

Analogni elektronika - laboratorijske vežbe

2. Diskretne aktivne komponente i njihove proste primene

2.1 Teorija

Teorija diskretnih pasivnih komponenti (dioda, razne vrste tranzistora, tiristor) je data u delu 1.2 (skripta i prezentacija). Prosta kola sa diskretnim komponentama su predstavljena u poglavlju 2.2 i u narednim poglavljima. Razni proračuni su prikazani na računskim vežbama.

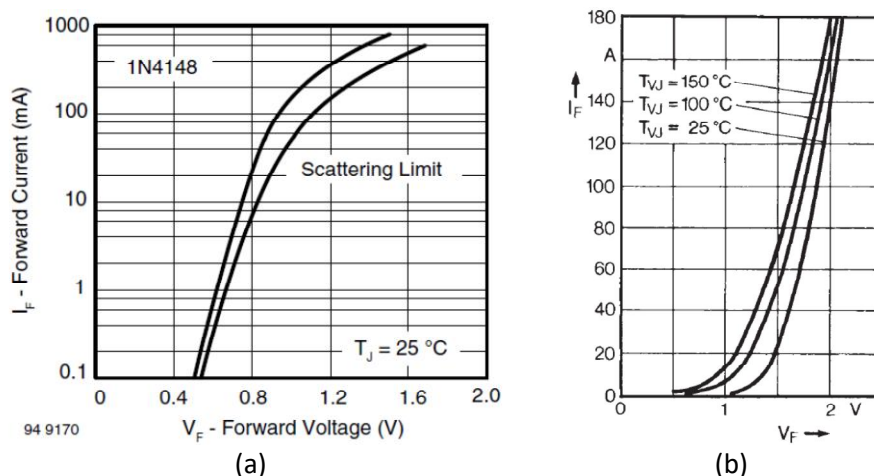
2.2 Opis

U okviru ove laboratorijske vežbe studenti se upoznaju sa ponašanjem diskretnih aktivnih komponenti (dioda, bipolarni tranzistor, MOSFET, IGBT, tiristor) unutar test kola i u nekim prostim realnim kolima.

2.3 Simulacija

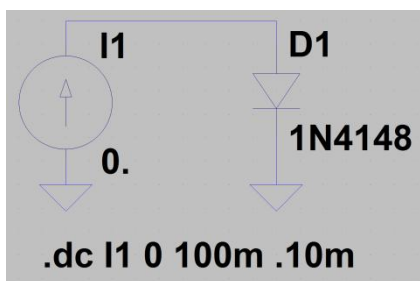
Pre merenja analizirati ponašanje poluprovodničkih komponenti putem računarskih simulacija.

2.3.1 Statička karakteristika poluprovodničke diode

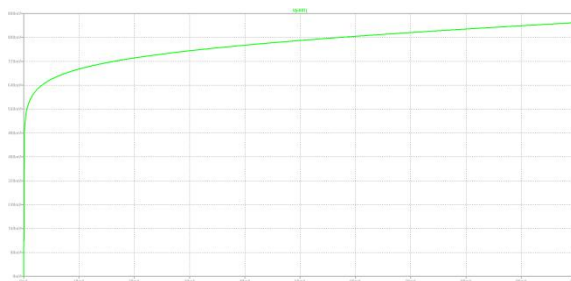


Slika 1.: Statička karakteristike poluprovodničke diode na raznim temperaturama: (a) mala signalna dioda tipa 1N4148, (b) snažna dioda tipa DSEI60-06.

Nacrtati statičku karakteristiku diode na određenoj temperaturi pomoću sledećeg simulacionog modela:



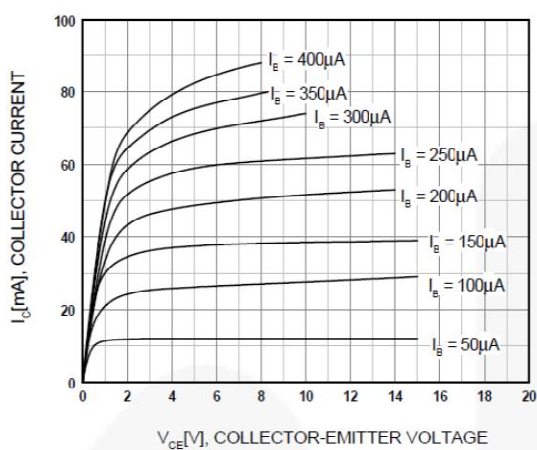
(a)



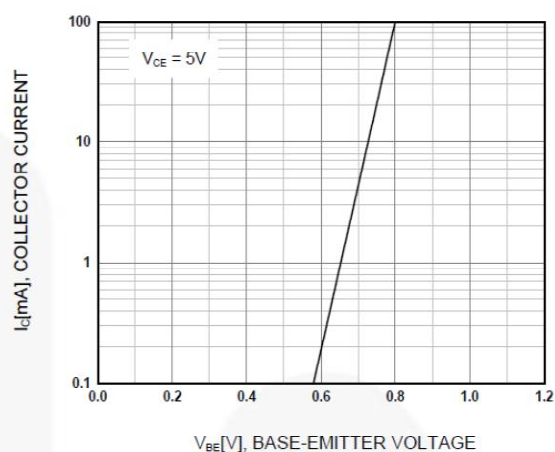
(b)

Slika 2.: (a) Simulacioni model za iscrtavanje statičke karakteristike poluprovodničke diode, (b) dobijena karakteristika $V_D = f(I_D)$.

2.3.2 Statičke karakteristike bipolarnog tranzistora (BJT)



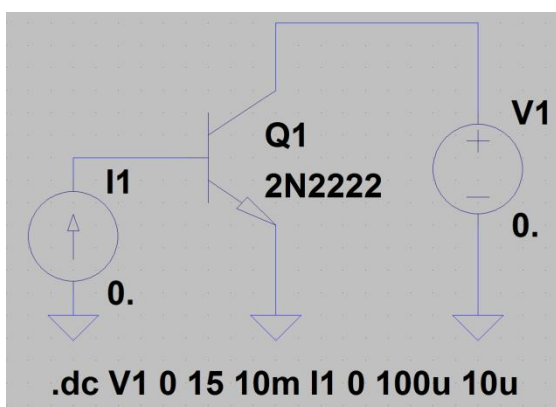
(a)



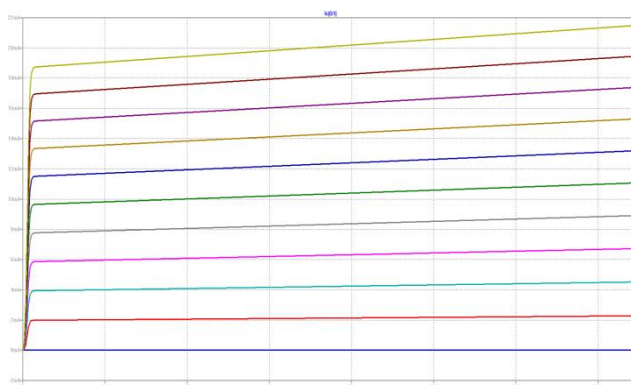
(b)

Slika 3.: Statičke karakteristike bipolarnog tranzistora (tip BC546): (a) familija izlaznih karakteristika $I_C = f(V_{CE})$, $I_B = \text{const.}$, (b) prenosna karakteristika $I_C = f(V_{BE})$.

Izlazne statičke karakteristike iscrtati pomoću sledećeg simulacionog modela:



(a)

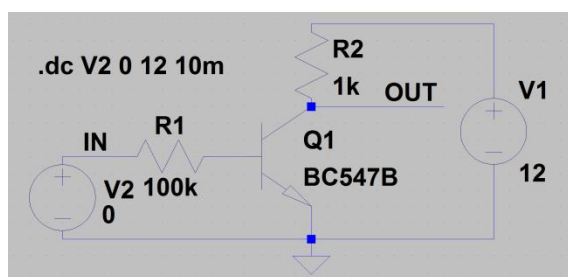


(b)

Slika 4.: (a) Simulacioni model za iscrtavanje izlaznih statičkih karakteristika bipolarnog tranzistora, (b) dobijena familija izlaznih karakteristika.

2.3.3 Prenosna karakteristika tranzistorskog logičkog invertora

Sastaviti dole prikazani simulacioni model i iscrtati prenosnu karakteristiku!



(a)

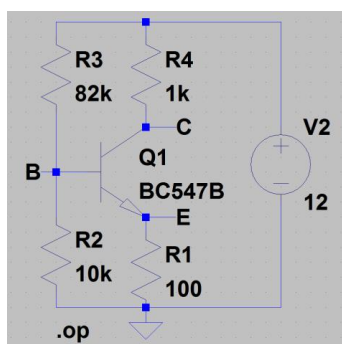


(b)

Slika 5.: (a) Simulacioni model logičkog invertora i (b) prenosna karakteristika $V_{OUT}=f(V_{IN})$ dobijena simulacijom.

2.3.4 Podešavanje radne tačke pojačavača sa zajedničkim emitorom i njegovo dinamičko ponašanje

Putem simulacije odrediti radnu tačku tranzistora u pojačavaču sa zajedničkim emitorom na bazi prikazanog modela!



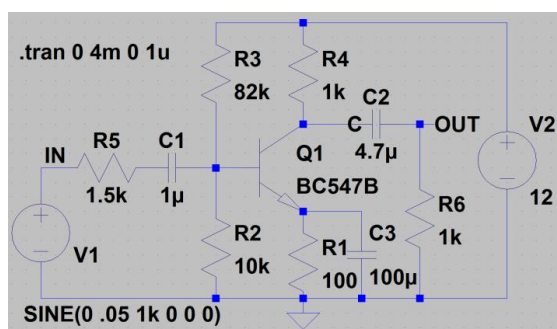
(a)

V (c) :	7.18823
V (b) :	1.16275
V (e) :	0.482765
V (n001) :	12
Ic (Q1) :	0.00481177
Ib (Q1) :	1.58861e-005
Ie (Q1) :	-0.00482765
I (R4) :	0.00481177
I (R3) :	0.000132162
I (R2) :	0.000116275
I (R1) :	0.00482765
I (V2) :	-0.00494393

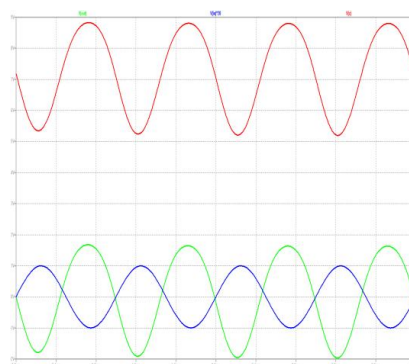
(b)

Slika 6.: (a) Simulacioni model dela pojačavača sa zajedničkim emitorom za podešavanje radne tačke, (b) vrednosti napona i struje dobijene simulacijom.

Ispitati ponašanje pojačavača u vremenskom domenu pomoću datog simulacionog modela!



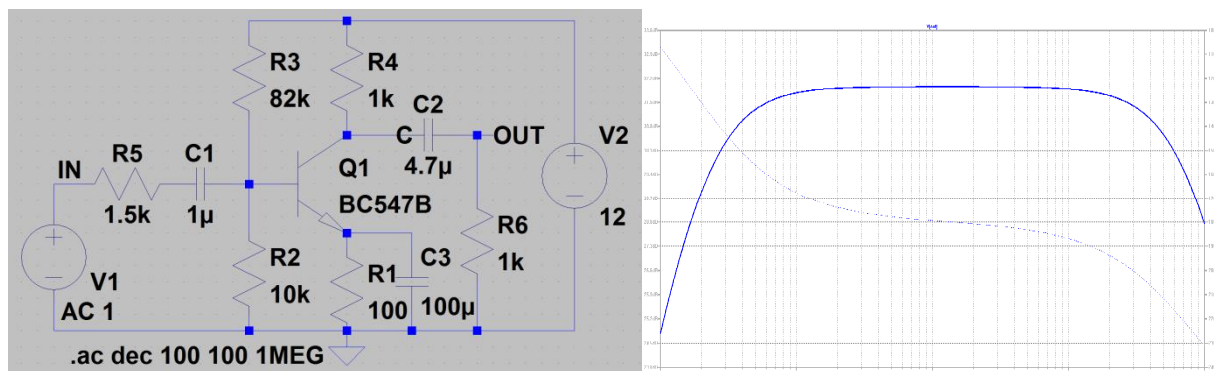
(a)



(b)

Slika 7.: Simulacija ponašanja pojačavača sa zajedničkim emitorom u vremenskom domenu: (a) simulacioni model, (b) vremenski dijagrami ulaznog napona - (plavo), kolektorskog napon - (crveno) i izlaznog napona (zeleno). Obratiti pažnju na nelinearno izobličenje, promenu faze i početni tranzijent!

Ispitati ponašanje pojačavača za frekvenijski opseg 100 Hz - 1 MHz (AC analiza) na bazi sledećeg simulacionog modela!

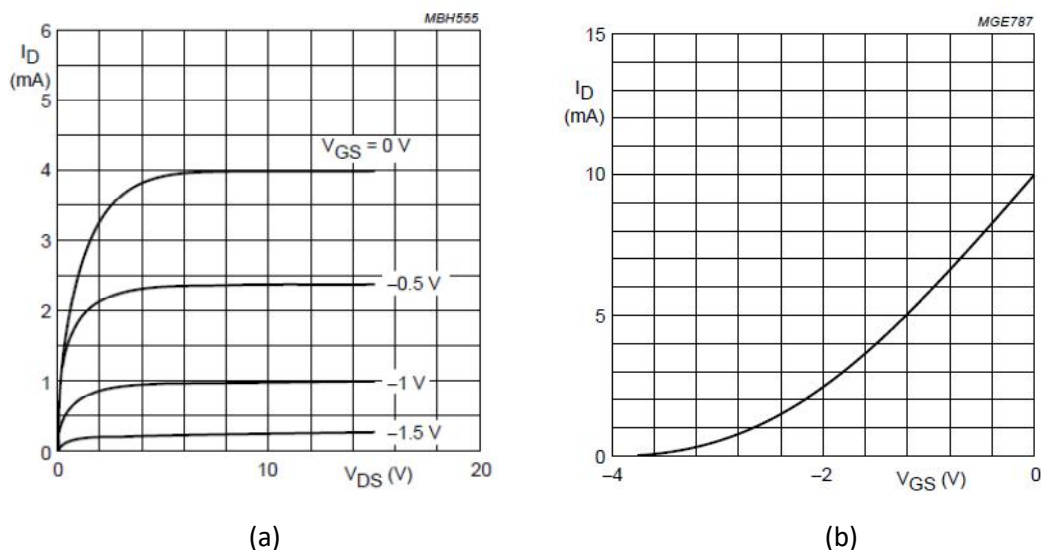


(a)

(b)

Slika 8.: Analiza pojačavača sa zajedničkim emitorom za naizmenični režim, pretpostavljajući linearno ponašanje: (a) simulacioni model, (b) dijagram amplitude i faze.

2.3.5 Statičke karakteristike JFET-a

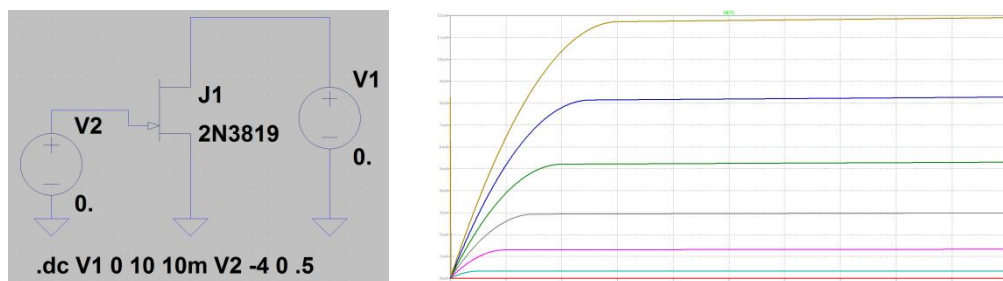


(a)

(b)

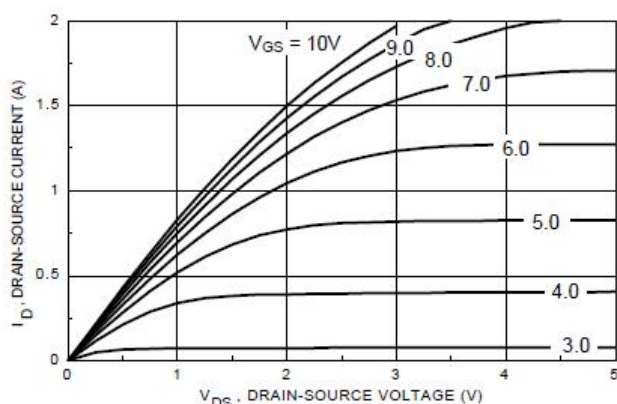
Slika 9.: Statičke karakteristike N-kanalnog JFET-a (tip BF245): (a) familija izlaznih karakteristika $I_D=f(V_{DS})$, $V_{GS}=\text{const.}$, (b) prenosne karakteristike $I_D=f(V_{GS})$.

Izlazne statičke karakteristike iscrtati na bazi sledećeg simulacionog modela:

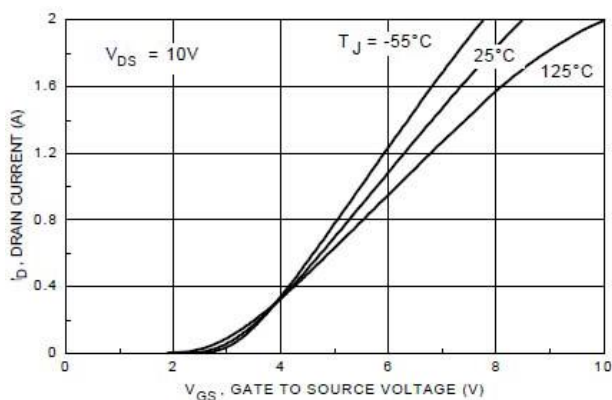


Slika 10.: (a) Simulacioni model za iscrtavanje statičkih karakteristika N-kanalnog JFET-a, (b) dobijene karakteristike.

2.3.6 Statičke karakteristike MOSFET-a



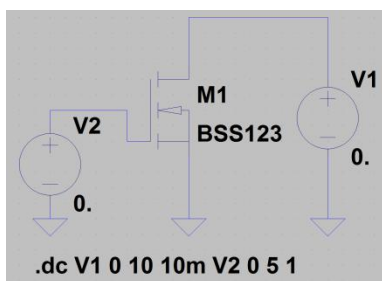
(a)



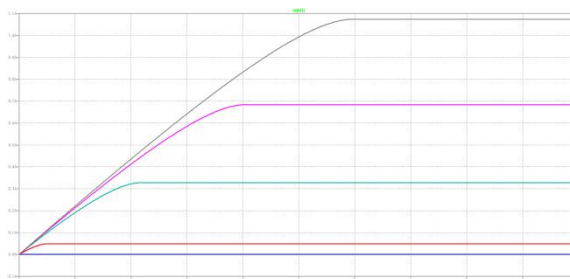
(b)

Slika 9.: Statičke karakteristike N-kanalnog MOSFET-a (tip BS170): (a) familija izlaznih karakteristika $I_D=f(V_{DS})$, $V_{GS}=\text{const.}$, (b) prenosne karakteristike $I_D=f(V_{GS})$.

Izlazne statičke karakteristike iscrtati pomoću sledećeg simulacionog modela:



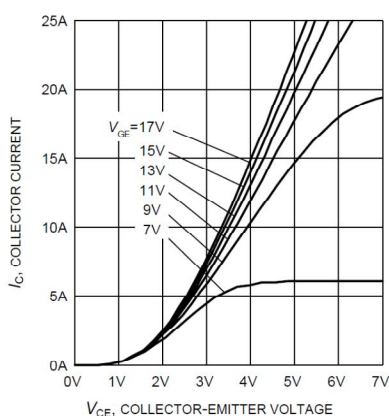
(a)



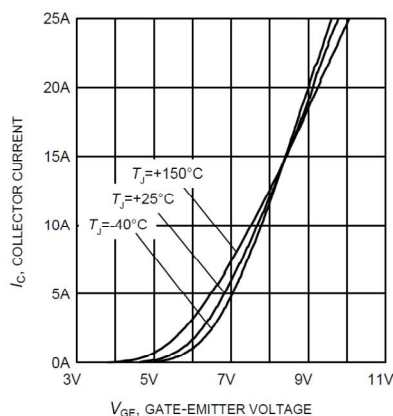
(b)

Slika 10.: Simulacioni model za iscrtavanje izlaznih statičkih karakteristika N kanalnog MOSFET-a, (b) dobijene karakteristike.

2.3.7 Statičke karakteristike IGBT-a



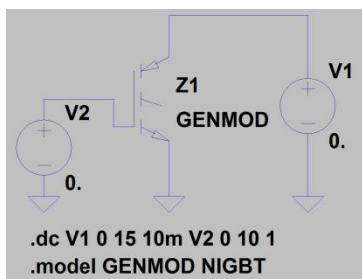
(a)



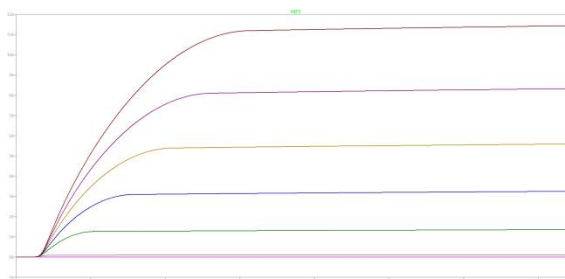
(b)

Slika 11.: Statičke karakteristike N-kanalnog IGBT-a (tip SGP07N120): (a) familija izlaznih karakteristika $I_C=f(V_{CE})$, $V_{GE}=\text{const.}$, (b) prenosne karakteristike $I_C=f(V_{GE})$.

Model za IGBT se može naći samo u novoj verziji softvera, LTspice XVII. U tom softveru se može formirati sledeći model za iscrtavanje statičkih karakteristika.



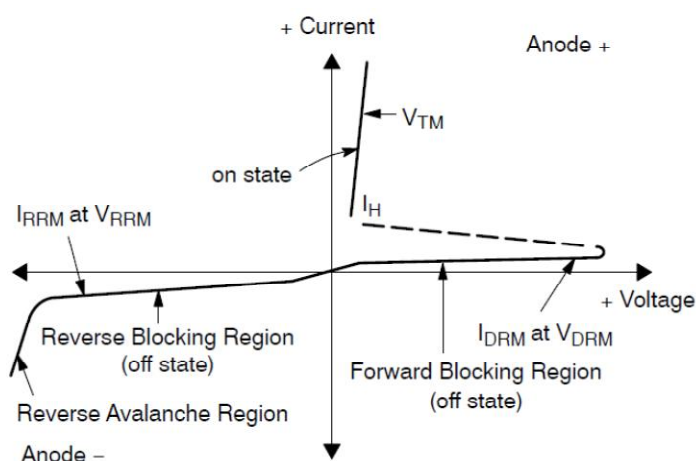
(a)



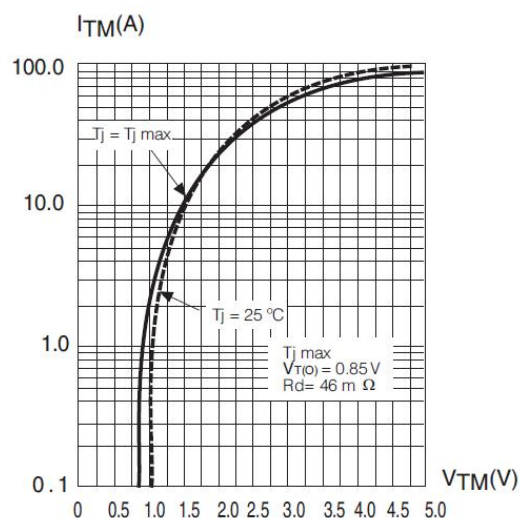
(b)

Slika 12.: Simulacioni model za iscrtavanje statičkih karakteristika N-kanalnog IGBT-a, (b) a dobijene karakteristike.

2.3.8 Ponašanje tiristora



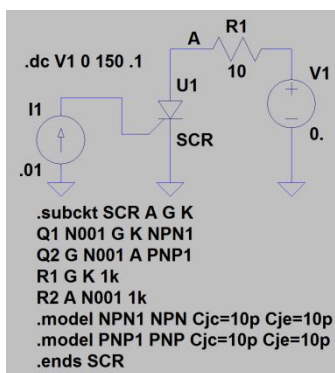
(a)



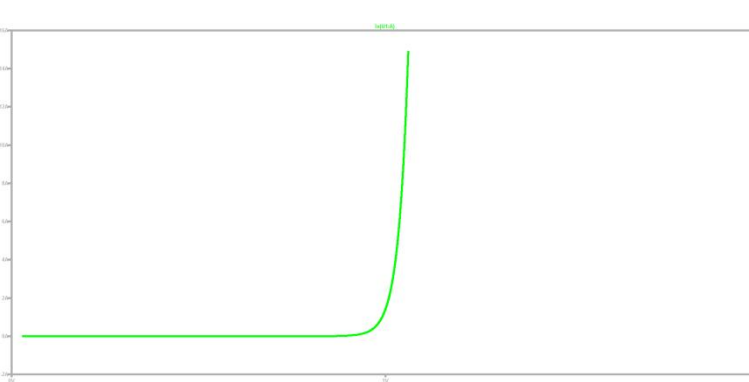
(b)

Slika 13.: (a) Dijagrami za uopštenu karakterizaciju tiristora, (b) stvarna izlazna karakteristika (tip FS12).

U softveru LTspice nema gotovih modela za neke proizvedene tiristore. Ponašanje tiristora možemo simulirati pomoću ekvivalentne šeme sa tranzistorima što je dato u komandi .subckt u prikazanom simulacionom modelu.



(a)



(b)

Slika 14.: Simulacioni model za iscrtavanje izlaznih statičkih karakteristika tiristora (glavno kolo), (b) dobijena karakteristika.

2.4 Oprema za merenja

1. Eksperimentalna pločica
2. Dvokanalni digitalni osciloskop
3. Generator signala
4. Razne diskretne aktivne i pasivne komponente
5. Izvor napajanja

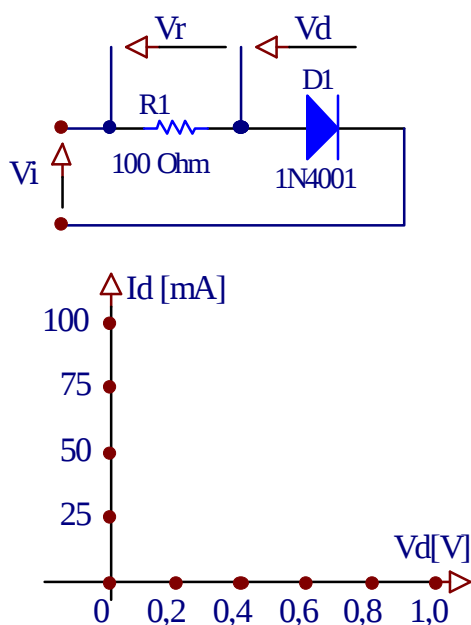
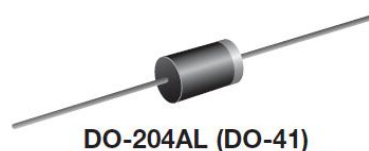
2.5 Merenja

U ovom delu studenti merenjima proveravaju svoje teoretsko znanje o komponentama i ponašanje dobijeno simulacijama.

2.5.1 Statička karakteristika poluprovodničke diode

Sastaviti na protoboard-u dole prikazano kolo! Polaritet diode treba prekontrolisati multimetrom (slika 15.)! Menjati ulazni napon V_i u opsegu od 0 do 10 V, približno u koracima od 1V! Izmeriti napon diode i napon otpornika u pojedinim tačkama! Iz napona otpornika u pojedinim tačkama izračunati struju diode! Popuniti tabelu! Nacrtati statičku karakteristiku!

Slika 15.: Kućište diode 1N4001. Svetla linija na kraju označava katodu.



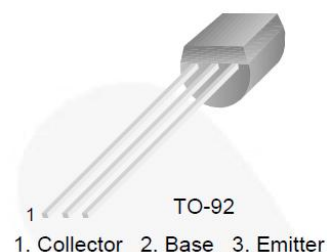
Broj	V_i [V]	V_r [V]	I_d [mA]	V_d [mV]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

2.5.2 Statičke karakteristike bipolarnog tranzistora (BJT)

Sastaviti prikazano kolo na eksperimentalnoj pločici! Raspored nožica tranzistora je prikazan na slici 15.

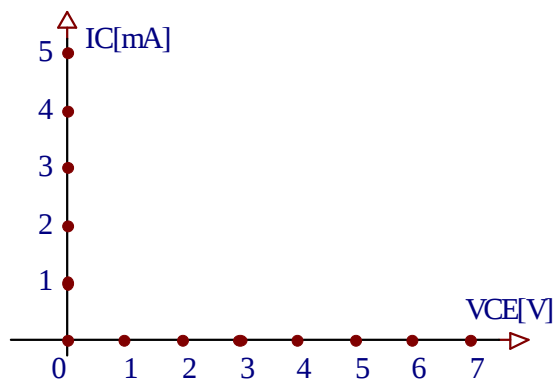
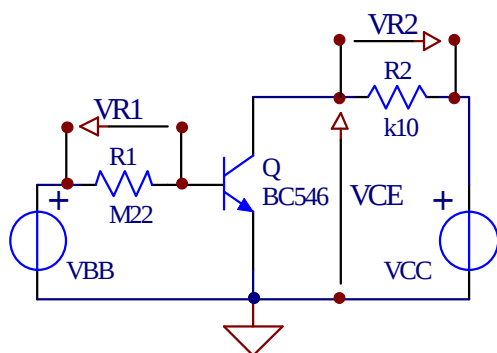
Za merenja pod brojem 1.-8. podesiti struju I_B na 10 μA podešavajući napon izvora V_{BB} . Za izračunavanje struje baze koristiti formulu $I_B = V_{R1}/R1$. Napon V_{CE} podešavati u opsegu od 0 do 7V u koracima od 1V, podešavajući izvor VCC. Struju I_C izračunati iz formule $I_C = V_{R2}/R2$.

Slika 15.: Kućište bipolarnog tranzistora tipa BC546 i raspored nožica.



Za merenja pod brojem 9.-16. podesiti struju I_B na $20 \mu A$ podešavajući napon izvora V_{BB} . Za izračunavanje struje baze koristiti formulu $I_B = V_{R1}/R1$. Napon V_{CE} podešavati u opsegu od 0 do 7V u koracima od 1V, podešavajući izvor VCC. Struju I_C izračunati iz formule $I_C = V_{R2}/R2$.

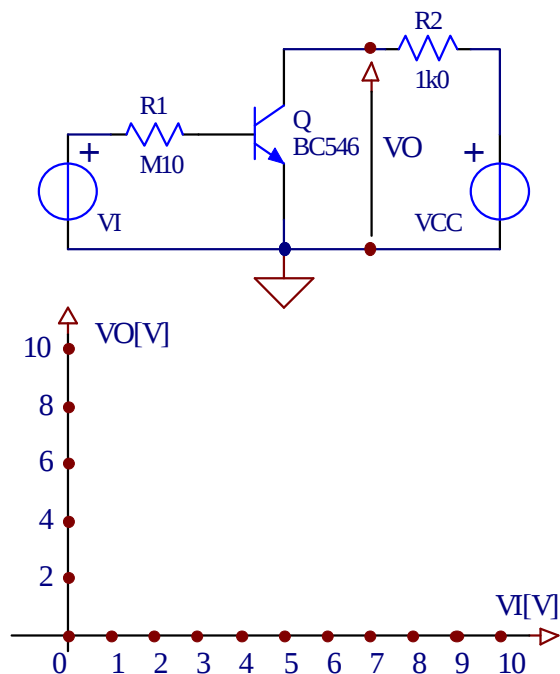
Nacrtati statičku izlaznu karakteristiku $I_C = f(V_{CE})$, $I_B = \text{const}$ za dve navedene vrednosti struje baze.



Broj	VR1 [V]	IB [μA]	VCE [V]	VR2 [V]	IC [mA]
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					
16					

2.5.3 Prenosna karakteristika logičkog invertora

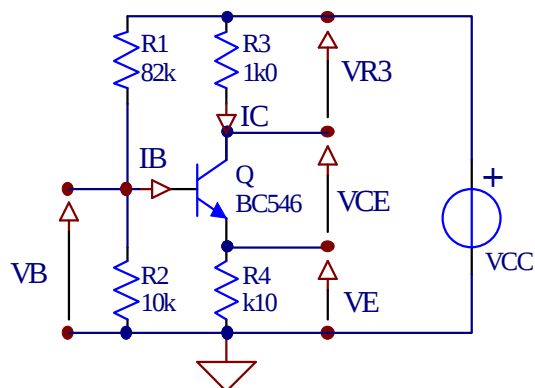
Sastaviti dato kolo na eksperimentalnoj pločici! Napon izvora V_I menjati od 0 do 10V u koracima od po 1V-os! Kod svakog podešavanja izmeriti izlazni napon V_O ! Popuniti tabelu i nacrtati prenosnu karakteristiku!



Broj	VI [V]	VO [V]
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		

2.5.4 Pojačavač sa zajedničkim emitorom u DC i AC režimu

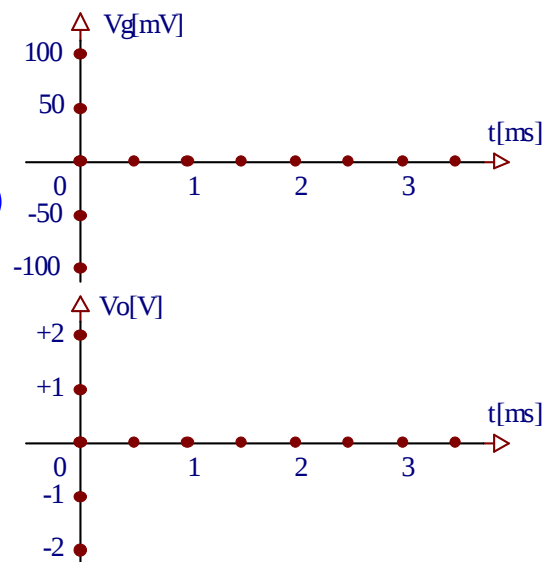
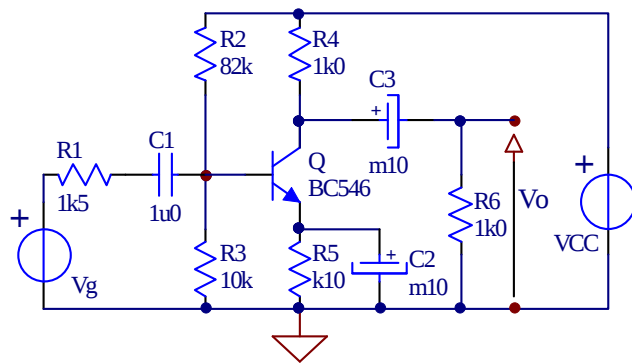
Sastaviti na eksperimentalnoj pločici kolo za podešavanje radne tačke tranzistora u pojačavaču sa zajedničkim emitorom! Povezati na to kolo izvor napajanja od $V_{CC}=12V$! Izmeriti napone u odgovarajućim tačkama i upisati u tabelu! Struju I_B izračunati po formuli $I_B=(V_{CC}-V_B)/R1 - V_B/R2$! Struju I_C računati po formuli $I_C=V_{R3}/R3$.



VB [V]	VE [V]	IB [uA]	VR3 [V]	IC [mA]	VCE [V]

Uporedite rezultate dobijene merenjem sa ranijim rezultatima (tačka 2.3.4) dobijenim simulacijom! Iz kojih razloga se javljaju razlike?

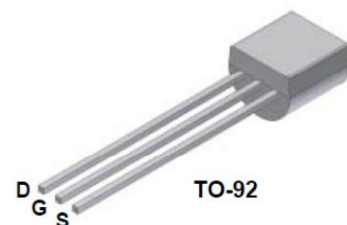
Sastaviti na eksperimentalnoj pločici kompletno kolo pojačavača sa zajedničkim emitorom! Dovedi na ulaz naponski signal amplitude 100mV, frekvencije 1kHz! Posmatrati osciloskopom ulazni signal (V_g) i izlazni signal (V_o)! Precrtati te signale u zadati koordinatni sistem! Upisati merene i računate vrednosti u datu tabelu!



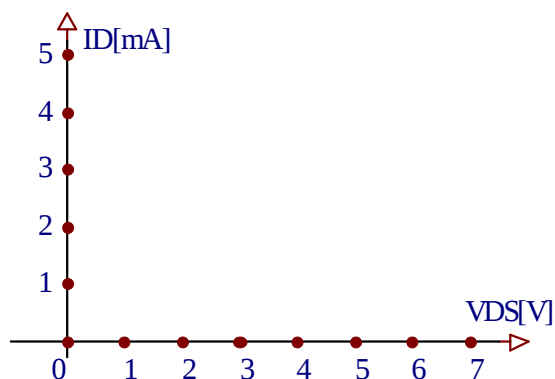
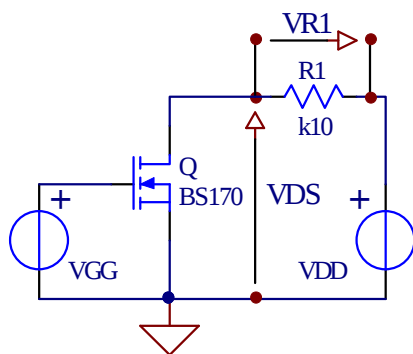
f [Hz]	Vgpp [mV]	Vopp [V]	Av	Av [dB]

2.5.5 Statičke karakteristike MOSFET-a

Sastaviti sledeće kolo na eksperimentalnoj pločici!
Raspored izvoda za MOSFET tipa BS170 je dat na slici 16.



Slika 16.: Raspored izvoda za MOSFET tipa BS170 .



Broj	VGG [V]	VR1 [V]	ID [mA]	VDS [V]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				
13				
14				
15				
16				

Za merenja pod brojem 1.-8., podešavanjem napona V_{GG} namestiti struju I_D na 10 mA pri naponu V_{DS} oko 5V, koristiti formulu $I_D = V_{R1}/R1$! Pri istom V_{GG} podešavati V_{DS} promenom izvora V_{DD} u opsegu od 0 do 7V u koracima od po 1V. Upišite dobijene vrednosti V_{DS} i I_D u tabelu!

Za merenja pod brojem 9.-16. podešavanjem napona V_{GG} namestiti struju I_D na 20 mA pri naponu V_{DS} oko 5V, koristiti formulu $I_D = V_{R1}/R1$! Pri istom V_{GG} podešavati V_{DS} promenom izvora V_{DD} u opsegu od 0 do 7V u koracima od po 1V. Upišite dobijene vrednosti V_{DS} i I_D u tabelu!

Nacrtati dobijene dve izlazne statičke karakteristike!

2.5.6 Statičke karakteristike IGBT-a

Povezati lemljenjem prikazano kolo! Kućište i raspored izvoda za IGBT tipa STGD3NB60SD data je na slici 17.

Slika 17.: Kućište i raspored izvoda IGBT-a tipa STGD3NB60SD: (1) gate, (2 - zadnji, metalni deo kućišta) kolektor, (3) emitor.

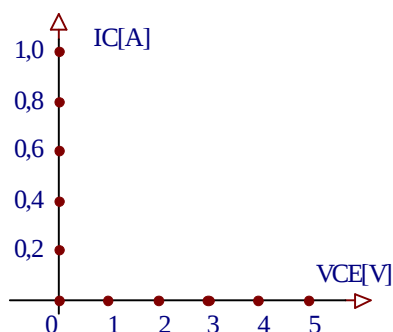
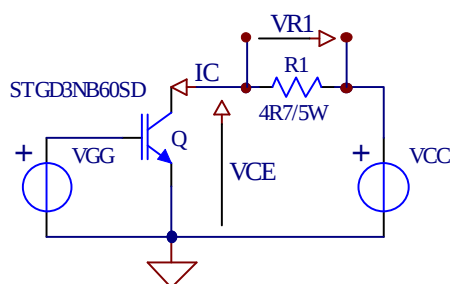


IGBT je komponenta za veće snage i optimizirana je na prekidački režim. Ovde ne može da se ispita ponašanje u celom opsegu napona i struja već samo za male vrednosti oko koordinatnog početka.

Za merenja pod brojem 1.-6., podešavanjem izvora V_{GG} podesiti struju I_C na vrednost od 0,4A u okolini napona V_{CE} od 5V, koristiti formulu $I_C = V_{R1}/R1$! Napon V_{CE} podešavati od 0 do 5V, u koracima od po 1V, podešavanjem izvora V_{CC} . Upišite dobijene vrednosti V_{CE} i I_C u tabelu!

Za merenja pod brojem 7.-12., podešavanjem izvora V_{GG} podesiti struju I_C na vrednost od 0,8A u okolini napona V_{CE} od 5V, koristiti formulu $I_C = V_{R1}/R1$! Napon V_{CE} podešavati od 0 do 5V, u koracima od po 1V, podešavanjem izvora V_{CC} . Upišite dobijene vrednosti V_{CE} i I_C u tabelu!

Nacrtati dobijene dve izlazne statičke karakteristike ($I_C = f(V_{CE})$, $V_{GE} = \text{const.}$) u datom koordinatnom sistemu!

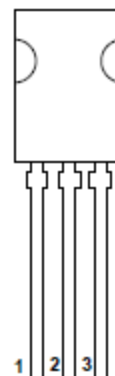


Broj	VGG [V]	VR1 [V]	IC [A]	VCE [V]
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				
12				

2.5.7 Ponašanje tiristora

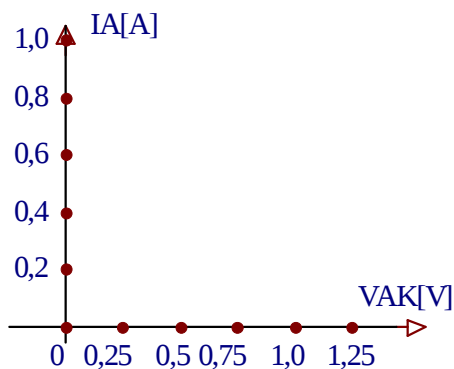
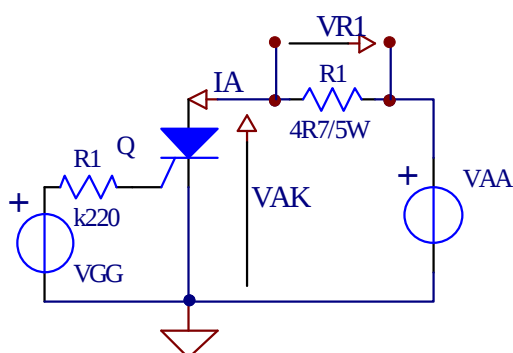
Povezati lemljenjem prikazano kolo! Kućište i raspored izvoda za tiristor tipa BT148-600R je prikazano na slici 18.

Slika 18.: Kućište i raspored izvoda za tiristor tipa BT148-600R: (1) katoda, (2 - zajedno sa metalnom pločom koja čini zadnju stranu kućišta) anoda, (3) gate.



Tiristor je komponenta za veće snage i optimizirana je na prekidački režim. Ovde ne može da se ispita ponašanje u celom opsegu napona i struja već samo za male vrednosti oko koordinatnog početka.

Da bi obavili merenje, podešavanjem izvora V_{GG} na 5V obezbediti stalnu struju paljena od oko 20mA za tiristor! Napon V_{AA} podešavati od 0 do 5V, otprilike u koracima od po 1V! Zabeležiti dobijene vrednosti V_{AK} i I_A u tabelu! Koristiti formulu $I_A = V_{R1}/R1$! Na bazi tabele nacrtati izlaznu statičku karakteristiku tiristora: $I_A = f(V_{AK})$!



Broj	VGG [V]	VR1 [V]	IA [A]	VAK [V]
1				
2				
3				
4				
5				
6				

Student(i):

Ime:

Broj indeksa:

Potpis:
