

Tantárgy: ANALÓG ELEKTRONIKA

Tanár: Dr. Burány Nándor

3. félév

Óraszám: 2+2

1

1.2. RÉSZ

AKTÍV ALKATRÉSZEK

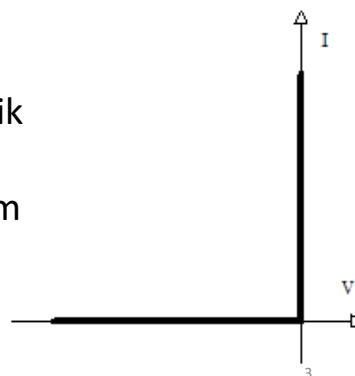
- Aktív alkatrészek nélkül nincs elektronika (erősítést és kapcsolást végeznek)
- A XX. század első felében elektroncsövekkel dolgoztak, később félvezetős eszközöket fejlesztettek ki.
- Először (1946) diszkrét alkatrészek, később (1958) integrált áramkörök.
- Az ismert diszkrét félvezetős aktív alkatrészek:
 - diódák
 - bipoláris tranzisztorok
 - JFET-ek
 - MOSFET-ek
 - tirisztorok
 - IGBT-k
 - optoelektronikai alkatrészek

2

1.2.1. A DIÓDÁK - ALAPOK

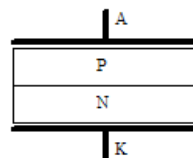
- Az elektroncsöveknél is diódának nevezték a kételektródás, egyenirányító alkatrészt.
- Csak félig nevezhető aktív alkatrésznek: nem lehet vele erősítőt építeni.
- Korlátozott értelemben viselkedik kapcsolóként: a külső feszültség irányától függően vezet vagy nem vezet – nem vezérelhető!
- Az ideális dióda viselkedése:

<https://learn.sparkfun.com/tutorials/diodes/ideal-diodes>



1.2.1.1. A DIÓDÁK – FELÉPÍTÉS ÉS MŰKÖDÉS

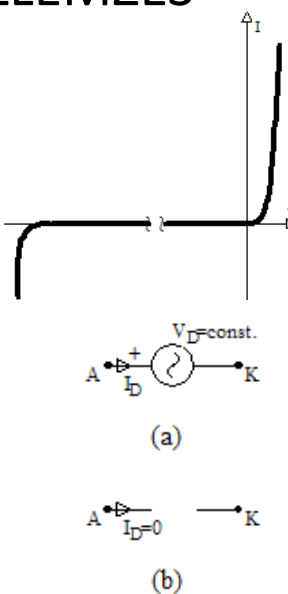
- Kétrétegű félvezető szerkezet.
- Monokristály, de az egyes rétegek szennyezettsége különbözik.
- P réteg – a fő töltéshordozók a lyukak.
- N réteg - a fő töltéshordozók az elektronok.
- Ha az anód (A) pozitív a katódhoz (K) képest, a P részből lyukak áramlanak az N részbe, visszafelé meg elektronok – könnyedén folyik az áram.
- Visszafelé folyó áramhoz (inverz áram) alig van szabad töltéshordozó.
- A viselkedést leíró egyenlet:



$$I = I_s (e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1) = I_s (e^{\frac{qV}{\eta kT}} - 1)$$

1.2.1.2. A DIÓDÁK – JELLEMZÉS

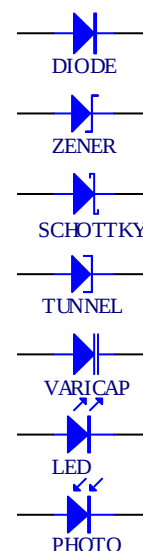
- A valós diódák jelleggörbéje:
- Eltéérések az ideálistól:
 - direkt irányban a feszültség-esés nem nulla hanem általában $0,5...1V$.
 - inverz irányban az áram valóban elhanyagolható széles feszültségtartományban ($I_D = -I_S$, $I_S \rightarrow 0$), de bizonyos feszültségen túl letörés jelentkezik.
- Diódákkal megépített áramkörök kézi elemzésénél egyszerűsített modellek:
 - direkt irányban $V_D = const.$ (a),
 - inverz irányban $I_D = 0$ (b).



5

1.2.1.3. A DIÓDÁK – TÍPUSOK

- Közöséges (egyenirányító) dióda.
- Zener-dióda – letörési tartományra tervezték, állandó feszültségű forrásként viselkedik.
- Alagútdióda – a szokásos emelkedő szakaszon tartalmaz egy visszahajló részt – negatív ellenállásként viselkedik.
- Kapacitásdióda – a félvezető rétegek parazita kapacitását használják ki, inverz irányban kell előfeszíteni.
- Schottky-dióda – nem PN átmenet, hanem fém-félvezető átmenet – kisebb feszültségű a vezetési tartományban.



6

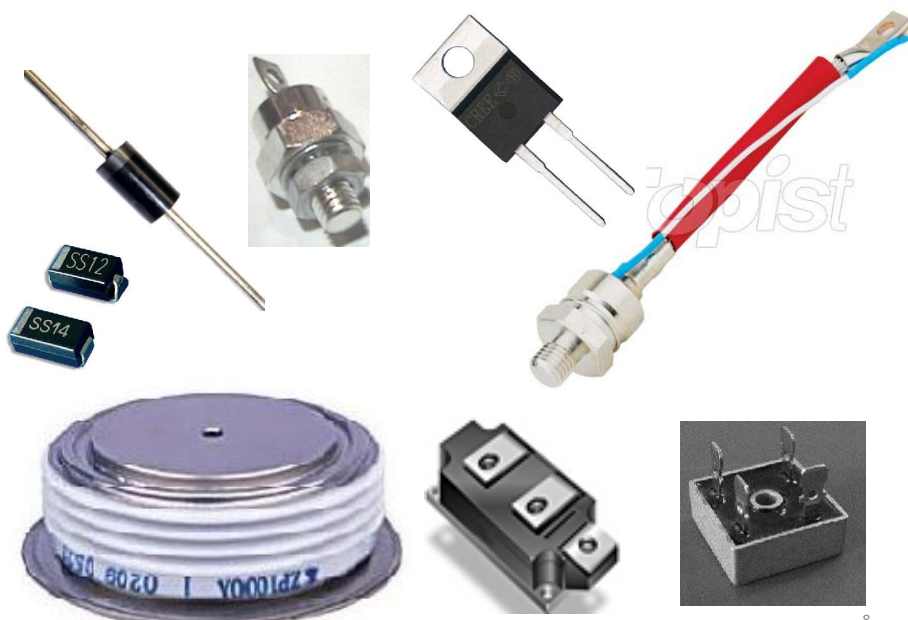
1.2.1.4. A DIÓDÁK – ADATOK

- I_{FAV} – megengedhető átlagáram direkt irányban.
- I_{FRMS} – megengedhető effektív áram direkt irányban.
- I_{FRM} – ismétlődő csúcsáram (pl. 50 Hz-en).
Rendszerint legalább tízszerese az átlagáramnak.
- I_{FSM} – egyszeri csúcsáram (utána nagy szünet).
Rendszerint több tízszerese az átlagáramnak.
- V_{BR} – letörési feszültség - a megengedhető legnagyobb inverz feszültség.
- t_{rr} – szabaddáválási idő – a vezetési tartományból lezárási tartományba való áttérés ideje.

<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/RU/RURP860.pdf>

7

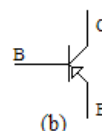
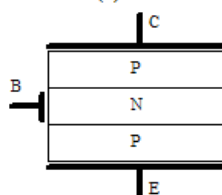
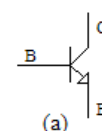
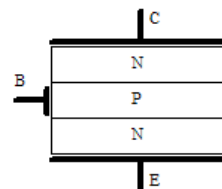
1.2.1.5. A DIÓDÁK – TOKOZÁS



8

1.2.2. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR - ALAPOK

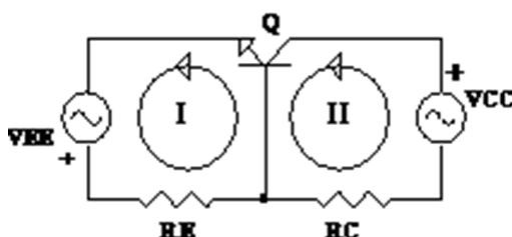
- Az első félvezető alkatrész (1946, Bell Laboratories), amely erősíteni és kapcsolni tud – segédáramkörből vezéreljük a főáramkör áramát.
- Transfer + resistor → transistor.
- Bipoláris: fontos szerepet játszanak az elektronok és a lyukak is.
- Három rétegű szerkezet: NPN vagy PNP.
- Kivezetések: emitter, bázis, kollektor.



9

1.2.2.1. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR – MŰKÖDÉSI ELV

- Jellemző előfeszítés: bázis emitter átmenet pozitív irányban, a bázis-kollektor átmenet negatív irányban (aktív üzem).
- Az I. áramkörből átképeződik az áram a II. körbe (tranzisztor-hatás) a vékony bázisrétegnek köszönhetően.



http://www.eecs.berkeley.edu/~hu/Chenming-Hu_ch8.pdf
https://en.wikipedia.org/wiki/Bipolar_junction_transistor

10

1.2.2.2. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR - EGYENLETEK

- A működést leíró egyenletek (Ebers – Moll):

$$I_E = I_{SE} \left(e^{\frac{V_{BE}}{\eta V_T}} - 1 \right) - \alpha_R I_{SC} \left(e^{\frac{V_{BC}}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

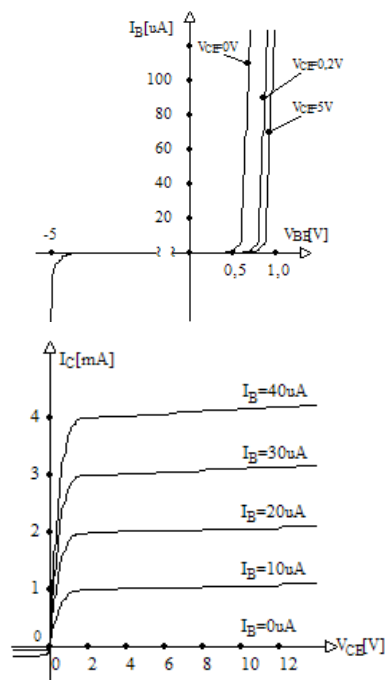
$$I_C = -I_{SC} \left(e^{\frac{V_{BC}}{\eta V_T}} - 1 \right) + \alpha_F I_{SE} \left(e^{\frac{V_{BE}}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

- Egy-egy áram két feszültség függvényében.
- Vannak ennél egyszerűbb, de vannak bonyolultabb modellek is (pl. szimulációnál).

11

1.2.2.3 A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR - JELLEMZÉS

- Bonyolult viszonyok: három feszültség és három áram összefüggése.
- Jellemzés görbesereggel.
- Bemenő jellegörbék: $I_B = f(V_{BE}), V_{CE} = \text{const.}$
- Kimenő jellegörbék: $I_C = f(V_{CE}), I_B = \text{const.}$

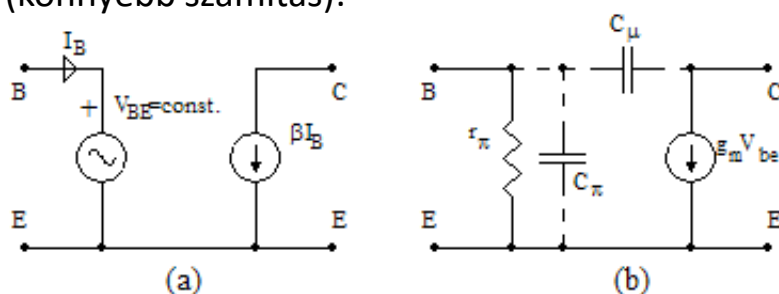


1.2.2.4. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR – MODELLEK AKTÍV ÜZEMRE

- Több működési tartomány van.
- Erősítéshez aktív üzemet használunk.
- Aktív üzemben, nagy jelekre

közelítőleg érvényes (a): $I_C = \beta I_B$, $V_{BE} = \text{const.}$

- Kis jelek esetére lineáris modellt (b) alkalmazunk (könnyebb számítás):



13

1.2.2.5. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR – MODELLEK MÁS ÜZEMMÓDOKRA

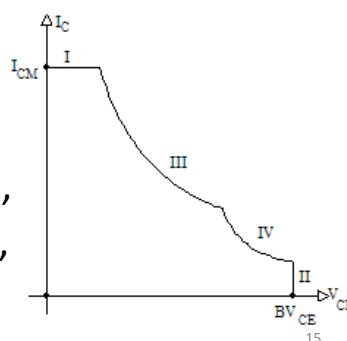
- **Telítés:** mindkét PN átmenet pozitív előfeszítést kap. Megközelítőleg $V_{BE} = \text{const.}$, $V_{CE} = \text{const.}$
- **Lezárás:** mindkét PN átmenet negatív előfeszítést kap – nem folyik semmilyen jelentős áram.
- **Kapcsoló üzem:** gyors ugrások telítésből lezárásba és vissza.
- **Inverz aktív üzem:** a kollektor és az emitter szerepet cserélnek (gyöngé transistor hatás).

<http://web.mit.edu/6.012/www/SP07-L18.pdf>

14

1.2.2.6. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR – MŰKÖDÉSI KORLÁTOK

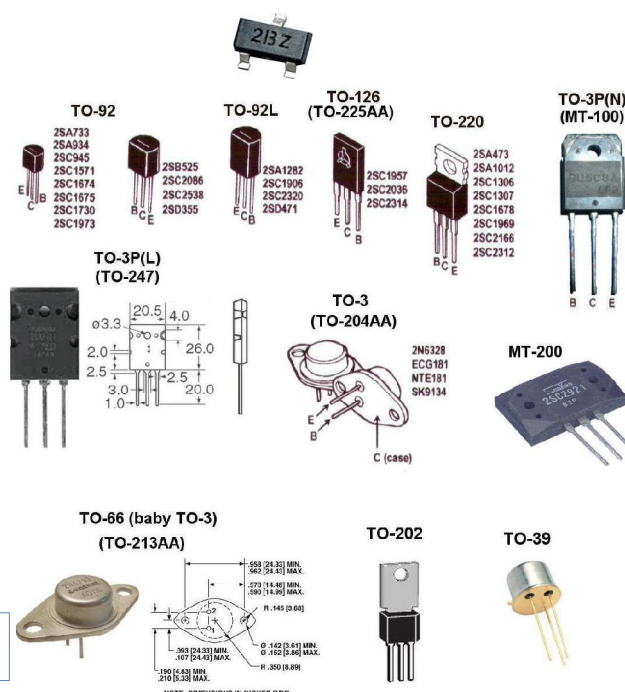
- Bizonyos terheléseken túl a tranzisztor tönkremegy!
- A működési korlátokat a SOAR (safe operating area) diagrammal szokták megadni.
- A diagram elemei:
 - I – max. kollektoráram (I_{CM}),
 - II – letörési feszültség (BV_{CE}),
 - III – max. teljesítmény (P_{DM}),
 - IV – másodlagos letörés.



1.2.2.7. A BIPOLÁRIS TRANZISZTOR – TOKOZÁSOK

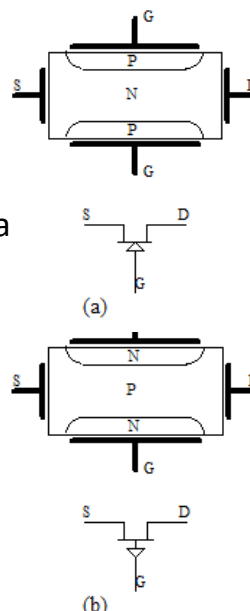
- Teljesítménytől függően különböző alak és méret.
- Fémtokoknál rendszerint a kollektor van a házra kötve.

<https://www.fairchildsemi.com/datasheets/BC/BC547.pdf>



1.2.3. A JFET-EK - ALAPOK

- Régi ötlet (J.E. Lilienfeld, 1925), késői megvalósítás.
- Csatorna vezetőképességének szabályozása keresztirányú villamos térrel.
- JFET (junction field effect transistor) – a csatorna vezetőképességét PN átmenetre alkalmazott inverz feszültség módosítja.
- Felépítés: a félvezető lapka mindkét oldalán PN átmenetet hoznak létre.
- Két lehetséges típus: P és N csatornás JFET.
- Kivezetések: D-drain, S-source, G-gate.



<http://web.mit.edu/6.101/www/s2014/handouts/L06.pdf>

17

1.2.3.1. A JFET-EK - MŰKÖDÉS

- A PN átmenetek előfeszítése nélkül ($V_{GS}=0$) a csatorna jól vezet.
- Negatív előfeszítés esetén a PN átmenet közelében levő csatornarészekből kiürülnek a töltéshordozók – csökken a csatorna vezetőképessége.
- Fokozatos átmenet – erősítő üzem, ugrásszerű átmenet – kapcsolóüzem.
- Pozitív előfeszítést nem alkalmaznak a PN átmenetre – a gate árama mindig nullának vehető.
- A csatornában a vezetés egyfajta töltéshordozókkal történik – unipoláris tranzisztorok.

<https://en.wikipedia.org/wiki/JFET>

18

1.2.3.2. A JFET-EK - EGYENLETEK

- A gate áramát mindig nullának vesszük, ezért $I_D = I_S$.
- Általános eset (trióda-tartomány):

$$I_D = I_{DSS} \left[2 \left(\frac{V_{GS}}{V_P} - 1 \right) \frac{V_{DS}}{V_P} - \left(\frac{V_{DS}}{V_P} \right)^2 \right]$$

- Az érvényesség határai: $0 < V_{DS} < V_{GS} - V_P$.
- Kis V_{DS} feszültségnél a JFET vezérelhető ellenállásként viselkedik.

$$I_D \cong 2I_{DSS} \left(\frac{V_{GS}}{V_P} - 1 \right) \frac{V_{DS}}{V_P} \Rightarrow R_{DS} = \frac{V_P}{2I_{DSS} \left(\frac{V_{GS}}{V_P} - 1 \right)}$$

- A $V_{DS} = V_{GS} - V_P$ határ felett (telítési tartomány):

$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

- V_P alatt ($V_{GS} < V_P$) lezárás következik be ($I_D = I_S = 0$).

19

1.2.3.3. A JFET-EK - JELLEMZÉS

- Csak átviteli és kimeneti jelleggörbe van.

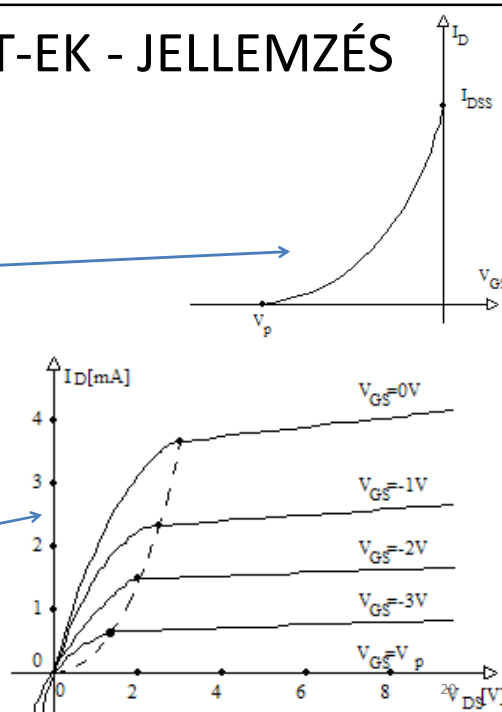
- Az átviteli jelleggörbe:

- Telítési tartományra érvényes.

- Feszültségvezérelt áramforrás.

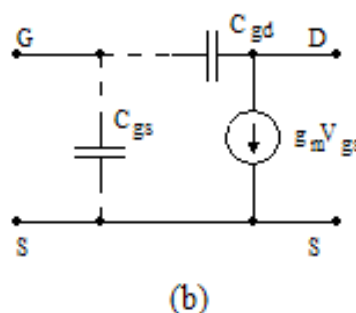
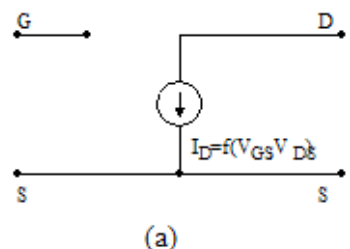
- Kimeneti jelleggörbék:

- A szaggatott vonal a triódatartomány és a telítési tartomány határát jelöli.



1.2.3.4. A JFET-EK - MODELLEK

- Modell nagy jelekre (a): feszültségvezérelt áramgenerátor, mindkét feszültségtől függ az áram a triódatartományban.
- Kis jelek esetén lineáris modell (b).
- Magas frekvenciára figyelembe kell venni a parazita kapacitásokat.



1.2.3.5. A JFET-EK – TOKOZÁS ÉS ADATOK

- Nincsennek nagyteljesítményű JFET-ek – csak TO-92 és SMD tokozás használatos.
- Adatok:
 - letörési feszültségek: BV_{DS} , BV_{GS} .
 - maximális áram: $I_{D\text{MAX}}$.
 - maximális veszteségi teljesítmény: $P_{D\text{MAX}}$.
 - lezárási feszültség: V_P .
 - telítési áram: I_{DSS} .

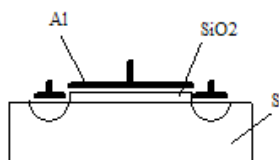
<http://www.digikey.com/product-search/en/discrete-semiconductor-products/jfets-junction-field-effect/1377093>

22

1.2.4. A MOSFET-EK - ALAPOK

- A JFET-ekhez hasonlóan itt is keresztirányú villamos térrel szabályozzuk egy félvezető csatorna vezetőképességét.
- Háromrétegű MOS (metal-oxide-semiconductor) szerkezet.
- A félvezető réteg képezi a csatornát.
- A vezérlőfeszültséget a fémrétegre vezetjük.
- A szigetelőréteg megakadályozza, hogy galvanikus kapcsolat legyen a fémréteg és a félvezető réteg között.
- A kivezetéseket ugyanúgy hívják, mint a JFET-eknél.

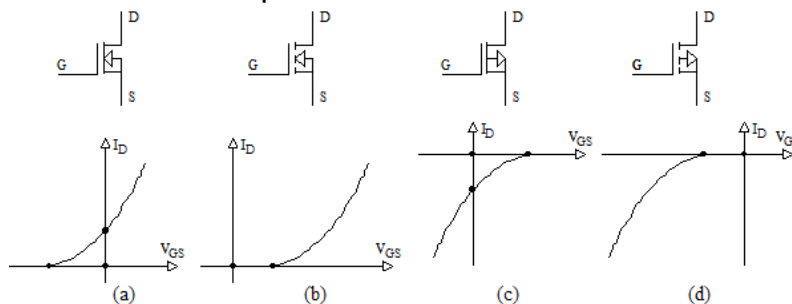
<https://en.wikipedia.org/wiki/MOSFET>



23

1.2.4.1. A MOSFET-EK – TÍPUSOK ÉS MŰKÖDÉS

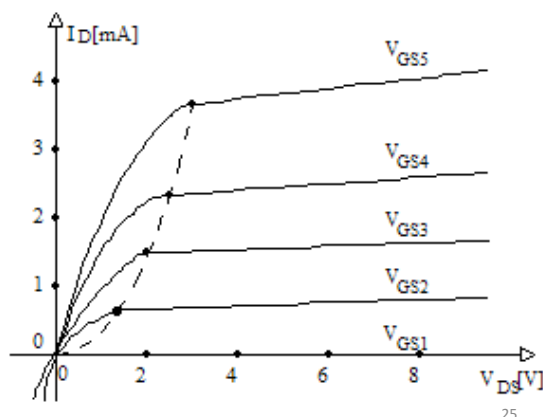
- Négy fajta MOSFET:
 - P vagy N csatorna,
 - beépített vagy indukált csatorna.
- Beépített csatorna: már $V_{GS}=0$ esetén is vezet. $V_{GS} \neq 0$ esetére a vezetés vagy erősödik vagy gyöngül.
- Indukált csatorna: szükséges bizonyos feszültség a vezetéshez – ez típus-inverziót okoz.



24

1.2.4.2. A MOSFET-EK – JELLEMZÉS

- Az átviteli jelleggörbéket az előző diakockán láttuk.
- A kimeneti jelleggörbék hasonlóak, mint a JFET-nél.



1.2.4.3. A MOSFET-EK – EGYENLETEK

- A gate árama mindig nulla, ezért $I_D = I_S$.
- A beépített csatornás MOSFET-ekre hasonló egyenletek érvényesek, mint a JFET-ekre.
- Az indukált csatornás MOSFET árama a triódatartományban ($V_{DS} < V_{GS} - V_T$):

$$I_D = K[2(V_{GS} - V_T)V_{DS} - V_{DS}^2]$$

- Kis V_{DS} értékre (Ohm-os tartomány):

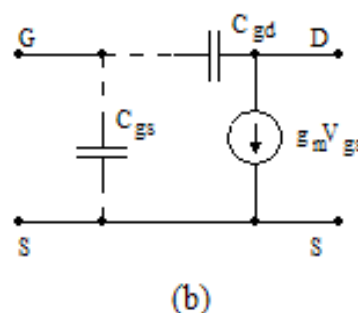
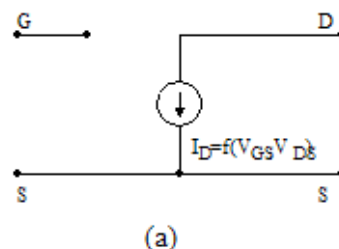
$$I_D = K[2(V_{GS} - V_T)V_{DS}] \Rightarrow R_{DS} = \frac{1}{2K(V_{GS} - V_T)}$$

- Telítésben ($V_{DS} > V_{GS} - V_T$)

$$I_D = K(V_{GS} - V_T)^2$$

1.2.4.4. A MOSFET-EK - MODELLEK

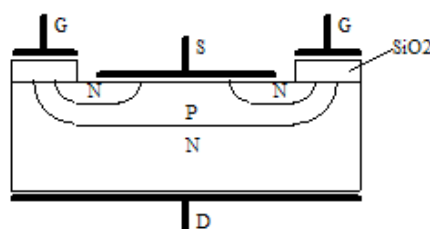
- Modell nagy jelekre: feszültségvezérelt áramgenerátor, mindkét feszültségtől függ az áram a triódatartományban.
- Kis jelek esetén lineáris modell.
- Magas frekvenciára figyelembe kell venni a parazita kapacitásokat.



1.2.4.5. A MOSFET-EK – NAGYTELJESÍTMÉNYŰ SZERKEZET

- Függőleges szerkezet (az áram a félvezető lapkára merőlegesen halad).
- Cél: nagy keresztmetszetű és rövid csatorna kis csatornaellenállás elérésére.
- Sok kisebb MOSFET szerkezet egy szilícium lapkán – párhuzamosan kötik őket.

https://en.wikipedia.org/wiki/Power_MOSFET



28

1.2.4.6. A MOSFET-EK – TOKOZÁS ÉS ADATOK

- A tokozások ugyanazok, mint a bipoláris tranzistoroknál.
- Adatok:
 - letörési feszültségek: BV_{DS} , BV_{GS} .
 - maximális áram: I_{DMAX} .
 - maximális veszteségi teljesítmény: P_{DMAX} .
 - küszöbfeszültség: V_T (rendszerint 2V...4V a diszkrét teljesítmény MOSFET-eknél, esetleg 1V...2V a logic level típusoknál).
 - K : paraméter az áramegyenletben.

<http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irfp2907.pdf>

29

1.2.5. A TIRISZTOROK - ALAPOK

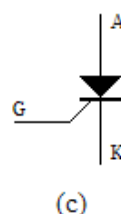
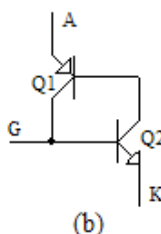
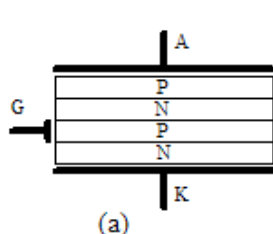
- Az első alkatrész (1958, General Electric), amellyel a városi hálózatra kötött fogyasztók (ízzólámpák, univerzális motorok, fűtőtestek) teljesítményszabályzását lehetett végezni.
- A szabályzás módja: elejében csak fázishasítás, később impulzusszélesség-moduláció.
- Csak kapcsolóként alkalmazható. A bekapcsolás könnyű (kis jellel). Kikapcsolás önműködően a főáram nullára esésekor vagy bonyolult oltókörral.

https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_controlled_rectifier

30

1.2.5.1. A TIRISZTOROK – SZERKEZET

- Négyrétegű szerkezet: PNPN (a)
- Három kivezetés: a –anód, k-katód, g-gate.
- Főáramkör: az anódtól a katód felé folyik az áram.
- Segédáramkör: áramimpulzus a gate-től a katód felé.
- Vezérlés nélkül nem vezet egyik irányban sem.
- Rajzjel (c).



31

1.2.5.2. A TIRISZTOROK – MŰKÖDÉS

- A vezetés megindítását (gyújtást) és az öntartó működést a kéttranszistoros helyettesítő modellel (b) lehet megmagyarázni.
- Belső pozitív visszacsatolás: Q_2 vezérli Q_1 -et, Q_1 vezérli Q_2 -t.
- A helyettesítő kapcsolásból levezethető a tirisztor matematikai modellje:

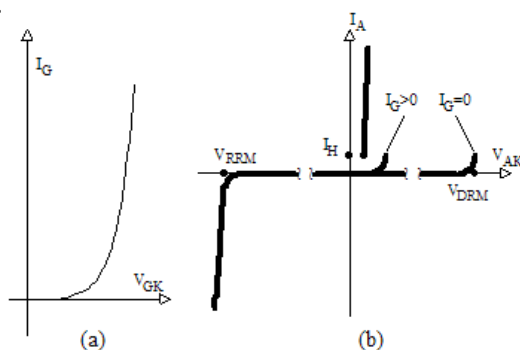
$$I_A = \frac{\alpha_1 I_G + I_{CO1} - I_{CO2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

- Gyújtás előtt $\alpha_1, \alpha_2 = 0$. Ha megindul az áram, ezek a tényezők növekszenek. $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ esetén már a kapcsolás öntartó.
- A modellből nem következik, hogy a tirisztor nem lehet negatív gate árammal kikapcsolni. A valóságban a kikapcsolás ilyen módon lehetetlen, mert a szerkezet kis részét tudjuk csak ilyen módon befolyásolni.
- Az egyetlen kikapcsolási lehetőség a főáram (anódáram) nullára csökkentése: természetes úton vagy oltókörrel.

32

1.2.5.3. A TIRISZTOROK – JELLEMZÉS

- Bemeneti jellegörbe (a) – nagyjából egy PN átmenet viselkedésének felel meg, gyakran (gyárilag) ellenállást kötnek párhuzamosan (zavarvédelem).
- Kimeneti jellegörbék (b):
 - kikapcsolt állapotban $I_A=0$, nagy inverz feszültségnél letörés, mint a diódánál.
 - direkt irányban is jelentkezhet letörés, de ez nem az üzemszerű működés, helyette gyújtóimpulzussal billentik a tirisztort a vezetési állapotba,
 - Vezetési állapot $V_{AK} \approx 1V$. Minimális áram az öntartáshoz I_H (ez alatt leáll a vezetés).



33

1.2.5.4. A TIRISZTOROK – ADATOK

- V_{DRM} – letörési feszültség pozitív (direkt) irányban.
- V_{RRM} – letörési feszültség negatív (inverz) irányban.
- I_{FAV} – maximális átlagáram.
- I_{FSM} – maximális csúcsáram.
- t_{rr} – szabaddáválási idő. A kikapcsolást követően a tirisztorra nem vezethetünk azonnal pozitív feszültséget, mert újra elkezd vezetni.
- dv_{AK}/dt – ha hirtelen megugrik a feszültség a főáramkörben, a tirisztor képes vezérlőjel nélkül átbillenni vezetésbe.
- di_A/dt – hirtelen áramfelfutás esetén az áram nem egyenletesen oszlik el az egész felületen – helyi túlterhelés – meghibásodás.

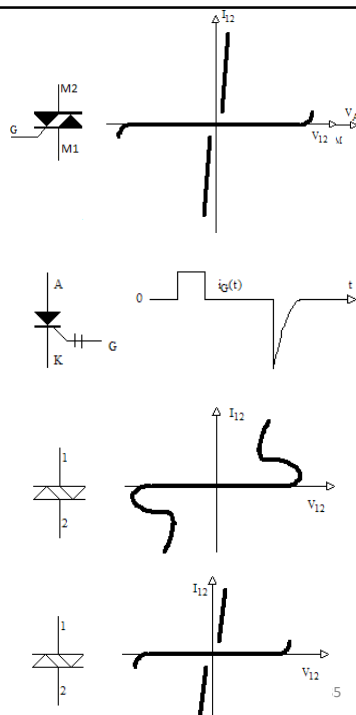
http://www.nxp.com/documents/data_sheet/BT151-500R.pdf

34

1.2.5.5. A TIRISZTOROK

– ROKON ALKATRÉSZEK

- Triac – kétirányú vezetésre képes.
- GTO tirisztor – nagy negatív gate árammal kikapcsolható.
- Diac – nincs gate – letöréssel kapcsol be.
- SIDAC – hasonló a diac-hoz, de kisebb a vezetési feszültség.



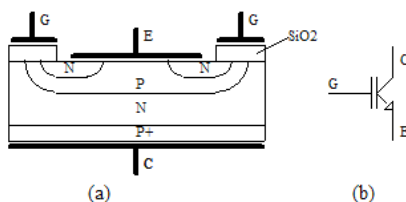
1.2.5.6. A TIRISZTOROK – TOKOZÁSOK

- Nagy áram- és feszültségtartományok (kicsi és nagy tokozások):
 - $100\text{ mA} - x\text{ kA}$.
 - $x10\text{ V} - x\text{ kV}$.



1.2.6. AZ IGBT-K – ALAPOK

- IGBT – insulated gate bipolar transistor.
- Teljesítményelektronikai alkatrészek (nagy áramok, nagy feszültségek).
- Az elnevezés inkább bipoláris tranzisztorra utal, a szerkezet inkább teljesítmény-MOSFET-re hasonlít. Egy P+ (erősen szennyezett) réteggel van kiegészítve.
- Sok kis IGBT-t készítenek egy félvezető lapkán és párhuzamosan kötik őket.
- A kivezetések elnevezései: C – kollektor, E – emitter, G – gate.



https://en.wikipedia.org/wiki/Insulated-gate_bipolar_transistor

37

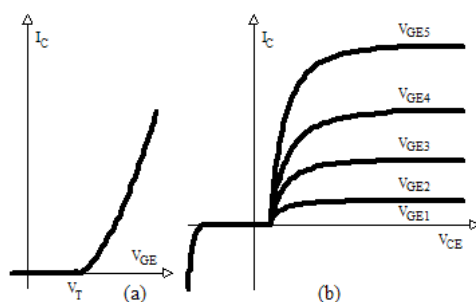
1.2.6.1. IGBT-K – MŰKÖDÉSI ELV

- A vezető csatorna megnyitása a gate alatti keskeny P rétegben történik (típus inverzió) pozitív gate feszültség hatására.
- Az elektronáram megindulása után a P+ rétegből lyukak özönlenek a szomszédos N rétegbe.
- Ezek a lyukak csökkentik az N réteg ellenállását (kisebb veszteség), de lassítják a kikapcsolást.
- Lassabb a MOSFET-nél, de gyorsabb a bipoláris tranziszternál. A vezérlés könnyebb.

38

1.2.6.2. IGBT-K – JELLEMZŐK

- Nincs gate áram, $I_C = I_E$ (statikus esetben).
- Csak átviteli és kimeneti jelleggörbék(ről) beszélhetünk.
- Bekapcsolt állapotban $V_{CE} = V_{CEsat} = 2V \dots 5V$.
- A küszöbfeszültség rendszerint $V_T = 4V \dots 8V$.
- A biztonságos működés határai: BV_{CE} , BV_{GE} , I_{Cmax} , P_{dmax} .
- Toko­zások: mint a nagyobb teljesítményű bipoláris tranzisztoroknál. Gyakran több alkatrészt megfelelő módon összekapcsolva egy tokozásba (modul) építenek.



39

1.2.7. OPTOELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK - ALAPOK

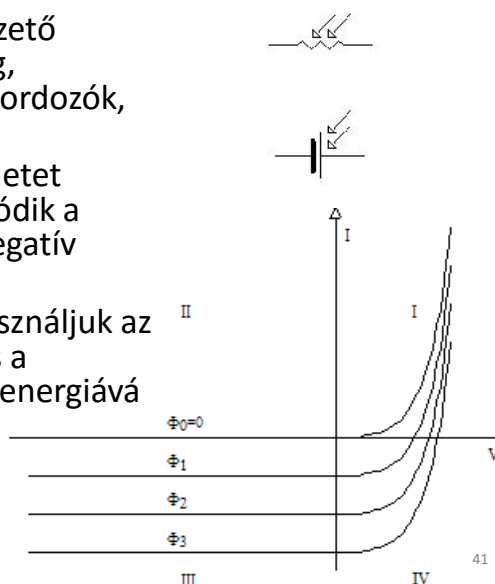
- Fényelektromos hatás (A. Einstein, 1905).
- Foton becsapódásakor elektron-lyuk pár képződik.
- Elektron-lyuk pár rekombinációjakor foton sugárzódik ki.
- Ma az optoelektronikai alkatrészek félvezető alapúak. Régen léteztek megfelelő elektroncsövek.
- Felosztás: fényt fogad vagy fényt bocsát ki.

https://en.wikipedia.org/wiki/Photoelectric_effect

40

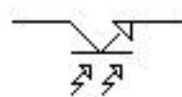
1.2.7.1. OPTOELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK – FÉNYT FOGADÓ ALKATRÉSZEK

- **Fényellenállás** – félvezető réteget világítunk meg, szaporodnak a töltéshordozók, csökken az ellenállás.
- **Fényelem** – PN átmenetet világítunk meg – eltolódik a dióda-jelleggörbe a negatív áramok irányába.
- A IV. síknegyedben használjuk az fényelemet – itt képes a fényenergiát villamos energiává alakítani.



1.2.7.2. OPTOELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK – FÉNYT FOGADÓ ALKATRÉSZEK

- **Fotodióda**: ugyanaz mint a fényelem, csak inverz előfeszítést alkalmazunk ($V < 0$, $I < 0$).
- Fény érzékelésére alkalmas.
- **Fototranzisztor**: rendszerint fotodióda és közönséges bipoláris tranzisztor kombinációja. A fotodióda áramát a tranzisztor erősíti – nagyobb érzékenység.



1.2.7.3. OPTOELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK – FÉNYT KIBOCSÁTÓ ALKATRÉSZEK

- **LED** – light emitting diode – világító dióda.
- PN átmenetet tartalmaz. Amikor áram halad keresztül rajta, elektron-lyuk párok rekombinálódnak és fotonok keletkeznek.
- A fény színe a félvezető fajtájától függ.
- Korábban csak kijelzésre alkalmazták, ma mindinkább megvilágításra is.
- **Optocsatoló** – LED és fototranzisztor egy tokozásban - a LED fénye vezérli a tranzisztort.
- Vannak olyan optocsatolók, amelyek kimenetén tirisztor vagy triac van.



43

1.2.7.4. OPTOELEKTRONIKAI ALKATRÉSZEK – KÉPEK



<http://www.mikroe.com/old/books/keu/09.htm>

44

Vége az 1.2. résznek

(~~AKTÍV ALKATRÉSZEK~~)

45