

# Elektronika alapok



Előadó: Keresztes Botond (Keri, HA5ERI)

[keresztes.botond@simonyi.bme.hu](mailto:keresztes.botond@simonyi.bme.hu)

Átdolgozta: Keresztes Botond (Keri, HA5ERI) 2024 tavasz

# Alapmennyiségek és mérőirányok

## Feszültség:

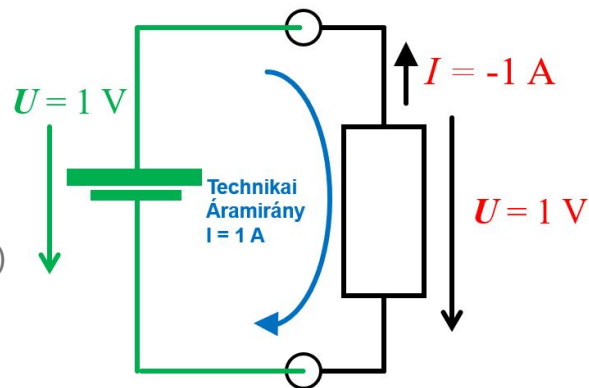
Egységni töltés mozgatásához szükséges energia/munka

$$U = \frac{W}{Q}, [U] = \text{Volt}$$

## Áramerősség (áram):

Egységi idő alatt (adott keresztmetszeten) átáramló töltések száma

$$I = \frac{Q}{t}, [I] = \text{Amper}$$



**Feszültség:** Mértékegysége a Volt (amit Voltáról neveztek el, nem pedig Travoltáról), két pont között értelmezendő (átfogó). Az elektromos mező munkavégző képességét jellemzi.

**Áramerősség:** Mértékegysége az Amper (Ampére-ről elnevezve), adott keresztmetszeten értelmezett (átfolyó), a töltésmozgás mennyiségét jellemzi.

**Mérőirányok:** Megadják az áram és a feszültség "irányát". A nyilak iránya konvenciótól függ. Általában feszültségnél a mérőirány (nyíl) a nagyobb potenciáltól a kisebb felé mutat. Az áram a fizikai áramiránnyal (elektronok folyási irányával) ellentétes, vagyis a pozitív töltések áramlásának irányába mutat.

A mérőirányok definiálására léteznek más konvenciók is, de az egyértelműség jegyében ezekre nem térünk ki, innentől az előbb említett módszer használjuk.

# Alkatrészek osztályozása

## Passzív:

- Áram és feszültség referencia egy irányba áll (pozitív ellenállás)
- Energiát fogyaszt/munkát végez

## Aktív:

- Áram és feszültség referencia ellentétes irányban áll (negatív ellenállás)
- Energiát táplál az áramkörbe

Vannak alkatrészek, amik tudnak így is, úgy is viselkedni

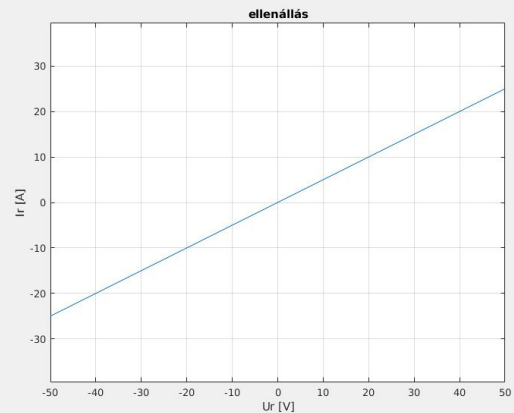
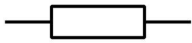
A mérőirányok alapján megkülönböztethetünk passzív és aktív alkatrészeket, melyek vagy energiát táplálnak a rendszerbe (aktív), vagy energiát (teljesítményt) vesznek ki abból (passzív).

Léteznek alkatrészek, melyek képesek mindkét módon "viselkedni", erre később látni fogunk példát.

# Ellenállás (rezisztencia)

$$R = \frac{U}{I}, [R] = \text{Ohm} (\Omega)$$

$$P = U \cdot I, [P] = \text{Watt}$$



Ellenállás: legegyszerűbb, legalapvetőbb építőelem.

Mértékegysége az ellenállás [Ohm], reciprokával is jellemezhető, ekkor vezetésnek hívjuk ( $G=I/U$ , [G]=Siemens).

U-I függvénye egy origón áthaladó R meredekségű egyenes (lineáris komponens).

Valós ellenállásoknál R mindig  $> 0$ .

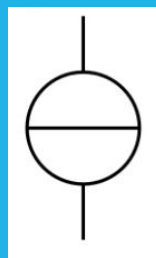
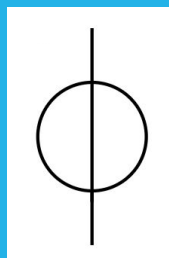
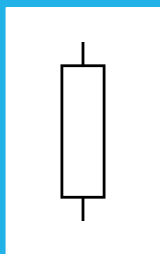
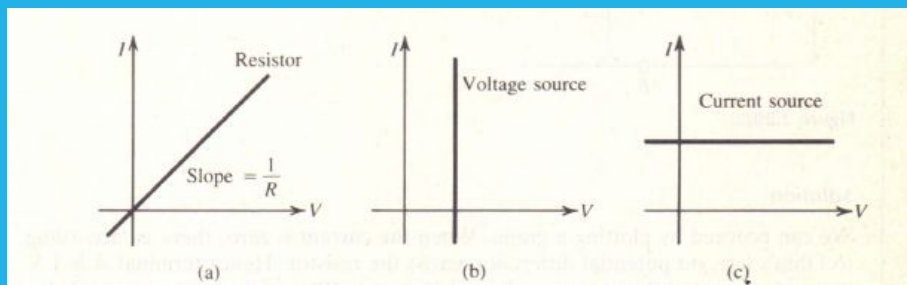
Az ellenállással nem csak maga az alkatrész jellemezhető, hanem tetszőleges komponens feszültség-áram karakterisztikájának a meredeksége.

# Ellenállások a gyakorlatban



Ellenállásokkal sok kivitelben és értékben lehet találkozni, értelemszerűen mindegyiknek megvan a maga alkalmazási területe.

# Ideális alkatrészek



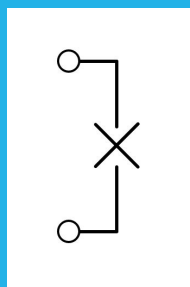
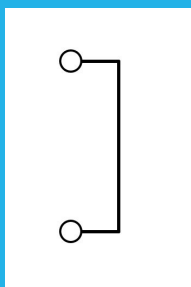
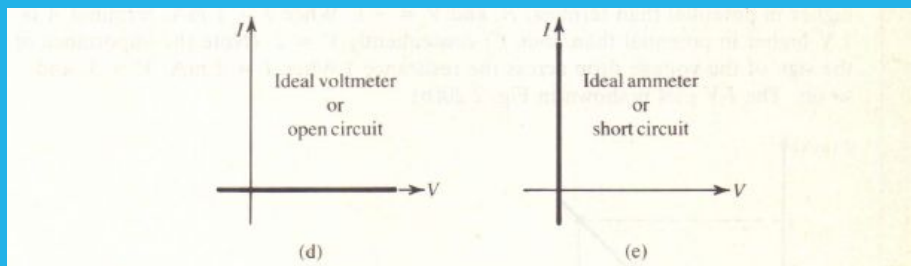
Ellenállás mellett vannak más alapvető építőelemek és jellemzőik, ezeket vegyük most sorra:

**Ellenállás:** Meghatározza a rajta folyó feszültség és áram arányát. Ha adott a feszültség, akkor adott mennyiségű áram fog folyni (és fordítva).

**Feszültségforrás:** Adott a rajta eső feszültség, a rajta folyó áram akármekkora lehet, ezt a hozzá csatlakozó hálózat fogja "kikényszeríteni".

**Áramforrás:** Adott a rajta folyó áram, a rajta eső feszültség akármekkora lehet. Az előzőhöz hasonlóan ezt is a rákapcsolt hálózat fogja megszabni.

# Ideális alkatrészek



Bár triviális lehet létezésük, azért megemlíjük az egyes alkatrészeket összekötő (vagy nem összekötő) elemeket.

Rövidzár: A rajta eső feszültség nulla, árama akármekkora lehet.

Szakadás: A rajta folyó áram nulla, feszültsége akármekkora lehet.

**FONTOS:** Ezen és az előző dián említett alkatrészek ideálisak. A valóságban nem létezik tökéletes feszültségforrás vagy rövidzár, viszont ezen idealizált elemekből (melyeket könnyű matematikailag kezelni) összerakhatóak a valóságot jobban közelítő modellek (pl. Thevenin-generátor).

# Matematikai emlékeztető

## Frekvenciatartomány:

- Számolás fázorokkal
- **Egy** adott frekvencián értelmezettek
- Áramhoz és feszültséghez is rendelhetünk fázort
- Lehet őket összeadni, szorozni
- Deriválás szorzássá egyszerűsödik

$$u(t) = U \cdot \cos(\omega t + \varphi) \Leftrightarrow \bar{U} = U \cdot e^{j\varphi}$$

$$u(t) = u_1(t) + u_2(t) \Leftrightarrow \bar{U} = \bar{U}_1 + \bar{U}_2$$

$$x(t) = K \cdot u(t) \Leftrightarrow \bar{X} = K \cdot \bar{U}$$

$$y(t) = u'(t) \Leftrightarrow \bar{Y} = j\omega \bar{U}$$

**Csak szinuszos jeleknél!**



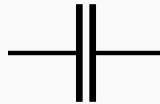
# Kapacitás (kondenzátor)

$$\int e^{j\omega t} \Rightarrow \frac{1}{j\omega} \cdot e^{j\omega t}$$

$$U_C(t) = \frac{1}{C} \cdot Q_C(t) = \frac{1}{C} \cdot \int_{-\infty}^t I_C(\tau) d\tau$$

$$\overline{U_C} = \frac{1}{j\omega C} \cdot \overline{I_C}$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C}$$



- Az áram 90°-ot **siet** a feszültséghez képest
- Ha  $\omega=0$ , akkor **szakadás**
- Ha  $\omega=\infty$ , akkor **rövidzár**

A kapacitás megmondja, hogy egységnyi feszültség mellett mennyi töltést tudunk tárolni. Másként szólva, a létrejövő elektromos tér nagyságát jellemzi.

A karakterisztikus egyenlete (ami leírja az U-I összefüggést) integrált tartalmaz, így a matekos előadáson tanultak alapján frekvenciatartományban ez egy szorzásra (osztásra) egyszerűsödik, így könnyen el tudunk vele bánni fazorok segítségével. Itt az U-I karakterisztikát itt már nem ellenállásnak hanem impedanciának hívjuk, mivel ez már nem csak a feszültség és áram arányát, hanem fázisát (eltolását) is jellemzi, vagyis komplex számmal kell leírjuk. Fontos észrevennünk, hogy ez az impedancia a függ a frekvenciától!

Fontos megjegyezni, hogy a kapacitás és kondenzátor nem azonos! A kapacitás egy fizikai mennyiség, míg a kondenzátor egy valóságos (boltban kapható) alkatrész, ami (egyéb parazita hatások mellett) nagy kapacitással rendelkezik.

# Induktivitás (tekercs)

$$\frac{de^{j\omega t}}{dt} \Rightarrow j\omega \cdot e^{j\omega t}$$

$$U_L(t) = L \cdot \frac{dI_L(t)}{dt}$$

$$\overline{U}_L = j\omega L \cdot \overline{I}_L$$

$$Z_L = j\omega L$$



- Az áram 90°-ot **késik** a feszültséghez képest
- Ha  $\omega=0$ , akkor **rövidzár**
- Ha  $\omega=\infty$ , akkor **szakadás**

Az induktivitás megmondja, hogy egységnyi áram mellett mekkora fluxus keletkezik. Noha ez a hivatalos definíció, ezzel jelenleg sokra nem megyünk. Legyen elég annyi, hogy az áram által létrehozott mágneses tér nagyságát jellemzi.

A kapacitáshoz hasonlóan karakterisztikus egyenlete differenciálást tartalmaz, de ez matematikai ismereteinknek köszönhetően nem jelent gondot, áttérünk frekvenciatartománybeli leírásra.

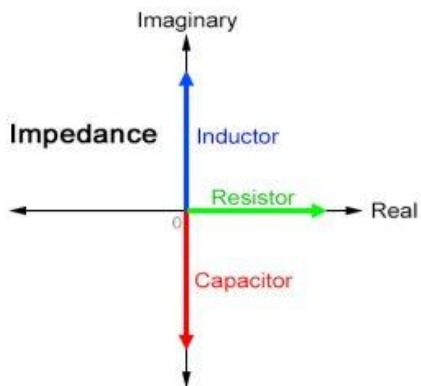
Az U-I karakterisztika itt is egy impedancia (komplex szám) lesz, és a kapacitáshoz hasonlóan frekvenciafüggő, de a frekvencia növekedésével azzal ellentétesen viselkedik.

Az induktivitás és a tekercs nem azonos! Induktivitás a fizikai mennyiség, tekercs a boltban kapható alkatrész, melynek (egyéb parazita hatások mellett) nagy induktivitása van.

**FONTOS:** Mind a kapacitás, mind az induktivitás képes energia tárolására elektromos illetve mágneses tér formájában, így ők képesek fogyasztóként és forrásként is viselkedni. Ami az illeti, az idő felében így, a másik felében amúgy viselkednem, vagyis összességében **NEM FOGYASZTANAK ENERGIÁT!**

# Reaktáns elemek impedanciája

$$Z_L = j\omega L$$

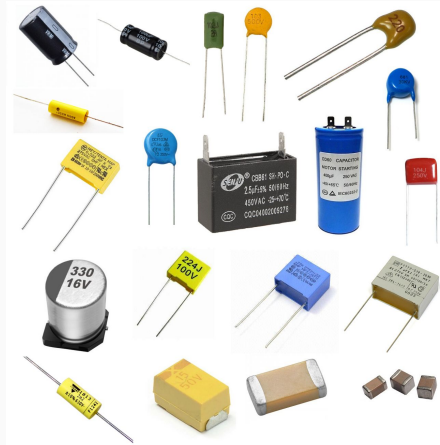


$$Z_R = R$$

$$Z_C = \frac{1}{j\omega C} = -j\frac{1}{\omega C}$$

Az impedanciákat ábrázolhatjuk komplex számsíkon. Pozitív képzetes rész esetén induktív, negatív valós rész esetén kapacitív elemről beszélünk.

# Tekercsek és kondenzátorok a gyakorlatban

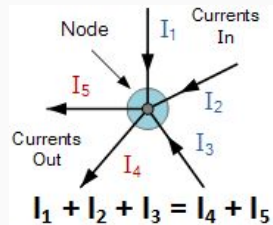
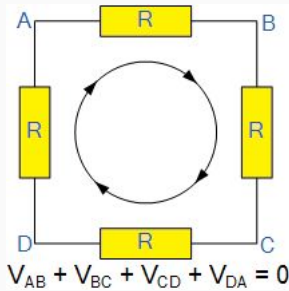


© www.powerelectronicstalks.com

Ellenállásokhoz hasonlóan a tekercsek (balra) és kondenzátorok (jobbra) is sokféle formát ölthetnek.

Bármilyen elektromos alkatrész megválasztása nemcsak az értéküktől, hanem egyéb konstrukciós jellemzőktől is függ. A helyes alkatrész megválasztása legalább olyan nehéz feladat, mint magának az áramköri elem értékének a kiszámítása.

# Összekapcsolási kényszerek



## Kirchhoff feszültség törvény (KFT)

- az energiamegmaradás törvényét fejezi ki
- minden hurokban a feszültségek (előjeles) összege 0

## Kirchhoff áram törvény (KÁT)

- A töltésmegmaradás törvényét fejezi ki
- Egy csomópontba befolyó és kifolyó áramok összege 0
- “Ami befolyik, az rögtön kifolyik”

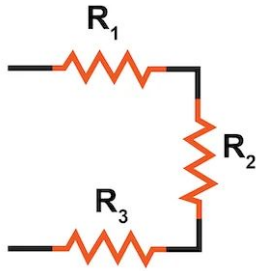
Egy több elemből összerakott hálózatban nem alakulhatnak tetszőlegesen a feszültségek és áramok, azok között egyfajta “egyensúly” jön létre, melyet a Kirchoff törvények írnak le.

**Feszültségtörvény:** Az áramkörben egy tetszőleges zárt körön végighaladva a feszültségek előjeles összege nullát kell adjon.

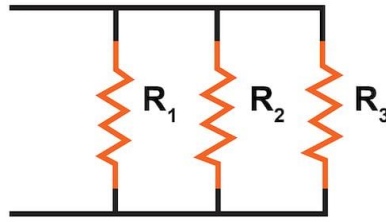
**Áramtörvény:** Az áramkör tetszőleges csomópontjára igaz, hogy az oda befolyó áramok összesen pontosan megegyezik az onnan kifolyó áramok összegével, vagyis nincs töltésfelhalmozódás. Vagy ahogy Nagy Feró énekelte: “Ami befolyik, az rögtön kifolyik.”

# Ellenállások (impedanciák) összekapcsolása

## Soros és párhuzamos kapcsolás ellenállásokkal, eredő ellenállás



$$R_e = R_1 + R_2 + R_3$$



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

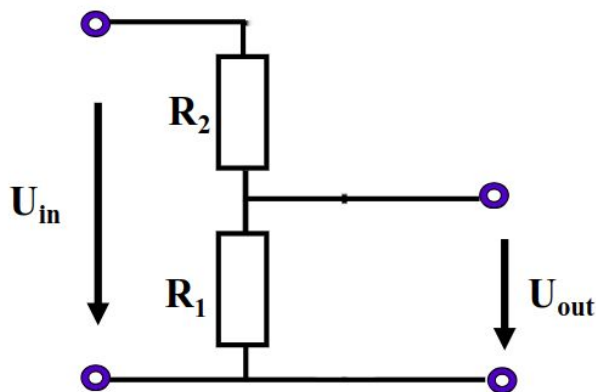
Két ellenállás esetén  
átrendezhető  
("Replusz" művelet):

$$R_e = R_1 \times R_2 = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$$

A Kirchoff törvények alapján belátható, hogy a sorban vagy párhuzamosan kapcsolt ellenállások (vagy akár impedanciák) összevonhatóak, így számításoknál egy elemként kezelhetőek. Ez olykor egyszerűsíteni tudja a számításokat.

Soros kapcsolás esetén az impedanciák egyszerűen összeadhatóak. Párhuzamos kapcsolásnál bonyolultabb a helyzet, itt az impedanciák reciprokeinak, összegének a reciproka adja az eredő ellenállást. (Nem, ebből a mondatból én sem érteném meg, érdekesebb inkább a képletet nézni). Két ellenállás párhuzamos kapcsolásánál viszont érdemes megjegyezni, hogy az eredő ellenállás a két ellenállás szorzata, osztva az összegükkel. Hasznos továbbá tudni, hogy párhuzamos kapcsolásnál az eredő ellenállás kisebb lesz bármelyik egymással párhuzamba kapcsolt ellenállás értékénél, vagyis  $R_e < R_1$  valamint  $R_e < R_2$ .

# Ohmos osztó

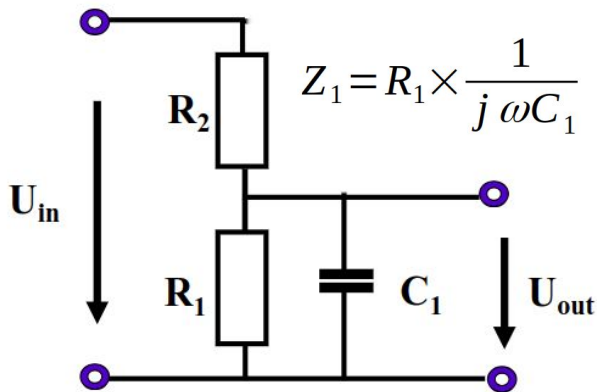


$$U_{out} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} \cdot U_{in}$$

- A feszültség az ellenállások arányában oszlik meg
- Frekvenciafüggetlen

Az ohmos osztó, vagy ismertebb nevén feszültségosztó az egyik legalapabb építőeleme az áramköröknek. Megintcsak a Kirchoff-törvények felhasználásával be lehet látni, hogy a két feszültség között a jobb felül látható összefüggés áll fenn, vagyis minél nagyobb  $R_1$  értéke  $R_2$ -höz képest, annál nagyobb feszültség “marad meg” az eredetiből a kimeneten.

## Frekvenciafüggő osztó



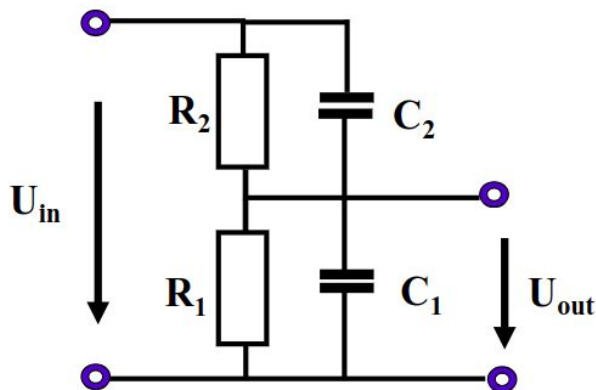
$$U_{out} = \frac{Z_1}{Z_1 + R_2} \cdot U_{in}$$

- A frekvencia növekedésével egyre kisebb a kimenő feszültség
- Aluláteresztő hatás

R1-el párhuzamosan kapcsolva egy kondenzátort az osztónk frekvenciafüggővé vált. A kimenetet most már R1 és C1 replusa határozza meg, melynek impedanciája változik a frekvenciával. A pontos matematikai összefüggés levezetését az olvasóra bízunk, itt csak egy egyszerűsített magyarázatot kínálunk: Párhuzamos kapcsolásnál ugyebár az eredő mindig kisebb, mint bármely a kapcsolásban résztvevő elem. Így mivel a frekvencia növekedésével a kapacitás impedanciája egyre kisebb, ezáltal Z1 értéke is egyre csökken, ettől pedig értelemszerűen egyre kisebb feszültség fog a kimenetre jutni.



## Kompenzált osztó



$$U_{out} = \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2} \cdot U_{in}$$

Frekvenciafüggetlen, ha

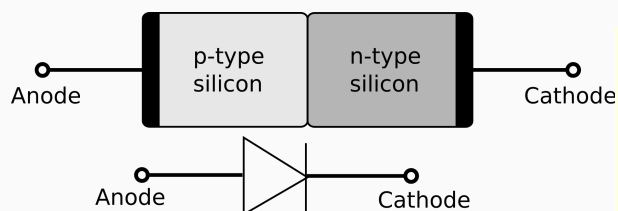
$$R_1 \cdot C_1 = R_2 \cdot C_2$$

Ebben az esetben az osztásarány az ellenállásoktól függ

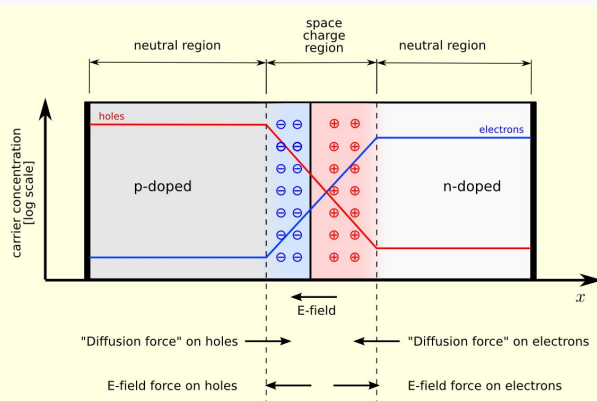
Az előző dián látható probléma gyakran előfordul az elektronikában. Az aluláteresztő hatást valahogy ki kell küszöbölni, erre való a kompenzált osztó. Amennyiben az osztó két tagjának időállandója megegyezik, azaz  $R_1$  és  $C_1$  szorzata egyenlő  $R_2$  és  $C_2$  szorzatával, akkor az osztásarány csak az ellenállások arányától függ, vagyis az osztót frekvenciafüggetlenné tettük. Ennek matematikai levezetését ismét az olvasóra bízuk.

Aki pedig érdekelt, annak ajánljuk utánaolvasni a 10x oszcilloszkóp mérőfejek működésének, ugyanis azokban pontosan ez az áramkör van realizálva.

# PN átmenet



Szilícium egykristályt pozitív (P típusú) és negatív (N típusú) elemekkel adalékolunk

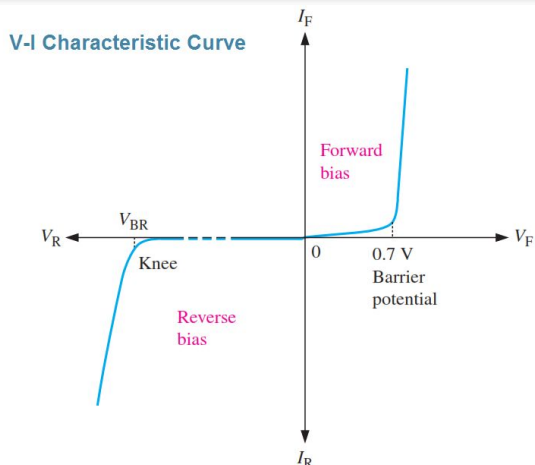


A főbb passzív alkatrészek megtárgyalása után rátérünk az aktív eszközökre, melyek megértését a PN átmenettel célszerű kezdeni. Ez egy olyan szilícium egykristály, melynek egy részét pozitív (5. főcsoport) másikat negatív (3. főcsoport) elemekkel adalékoljuk, így pozitív illetve negatív töltésekkel "túltöltött" tartományokat létrehozva. Amennyiben nem kapcsolunk erre feszültséget, kialakul egy egyensúly, ahol az átmenet környékén az N-típusú részből az elektronok betöltik a P-típusú tartományban lévő lyukakat, így töltéssemlegességet létrehozva (jobb ábra). Ez kialakít egy elektromos teret a két réteg között, mely olyan irányú, hogy a belekerülő elektronokat visszavonzza az N-tartományba, a lyukakat pedig a P-tartományba. Amennyiben záró irányú feszültséget kapcsolunk a PN átmenetre (N oldalra pozitív, P oldalra negatív), úgy ez a "kiürített tartomány" nagyobbra nő, és nagyobb lesz az elektromos térerő nagysága is, azaz még nehezebb lesz a töltéseknek áthaladni. Ha nyitó irányú feszültséget (P oldalra pozitív, N oldalra negatív) kapcsolunk rá, akkor hiába akar kialakulni a kiürített réteg az átmenetnél, gyorsabban pótoljuk az elektronokat és a lyukakat kívülről, így az egész kristály vezetőképes marad. Azt a minimális feszültséget aminél ez bekövetkezik, nyitófeszültségnek nevezzük és a PN átmenetnek egyik fő jellemzője. Szilícium esetén kb. 0,7 V.

# Dióda

## Típusok:

- Szilícium-dióda
- Schottky-dióda
- Zener-dióda
- LED
- Varikap-dióda
- Fotodióda



A dióda U-I görbéje közel sem lineáris, sőt, exponenciális, ami a jobb ábrán látható. Ettől függetlenül ugyanolyan kétpólus mint az előzőleg látottak, és ennek is értelmezhető az ellenállása, csak minden pontban más. Az ellenállás a feszültség és áram hányadosa, vagyis a dióda ellenállását a különböző pontokban az U-I görbe deriváltja adja meg.

Többféle dióda létezik, bár megjegyezzük, ezek közül nem mindegyik tisztán PN átmenetből áll, viszont karakterisztikájuk jellege hasonló:

Szilícium: PN átmenetű félvezető, elsősorban egyenirányításra. Nyitófeszültség ( $U_f$ ) kb. 700 mV

Schottky: Gyors kapcsolás, alacsony feszültesítés ( $U_f = 150 \dots 450 \text{ mV}$ ).

Zener: Precíz letörési feszültség. Feszültségkorlátozás, feszültség referenciának használható. Záróirányban használjuk.

LED: Fényforrás. A kibocsájtott fény hullámhossza (színe) összefügg a nyitófeszültséggel.

Varikap: Záróirányban előfeszítve kondenzátorként lehet használni, kapacitása állítható a zárófeszültséggel.

Fotodióda: Más kivételben napelem. Fény hatására feszültségforrás (eset rajta több feszültség mint amennyit generál  $\rightarrow$  fogyasztó lesz).

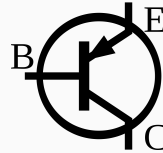


Az információ ipari forradalmának kezdete talán 1947. december 23-ára tehető, amikor is John Bardeen, Walter Brattain (álló balról jobbra) és William Shockley (ülve), felfedezték a tranzistor hatást, és ezzel együtt a bipoláris tranzisztort (melyért 1956-ban Nobel-díjat kaptak). Az első tranzistor modellje a jobb képen látható. A történet iróniája, hogy eredetileg egy térvezérlésű tranzisztort próbáltak gyártani (melyet már a 30-as években szabadalmaztattak), de a fémeken lévő felületi potenciálokkal mindig gondjuk volt, így elkezdtek azok viselkedését kutatni, és eközben véletlenül feltalálták a bipoláris tranzisztort. Eredetileg kristály trióda néven közölte a sajtó, ugyanis így könnyebb volt párhuzamba hozni a vákuumcsövekkel, viszont a csapat hamar tranzisztorrá keresztelte az eszközt, ami a "trans" és a "resistance" (ellenállás) szavak egyesítéséből ered.

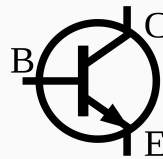
# Bipoláris Tranzisztor (BJT)

- Bázis-Emitter feszültséggel szabályozható a kollektor árama
- Általában adalékolt szilíciumból készül
- NPN és PNP kivitel
- Jellemzője az áramerősítés ( $\beta$ )
  - Tipikusan  $\beta = 50 \dots 200$

PNP:



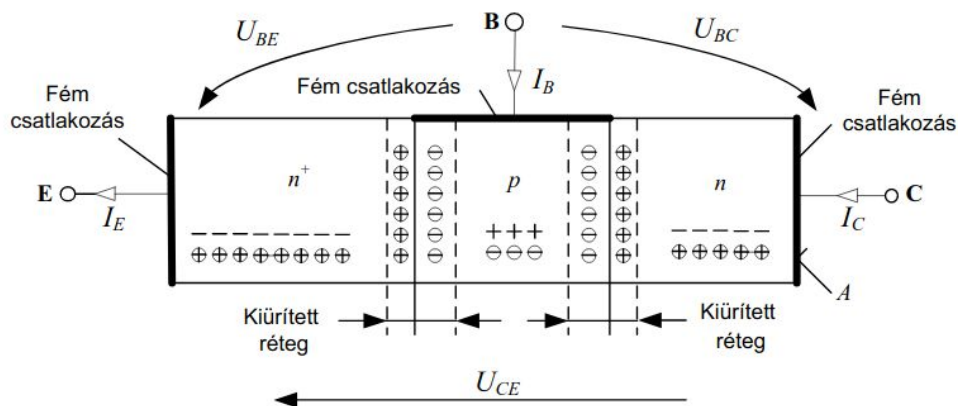
NPN:



Bipoláris tranzisztorokkal kétféle kivitelben találkozhatunk, PNP illetve NPN. Az elnevezés a rétegrendre utal, PNP két dióda “szembe” van fordítva, NPN esetén pedig “széjjel”. Szilícium adalékolással készülnek, jellemzőjük az áramerősítési tényező, mely tipikusan 50...200 között változik, de még ezen kívül eső értékek is elő szoktak fordulni. A működési mechanizmust lásd a következő diákon.

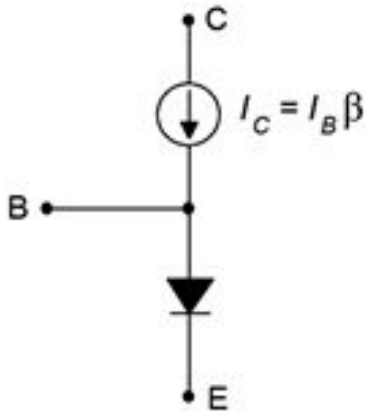
A két kivitel között alapvetően csak a polaritás a különbség, de a működtető fizikai jelenségekből kifolyólag az NPN tranzisztor valamivel gyorsabb mint a PNP, így ha kapcsolónak kell használni, akkor előbbi preferálják.

# Bipoláris tranzisztor, tranzisztor hatás



A tranzisztor hatást egy NPN struktúrán magyarázzuk. 3 elektródája az Emitter, Bázis és Kollektor, melyek ilyen sorrendben követik egymást. Fontos, hogy a bázis elektródának a "vastagsága" viszonylag kicsi (vagy úgymond "rövid"). A tranzisztornak 4 különböző működési tartománya van attól függően, hogy a két PN átmenet közül melyek vannak zárva és nyitva. Ebből minket most főleg a "normál aktív" tartomány érdekel, amikor a bázis-emitter átmenet nyitott a Bázis-Kollektor átmenet pedig zárt. Ha így állítjuk be a tranzisztort, akkor a bázis-kollektor átmeneten létrejön egy kiürített réteg, mely az elektronokat a kollektor felé fogja vonzani (innen a kollektor, mint "gyűjtő" elnevezés). A bázis-emitter átmenet pedig nyitott, vagyis az emitterből elektronok fognak a bázis elektródára folyni (innen az emitter, mint "kibocsájtó" elnevezés). Amikor az elektronok a bázisba érnek, azok rekombinálnának a lyukakkal a P-típusú anyagban, ám mivel a bázis elektróda "rövid" (rövidebb az elektronok szabad úthosszával), az elektronoknak nincs ideje rekombinálni, hanem belekerülnek a kiürített réteg elektromos terébe, és "beszippantódnak" a kollektorba. A bázis-emitter nyitvatartásához szükséges áram sokkal kisebb, mint a bázis-kollektor átmenet által beszippantott elektronokból álló áram, vagyis a bázison egy kis befolyó áram a kollektoron egy vele arányos, de jóval nagyobb áramot fog eredményezni.

# Bipoláris tranzisztor (kisjelű) helyettesítőképe



**Csak normál aktív tartományban érvényes modell!**

**Alul:** Bázis-Emitter PN átmenet

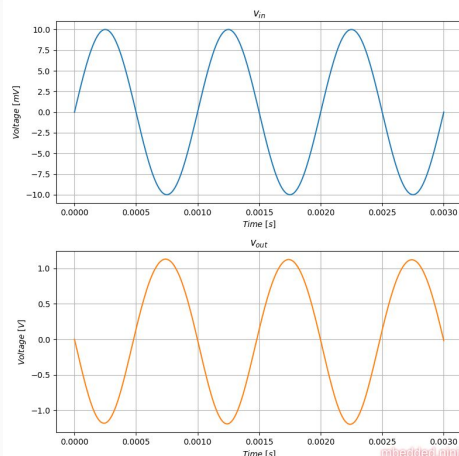
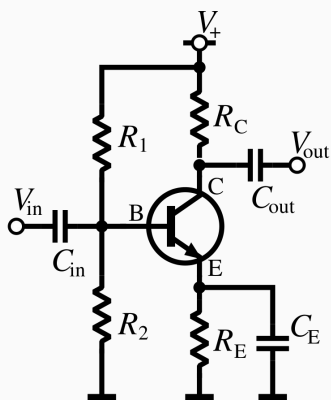
**Felül:** Áramvezérelt áramforrás. A bázisáram hatására a kollektoron létrejövő arányosan nagyobb áram.

**$\beta$ :** Áramerősítési tényező

Az előbb leírt működés alapján a tranzisztorról alkothatunk egy modellt (helyettesítőképet), mellyel megkönnyítjük az áramkörökben történő működésének az elemzését. Fontos megjegyezni, hogy ez nem egy általános modell, ez csak normál aktív tartományban írja le a tranzisztor működését, de mi most csak azzal foglalkozunk.

A Bázis-Emitter közötti PN átmenetet egy diódával modellezzük, melynek feszültsége kb. 0,7 V, árama pedig exponenciálisan függ a nyitófeszültségtől. Mivel a dióda U-I görbéje exponenciális, így nagyon kis feszültségváltozásra nagyon nagy áramváltozás jön létre. Ez még fel van sokszorozva az áramerősítési tényezővel (béta) ami megmondja, hogy a kollektoron hányszor nagyobb áram folyik mint a bázison. Értéke nagyon sokat szór (még azonos típusú tranzisztorok között is), de általában olyan 50...200 között szokott lenni.

# Földelt emitteres erősítő



A földelt emitteres kapcsolás elmagyarázása részletesen úgy lehetséges (főleg ha valaki újonnan hall róla), ha közben táblán folyamatosan fel vannak rajzolva ez egyes mozzanatok, felismerések, mire el nem jutunk a működés magyarázatáig. Így szövegesen nem kíséreljük meg ezt részletesen leírni, csak az egyes alkatrészek szerepét közöljük. Így, ha valaki részt vett az előadáson, akkor (remélhetőleg) az itt lévő emlékeztető és az előadáson elhangzottak alapján rekonstruálni lehet a magyarázatot.

Az alkatrészek szerepe:

$C_{in}$  és  $C_{out}$ : Egyenáramúlag leválasztják az erősítőt, hogy a tranzisztornak a munkapontját ne állítsa el a következő, illetve megelőző fokozat.

$R_1$   $R_2$ : Feszültségosztó, melyek beállítják a bázis potenciálját, ezzel tudjuk "kinyitni" a bázis-emitter átmenetet.

$R_E$ : Emitter ellenállás (emitter degeneráció), főleg azért kell, hogy a tranzistor termikusan stabil legyen, vagyis a melegedés ne állítsa el a munkapontot. Az erősítés szempontjából nem kívánatos.

$C_E$ : Váltakorúlag "lehidegíti" vagy "söntöli"  $R_E$ -t. Így nagyobb frekvenciákon az emitter kör eredő impedanciája kisebb, és az erősítés megnő.

$Z_E$ : Emitterkörü  $R_E$  és  $C_E$  eredő párhuzamos kapcsolása.

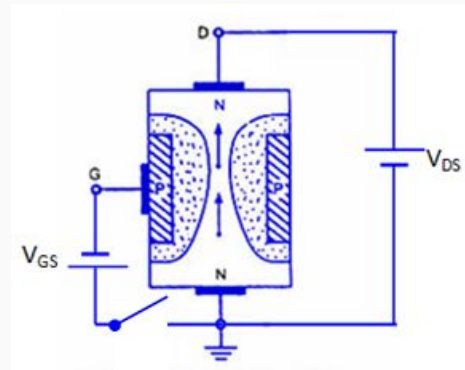
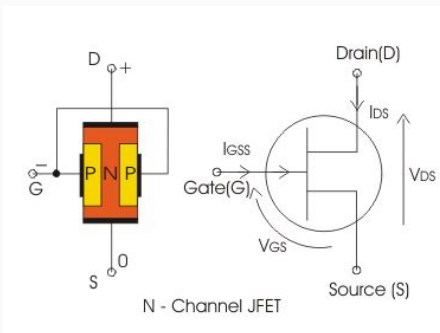
$R_C$ : Kollektor ellenállás, azért kell, hogy a tranzistor árama feszültséget ejtsen rajta, és így létrehozza a kimenő jelet.

A tranzistor feszültségerősítése (bétát végtelen nagyra tekintve):  $U_{ki}/U_{be} = -R_C/(Z_E+R_{BE})$ , ahol  $R_{BE}$  a tranzistor bázis-emitter diódájának az ellenállása. Fontos, hogy a földelt emitteres erősítő invertálja a bemenetére érkezett jelet.



# Egyéb tranzisztorfajták: JFET

## Junction gate Field Effect Transistor



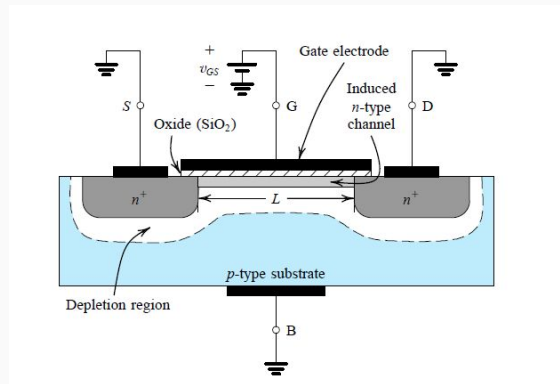
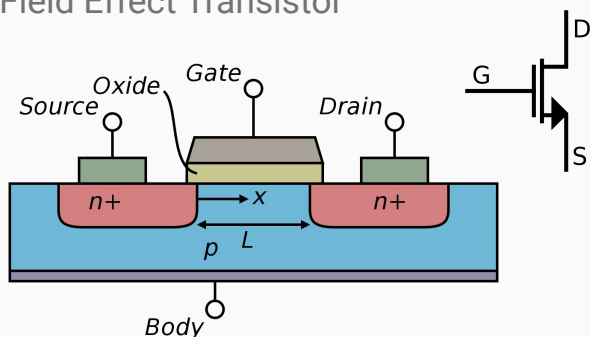
A bipolárisok mellett a másik nagy “tranzisztor család” a tervezérelt tranzisztor. Ezek működése kicsit jobban hasonlít a vákuumcsövekére, ezért az audiofilek esküsznek rá, hogy ilyenekből felépített erősítő jobban szól mint egy BJT-s, mivel ezek “csőszerűbbek”.

A képen egy JFET látható, aminek működése egy kertislaghoz hasonlítható, melyre rálépünk. Az analógiában a kertislagban folyó víz az áram, a slagra nehezedő cipőnk pedig a vezérlőfeszültség.

Létezik belőle N és P típusú is, bár a P típusú elég kuriózum. Nagyon ritkán találkozni vele, mert nem nagyon gyártanak ilyeneket.

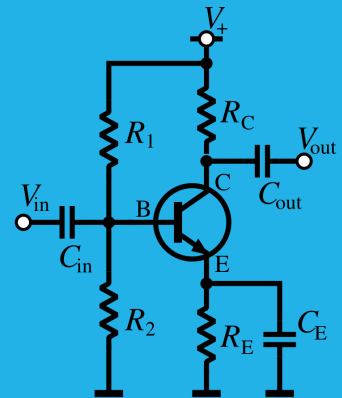
# Egyéb tranzisztorfajták: MOSFET

## Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor



A MOSFET szintén tervezérelt tranzisztor, viszont a JFET-től felépítésében kissér különbözik. Létezik belőle P illetve N típusú, valamint kiürítéses illetve növekményes fajta. Hivatalosan nem három, hanem 4 kivezetése van (Gate, Source, Drain, Body), bár diszkrét tranzisztoroknál a Body és Source össze van kötve, így kívülről ez is háromlábúnak tűnik. Integrált áramkörökben (jellemzően digitális) a Body csatlakozót is külön szokás kezelni, vagyis az ilyen tervezésnél az eszköz valóban négy lábú. Erre épül a modern világunk, a digitális áramkörök mára már gyakorlatilag kizárólag MOSFET-ekből épülnek fel. És mivel egy processzorban több milliárd darab található, így az emberiség legnagyobb darabszámú gyártott eszköze.

# Kérdések?



Az elektronika illetve az áramkörök nem egy egyszerű témakör, így feltételezem mindenki ben merült fel kérdés, vagy van olyan rész, amit nem ért.

Ha gyógyír kell a kíváncsiságra, akkor a Kafu tagjaival állunk rendelkezésre! Bátran lehet keresni minket e-mailben, discordon, vagy akár személyesen is, kinek mihez van kedve/ideje.