Univerzitet u Nišu
Elektronski fakultet

PRAKTIKUM ZA VEŽBE NA RAČUNARU IZ PREDMETA POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE (IV semestar – smer EKM)

Aneta Prijić
Miloš Marjanović

SPISAK VEŽBI

1. **Strujno-naponske karakteristike diode**
2. **Ispravljačka diodna kola**
3. **Kola za odsecanje i postavljanje naponskog nivoa**
4. **BJT kao prekidač**
5. **BJT kao pojačavač**
6. **JFET kao izvor konstantne struje i pojačavač**
7. **MOS invertor**

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

VEŽBA 1

Strujno-naponske karakteristike dioda

UVODNE NAPOMENE

Vežba omogućava konstruisanje strujno-naponskih (I-V) karakteristika različitih vrsta dioda. Posebno se analiziraju karakteristike u direktnom i inverznom režimu rada i pri različitim temperaturama. Cilj vežbe je uočavanje različitih redova veličina primenjenih napona i dobijenih struja dioda u dva režima njihovog rada. Vežba omogućava određivanje parametara dioda koji su dati tehničkim specifikacijama (inverzna struja zasićenja, dinamička otpornost, temperaturni koeficijenti, vreme oporavka, …).

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

Student:_____

Broj indeksa:_____

Datum:_____

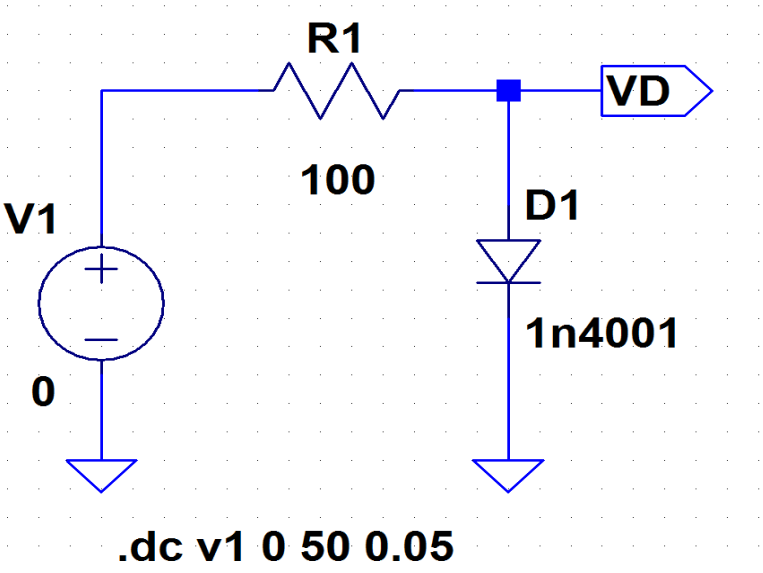
VEŽBA 1

Strujno-naponske karakteristike dioda

UPUTSTVO ZA RAD

Standardna dioda

1) Pokrenuti program ***LTSpiceIV***, kreirati novi simulacioni fajl (`New Schematics`), izabrati odgovarajuće mesto za zapis fajlova i dati ime simulacionom fajlu npr. „Diode I-V“.
2) Konstruisati kolo sa diodom kao na slici.



3) Iz liste komandi izabrati `Simulate` → `Edit Simulation Cmd` i `DC sweep` analizu. Setovati parametre promenljivog izvora V1 (linearna promena od 0 do 50V sa korakom 0,05V) i postaviti SPICE direktivu u polje sa šemom kola.
4) Pokrenuti simulaciju.
5) Na šemi izabrati napon na anodi diode (X) i struju kroz diodu (Y) kao veličine za prikaz rezultata simulacije.
6) Uočiti opseg promene napona na diodi i struje kroz nju (izgled I-V krive). Kolika je dinamička otpornost diode pri struji od 20mA, a kolika pri struji od 200 mA? Uporediti ove vrednosti sa vrednostima za dinamičke otpornosti pri ovim strujama na osnovu Šoklijevog izraza.

   Na osnovu I-V krive

   $r_d(I_d$=20mA)=_____ $r_d(I_d$=200mA)=_____

Na osnovu Šoklijevog izraza.

$r_d(I_d=20mA)$=_____ $r_d(I_d=200mA)$=_____

7) Promeniti parametre promenljivog izvora V1 tako da inverzno polariše diodu (linearna promena od -50V do 0V sa korakom 0,05V).
8) Pokrenuti simulaciju i posmatrati inverznu I-V karakteristiku. Kolika je inverzna struja zasićenja ove diode, a kolika dinamička otpornost pri inverznoj struji od 50 nA?

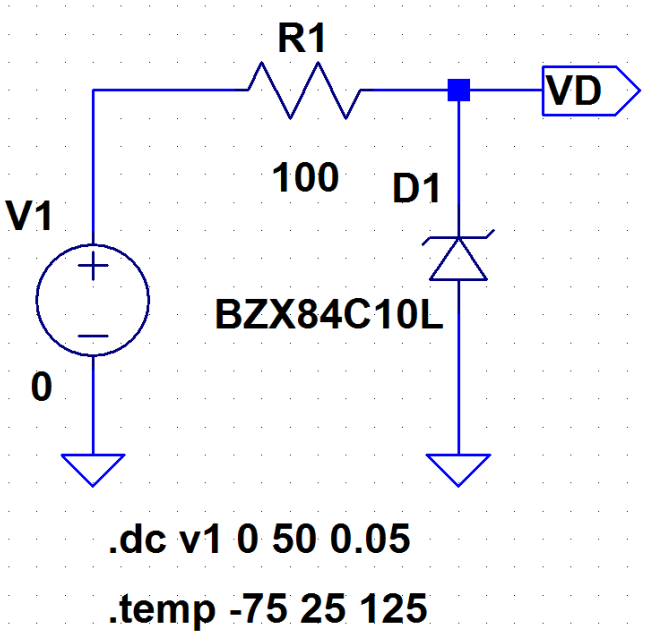
   I_s=_____ $r_d(Ir=50nA)$=_____

   Uporediti vrednost I_s sa vrednošću za inverznu struju iz tehničke specifikacije date diode.
9) Promeniti parametre promenljivog izvora V1 tako da naponski signal simulira isključenje direktne i primenu inverzne polarizacije u trenutku t=0s **- PWL(0s 10V 1e-12s -20V 100s -20V).**
10) Postaviti tip analize na simulaciju u vremenskom domenu (transient) sa krajem prikaza rezultata posle 10ns. (**.tran 10e-9**)
11) Pokrenuti simulaciju i posmatrati struju diode u prelaznom režimu. Koliko je vreme oporavka ove diode?

    t_{rr}=_____

Zener dioda

1) Konstruisati kolo sa Zener diodom kao na slici.



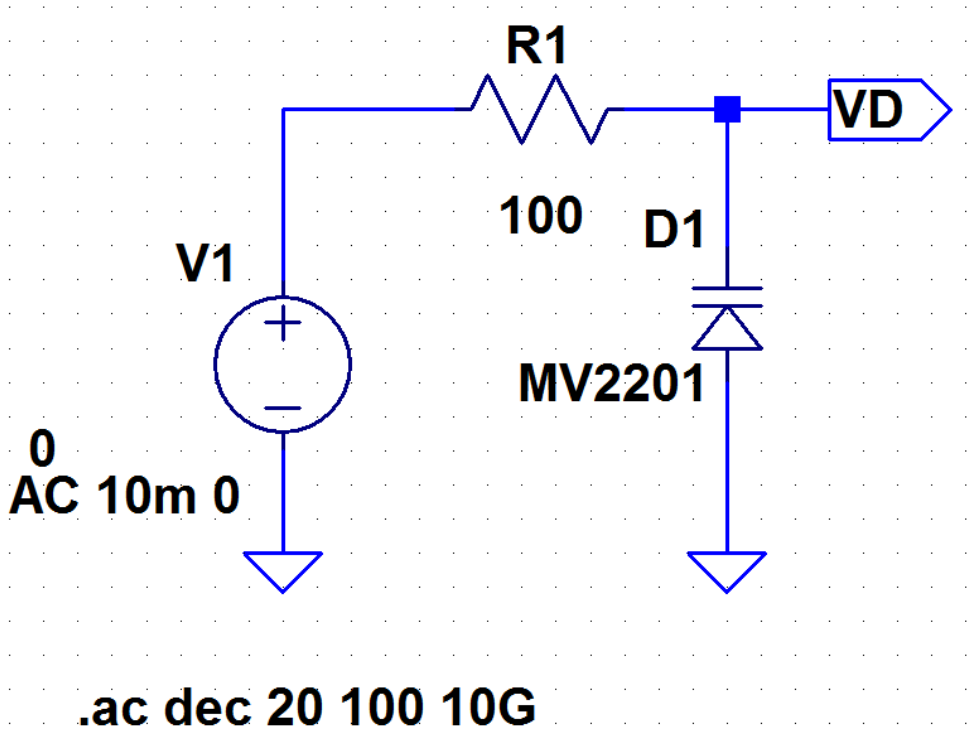
2) Postaviti SPICE direktivu za simulaciju na 3 različite temperature (-75°C, 25°C i 125°C).
3) Pustiti simulaciju i posmatrati promenu Zenerovog napona na 3 različite temperature.

   Odrediti temperaturni koeficijent Zenerovog napona ove diode.

   T_{CZ}=_____

Varikap dioda

1) Konstruisati kolo sa varikap diodom kao na slici.

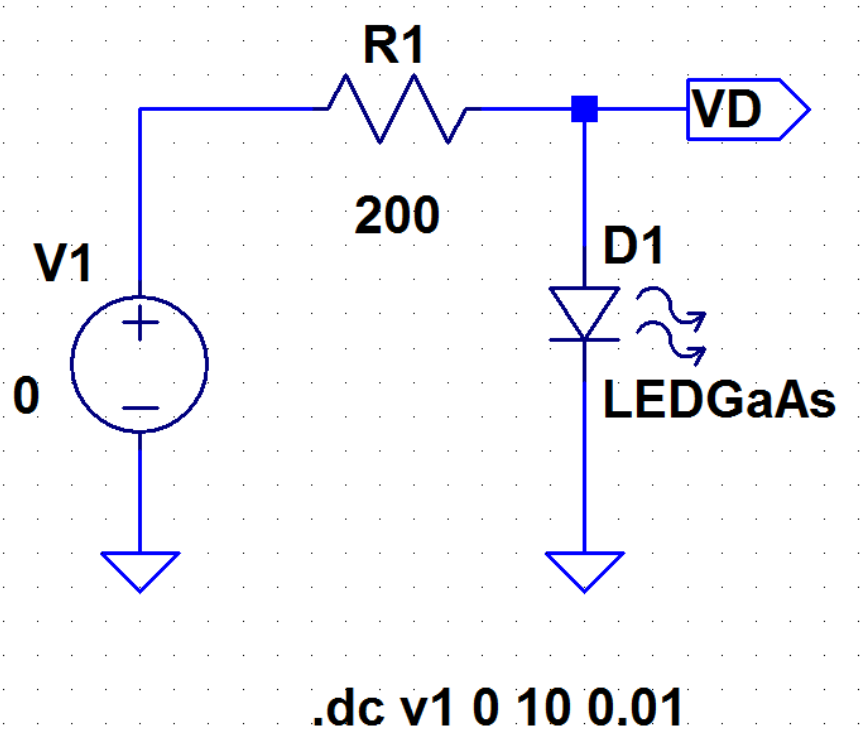


2) Promeniti parametre promenljivog izvora V1 tako da je DC vrednost signala 0V pri čemu je za AC analizu superponiran naizmenični signal male amplitude od 10mV sa faznim pomerajem od 0°.
3) Postaviti SPICE direktivu za AC analizu u opsegu od 100Hz do 10GHz, sa korakom simulacije od 20 tačaka po dekadi.
4) Pustiti simulaciju i posmatrati promenu realnog i imaginarnog dela napona na diodi.
5) Odrediti rezonantnu učestanost ovog kola na osnovu minimuma faznog pomeraja napona na diodi.
6) Menjati DC vrednost signala V1 (dodati SPICE direktivu **.step v1 0 25 5**) i popuniti tabelu zavisnosti rezonantne učestanosti kola od ove vrednosti.

$V1_{DC}$(V)	0	5	10	15	20	25
f_{res}(GHz)						

LED dioda

1) Konstruisati kolo sa LED diodom kao na slici.



2) Postaviti parametre promenljivog izvora V1 (linearna promena od 0 do 10V sa korakom 0,01V).
3) Pokrenuti simulaciju i postaviti prikaz I-V karakteristike LED diode. Odrediti vrednost napona vođenja diode.

V_F=_____

4) Postaviti prikaz zavisnosti napona na diodi od vrednosti ulaznog napona. Da li je ova zavisnost u skladu sa vrednošći napona vođenja diode?

5) KRAJ

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

VEŽBA 2

Ispravljačka diodna kola

UVODNE NAPOMENE

Vežba prikazuje jednostrana i dvostrana ispravljačka kola bez i sa kapacitivnim filtrom. Analizira se uticaj vrednosti opterećenja i filtarskog kondenzatora na oblik izlaznog napona.

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

Student:_____

Broj indeksa:_____

Datum:_____

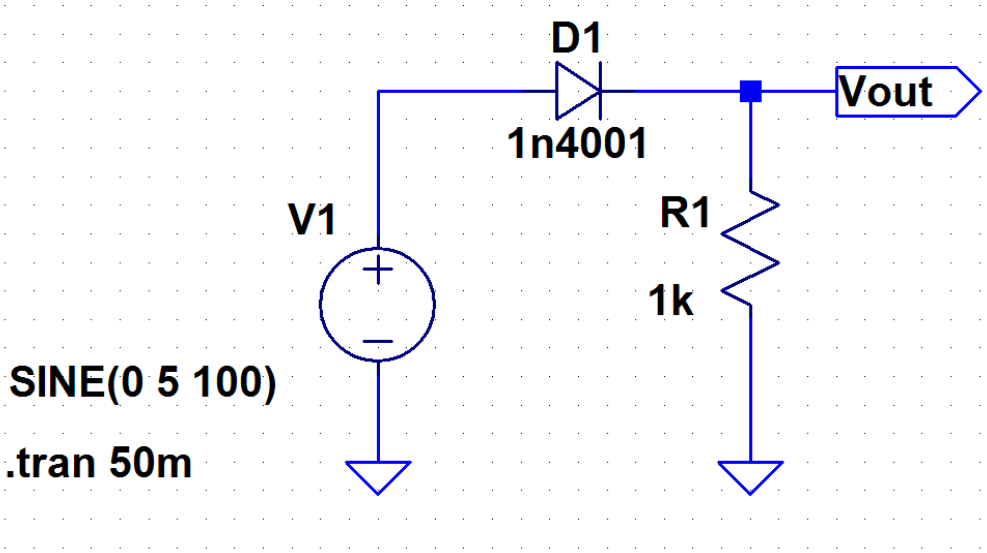
VEŽBA 2

Ispravljačka diodna kola

UPUTSTVO ZA RAD

Jednostrani ispravljač bez kapacitivnog filtra

1) Pokrenuti program ***LTSpiceIV***, kreirati novi simulacioni fajl (`New Schematics`), izabrati odgovarajuće mesto za zapis fajlova i dati ime simulacionom fajlu npr. „Diode rectification“.
2) Konstruisati ispravljačko kolo sa diodom kao na slici.



3) Postaviti parametre promenljivog izvora V1 tako da daje sinusni signal amplitude 5V i frekvence 100Hz.
4) Iz liste komandi izabrati `Simulate` → `Edit Simulation Cmd` i postaviti tip analize na simulaciju u vremenskom domenu (transient) sa krajem prikaza rezultata posle 50ms. (**.tran 50m**)
5) Pokrenuti simulaciju.
6) Izabrati za prikaz napon na ulazu (V1) i napon na izlazu kola (Vout).
7) Uočiti razliku između ova dva signala.

Za koliko je amplituda napona na izlazu manja od amplitude ulaznog napona?

Kolika je frekvenca izlaznog signala u odnosu na frekvencu ulaznog signala?

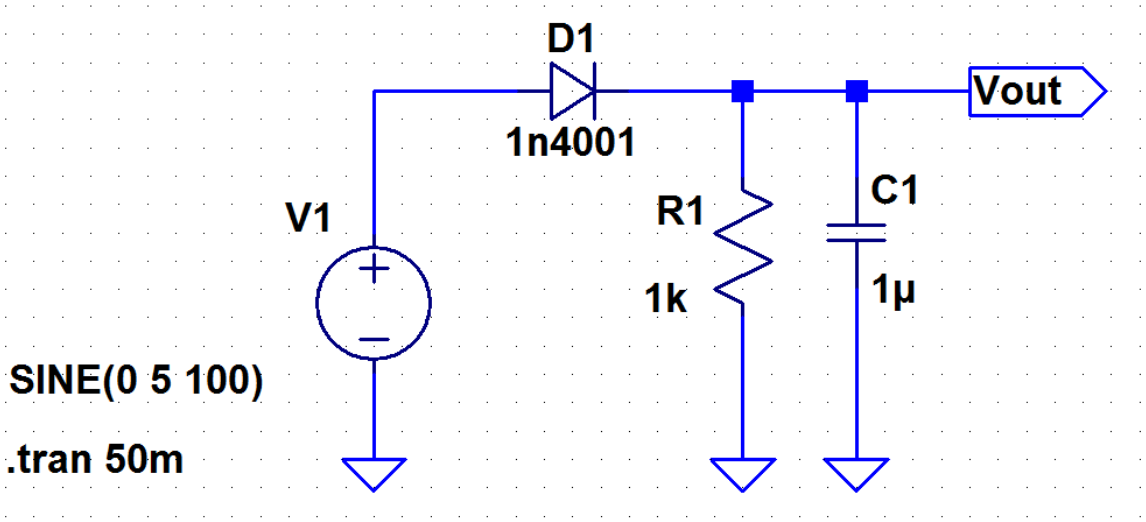
8) Okrenuti polaritet diode i ponoviti simulaciju.

PITANJE

Da li Zener dioda može da se upotrebi kao ispravljačka? Zašto?

Jednostrani ispravljač sa kapacitivnim filtrom

1) Vratiti polaritet diode.
2) Paralelno otporniku R1 vezati kondenzator C1=1μF.



3) Ponoviti simulaciju i uočiti razliku u obliku izlaznog signala u odnosu na ispravljač bez filtra.
4) Menjati vrednosti R1 i C1 prema tabeli i posmatrati šta se dešava sa izlaznim signalom.

R1(kΩ)	1	10	10	100
C1(μF)	1	1	2.2	2.2
RC konstanta				
Vripple (V)				

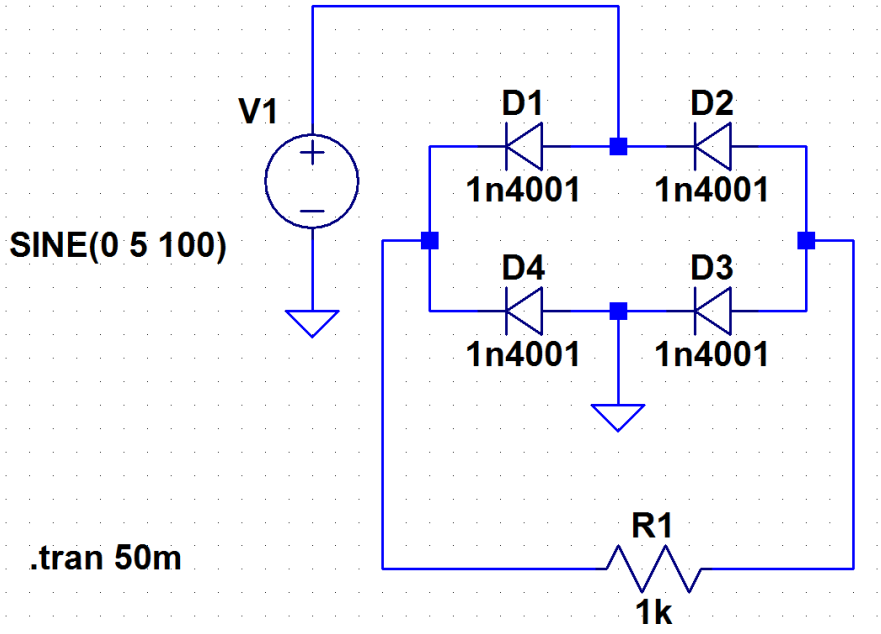
5) Odrediti vremensku (RC) konstantu kola za svaku od kombinacija iz tabele kao i pad izlaznog napona tokom pražnjenja kondenzatora (V_{ripple}).

   Kako vrednosti RC konstante utiču na oblik izlaznog signala odnosno V_{ripple}?

6) Okrenuti polaritet diode i ponoviti simulacije iz tačke 4.

Dvostrani ispravljač bez kapacitivnog filtra

1) Konstruisati dvostrano ispravljačko kolo (Grecov spoj) kao na slici.



2) Ostaviti simulacionu komandu neizmenjenu i pustiti simulaciju.
3) Postaviti prikaz ulaznog napona i napona na otporniku R1.
   Za koliko je amplituda napona na otporniku manja od amplitude ulaznog napona?

   Zbog čega na talasnom obliku izlaznog signala postoji zaravnjeni deo?

   Kolika je frekvenca izlaznog signala u odnosu na frekvencu ulaznog signala?

Dvostrani ispravljač sa kapacitivnim filtrom

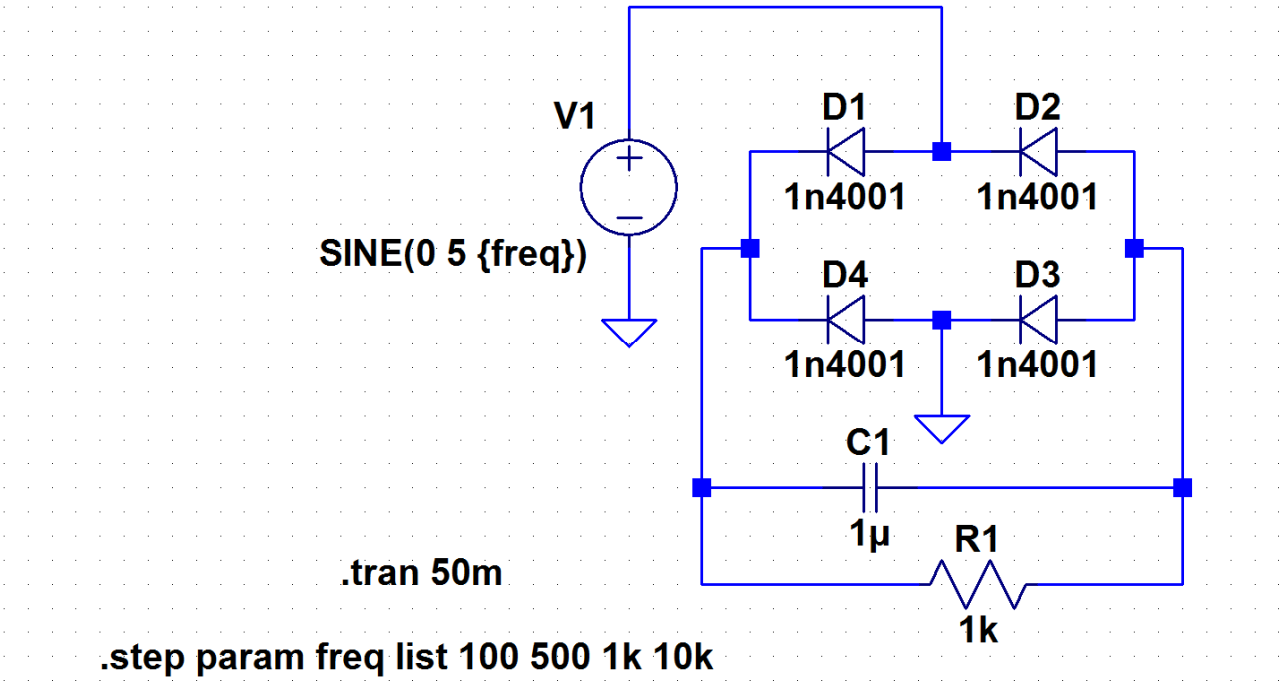
1) Paralelno otporniku R1 vezati kondenzator C1=1μF.
2) Ponoviti simulaciju i uočiti razliku u obliku izlaznog signala u odnosu na ispravljač bez filtra.
3) Menjati vrednosti R1 i C1 prema tabeli i posmatrati šta se dešava sa izlaznim signalom.

R1(kΩ)	1	10	10	100
C1(μF)	1	1	2.2	2.2
RC konstanta				
Vripple (mV)				

4) Odrediti vremensku (RC) konstantu kola za svaku od kombinacija iz tabele kao i pad izlaznog napona tokom pražnjenja kondenzatora (V_{ripple}).

   Kako vrednosti RC konstante utiču na oblik izlaznog signala odnosno V_{ripple}?

5) Postaviti frekvencu izvora kao promenljivi parametar {freq}. Dodati SPICE direktivu za simulaciju sa frekvencama izvora od 100Hz, 500Hz, 1kHz i 10kHz.



6) Pustiti simulaciju i posmatrati oblik izlaznog signala u zavisnosti od frekvence ulaznog signala. Odrediti Vripple za svaku od posmatranih frekvenci

f(Hz)	100	500	1k	10k
Vripple (V)				

   Zbog čega je signal „ispeglaniji“ na višim frekvencama?

7) KRAJ

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

VEŽBA 3

Kola za odsecanje i postavljanje naponskog nivoa

UVODNE NAPOMENE

Vežba prikazuje rad kola za odsecanje naponskog nivoa – klipere, kola za postavljanje naponskog nivoa – klampere i kola za regulaciju napona sa Zenerovom diodom. Pri tome se razmatraju pozitivni (odsecaju pozitivni deo naponskog signala) i negativni (odsecaju negativni deo naponskog signala) kliperi u paralelnoj konfiguraciji. Pozitivni klamperi postavljaju naponski nivo signala na višu vrednost od ulazne a negativni klamperi postavljaju naponski nivo signala na nižu vrednost od ulazne. Kod kola za regulaciju napona sa Zenerovom diodom razmatraju se opsezi vrednosti otpornosti opterećenja i ulaznog izvora napajanja pri kojima kolo ispravno funkcioniše.

Takođe vežba omogućava analizu kola za umnožavanje naponskog nivoa (udvostručavač, utrostručavač, učetvorostručavač).

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

Student:_____

Broj indeksa:_____

Datum:_____

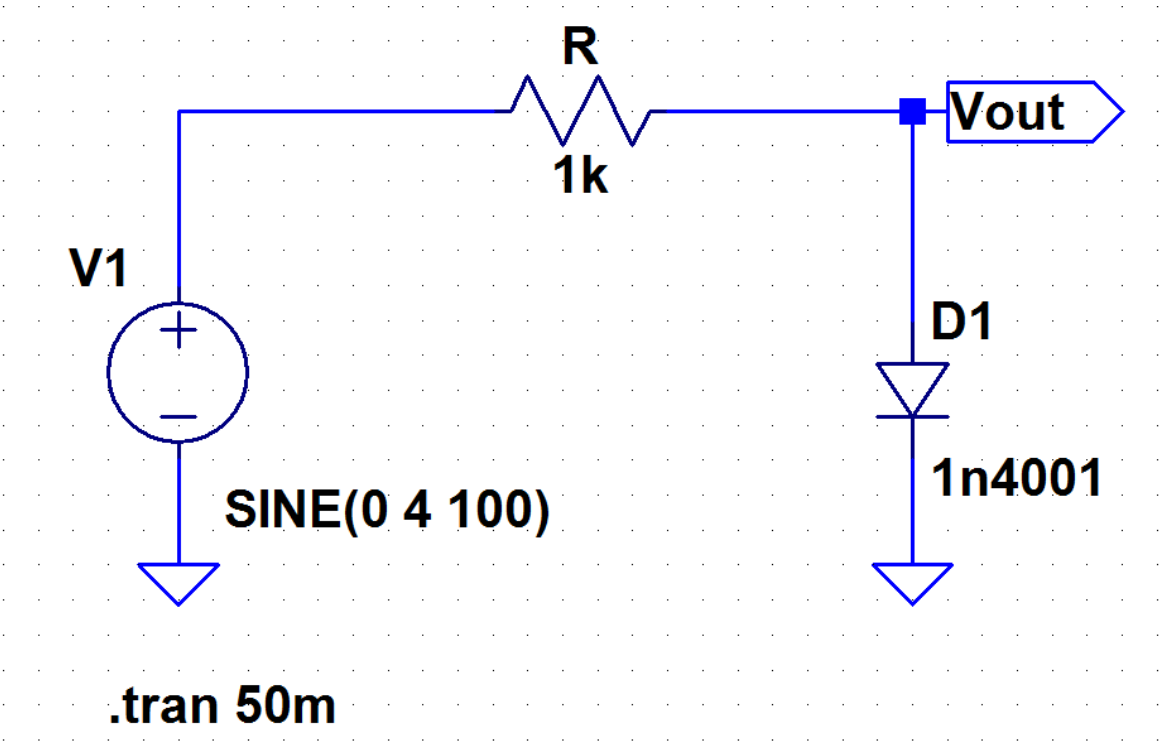
VEŽBA 3

Kola za odsecanje i postavljanje naponskog nivoa

UPUTSTVO ZA RAD

Pozitivni kliperi

1) Pokrenuti program ***LTSpiceIV***, kreirati novi simulacioni fajl (`New Schematics`), izabrati odgovarajuće mesto za zapis fajlova i dati ime simulacionom fajlu npr. „Kliperi-klamperi“.
2) Konstruisati paralelno pozitivno klipersko kolo kao na slici.



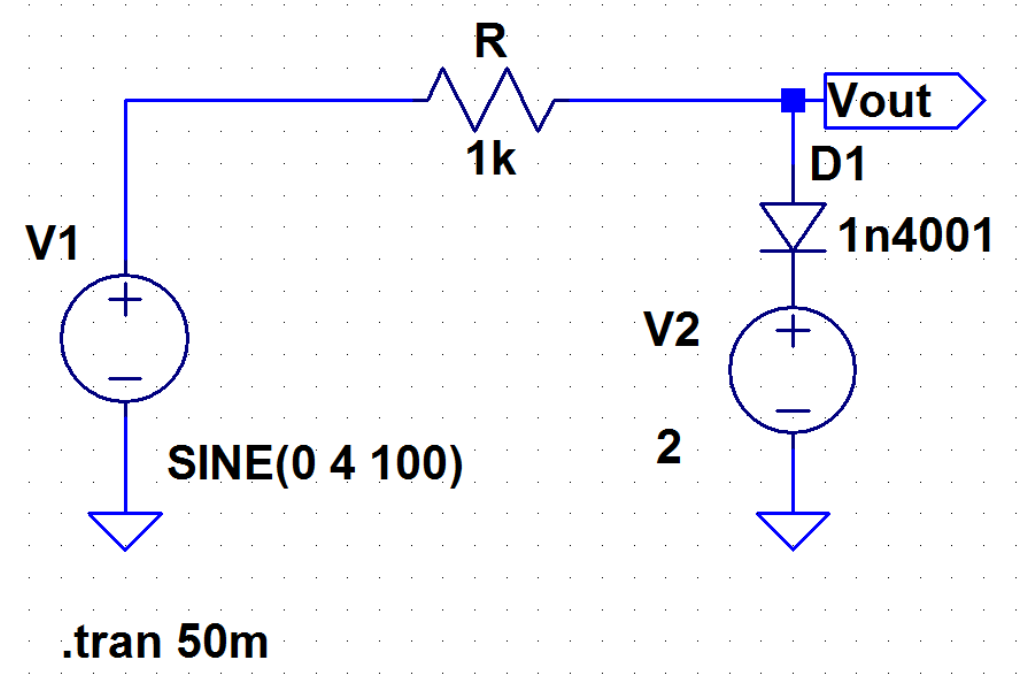
3) Postaviti parametre promenljivog izvora V1 tako da daje sinusni signal amplitude 4V i frekvence 100Hz.
4) Iz liste komandi izabrati `Simulate` → `Edit Simulation Cmd` i postaviti tip analize na simulaciju u vremenskom domenu (transient) sa krajem prikaza rezultata posle 50ms. (**.tran 50m**)
5) Pokrenuti simulaciju.
6) Izabrati za prikaz napon na ulazu (V1) i napon na izlazu kola (Vout).
7) Uočiti razliku između ova dva signala.

Koje vrednosti napona ulaznog signala odseca ovo kolo?

Koje bi vrednosti napona odsecalo kolo da je dioda idealna?

Kolika je frekvenca izlaznog signala u odnosu na frekvencu ulaznog signala?

8) U kolo klipera ubaciti DC izvor vrednosti 2V kao na slici



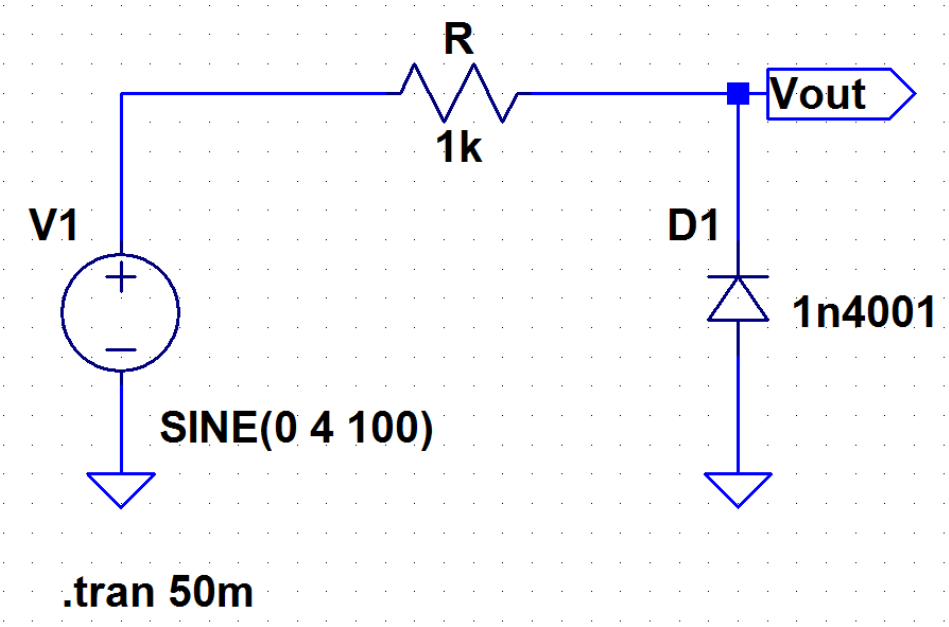
9) Pokrenuti simulaciju i posmatrati ulazni i izlazni signal.

Koje vrednosti napona ulaznog signala odseca ovo kolo?

Po čemu se ova vrednost razlikuje od vrednosti dobijene u tački 7)?

Negativni kliperi

1) Konstruisati paralelno negativno klipersko kolo kao na slici.
2) Postaviti parametre promenljivog izvora V1 tako da daje sinusni signal amplitude 4V i frekvence 100Hz i tip analize na simulaciju u vremenskom domenu (transient) sa krajem prikaza rezultata posle 50ms (**.tran 50m**).



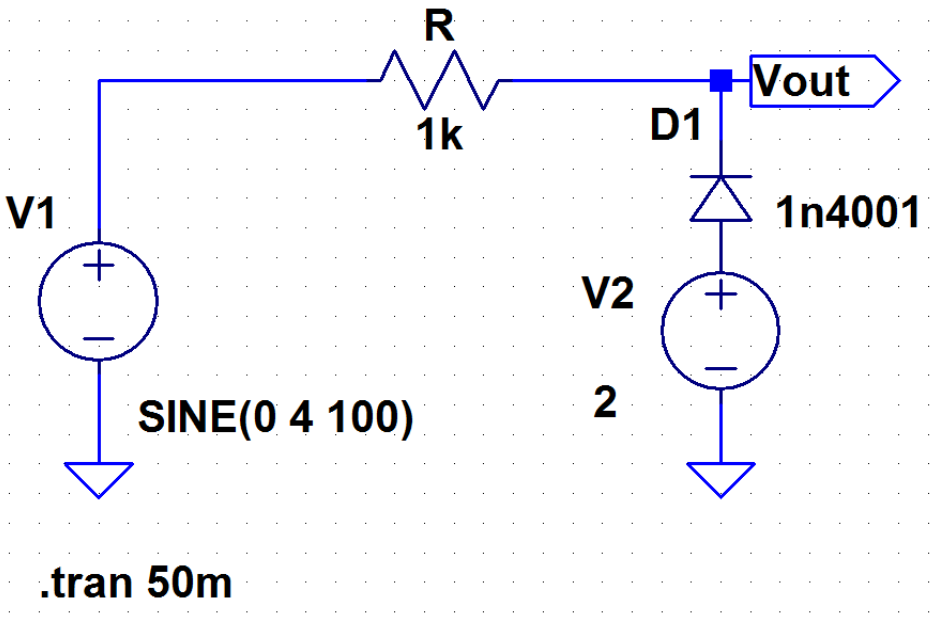
3) Pokrenuti simulaciju.
4) Izabrati za prikaz napon na ulazu (V1) i napon na izlazu kola (Vout).
5) Uočiti razliku između ova dva signala.

Koje vrednosti napona ulaznog signala odseca ovo kolo?

Koje bi vrednosti napona odsecalo kolo da je dioda idealna?

Kolika je frekvenca izlaznog signala u odnosu na frekvencu ulaznog signala?

6) U kolo klipera ubaciti DC izvor vrednosti 2V kao na slici



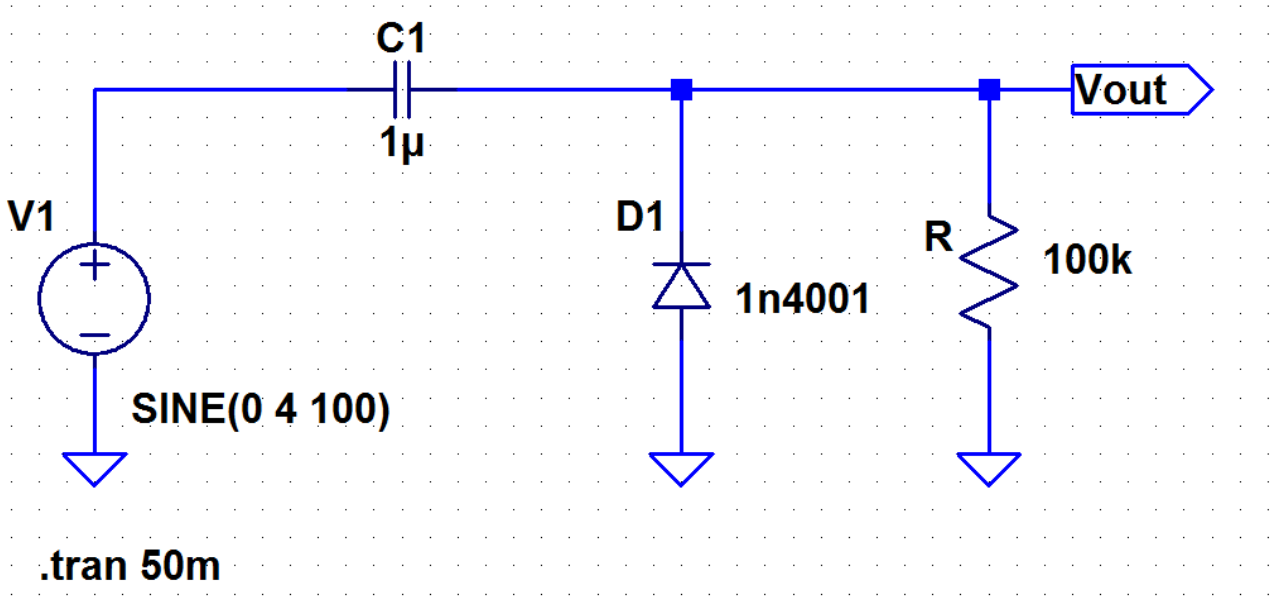
7) Pokrenuti simulaciju i posmatrati ulazni i izlazni signal.

Koje vrednosti napona ulaznog signala odseca ovo kolo?

Po čemu se ova vrednost razlikuje od vrednosti dobijene u tački 5)?

Pozitivni klamperi

1) Konstruisati pozitivno klampersko kolo kao na slici.
2) Postaviti parametre promenljivog izvora V1 tako da daje sinusni signal amplitude 4V i frekvence 100Hz i tip analize na simulaciju u vremenskom domenu (transient) sa krajem prikaza rezultata posle 50ms (**.tran 50m**).



3) Pokrenuti simulaciju i posmatrati ulazni i izlazni signal, kao i napon na kondenzatoru.

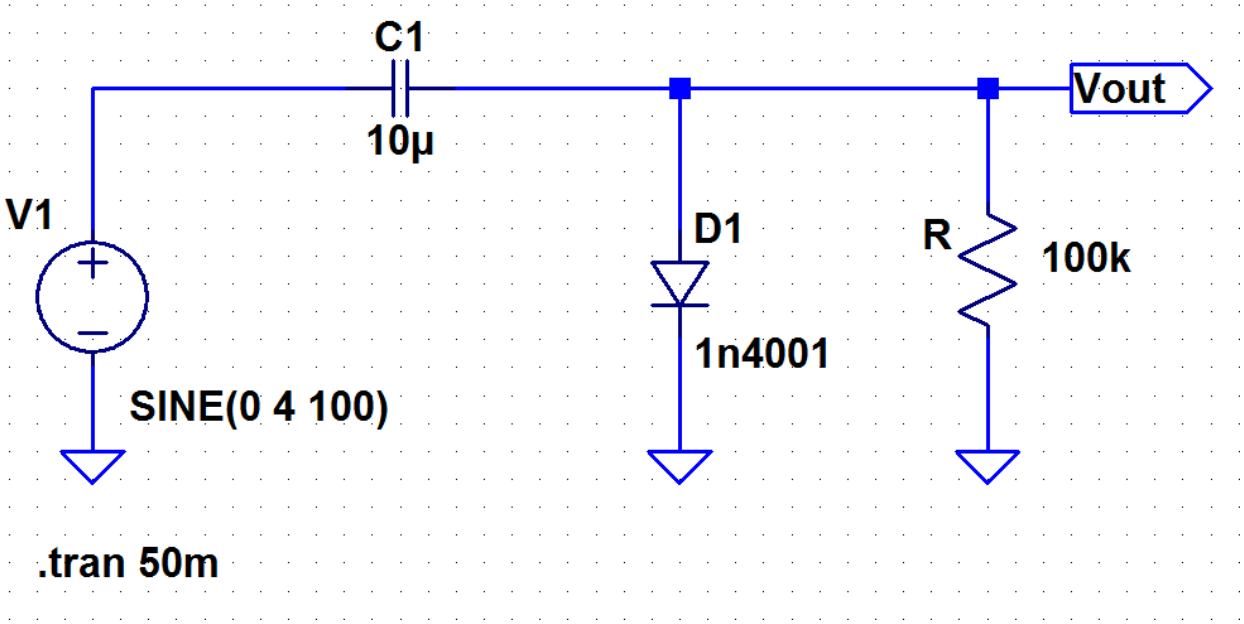
Za koju vrednost napona je izlazni signal pomeren u odnosu na ulazni signal?

4) Promeniti vrednost kondenzatora na 10µ.

Zbog čega sada signali imaju „lepši“ izgled?

Negativni klamperi

1) Okrenuti polaritet diode i konstruisati negativno klampersko kolo kao na slici.
2) Postaviti parametre promenljivog izvora V1 tako da daje sinusni signal amplitude 4V i frekvence 100Hz i tip analize na simulaciju u vremenskom domenu (transient) sa krajem prikaza rezultata posle 50ms (**.tran 50m**).



3) Pokrenuti simulaciju i posmatrati ulazni i izlazni signal, kao i napon na kondenzatoru.

Za koju vrednost napona je izlazni signal pomeren u odnosu na ulazni signal?

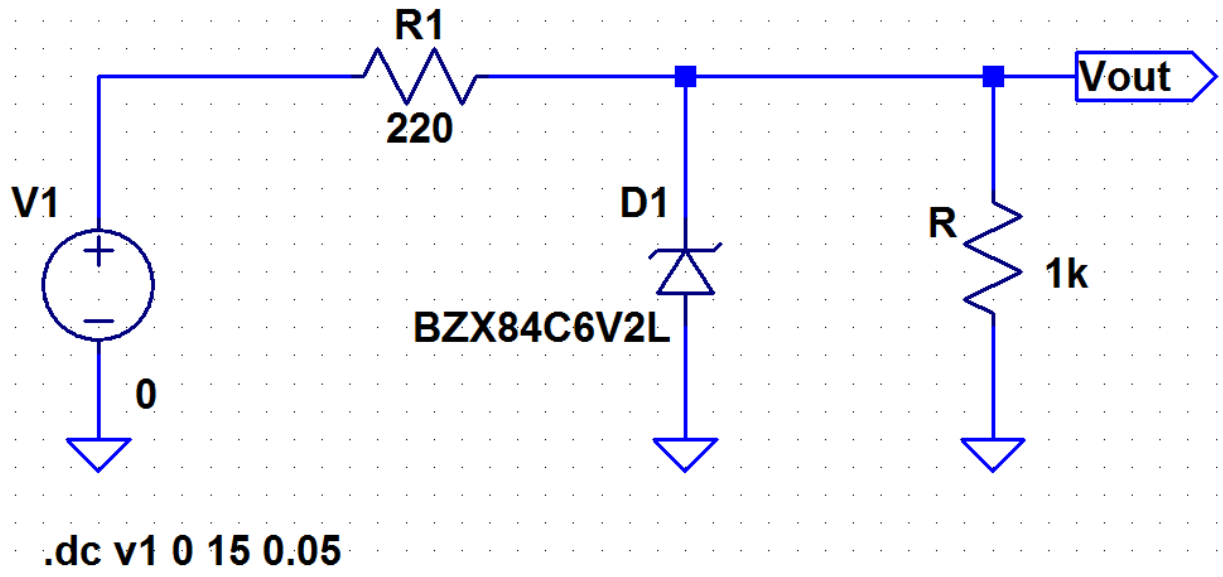
Kolo za regulaciju napona sa Zenerovom diodom

1) Konstruisati kolo sa Zenerovom diodom kao na slici.
2) Iz liste komandi izabrati `Simulate` → `Edit Simulation Cmd` i `DC sweep` analizu. Setovati parametre promenljivog izvora V1 (linearna promena od 0 do 15V sa korakom 0,05V) i postaviti SPICE direktivu u polje sa šemom kola.
3) Pokrenuti simulaciju i posmatrati vrednost izlaznog napona u odnosu na vrednost ulaznog napona.

Koja je minimalna vrednost ulaznog napona za koju ovo kolo radi kao regulator napona?

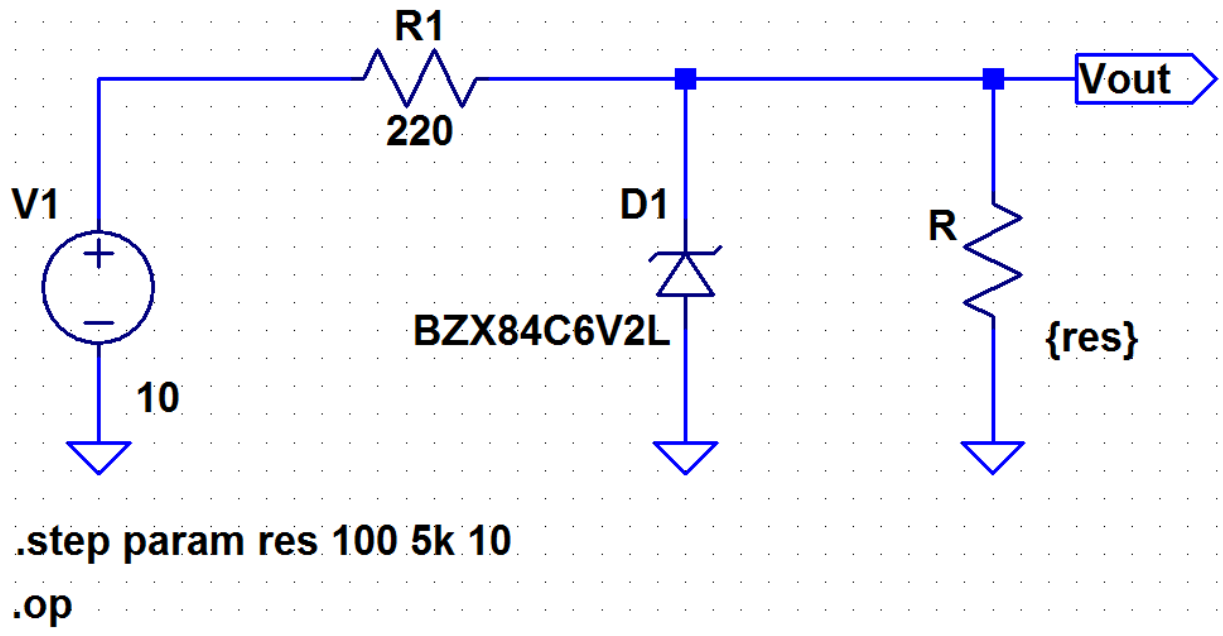
Kako se ova vrednost slaže sa teorijskom?

$$v_{in\,min} = \frac{(R + R_l)V_Z}{R}$$



Ako je maksimalna snaga disipacije ove diode P_{max}=225mW koliki je maksimalni napon koji sme da se dovede na ulaz a da dioda ne pregori?

4) Konstruisati kolo sa Zenerovom diodom kao na slici.



5) Postaviti vrednost izvora napona V1 na fiksnu vrednost od 10V i zadati da se vrednost otpornika linearno menja od 100Ω do 5kΩ sa korakom 10Ω kroz SPICE direktivu **(.step param res 100 5k 10**). Tip simulacije postaviti na određivanje radne tačke **(.op**).

6) Pokrenuti simulaciju i posmatrati vrednost izlaznog napona u odnosu na vrednost otpornika R.

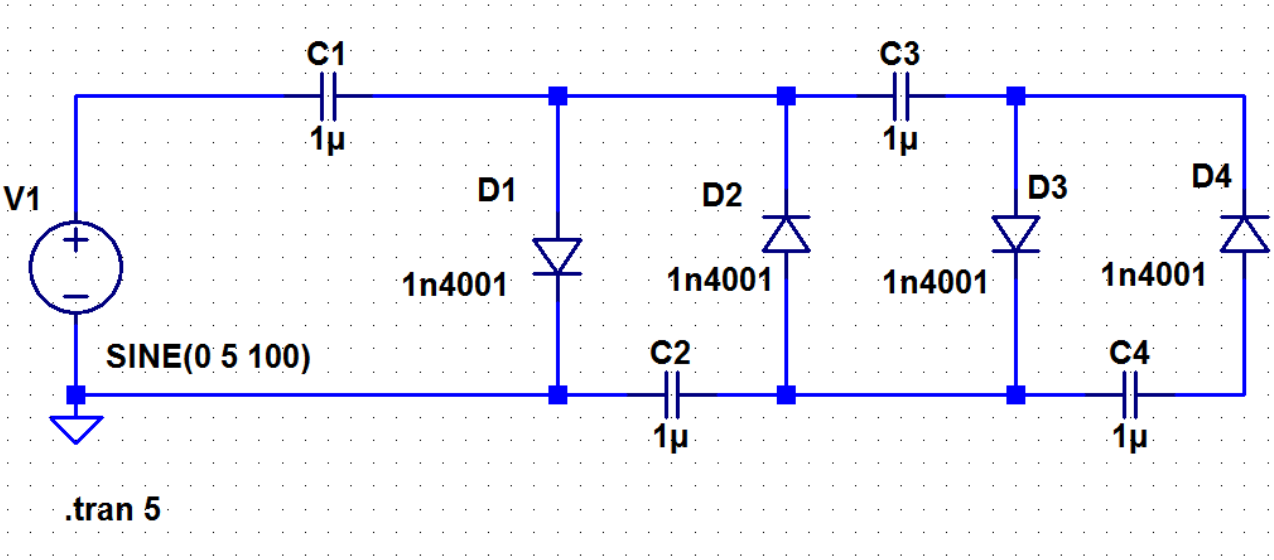
Kolika je minimalna vrednost opterećenja R za koju kolo radi kao regulator?

Kako se ova vrednost slaže sa teorijskom?

$$R_{min} = \frac{R_l V_Z}{V_l - V_Z}$$

Množači napona

1) Konstruisati kolo množača napona kao na slici.



2) Postaviti parametre promenljivog izvora V1 tako da daje sinusni signal amplitude 5V i frekvence 100Hz i tip analize na simulaciju u vremenskom domenu (transient) sa krajem prikaza rezultata posle 5s **(.tran 5).**
3) Pokrenuti simulaciju i posmatrati:
   a. napon između mase i anode diode D2,
   b. napon između + izvoda izvora i anode diode D3
   c. napon između mase i anode diode D4,

Koje su uočene vrednosti DC napona:

   a. udvostučavača
   b. utrostručavača
   c. učetvorostučavača

4) KRAJ

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

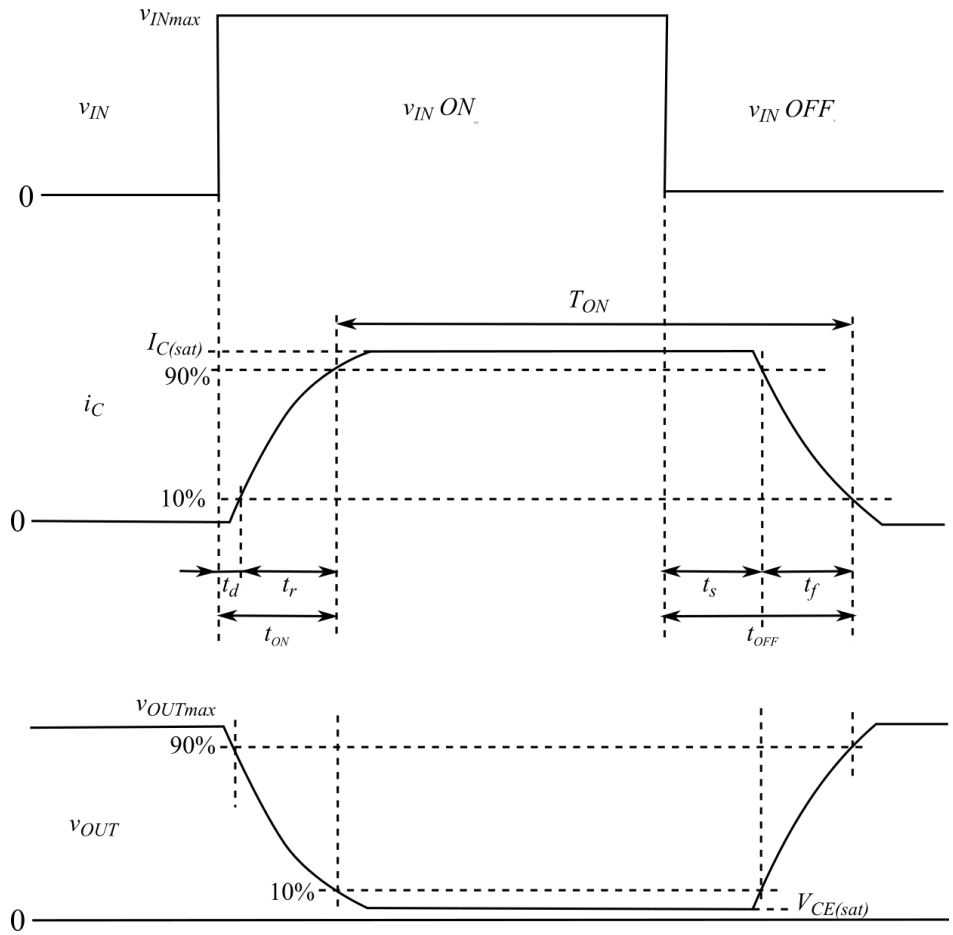
VEŽBA 4

BJT kao prekidač

UVODNE NAPOMENE

Vežba prikazuje rad bipolarnog tranzistora kao prekidača i invertora. Pokazuje se uticaj otpornosti u kolektoru i bazi tranzistora na prenosnu karakteristiku invertora odnosno na efikasnost prekidača.

Vremena koja opisuju prekidačke karakteristike BJT-a su:



t_d - vreme kašnjenja signala (od nailaska ulaznog naponskog signala do dostizanja 10% vrednosti izlaznog strujnog signala odnosno do opadanja izlaznog napona na 90%).
t_r - vreme porasta signala (od dostizanja 10% do dostizanja 90% vrednosti izlaznog strujnog signala, odnosno opadanja od 90% do 10% vrednosti izlaznog signala).
t_s - vreme skladištenja (od ukidanja ulaznog signala do opadanja na 90% vrednosti izlaznog strujnog signala, odnosno do porasta izlaznog napona do 10%).
t_f - vreme opadanja signala (od 90% do 10% vrednosti izlaznog strujnog signala, odnosno od 10% do 90% izlaznog naponskog signala).
$t_{ON}=t_d+t_r$ - vreme uključenja BJT-a.
$t_{OFF}=t_s+t_f$ - vreme isključenja BJT-a.

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

Student:_____

Broj indeksa:_____

Datum:_____

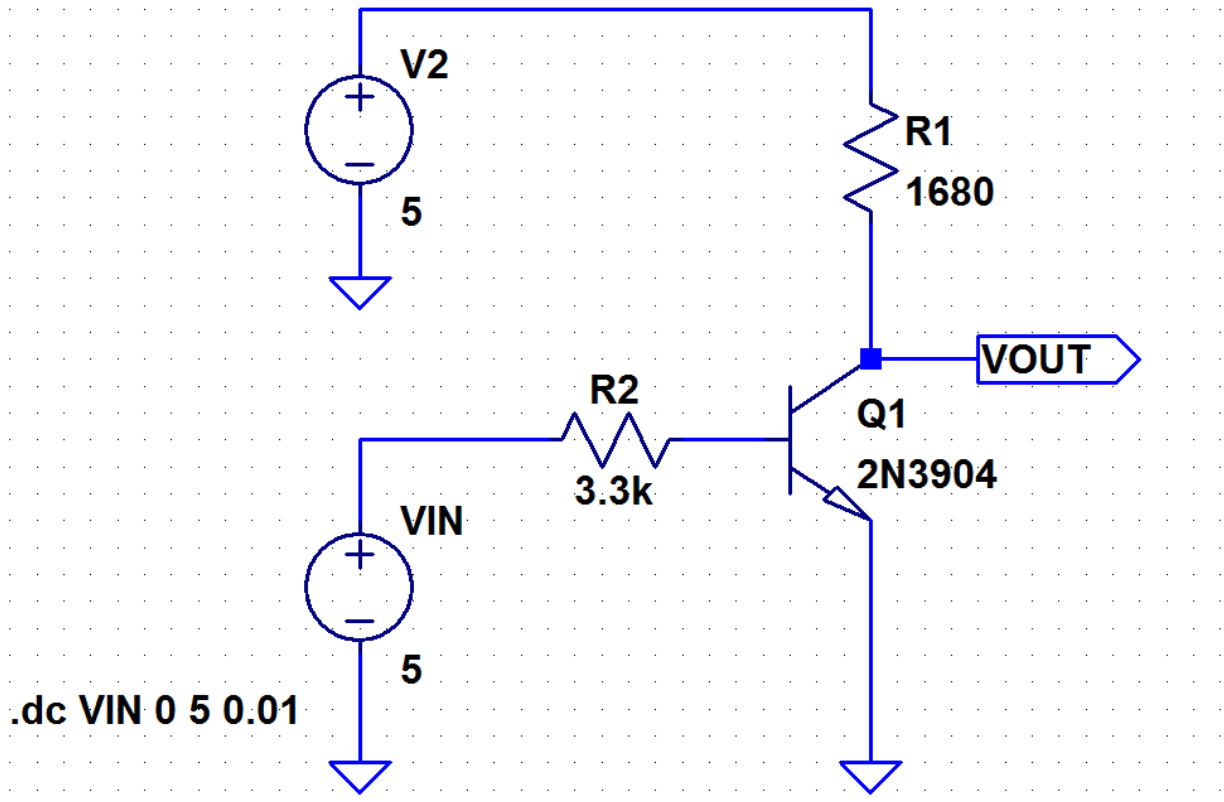
VEŽBA 4

BJT kao prekidač

UPUTSTVO ZA RAD

BJT kao prekidač

1) Pokrenuti program ***LTSpiceIV***, kreirati novi simulacioni fajl (`New Schematics`), izabrati odgovarajuće mesto za zapis fajlova i dati ime simulacionom fajlu npr. „BJT-prekidac“.
2) Konstruisati prekidačko kolo sa BJT-om kao na slici.



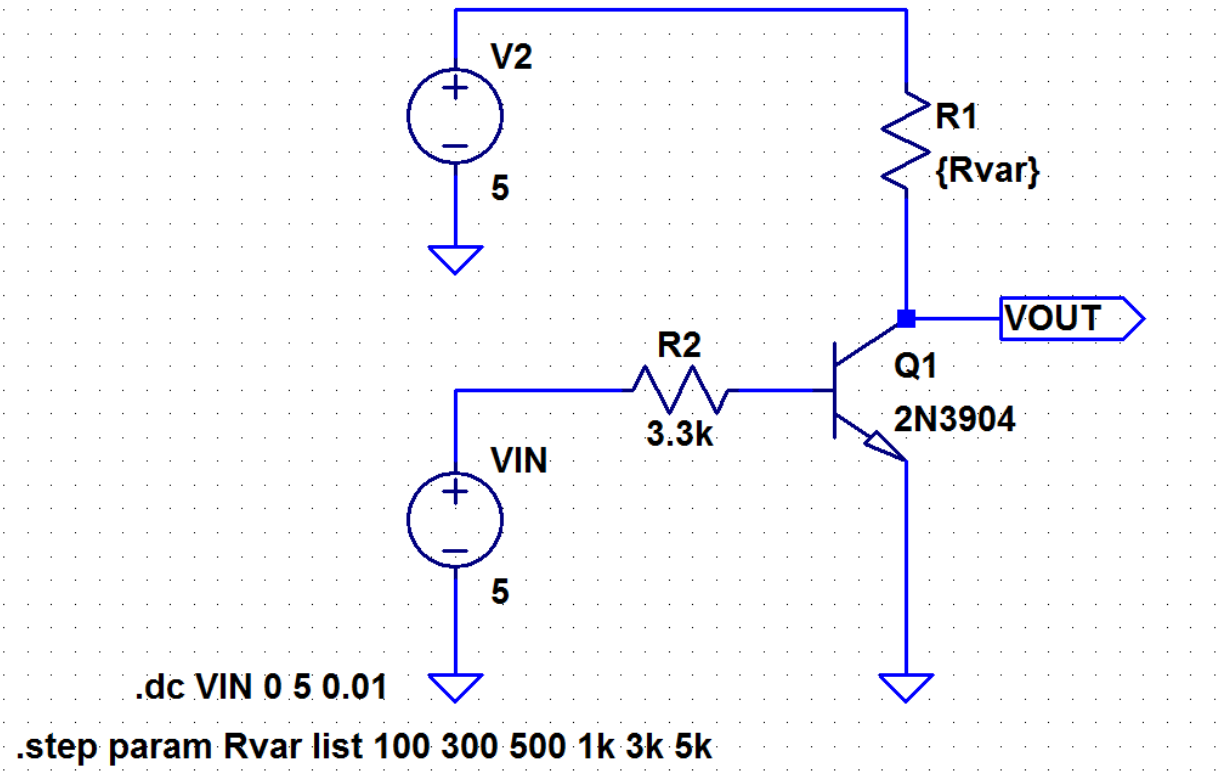
3) Iz liste komandi izabrati `Simulate` → `Edit Simulation Cmd` i `DC sweep` analizu. Setovati parametre promenljivog izvora VIN (linearna promena od 0 do 5V sa korakom 0,01V) i postaviti SPICE direktivu u polje sa šemom kola.
4) Pokrenuti simulaciju.
5) Izabrati za prikaz napon na izlazu kola (VOUT). Skicirati dobijenu zavisnost izlaznog napona od vrednosti napona VIN.

Koja je minimalna vrednost ulaznog napona za koju BJT radi kao zatvoreni prekidač?

VINmin=_____

Na osnovu čega se zaključuje da se ovo prekidačko kolo ponaša kao invertor?

6) Umesto fiksirane vrednosti postaviti vrednost otpornika R1 kao parametar {Rvar} i dodati SPICE direktivu za simulaciju sa vrednostima otpornosti R1 iz liste 100Ω, 300Ω, 500Ω, 1kΩ, 3kΩ i 5kΩ.

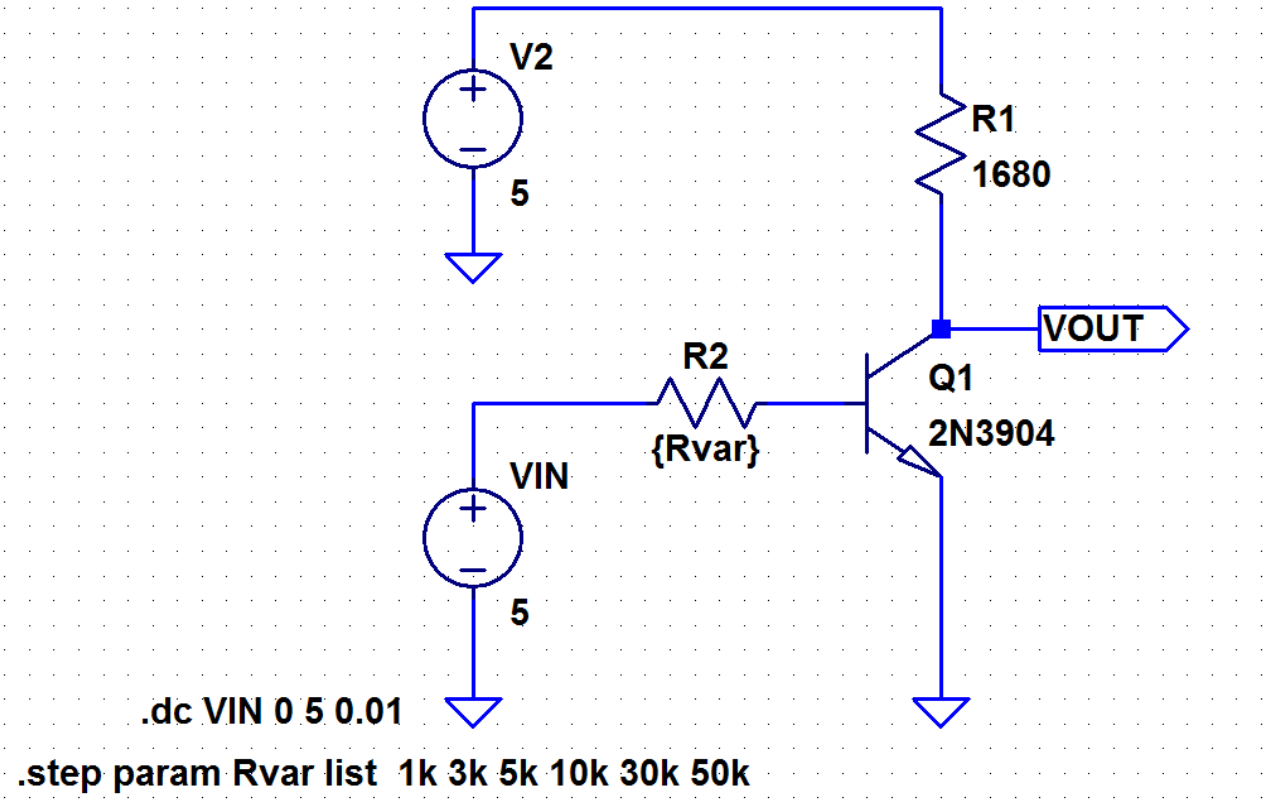


7) Izabrati za prikaz napon na izlazu kola (Vout).

Za koju najmanju vrednost otpornika R1 se može smatrati da kolo radi kao prekidač?

R1min=_____

8) Umesto fiksirane vrednosti postaviti vrednost otpornika R2 kao parametar {Rvar}. Dodati SPICE direktivu za simulaciju sa vrednostima otpornosti R2 iz liste 1kΩ, 3kΩ, 5kΩ, 10kΩ, 30kΩ i 50kΩ.



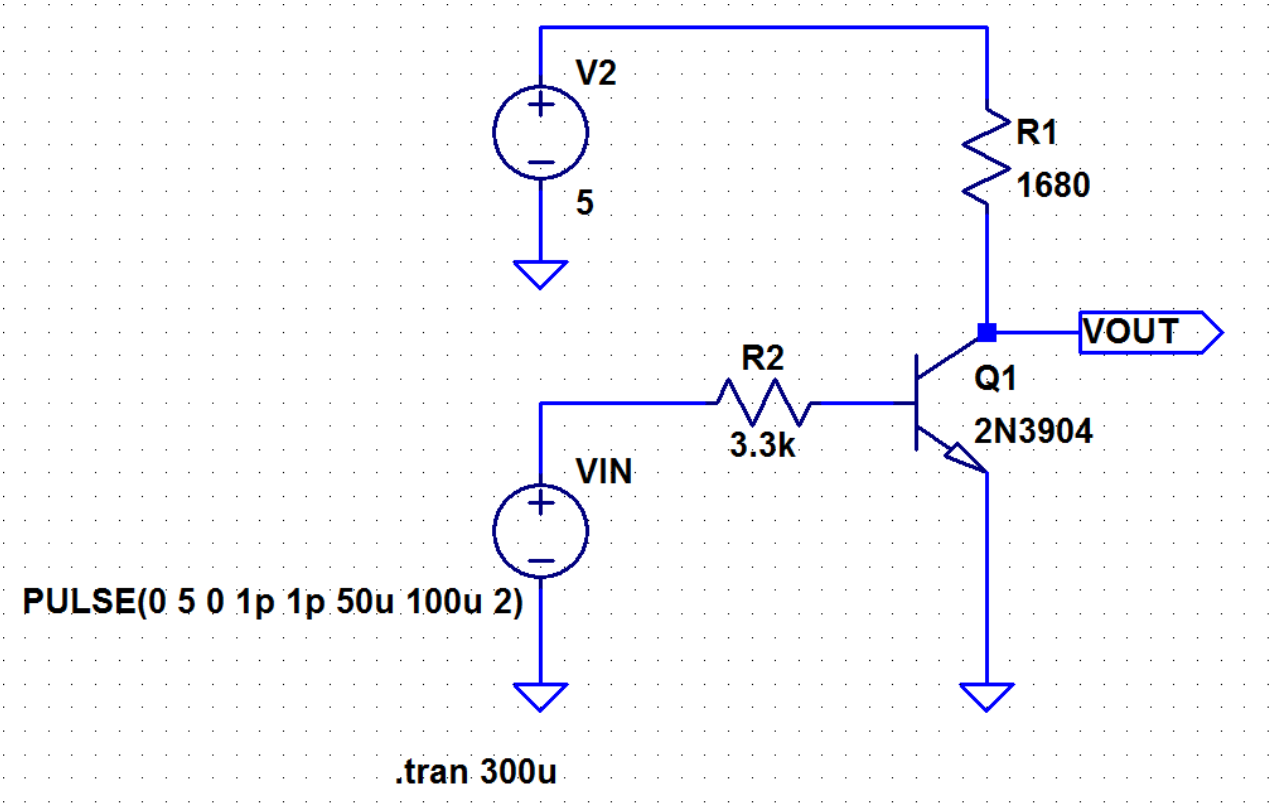
9) Izabrati za prikaz napon na izlazu kola (Vout).

Za koju najveću vrednost otpornika R2 se može smatrati da kolo radi kao prekidač?

R2max=_____

Vremenski odziv BJT-a kao prekidača

1) Postaviti vrednost ulaznog izvora napona da daje pravougaone impulsne signale amplitude 5V sa vremenom porasta i opadanja signala od 1ps i periodom od 100 μs (*f*=10kHz). Postaviti tip analize na simulaciju u vremenskom domenu (`transient`) sa krajem prikaza rezultata posle 300μs. (**.tran 300u**).



2) Pokrenuti simulaciju i posmatrati ulazni i izlazni napon.

Odrediti vreme kašnjenja izlaznog signala – t_d, vreme porasta signala – t_r, vreme skladištenja naelektrisanja - t_s i vreme opadanja signala – t_f. Na osnovu ovih vremena odrediti vreme uključenja - t_{ON} i vrema isključenja - t_{OFF} BJT-a.

t_d =_____ t_r =_____

t_s =_____ t_f =_____

t_{ON} =_____ t_{OFF} =_____

3) KRAJ

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

VEŽBA 5

BJT kao pojačavač

UVODNE NAPOMENE

Vežba prikazuje rad bipolarnog tranzistora kao pojačavača malih signala (AC signali koji se pojačavaju imaju znatno manju amplitudu od DC napona polarizacije tranzistora). Posmatraju se konfiguracije pojačavača sa zajedničkim emitorom i sa zajedničkim kolektorom.

Konfiguracija sa zajedničkim emitorom (ZE) se koristi kao naponski pojačavač. Primenjuje se u kolima kod kojih izvor signala ima malu otpornost i kada je opterećenje velika otpornost. U vežbi se određuje radna tačka tranzistora i njegov koeficijent strujnog pojačanja za jednosmerni režim. Za naizmenični režim se određuje AC koeficijent strujnog pojačanja tranzistora, ulazna otpornost i naponsko pojačanje pojačavača. Posmatra se zavisnost izlaznog signala od amplitude (postojanje izobličenja) i frekvence (smanjenje pojačanja) ulaznog signala. Razmatra se i uticaj otpornosti u emitoru tranzistora i vrednosti otpornosti opterećenja na naponsko pojačanje.

Konfiguracija sa zajedničkim kolektorom (ZC) se koristi kao strujni pojačavač. Vrednost naponskog pojačanja ovog kola je bliska 1, ulazna impedansa velika, a izlazna impedansa mala. Zbog toga se primenjuje kao interfejs između kola sa velikom izlaznom otpornošću i niskootpornog opterećenja odnosno služe kao naponski baferi.

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

Student:_____

Broj indeksa:_____

Datum:_____

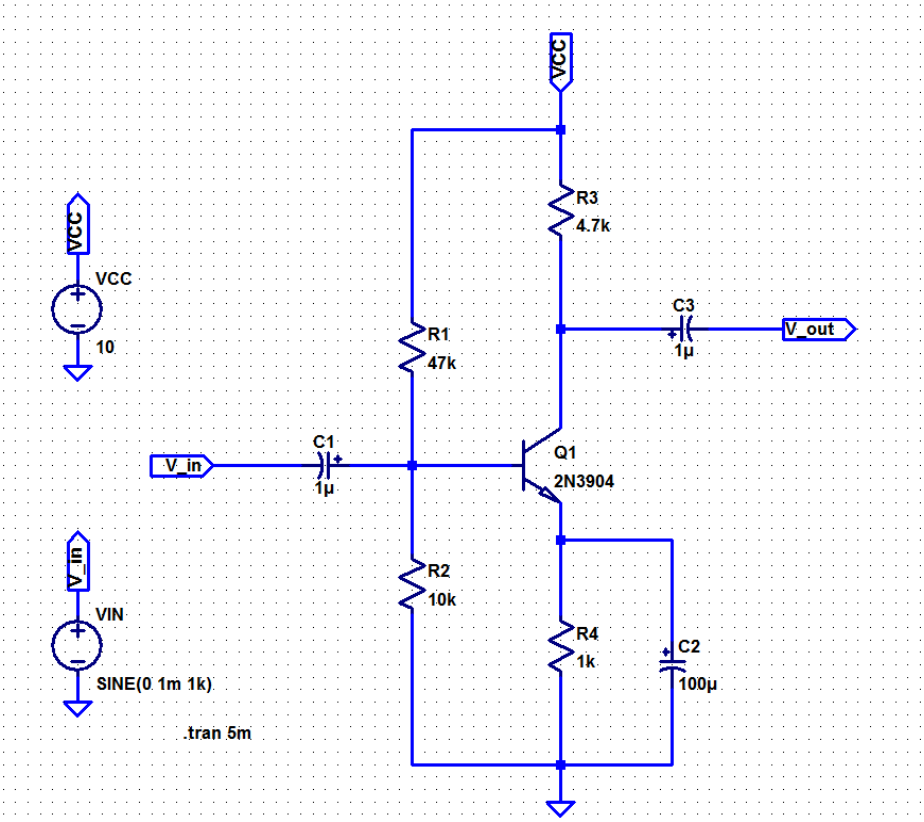
VEŽBA 5

BJT kao pojačavač

UPUTSTVO ZA RAD

Konfiguracija pojačavača sa zajedničkim emitorom

1) Pokrenuti program ***LTSpiceIV***, kreirati novi simulacioni fajl (`New Schematics`), izabrati odgovarajuće mesto za zapis fajlova i dati ime simulacionom fajlu npr. „BJT-pojacavac“.
2) Konstruisati pojačavačko kolo sa BJT-om kao na slici.



3) Postaviti signal generator na ulaz VIN i setovati tako da daje signale sinusnog oblika amplitude $V_{p\text{-}p}$=2mV (V_A=1mV) i frekvence f_{IN}=1kHz.
4) Iz liste komandi izabrati `Simulate` → `Edit Simulation Cmd` i `Transient` analizu. Setovati analizu u vremenskom domenu za posmatranje do 5 ms i postaviti SPICE direktivu u polje sa šemom kola.
5) Pokrenuti simulaciju.

6) Očitati vrednosti naponske i strujne polarizacije tranzistora u DC režimu (radna tačka pojačavača).

V_C =_____ I_C =_____

V_B =_____ I_B =_____

V_E =_____ I_E =_____

Odrediti strujno pojačanje tranzistora za DC režim.

β_{DC} =_____

7) Izabrati za prikaz struju baze tranzistora (i_b) i očitati njenu amplitudu, a zatim na osnovu prikaza struje kolektora očitati amplitudu struje kolektora (i_c). Odrediti AC strujno pojačanje tranzistora.

i_b =_____ i_c =_____ β_{ac} =_____

8) Na osnovu prikaza ulaznog napona pojačavača (napon na bazi tranzistora) i ulazne struje pojačavača ("-„ struja kroz kondenzator C1) odrediti ulaznu otpornost pojačavača.

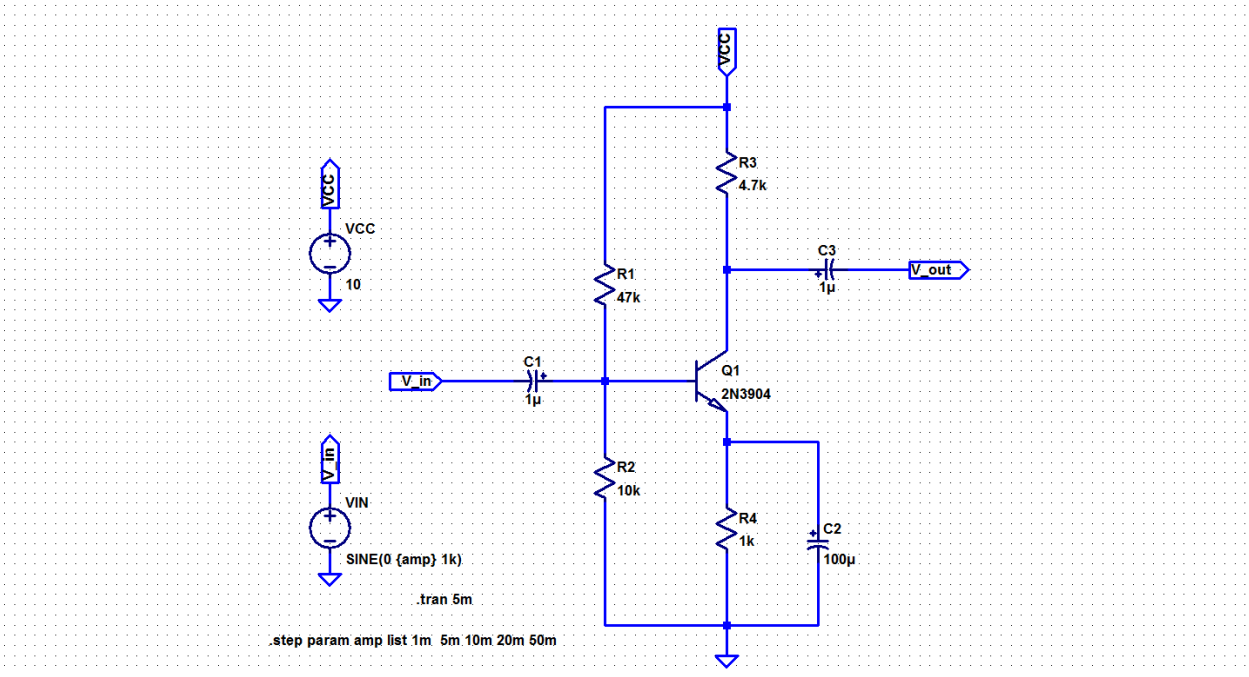
v_{in} =_____ i_{in} =_____ R_{in} =_____

9) Na osnovu prikaza ulaznog napona (V_in) i izlaznog napona (V_out) odrediti naponsko pojačanje pojačavača.

v_{in} =_____ v_{out} =_____ A_v =_____

Uticaj amplitude i frekvence ulaznog signala na karakteristike pojačavača

1) Umesto fiksirane vrednosti postaviti vrednost amplitude ulaznog signala kao parametar {amp} i dodati SPICE direktivu za simulaciju sa vrednostima amplitude iz liste 1mV, 5mV, 10mV, 20mV, 50mV.



2) Pokrenuti simulaciju i izabrati za prikaz napon na izlazu kola (V_out).

Za koju najveću vrednost amplitude iz liste se može smatrati da kolo radi kao pojačavač koji ne izobličava signale?

V_in_{max}=_____

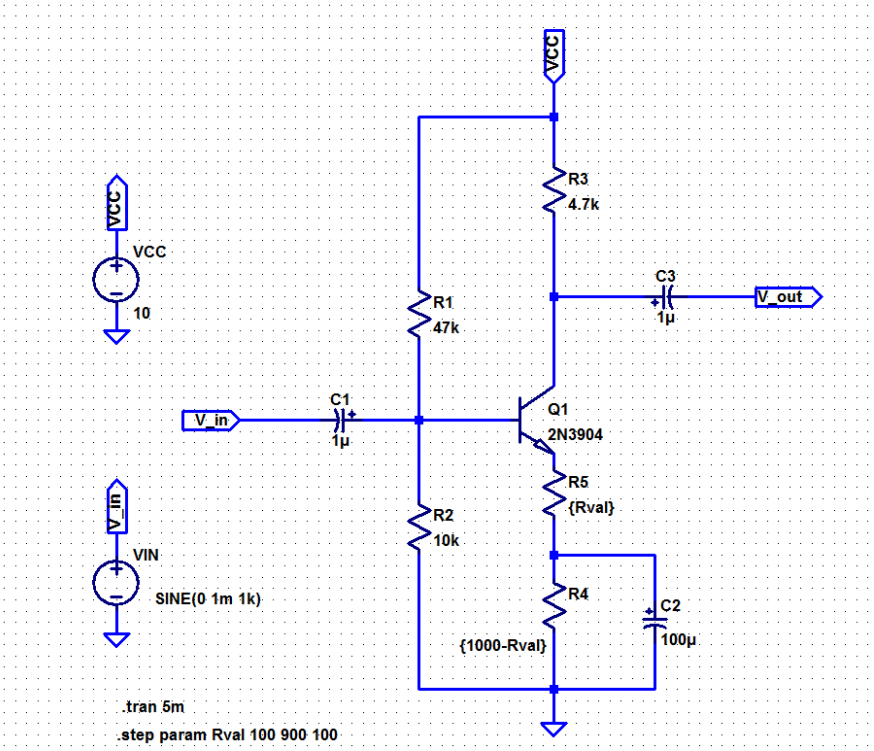
Usled čega dolazi do izobličenja negativnog dela izlaznog signala, a zbog čega do izobličenja pozitivnog dela signala?

3) Postaviti izvor signala VIN na `Small signal AC analysis` amplitude 1mV, a simulacionu komandu na AC analizu sa 10 tačaka po oktavi u opsegu 1kHz do 50MHz. **(.ac oct 10 1k 50Meg)**. Pokrenuti simulaciju i posmatrati izlazni napon V_out. Koja je granična učestanost primene ovog pojačavača? (Smatrati da je slabljenje veće od 10dB u odnosu na nominalno uslov granične primene).

f_{max}=_____

Uticaj otpornosti u emitoru tranzistora i otpornosti opterećenja na karakteristike pojačavača

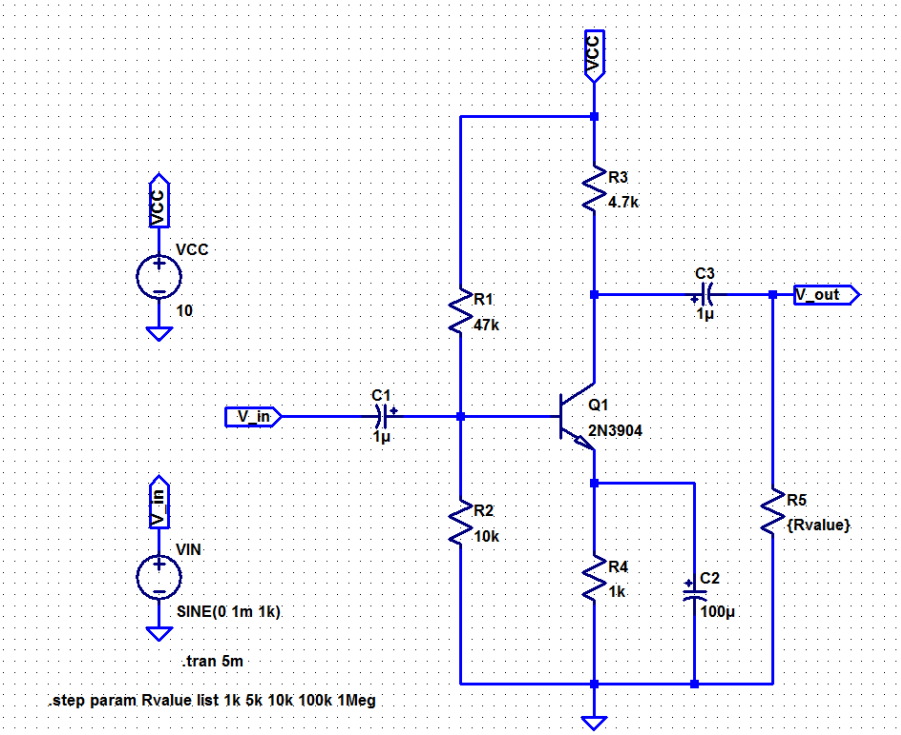
1) Umesto fiksne vrednosti podeliti vrednost otpornika R4 na 2 dela (R5 parametarski promenljive vrednosti {Rval} i R4 kao dopuna do 1kΩ). Dodati SPICE direktivu za simulaciju sa vrednostima otpornosti R5 u opsegu 100Ω do 900Ω sa korakom 100Ω.



2) Pokrenuti simulaciju i izabrati za prikaz napon na izlazu kola (Vout).

Kako se menja pojačanje pojačavača sa promenom vrednosti dela otpornika koji nije premošćen *by-pass* kondenzatorom (otpornik R5)?

3) Na izlaz pojačavača dodati otpornost opterećenja čiju vrednost menjati na osnovu liste 1k, 5k, 10k, 100k, 1Meg.

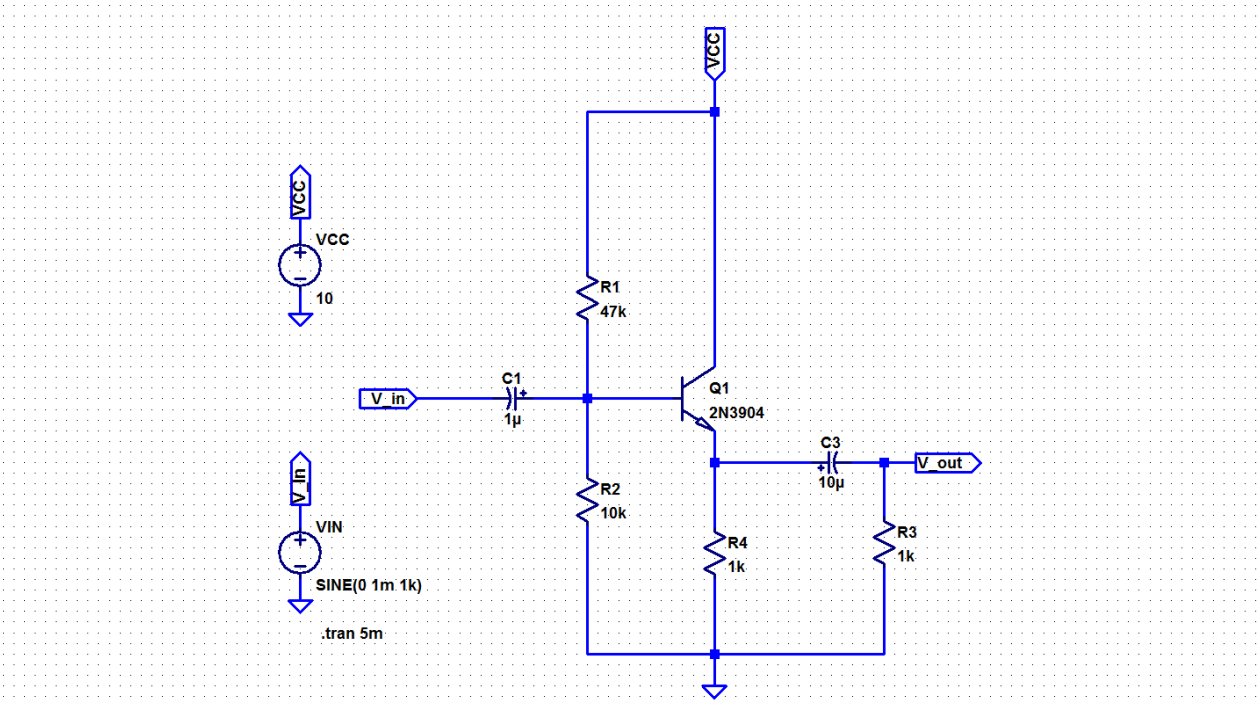


4) Pokrenuti simulaciju i posmatrati napon na izlazu kola (Vout).

Kako se menja pojačanje pojačavača sa promenom vrednosti opterećenja?

Konfiguracija pojačavača sa zajedničkim kolektorom

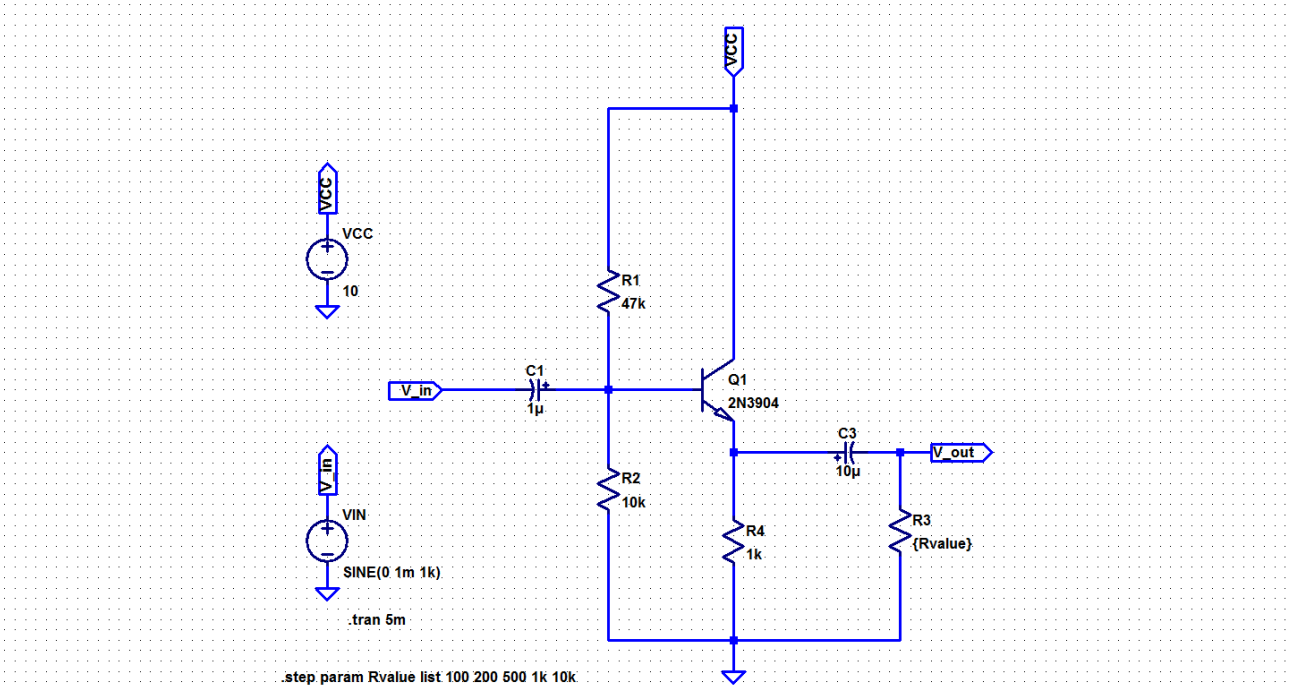
1) Konstruisati pojačavačko kolo sa BJT-om kao na slici.



1) Pokrenuti simulaciju i posmatrati ulazni i izlazni napon.
2) Koliko je naponsko pojačanje ovog pojačavača?

3) Posmatrati ulaznu ("-„ struja kroz kondenzator C1) i izlaznu (kroz opterećenje) struju. Koliko je strujno pojačanje ovog pojačavača?

4) Menjati vrednost opterećenja na osnovu liste 100Ω 200Ω 500Ω 1kΩ 10kΩ.



5) Pokrenuti simulaciju i posmatrati izlaznu struju.

Kako se menja strujno pojačanje pojačavača sa promenom vrednosti opterećenja?

6) KRAJ

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

VEŽBA 6

JFET kao izvor konstantne struje i pojačavač

UVODNE NAPOMENE

U vežbi se analiziraju izlazne i prenosne karakteristike n-kanalnog JFET-a i zavisnost vrednosti izlazne otpornosti i transkonduktanse od napona polarizacije tranzistora.

Vežba takođe prikazuje rad n-kanalnog JFET tranzistora kao izvora konstantne struje sa automatskim napajanjem i pojačavača malih signala u konfiguraciji sa zajedničkim drejnom (sors folover).

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

Student:_____

Broj indeksa:_____

Datum:_____

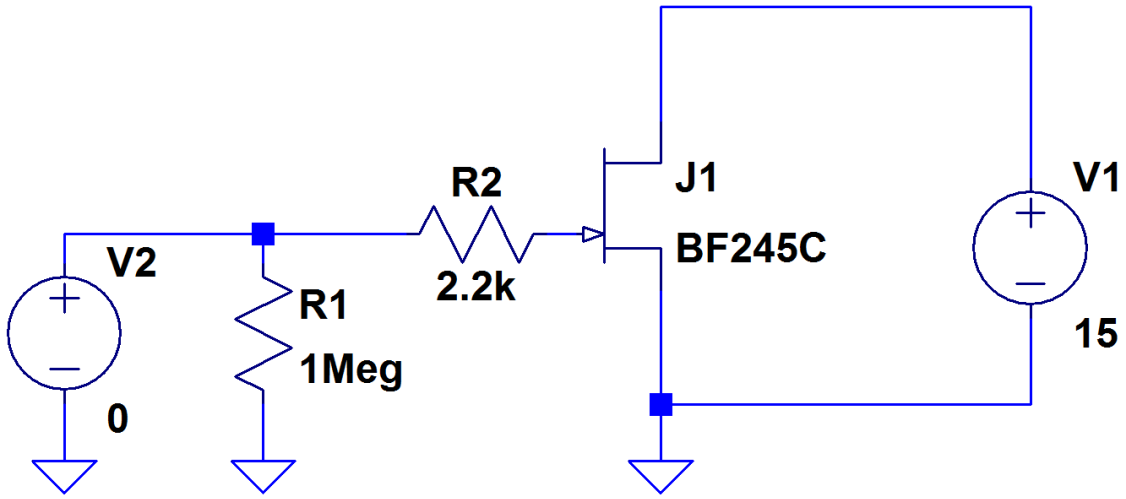
VEŽBA 6

JFET kao izvor konstantne struje i pojačavač

UPUTSTVO ZA RAD

Izlazne karakteristike n-kanalnog JFET-a

1) Pokrenuti program ***LTSpiceIV***, kreirati novi simulacioni fajl (`New Schematics`), izabrati odgovarajuće mesto za zapis fajlova i dati ime simulacionom fajlu npr. „JFET-karakteristike“.
2) Konstruisati kolo sa JFET-om kao na slici.



.dc V1 0 15 0.1 V2 -5 0 1

3) Iz liste komandi izabrati `Simulate` → `Edit Simulation Cmd` i `DC Sweep` analizu u kojoj se vrednost izvora V1 menja od 0 do 15V sa korakom od 0.1V (promena napona V_{DS}), a vrednost izvora V2 menja od -5 do 0V sa korakom od 1V (parametarska promena napona V_{GS}). Pokrenuti simulaciju.

4) Posmatrati vrednost struje kroz drejn JFET-a. (Izlazna karakteristika JFET-a).
   Odrediti najmanju vrednost napona V_{GS} za koju protiče struja drejna.

   V_{GS}= _____

5) Odrediti vrednost izlazne otpornosti (R_{DS}) JFET-a u omskoj oblasti karakteristika za svaku od vrednosti V_{GS} iz tabele:

V_{GS} (V)	0	-1	-2	-3	-4
R_{DS} (Ω)					

Prenosne karakteristike n-kanalnog JFET-a

1) Iz liste komandi izabrati `Simulate` → `Edit Simulation Cmd` i `DC Sweep` analizu u kojoj se vrednost izvora V2 menja od -5 do 0V sa korakom od 0.1V (promena napona VGS), a vrednost izvora V1 menja od 0 do 15V sa korakom od 3V (parametarska promena napona VDS) – komanda **.dc V2 -5 0 0.1 V1 0 15 3**. Pokrenuti simulaciju.

2) Posmatrati vrednost struje kroz drejn JFET-a. (Prenosna karakteristika JFET-a).
Odrediti vrednost napona V_{GS} za koju se tranzistor isključuje (ne protiče struja drejna).

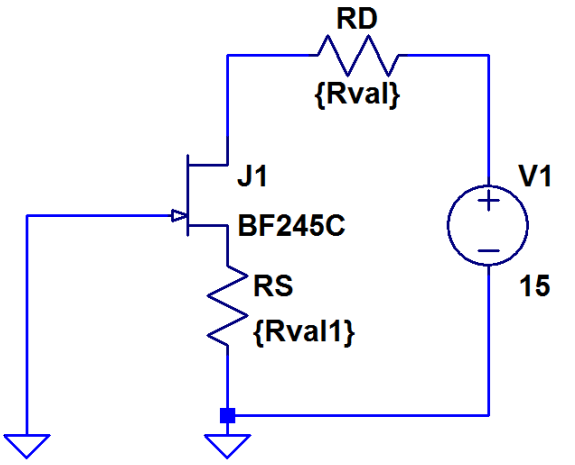
$V_{GS(OFF)}$= _____

3) Odrediti vrednost transkonduktanse (g_m) JFET-a za V_{GS}=-1V za svaku od vrednosti V_{DS} iz tabele:

V_{DS} (V)	3	6	9	12	15
g_m (S)					

JFET kao izvor konstantne struje

1) Konstruisati kolo izvora konstantne struje sa JFET-om kao na slici.




```
.step param Rval list 100 200 300 500 1k
.step param Rval1 list 300 500 1k 2k 5k
.op
```

2) Otpornost RD postaviti da uzima vrednosti iz liste 100Ω, 200Ω, 300Ω, 500Ω, 1kΩ (promena otpornosti opterećenja), a otpornost RS da uzima parametarski vrednosti iz liste 300Ω, 500Ω, 1kΩ, 2kΩ, 5kΩ (otpornost koja definiše vrednost struje). Tip analize postaviti na proračun radne tačke **.op**. Pokrenuti simulaciju.

3) Posmatrati vrednost struje drejna za date promene otpornosti RD i RS. Da li se menja vrednost struje drejna za jednu vrednost RS sa promenom vrednosti RD?

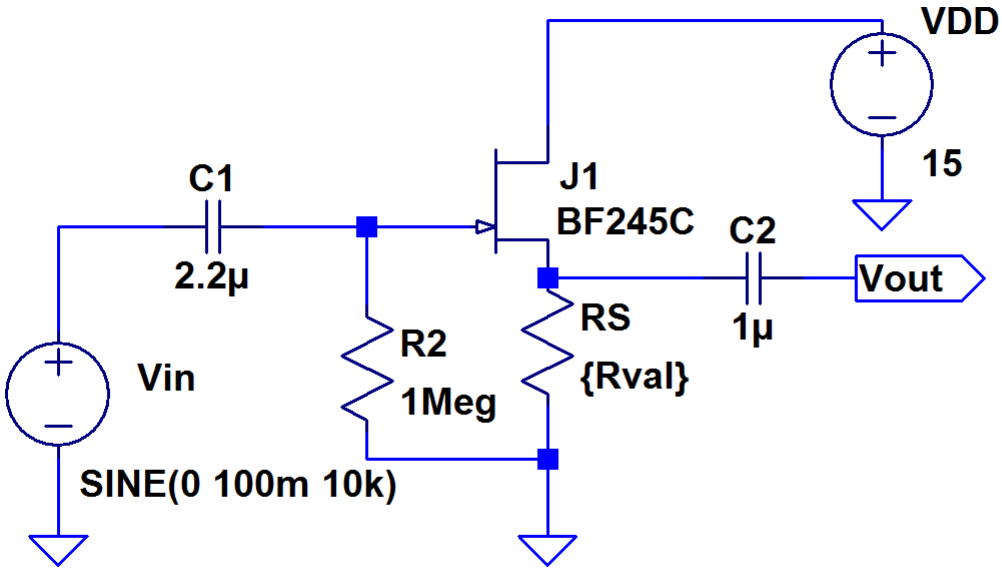
4) Popuniti priloženu tabelu sa vrednostima struje drejna za specificirane vrednosti otpornosti RS.

RS (Ω)	300	500	1k	2k	5k
I_D(mA)					

5) U kojoj oblasti rada se nalazi JFET kada ima ulogu izvora konstantne struje?

JFET kao pojačavač sa zajedničkim drejnom–(Source-Follower)

1) Konstruisati kolo sors folovera sa JFET-om kao na slici.



.tran 500u .step param Rval list 330 1k 5k 10k 50k

2) Postaviti izvor Vin da daje sinusni signal sa ofsetom 0V, amplitude 100mV i frekvence 10kHz. Otpornost RS postaviti da uzima parametarski vrednosti iz liste 330Ω, 1kΩ, 5kΩ, 10kΩ, 50kΩ, a tip simulacije postaviti na analizu u vremenskom domenu u trajanju 500µs. Pustiti simulaciju i posmatrati vrednost napona Vout.

3) Za svaku od vrednosti otpornosti RS iz liste odrediti amplitudu izlaznog signala i vrednost naponskog pojačanja prema tabeli:

RS (Ω)	330	1k	5k	10k	50k
v_{out} (mV)					
Av					

Koja je najmanja vrednost otpornosti RS iz liste za koju kolo radi kao sors folover (kada ja naponsko pojačanje blisko 1)?

RS_{min} =_____

6) KRAJ

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

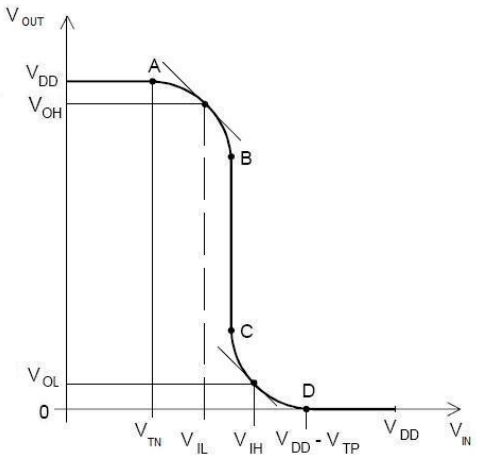
VEŽBA 7

MOS invertor

UVODNE NAPOMENE

Vežba prikazuje rad MOS tranzistora kao invertora. Osnovnu konfiguraciju predstavlja NMOS invertor sa pasivnim opterećenjem (otpornikom). Njegova modifikacija je NMOS invertor sa dinamičkim opterećenjem (opterećenje je PMOS tranzistor koji radi kao izvor konstantne struje). Najefikasnija konfiguracija je CMOS (Complementary MOS) invertor koji predstavlja elementarno kolo u digitalnim sistemima. Sastoji se od uparenih NMOS i PMOS tranzistora na čije se izvode gejta dovodi ulazni signal dok se izlazni signal uzima sa izvoda drejna tranzistora.

Prenosna karakteristika MOS invertora je data na slici sa označenim naponskim nivoima važnim za njegovo pravilno funkcionisanje.



Stanje niskog naponskog nivoa do vrednosti V_L se smatra stanjem logičke 0, dok se stanje visokog naponskog nivoa iznad vrednosti V_H smatra stanjem logičke 1. Između ovih vrednosti je nedefinisano stanje odnosno prelazni režim invertora.

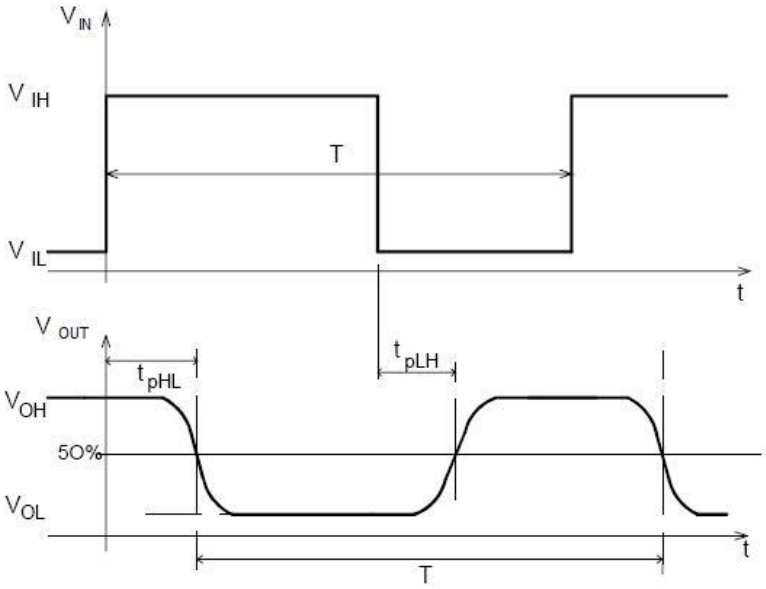
U idealnom slučaju $V_{OH}=V_{DD}$ i $V_{OL}=0V$.

Margine šuma:

$NM_H=V_{OH}-V_{IH}$

$NM_L=V_{IL}-V_{OL}$

U vremenskom domenu kašnjenje izlaznog signala u odnosu na ulazni signal je definisano kao na slici:



t_{pHL} – kašnjenje izlaznog signala pri prelazu iz stanja visokog naponskog nivoa (logičke 1) u stanje niskog naponskog nivoa (logičke 0).

t_{pLH} – kašnjenje izlaznog signala pri prelazu iz stanja niskog naponskog nivoa (logičke 0) u stanje visokog naponskog nivoa (logičke 1).

POLUPROVODNIČKE KOMPONENTE
Vežbe na računaru

Student:_____

Broj indeksa:_____

Datum:_____

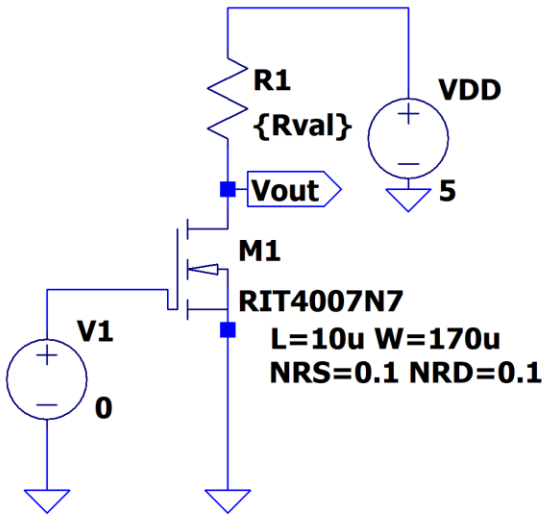
VEŽBA 7

MOS invertor

UPUTSTVO ZA RAD

NMOS invertor sa pasivnim opterećenjem

1) Pokrenuti program ***LTSpice***, kreirati novi simulacioni fajl (`New Schematics`), izabrati odgovarajuće mesto za zapis fajlova i dati ime simulacionom fajlu npr. „MOS-invertor“.
2) Konstruisati NMOS invertorsko kolo kao na slici.




```
.dc v1 0 5 0.01
.step param Rval list 1k 5k 10k 20k 50k
```

3) *SPICE* modelu NMOS tranzistora dodati konkretne vrednosti dužine i širine kanala (L=10 μm, W=170 μm) i poprečnog preseka difuzije sorsa i drejna (NRS=0.1, NRD=0.1).
4) Iz liste komandi izabrati `Simulate` → `Edit Simulation Cmd` i `DC Sweep` analizu u kojoj se vrednost izvora V1 menja od 0 do 5V sa korakom od 0.01V. Vrednost otpornika Rval zadati na osnovu liste vrednosti.
5) Pokrenuti simulaciju i posmatrati vrednost napona na drejnu NMOS tranzistora (Vout). (Prenosna karakteristika invertora).

   Kako zavisi pojačanje invertora od vrednosti otpornosti R1?

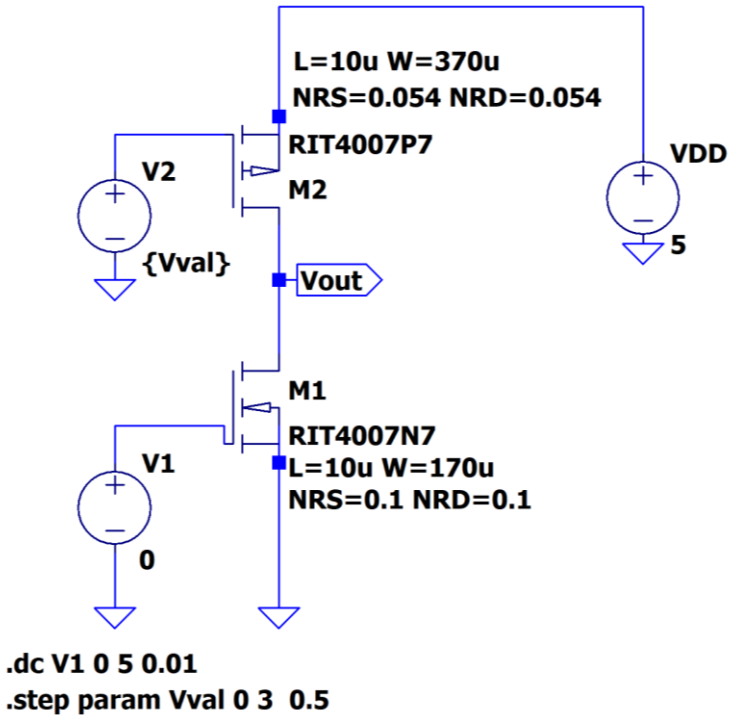
Poželjno je da R1 ima što _____ vrednost.

Posmatrati vrednosti snaga disipiranih na NMOS tranzistoru i otporniku R1.

Ova disipacija postoji za opseg vrednosti ulaznog napona _____.

NMOS invertor sa aktivnim opterećenjem

1) Umesto pasivnog otpornika R1 postaviti PMOS tranzistor.
2) *SPICE* modelu PMOS tranzistora dodati konkretne vrednosti dužine i širine kanala (L=10 μm, W=360 μm) i poprečnog preseka difuzije sorsa i drejna (NRS=0.054, NRD=0.054).
3) Napon na gejtu PMOS tranzistora V2 menjati na osnovu opsega vrednosti 0-3V sa korakom 0.5V.



4) Pokrenuti simulaciju i posmatrati vrednost napona na drejnu NMOS tranzistora (Prenosna karakteristika invertora).

Koja je najmanja vrednost napona V2 koja obezbeđuje pravilan rad invertora?

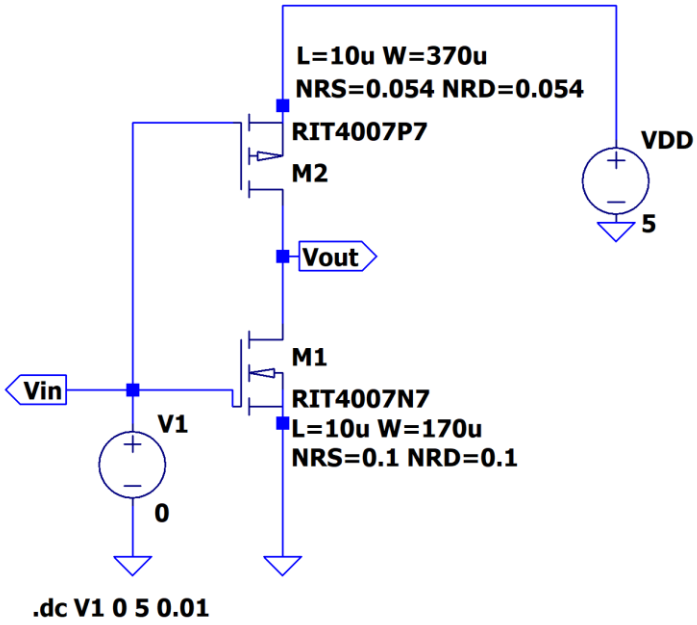
V_{2min} =_____

Posmatrati vrednosti snaga disipiranih na tranzistorima za vrednosti napona V2 koje obezbeđuju pravilan rad invertora.

Ova disipacija postoji za opseg vrednosti ulaznog napona _____.

CMOS invertor

1) Povezati gejt PMOS tranzistora na naponski izvor V1. Time je formiran CMOS invertor.



2) Pustiti simulaciju i posmatrati napon na izlazu kola (Vout) (Prenosna karakteristika invertora).

Odrediti margine šuma ovog CMOS kola.

V_{IL} =_____ V_{IH} =_____

V_{OL} =_____ V_{OH} =_____

NM_L=_____ NM_H =_____

3) Posmatrati vrednost snage disipirane na tranzistorima.

Ova disipacija postoji za opseg vrednosti ulaznog napona _____.

4) Postaviti izvor ulaznog napona V1 da daje pravougaone impulsne signale amplitude 5V sa vremenom porasta i opadanja signala od 1ps i periodom od 20 μs (f=50kHz). Postaviti tip analize na simulaciju u vremenskom domenu (`transient`) sa krajem prikaza rezultata posle 50μs. (**.tran 50u**).

5) Pustiti simulaciju i posmatrati napon na ulazu kola V1 i napon na izlazu kola (Vout).

Odrediti t_{pHL} – kašnjenje izlaznog signala pri prelazu iz logičke 1 u logičku 0 i t_{pLH} – kašnjenje izlaznog signala pri prelazu iz logičke 0 u logičku 1 kao i propagaciono kašnjenje CMOS invertora.

t_{pHL} =_____ t_{pLH} =_____

t_p =_____

6) KRAJ