

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (25.11.2017.)	50%	20%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%	20%



120% 60%

Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA

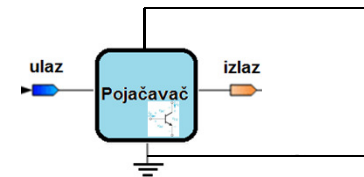
Savet: Izađite na kolokvijum MNOGO JE LAKŠE!

21. novembar 2017.

1

I njih, kao i MOSFET, sagledavamo sa stanovišta:

- 1) stvaranja uslova da radi – **DC polarizacija**;
- 2) pojačavanja malih signala – **AC režim rada**

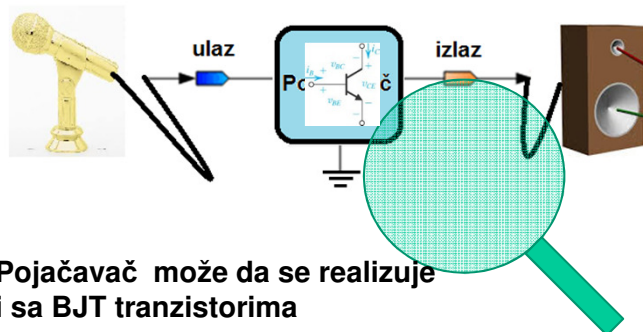


16. novembar 2017.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

3

Najzad da vidimo od čega se sastoji, kako radi, kako se pravi pojačavač?



Pojačavač može da se realizuje i sa BJT tranzistorima

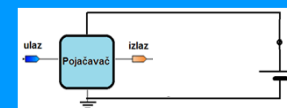
16. novembar 2017.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

2

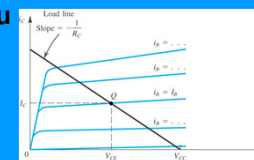
DC

Treba obezbedi jednosmerno napajanje tako da mirna radna tačka bude na poziciji u kojoj se dobija željeno pojačanje uz minimalna izobličenja.



Mirnu radnu tačku određuju:

- a) vrednosti otpornosti i DC generatora u kolu t.j. radna prava na primer $V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$
- b) I-V karakteristike BJT u kolu na primer



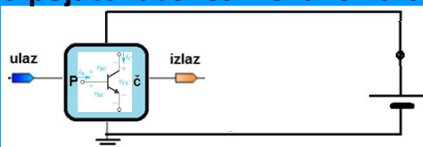
16. novembar 2017.

Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

4

DC

Za pojačavače realizovane na bazi BJT



BJT: mora da radi u aktivnoj oblasti:
B-E spoj direktno; B-C spoj inverzno

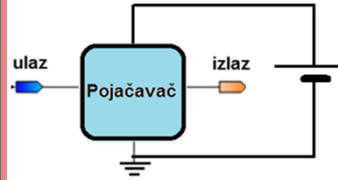
	NPN	PNP
BE direktno	$V_B > V_E$	$V_B < V_E$
BC inverzno	$V_B < V_C$	$V_B > V_C$
Značenje	$V_C > V_B > V_E$	$V_C < V_B < V_E$

16. novembar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 5

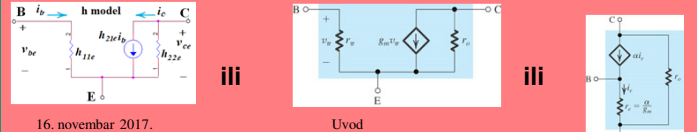
AC

Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale (kako mali signali „vide“ pojedine komponente):

a) Poluprovodničke komponente zameniti AC modelima NPN i PNP tranzistore



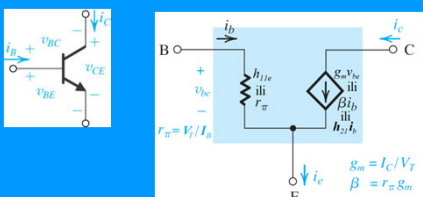
zameniti sa nekim od:



16. novembar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 7

DC

kada se utvrde DC struje i naponi, mogu da se izračunaju dinamički parametri ($g_m, r_o, R_o, h_{1D}, h_{2D}, \dots$) aktivnih elemenata



$$g_m = \frac{I_C}{V_T}$$

$$\beta = r_{\pi} \cdot g_m = \frac{I_C}{I_B}$$

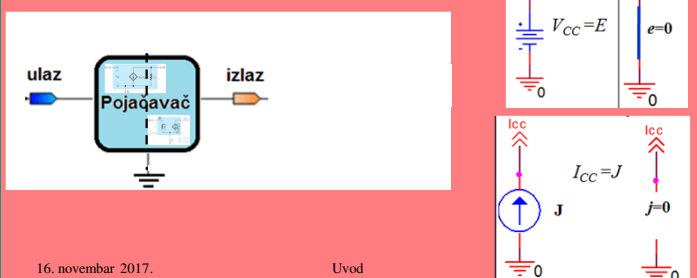
$$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_B}$$

16. novembar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 6

AC

Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale :

a) Poluprovodničke komponente zameniti AC modelima
 b) DC izvori napona \rightarrow kratak spoj
 c) DC izvori struje \rightarrow izbacimo - prekid



16. novembar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 8

AC
Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale:

- Poluprovodničke komponente zameniti AC modelima
- DC izvori napona → kratak spoj
- DC izvori struje → prekid
- Svi elementi neophodni za DC polarizaciju tranzistora ulaze u kolo pojačavača

16. novembar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 9

AC
Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale:

- Poluprovodničke komponente zameniti AC modelima
- DC izvori napona → kratak spoj
- DC izvori struje → prekid
- Naći pojačanje A_o , R_u i R_i neopterećenog pojačavača
- Zameniti model pojačavača u kolu i priključiti AC pobudu i potrošač i odredimo ukupno pojačanje.

16. novembar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 11

AC
Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale:

- Poluprovodničke komponente zameniti AC modelima
- DC izvori napona → kratak spoj
- DC izvori struje → prekid
- Svi elementi neophodni za DC polarizaciju tranzistora ulaze u kolo pojačavača
- Naći pojačanje A_o , R_u i R_i neopterećenog pojačavača

$A_o = \frac{v_i}{v_u}$

16. novembar 2017. Uvod
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 10

AC
Odredimo ukupno pojačanje

$$A_u = \frac{v_i}{v_{gen}} = \frac{v_i}{v_u} \frac{v_u}{v_{gen}}$$

$$v_i = \frac{R_p}{R_p + R_i} A_o v_u$$

$$\frac{v_i}{v_u} = \frac{R_p}{R_p + R_i} A_o$$

$$v_u = \frac{R_u}{R_u + R_{gen}} v_{gen}$$

$$\frac{v_u}{v_{gen}} = \frac{R_u}{R_u + R_{gen}}$$

$$A_u = \frac{v_i}{v_u} \frac{v_u}{v_{gen}} = \left(\frac{R_p}{R_p + R_i} A_o \right) \left(\frac{R_u}{R_u + R_{gen}} \right)$$

21. novembar 2017. Jednostepeni BJT pojačavači 12

AC

Odredimo ukupno pojačanje

$$A_u = \frac{v_i}{v_u} \frac{v_u}{v_{gen}} = \left(\frac{R_p}{R_p + R_i} A_o \right) \left(\frac{R_u}{R_u + R_{gen}} \right)$$

Analiza se nastavlja zamenom izraza za A_o , R_u i R_i za svaku konkretnu konfiguraciju: ZE, ZB, ZC

21. novembar 2017. Jednostepeni BJT pojačavači 13

Osnovi elektronike

Kako se BJT koristi kao pojačavač?

21. novembar 2017. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 15 15

Jednostepeni pojačavači sa BJT

14

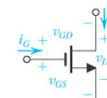
Osnovne osobine MOS tranzistora

Sadržaj:

1. Uvod
 - Poređenje MOSFET – BJT
2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom
3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

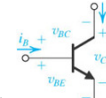
21. novembar 2017. Jednostepeni BJT pojačavači 16

1. Poređenje MOSFET – BJT: karakteristike



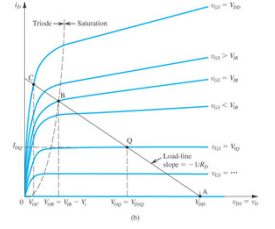
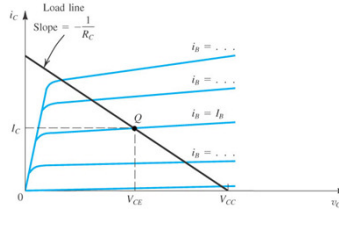
$i_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (v_{GS} - V_T)^2 (1 + \frac{v_{DS}}{V_A}) = \frac{1}{2} k_n \frac{W}{L} (v_{GS} - V_T)^2 (1 + \frac{v_{DS}}{V_A})$

$i_G = 0$



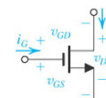
$i_C = I_S e^{\frac{v_{BE}}{V_T}} (1 + \frac{v_{CE}}{V_A})$

$i_B = i_C / \beta$

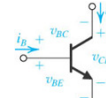



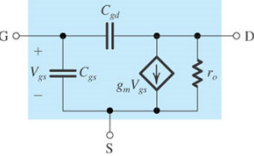
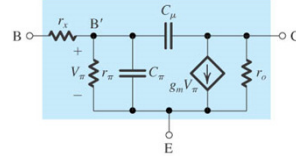
21. novembar 2017. Jednostepeni BJT pojačavači 17

1. Poređenje MOSFET – BJT



VF



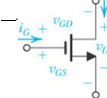
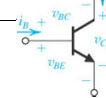



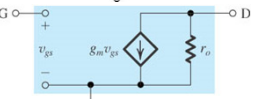
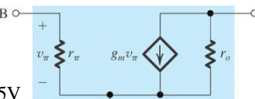
$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_{gs} + C_{gd})} \cong x \cdot 10 [\text{GHz}]$$

$$f_T = \frac{g_m}{2\pi(C_{\pi} + C_{\mu})} \cong x \cdot 10 [\text{GHz}] < f_{T\text{MOS}}$$

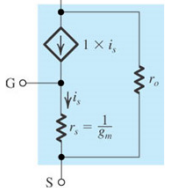
21. novembar 2017. Jednostepeni BJT pojačavači 19

1. Poređenje MOSFET – BJT malosignalni model

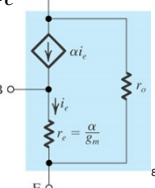



$$g_m = \frac{I_D}{2(v_{GS} - V_T)} \cong \frac{x \text{ mA}}{0.1 \text{ V}} \cong x \cdot 10 [\text{mA/V}]$$

$$10 \text{ k}\Omega < r_o = \frac{V_A}{I_D} \cong \frac{75 \text{ V}}{I_D} < 1 \text{ M}\Omega$$


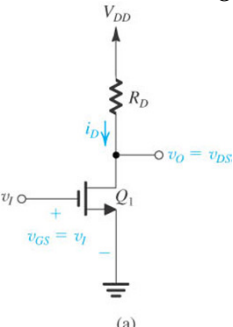
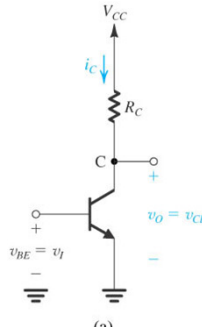
$$r_{\pi} = \frac{V_T}{I_B} \cong \frac{0.025 \text{ V}}{x \cdot 10 \mu\text{A}} \cong x \cdot [\text{k}\Omega]$$

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} \cong \frac{x \text{ mA}}{0.025 \text{ V}} \cong x \cdot 40 [\text{mA/V}]$$

$$10 \text{ k}\Omega < r_o = \frac{V_A}{I_C} \cong \frac{100 \text{ V}}{I_C} < 1 \text{ M}\Omega$$


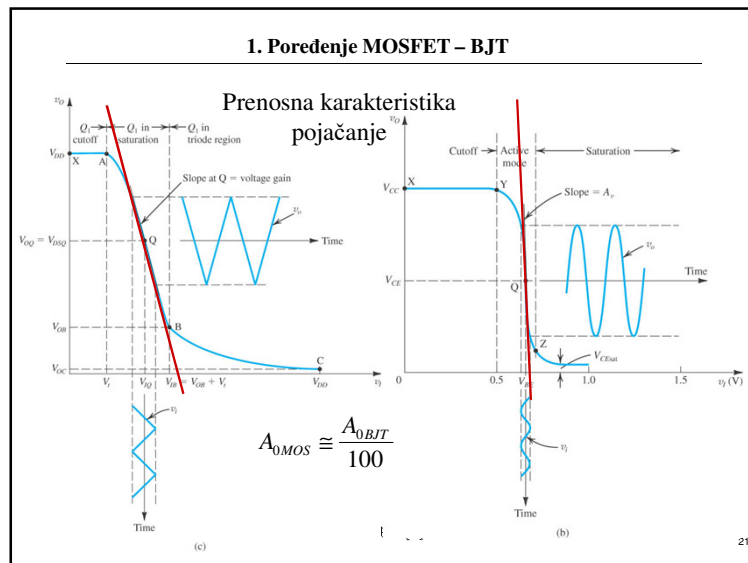
Jednostepeni BJT pojačavači 8

1. Poređenje MOSFET – BJT Osnovna konfiguracija

(a) (a)

21. novembar 2017. Jednostepeni BJT pojačavači 20



Sadržaj

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

- a) Princip rada
- b) DC polarizacija
- c) Odnosi snaga (videti pojačavače sa MOSFET)
- d) Stabilnost
- e) Analiza za male signale
 - i. Pojaćanje neopterećenog pojačavača
 - ii. Ulazna otpornost
 - iii. Izlazna otpornost
 - iv. Analiza u frekvenijskom domenu

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT

23

Pojačavači sa BJT

Važi za sve konfiguracije :

1. Princip rada - Tranzistor u **AKTIVNOM REŽIMU**
2. DC polarizacija – obezbeđuje **AKTIVNI REŽIM**
3. Odnosi snaga – troši energiju i u odsustvu signala
4. Stabilnost – na promene T, uzorka tranzistora (β)
5. Analiza za male signale (ravna amplitudska, na SF)
 - Pojaćanje neopterećenog pojačavača
 - Ulazna otpornost
 - Izlazna otpornost
 - Ponašanje na niskim frekvencijama, NF
 - Ponašanje na visokim frekvencijama, VF

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT

22

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZE
 - Ulaz – B
 - Izlaz – C
- Tranzistor radi u **aktivnom** režimu
- Pojaćava male signale (u okolini radne tačke)
- Obrće fazu
- Suštinski - pojačavač struje (strujno pojaćanje ne zavisi od R_p)

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT

24

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZE: ulaz na B, izlaz sa C

Tranzistor mora biti polarisan tako da radi u aktivnom režimu B-E direktno; B-C inverzno

	NPN	PNP
BE direktno	$V_B > V_E + V_\gamma$ $V_{BE} \approx 0.7V$	$V_B < V_E - V_\gamma$ $V_{BE} \approx -0.7V$
BC inverzno	$V_B < V_C + V_\gamma$ $V_{BC} < 0.5V$	$V_B > V_C - V_\gamma$ $V_{BC} > -0.5V$
Značenje	$V_C > V_B > V_E$ $V_{CE} > 0.2V$	$V_C < V_B < V_E$ $V_{CE} < -0.2V$

Neophodna pretpolarizacija – jednosmerna (mirna) radna tačka

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 25

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

a) Princip rada:

Tranzistor radi u konfiguraciji ZE: ulaz na B, izlaz sa C

Da li obrće fazu? 🤔

Ako V_B raste, tada V_{BE} ..., pa i I_B ..., a onda I_C ..., pa će V_C da ...

zato što je $V_C = V_{CEM} = V_{CC} - I_{CM} R_C$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 27

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u aktivnom režimu

$I_C = I_{CM} = \beta I_{BM}$

$$I_B = I_{BM} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$V_{CE} = V_{CEM} = V_{CC} - I_{CM} R_C$$

Da li obrće fazu? 🤔

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 26

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u aktivnom režimu

$$I_B = I_{BM} = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B}$$

$$I_C = I_{CM} = \beta I_{BM}$$

(= 100 · 60 μA = 6mA)

$$V_{CE} = V_{CEM}$$

(= 10 - 6mA · 1kΩ = 4V)

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 28

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

a) Princip rada:

- Pojačava male signale (u okolini radne tačke)**

$i_C = i_c + I_{CM}$
 $i_B = i_b + I_{BM}$
 $v_b = V_B \sin \omega t$
 $i_B = I_{BM} + I_{BM} \sin \omega t$
 $i_B = 60 \mu A + (20 \mu A) \sin \omega t$

$i_C = I_{CM} + h_{21E} \cdot I_{Bm} \sin \omega t$
 $i_C = I_{CM} + I_{Cm} \sin \omega t$
 $i_C = 6mA + 100 \cdot (20 \mu A) \sin \omega t$
 $i_C = 6mA + (2mA) \sin \omega t$

$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_C$
 $v_{CE} = V_{CC} - I_{CM} R_C - i_C R_C$
 $v_{CE} = V_{CEM} - i_C R_C$
 $(= 4V - ((2mA) \sin \omega t) \cdot 1k\Omega)$
 $(= 4V - (2V) \sin \omega t)$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

a) Princip rada:

$i_C = i_c + I_{CM}$
 $i_B = i_b + I_{BM}$
 $v_b = V_B \sin \omega t$
 $i_B = I_{BM} + I_{BM} \sin \omega t$
 $i_B = 20 \mu A + (5 \mu A) \sin \omega t$

$i_C = I_{CM} + h_{21E} \cdot I_{Bm} \sin \omega t$
 $i_C = I_{CM} + I_{Cm} \sin \omega t$
 $i_C = 20 \mu A + 5 \cdot (5 \mu A) \sin \omega t$
 $i_C = 20 \mu A + (25 \mu A) \sin \omega t$

$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_C$
 $v_{CE} = V_{CC} - I_{CM} R_C - i_C R_C$
 $v_{CE} = V_{CEM} - i_C R_C$
 $(= 7V - ((25 \mu A) \sin \omega t) \cdot 1k\Omega)$
 $(= 7V - (2.5V) \sin \omega t)$

Pojačanje napona u konkretnom slučaju (1) iznosi

$$A = \frac{v_{ce}}{v_{be}} \Big|_{I_B = \text{Const}} = \frac{\Delta v_{CE}}{\Delta v_{BE}} = \frac{7V - 4V}{0.76V - 0.73V} = \frac{3V}{0.03V} = 100$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

a) Princip rada:

$i_C = i_c + I_{CM}$
 $i_B = i_b + I_{BM}$
 $v_b = V_B \sin \omega t$
 $i_B = I_{BM} + I_{BM} \sin \omega t$
 $i_B = 20 \mu A + (5 \mu A) \sin \omega t$

$i_C = I_{CM} + h_{21E} \cdot I_{Bm} \sin \omega t$
 $i_C = I_{CM} + I_{Cm} \sin \omega t$
 $i_C = 20 \mu A + 5 \cdot (5 \mu A) \sin \omega t$
 $i_C = 20 \mu A + (25 \mu A) \sin \omega t$

$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_C$
 $v_{CE} = V_{CC} - I_{CM} R_C - i_C R_C$
 $v_{CE} = V_{CEM} - i_C R_C$
 $(= 5V - ((25 \mu A) \sin \omega t) \cdot 1k\Omega)$
 $(= 5V - (2.5V) \sin \omega t)$

v_{CE} zavisi od otpora R_C – nije osobina idealnog pojačavača napona

Strujno pojačanje i_c/i_b ostalo isto, a naponsko pojačanje se smanjilo.

Dakle, radi se suštinski o pojačavaču struje!

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

a) Princip rada:

$i_C = i_c + I_{CM}$
 $i_B = i_b + I_{BM}$
 $v_b = V_B \sin \omega t$
 $i_B = I_{BM} + I_{BM} \sin \omega t$
 $i_B = 20 \mu A + (5 \mu A) \sin \omega t$

$i_C = I_{CM} + h_{21E} \cdot I_{Bm} \sin \omega t$
 $i_C = I_{CM} + I_{Cm} \sin \omega t$
 $i_C = 20 \mu A + 5 \cdot (5 \mu A) \sin \omega t$
 $i_C = 20 \mu A + (25 \mu A) \sin \omega t$

$v_{CE} = V_{CC} - i_C R_C$
 $v_{CE} = V_{CC} - I_{CM} R_C - i_C R_C$
 $v_{CE} = V_{CEM} - i_C R_C$
 $(= 7.4V - ((25 \mu A) \sin \omega t) \cdot 1k\Omega)$
 $(= 7.4V - (2.5V) \sin \omega t)$

Pojačanje napona u konkretnom slučaju (2) iznosi

$$A = \frac{v_{ce}}{v_{be}} \Big|_{I_B = \text{Const}} = \frac{\Delta v_{CE}}{\Delta v_{BE}} = \frac{7.4V - 5V}{0.76V - 0.73V} = \frac{2.4V}{0.03V} = 80$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

b) DC polarizacija obezbeđuje rad u aktivnom režimu

Napajanje sa dve baterije nije racionalno. Isti efekat se postiže i sledećom konfiguracijom:

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 33

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

b) DC polarizacija

$$V_{BB} = \frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC}$$

$$R_B = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 35

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

b) DC polarizacija

Ovo kolo predstavlja osnovu za praktičnu realizaciju pojačavača sa zajedničkim emitorom

Da bi se uspostavila ekvivalencija sa prethodnom šemom, treba od baze prema V_{CC} i masi odrediti parametre ekvivalentnog Tevenenovog generatora.

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 34

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

b) DC polarizacija - analiza

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad I_C = \beta I_B \quad V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

Na kraju treba proveriti da li je BC spoj inverzno polarisan ($V_{BC} = V_{BE} - V_{CE} < V_\gamma$ za NPN).

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 36

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

d) Stabilnost

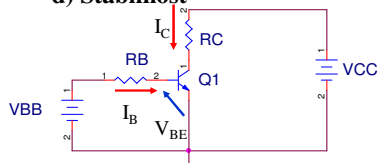
Nestabilnost dolazi do izražaja usled:

- promena radne temperature
- tolerancija procesa proizvodnje tranzistora
 - β za isti tip tranzistora razlikuje se i više od 100% (npr za BC107b $200 < \beta < 450$)

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 37

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

d) Stabilnost



Šta utiče na stabilnost radne tačke?
Od čega zavisi struja kolektora?

$$I_B = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} \quad I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{C0}$$

$$I_C = \beta \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_B} + (1 + \beta) I_{C0} = \beta \frac{V_{BB}}{R_B} - \beta \frac{V_{BE}}{R_B} + (1 + \beta) I_{C0}$$

I_C zavisi od β , V_{BE} i I_{C0}

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 39

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost

Za BJT GENERALNO VAŽI

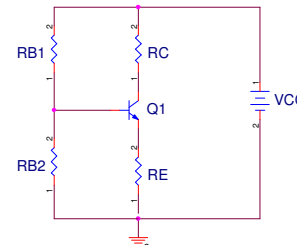
TEMPERATURNI NESTABILNA KOMPONENTA

- V_{BE} smanjuje se za 2.5 mV pri porastu T za 1 K,
- inverzna struja zasićenja kolektorskog spoja I_{C0} udvostručava se pri porastu T od 10 K;
- koeficijent strujnog pojačanja β raste za 0.7% pri porastu T za 1 K.

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 38

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

d) Stabilnost veća (bolja) ako postoji R_E - Zašto?



[Ako poraste T] => [I_B raste (zašto?)] => [raste I_C i to β puta brže (zašto?)] => [raste V_E (zašto?)]

[V_{BE} se smanjuje (zašto?)] => [I_B se smanjuje (zašto?)]

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 40

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

d) Stabilnost veća ako postoji R_E

Za $\Delta T = 50^\circ\text{C} \Rightarrow \Delta I_{C0} = 32\text{nA}$, $\Delta V_{BE} = -0.125\text{V}$, $\Delta \beta = 25$

$\Delta I_C \approx 4\text{mA}$ $\Delta I_C \approx 45\text{mA}$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 41

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

Generatore jednosmernog napona zamenjujemo unutrašnjom otpornošću ($R=0$, kratak spoj)

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 43

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više

c) Stabilnost – preko izvora konstantne struje (ima veliku unutrašnju otpornost za AC)

$I_{REF} = \frac{V_{CC} - (-V_{EE}) - V_{BE}}{R}$

$Q1 \equiv Q2$

$I = I_{REF} = \frac{V_{CC} + V_{EE} - V_{BE}}{R}$

Strujno ogledalo
Current mirror

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 42

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

polarizacija preko izvora konstantne struje
Generatore jednosmerne struje zamenjujemo unutrašnjom otpornošću ($R \rightarrow \infty$, prazan hod)

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 44

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

Na ovom nivou analize podrazumevaćemo da, pri nominalnim frekvencijama, za koje je pojačavač projektovan, reaktanse svih kondenzatora teže nuli i ne utiču na osobine pojačavača (kratak spoj).

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 45

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

Spoljašnji elementi

Pojačavač

Kolo pojačavača čine:

1. Tranzistor (ZE),
2. Elementi kola za DC polarizaciju,
3. Pobuda - generator,
4. Opterećenje - potrošač

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 47

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

nezavisno od načina polarizacije tranzistora (sa ili bez R_E ili izvor konstantne struje) dobijaju se ekvivalentna kola iste topologije za male naizmenične signale.

Pojačanje ne zavisi od frekvencije!!!

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 46

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

Generalizovana šema realnog pojačavača napona
(videti prvu nedelju predavanja „Osnovi pojačavačke tehnike 1/2“)

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 48

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

$$R_u \equiv \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{R_p \rightarrow \infty} = ?$$

$$(i_i = 0)$$

$$R_i \equiv \left. \frac{v_i}{i_i} \right|_{v_u = 0} = ?$$

Pojačavač napona

$$A_o \equiv \left. \frac{v_i}{v_u} \right|_{R_p \rightarrow \infty} = ?$$

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT
49

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

Tranzistor zameniti modelom
Videti predavanja iz 5. nedelje „05. Modeli poluprovodničkih komponenta“

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT
51

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

Ulazna
 R_u

Izlazna
 R_i

Otpornost pojačavača

21. novembar

50

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

model sa h-parametrima

Tranzistor zamenjen modelom sa h-parametrima.
Vratićemo se kasnije na kompletne izraze, najpre da analiziramo jednostavniju varijantu.

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT
52

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

$$v_i = -h_{21e}i_b R_C \approx -h_{21e}i_u R_C$$

$$v_i = -h_{21e} \frac{v_u}{R_u} R_C = -\frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C v_u$$

$$A_o = \left. \frac{v_i}{v_u} \right|_{i_u=0} = -\frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 53

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

$$R_i = R_C \quad \text{za } v_u = 0, i_b = 0, h_{22e} = 0$$

$$A_o = -(h_{21e}R_C/h_{11e})$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 55

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

$$i_b = \frac{R_B}{h_{11e} + R_B} i_u$$

$$i_b \approx i_u \text{ za } R_B \gg h_{11e}$$

$$R_u = \frac{v_u}{i_u} = h_{11e} \left| R_B = \frac{h_{11e} R_B}{h_{11e} + R_B} \right.$$

$$R_u \approx h_{11e} \text{ za } R_B \gg h_{11e}$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 54

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

Parametri pojačavača sa zajedničkim emitorom:

$$R_u = h_{11e}$$

$$R_i = R_C$$

$A_o = -(h_{21e}R_C/h_{11e})$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 56

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora

Videti predavanja „01 Uvod osnovi pojačavacke tehnike 1 od 2“ i primeniti na pojačavač sa ZE

$$A = \frac{v_p}{v_g} = \frac{v_p}{v_u} \frac{v_u}{v_g}$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 57

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora

$$A = \frac{v_p}{v_g} = \frac{v_p}{v_u} \frac{v_u}{v_g} = \frac{R_p}{R_C + R_p} \left(-\frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C \right) \frac{h_{11e}}{h_{11e} + R_g}$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 59

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora

$$v_u = \frac{h_{11e}}{h_{11e} + R_g} v_g \quad v_p = \frac{R_p}{R_C + R_p} A_o v_u = \frac{R_p}{R_C + R_p} \left(-\frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C \right) v_u$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 58

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora

$$A = \frac{v_p}{v_g} = \frac{v_p}{v_u} \frac{v_u}{v_g} = -\frac{h_{21e}}{h_{11e} + R_g} \frac{R_p R_C}{R_C + R_p}$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 60

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale

Veza h i π modela

$$A = -\frac{h_{21e}}{h_{11e} + R_g} \frac{R_C R_p}{R_C + R_p} = -\frac{g_m r_\pi}{r_\pi + R_g} \frac{R_C R_p}{R_C + R_p}$$

$$R_u \cong h_{11e} \cong r_\pi$$

$$R_i \cong R_C$$

Pojačavačem sa ZE može da se ostvari naponsko pojačanje reda nekoliko stotina.
 Znak „-“ ukazuje da je signal na izlazu suprotne faze od ulaznog
 Usled konačne ulazne otpornosti (reda kΩ) dobro je da se pobuđuju generatorima male izlazne otpornosti.
 Usled konačne izlazne otpornosti (x10kΩ) povoljan je za pobudu potrošača sa što većom otpornošću.

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 61

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

Konačna otpornost u emitorskom kolu značajno utiče na osobine pojačavača sa ZE.

$$A_o = \frac{v_u}{v_i} \cong -\frac{h_{21e} R_C}{(h_{11e} + h_{21e} R_E)}$$

$$R_u = \frac{v_u}{i_u} = R_B \parallel R_{ui}; \quad R_{ui} = (h_{11e} + h_{21e} R_E)$$

$$R_i = \frac{v_i}{i_i} = R_C$$

Za $R_E=0$, dobijaju se izrazi za klasični pojačavač sa ZE.
 Znači: A_o smanjeno
 R_u povećano
 R_i isto

pojačavači sa BJT 63

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Domaći 7.1:

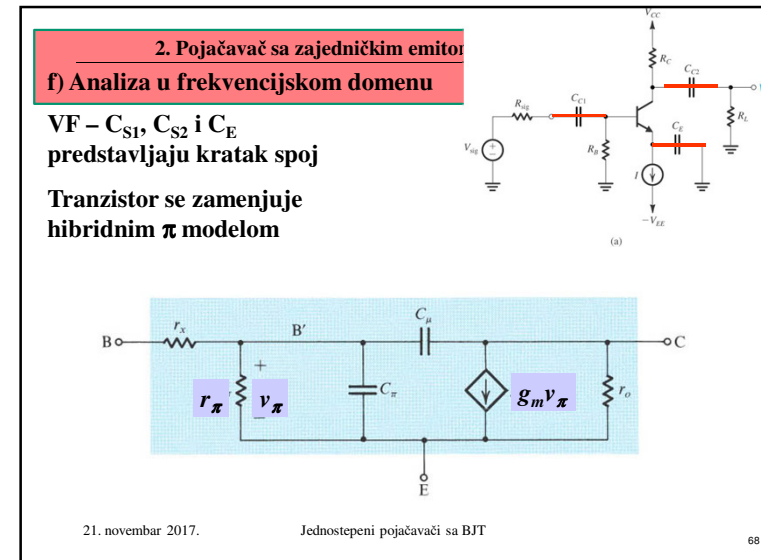
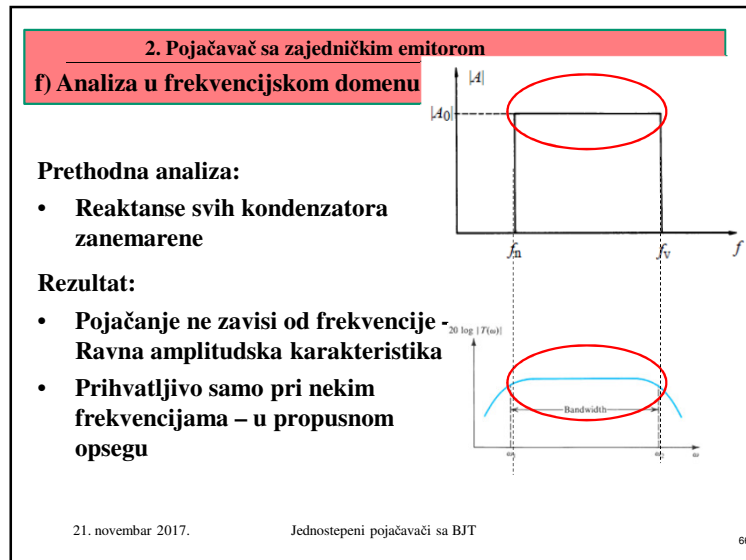
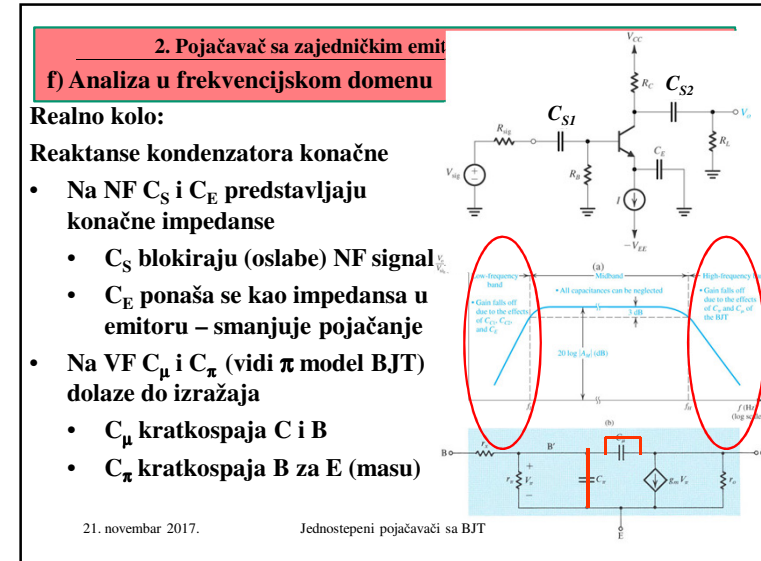
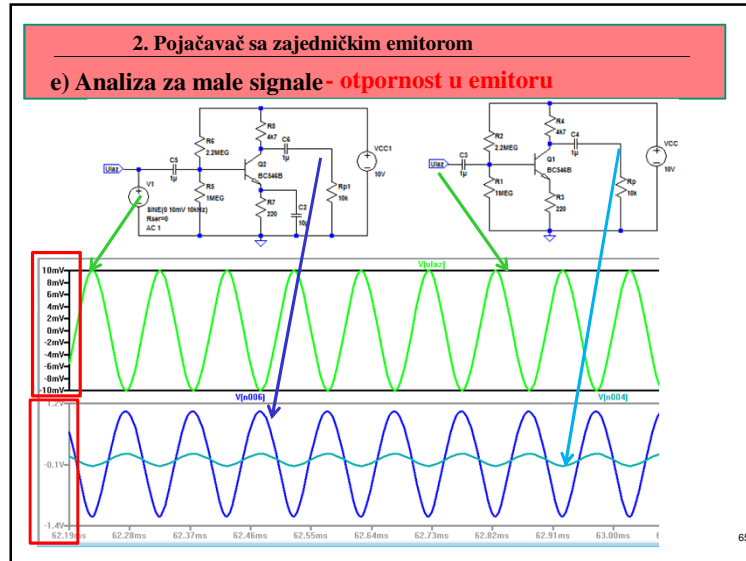
Izračunati napon na potrošaču od $R_p=8\Omega$ pojačavača sa zajedničkim emitorom čiji su parametri: $R_C=5k$, $R_B=100k$, $h_{11E}=1k$, $h_{12E}=0$, $h_{21E}=100$, $h_{22E}=0$, ako je pobuđen iz generatora $V_g=10mV$ i $R_g=600\Omega$.

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 62

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 64



Za one koji žele da nauče više

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

VF –
Primenom Milerove teoreme, za $A_o = -g_m R_p'$

$$Z_1 = \frac{Z}{1-A} \quad (b)$$

$C_u = C_\pi + C_{eq}$
 $C_u = C_\pi + C_u(1 + g_m R_p')$ (c)

$V_i = -g_m R_p' V_\pi$

69

Za one koji žele da nauče više

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

VF –

$$\frac{V_i}{V_g} = \frac{A}{1 + s/\omega_o}$$

$\omega_v = 1/(C_u R_g')$

$$(d) f_v = \frac{1}{2\pi(C_u R_g')}$$

71

Za one koji žele da nauče više

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

VF –

$$V_\pi = V_g' \frac{1}{1 + s/\omega_o}$$

$$\omega_o = 1/(C_u R_g')$$

$$V_i = -g_m R_p' V_\pi$$

$$\frac{V_i}{V_g} = -\frac{R_B}{R_B + R_g} \frac{r_\pi g_m R_p'}{r_\pi + r_x + R_B \parallel R_g} \frac{1}{1 + s/\omega_o}$$

$$\frac{V_i}{V_g} = \frac{A}{1 + s/\omega_o}$$

70

Za one koji žele da nauče više

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu - Primer

Odrediti pojačanje na srednjim frekvencijama kao i gornju graničnu frekvenciju kola sa slike ako se zna da je $V_{CC} = V_{EE} = 10V$, $I = 1mA$, $R_B = 100k$, $R_C = 8k$, $R_g = 5k$, $R_p = 5k$, $\beta = 100$, $V_A = 100V$, $C_\mu = 1pF$, $f_t = 800MHz$ i $r_x = 50\Omega$.

72

Za one koji žele da nauče više

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu - Rešenje

Za $I_C = I = 1\text{mA}$, parametri hibridnog modela imaju sledeće vrednosti:

$$g_m = \frac{I_C}{V_T} = \frac{1\text{mA}}{0.026\text{mV}} = 40\text{mA/V}$$

$$r_\pi = \frac{\beta}{g_m} = \frac{100}{40\text{mA/V}} = 2.5\text{k}$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_C} = \frac{100\text{V}}{1\text{mA}} = 100\text{k}$$

$$C_\pi + C_\mu = \frac{g_m}{\omega_t} = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{2 \cdot \pi \cdot 800 \cdot 10^6} = 8\text{pF}$$


$$C_\pi = (C_\pi + C_\mu) - C_\mu = 7\text{pF}$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 73

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (25.11.2017.)	50%	20%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%	20%
	120%	60%



Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA

Savet: Izađite na kolokvijum MNOGO JE LAKŠE!

21. novembar 2017. Uvod 75
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

Za one koji žele da nauče više

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu - Rešenje

Pojačanje na srednjim frekvencijama je:

$$A = -\frac{R_B}{R_B + R_g} \frac{r_\pi}{r_\pi + r_x + R_B \parallel R_g} g_m R_p' \quad R_p' = r_o \parallel R_c \parallel R_p = 3\text{k}$$

$$A = -30\text{V/V}$$

Da bi se odredila granična frekvencija, treba naći C_u i R_g'

$$C_u = C_\pi + C_\mu (1 + g_m R_p') = 128\text{pF}$$

$$R_g' = r_\pi \parallel [r_x + (R_B \parallel R_g)] = 1.65\text{k}$$

$$f_v = \frac{1}{2\pi C_u R_g'} = 754\text{kHz}$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 74

Sadržaj

1. 2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom
2. 3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
3. 4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

76

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

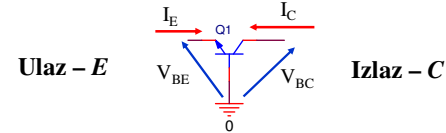
2. 3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

- a. Princip rada
- b. DC polarizacija
- c. Odnosi snaga
- d. Stabilnost
- e. Analiza za male signale
 - i. Pojaćanje neopterećenog pojačavača
 - ii. Ulazna otpornost
 - iii. Izlazna otpornost
 - iv. Analiza u frekvencijskom domenu

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB



Tranzistor mora biti polarisan tako da radi u aktivnom režimu B-E *direktno*; B-C *inverzno*

	NPN	PNP
BE direktno	$V_B > V_E$	$V_B < V_E$
BC inverzno	$V_B < V_C$	$V_B > V_C$
Značenje	$V_C > V_B > V_E$	$V_C < V_B < V_E$

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

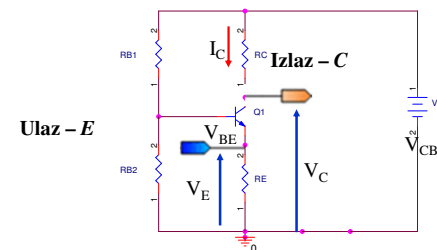
a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB
 - Ulaz - i_E, v_{EB} pobuda u emitorskom kolu
 - Izlaz - i_C, v_{CB} potrošač u kolektorskom kolu
- Tranzistor radi u **aktivnom** režimu
- Pojačava male signale (u okolini radne tačke)
- Ne obrće fazu

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB: ulaz na E, izlaz sa C



Ako V_E raste, tada V_{BE} ..., pa i I_B ..., a onda I_C ..., pa će V_{CE} da ... zato što je $V_C = V_{CC} - I_{CM} R_C$

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
b) DC polarizacija:

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 81

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
b) DC polarizacija:

- **Tranzistor radi u konfiguraciji ZB**

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 83

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
b) DC polarizacija:

- **Tranzistor radi u konfiguraciji ZB**

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 82

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
b) DC polarizacija:

- **Tranzistor radi u konfiguraciji ZB**

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 84

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

b) DC polarizacija:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB

Ako V_E raste, tada V_{BE} ..., pa i I_B ..., a onda I_C ..., pa će V_{CE} da ... zato što je $V_{CE} = V_{CEM} = V_{CC} - I_{CM} R_C$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 85

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

c) Analiza za male signale

Tranzistor zameniti modelom
Videti predavanja iz 4. nedelje „04. Modeli poluprovodničkih komponenta (14)“

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 87

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

c) Analiza za male signale

V_{EE} i V_{CC} kratak spoj;
 C_{S1} i C_{S2} kratak spoj;

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 86

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

e) Analiza za male signale – model sa h -parametrima

Ekvivalentna šema ista kao za ZE, samo su h_e -parametari zamenjeni sa h_b -parametrima i R_E umesto R_B

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 88

Model bipolarnog tranzistora
Hibridni model – h parametri

Relacije između h-parametara konfiguracija ZB sa ZE kada se ima u vidu realna činjenica da je
 $h_{12E} \ll 1, h_{11E} h_{22E} \ll 1, h_{12B} \ll 1, h_{11B} h_{22B} \ll 1, h_{12C} \approx 1$

$h_{11B} \approx \frac{h_{11E}}{1+h_{21E}} \ll h_{11E}$	$h_{11C} = h_{11E}$	$[\Omega = ohm]$
$h_{12B} \approx \frac{h_{11E} h_{22E}}{1+h_{21E}} - h_{12E} \approx 0$	$h_{12C} = 1 - h_{12E} \approx 1$	$[V/V]$
$h_{21B} \approx -\frac{h_{21E}}{1+h_{21E}} \approx -1$	$h_{21C} = -(1+h_{21E}) \approx -h_{21E}$	$[A/A]$
$h_{22B} \approx \frac{h_{22E}}{1+h_{21E}} \approx 0$	$h_{22C} = h_{22E} \approx 0$	$[S = 1/\Omega = mho]$

21. novembar 2017. Modeli poluprovodničkih komponenta 89

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
e) Analiza za male signale – model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

Mala ulazna otpornost $R_u = \frac{v_u}{i_u} \approx h_{11b} = \frac{h_{11e}}{1+h_{21e}}$

Veliko naponsko pojačanje (kao ZE) $A_o \approx \frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C$

NE obrće fazu

Relativno velika izlazna otpornost (kao ZE) $R_i = R_C$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 91

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
e) Analiza za male signale – model sa $h_{12b}=0, h_{22b}=0$

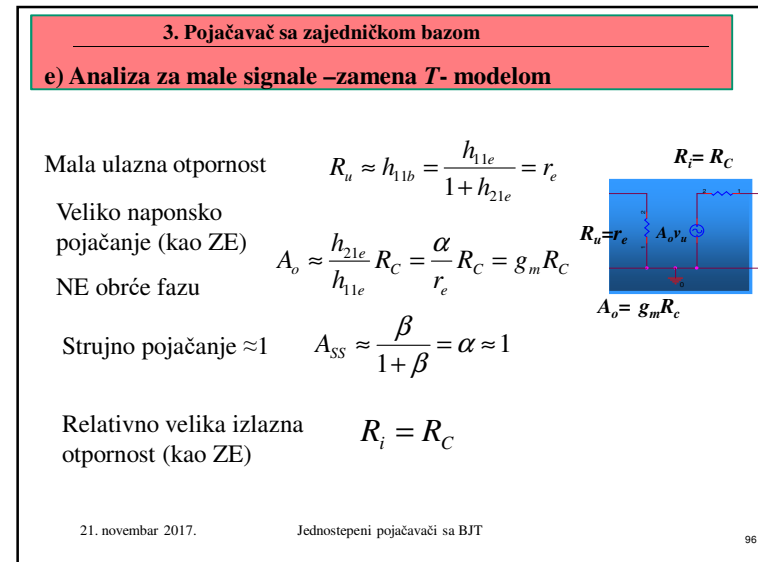
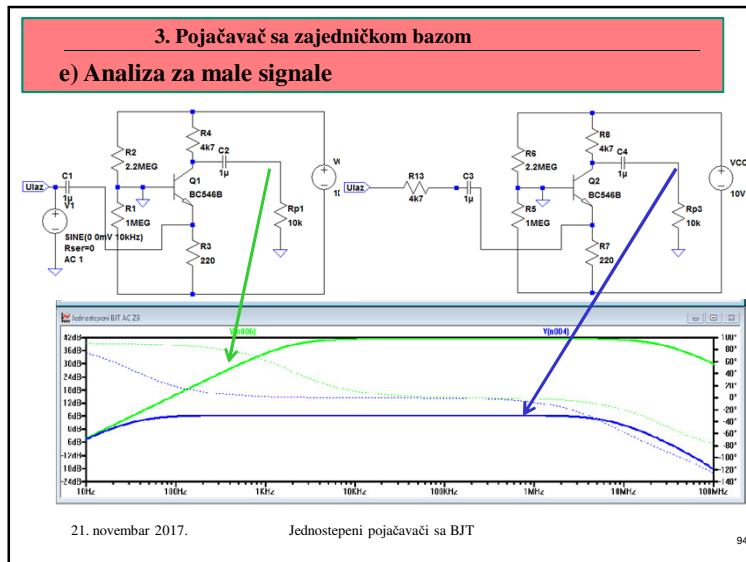
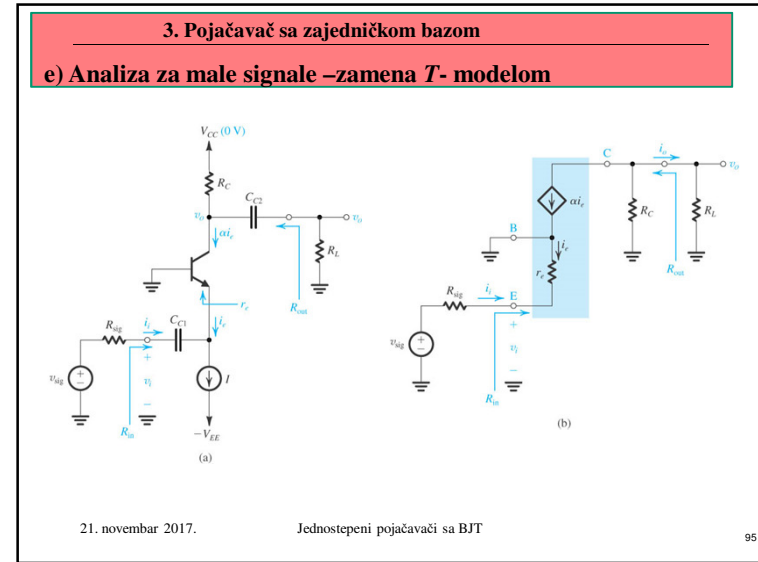
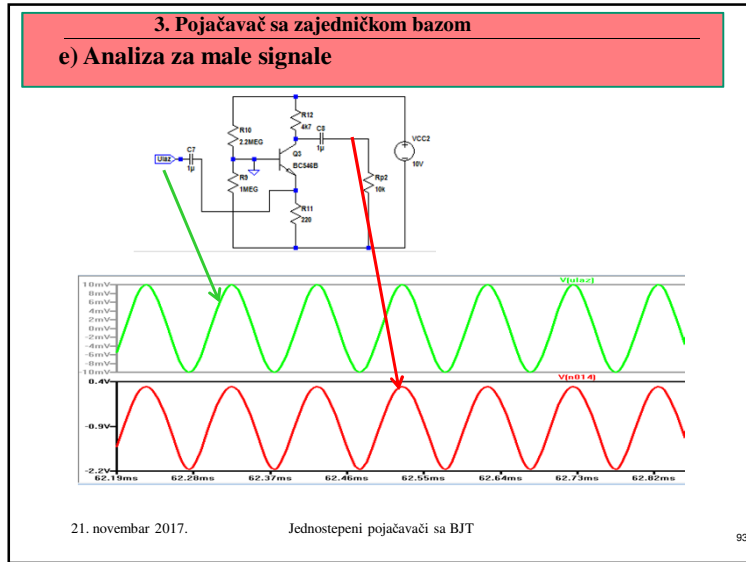
$R_u = \frac{v_u}{i_u} \approx h_{11b} = \frac{h_{11e}}{1+h_{21e}} \ll h_{11e}$ $A_o = \frac{v_i}{v_u} \Big|_{R_p \rightarrow \infty} = -\frac{h_{21b}}{h_{11b}} R_C \approx \frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C$

$R_{it} = 1/h_{22b} \rightarrow \infty$ $R_i = R_C$ za $v_u = 0, i_b = 0$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 90

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
e) Analiza za male signale

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 92



3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

Primena: Ograničena zbog veoma male ulazne otpornosti

$$A_u = \frac{v_p}{v_g} = \frac{v_p}{v_u} \frac{v_u}{v_g} = g_m R_C \frac{R_u}{R_u + R_g}$$

Neka je $R_g=2.5k$, $R_C=10k$, $r_e=25\Omega$, $g_m=40mS$, pojačanje neopterećenog je 400, a ukupno:

$$A_u = \frac{v_p}{v_g} (=) \left(40 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3\right) \frac{25}{2525} \approx 4$$

Strujni bafer – jedinično strujno pojačanje – prilagođenje male u veliku izlaznu otpornost.

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 97

Sadržaj

1. 2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom
2. 3. Pojačavač sa zajedničkom bazom
3. 4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 99

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

Domaći 7.2:

Izračunati napon na potrošaču od $R_p=8\Omega$ pojačavača sa zajedničkom bazom čiji su parametri: $R_C=5k$, $R_E=1k$, $h_{11E}=1k$, $h_{12E}=0$, $h_{21E}=100$, $h_{22E}=0$, ako je pobuden iz generatora $V_g=10mV$ i $R_g=600\Omega$.

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 98

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (25.11.2017.)	50%	20%
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%	20%
	120%	60%

Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA

Savet: Izadite na kolokvijum MNOGO JE LAKŠE!

21. novembar 2017. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 100 100

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

3. 4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

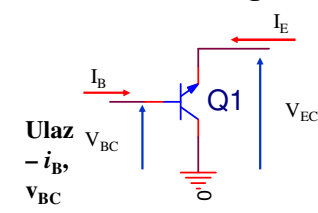
- a. Princip rada
- b. DC polarizacija
- c. Odnosi snaga
- d. Stabilnost
- e. Analiza za male signale
 - i. Ulazna otpornost
 - ii. Pojačanje
 - iii. Izlazna otpornost
 - iv. Analiza u frekvencijskom domenu

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 101

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC



Izlaz
- i_E ,
 v_{EC}

Faktor strujnog pojačanja $h_{21C} = i_e / i_b = 1 + \beta$
za $V_{EC} = \text{const.} = V_{ECM}$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 103

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

a) Princip rada:

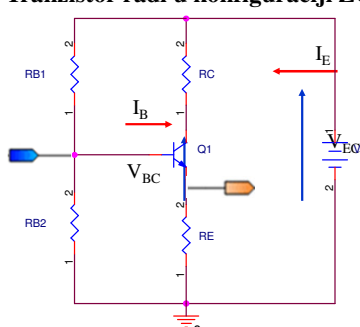
- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC
 - Ulaz - i_b , v_{BC} pobuda u baznom kolu (B-C)
 - Izlaz - i_E , v_{EC} potrošač u emiterskom kolu (E-C)
 - Faktor strujnog pojačanja i_e / i_b
za $v_i = v_{ec} = 0$; $V_{EC} = \text{const.} = V_{ECM}$
- Tranzistor radi u **aktivnom** režimu
- **Nije unilateralan $h_{12c} \approx 1$**
- Ne obrće fazu
- Pojačanje napona ≈ 1
- Pojačanje struje $\approx 1 + \beta$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 102

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC: ulaz na B, izlaz sa E



Ako V_B raste, tada I_B , onda I_C , pa će V_E da zato što je

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 104

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
b) DC polarizacija – CILJ: BJT u aktivnom režimu
 (BE direktno; BC inverzno)

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 105

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
b) DC polarizacija: Aktivni režim (BE direktno; BC inverzno)

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 107

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
b) DC polarizacija: Aktivni režim (BE direktno; BC inverzno)

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 106

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
DC polarizacija: Aktivni režim (BE direktno; BC inverzno)

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 108

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
e) Analiza za male signale

V_{EE} i V_{BB} kratak spoj;
 C_{S1} i C_{S2} kratak spoj;

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 109

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
e) Analiza za male signale model sa h -parametrima

Ekvivalentna šema ista kao za ZE, samo su h_c -parametari zamenjeni sa h_e -parametrima; R_E umesto R_C

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 111

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
e) Analiza za male signale

Tranzistor zameniti modelom
Videti predavanja iz 4. nedelje „04. Modeli poluprovodničkih komponenta (14)“

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 110

Model bipolarnog tranzistora
Hibridni model – h parametri

Relacije između h -parametara konfiguracija ZB sa ZE kada se ima u vidu realna činjenica da je
 $h_{12E} \ll 1, h_{11E} h_{22E} \ll 1, h_{12B} \ll 1, h_{11B} h_{22B} \ll 1, h_{12C} \approx 1$

$h_{11B} \approx \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}} \ll h_{11E}$	$h_{11C} = h_{11E}$	$[\Omega = ohm]$
$h_{12B} \approx \frac{h_{11E} h_{22E} - h_{12E}}{1 + h_{21E}} \approx 0$	$h_{12C} = 1 - h_{12E} \approx 1$	$[V/V]$
$h_{21B} \approx -\frac{h_{21E}}{1 + h_{21E}} \approx -1$	$h_{21C} = -(1 + h_{21E}) \approx -h_{21E}$	$[A/A]$
$h_{22B} \approx \frac{h_{22E}}{1 + h_{21E}} \approx 0$	$h_{22C} = h_{22E} \approx 0$	$[S = 1/\Omega = mho]$

21. novembar 2017. Modeli poluprovodničkih komponenta 112

Jednostepeni BJT pojačavači

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
e) Analiza za male signale model sa $h_{12c}=1, h_{22c}=0$

$R_i = ?$
 $R_u = ?$
 $A_o = ?$

$$A_{SS} = \frac{i_e}{i_b} \approx -h_{21c} = 1 + h_{21e}$$

$$R_{ut} = \frac{v_u}{i_b} = h_{11c} + h_{12c} A_{SS} R_E \approx h_{11e} + (1 + h_{21e}) R_E$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 113

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
e) Analiza za male signale model sa $h_{12c}=1, h_{22c}=0$

$R_i = h_{11e} / h_{21e}$
 $R_u \approx h_{21e} R_E$
 $A_o \approx 1$

$$R_{it} = \frac{v_e}{i_e} \approx \frac{1}{-h_{12c} h_{21c} / (R_B \parallel R_g + h_{11c})} \approx \frac{R_B \parallel R_g + h_{11c}}{(1 + h_{21e})} \approx \frac{h_{11e}}{(1 + h_{21e})}$$

$R_i = R_{it} \parallel R_E \approx R_{it} \approx \frac{h_{11e}}{h_{21e}}$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 115

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
e) Analiza za male signale model sa $h_{12c}=1, h_{22c}=0$

$R_i = ?$
 $R_u \approx h_{21e} R_E$
 $A_o \approx 1$

$$R_u = R_{ut} \parallel R_B \approx R_{ut} \approx h_{21e} R_E$$

$$A_o = \frac{v_i}{v_u} \Big|_{i_u=0} = - \frac{h_{21c}}{h_{11c} / R_E - h_{12c} h_{21c}}$$

$$A_o \approx \frac{(1 + h_{21e}) R_E}{h_{11e} + (1 + h_{21e}) R_E}$$

$$A_o < 1 \approx 1$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 114

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom
e) Analiza za male signale model sa $h_{12c}=1, h_{22c}=0$

Velika ulazna otpornost $R_u \approx h_{11e} + (1 + h_{21e}) R_E \parallel R_P$

Naponsko pojačanje ≈ 1 $A_o \approx 1$

NE obrće fazu

Strujno pojačanje $A_{SS} \approx 1 + \beta$

Mala izlazna otpornost $R_i = \frac{R_g \parallel R_B + h_{11e}}{1 + h_{11e}}$

$R_i = h_{11e} / h_{21e}$
 $R_u \approx h_{21e} R_E$
 $A_o \approx 1$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 116

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

e) Analiza za male signale zamena T- modelom

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 117

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 119

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

e) Analiza za male signale zamena T- modelom

Velika ulazna otpornost $R_u \approx +(1 + \beta)(r_e + R_p)$

Naponsko pojačanje ≈ 1 $A_o \approx 1$

NE obrće fazu

Strujno pojačanje $A_{SS} \approx 1 + \beta$

Mala izlazna otpornost $R_i = \frac{R_g \parallel R_B + r_e}{1 + \beta}$

$R_i = h_{11e} / h_{21e}$

$R_u \approx \beta R_p$

$A_o v_i$

$A_o \approx I$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 118

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 120

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



Za vežbu 7.2:

Za pojačavač sa prethodne slike, kod koga je $R_g=10k$, $R_p=1k$, $I=5mA$, $R_B=40k$, $\beta=100$ i $V_A=100V$, naći R_{ut} , R_u , A_o , A i R_i . Kolika je maksimalna vrednost amplitude izlaznog prostoperiodičnog signala pri kojoj tranzistor neće ući u oblast zakočenja? Koliki se napon na izlazu očekuje ako je amplituda napona v_{be} ograničena na 10mV. Koliko će biti naponsko pojačanje kada je $R_p=2k$ i $R_p=500\Omega$?

Rešenje:

96.7k; 28.3k; 0.735 V/V; 0.8 V/V, 84 Ω ; 5 V; 1.9 V; 0.768 V/V; 0.685 V/V.

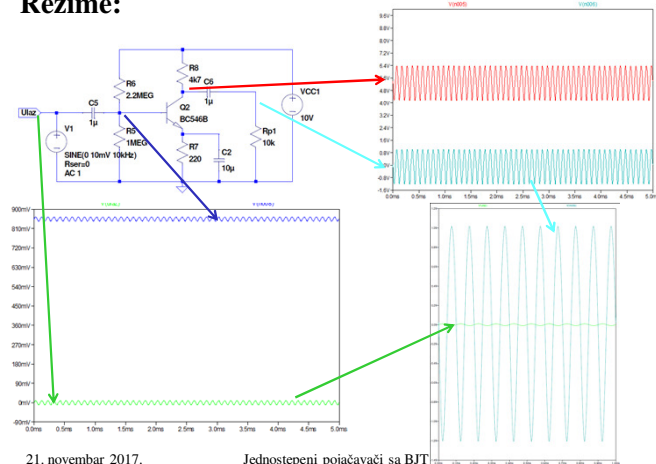
21. novembar 2017.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

121

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Rezime:



123

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

Primena:

Kao bafer između naponskog generatora (pojačavača) sa velikom unutrašnjom otpornošću i potrošača sa malom otpornošću.

Obično izlazni stepen u pojačavačkom lancu koji se vezuje za potrošač male otpornosti.

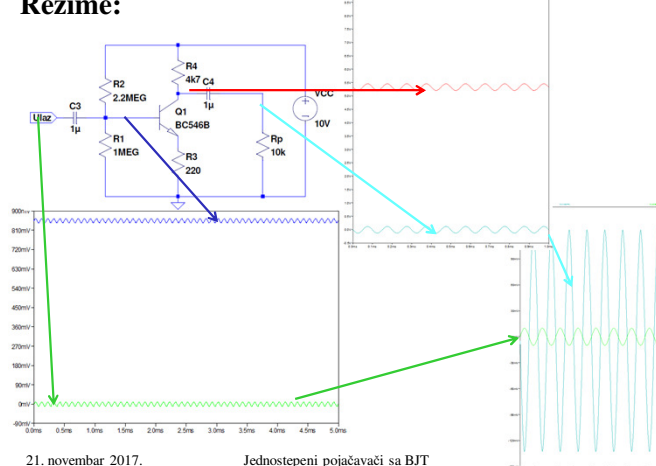
21. novembar 2017.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

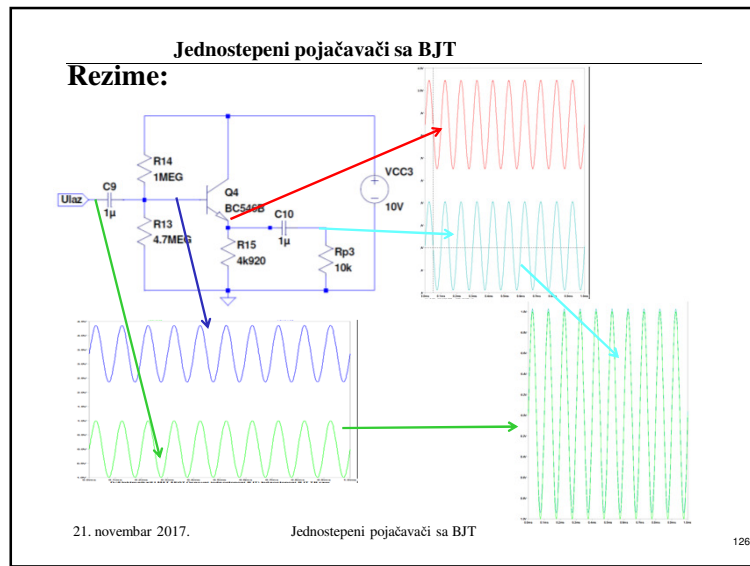
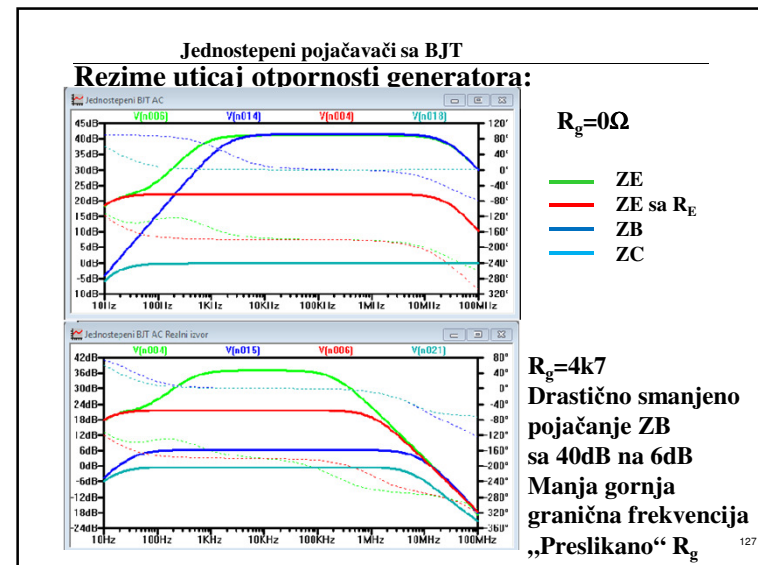
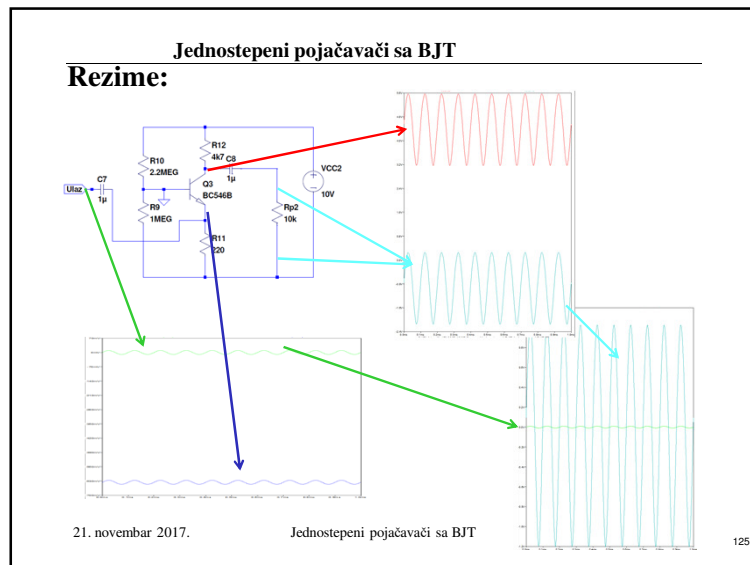
122

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Rezime:



Jednostepeni BJT pojačavači



4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

Domaći 7.3:
 Izračunati napon na potrošaču od $R_p = 8\Omega$ ako je pobuđen iz generatora $V_g = 10mV$ i $R_g = 600\Omega$ u slučaju da je povezan:

a) Direktno;

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 128

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

Domaći 7.3:
 Izračunati napon na potrošaču od $R_p=8\Omega$ ako je pobuden iz generatora $V_g=10mV$ i $R_g=600\Omega$ u slučaju da je povezan:
 b) preko pojačavača sa zajedničkim kolektorom čiji su parametri:
 $R_E=5k$, $R_B=100k$, $h_{11E}=1k$, $h_{12E}=0$, $h_{21E}=100$, $h_{22E}=0$;

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 129

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

Rezime:
1. Zajednički emitor

$$R_u = R_B \parallel r_x = R_B \parallel (1 + \beta)r_e$$

$$A = -\frac{h_{21e}(R_C \parallel R_p)}{h_{11e}}$$

$$A = -g_m(r_o \parallel R_C \parallel R_p) \approx -g_m(R_C \parallel R_p)$$

$$R_i = r_o \parallel R_C \approx R_C$$

$$A_u = -\frac{R_B \parallel r_x}{R_B \parallel r_x + R_g} g_m(R_C \parallel R_p)$$

$$A_u \approx -\beta \frac{(R_C \parallel R_p)}{r_x + R_g}$$

$$A_{SS} = -g_m R_u \approx -\beta$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 131

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

Domaći 7.3:
 Izračunati napon na potrošaču od $R_p=8\Omega$ ako je pobuden iz generatora $V_g=10mV$ i $R_g=600\Omega$ u slučaju da je povezan:
 c) preko kaskadne veze pojačavača sa zajedničkim emitorom iz domaćeg zadatka 7.1 (ulaz vezan za mikrofoni) i pojačavača sa zajedničkim kolektorom iz tačke b) (izlaz vezan za zvučnik, R_p).

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 130

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Rezime:
1.a Zajednički emitor sa otpornikom u emitoru

$$R_u = R_B \parallel (1 + \beta)(r_e + R_E)$$

$$A \approx -g_m \frac{(R_C \parallel R_p)}{1 + g_m R_E}$$

$$R_i \approx R_C$$

$$A_u \approx -\beta \frac{(R_C \parallel R_p)}{R_g + (1 + \beta)(r_e + R_E)}$$

21. novembar 2017. Jednostepeni pojačavači sa BJT 132

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Rezime:

2. Zajednička baza

$$R_u = r_e$$

$$A = g_m (R_C \parallel R_p)$$

$$R_i \approx R_C$$

$$A_u \approx \alpha \frac{(R_C \parallel R_p)}{R_g + r_e}$$

$$A_{SS} \approx \alpha$$

$$R_u = r_e$$

$$A = g_m (R_C \parallel R_p)$$

$$R_i \approx R_C$$

$$A_u \approx \alpha \frac{(R_C \parallel R_p)}{R_g + r_e}$$

$$A_{SS} \approx \alpha$$

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT
133

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Rezime:

- **Tranzistori rade u aktivnom režimu:**
 - BE direktno; BC inverzno;
 - $I_c = I_s \exp(v_{be}/V_T)$; $I_b = I_c / \beta$
 - $\beta = \alpha / (1 - \alpha)$; $\alpha = \beta / (1 + \beta)$
- **Za male signale**
 tranzistor se ponaša kao naponom kontrolisani strujni izvor sa $g_m = I_c / V_T$.
 Otpornost između B-E sa strane baze $r_\pi = \beta / g_m$ [kΩ]
- **Pri DC polarizaciji važno je da I_c što manje zavisi od β .**

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT
135

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Rezime:

3. Zajednički kolektor

$$R_u \approx R_B \parallel (1 + \beta)(r_e + R_p)$$

$$A = \frac{R_p}{R_p + r_e} \ll 1$$

$$R_i \approx r_e + \frac{R_g \parallel R_B}{1 + \beta}$$

$$A_u \approx \frac{R_B}{R_g + R_B} \frac{R_p}{\frac{R_g \parallel R_B}{1 + \beta} + r_e + R_p}$$

$$A_{SS} \approx 1 + \beta$$

$$R_u \approx R_B \parallel (1 + \beta)(r_e + R_p)$$

$$A = \frac{R_p}{R_p + r_e} \ll 1$$

$$R_i \approx r_e + \frac{R_g \parallel R_B}{1 + \beta}$$

$$A_u \approx \frac{R_B}{R_g + R_B} \frac{R_p}{\frac{R_g \parallel R_B}{1 + \beta} + r_e + R_p}$$

$$A_{SS} \approx 1 + \beta$$

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT
134

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Rezime:

- **Konfiguracija sa zajedničkim emitorom:**
 - E je na masi za naizmenični signal;
 - Ulazni signal se dovodi na B;
 - Izlazni signal uzima se sa C;
 - Obrće fazu;
 - Veliko pojačanje napona;
 - Relativno velika ulazna otpornost;
 - Relativno velika izlazna otpornost;
 - Otpornost R_E povećava ulaznu otpornost na račun smanjenja naponskog pojačanja

21. novembar 2017.
Jednostepeni pojačavači sa BJT
136

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Rezime:

- **Konfiguracija sa zajedničkom bazom:**
 - B je na masi za naizmenični signal;**
 - Ulazni signal se dovodi na E;**
 - Izlazni signal uzima se sa C;**
 - Ne obrće fazu;**
 - Veliko pojačanje napona;**
 - Veoma mala ulazna otpornost;**
 - Relativno velika izlazna otpornost (strujni bafer)**

21. novembar 2017.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

137

Jednostepeni pojačavači sa BJT



Šta smo naučili?

- **Uporediti pojačavače sa ZE, ZB i ZC sa stanovišta naponskog pojačanja, ulazne otpornosti i izlazne otpornosti?**
 - **Električna šema, princip rada pojačavača sa ZE i ekvivalentno kolo za male signale na srednjim frekvencijama.**
 - **Uticaoj otpornika u R_E na karakteristike pojačavača sa ZE.**
 - **Električna šema, princip rada pojačavača sa ZC i ekvivalentno kolo za male signale.**

Na web adresi <http://leda.elfak.ni.ac.rs>

> EDUCATION > ELEKTRONIKA

slajdovi u pdf formatu

21. novembar 2017.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

139

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Rezime:

- **Konfiguracija sa zajedničkim kolektorom:**
 - C je na masi za naizmenični signal;**
 - Ulazni signal se dovodi na B;**
 - Izlazni signal uzima se sa E;**
 - Ne obrće fazu;**
 - Pojačanje napona ≈ 1**
 - Velika ulazna otpornost;**
 - Mala izlazna otpornost (naponski bafer)**

21. novembar 2017.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

138

Jednostepeni pojačavači sa BJT



Ispitna pitanja?

1. U polju izlaznih karakteristika BJT u konfiguraciji pojačavača sa ZE nacrtati statičku radnu pravu i objasniti uticaj promene R_C na naponsko pojačanje. Nacrtati električnu šemu i navesti potrebne izraze.
2. Ekvivalentno kolo pojačavača sa ZE na srednjim frekvencijama (SF), izvesti izraze za pojačanje, ulaznu i izlaznu otpornost.
3. Frekvencijske karakteristike pojačavača sa ZE (objasniti zašto se smanjuje pojačanje na NF i VF).
4. Električna šema, karakteristike i primena pojačavača sa ZB.
5. Ekvivalentno kolo pojačavača sa ZB na SF, izvesti izraze za pojačanje, ulaznu i izlaznu otpornost.
6. Električna šema, karakteristike i primena pojačavača sa ZC.
7. Ekvivalentno kolo pojačavača sa ZC na SF, izvesti izraze za pojačanje, ulaznu i izlaznu otpornost.
8. Objasniti fazne stavove izlaznog i ulaznog napona kod pojačavača sa ZE, ZB i ZC.

21. novembar 2017.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

140

Sledećeg časa

Diferencijalni i višestepeni pojačavači

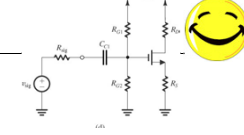
21. novembar 2017.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

141

Rešenje: Domaći 6.1

Pojačavač sa zajedničkim sorsom



U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1V$, $\mu_n C_{ox} 'W/L=1mA/V^2$, $\lambda=0$. Poznato je $V_{DD}=15V$.

- b) Izračunati za koliko će se promeniti I_D ukoliko se tranzistor zameni drugim kod koga je $V_t=1.5V$. ($I_D = 0.45mA$, $\Delta I_D = -0.05mA$, $\Delta I_D / I_D = -10%$)

Za vrednosti elemenata kola izračunate pod a), V_G je konstantno=7V, a V_{GS} i I_D se menjaju:

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} ' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 = AV_{OS}^2$$

$$V_{OS} = V_{GS} - V_t \Rightarrow V_{GS} = V_{OS} + V_t$$

$$V_G = V_{GS} + R_s I_D = V_{OS} + V_t + R_s AV_{OS}^2$$

Zamenom brojnih vrednosti za $V_t=1.5V$, $V_G = 7V$, R_{mA} , $\Delta R_s=10k$ i $A=0.5mA/V^2$, dobija se kvadratna jednačina po V_{OS} :

$$5V_{OS}^2 + V_{OS} - 5.5 = 0 \Rightarrow V_{OS} = 0.953V \Rightarrow I_D = AV_{OS}^2 = 0,4546mA$$

Usvajanjem približne vrednosti $I_D = 0.45mA$, dobija se $\Delta I_D = -0.05mA$, odnosno $\Delta I_D / I_D = -10%$

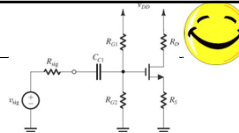
21. novembar 2017.

Jednostepeni BJT pojačavači

143

Rešenje: Domaći 6.1

Pojačavač sa zajedničkim sorsom



U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1V$, $\mu_n C_{ox} 'W/L=1mA/V^2$, $\lambda=0$. Poznato je $V_{DD}=15V$.

- a) Odrediti vrednosti ostalih elemenata kola pod uslovom da je $I_D=0.5mA$ i da su padovi napona na R_D i R_S isti i iznose $V_{DD}/3$. ($R_D=R_S=10k$, $R_{G1}=8M$, $R_{G2}=7M$)

$$V_{R_D} = V_{R_S} = V_{DD}/3 = 5V$$

$$R_D = \frac{V_{R_D}}{I_D} = \frac{V_{DD}/3}{I_D} = \frac{5V}{0.5mA} = 10k\Omega$$

$$R_S = \frac{V_{R_S}}{I_D} = \frac{V_{DD}/3}{I_D} = \frac{5V}{0.5mA} = 10k\Omega$$

R_{G1} i R_{G2} moraju da obezbede potreban napon na gejtu V_G . Određuju se iz uslova

$$V_G = [R_{G2}/(R_{G1} + R_{G2})] V_{DD}$$

Zato prvo treba odrediti V_G , odnosno V_{GS} .

R_{G1} i R_{G2} moraju da imaju veliku vrednost da ne bi umanjivali ulaznu otpornost pojačavača. Bitan je njihov odnos, koji obezbeđuje željeni napon. Zato se jedan usvoji a drugi računa.

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} ' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{GS} - V_t = \sqrt{\frac{I_D}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} ' \frac{W}{L}}} = \sqrt{\frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{0.5 \cdot 10^{-3}}} = 1$$

$$V_{GS} = V_t + 1V = 2V$$

$$V_{R_S} = V_S = V_{DD}/3 = 5V$$

$$V_G = V_S + V_{GS} = V_{DD}/3 + V_{GS}$$

$$V_G = 5 + 2 = 7V$$

Da bi $V_G = [R_{G2}/(R_{G1} + R_{G2})] V_{DD}$ dalo 7V za $V_{DD}=15V$, zgodno je da njihov zbir bude 15, a onda sledi da je $R_{G1}=8M$ i $R_{G2}=7M$.

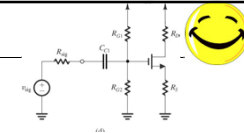
21. novembar 2017.

Jednostepeni BJT pojačavači

142

Rešenje: Domaći 6.1

Pojačavač sa zajedničkim sorsom



U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1V$, $\mu_n C_{ox} 'W/L=1mA/V^2$, $\lambda=0$. Poznato je $V_{DD}=15V$.

- c) Ponoviti postupak pod a) i b) u slučaju da se zadrži ista vrednost za I_D i R_D a da je $R_S = 0$. ($R_{G1}=13M$, $R_{G2}=2M$, $\Delta I_D = -0.375mA$, $\Delta I_D / I_D = -75%$)

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} ' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$V_{GS} - V_t = \sqrt{\frac{I_D}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} ' \frac{W}{L}}} = \sqrt{\frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{0.5 \cdot 10^{-3}}} = 1$$

$$V_{GS} = V_t + 1V = 2V$$

Da bi $V_G = [R_{G2}/(R_{G1} + R_{G2})] V_{DD}$ dalo 2V za $V_{DD}=15V$, zgodno je da njihov zbir bude 15, a onda sledi da je $R_{G1}=13M$ i $R_{G2}=2M$.

S obzirom da je $R_S = 0$, V_{GS} ne zavisi od V_t , tako da je:

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} ' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2$$

$$I_D = \frac{1}{2} \cdot 10^{-3} (2 - 1.5)^2 = 0,125mA$$

$$\Delta I_D = (0,5 - 0,125)mA = -0,375mA$$

$$\Delta I_D / I_D = -(0,375/0,5) = 0,75$$

Znači da je osetljivost sa $\Delta I_D / I_D = -10%$ porasla na $\Delta I_D / I_D = -75%$

21. novembar 2017.

Jednostepeni BJT pojačavači

144

Rešenje: Domaći 6.1

Pojačavač sa zajedničkim sorsom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1V$, $\mu_n C_{ox}' W/L=1mA/V^2$, $\lambda=0$. Poznato je $V_{DD}=15V$.

- d) Izračunati naponsko pojačanje ulaznu i izlaznu otpornost u slučaju a) i c). ($A_v=-10/11$, $R_{u1}=3.73M$, $R_{ic}=10k$, $A_c=10$, $R_{uc}=1.73M$, $R_{ic}=10k$)

$$A_o = -\frac{g_m R_D}{1 + g_m R_S}$$

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_t)} = \frac{2 \cdot 0,50 \cdot 10^{-3}}{1} = 1mA/V$$

$$A_o = -\frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3}{1 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3} = -\frac{10}{11} = 0,91$$

$$R_u = \frac{R_{G1} R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = \frac{8 \cdot 10^6 \cdot 7 \cdot 10^6}{8 \cdot 10^6 + 7 \cdot 10^6}$$

$$R_u = \frac{56 \cdot 10^{12}}{15 \cdot 10^6} = 3,73M\Omega$$

$$R_i = R_D = 10k\Omega$$

$$A_o = -g_m R_D$$

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_t)} = \frac{0,250 \cdot 10^{-3}}{0,5} = 0,125mA/V$$

$$A_o = -0,125 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3 = 1,25$$

$$R_u = \frac{R_{G1} R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} = \frac{13 \cdot 10^6 \cdot 2 \cdot 10^6}{13 \cdot 10^6 + 2 \cdot 10^6}$$

$$R_u = \frac{26 \cdot 10^{12}}{15 \cdot 10^6} = 1,73M\Omega$$

$$R_i = R_D = 10k\Omega$$

Jednostepeni BJT pojačavači

145

Rešenje: Domaći 6.2

Pojačavač sa zajedničkim gejtom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1.5V$, $\mu_n C_{ox}' W/L=2A=1mA/V^2$, $V_A=75V$.

- Poznato je $V_{DD}=V_{SS}=10V$, $I_D=0.5mA$, $R_D=15k$.

- b) Odrediti A_o , R_p , R_i i A_v ukoliko je $R_p=15k$, $R_g=50\Omega$. ($A_o=15V/V$, $R_u=1k$, $R_i=15k$, $A_v=7.5V/V$)

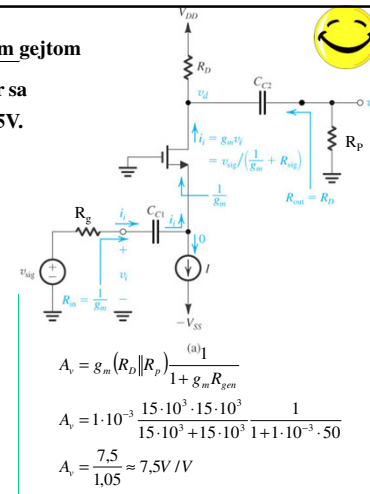
$$A_o = g_m R_D$$

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_t)} = \frac{2 \cdot 0,50 \cdot 10^{-3}}{1} = 1mA/V$$

$$A_o = g_m R_D = 1 \cdot 10^{-3} \cdot 15 \cdot 10^3 = 15V/V$$

$$R_u = \frac{1}{g_m} = \frac{1}{1 \cdot 10^{-3}} = 1k\Omega$$

$$R_i = R_D = 15k\Omega$$



Jednostepeni BJT pojačavači

147

Rešenje: Domaći 6.2

Pojačavač sa zajedničkim gejtom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1.5V$, $\mu_n C_{ox}' W/L=2A=1mA/V^2$, $V_A=75V$.

Poznato je $V_{DD}=V_{SS}=10V$, $I_D=0.5mA$, $R_D=15k$.

- a) Odrediti vrednosti jednosmernih napona V_D i V_S . ($V_D=2.5V$, $V_S=-2.5V$)

$$V_D = V_{DD} - R_D I_D = 10 - 15 \cdot 10^3 \cdot 0,5 \cdot 10^{-3} = 2,5V$$

$$V_S = V_G - V_{GS} = -V_{GS}$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox}' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 = V_{OV}^2$$

$$V_{OV} = \sqrt{\frac{I_D}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox}' \frac{W}{L}}} = \sqrt{\frac{0,5 \cdot 10^{-3}}{0,5 \cdot 10^{-3}}} = 1$$

$$V_{GS} = V_{OV} + V_t = 1 + 1,5 = 2,5V \Rightarrow V_S = -2,5V$$

21. novembar 2017.

Jednostepeni BJT pojačavači

146

Rešenje: Domaći 6.2

Pojačavač sa zajedničkim gejtom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1.5V$, $\mu_n C_{ox}' W/L=2A=1mA/V^2$, $V_A=75V$.

Poznato je $V_{DD}=V_{SS}=10V$, $I_D=0.5mA$, $R_D=15k$.

- c) Odrediti ukupno naponsko pojačanje ukoliko je $R_g=1k$, $10k$, $100k$.

$$A_v = g_m (R_D \parallel R_p) \frac{1}{1 + g_m R_{gen}} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{15 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^3} \frac{1}{1 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot R_{gen}} = \frac{7,5}{1 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot R_{gen}}$$

R_{gen} [kΩ]	1	10	100
A_v [V/V]	3.75	0.68	0.07

21. novembar 2017.

Jednostepeni BJT pojačavači

148

Rešenje: Domaći 6.3

Pojačavač sa zajedničkim drejnom

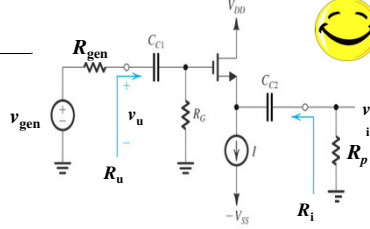
U kolu sa slike

upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1.5V$,

$V_A=75V$, $\mu_n C_{ox} 'W/L=2A=1mA/V^2$.

Poznato je $V_{DD}=V_{SS}=10V$, $I_D=0.5mA$,

$R_G=4.7M$, $R_P=15k$.



a) Odrediti vrednosti jednosmernih napona V_G i V_S .

$$V_G = 0$$

$$V_{GS} = V_G - V_S = 0 - V_S \Rightarrow V_S = -V_{GS}$$

$$I_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} ' \frac{W}{L} (V_{GS} - V_t)^2 = V_{OV}^2$$

$$V_{OV} = \sqrt{\frac{I_D}{\frac{1}{2} \mu_n C_{ox} ' \frac{W}{L}}} = \sqrt{\frac{0.5 \cdot 10^{-3}}{0.5 \cdot 10^{-3}}} = 1$$

$$V_{GS} = V_{OV} + V_t = 1 + 1.5 = 2.5V \Rightarrow V_S = -2.5V$$

21. novembar 2017.

Jednostepeni BJT pojačavači

149

Rešenje: Domaći 6.3

Pojačavač sa zajedničkim drejnom

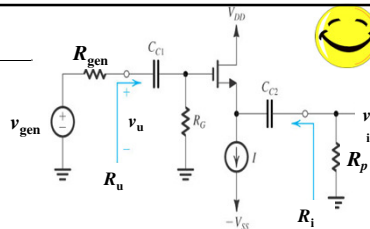
U kolu sa slike

upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1.5V$,

$V_A=75V$, $\mu_n C_{ox} 'W/L=2A=1mA/V^2$.

Poznato je $V_{DD}=V_{SS}=10V$, $I_D=0.5mA$,

$R_G=4.7M$, $R_P=15k$.



b) Odrediti A_o , R_o , R_i i A_v ukoliko je $R_{gen}=1M\Omega$.

$$A_o = \frac{g_m r_o}{1 + g_m r_o}$$

$$g_m = \frac{2I_D}{V_{OV}} = \frac{2 \cdot 0.5mA}{1V} = 1mS$$

$$r_o = \frac{V_A}{I_D} = \frac{75V}{0.5mA} = 150k\Omega$$

$$A_o = \frac{g_m r_o}{1 + g_m r_o} = \frac{10^{-3} \cdot 150 \cdot 10^3}{1 + 10^{-3} \cdot 150 \cdot 10^3} = \frac{150}{151} = 0.993V/V$$

21. novembar 2017.

Jednostepeni BJT pojačavači

150

$$R_u = R_G = 4.7M\Omega$$

$$R_i = \frac{r_o}{1 + g_m r_o} = \frac{150k\Omega}{151} = 0.993k\Omega \approx 1k\Omega$$

$$A_v = \frac{R_p}{R_p + R_i} \cdot A_o \cdot \frac{R_u}{R_u + R_{gen}}$$

$$A_v = \frac{15k\Omega}{15k\Omega + 1k\Omega} \cdot 0.993 \cdot \frac{4.7M\Omega}{4.7M\Omega + 1M\Omega}$$

$$A_v = \frac{15}{16} \cdot 0.993 \cdot \frac{4.7}{5.7} = 0.768V/V$$