Aneta Prijić

Poluprovodničke komponente

Studijski program: Elektrotehnika i računarstvo

Modul
Elektronske komponente i mikrosistemi
(IV semestar)

Broj ESPB: 6

Cilj i realizacija nastave

- Izučavanje principa funkcionisanja osnovnih poluprovodničkih komponenata i njihove primene u elektronskim kolima

- Teorijska nastava - predavanja
- Računske vežbe
- Praktična nastava
  - Vežbe na računaru – simulacije - 7
  - Laboratorijske vežbe - 6
- Kolokvijumi – 3
- Projektni zadatak – rad u grupama

Ocena znanja

- **aktivnost u praktičnoj nastavi** 10+10
- **kolokvijumi** 3 x 10
- **projektni zadatak** 7 (bonus)
- **ispit**
  - kombinovan pismeni i usmeni deo 50

Ukupno 100+7

- Praktična nastava - obavezni deo predispitnih aktivnosti
- Kolokvijumi - nisu obavezni ali utiču na konačnu ocenu iz predmeta (imaju oslobađajući karakter)
- Projektni zadatak – nije obavezan (bonus poeni)
- Na osnovu posećenosti časova nastave profesor ima diskreciono pravo da koriguje ±5 bodova

Literatura

- Dostupna na sajtu: http://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/poluprovodnicke-komponente/
  - Slajdovi sa predavanja
  - Računske vežbe
  - Praktikum za vežbe na računaru
  - Praktikum za laboratorijske vežbe
  - Aneta Prijić, Danijel Danković, Zoran Prijić ***UVOD U POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE I NJIHOVU PRIMENU*** – Elektronski fakultet u Nišu, 2020
  - Naizmenični signali i osnovna elektronska kola - dodatni materijal
- Stojan Ristić, *Diskretne poluprovodničke komponente,* Prosveta, Niš, 2002

Raspored održavanja nastave

Termin	9-11h	11-13h	13-15h
I (19. 2.) predavanja			svi
II (23. 2.) predavanja + sim1	svi	1-7	8-14
III (1. 3.) predavanja + sim2	svi	8-14	1-7
IV (8. 3.) laboratorija 1	1-5	6-10	11-14
V (15. 3.) predavanja + sim3	svi	1-7	8-14
VI (22. 3.) laboratorija 2	11-14	1-5	6-10
22. 3.	kolokvijum 1		
VII (5. 4.) predavanja + sim4	svi	8-14	1-7
VIII (12. 4.) laboratorija 3	6-10	11-14	1-5
IX (19. 4.) predavanja + sim5	svi	1-7	8-14
X (26. 4.) laboratorija 4	1-5	6-10	11-14
26. 4.	kolokvijum 2		
XI (10. 5.) predavanja + sim6	svi	8-14	1-7
XII (17. 5.) laboratorija 5	11-14	1-5	6-10
XIII (24. 5.) predavanja + sim7	svi	1-7	8-14
XIV (31. 5.) laboratorija 6	6-10	11-14	1-5
31. 5.	kolokvijum 3		

Ispit:

Jun – 21. 6.

Jun II – 1. 7.

Označavanje jednosmernih i naizmeničnih veličina

- ***Jednosmerne*** veličine označene su ***velikim slovima, kao i njihovi indeksi***
- ***Naizmenične*** veličine označene su ***malim slovima, kao i njihovi indeksi***
- ***Ukupne*** veličine označene su ***malim slovima a njihovi indeksi velikim slovima***

Primer:

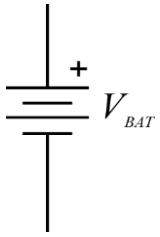
V_{IN} - jednosmerni ulazni napon

v_{in} - naizmenični ulazni napon

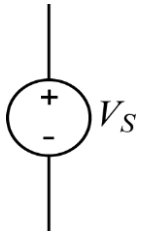
$v_{IN} = V_{IN} + v_{in}$ - ukupni ulazni napon

Naponski i strujni izvori

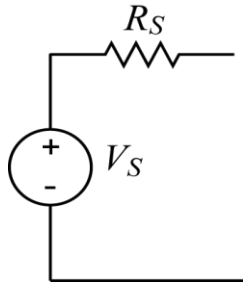
- Izvori konstantne vrednosti (nezavisni izvori)



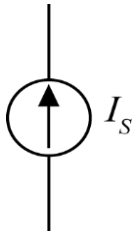
- baterija



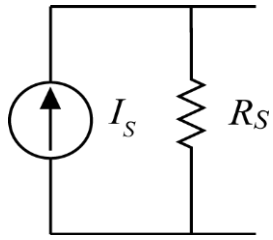
- naponski izvor (idealan)



- naponski izvor (realan)



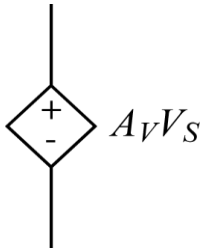
- strujni izvor (idealan)



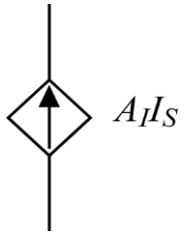
- strujni izvor (realan)

R_S – unutrašnja otpornost izvora

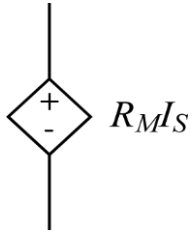
- Kontrolisani (zavisni) izvori



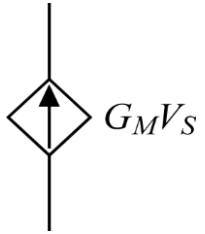
Naponom kontrolisan naponski izvor $(A_V v_S)$
A_V - naponsko pojačanje



Strujom kontrolisan strujni izvor $(A_I i_S)$
A_I - strujno pojačanje



Strujom kontrolisan naponski izvor $(R_M i_S)$
R_M - transrezistansa



Naponom kontrolisan strujni izvor $(G_M v_S)$
G_M - transkonduktansa

Konstante

- q-naelektrisanje elektrona
  $q=1e=1{,}6\cdot10^{-19}$ C
- Energija u eV
  $1eV=1{,}6\cdot10^{-19}$ J
- k –Bolcmanova konstanta
  $k=1{,}38\cdot10^{-23}$ J/K$=8{,}6\cdot10^{-5}$ eV/K
- c-brzina svetlosti
  $c=3\cdot10^{8}$ m/s
- ε_0-dielektrična konstanta vakuuma
  $\varepsilon_0=8{,}85\cdot10^{-12}$ F/m
- ε_{rSi}-relativna dielektrična konstanta Si
  $\varepsilon_{rSi}=11{,}7$
- ε_{rox}-relativna dielektrična konstanta SiO_2 (oksid)
  $\varepsilon_{rox}=3{,}9$
- h – Plankova konstanta
  $h=6{,}62\cdot10^{-34}$ Js

Osnovne karakteristike poluprovodnika

- Najčešće korišćeni **Si, Ge, GaAs**
- Osnovni parametri materijala:
  - širina zabranjene zone - E_G
  - koncentracija sopstvenih nosilaca – n_i
  - pokretljivost nosilaca (elektrona ili šupljina) - μ

na T=300K

Materijal	E_G (eV)	n_i (cm^{-3})	μ_n (cm^2/Vs)
Si	1,12	$(1\text{-}1,5)\cdot10^{10}$	1500
Ge	0,67	$2,5\cdot10^{10}$	3900
GaAs	1,43	$1,7\cdot10^{10}$	8500

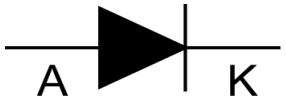
- **Besprimesni** (intrinsični, čist) poluprovodnik
  - Koncentracije elektrona n_0 i šupljina p_0 jednake su koncentraciji sopstvenih nosilaca $n_0=p_0=n_i$
- **Primesni** poluprovodnici
  - *n-tip*
    - dopiran petovalentnim donorskim primesama (P, As, Sb) koncentracije N_D
    - većinski nosioci su elektroni čija je koncentracija na sobnoj temperaturi $n=N_D$
    - manjinski nosioci šupljine koncentracije $p=n_i^2/n$
  - *p-tip*
    - dopiran trovalentnim akceptorskim primesama (B, Ga, In) koncentracije N_A
    - većinski nosioci su šupljine čija je koncentracija na sobnoj temperaturi $p=N_A$
    - manjinski nosioci elektroni koncentracije $n=n_i^2/p$
- Poluprovodnik je **jako dopiran** ukoliko je koncentracija primesa veća od 10^{17} cm^{-3} (n^+, p^+)
- **Rekombinacija nosilaca** – poništavanje para elektron-šupljina

Osnovne poluprovodničke komponente

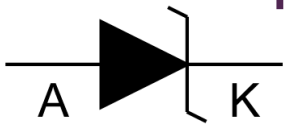
- **Diode** – na bazi P-N spoja
- **Bipolarni tranzistori** (**BT**-**B**ipolar **T**ransistor)
  - Strujom kontrolisane komponente (indirektno preko naponskog izvora i otpornika)
- **Tranzistori sa efektom polja** (**FET**–**F**ield **E**ffect **T**ransistor)
  - Naponom kontrolisane komponente
- **Višeslojne** poluprovodničke komponente
- **Ostale** poluprovodničke komponente sa 2 i više izvoda

Tipovi dioda

- **Opšte** namene (uglavnom ispravljačke)



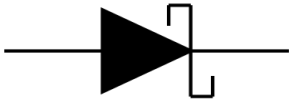
- **Zener** (stabilizatori napona)



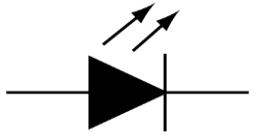
- **TVS** (Transient Voltage Suppression) diode

- **Varikap** (promenljive kapacitivnosti)

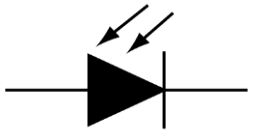
- **Šotkijeve** (brze prekidačke)



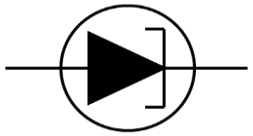
- **LED** (Light-Emitting Diode) i **IR** (Infra Red)



- **Fotodiode** (reaguju na osvetljaj)



- **Tunel diode** (negativna otpornost)

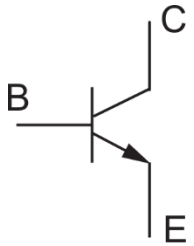


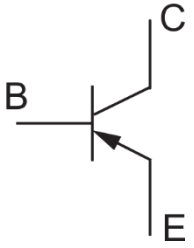
- Diode kao **izvori konstantne struje**

A – anoda **K - katoda**

Tipovi bipolarnih tranzistora (BT)

- Na bazi silicijumskih spojeva
  (**BJT** - Bipolar Junction Transistor)

NPN 

PNP 

E – emitor (emitter)
B – baza (base)
C – kolektor (collector)

- Na bazi heterospojeva – obično SiGe
  (**HBT** - Heterojunction Bipolar Transistor)
  Primena za veoma visoke frekvencije
- Sa **polisilicijumskim** emitorom
  Poseduju vrlo veliko strujno pojačanje

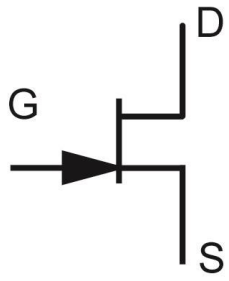
Tipovi tranzistora sa efektom polja – Field Effect Transistor (FET)

<table>
<tr><th colspan="4">FET</th></tr>
<tr><td colspan="3">IGFET
Insulated-Gate FET</td><td>JFET
Junction
FET</td><td>MESFET
Metal-
Semiconductor FET</td></tr>
<tr><td>MOSFET/
MISFET
Metal-
Oxide/Insulator
FET</td><td colspan="2">HFET
Heterojunction FET</td><td></td><td></td></tr>
<tr><td></td><td>MODFET
Modulation
- Doped
FET</td><td>HIGHFET
Heterojun
ction
Insulated
-Gate FET</td><td></td><td></td></tr>
</table>

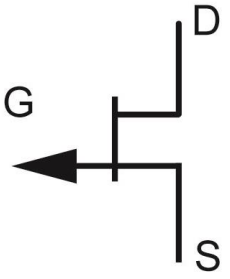
JFET tranzistori (Q)

- FET tranzistori sa p-n spojem

N-kanalni



P-kanalni

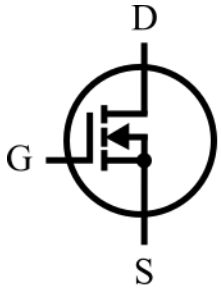
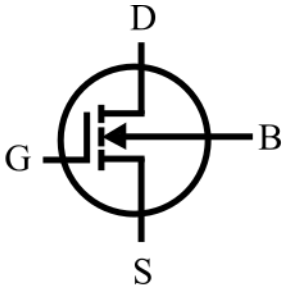
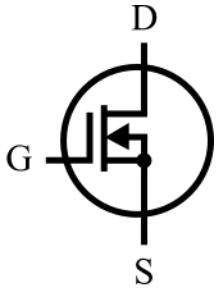
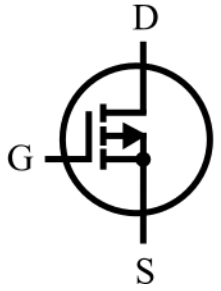
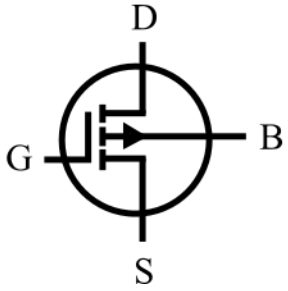
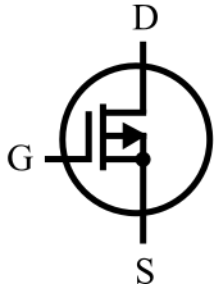


S – sors (source)

G – gejt (gate)

D – drejn (drain)

MOSFET tranzistori

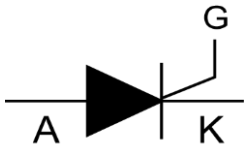
	Sa indukovanim kanalom - *enhancement mode*		Sa ugrađenim kanalom – *depletion mode*
N-kanalni (NMOS)			
P-kanalni (PMOS)			

S – sors (source) G – gejt (gate)

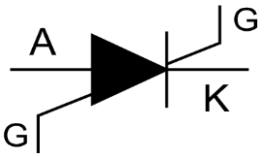
D – drejn (drain) B –supstrat (bulk)

Višeslojne poluprovodničke komponente

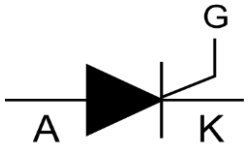
- **Tiristor** (Thyristor) ili **SCR** (Silicon-Controled Rectifier)



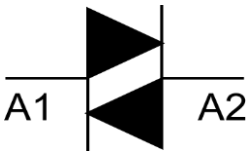
- **SCS** (Silicon-Controled Switch)



- Programabilni jednospojni tranzistor (**PUT** – Programmabile Unijunction Transistor)

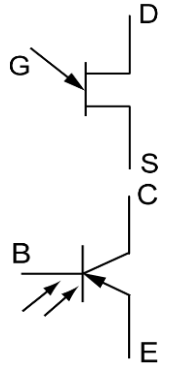


- **Dijak**
- **Trijak**



Ostale poluprovodničke komponente

- Sa 2 izvoda
  - **Fotootpornik**
    (promena otpornosti sa osvetljajem)
  - **Solarne ćelije**
  - **Termistor**
    (temperaturno osetljivi otpornik)
- Jednospojni tranzistor
  (**UJT** – Uni-Junction Transistor)
- **Fototranzistor**
  (reaguje na osvetljaj)
- **Optokapler** (optoizolator)
  uključuje IR LED i fotodetektor
  (fotodioda, fototranzistor, foto-SCR)



Testiranje poluprovodničkih komponenata

- **Traser** električnih karakteristika

- **Analizator** parametara

- Digitalni **multimetar** sa funkcijom testiranja dioda
- **Ommetar**