^2}{R}}{\frac{U_{be}^2}{R}} = \left(\frac{U_{ki}}{U_{be}} \right)^2,$$

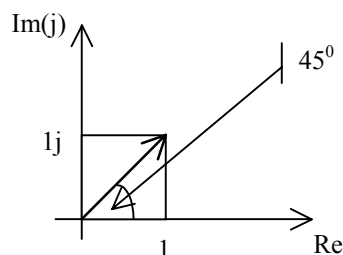
Logaritmizáljuk az egyenlet két oldalát, és szorozzuk tízzel (decibel), így kapjuk az alapképletet.

$$\log A_{(p)} = \log \left(\frac{U_{ki}}{U_{be}} \right)^2,$$

$$\log A_{(p)} = 2 \cdot \log \frac{U_{ki}}{U_{be}}, / \cdot 10$$

$$dB = 10 \cdot \log A_{(p)} = 20 \cdot \log \frac{U_{ki}}{U_{be}},$$

II/2.9.ábra



Ez az alapképlet, amiből már meg tudjuk határozni az *átviteli függvényeket*, amik már ábrázolhatók a *Bode diagram* segítségével.

Megj.:

Három alapesetet különböztetünk meg

- 1.) Amikor a $\log(1+j\omega t)$ kifejezésben, $j\omega t$ nagyon kicsi. Ekkor, általában $j\omega t$ -t elhanyagoljuk.
- 2.) Hibaszámolás, amikor kiszámoljuk a frekvenciatörést, ami az ω_0 frekvenciánál lesz:
A $\log(1+j\omega t)$ kifejezésből $j\omega t=1$, akkor, ha: $\omega=1/t$. Ekkor a kifejezésből kapom:

$$\log(1+j) = \log \sqrt{2} = \frac{1}{2} \log 2 \cong \frac{1}{2} \cdot 0,301,$$

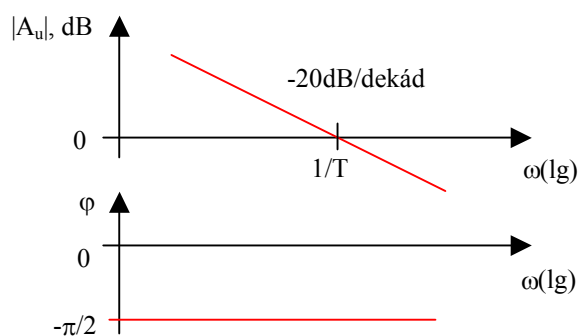
Ezt visszahelyettesítve az alapképletbe kapjuk a *cca. 3dB-es hibát*.

$$20 \log(1+j\omega t) = 20 \cdot \frac{1}{2} \cdot 0,301 \cong 3dB,$$

- 3.) Amikor $j\omega t$ nagy számot képvisel (általában), akkor az 1 -et hanyagoljuk el. Ekkor a diagramm $45^\circ/\text{dekáda}$ -val csökkenni, $(\frac{1}{1+j\omega t})$, vagy növekedni $(1+j\omega t)$ fog. A 45° -t az $(1+j)$ kifejezésből kapjuk.

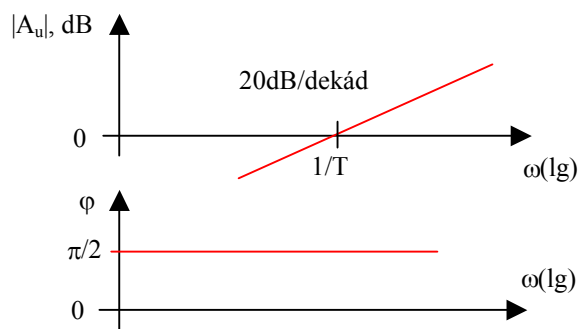
Ezekután az **integrátor** Bode diagrammja:
(Az előzőleg levezetett matematikai képletből kiindulva)

II/2.10. ábra



A deriváló áramkör Bode diagrammja:

II/2.11. ábra



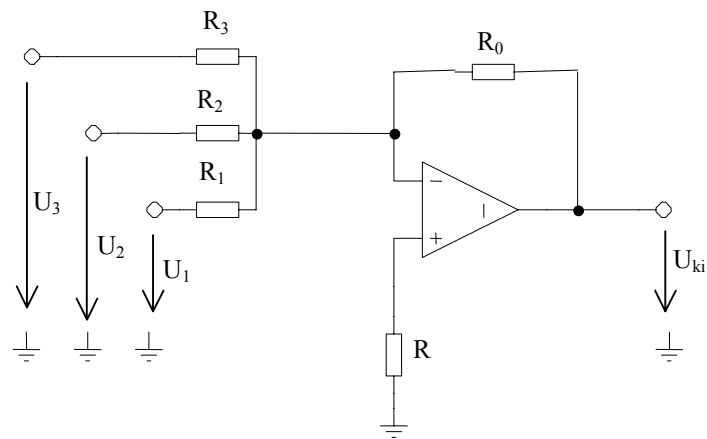
*

A továbbiakban gyakorlásképpen nézzünk néhány példát a ME- ből összeállított műveleti áramkörök számolásával kapcsolatban.

3.20 Számolja ki a II/2.12. ábra alapján megadott ME -ből összeállított összeadó áramkör kimenő feszültségét (U_{ki}) és az R kompenzáló ellenállás nagyságát az alábbi adatok segítségével:

$R_1=10[\Omega]$, $R_2=20[\Omega]$, $R_3=30[\Omega]$, $R_0=100[\Omega]$, $U_1=2[\text{V}]$, $U_2=3[\text{V}]$, $U_3=4[\text{V}]$.

II/2.12. ábra



Megoldás:

Az alapképlet alapján:

$$\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} + \frac{U_{ki}}{R_0} = 0,$$

$$U_{ki} = -R_0 \left(\frac{U_1}{R_1} + \frac{U_2}{R_2} + \frac{U_3}{R_3} \right),$$

$$U_{ki} = -48,33[V],$$

A kompenzáló ellenállás nagysága:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3},$$

$$R = \frac{R_1 \cdot R_2 \cdot R_3}{R_1 \cdot R_3 + R_2 \cdot R_3 + R_1 \cdot R_2},$$

$$R = 5,4545[\Omega],$$

Megj.:

$R_1=R_2=R_3=\dots R_n$ azonos értékű ellenállásokkal állítják elő a D/A konvertereket.

* * *

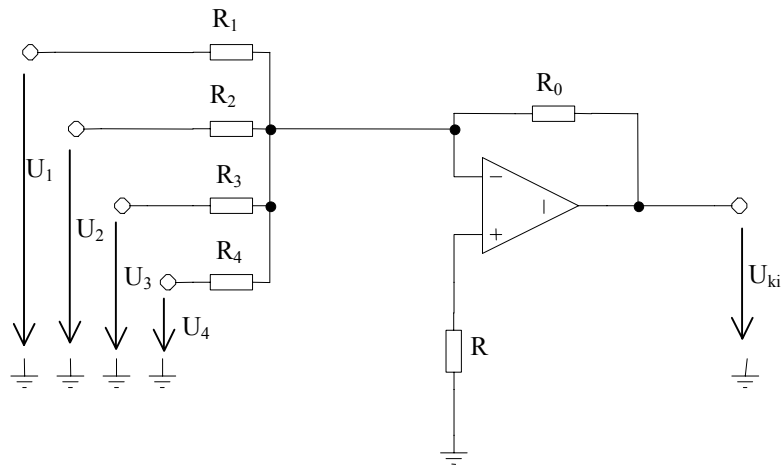
3.21. A 3.20 példához hasonlóan számolja ki a II/2.13. ábrán látható kapcsolás U_{ki} kimenő feszültségét, és az R kompenzáló ellenállás nagyságát az alábbi adatok segítségével:

$$R_1=5[\Omega], R_2=10[\Omega], R_3=15[\Omega], R_4=20[\Omega], R_0=2[\Omega],$$

$$U_1=10[V], U_2=15[V], U_3=20[V], U_4=25[V],$$

$$(R=2,4[\Omega], U_{ki}=-12,16[V]).$$

II/2.13. ábra



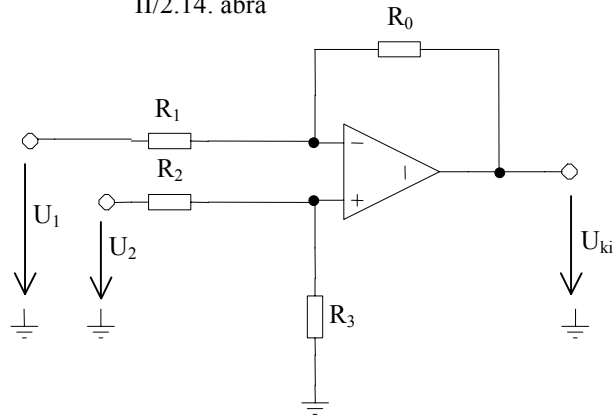
* * *

3.22. Számolja ki a II/2.14. ábrán megadott kivonó áramkör kimenő feszültségét az alábbi adatok segítségével:

$$R_1=10[\Omega], R_0=100[\Omega], R_2=5[\Omega], R_3=15[\Omega],$$

$$U_1=10[V], U_2=20[V],$$

II/2.14. ábra



Megoldás:

Mivel mindegyik ellenállásunk adott, behelyettesítve a kivonó áramkör levezetett alapképletébe, a kimenő feszültségre érvényes:

$$\begin{aligned}
 U_{ki} &= U_2 \frac{(R_0 + R_1) \cdot R_3}{R_1 \cdot (R_2 + R_3)} - U_1 \cdot \frac{R_0}{R_1} = \\
 &= 20 \cdot \frac{(100 + 10) \cdot 15}{10 \cdot (5 + 15)} - 10 \cdot \frac{100}{10} = \underline{\underline{65[V]}}
 \end{aligned}$$

* * *

3.23. Számolja ki a 3.22-ben megadott példát arra az esetre, ha:

a.)

$$R_0 + R_1 = R_2 + R_3 ,$$

És a hozzá tartozó adatok a következők:

$$R_1 = 10[\Omega], R_0 = 100[\Omega], R_2 = 10[\Omega], R_3 = 100[\Omega],$$

$$U_1 = 10[V], U_2 = 20[V],$$

b.)

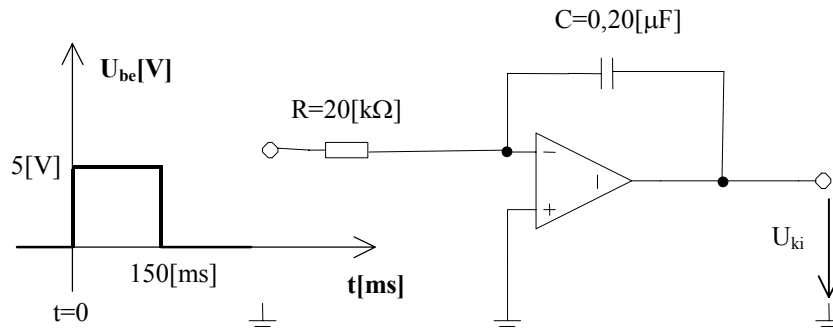
Vezesse le, hogyan egyszerűsödik a kimenő feszültség képlete abban az esetben, ha:

$$R_1 = R_2 \text{ és } R_0 = R_3 ,$$

* * *

3.24 Számolja ki a II/2.15. ábrán megadott kapcsolás kimenő feszültségét és a kiszámolt adatokat rajzolja be az áramkör bemenő, ill. kimenő feszültségfüggvényeiben.

II/2.15. ábra



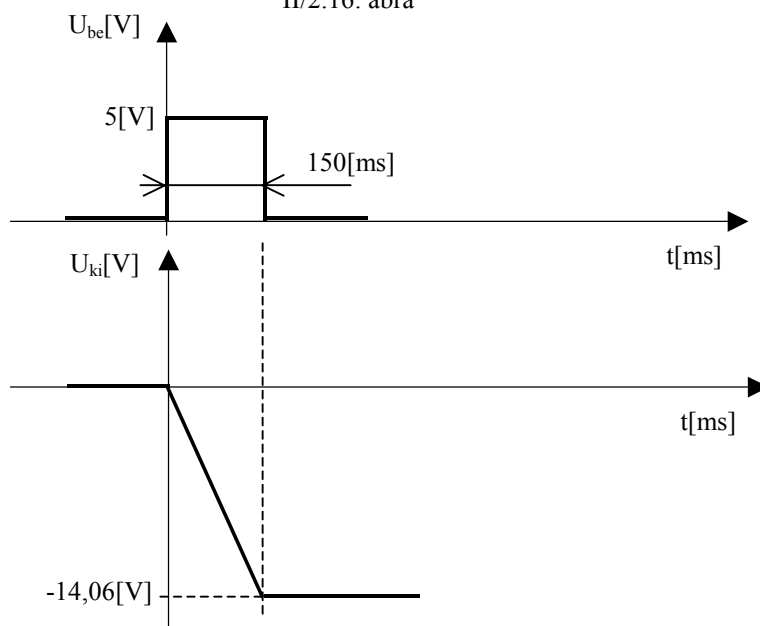
Megoldás:

A 43 ábrán látható, hogy a bemenő feszültségünk (U_{be}), a $t=0$ időben $0[V]$ -ről $5[V]$ -ra ugrik, majd $150 [ms]$ -ig tartja ezt az állapotot, és utána visszaugrik a $0 [V]$ -ra. Vagyis a bemenetre egy $150 [ms]$ -ig tartó $5[V]$ -os impulzust adunk. Ennek alapján tudjuk felírni, majd kiszámolni a kimenő feszültségünk nagyságát.

$$\begin{aligned}
 U_{ki} &= -\frac{1}{R \cdot C} \cdot \int_0^{150} U_{be} \cdot dt = \\
 &= -\frac{1}{20[k\Omega] \cdot 0,2[\mu F]} \cdot \int_0^{150} 5t \cdot dt = \\
 &= -\frac{5[V]}{20[k\Omega] \cdot 0,2[\mu F]} \cdot \left[\frac{t^2}{2} \right]_0^{150} = -14,06[V];
 \end{aligned}$$

A II/2.16. ábrán lásd a kiszámolt bemenő, ill. kimenő feszültségeket.

II/2.16. ábra



* * *

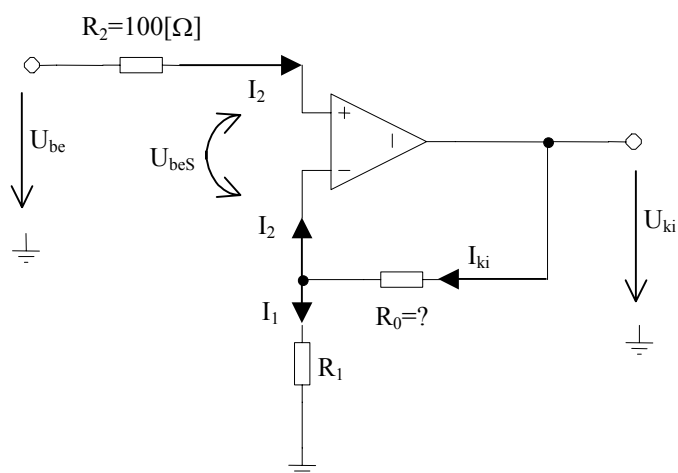
3.25 Számolja ki a II/2.17.ábrán megadott kapcsolás visszacsatolásában szereplő R_0 ellenállás nagyságát a következő adatok segítségével:

- a kapcsolás feszültségerősítése tízszeres, $A_u=10x$
- bemenő feszültség: $U_{be}=3[V]$,
- az R_1 ellenálláson keresztül a földbe folyó áram: $I_1=0,5[A]$.

Megoldás:

A 45 ábrából látjuk, hogy a kapcsolás nem más, mint egy ME-ből összeállított nem invertáló erősítő kapcsolás. Ebből kiindulva tudjuk megállapítani a visszacsatolásban szereplő R_0 ellenállás nagyságát.

II/2.17. ábra



Az erősítés alapján fel tudjuk írni a kimenő feszültség nagyságát:

$$U_{ki} = 10 \times 3 = 30 [V],$$

Ismerve a nem invertáló ME erősítésének képletét és ennek levezetését, az R_1 ellenállásra felírhatjuk:

$$R_1 = \frac{U_{be}}{I_1} = \frac{3}{0,5} = 6 [\Omega],$$

Ezekután az erősítés képletéből kifejezve az R_0 ellenállás nagysága:

$$A_u = 1 + \frac{R_0}{R_1} \Rightarrow R_0 = R_1 \cdot (A_u - 1) = \underline{\underline{54 [\Omega]}},$$

* * *

1. FÜGGELÉK

Néhány példa a számítástechnikában használatos alapelemekre

Logikai áramkör családok

A logikai áramkörök valójában kapcsolóüzemű elektronikus áramkörök. Feladatuk logikai függvények áramköri modellezése. A fejlődés folyamán mindig kedvezőbb tulajdonságú logikai áramkör családokat konstruálnak. Ezeknek alapvető tulajdonságaik, az aránylag alacsony tápfeszültség, zajvédetség, gyors kapcsolás, ...etc. A fejlesztés ma is a működési sebesség fokozására és az alkatrész-sűrűség növelésére irányul, lásd LSI, MSI, SSI, VLSI technikák.

A továbbiakban megismerkedünk néhány logikai áramkör családdal, melyek közül ma már szinte csak a TTL logika maradt használatban.

DRL – dióda-ellenállás logika

Egyik legegyszerűbb logika. Az F/1 ábrán egy **VAGY** (logikai összeadás), függvényt megvalósító kapcsolást látunk.

Az **A** és **B** pontok a bemeneti pontok, az **X** pedig a kimeneti pont és a kimeneti függvény is egyben.

Az áramkör (leegyszerűsített) működése:

Ha a bemenetek (**A**, **B**) bármelyikére a dióda nyitófeszültségénél (U_D) nagyobb feszültséget kapcsolunk, akkor a kimeneten megjelenik az

$$U_{be} - U_D = U_{ki} ,$$

Ahol: U_{be} – bemenő feszültség, U_D – a dióda nyitófeszültsége, U_{ki} – kimenő feszültség (függvény).

Amennyiben $U_{be} < U_D$, a kimeneten nincs feszültségünk.

A gyakorlatban, 5[V]-os logikát használva mondhatjuk, hogy az **A** vagy **B** bemenetek bármelyikére, ha 5[V]-ot kapcsolunk, akkor az **X** kimeneten megjelenik (Si – alapú diódáknál):

$$5 - 0,7 = 4,3[V] ,$$

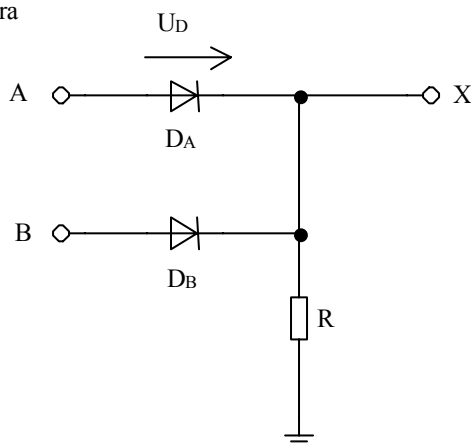
A továbbiakban az egyes feszültszintekhez logikai értéket rendelünk, pl.:

TAB.F/1.

Feszültszint [V]	Logikai érték
0 ÷ 1	0
2 ÷ 5	1

Az 1÷2[V] közti sávot *tiltott zónának* nevezhetjük. Két bemenetre (A, B) az összes lehetséges bemeneti kombinációnk négy. Ezeket a bemeneti kombinációkat táblázatba foglalva, a logikai értékek segítségével megalkothatjuk a kapcsolás **igazságtáblázatát** (lásd TAB.F/2).

F/1. ábra



A kapcsolás igazságtáblázata logikai értékekkel:

TAB.F/2.

A	B	F(x)
0	0	0
0	1	1
1	0	1
1	1	1

DCTL – egyenesen-csatolt tranzisztoros logika

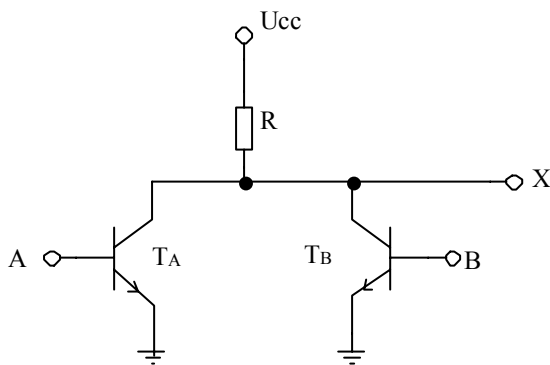
Ez volt az egyik első integrált áramkörös család. A F/2 ábrán egy **NEM-VAGY** (NOR) kapcsolás megvalósítását láthatjuk. A kapcsolás hátránya, hogy bizonyos esetekben az egész terhelés csak az egyik tranzisztorra esett (a tranzisztorok paramétereinek nagy szórása miatt), ami a tranzisztor túlterheléséhez és a működés meghiúsulásához vezetett.

A kapcsolás igazságtábláját, lásd TAB.F/3.

TAB.F/3

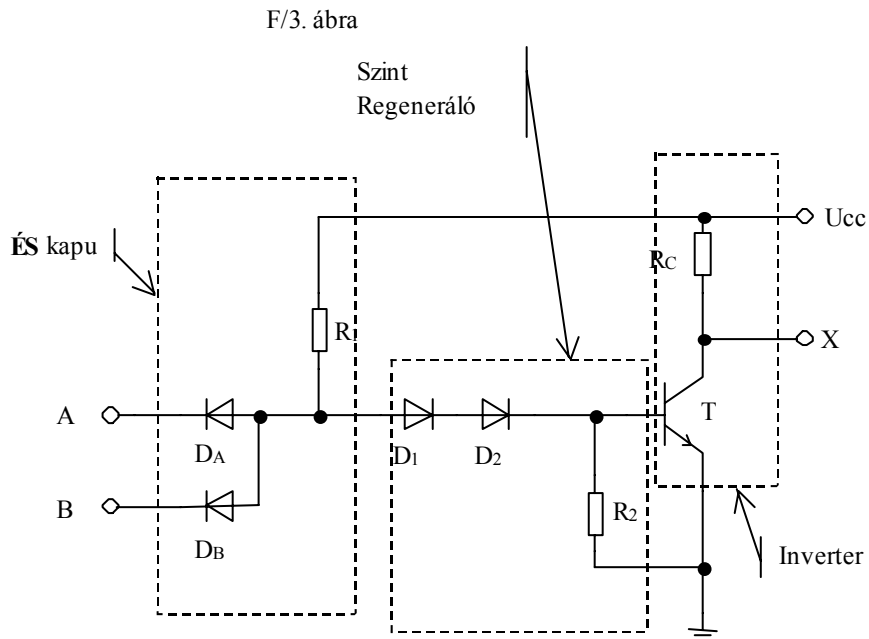
A	B	F(x)
0	0	1
0	1	0
1	0	0
1	1	0

F/2. ábra



DTL – dióda-tranzisztoros logika

Itt egy **NEM-ÉS** (NAND) függvény kapcsolását mutatjuk be. Használunk szintregeneráló diódákat is, amik a 0,7[V] diódafeszültségeket állítják vissza. Ezeket a kapcsolásokat nagy zajimmunitásuk miatt ipari környezetekben használják. A *zajimmunitás* növelése érdekében a D_1, D_2 diódákat általában *Zener - diódákkal* helyettesítik.



A kapcsolás igazságtáblázata, lásd **TAB.F/4**

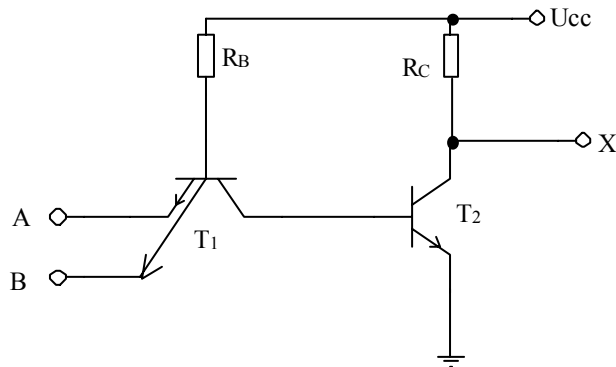
A	B	F (x)
0	0	1
0	1	1
1	0	1
1	1	0

TTL – tranzisztor-tranzisztoros logika

Napjainkban a leginkább elterjedt áramkörsalád. Jó áramköri tulajdonságainak és könnyű előállíthatóságának köszönheti elterjedését. A kapcsolás bemenő tranzisztorként egy multi-

emitteres tranzisztort használ. A kapcsolás egy egyszerűsített modell, ahol a kimeneten nem használunk ún. *tothempol*-t a kimeneti tulajdonságok javítása érdekében. A működés megértése érdekében mondhatjuk azt, hogy a T_2 kimenő tranzisztor a T_1 tranzisztorttal van vezérelve. A kapcsolás szintén egy **NAND** függvényt valósít meg. Az igazságtáblázatát lásd TAB.F/4, maga a leegyszerűsített kapcsolás, lásd F/4 ábra.

F/4. ábra

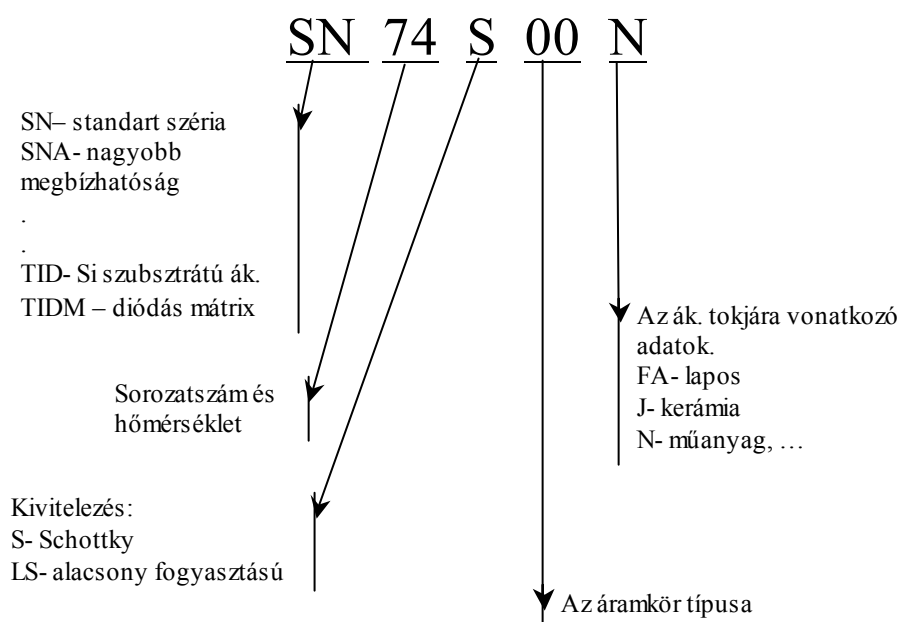


Ezeket az áramköröket általában monolit technikával előállított integrált áramkörök formájában ismerhetjük meg. Példaképpen nézzük meg, hogy néz ki egy ilyen integrált áramkör egy számára gyártott katalógusban.

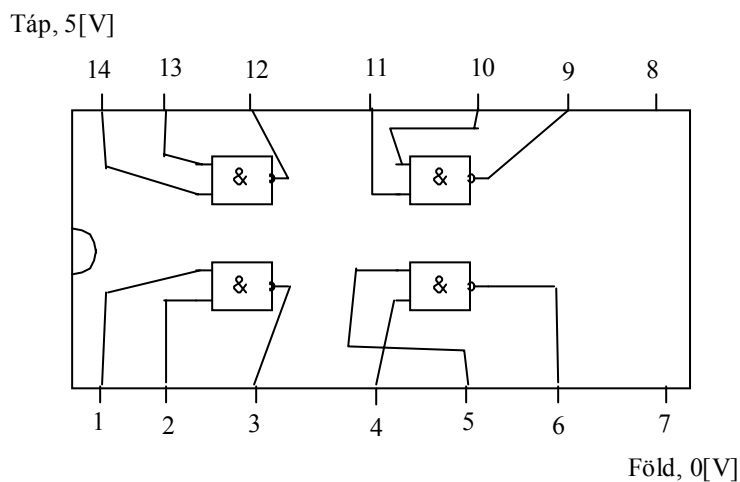
A jelölése:

Pl.: egy SN 74S00N jelölésű integrált áramkör, 4db gyorskapcsolású NAND kaput tartalmaz, ahol az IC (integrált áramkör) műanyag DIL tokba van foglalva. (A 00 jelölés adja a 4db NAND kaput, a többit lásd F/5 ábra.)

F/5 ábra



SN 74 00



* * *

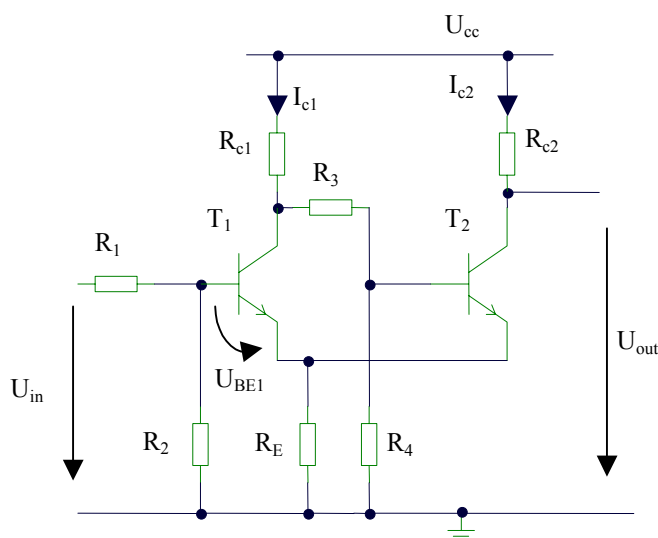
Schmitt trigger

(Lásd F/6 ábra)

A TTL tranzisztoros logikákban gyakran használnak Schmitt-triggeres kapcsolásokat. Ezzel kapcsolatban említek meg egy alapkiosztású bekötést, és a vele kapcsolatos számításokat.

A Schmitt-trigger, küszöbértékkiosztó, amely akkor billen bekiosztott állapotba, ha az U_{in} , bemeneti feszültség pillanatnyi értéke túllép egy adott U_{max} felső küszöbértéket, és akkor zár, ha a bemeneti feszültség értéke az U_{min} alsó küszöbfeszültség alá csökken. Továbbá, a Schmitt-trigger akkor kioszt, ha a T_1 tranzisztor túlvezérlődik, és akkor zár, ha a T_1 lezár. A T_1 tranzisztor akkor kioszt, ha $U_{max} > U_{RE} + U_{BE1}$. Az U_{RE} ekkor az I_{C2} értékétől függ. A T_1 akkor kerül lezárt állapotba, ha $U_{min} < U_{RE} + U_{BE1}$. Az U_{RE} (az R_E ellenálláson eső feszültség) ilyenkor az I_{C1} értékétől függ. Mivel I_{C1} és I_{C2} értékek nem egyformák, így U_{max} és U_{min} is különböznek egymástól. A kettőjük közötti különbséget *kapcsolási hiszterézisnek* (kiosztási különbség) nevezik.

F/6 ábra



A számoláshoz szükséges összefüggések:

$$U_{max}=I_{c2} \cdot R_E + U_{BE1}$$

$$U_{min}=I_{c1} \cdot R_E + U_{BE1}$$

A kapcsolási hiszterézis:

$$\Delta U = U_{max} - U_{min} = (I_{c2} - I_{c1}) \cdot R_E ;$$

pl.1. Egy Schmitt-trigger T_1 tranzisztora $U_{BE1}=0,7[V]$ -nál kapcsol, és $I_{c2}=12[mA]$. Az emitter ellenállás $150[\Omega]$. Mekkora bemeneti feszültség esetén kapcsol át a Schmitt-trigger?

Megoldás:

Tudjuk, hogy a bemenő feszültség $U_{in}=U_{BE1}+U_{RE}$, ebből már megkapjuk a végeredményt is:

$$U_{in}=I_{c2} \cdot R_E + U_{BE1} = 12[mA] \cdot 150[\Omega] + 0,7[V] = 2,5[V];$$

* * *

pl.2. Egy Schmitt-trigger kapcsolási hiszterézise $0,4[V]$. A kollektoráramok értékei, $I_{c1}=10[mA]$, $I_{c2}=14[mA]$. Mekkora az emitterellenállás?

Megoldás:

$$\Delta U = (I_{c2} - I_{c1}) \cdot R_E \Rightarrow R_E = \frac{\Delta U}{I_{c2} - I_{c1}} = \frac{0,4[V]}{14[mA] - 10[mA]} = 100[\Omega];$$

* * *

pl.3. A Schmitt-triggerben, ahol T_1 és T_2 tranzisztorok vannak, a kollektoráramok értékei $I_{c1}=10[mA]$, $I_{c2}=14[mA]$, és az emitterellenállás értéke, $R_E=180[\Omega]$. A T_1 tranzisztor $0,8[V]$ -nál túlvezérlődik. Határozza meg az alsó és felső küszöbfeszültségeket.

* * *

Néhány adatátvitelre szolgáló áramkör

Párhuzamos adatátvitel

Egyszerre több vonalon valósul meg az adatátvitel. Általában 8 / 16 / 32 *adatbit* + *irányító bitek*, amelyek egy órajellel átjutnak a vevő oldalra.

Soros adatátvitel

Egyszerre csak egy vonalon valósul meg az adatátvitel. A soros adatátvitelt az adatok szempontjából feloszthatjuk:

Izochrón

adatátvitel – két egymást követő karakter adása közti idő egy *minimális intervallum* (leszármaztatható az adó adási sebességéből) egész többszöröse.

Anizochrón

adatátvitel – két egymást követő karakter adása közti idő nem egyforma és nem többszöröse ennek a *minimális intervallumnak*.

Az előzőekben leírtak alapján megkülönböztetünk:

Szinkron

soros adatátvitelt: ahol az adatátvitelt *izochrón* adatcsomagokkal lehet megvalósítani. Az átvitel az *adó* és a *vevő* szinkronizálása után valósulhat meg. A szinkronizálás, összehangolás valamilyen frekvencia, órajel segítségével történik.

Aszinkron

soros adatátvitel: az adatátvitel *anizochrón* adatokkal történik. Nincs összehangolás, általában *start* és *stop* bitekkel dolgozik a rendszer.

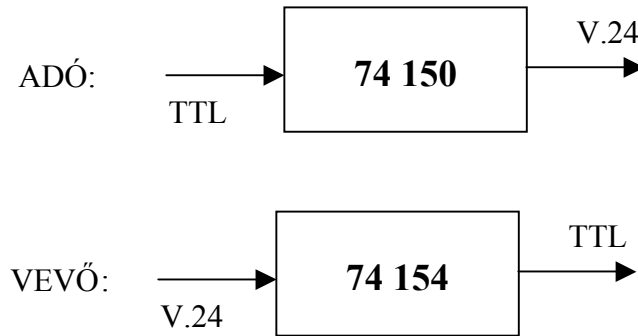
Az adatátvitelre egyik legelterjedtebb norma a *CCITT V24* – szabványosított adatátviteli eljárás. Itt a *jel* átvitele $\pm 12[V]$ feszültséggel valósul meg. Meg kell említeni, hogy a hasznos jel valójában csak $\pm 10[V]$ között van figyelve, a maradék feszültség a

zavarás végett van ráhagyva. Ez a norma kétféle berendezést definiál:

DTE (data terminal equipment) – adat végberendezés

DCE (data communication equipment) – adatátviteli berendezés

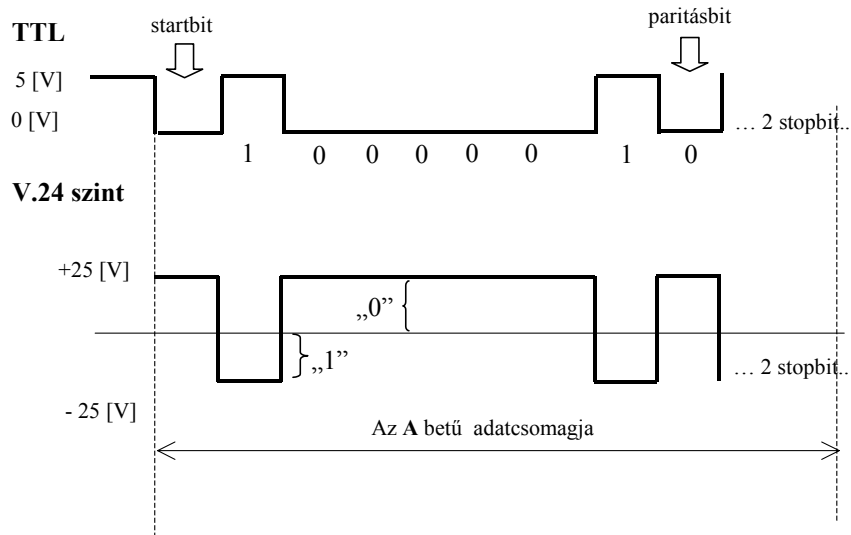
F/7. ábra



Az RS 232C (USA) rendszer ezzel majdnem egyenértékű szinkron üzemmódban dolgozó adatátviteli forma:

TTL és V.24 szintű adatok

F/8.ábra

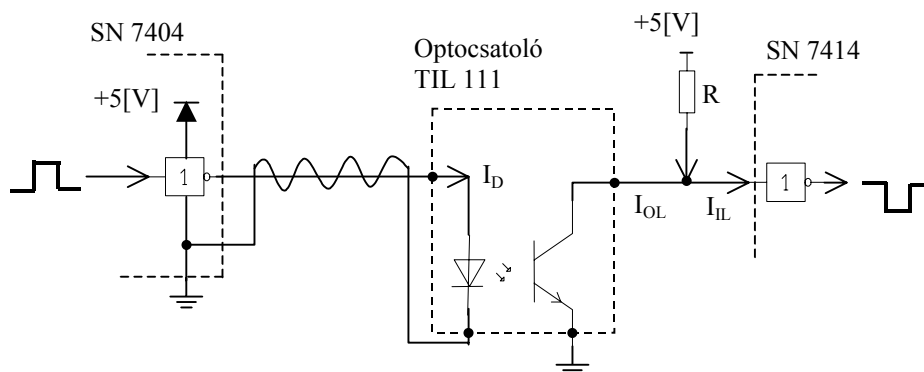


*

Optocsatolóval megvalósított adatátvitel

Az optocsatolók TTL kompatibilisek. Ez azt jelenti, hogy TTL áramkörökkel közvetlen vezérelhetők és az általuk előállított jel is közvetlenül alkalmas TTL áramkörök vezérlésére. Nézzünk meg egy példát optocsatolóval történő adatátvitelre. Lásd F/9. ábra.

F/9. ábra



SN 7404 – 6 x NON

SN 7414 – 6 x NON (Schmitt triggeres)

I_D – a világító (led) diódán átfolyó áram

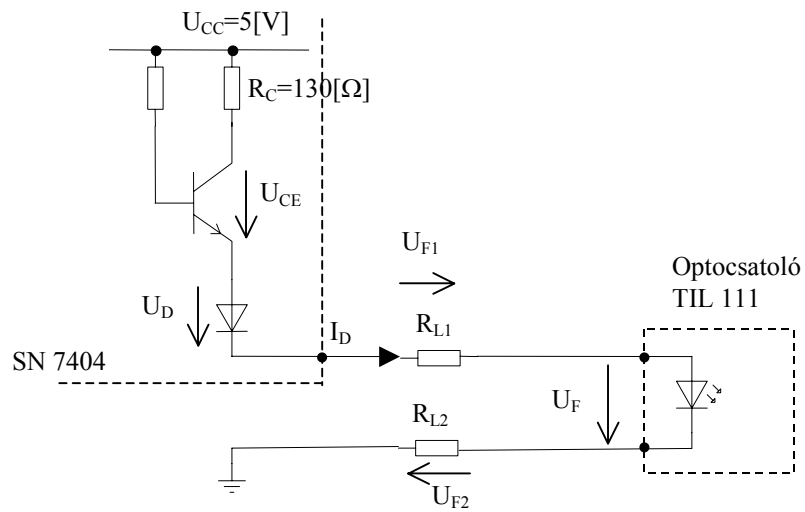
I_{OL} – az optocsatolóban keletkező áram

I_{IL} – az SN 7414 –es bemenő árama (1,2[mA])

A továbbiakban az R ellenállás nagyságát meg tudjuk határozni. Előírás, hogy az R értéke minél kisebb legyen a kapcsolási sebesség miatt.

Ahhoz, hogy az R ellenállást méretezni tudjuk, ki kell számolnunk a diódán átfolyó I_D áramot. Ehhez viszont vázolnunk kell az SN 7404 –es egyik kapujának kimenő áramkörét. Lásd F/10 ábra.

F/10. ábra



R_{L1}, R_{L2} – az összecsavart vezetékpár ellenállása. (ϕ 0,4[mm]drótátmérőnél 100 [m] hosszú vezeték ellenállása: $R_{L1}=R_{L2}=14[\Omega]$)
 $U_{CE(sat)}=0,3[V]$,
 $U_D=0,7[V]$,
 U_F – a vezetéken eső feszültség: $U_F= U_{F1}+U_{F2}=1,2[V]$,

Ezeknek ismeretében a dióda árama:

$$I_D = \frac{U_{CC} - U_{CE(sat)} - U_D - U_F}{R_C + R_{L1} + R_{L2}} = \underline{\underline{17,7[mA]}}$$

Az optocsatolóban keletkező áram ennek a fele lesz, mivel 50%-os az áramátviteli tényező. Ebből tehát:

$$I_{OL} \cong 9[mA],$$

De a valóságban ennek az értéknek is csak a *felével számolunk*, a tápfeszültség ingadozás, optocsatoló öregedés, ...etc okokból kifolyólag. Azaz:

$$I_{OL} \cong 4,5[mA],$$

Ezek után már méretezni tudjuk az R ellenállás nagyságát:

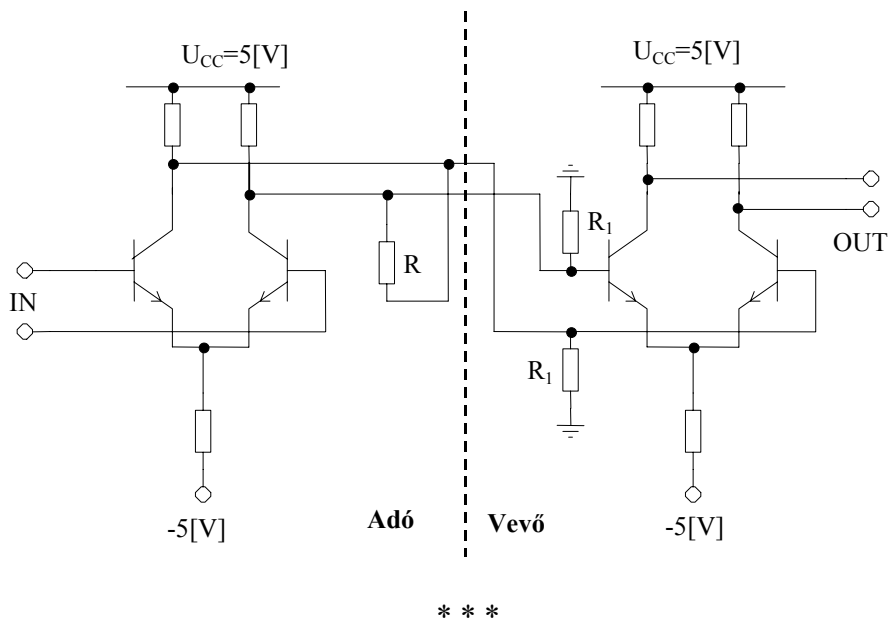
$$R = \frac{U_{CC}}{I_{OL} - I_{IL}} = \frac{5}{4,5 - 1,2} = \underline{\underline{1,5[\Omega]}}$$

*

Differenciál erősítővel történő adatátvitel (Lásd F/11. ábra)

R – visszaverődések megakadályozására szolgáló ellenállás
 R_1 – lezáró ellenállások (általában megegyeznek a vezetékek impedanciájával)

F/11. ábra



Néhány memória alapkapsolás

A memóriák a fejlődés során elég hosszú utat futottak be. Eljutottunk a mechanikus *emlékező gépektől* a *feritmagos* memóriák, *diódás mátrix*-okon keresztül a mai legkorszerűbb *SDRAM*-ig. Ebben a fejezetben csak két típust említenék meg, először a legelterjedtebb, tranzisztorokból összeállított *memória-sejtet* (F/12 ábra), majd a billenő áramkörök (flip-flopok) közül az *SR tároló* (F/13 ábra) egyik lehetséges kivitelezését bistabil billenő fokozat segítségével.

Néhány alapfelosztás

Technológia alapján:

- **Bipoláris:** multi-emitteres tranzisztorok, aránylag „nagy” fogyasztás, helyigényes, viszont gyorsak.
- **Unipoláris:** FET-tranzisztorok, minimális fogyasztás, kis helyigény, picit lassúbb, mint a bipoláris (jelenleg). Fejlesztése a gyorsítására irányul. Használata nagyon elterjedt.

Mindkettő technológia lehet:

- **Sztatikus:** billenő áramkörök, melyek állandóan üzemben vannak. Nagyon gyorsak.
- **Dinamikus:** addig vannak üzemben, amíg szükséges. Az egyes *memória-sejteken* az információt kondenzátorok tartják a kapacitásuk segítségével, majd ezek a kondenzátorok bizonyos meghatározott időközönként *frissítve* vannak (refresh). Érdekességképpen megemlíthetjük, hogy a beírás valójában a kondenzátorokba történik és az olvasás is ezekből a kondenzátorokból megy végbe.

Hozzáférés alapján:

- *tetszőleges* hozzáférésű memória (RAM, EDORAM, SDRAM, ...) A megértés kedvéért: EDORAM- a hagyományos RAM továbbfejlesztése. A hagyományos RAM és még az EDORAM is jóval lassúbb, mint a CPU ezért a CPU „sokat” várakozik,

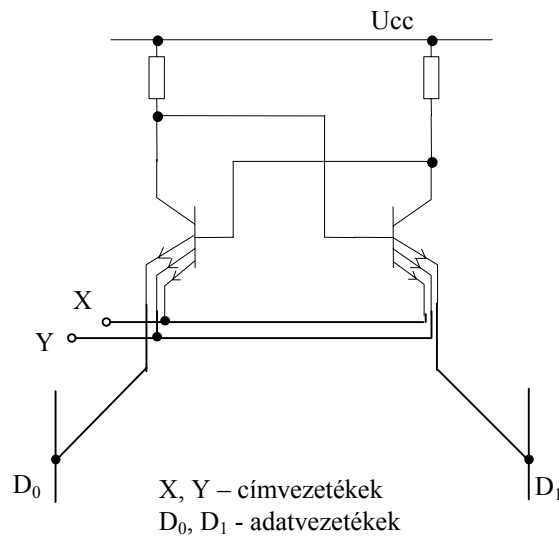
míg megkapja az adatot a memóriából. A hagyományos RAM kb. minden harmadik órajelre képes adatot szolgáltatni, az EDORAM minden második, az SDRAM (szinkron-dinamikus RAM) az órajel minden felfutó élénél képes adatot szolgáltatni.

- *szekvenciális hozzáférés (SAM)*. Az adatokhoz csak sorban egymás után fér hozzá, pl.: mágnesszalag, FIFO, LIFO memóriák.
- *tartalmukkal címzett memóriák (CAM)*

Felhasználás alapján:

- csak olvasható memóriák: ROM, PROM, RMM, MROM-maszkkal gyártott ROM,...
- írható-olvasható memóriák: RWM,...
- egyszer írható memóriák: EPROM,...
- többször (de határolva) írható memóriák: REEPROM,...
- programozható logikai mezők: PLA,...

F/12. ábra



Az *SR tároló* jellegzetessége, hogy az *S* bemenetre adott poz. feszültséggel beállítjuk a tárolót (kimenete log "1"), utána az *R*

bementre adott feszültséggel kinullázzuk a tárolót (kimenete log "0"). Továbbá, ha mindkét bemenetre egyszerre poz. feszültséget adunk a **kimenet nem definiálható (*)**, ugyanis az alkatrészek „gyorsaságától” függ, hogy melyik állapot érvényesül. A tárolónak két kimenete van, (Q, \bar{Q}) melyek egymás *negáltjai*, a bemenetek pedig az S , és R . Az SR-tároló igazságtáblázata logikai értékekkel: TAB. F/5.

TAB.F/5

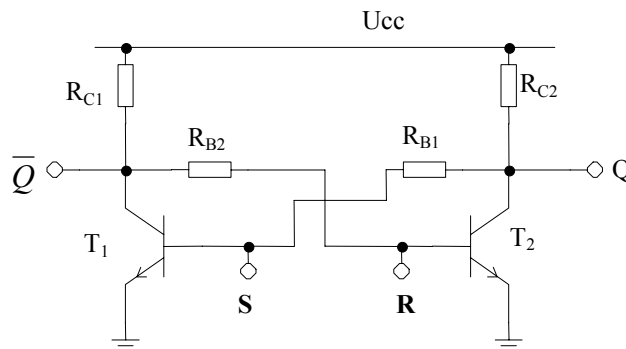
S	R	Q
0	0	\bar{Q}
1	0	1
0	1	0
1	1	*

A F/13 ábrán egy egyszerű bistabil billenő fokozatot látunk, amit a megfelelő áramkörökkel kiegészítve SR- tárolónak is lehet alkalmazni. Az SR- tároló a sorrendi hálózatok egyik alapeleme.

S, R – a két bemenet

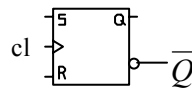
Q, \bar{Q} - a két kimenet

F/13. ábra



Az SR- tároló szimbolikus jelölése:

(cl - órajel)



* * *

TÁRGYMUTATÓ

A, Á

adatátvitel..... 166, 167, 169
admittancia..... 79
aktív tartomány113, 114, 115, 116
analóg.....134, 142, 143, 144
Anizochrón..... 166
aszinkron..... 166

B

bázis 131
Bode 148, 149, 150

C

CPU..... 174

Cs

csomópont..... 14, 16, 21, 34, 41

D

DCTL..... 159
deciBELL..... 148
delta-csillag átalakítás 38
derivátor..... 146, 150
Derivátor..... 146
Differenciál erősítő 172
Differenciálerősítő 131
dióda.....89, 90, 91, 92, 94, 157, 170
DRL 157
DTL..... 160

E, É

EDORAM..... 174
effektív érték 65, 66
Egyenirányítás..... 95
elektromágneses tér..... 4
elektromos erő 10
elektromos tér..... 4, 7

elektromos töltés 4
elektron 5, 6, 87, 88
ellenállás..... 8, 15, 16, 18, 19, 38, 74
emitter 104, 105, 111, 112
energiaforrás..... 9, 22, 23
EPROM..... 174
eredő ellenállás..... 17, 20
eredőellenállás.... 16, 31, 32, 33, 35, 36,
39, 41, 44, 51
eredőkapacitás 18
erősítési tényező 115, 118
Erősítési tényező 106
értékhatárok..... 108

F

fázor..... 65, 75
félvezető 7, 85, 86, 87, 88, 89, 104
fluxus..... 71
fogyasztó 10
frekvencia..... 65, 82, 101, 148, 166

G

Graetz..... 90, 102

H

hídkapcsolás 19
híd-kapcsolás..... 35, 38
hurok 14, 109, 111

I, Í

IC 108, 112, 114, 117, 161
igazságtáblázat..... 158, 160, 161, 175
impedancia 65, 71, 75, 77, 78, 79
integrátor 154
Integrátor..... 144
Ip, In..... 136
Izochrón 166

K

kapacitás..... 18, 97

kapcsoló üzem.....	119, 120
Kirchoff...14, 15, 30, 42, 44, 45, 46, 49,	52, 53, 54, 56
kivonó áramkör	143
kollektor	105
kompenzáló ellenállás	139, 140, 150, 151, 152
komplex impedancia	78, 80, 81, 148
kondenzátor	72, 95, 97, 98, 99, 101
kőrfrekvencia	82
középtértékét	70

L

Laplace.....	144, 145, 146
lezárási tartomány	120, 121
logikai áramkörök	157
logikai összeadás	157, 159

M

mágneses tér	4, 13
Maxwell	45, 46, 49, 53, 54, 55, 57
memória	173, 174
ME-műveleti erősítő.....	134, 135, 136, 138, 139, 140, 141, 142, 145, 150, 155, 156
munkaegyen	105, 110
munkapont.....	105, 106, 108, 110, 113, 127, 128
műveleti erősítő.....	140, 146
Műveleti erősítő	134

N

NAND.....	160, 161
négyzetes középték	66, 68, 71
Norton-Thevenin.....	115, 117, 119
NPN	104, 106, 107

O,Ó

Ohm	13, 21, 28, 43, 44, 71, 80, 93
Ohm törvény	13, 43, 44, 71
optocsatoló	169

Ö,Ő

összeadó áramkör	142
------------------------	-----

P

Párhuzamos adatátvitel.....	166
párhuzamos kapcsolás	16, 24
periódus	65
P-N átmenet.....	88
PN réteg.....	87, 89
PNP	104

R

reaktancia	72
replusz	17
REPROM	174
ROM	174
RS 232C.....	167
RWM.....	174

S

SDRAM	173, 174
simítás	95
Soros adatátvitel	166
soros kapcsolás.....	16, 23
SR tároló	173, 175

Sz

szaturáció	107
szinkron.....	166, 167, 174
szuperpozíció	47, 48, 49, 53, 143
szuszceptancia	72, 73
szűrés.....	95, 103
szűrőlánc	95

T

telítettségi tartomány	120, 121, 122
tiltott sáv.....	158
töltésvándorlás	7
tr. működési tartományok.....	114

tranzisztor 104, 106, 107, 108, 109, 110,
112, 113, 114, 115, 116, 118, 119,
120, 121, 122, 123, 127, 128, 131,
132, 135, 159, 161, 173
TTL 157, 161, 168, 169

U, Ű

U_{beS} 136

V

V.24 168

villamos áram 7, 10, 98
villamos áramkör 9
villamos vezetőképesség 13
virtuális földpont 20, 136, 139, 140,
142, 146, 147, 157, 158
visszacsatolás 136, 137, 138

Z

zajimmunitás 160
Zener 90, 92, 160
Zenerdióda 93

FELHASZNÁLT IRODALOM

1. Klaus Beuth, Olaf Beuth: Az elektronika alapjai, II. Félvezetők
2. Lányi – Magyar: Elektrotechnika (Műszaki Könyvkiadó, Budapest)
3. Lukáts Miklós, ... : Elektrotechnika (BME – gépészmérnöki kar)
4. Dr. Gallai Sándor: Számítógépek áramkörei I. (KKVMF, Műszaki Könyvkiadó, Budapest)
5. H. Huber, und koll.: Elektrotechnikai szakszámítások (Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1995.)