

Predmet: ANALOGNA ELEKTRONIKA
Predmetni nastavnik: Dr Nándor Burány

3. semestar
Broj časova: 2+2

POGLAVLJE 1.2.
AKTIVNE KOMPONENTE

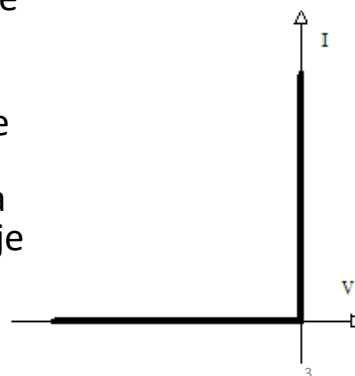
- Bez aktivnih komponenti nema elektronike (obavljaju pojačanje i prekidanje)
- U prvoj polovini XX veka su radili elektronskim cevima, kasnije su razvili poluprovodničke komponente.
- Prvo (1946) su razvijene diskretne komponente, zatim (1958) integrisana kola.
- Najpoznatije diskretne poluprovodničke aktivne komponente:
 - diode
 - bipolarni tranzistori
 - JFET-ovi
 - MOSFET-ovi
 - tiristori
 - IGBT-i
 - opto-elektronske komponente

2

1.2.1. DIODE - OSNOVI

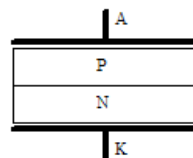
- Već kod elektronskih cevi je postojala dioda - cev sa dve elektrode sa ispravljačkim svojstvom.
- Samo se donekle može svrstati u aktivne komponente, pošto se ne može koristiti za realizaciju pojačavača.
- U ograničenom smislu ponaša se kao prekidač: u zavisnosti od smera spolja dovedenog napona provodi ili ne provodi struju – nije upravljiva!
- Karakteristika idealne diode:

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



1.2.1.1. DIODE – KONSTRUKCIJA I PRINCIP RADA

- Dvoslojna poluprovodnička struktura.
- Sve je u jednom monokristalu, samo se razlikuje nivo dopiranja slojeva.
- P sloj – glavni nosioci naelektrisanja su šupljine.
- N sloj - glavni nosioci naelektrisanja su elektroni.
- Ako je anoda (A) pozitivna u odnosu na katodu (K) šupljine iz P oblasti prelaze u N oblast, a u suprotnom smeru prolaze elektroni – struja prolazi nesmetano.
- Za formiranje struje u suprotnom smeru (inverzna struja) jedva ima slobodnih nosilaca.
- Ponašanje se opisuje jednačinom:

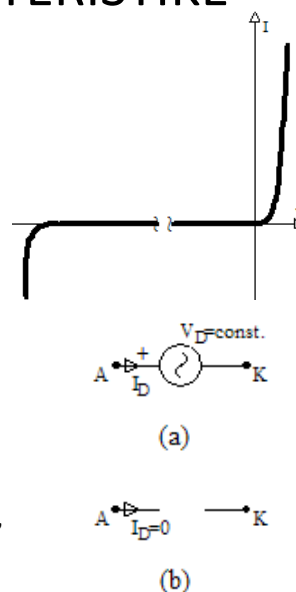


$$I = I_s \left(e^{\frac{V}{\eta V_T}} - 1 \right) = I_s \left(e^{\frac{qV}{kT}} - 1 \right)$$

4

1.2.1.2. DIODE – KARAKTERISTIKE

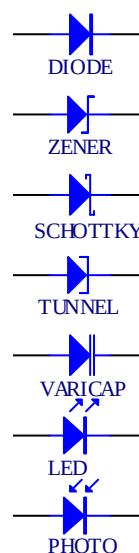
- Karakteristika realne diode:
- Odstupanja od idealne:
 - u direktnom smeru napon nije nula već $0,5...1V$.
 - u inverznom smeru struja je zaista zanemarljiva u širokom opsegu napona ($I_D = -I_S$, $I_S \rightarrow 0$), ali preko izvesnog napona dolazi do proboja.
- Pri ručnoj analizi kola sa diodama koriste se uprošćeni modeli:
 - u direktnom smeru je $V_D = const.$ (a),
 - u inverznom smeru $I_D = 0$ (b).



5

1.2.1.3. DIODE - TIPOVI

- Obična (usmeračka) dioda.
- Zener-ova dioda – projektovana za probojnu oblast, ponaša se kao izvor konstantnog napona.
- Tunel dioda – na delu karakteristike koja je monotono rastuća ima jedan opadajući deo – ponaša se kao negativan otpornost.
- Varikap dioda – koristi parazitnu kapacitivnost poluprovodničkih slojeva, treba da se polariše u inverznom smeru.
- Schottky-jeva dioda – ne sadrži PN spoj već spoj metal-poluprovodnik – na taj način se dobije manji pad napona pri provođenju.



6

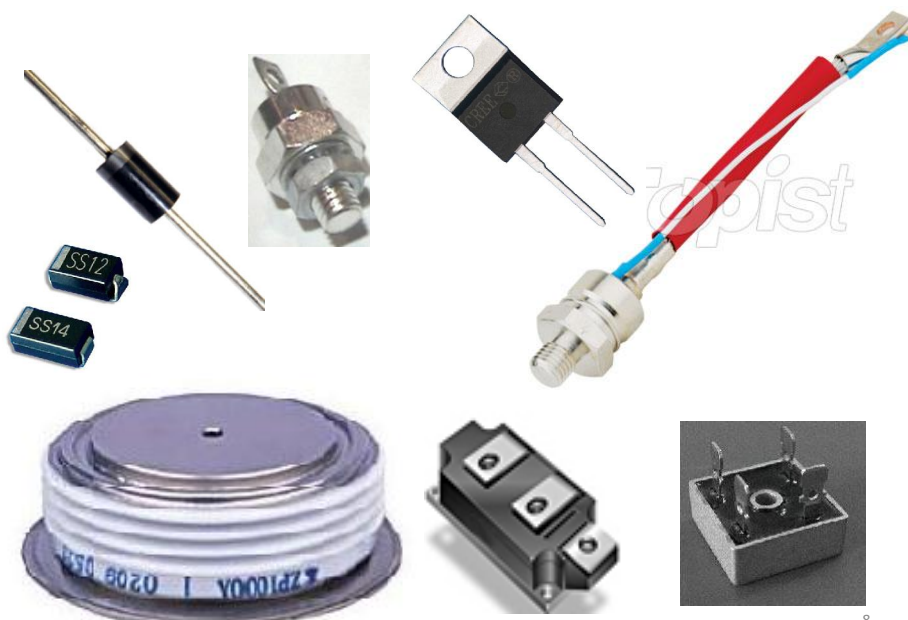
1.2.1.4. DIODE – PODACI

- I_{FAV} – dozvoljena srednja struja u direktnom smeru.
- I_{FRMS} – dozvoljena efektivna struja u direktnom smeru.
- I_{FRM} – ponavljajuća vršna vrednost (na pr. na 50 Hz). Redovno je bar deset puta veća od srednje vrednosti.
- I_{FSM} – pojedinačni strujni udar (posle treba da sledi velika pauza). Redovno je više desetina puta veća od srednje struje
- V_{BR} – probojni napon – najveći dozvoljeni inverzni napon.
- t_{rr} – vreme oporavka – potrebno vreme da bi dioda prešla iz provođenja u zakočenje.

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

7

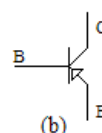
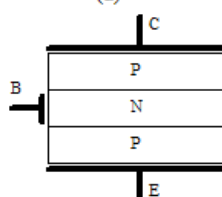
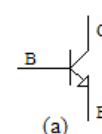
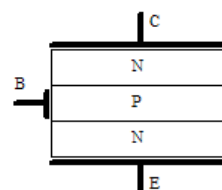
1.2.1.5. DIODE - KUĆIŠTA



8

1.2.2. BIPOLARNI TRANZISTORI - OSNOVI

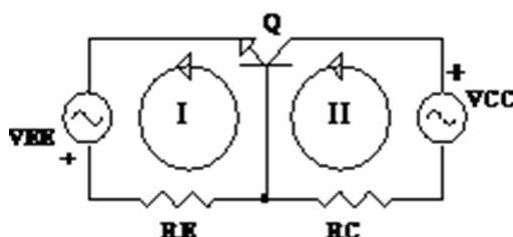
- Prva poluprovodnička komponenta (1946, Bell Laboratories), koja može da pojačava i prekida – mogućnost upravljanja glavnom strujom iz pomoćnog strujnog kruga.
- Transfer + resistor → transistor.
- Bipolarni: važnu ulogu igraju i elektroni i šupljine.
- Troslojna struktura: NPN ili PNP.
- Izvodi: emitor, baza, kolektor.



9

1.2.2.1 BIPOLARNI TRANZISTOR – PRINCIP RADA

- Uobičajena polarizacija: prelaz baza-emitor u direktnom smeru, prelaz baza kolektor u inverznom smeru (tzv: aktivni režim)
- Struja iz I kola se preslikava u II kolo (tranzistorski efekat) zahvaljujući tankom baznom sloju.



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

10

1.2.2.1 BIPOLARNI TRANZISTOR – JEDNAČINE

- Ponašanje se opisuje sledećim jednačinama (Ebers – Moll):

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

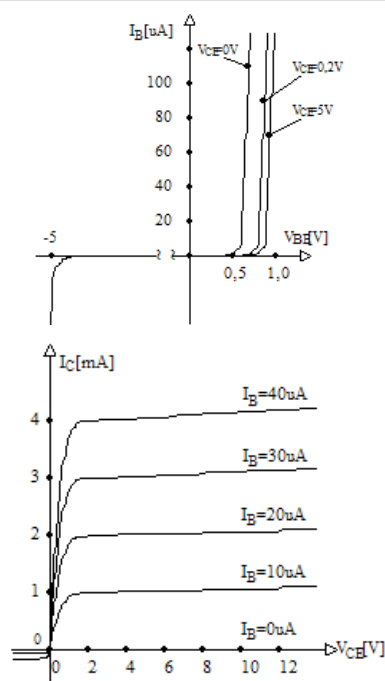
$$I_C = -I_{SC} \left(e^{\frac{V_{BC}}{\eta V_T}} - 1 \right) + \alpha_F I_{SE} \left(e^{\frac{V_{BE}}{\eta V_T}} - 1 \right)$$

- Dve struje izražene preko dva napona.
- Postoje i prostiji i složeniji modeli (na pr. kod simulacija)

11

1.2.2.2 BIPOLARNI TRANZISTOR - KARAKTERISTIKE

- Složene međuzavisnosti između tri struje i tri napona.
- Karakterizacija familijom krivih.
- Ulazne karakteristike:
 $I_B = f(V_{BE}), V_{CE} = \text{const.}$
- Izlazne karakteristike:
 $I_C = f(V_{CE}), I_B = \text{const.}$

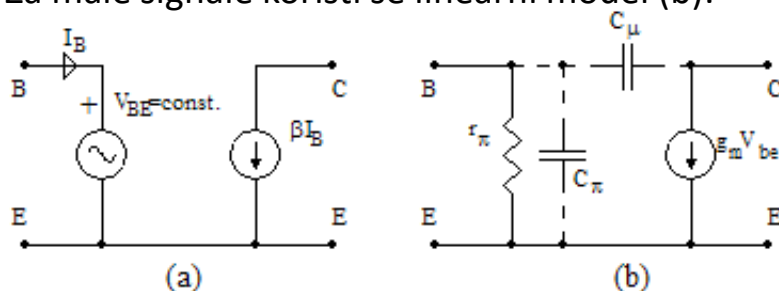


1.2.2.3. BIPOLARNI TRANZISTOR – MODELI ZA AKTIVNI REŽIM

- Ima više režima rada.
- Da bi tranzistor radio kao pojačavač, treba da bude u aktivnom režimu.
- U aktivnom režimu, za velike signale, približno važi (a):

$$I_C = \beta I_B, \quad V_{BE} = \text{const.}$$

- Za male signale koristi se linearni model (b):



13

1.2.2.5. BIPOLARNI TRANZISTOR – MODELOVANJE ZA DRUGE REŽIME RADA

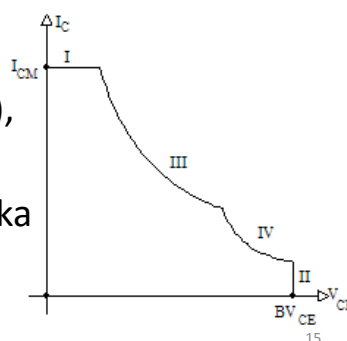
- **Zasićenje:** oba PN spoja dobijaju pozitivnu (direktnu) polarizaciju. Približno je $V_{BE} = \text{const.}$, $V_{CE} = \text{const.}$
- **Zakočenje:** oba PN spoja dobijaju negativnu pretpolarizaciju – ne teče nikakva značajna struja.
- **Prekidački režim:** brzi skokovi iz zasićenja u zakočenje i kontra.
- **Inverzni aktivni režim:** kolektor i emitor zamene ulogu (slabo tranzistorsko ponašanje).

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

14

1.2.2.6. BIPOLARNI TRANZISTOR – GRANICE RADA

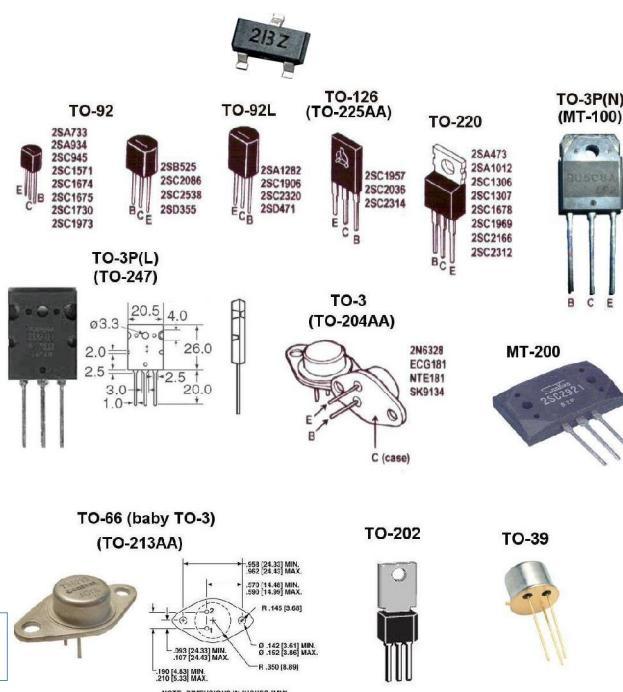
- U slučaju prevelikih opterećenja tranzistor strada!
- Granice radne oblasti se predstavljaju SOAR (safe operating area) dijagramom.
- Elementi dijagrama:
 - I – maks. struja kolektora (I_{CM}),
 - II – probojni napon (BV_{CE}),
 - III – maksimalna snaga gubitaka (P_{DM}),
 - IV – sekundarni proboj.



1.2.2.7. A BIPOLARNI TRANZISTOR – KUĆIŠTA

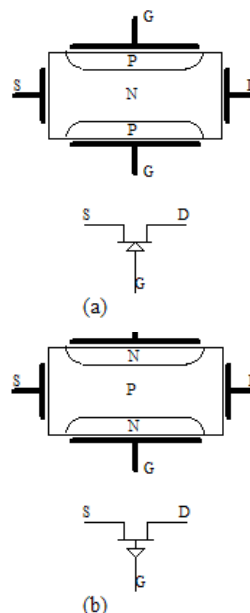
- Različite dimenzije i oblici u zavisnosti od snage.
- Kod metalnih kućišta kolektor je redovno spojen na kućište.

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



1.2.3. JFET-OVI - OSNOVI

- Stara ideja (J.E. Lilienfeld, 1925), realizacija mnogo kasnije.
- Ideja: regulacija provodnosti poluprovodničkog kanala poprečnim električnim poljem.
- JFET (junction field effect transistor) – provodnost kanala se menja inverznim naponom dovedenim na PN spoj.
- Konstrukcija: formiraju PN spoj sa obe strane poluprovodničke pločice.
- Dva moguća tipa: P i N kanalni JFET.
- Izvodi: D-drain, S-source, G-gate.



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

17

1.2.3.1. JFET-OVI – PRINCIP RADA

- Bez dovođenja napona na PN spojeve ($V_{GS}=0$) kanal provodi dobro.
- Pri negativnoj polarizaciji isprazne se nosioci naelektrisanja iz okoline PN spoja – smanjuje se provodnost kanala.
- Postepeni prelaz – pojačavački režim, skokoviti prelaz – prekidački režim.
- Pozitivna polarizacija se kod JFET-ova nikad ne primenjuje – zato je struja gate-a uvek jednaka nuli.
- Provođenje u kanalu obavljaju nosioci jedne vrste – odatle naziv: unipolarni tranzistori.

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

18

1.2.3.2. JFET-OVI – JEDNAČINE

- Opšti slučaj (triodna oblast):

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

- Granice važenja: $0 < V_{DS} < V_{GS} - V_P$.
- Kod malih napona V_{DS} JFET se ponaša kao naponom kontrolisani otpornik.

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

- Preko granice $V_{DS} = V_{GS} - V_P$ (oblast zasićenja):

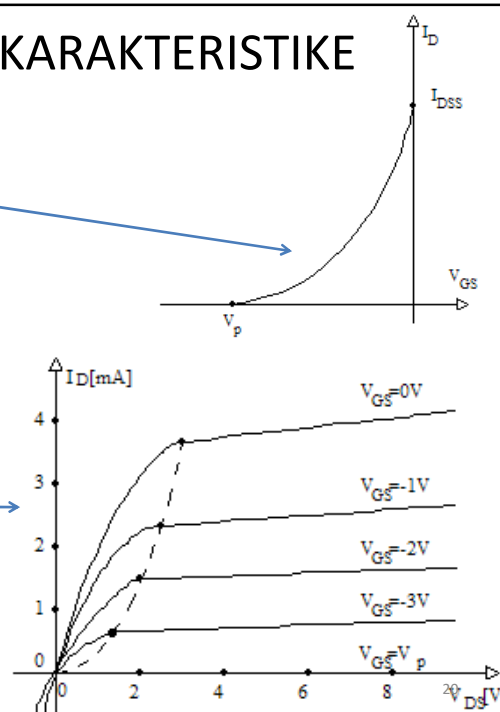
$$I_D = I_{DSS} \left(1 - \frac{V_{GS}}{V_P} \right)^2$$

- Ispod V_P dobija se zakočenje ($I_D = I_S = 0$).

19

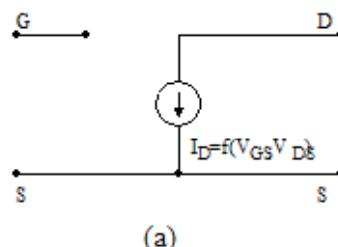
1.2.3.3. JFET-OVI - KARAKTERISTIKE

- Prenosna karakteristika: →
- Važi za oblast zasićenja.
- Ponaša se kao naponom kontrolisani strujni izvor.
- Izlazne karakteristike: →
- Isprekidanom linijom je obeležena granica između triodne oblasti i oblasti zasićenja.

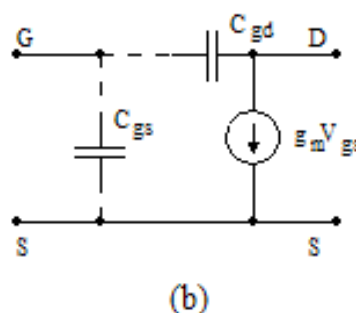


1.2.3.4. JFET-OVI - MODELI

- Model za velike signale
(a): naponom kontrolisani strujni izvor, u triodnoj oblasti struja zavisi od dva napona.



- Za male signale može se formirati linearni model (b).
- Na visokim frekvencijama potrebno je uzeti u obzir i parazitne kapacitivnosti.



1.2.3.5. JFET-OVI – KUĆIŠTA I PODACI

- Ne postoje JFET-ovi za velike snage – zato se koriste samo TO-92 i SMD kućišta.
- Podaci:
 - probojni naponi: BV_{DS} , BV_{GS} .
 - maksimalna struja: $I_{D_{MAX}}$.
 - maksimalna snaga gubitaka: $P_{D_{MAX}}$.
 - napon stiskanja kanala: V_p .
 - struja zasićenja: I_{DSS} .

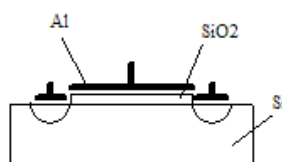
<http://www.digikey.com/product-search/en/discrete-semiconductor-products/jfets-junction-field-effect/1377093>

22

1.2.4. MOSFET-OVI - OSNOVI

- Kao kod JFET-ova, i ovde se vrši kontrola provodnosti poluprovodničkog kanala poprečnim električnim poljem.
- Troslojna MOS (metal-oxide-semiconductor) struktura.
- Kanal se formira u poluprovodničkom sloju.
- Kontrolni napon se primenjuje na metalni sloj.
- Izolacioni sloj ukida galvansku spregu između metalnog i poluprovodničkog sloja.
- Nazivi izvoda su isti kao kod JFET-a.

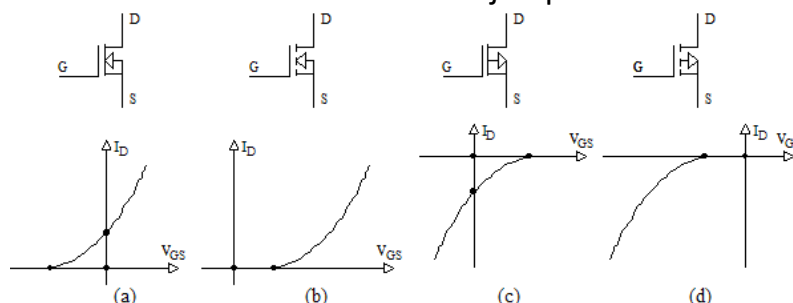
<https://en.wikipedia.org/wiki/MOSFET>



23

1.2.4.1. MOSFET-OVI – TIPOVI I PRINCIP RADA

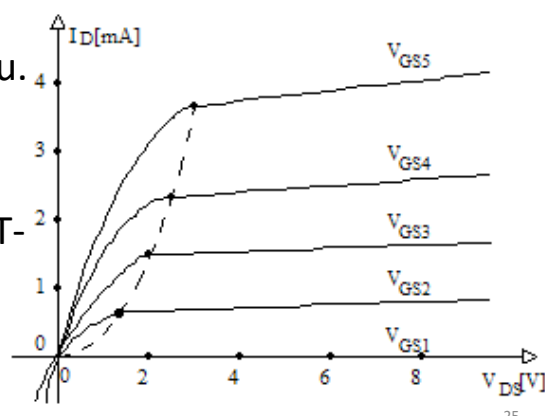
- Postoje četiri vrste MOSFET-ova:
 - P ili N kanalni,
 - ugrađeni ili indukovani kanal.
- Ugrađeni kanal: provodi već pri $V_{GS}=0$. Za slučaj $V_{GS} \neq 0$ provodnost kanala raste ili opada.
- Indukovani kanal: potreban je izvestan napon da bi se formirao kanal – dolazi do inverzije tipa.



24

1.2.4.2. MOSFET-OVI – KARAKTERISTIKE

- Prenosne karakteristike su date na prethodnom slajdu.
- Izlazne karakteristike su slične kao kod JFET-ova.



25

1.2.4.3. MOSFET-OVI – JEDNAČINE

- Za MOSFET-ove sa ugrađenim kanalom važe slične jednačine kao za JFET-ove.
- Struja MOSFET-a sa indukovanim kanalom u triodnoj oblasti ($V_{DS} < V_{GS} - V_T$):

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

- Za male vrednosti V_{DS} (Ohm-ska oblast):

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

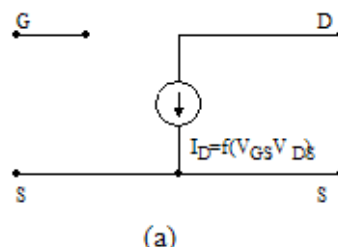
- U zasićenju ($V_{DS} > V_{GS} - V_T$) važi:

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

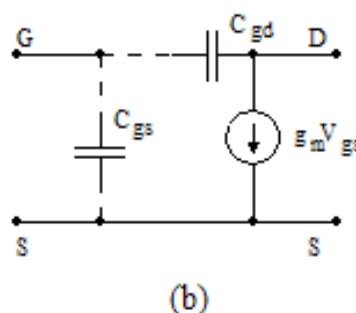
26

1.2.4.4. MOSFET-OVI - MODELI

- Model za velike signale (a): naponom kontrolisani strujni izvor, u triodnoj oblasti struja zavisi od dva napona.



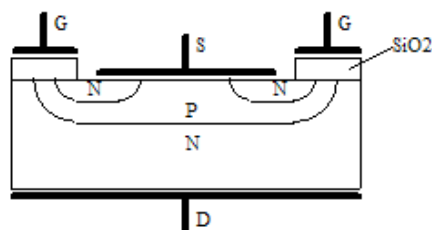
- Za male signale može se formirati linearni model (b).
- Na visokim frekvencijama potrebno je uzeti u obzir i parazitne kapacitivnosti.



1.2.4.5. MOSFET-OVI – KONSTRUKCIJA ZA VELIKE SNAGE

- Primenjuje se vertikalna struktura (struja prolazi okomito na ravan poluprovodničke pločice).
- Cilj: kanal velikog poprečnog preseka i male dužine radi postizanja male otpornosti.
- Izradi se veliki broj malih MOSFET-ova na jednoj silicijumskoj pločici – paralelno se spajaju.

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



28

1.2.4.6. MOSFET-OVI – KUĆIŠTA I PODACI

- Kućišta su ista kao kod bipolarnih tranzistora.
- Podaci:
 - probojni naponi: BV_{DS} BV_{GS} .
 - maksimalna struja: $I_{D\text{MAX}}$.
 - maksimalna snaga gubitaka: $P_{D\text{MAX}}$.
 - prag provođenja: V_T (obično je od 2V do 4V kod snažnih-diskretnih MOSFET-ova, specijalno kod *logic level* tipova je od 1V do 2V).
 - K : parametar u izrazu za struju.

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

29

1.2.5. TIRISTORI - OSNOVI

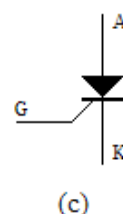
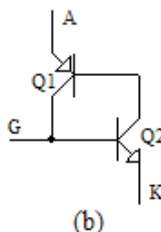
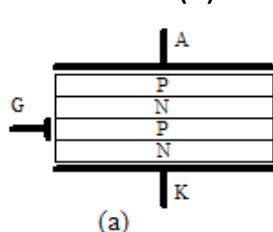
- Prva energetska komponenta (1958, General Electric), pomoću koje se mogla regulisati snaga potrošača priključenog na mrežu (sijalica sa užarenim vlaknom, univerzalni motori, grejači).
- Način regulacije: prvo samo fazna regulacija, kasnije impulsno-širinska modulacija.
- Može da se koristi samo u prekidačkom režimu. Uključenje ide lako (potreban je mali signal). Isključenje može da se dešava prirodno ako glavna struja padne na nulu ili pri nenultoj struji ali sa komplikovanim kolom za gašenje.

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

30

1.2.5.1. TIRISTORI – KONSTRUKCIJA

- Četvoroslojna struktura: PNPN (a)
- Tri izvoda: a – anoda, k-katoda, g-gate.
- Glavni strujni krug: struja teče kroz tiristor od anode prema katodi.
- Pomoćni strujni krug: strujni impuls od gate-a prema katodi.
- Bez kontrole ne provodi ni u jednom ni u drugom smeru.
- Grafički simbol (c).



31

1.2.5.2. TIRISTORI – PRINCIP RAD

- Prelaz u provodni režim (paljenje) i samodržeće ponašanje se može objasniti pomoću ekvivalentne šeme sa dva tranzistora (b).
- Unutrašnja pozitivna povratna sprega: Q_2 upravlja sa Q_1 , Q_1 upravlja sa Q_2 .
- Na bazi ekvivalentne šeme može se formirati matematički model tiristora:

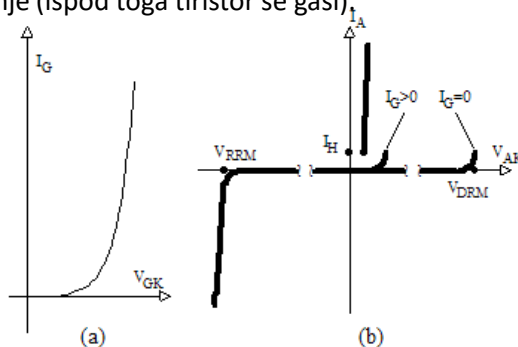
$$I_A = \frac{\alpha_1 I_G + I_{CO1} - I_{CO2}}{1 - (\alpha_1 + \alpha_2)}$$

- Pre paljenja važi: $\alpha_1, \alpha_2 = 0$. Pri porastu struje ovi faktori rastu. Pri $\alpha_1 + \alpha_2 = 1$ sklop dobije samodržeće osobine.
- Iz ekvivalentne šeme se ne može zaključiti da se tiristor ne može isključiti negativnom strujom gate-a. U stvarnosti nije moguće takvo isključenje, jer se samo mali deo strukture može na ovaj način menjati.
- Jedini način za isključenje je smanjenje glavne (anodne) struje prirodnim putem ili veštački – primenom kola za gašenje.

32

1.2.5.3. TIRISTORI – KARAKTERISTIKE

- Ulazna karakteristika (a) – ponaša se slično kao jedan PN spoj, često je ulaz (fabrički) premošćen otpornikom (zaštita od smetnji).
- Izlazne karakteristike (b):
 - u isključenom stanju je $I_A=0$, kod velikog inverznog napona dolazi do proboja kao kod dioda.
 - Proboj se dešava i kod velikog direktnog napona, tada će se tiristor uključuje ali to nije regularan način paljenja, umesto toga tiristor se uključuje impulsima za paljenje,
 - U provodnom režimu je $V_{AK} \approx 1V$. Potrebna je minimalna struja I_H za samodržanje (ispod toga tiristor se gasi),



33

1.2.5.4. TIRISTORI – PODACI

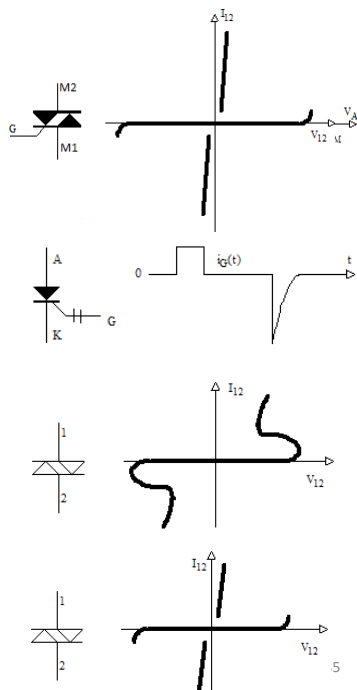
- V_{DRM} – probojni napon u pozitivnom (direktnom) smeru.
- V_{RRM} – probojni napon u negativnom (inverznom) smeru.
- I_{FAV} – maksimalna srednja struja.
- I_{FSM} – maksimalna vršna struja.
- t_{rr} – vreme oporavka. Nakon isključenja tiristora ne može se odmah dovesti pozitivan napon, jer će ponovo provesti.
- dv_{AK}/dt – ako naglo skoči napon u glavnom strujnom kolu, tiristor može nekontrolisano da se uključi (bez struje gate-a).
- di_A/dt – pri naglom uspostavljanju struje, struja se neće ravnomerno raspodeliti na celokupnoj površini kristala – dolazi do lokalnog pregrevanja i eventualnog stradanja tiristora.

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

34

1.2.5.5. TIRISTORI – DRUGE KOMPONENTE IZ ISTE FAMILIJE

- Triac – može da provodi struju u oba smera.
- GTO tiristor – može se isključiti velikom negativnom strujom gate-a.
- Diac – ne postoji gate – uključuje se putem proboja.
- SIDAC – sličan je diac-u ali je znatno manji napon pri provođenju.



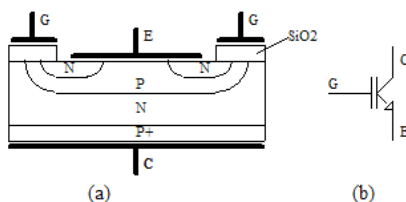
1.2.5.6. TIRISTORI – KUĆIŠTA

- Veliki opsezi napona i struje (velika i mala kućišta):
 - 100mA – xkA.
 - x10V – xkV.



1.2.6. IGBT – OSNOVI

- IGBT – insulated gate bipolar transistor.
- Komponenta energetske elektronike (velike struje, veliki naponi)
- Naziv ukazuje na na sličnost sa bipolarnim tranzistorom, struktura više liči na MOSFET. Dopunjen je sa P+ (jako dopiranim) slojem.
- Formira se veliki broj malih IGBT-a na istoj poluprovodničkoj pločici, zatim se svi paralelno spoje.
- Nazivi izvoda: C – kolektor, E – emitor, G – gate.



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

37

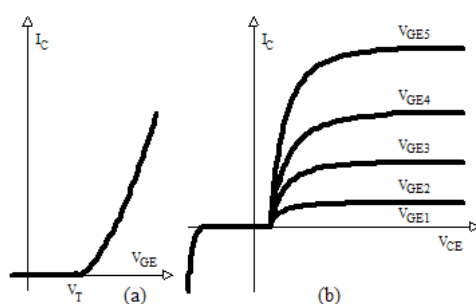
1.2.6.1. IGBT – PRINCIP RADA

- Otvaranje kanala se dešava u uzanom P sloju ispod gate-a (inverzija tipa) pod uticajem pozitivnog napona na gate-u.
- Nakon pokretanja struje elektrona kreće veliki broj šupljina iz P+ sloja u susedni N sloj.
- Ove šupljine smanjuju otpornost N sloja (manji gubici), ali ujedno usporavaju isključenje.
- Sporiji je od MOSFET-ova, ali je brži od bipolarnih tranzistora i lakše je upravljanje.

38

1.2.6.2. IGBT – KARAKTERISTIKE

- Nema struje gate-a, $I_C = I_E$ (u statičkom režimu).
- Može se govoriti samo o prenosnim i izlaznim karakteristikama.
- U uključenom stanju je $V_{CE} = V_{CEsat} = 2V...5V$.
- Prag provođenja je redovno $V_T = 4V...8V$.
- Granice oblasti sigurnog rada: BV_{CE} , BV_{GE} , I_{Dmax} , P_{dmax} .
- Kućišta: kao kod bipolarnih tranzistora veće snage. Često se veći broj komponenti u nekom spoju ugrađuje u zajedničko kućište (modul).



39

1.2.7. OPTOELEKTRONSKE KOMPONENTE - OSNOVI

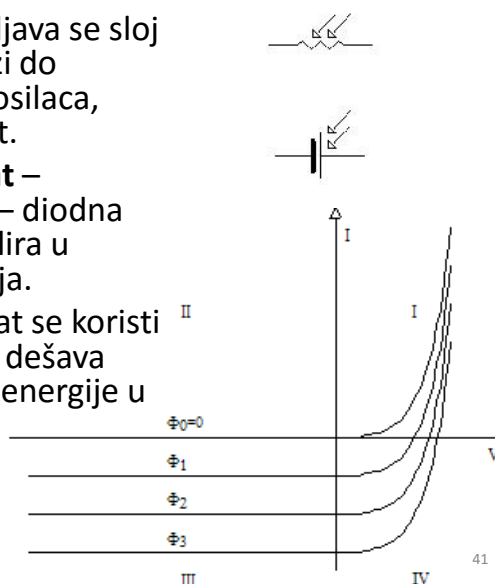
- Fotoelektrični efekat (A. Einstein, 1905).
- Pri bombardovanju poluprovodnika fotonima dolazi do stvaranja parova elektron-šupljina.
- Pri rekombinaciji parova elektron-šupljina generišu se fotoni.
- Savremene optoelektronske komponente se izrađuju na bazi poluprovodnika. Ranije su korišćene razne elektronske cevi za ove namene.
- Podela: primaju svetlost ili zrače svetlost.

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

40

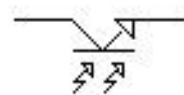
1.2.7.1. OPTOELEKTRONSKE KOMPONENTE – PRIJEMNICI SVETLOSTI

- **Fotootpornici** – osvetljava se sloj poluprovodnika, dolazi do stvaranja slobodnih nosilaca, Smanjuje se otpornost.
- **Fotonaponski elmenat** – Osvetljava se PN spoj – diodna karakteristika se translira u smeru negativnih struja.
- Fotonaponski elemenat se koristi u IV kvadrantu - tu se dešava pretvaranje svetlosne energije u električnu energiju.



1.2.7.2. OPTOELEKTRONSKE KOMPONENTE – PRIJEMNICI SVETLOSTI

- **Fotodioda**: ista konstrukcija kao kod fotonaponskog elementa, samo se primenjuje inverzna polarizacija ($V < 0$, $I < 0$).
- Pogodan za detekciju svetlosti.
- **Fototranzistor**: redovno se konstruiše kao kombinacija fotodiode i običnog bipolarnog tranzistora. Struju fotodiode pojačava tranzistor – dobija se veća osetljivost.



1.2.7.3. OPTOELEKTRONSKE KOMPONENTE – ODAŠILJAČI SVETLOSTI

- **LED** – light emitting diode – svetleća dioda.
- Sadrži PN spoj. Pri prolasku struje dolazi do rekombinacije parova elektron-šuplina i stvaraju se fotoni.
- Boja svetlosti zavisi od materijala poluprovodnika.
- Ranije su ove komponente korišćene samo u svrhe indikacije, danas se sve više koriste za osvetljenje.
- **Optokapler** – LED i fototranzistor u zajedničkom kućištu – svetlost iz LED-a upravlja tranzistorom.
- Ima takvih optokaplera kod kojih na izlazu stoji tiristor ili triac.



43

1.2.7.4. OPTOELEKTRONSKE KOMPONENTE – SLIKE



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

44

Kraj poglavlja 1.2.
(**AKTIVNE KOMPONENTE**)