

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

	U JANUARU	OSTALO
Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe)	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (26.11.2016.)	50%	20%
Kolokvijum II (21.01.2017.)	50%	20%

120% 60%



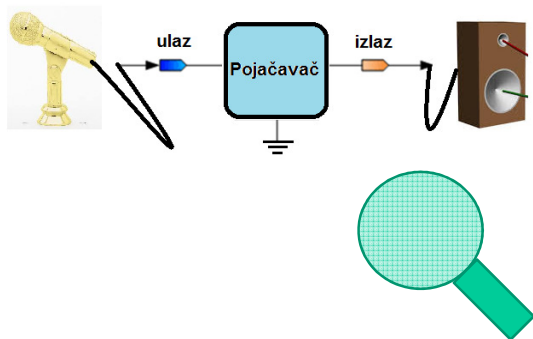
Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA

Savet: Izađite na kolokvijum MNOOOOGO JE LAKŠE!

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Osnovi elektronike

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



Osnovne osobine MOS tranzistora

Sadržaj:

1. Uvod

Poređenje MOSFET – BJT

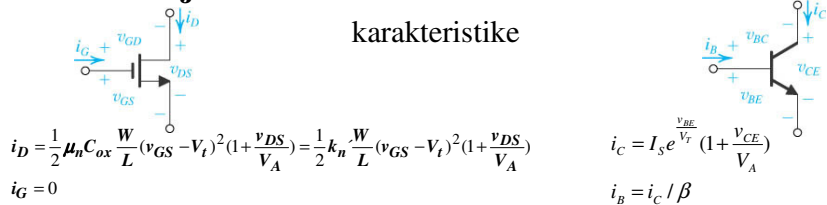
2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

Poređenje MOSFET – BJT:

karakteristike

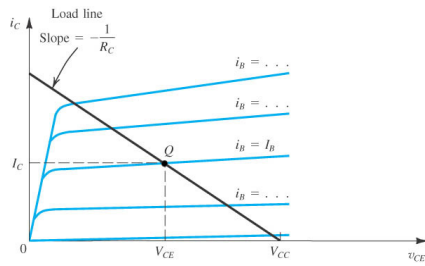
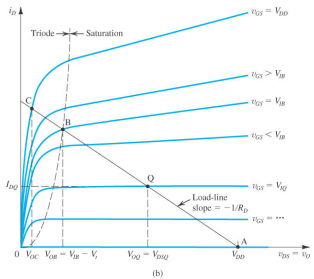


$$i_D = \frac{1}{2} \mu_n C_{ox} \frac{W}{L} (v_{GS} - V_T)^2 \left(1 + \frac{v_{DS}}{V_A}\right) = \frac{1}{2} k_n \frac{W}{L} (v_{GS} - V_T)^2 \left(1 + \frac{v_{DS}}{V_A}\right)$$

$$i_G = 0$$

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

$$i_B = i_C / \beta$$



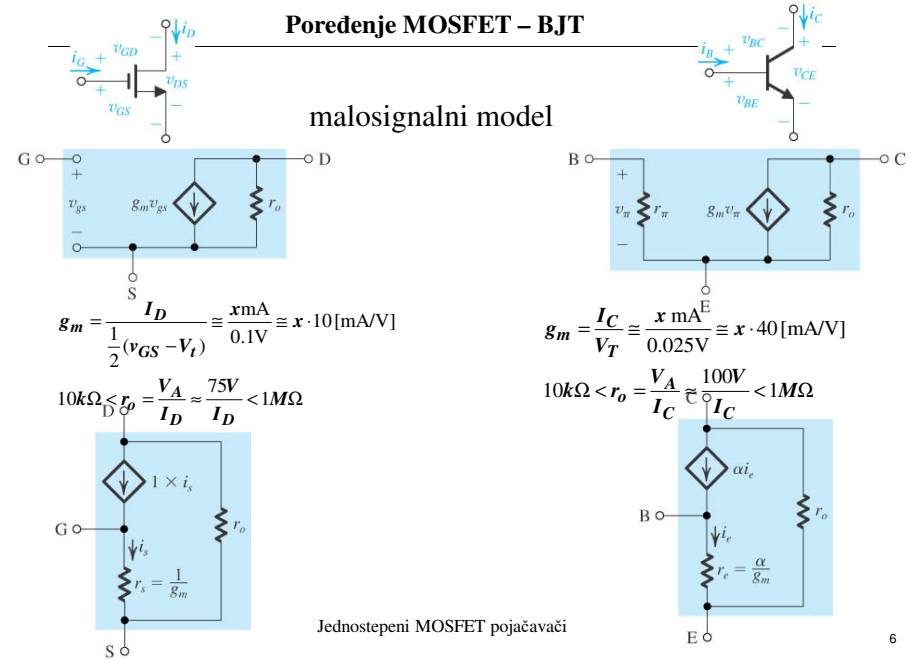
15. novembar 2016.

Jednostepeni MOSFET pojačavači

5

Poređenje MOSFET – BJT

malosignalni model



$$g_m = \frac{I_D}{\frac{1}{2}(v_{GS} - V_T)} \approx \frac{x \text{ mA}}{0.1 \text{ V}} \approx x \cdot 10 [\text{mA/V}]$$

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

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

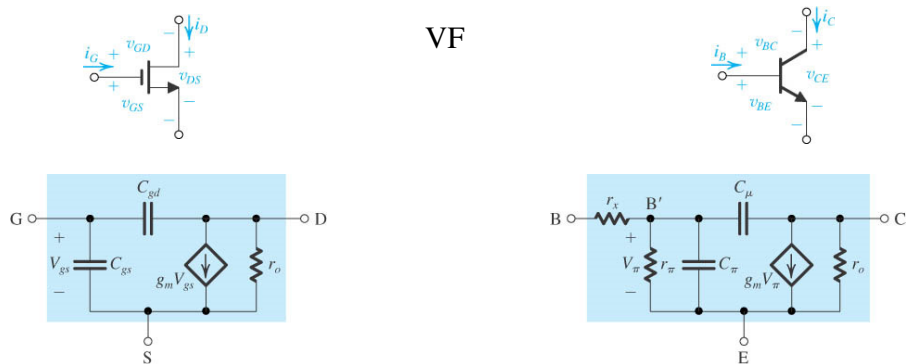
$$10 \text{ k}\Omega < r_o = \frac{V_A}{I_C} \approx \frac{100 \text{ V}}{I_C} < 1 \text{ M}\Omega$$

Jednostepeni MOSFET pojačavači

6

Poređenje MOSFET – BJT

VF



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

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

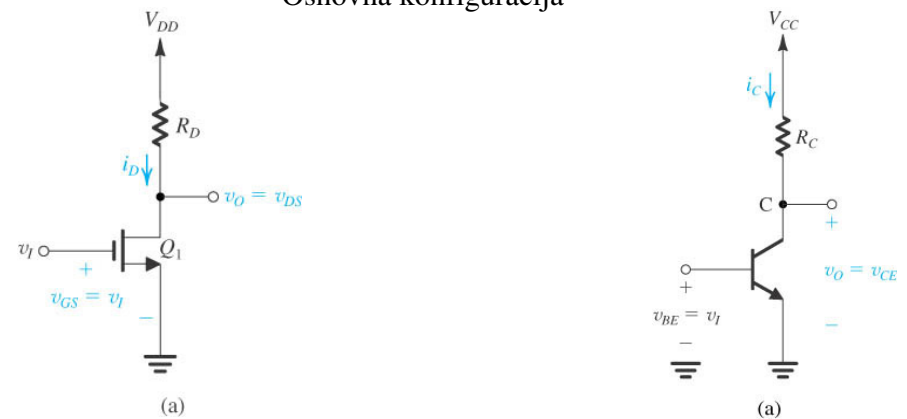
15. novembar 2016.

Jednostepeni MOSFET pojačavači

7

Poređenje MOSFET – BJT

Osnovna konfiguracija

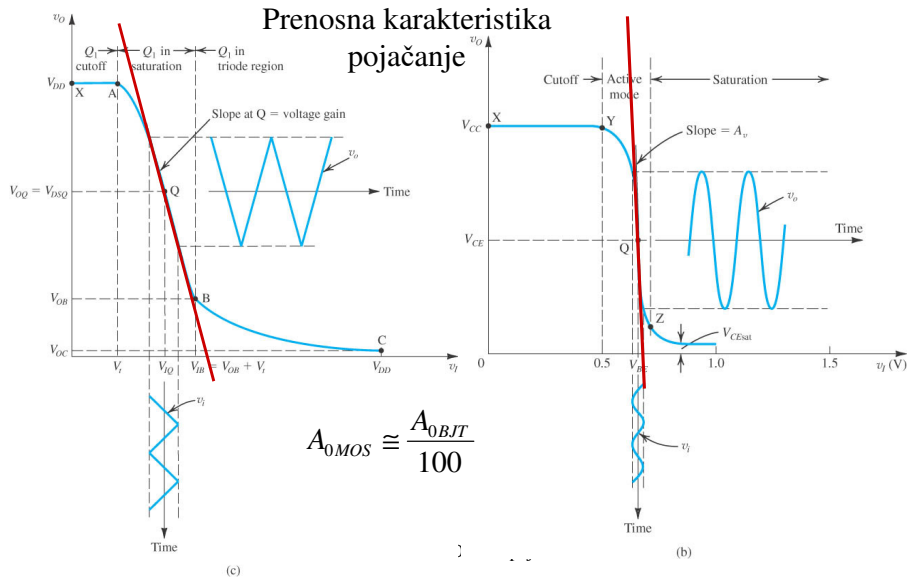


15. novembar 2016.

Jednostepeni MOSFET pojačavači

8

Poređenje MOSFET – BJT



9

Sadržaj

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)
 - Pojačanje
 - Ulazna otpornost
 - Izlazna otpornost
 - Ponašanje na niskim frekvencijama, NF
 - Ponašanje na visokim frekvencijama, VF

15. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

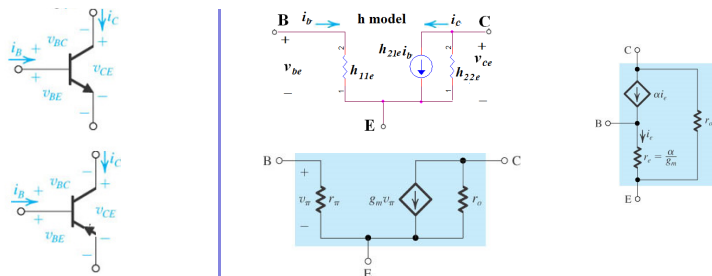
10

Važi za SVE konfiguracije

Postupak AC analize (za male signale):

A) Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale (kako mali signali „vide“ pojedine komponente) i to tako što:

a) Zamenimo sve poluprovodničke komponente dinamičkim modelima



17. novembar 2015.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

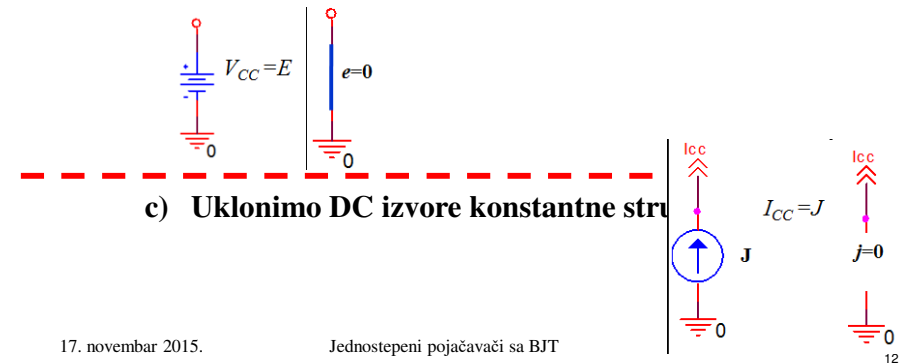
11

Važi za SVE konfiguracije

Postupak AC analize (za male signale):

A) Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale (kako mali signali „vide“ pojedine komponente) i to tako što:

b) Kratkospojimo DC izvore konstantnog napona



17. novembar 2015.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

12

Postupak AC analize (za male signale):

A) Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale (kako mali signali „vide“ pojedine komponente) i to tako što:

d) Svi elementi neophodni za DC polarizaciju tranzistora ulaze u kolo pojačavača

B) Odredimo iz ekvivalentne šeme pojačavača

Naponsko pojačanje

Ulaznu otpornost

Izlaznu otpornost

Postupak AC analize (za male signale):

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

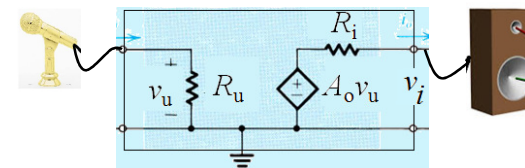
B) Odredimo iz ekvivalentne šeme pojačavača

Naponsko pojačanje

Ulaznu otpornost

Izlaznu otpornost

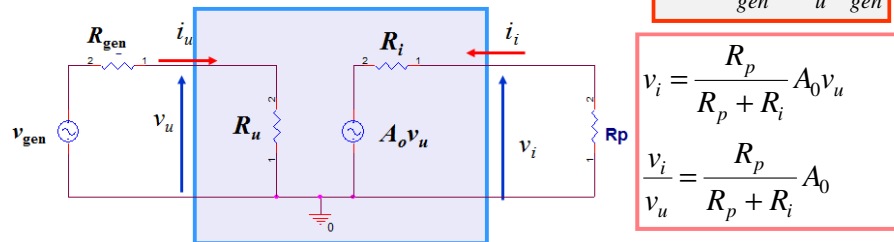
C) Pojačavač u kolu zamenimo modelom



Analiza za male signam

D) Odredimo ukupno pojačanje

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



$$v_i = \frac{R_p}{R_p + R_i} A_0 v_u$$

$$\frac{v_i}{v_u} = \frac{R_p}{R_p + R_i} A_0$$

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

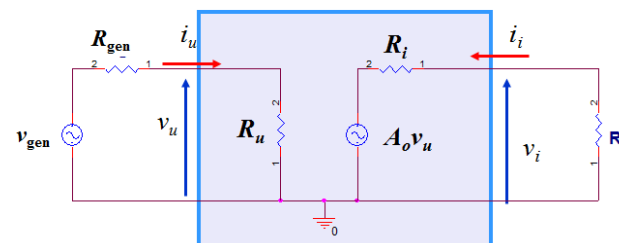
$$\frac{v_u}{v_{gen}} = \frac{R_u}{R_u + R_{gen}}$$

$$A_u = \frac{v_i}{v_u} \frac{v_u}{v_{gen}} = \left(\frac{R_p}{R_p + R_i} A_0 \right) \left(\frac{R_u}{R_u + R_{gen}} \right)$$

Analiza za male signam

Odredimo ukupno pojačanje

$$A_u = \frac{v_i}{v_{gen}} \frac{v_u}{v_{gen}} = \left(\frac{R_p}{R_p + R_i} A_0 \right) \left(\frac{R_u}{R_u + R_{gen}} \right)$$



Analiza se nastavlja zamenom izraza za A_0 , R_u i R_i za svaku konkretnu konfiguraciju: ZE, ZB, ZC

1. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

1. Princip rada
2. DC polarizacija
3. Odnosi snaga
4. Stabilnost
5. Analiza za male signale
 - i. Ulazna otpornost
 - ii. Pojaćanje
 - iii. Izlazna otpornost
 - iv. Analiza u frekvencijskom domenu

1) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZE

Ulaz – i_B , v_{BE}

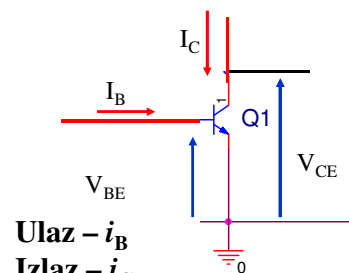
Izlaz – i_C , v_{CE}

Faktor strujnog pojaćanja $h_{21E} = i_c / i_b$
za $V_{CE} = \text{const.} = V_{CEM}$

- Tranzistor radi u **aktivnom** režimu
- Pojaćava male signale (u okolini radne taćke)
- Obrće fazu
- Suštinski - pojaćavač struje (strujno pojaćanje ne zavisi od R_p)

1) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZE



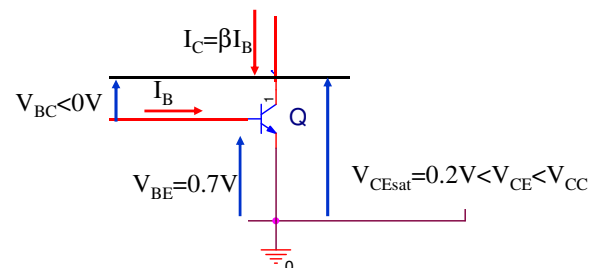
Ulaz – i_B

Izlaz – i_C

Faktor strujnog pojaćanja $h_{21E} = i_c / i_b$
za $V_{CE} = \text{const.} = V_{CEM}$

1) Princip rada:

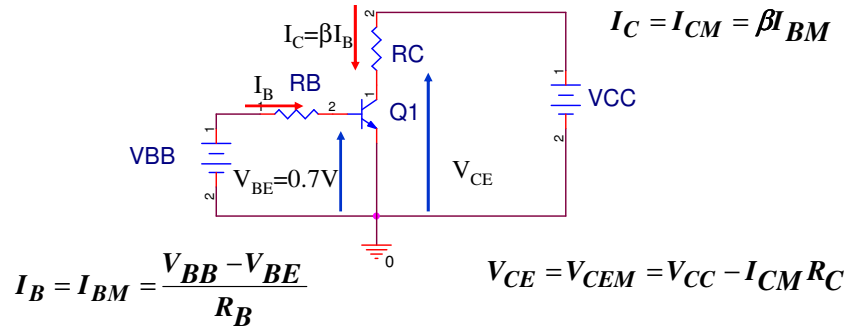
- Tranzistor radi u aktivnom režimu:
 - Emitorski spoj direktno polarisan
 - Kolektorski spoj inverzno polarisan



Neophodna pretpolarizacija – jednosmerna (mirna) radna taćka

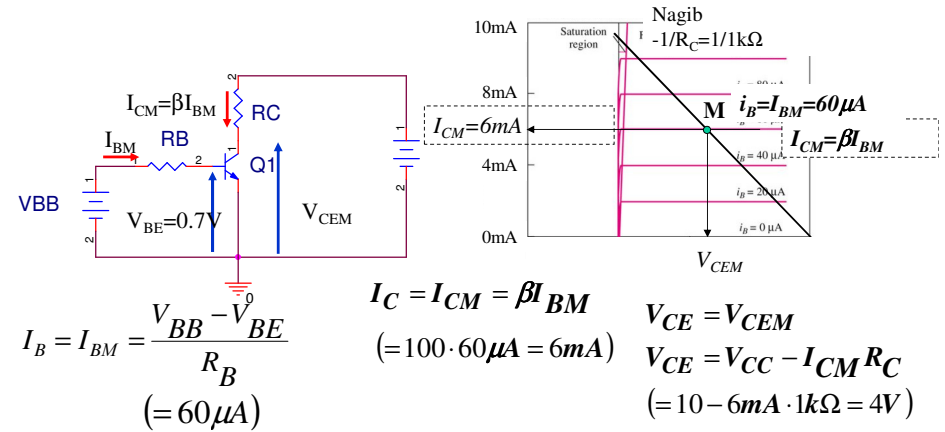
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

1) Princip rada: DC polarizacija da bi BJT radio u aktivnom režimu



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

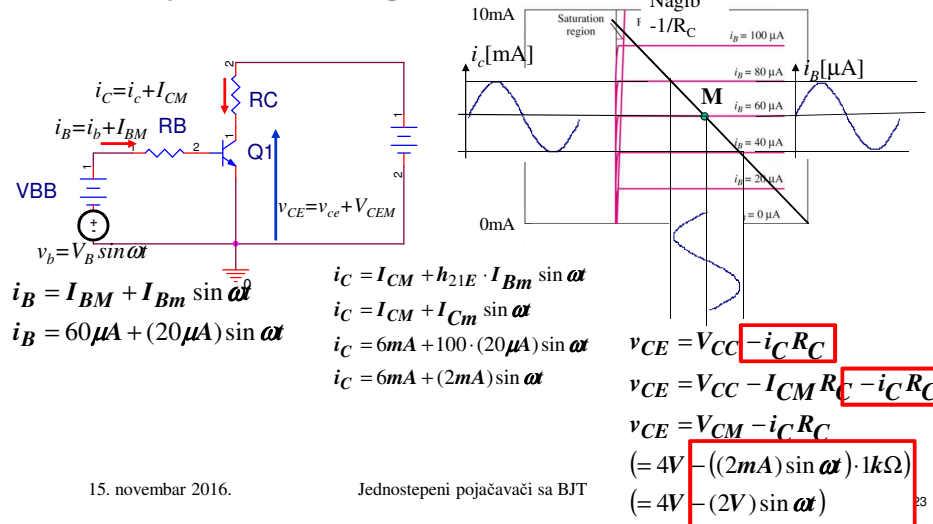
1) Princip rada: DC polarizacija da bi BJT radio u aktivnom režimu



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

1) Princip rada:

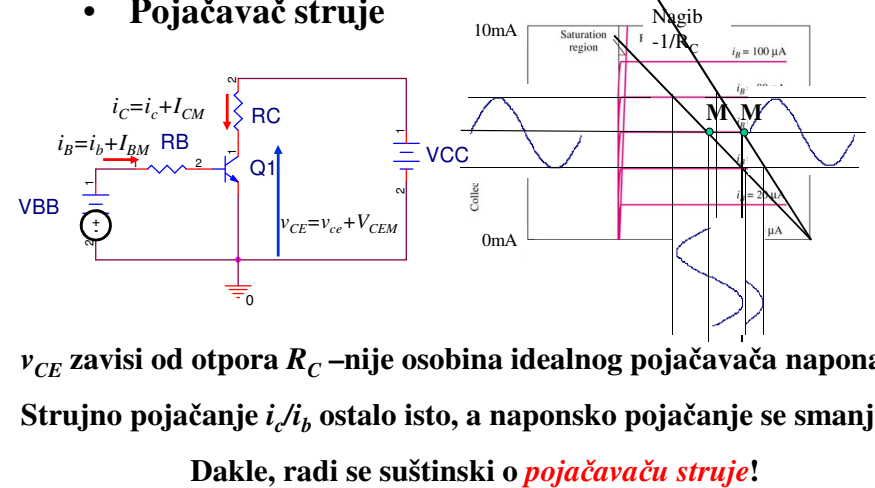
- Pojačava male signale (u okolini radne tačke)



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

1) Princip rada:

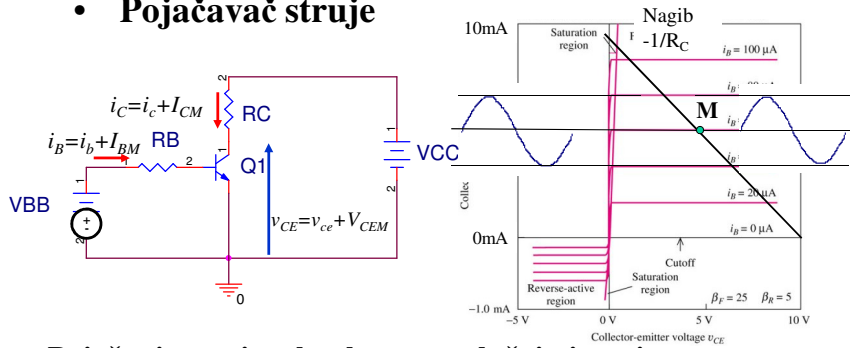
- Pojačavač struje



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

1) Princip rada:

- Pojačavač struje



Pojačanje struje u konkretnom slučaju iznosi

$$A_s = \frac{i_c}{i_b} \Big|_{V_{CE} = \text{Const}} = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \frac{8\text{mA} - 4\text{mA}}{80\mu\text{A} - 40\mu\text{A}} = \frac{4\text{mA}}{40\mu\text{A}} = 100$$

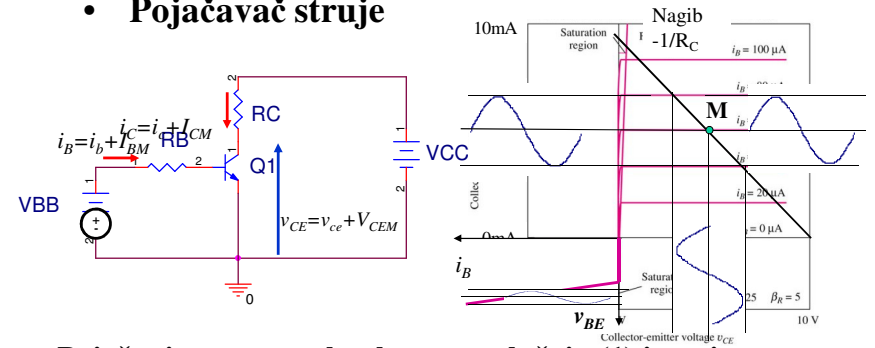
15. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

1) Princip rada:

- Pojačavač struje



Pojačanje napona u konkretnom slučaju (1) iznosi

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

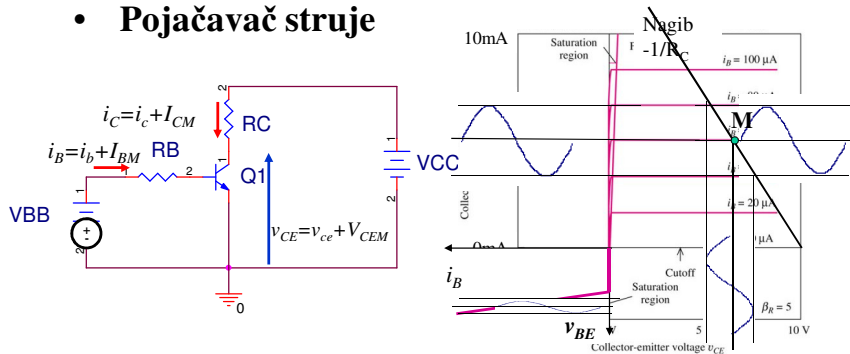
15. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

1) Princip rada:

- Pojačavač struje



Pojačanje napona u konkretnom slučaju (2) iznosi

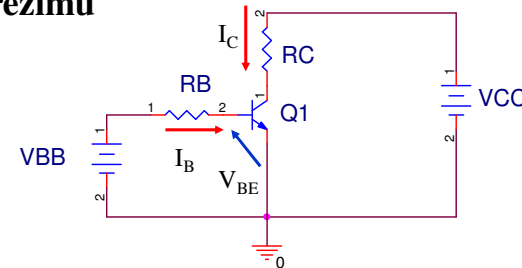
$$A = \frac{v_{ce}}{v_{be}} \Big|_{I_B = \text{Const}} = \frac{\Delta v_{CE}}{\Delta v_{BE}} = \frac{7.4\text{V} - 5\text{V}}{0.76\text{V} - 0.73\text{V}} = \frac{2.4\text{V}}{0.03\text{V}} = 80$$

15. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

2) DC polarizacija obezbeđuje rad u aktivnom režimu



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

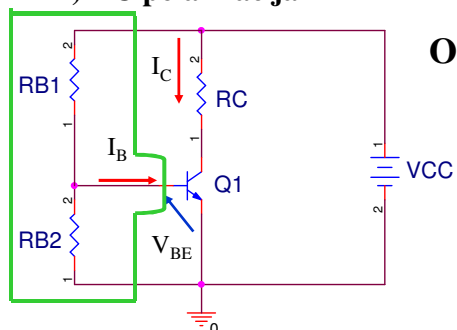
15.11.2016

15. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

2) DC polarizacija

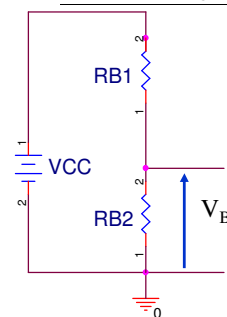


Ovo kolo predstavlja osnovu za praktičnu realizaciju pojačavača sa zajedničkim emitorom

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

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

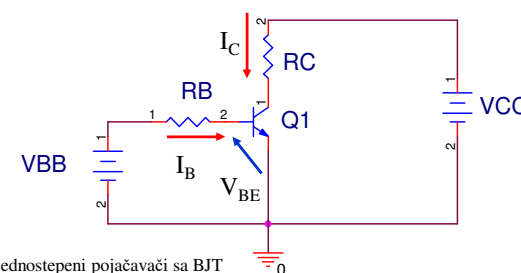
2) DC polarizacija



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

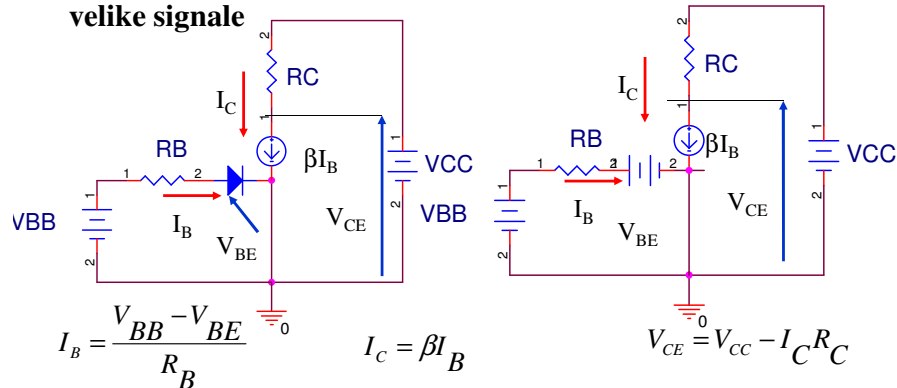
$$R_B = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}}$$

Faza?



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

2) DC polarizacija – analiza: zamenimo tranzistor modelom za velike signale



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

$$V_{CE} = V_{CC} - I_C R_C$$

Na kraju treba proveriti da li je BC spoj inverzno polarisan ($V_{BC} = V_{BE} - V_{CE} < 0$ za NPN).

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

2) DC polarizacija

Nije dovoljno samo da tranzistor radi u aktivnom režimu.

Treba obezbediti:

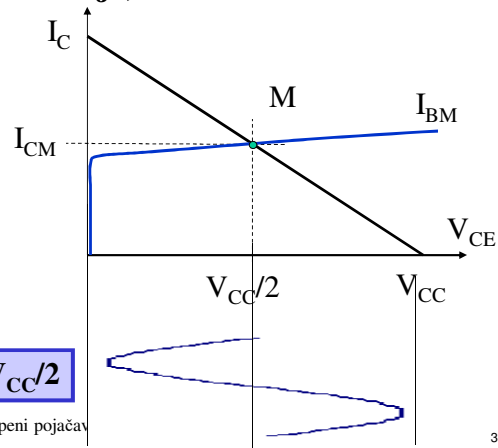
- Što veći opseg izlaznog napona (do ulaska u zasićenje ili zakočenje) naročito kod pojačavača velikih signala

2) DC polarizacija

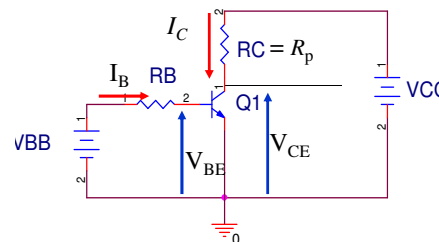
- Što veći opseg izlaznog napona (do ulaska u zasićenje ili zakočenje)

Da bi se obezbedio najveći opseg promene izlaznog napona (od zasićenja do zakočenja) najbolje je da $V_{CEM} = V_{CC}/2$

Zapravo nešto manje od $V_{CC}/2$



3) Odnosi snaga Najjednostavniji slučaj $R_C = R_p$



Trenutna snaga na R_p

$$P_{R_p} = R_p i_c^2 = R_p (I_{CM} + i_c)^2$$

$$P_{R_p} = R_p I_{CM}^2 + R_C i_c^2 + 2R_p i_c I_{CM}$$

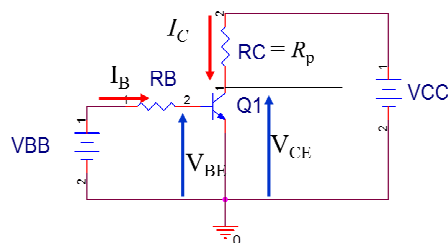
Srednja snaga na R_p

$$P_{R_p} = R_p I_{CM}^2 + R_p I_{Ceff}^2$$

Prvi član odgovara struji u mirnoj radnoj tački (DC), a drugi potiče od efektivne vrednosti struje kroz $R_C = R_p$.

$$P_{R_p \min} = P_{R_p \min} \Big|_{za i_c = 0} = R_p I_{CM}^2$$

3) Odnosi snaga Najjednostavniji slučaj $R_C = R_p$



Trenutna snaga na tranzistoru

$$P_T = v_{CE} i_C + v_{BE} i_B \approx v_{CE} i_C$$

$$P_T = (V_{CC} - R_C i_C) i_C = V_{CC} i_C - R_C i_C^2$$

Srednja snaga (disipacija) na tranzistoru

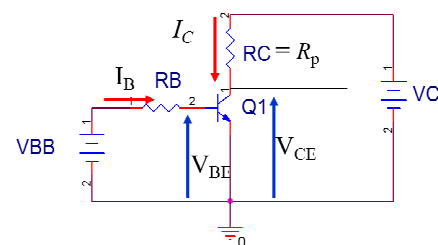
$$P_T = P_d = P_{CC} - P_{R_C}$$

Na tranzistoru se troši najveća snaga u odsustvu signala

$$P_{T \max} = P_{CC} - P_{R_{C \min}} = P_{CC} - R_p I_{CM}^2 = V_{CC} I_{CM} - R_C I_{CM}^2$$

$$P_{T \max} = (V_{CC} - R_C I_{CM}) I_{CM} = V_{CEM} I_{CM}$$

3) Odnosi snaga Najjednostavniji slučaj $R_C = R_p$



Stepen iskorišćenja u odsustvu signala

$$\eta = \frac{P_{R_p}}{P_{CC}} = \frac{P_{CC} - P_d}{P_{CC}}$$

$$\eta = \frac{V_{CC} I_{CM} - V_{CEM} I_{CM}}{V_{CC} I_{CM}}$$

$$\eta = \frac{V_{CC} - V_{CEM}}{V_{CC}} = 1 - \frac{V_{CEM}}{V_{CC}}$$

za $V_{CEM} = V_{CC}/2$

$$\eta = 50\%$$

4) Stabilnost

Nestabilnost dolazi do izražaja usled:

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

4) Stabilnost

Za BJT *GENERALNO VAŽI*

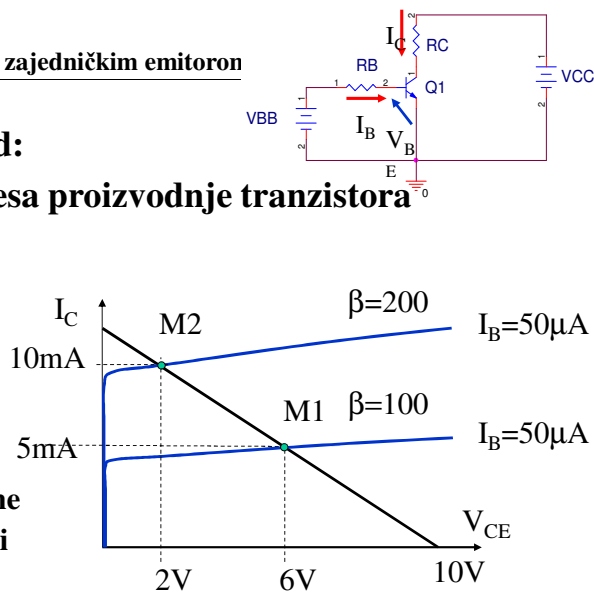
- V_{BE} smanjuje se za 2.5 mV pri porastu T za 1 K,
- inverzna struja zasićenja kolektorskog spoja I_{C0} udvostručava se pri porastu T od 10 K;
- koeficijent strujnog pojačanja β raste za 0.7% pri porastu T za 1 K.

4) Stabilnost

Nestabilnost usled:

- tolerancija procesa proizvodnje tranzistora

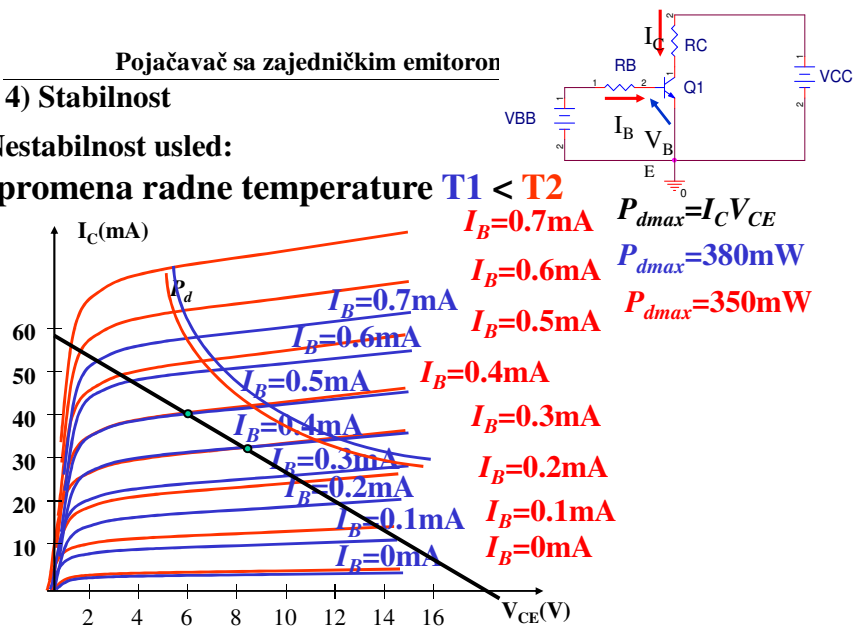
Čak i ako bi se obezbedila konstantna struja I_B , promene β pri zameni BJT mogu da izazovu značajne promene struje I_C i V_{CE} .



4) Stabilnost

Nestabilnost usled:

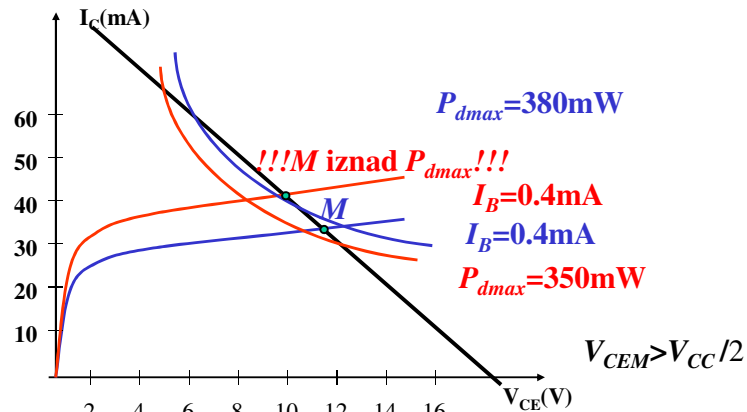
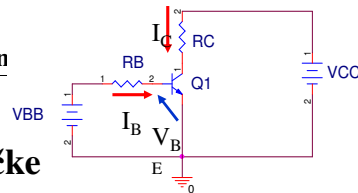
- promena radne temperature $T1 < T2$



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost

- Značaj izbora mirne radne tačke



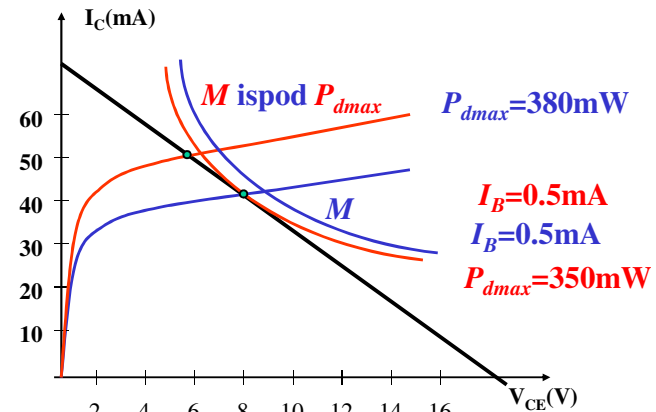
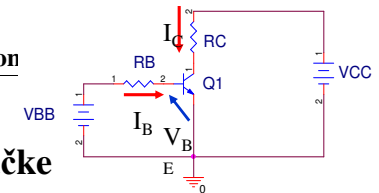
22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost

- Značaj izbora mirne radne tačke



22. novembar 2016.

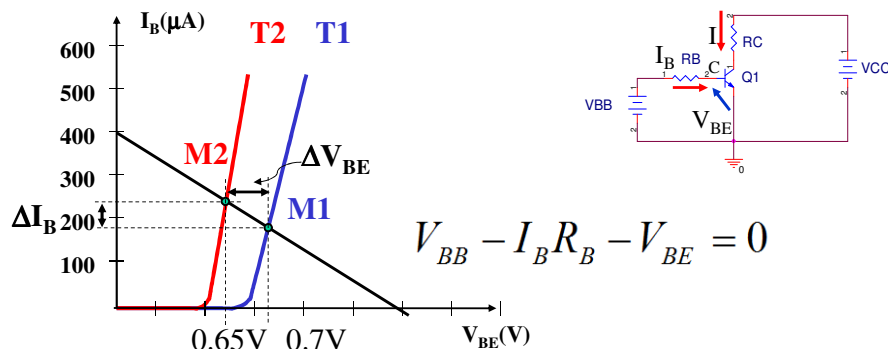
Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost

Nestabilnost usled promene temperature:

- $T2 > T1$, radna tačka se pomera iz M1 u M2
- napon se menja za ΔV_{BE} , a struja za ΔI_B



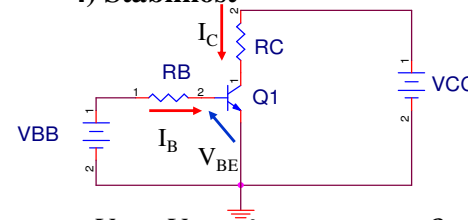
22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) 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

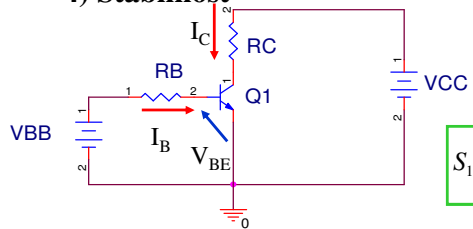
I_{C0}

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost



Faktori nestabilnosti

$$S_1 = \frac{\partial I_C}{\partial I_{C0}} \quad S_2 = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}} \quad S_3 = \frac{\partial I_C}{\partial \beta}$$

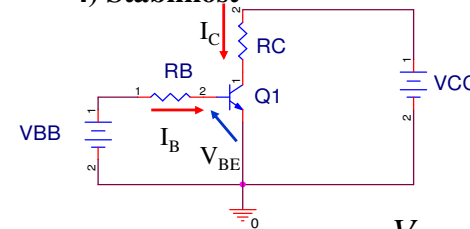
$$I_C = \beta \frac{V_{BB}}{R_B} - \beta \frac{V_{BE}}{R_B} + (1 + \beta) I_{C0}$$

$$S_1 = 1 + \beta \quad S_2 = -\frac{\beta}{R_B} \quad S_3 = \frac{V_{BB}}{R_B} - \frac{V_{BE}}{R_B} + I_{CE0} \cong \frac{V_{BB}}{R_B}$$

$$\Delta I_C = S_1 \Delta I_{C0} + S_2 \Delta V_{BE} + S_3 \Delta \beta$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost



Faktori nestabilnosti

$$S_1 = 1 + \beta \approx 100 \text{ (A/A)}$$

$$S_2 = -\frac{\beta}{R_B} \approx -10^{-3} \text{ (A/V)}$$

$$S_3 = \frac{V_{BB}}{R_B} - \frac{V_{BE}}{R_B} + I_{C0} \cong \frac{V_{BB}}{R_B} \approx 10^{-4} \text{ (A)}$$

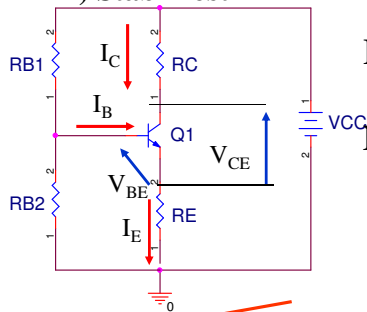
Za $R_B=30k$, $V_{BB}=12V$, $\beta=50$: $S_1=51$, $S_2=-1,7mA/V$, $S_3=0.4mA$
 Za $\Delta T=50^\circ C \Rightarrow \Delta I_{C0}=32nA$, $\Delta V_{BE}=-0.125V$, $\Delta \beta=25$

$$\Delta I_C = S_1 \Delta I_{C0} + S_2 \Delta V_{BE} + S_3 \Delta \beta$$

$$\Delta I_C = 1,6\mu A + 0,2mA + 10mA \cong 10,2mA$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost



Kako smanjiti *temperatursku nestabilnost radne tačke?*

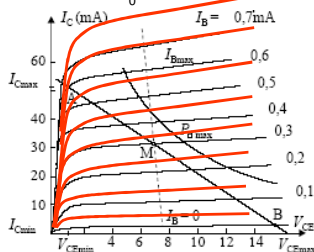
Na red sa emitorom vezati otpornik RE.

Šta se dešava?

$T \uparrow$, $I_B \uparrow$, $I_C \uparrow$, $I_E \uparrow$, a onda

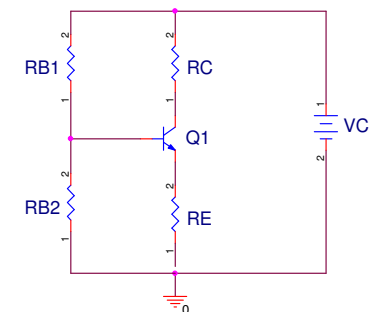
$V_E \uparrow$, $V_{BE} \downarrow$, $I_B \downarrow$, $I_C \downarrow$

Sa RE pojačavač stabilniji!



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

d) Stabilnost veća ako postoji RE



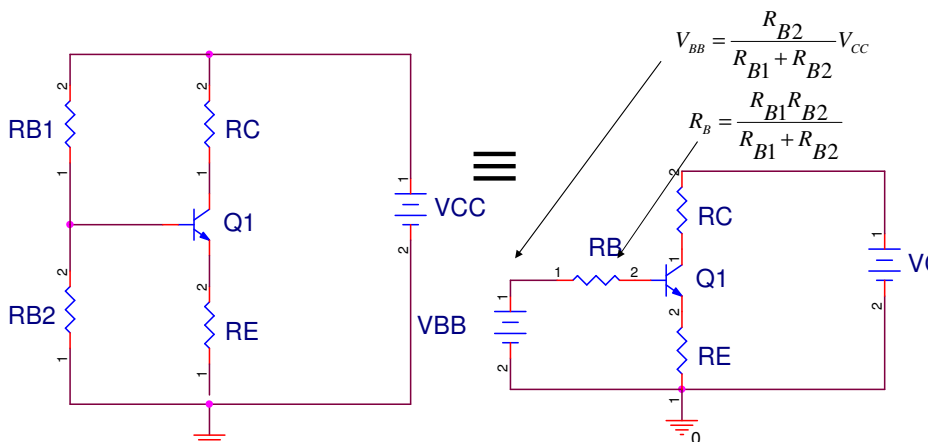
[Ako poraste T] \Rightarrow [I_B raste (zašto?)] \Rightarrow

[raste I_C i to β puta brže (zašto?)] \Rightarrow [raste V_E (zašto?)]

[V_{BE} se smanjuje (zašto?)] \Rightarrow [I_B se smanjuje (zašto?)]

4) Stabilnost

Stabilizacija emitorskim otpornikom !!!



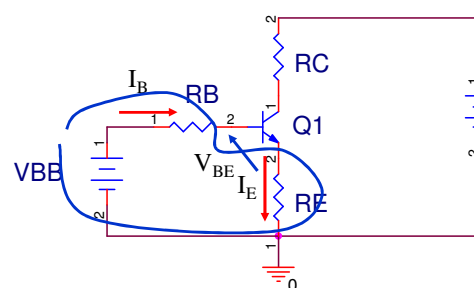
22. novembar 20160

Jednostepeni pojačavači sa BJT

4) Stabilnost

$$I_B = \frac{I_E}{1 + \beta}$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B / (1 + \beta)}$$



Da bi I_E , a time i I_C , što manje zavisilo od V_{BE} , potrebno je $V_{BB} \gg V_{BE}$, a da ne bi zavislo od β treba

$$V_{BB} - I_B R_B - V_{BE} - I_E R_E = 0$$

$$R_E \gg R_B / (1 + \beta)$$

22. novembar 2016.

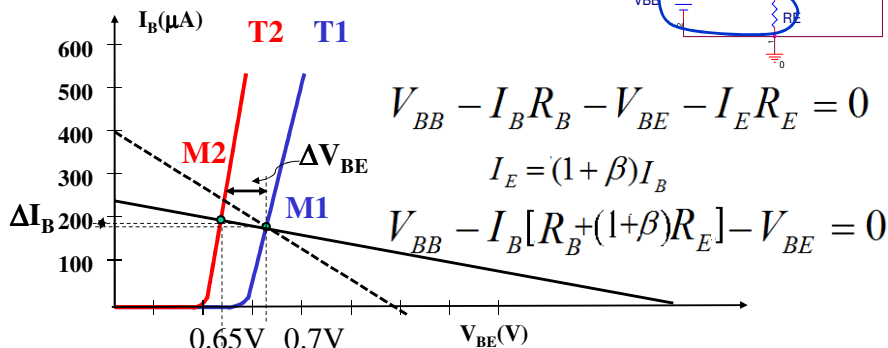
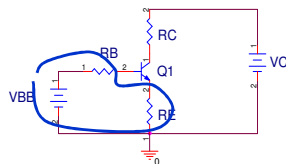
Jednostepeni pojačavači sa BJT

[Dalje](#)

4) Stabilnost

Nestabilnost usled promene temperature:

- $T_2 > T_1$, radna tačka se pomera iz M1 u M2
- napon se menja za ΔV_{BE} , a struja za ΔI_B mnogo manje nego bez R_E !!!

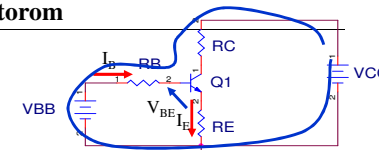


22. novembar 2010.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Za one koji žele da nauče više

4) Stabilnost



Postoji ograničenje u V_{BB} :

$R_C I_C$ treba da bude što veće da bi naponsko pojačanje bilo veće.

Ako V_{BB} raste, opseg napona na R_C se smanjuje.

$$V_{CC} - I_C R_C - V_{CB} + I_B R_B - V_{BB} = 0$$

$$I_C R_C = V_{CC} - V_{CB} + I_B R_B - V_{BB}$$

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

4) Stabilnost

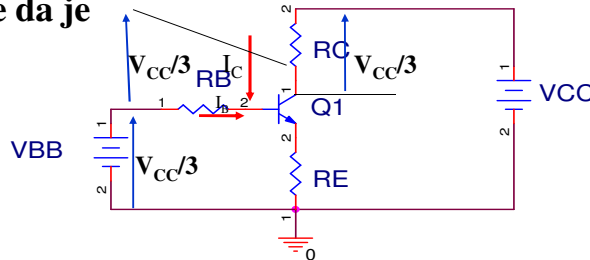
Da bi se što više približili ovim kontradiktornim

zahtevima bira se da je

$$V_{BB} \text{ oko } V_{CC}/3$$

$$V_{CB} \text{ oko } V_{CC}/3$$

$$R_C I_C \text{ oko } V_{CC}/3.$$



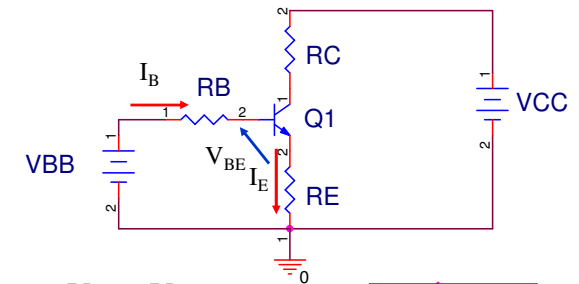
To podrazumeva da je pad napona na R_B zanemariv.

I_B je reda μA , na otporniku od 100k, pad napona $\times 0.1V$

4) Stabilnost

Za $R_E \gg R_B/(1+\beta)$

I_E ne zavisi od β !!!



$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B/(1+\beta)} \approx \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E}$$

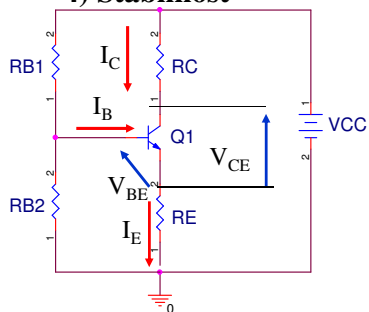
Ovo znači da I_B može da se zanemari

u odnosu na struju kroz naponski razdelnik.

Obično se bira da struja kroz razdelnik bude $(0.1 \text{ do } 1)I_E$

4) Stabilnost

Faktori nestabilnosti



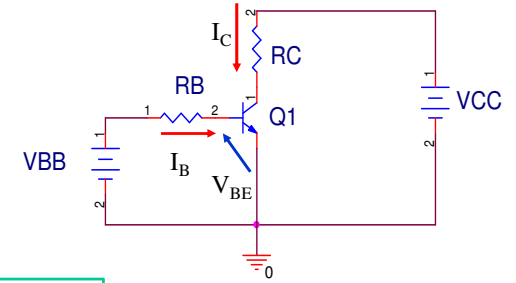
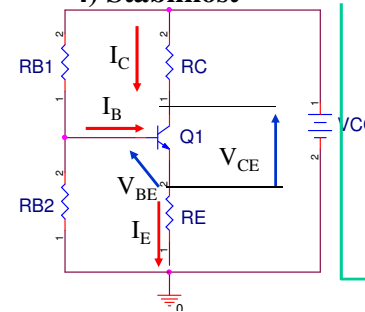
$$S_1 = \frac{\partial I_C}{\partial I_{C0}}$$

$$S_2 = \frac{\partial I_C}{\partial V_{BE}}$$

$$S_3 = \frac{\partial I_C}{\partial \beta}$$

$$I_C = \beta \frac{V_{BB}}{R_B + (1+\beta)R_E} - \beta \frac{V_{BE}}{R_B + (1+\beta)R_E} + \frac{(R_B + R_E)(1+\beta)I_{CE0}}{R_B + (1+\beta)R_E}$$

4) Stabilnost



$$S_1 = \frac{1+\beta}{1 + \frac{\beta R_E}{R_B + R_E}} \approx 17$$

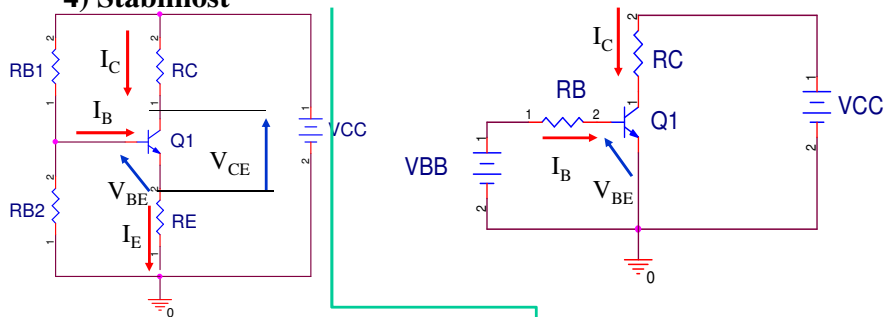
$$S_1 = 1 + \beta = 51$$

Za $R_{B1}=8.3k, R_{B2}=6.2k, (R_B=3k), R_E=150\Omega, \beta=50$

Za one koji žele da nauče više

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost



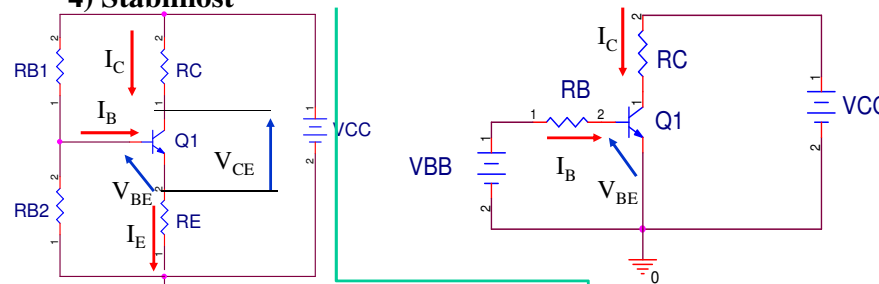
$$S_2 = -\frac{\beta}{R_B + (1 + \beta)R_E} \approx 5 \cdot 10^{-3} \quad S_2 = -\frac{\beta}{R_B} = 17 \cdot 10^{-3}$$

Za $R_{B1}=8.3k, R_{B2}=6.2k, (R_B=3k), R_E=150\Omega, \beta=50$

Za one koji žele da nauče više

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost



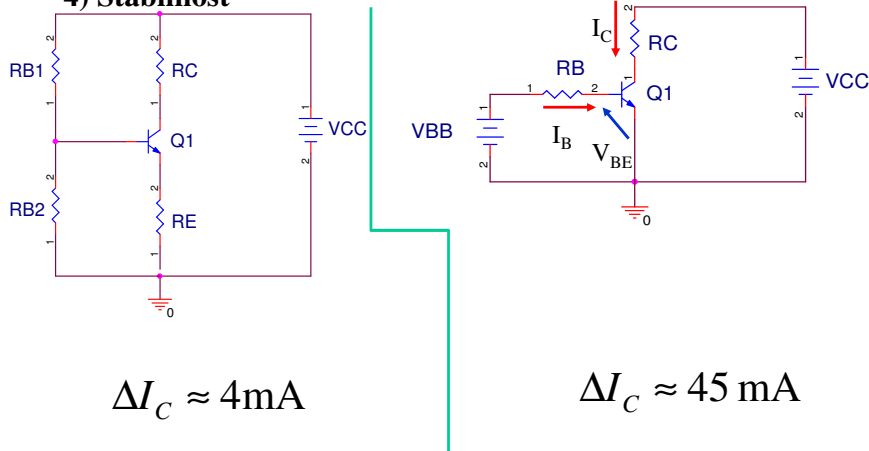
$$S_3 = (R_B + R_E) \frac{(V_{BB} - V_{BE}) + R_B I_{C0}}{[R_B + (1 + \beta)R_E]^2}$$

$$S_3 \approx \frac{(V_{BB} - V_{BE})(R_B + R_E)}{[R_B + (1 + \beta)R_E]^2} \approx 0,13 \cdot 10^{-3} \quad S_3 \approx \frac{V_{BB}}{R_B} \approx 1,7 \cdot 10^{-3}$$

Za $R_{B1}=8.3k, R_{B2}=6.2k, (R_B=3k), R_E=150\Omega, \beta=50$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost



$$\Delta I_C \approx 4mA$$

$$\Delta I_C \approx 45 mA$$

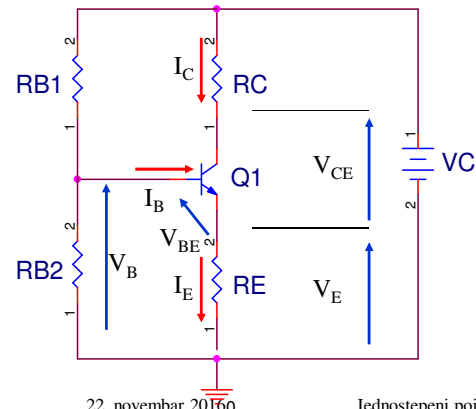
Za $\Delta T=50^\circ C \Rightarrow \Delta I_{C0}=32nA, \Delta V_{BE}=-0.125V, \Delta \beta=25$

Za one koji žele da nauče više

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost - sinteza

Projektovati kolo (odrediti vrednosti elemenata kola) za polarizaciju pojačavača sa slike tako da je $I_{EM}=1mA$, kada je $V_{CC}=12V$. Upotrebiti tranzistor sa $\beta=100, V_{BE}=0.7V$.



Usvoji se $V_B = 1/3 V_{CC} = 4V$.

Tada je $V_E = 4 - V_{BE} = 3.3V$

$$R_E = \frac{V_E}{I_E} = 3.3k\Omega$$

Usvoji se struja kroz razdelnik

$0.1I_E = 0.1mA$:

$$R_{B1} + R_{B2} = \frac{V_{CC}}{0.1I_E} = 120k\Omega$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost - sinteza

$$\frac{R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} V_{CC} = 4V \Rightarrow R_{B2} = \frac{4V}{12V} \cdot 120k\Omega = 40k\Omega$$

$$\Rightarrow R_{B1} = 120k\Omega - 40k\Omega = 80k\Omega$$

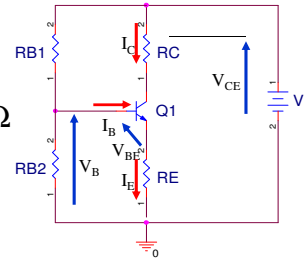
$$\Rightarrow R_B = \frac{R_{B1} R_{B2}}{R_{B1} + R_{B2}} = 26.67k\Omega$$

Proverimo vrednost za I_E :

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B / (1 + \beta)} = \frac{4 - 0.7}{3.3k + 0.2667k} = 0.93mA$$

Sada može da se koriguje $R_E = 3k$, čime se dobija $I_E = 1.01mA$, što je bliže projektnom zahtevu.

Za one koji žele da nauče više



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost - sinteza

Alternativno može za struju razdelnika da se izabere vrednost jednaka I_E (veća potrošnja, manja ulazna otpornost).

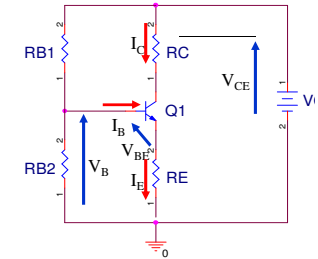
U tom slučaju (2) biće:

$$R_{B1} + R_{B2} = \frac{4V}{1mA} = 4k\Omega, \quad R_{B1} = 8k\Omega, \quad R_{B2} = 4k\Omega$$

$$I_E = \frac{V_{BB} - V_{BE}}{R_E + R_B / (1 + \beta)} = \frac{4 - 0.7}{3.3k + 0.02667k} = 0.99mA \approx 1mA$$

To znači da nema potrebe da se (u slučaju 2) koriguje R_E .

Za one koji žele da nauče više



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost - sinteza

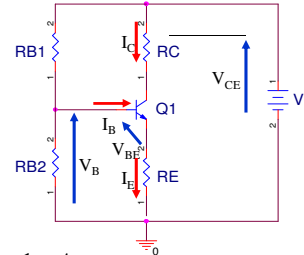
Konačno, treba odrediti još vrednost za R_C :

$$I_C = \alpha I_E = \frac{\beta}{1 + \beta} I_E = \frac{100}{1 + 100} I_E = 0.99 I_E \approx I_E = 1mA$$

$$R_C = \frac{V_{CC} / 3}{I_C} = \frac{4V}{1mA} = 4k\Omega$$

Vrednost R_C ne zavisi od β niti drugih parametara tranzistora

Za one koji žele da nauče više



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

4) Stabilnost - sinteza

Domaći 7.0 (fakultativno):
Za oba slučaja iz prethodnog primera izračunati očekivanu promenu struje I_E ukoliko se β promeni od 50 do 150.

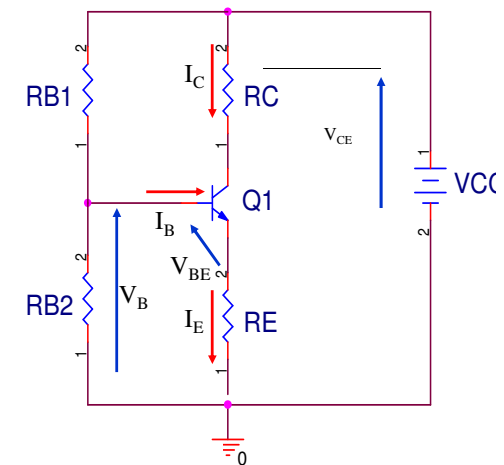
Iskazati promenu u procentima u odnosu na nominalni slučaj $I_E = 1mA$ i $\beta = 100$.

Rešenje:

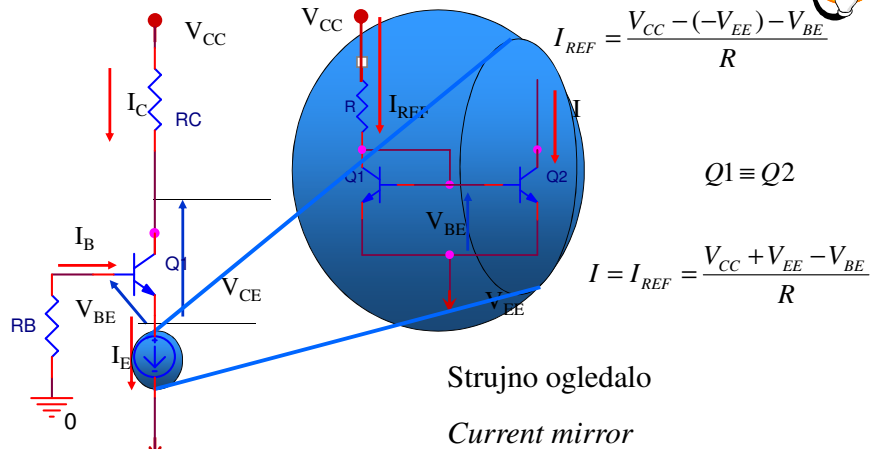
Slučaj 1: $0.94mA < I_E < 1.04mA$, 10%

Slučaj 2: $0.984mA < I_E < 0.995mA$, 1.1%

Za one koji žele da nauče više



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

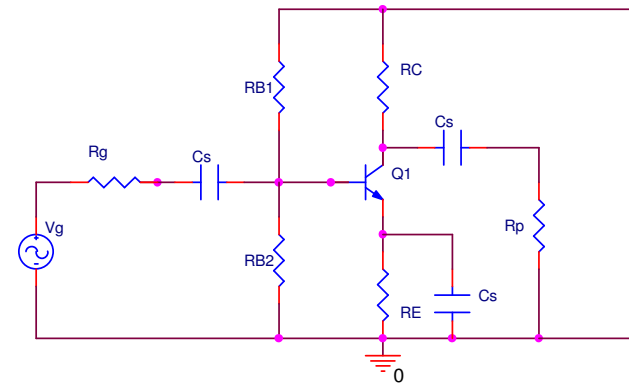


Strujno ogledalo
Current mirror

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

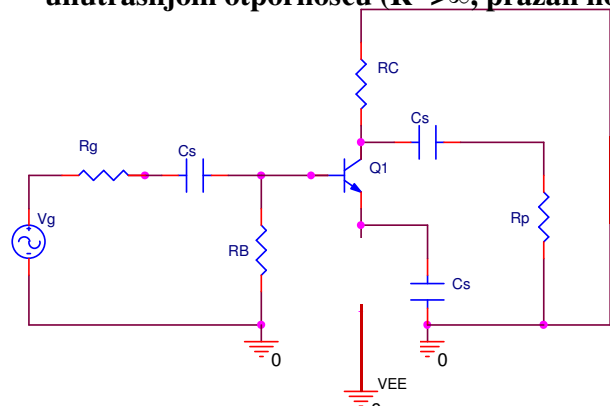
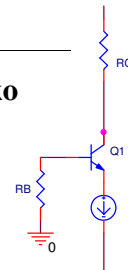
5) Analiza za male signale
Generatore jednosmernog napona zamenjujemo
unutrašnjom otpornošću (R=0, kratak spoj)



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

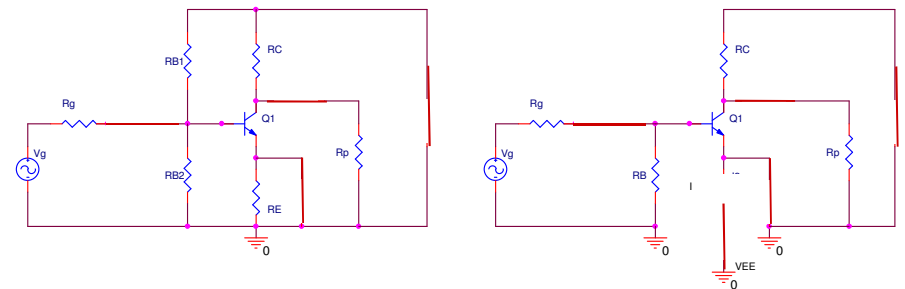
5) Analiza za male signale - za slučaj polarizacije preko
izvora konstantne struje
Generatore jednosmernih struja zamenjujemo
unutrašnjom otpornošću (R ->∞, prazan hod)



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

5) 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).



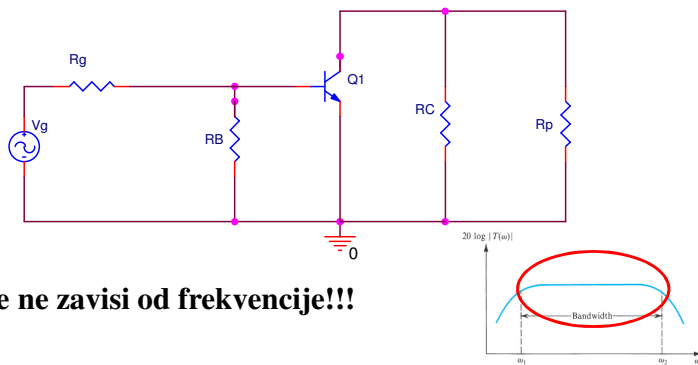
22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale

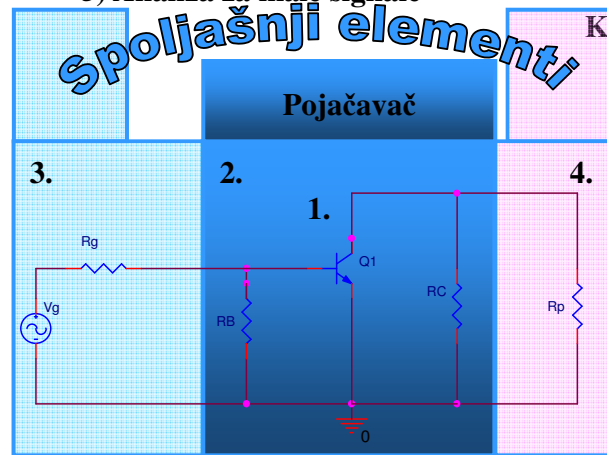
nezavisno od načina polarizacije tranzistora (sa ili bez R_E ili izvor konstantne struje) dobijaju se ekvivalentna kola iste topologije za male naizmenične signale.



Pojačanje ne zavisi od frekvencije!!!

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

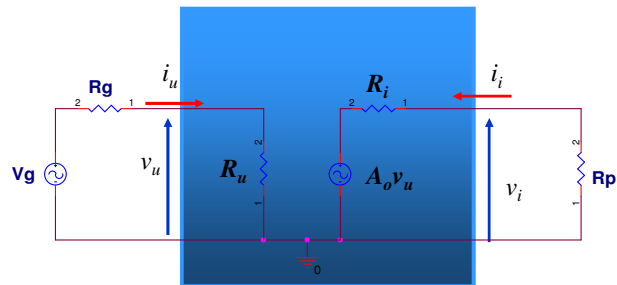
5) Analiza za male signale



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

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

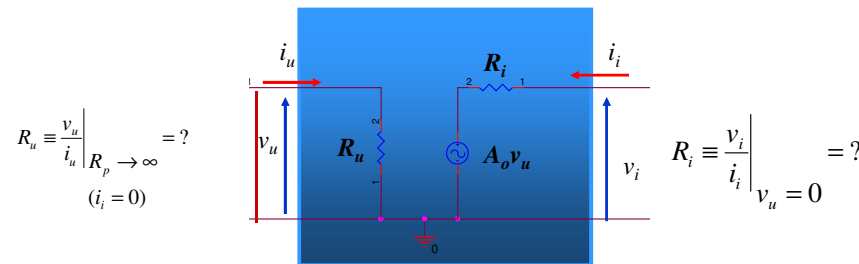
5) Analiza za male signale



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

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

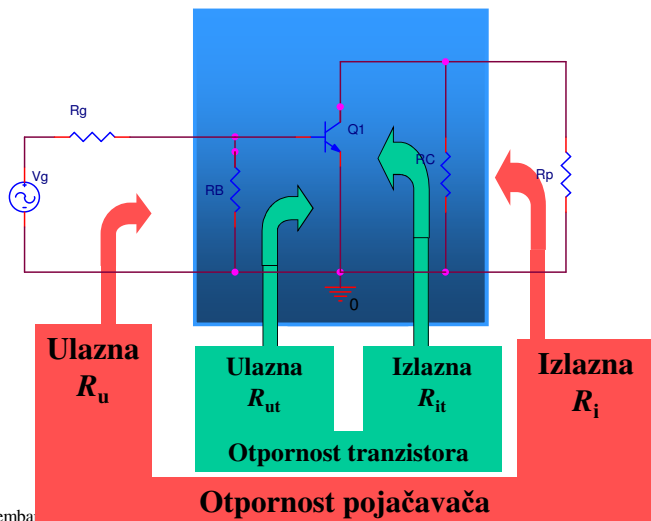
5) Analiza za male signale



Pojačavač napona

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

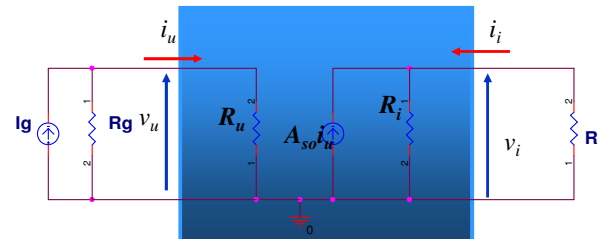
5) Analiza za male signale



22. novembar

Za one koji žele da nauče više

5) Analiza za male signale



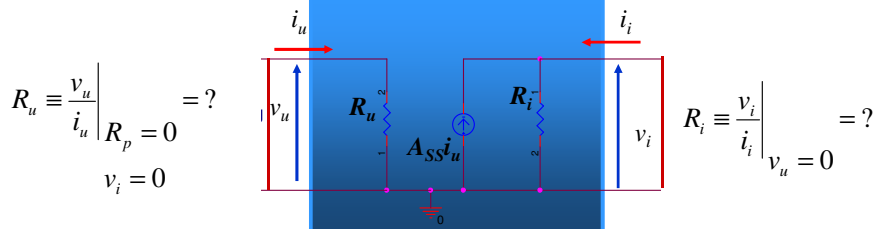
Pojačavač struje

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

5) Analiza za male signale

Za one koji žele da nauče više



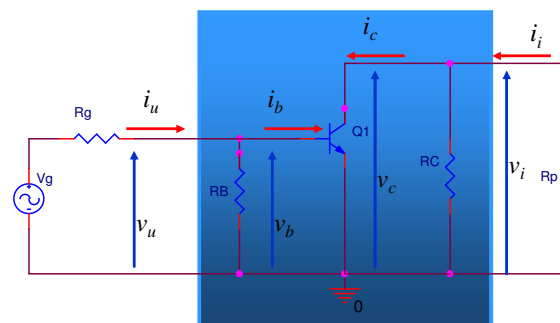
Pojačavač struje

$$A_{SS} \equiv \frac{i_i}{i_u} \Big|_{R_p = 0, v_i = 0} = ?$$

22. novembar 2016.

Jedr

5) Analiza za male signale



Tranzistor zameniti modelom

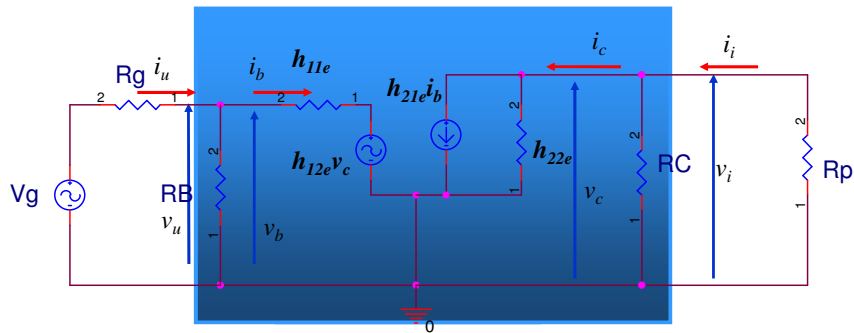
Videti predavanja iz 5. nedelje „05. Modeli poluprovodnickih komponenta (16)“

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

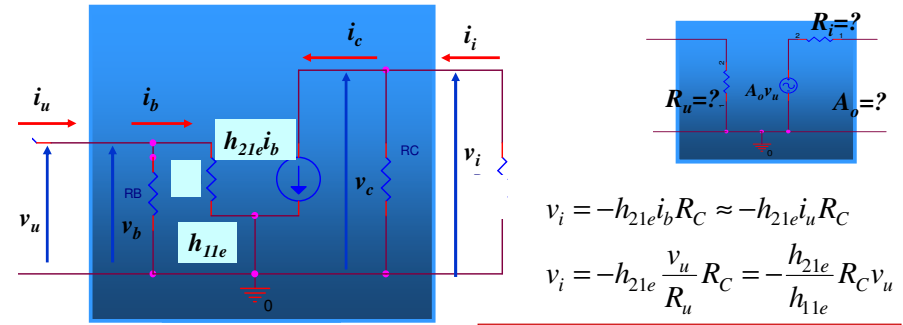
5) Analiza za male signale – model sa h -parametrima



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

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale – model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$



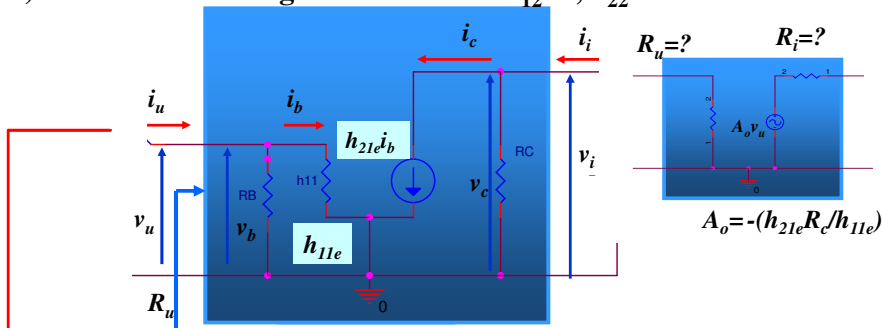
$$v_i = -h_{21e} i_b R_C \approx -h_{21e} i_u R_C$$

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

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

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale – model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$



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

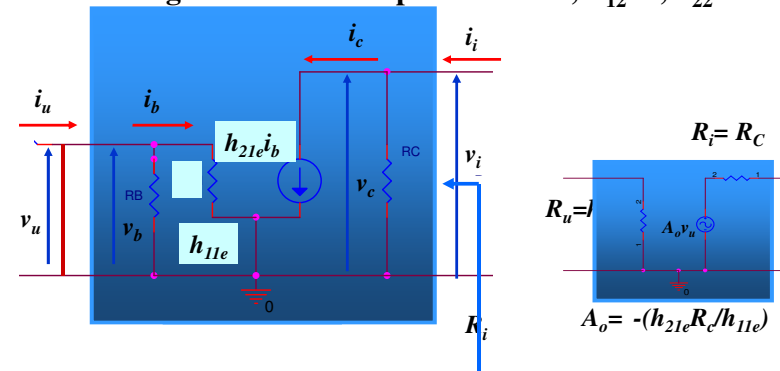
$$i_b \approx i_u \text{ za } R_B \gg h_{11e}$$

$$R_u = \frac{v_u}{i_u} = h_{11e} \Big|_{R_B = \frac{h_{11e} R_B}{h_{11e} + R_B}}$$

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

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale – zamena h -parametrima; $h_{12}=0, h_{22}=0$

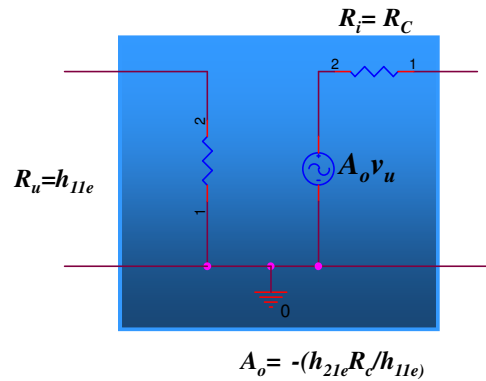


$$R_i = R_C \text{ za } v_u = 0, i_b = 0, h_{22e} = 0$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale – zamena h -parametrima; $h_{12}=0, h_{22}=0$

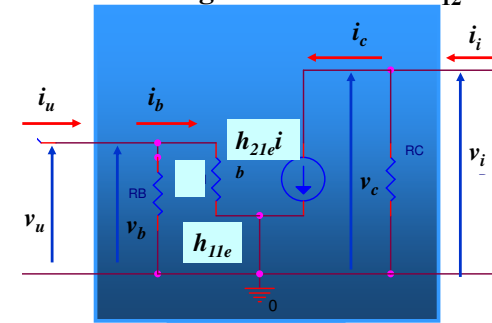
Parametri pojačavača sa zajedničkim emitorom:



Za one koji žele
da nauče više

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale – model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

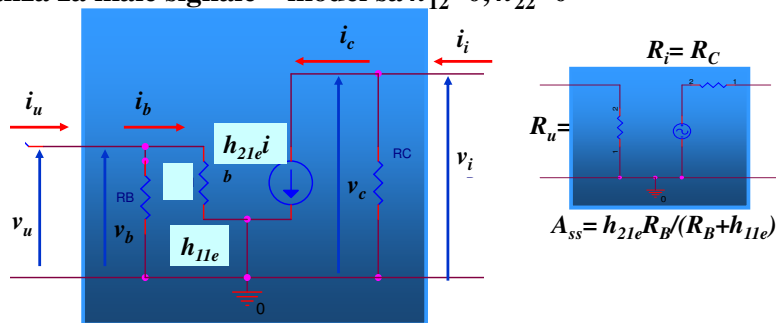


$$A_{SS} = \left. \frac{i_c}{i_u} \right|_{R_p = 0} = \frac{h_{21e} i_b}{i_u} = \frac{h_{21e}}{i_u} \frac{R_B}{R_B + h_{11e}} i_u = \frac{h_{21e} R_B}{R_B + h_{11e}}$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele
da nauče više

5) Analiza za male signale – model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$



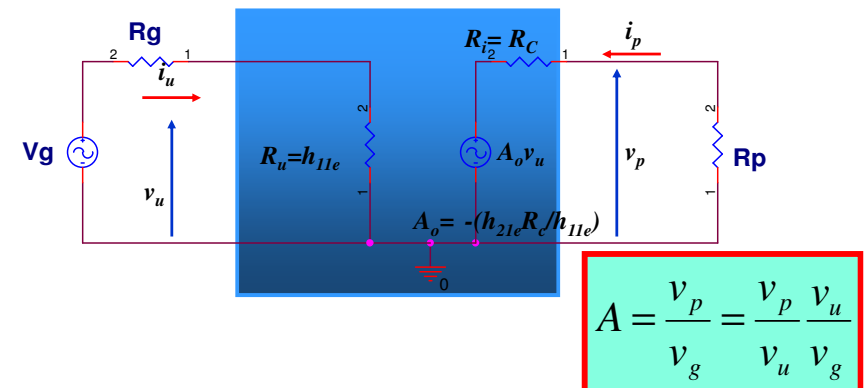
$$A_{SS} = \frac{h_{21e} R_B}{R_B + h_{11e}} \approx h_{21e} \text{ za } R_B \gg h_{11e}$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale – model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$

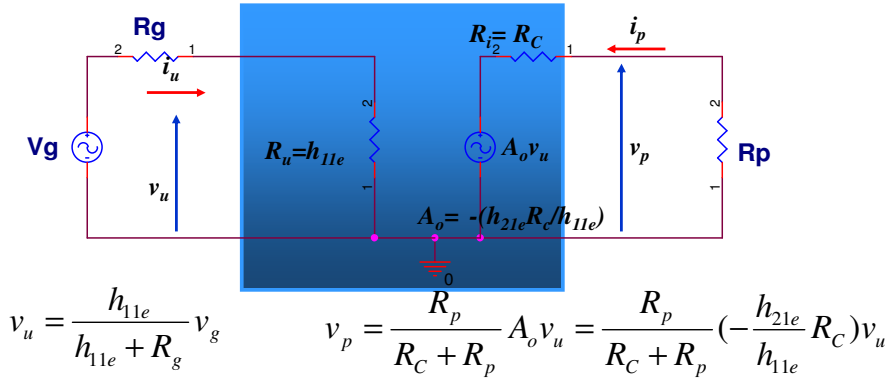
Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora

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



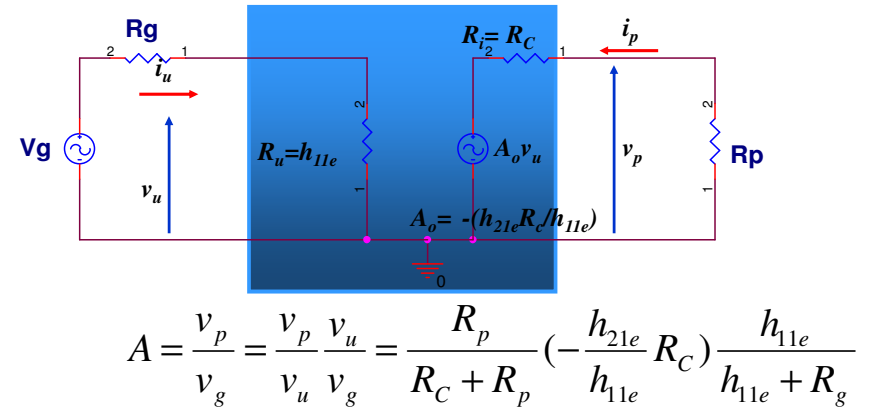
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale – model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$
 Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora



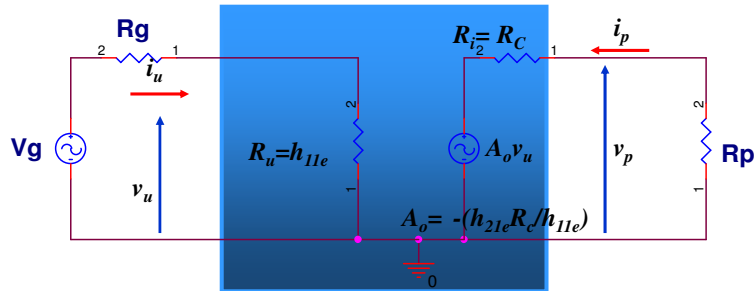
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale – model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$
 Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale – model sa $h_{12}=0, h_{22}=0$
 Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora

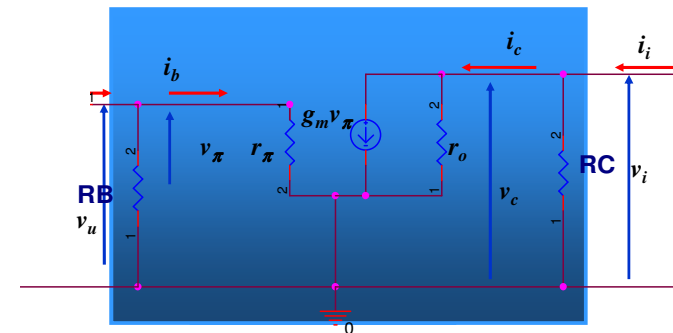


$$A = \frac{v_p}{v_g} = \frac{v_p}{v_u} \frac{v_u}{v_g} = -\frac{h_{21e}}{h_{11e} + R_g} \frac{R_p R_C}{R_C + R_p}$$

Za one koji žele da nauče više

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

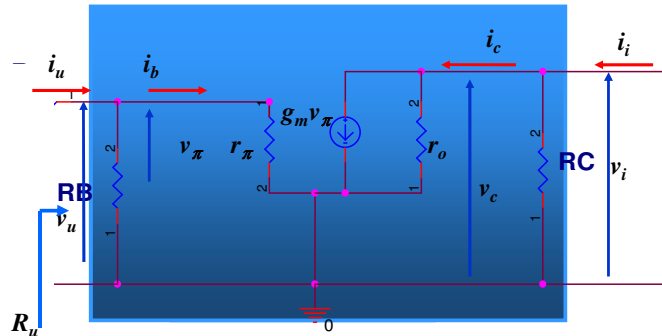
5) Analiza za male signale – zamena hibridnim π -modelom



$$v_\pi = v_u \quad v_i = -g_m v_\pi (r_o \parallel R_C)$$

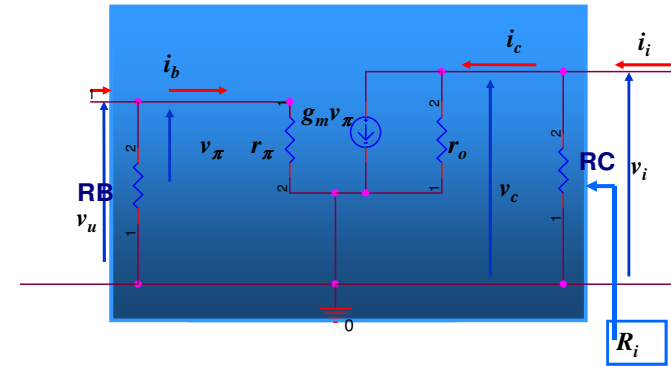
$$A_o = \frac{v_i}{v_u} = \frac{v_i}{v_\pi} = -g_m (r_o \parallel R_C) \cong -g_m R_C$$

e) Analiza za male signale – zamena hibridnim π -modelom



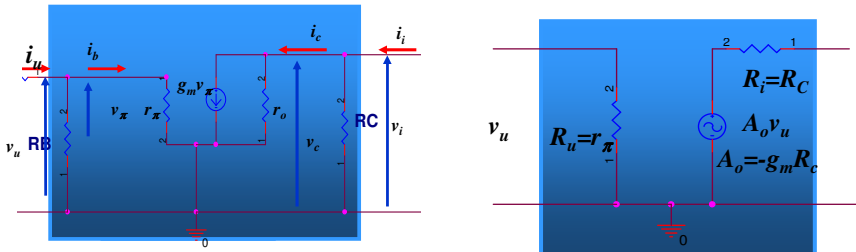
$$R_u = \frac{v_u}{i_u} = r_\pi \parallel R_B = \frac{r_\pi R_B}{r_\pi + R_B} \approx r_\pi \quad \text{za } R_B \gg r_\pi$$

5) Analiza za male signale – zamena hibridnim π -modelom

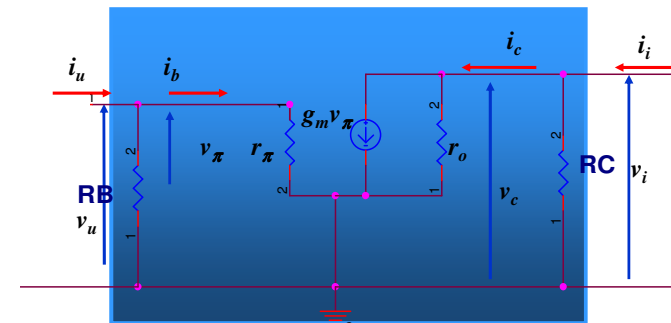


$$R_i = r_o \parallel R_C \cong R_C$$

e) Analiza za male signale – zamena hibridnim π -modelom



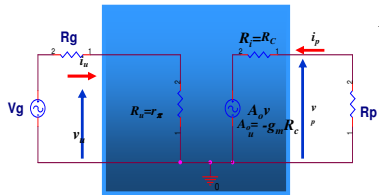
5) Analiza za male signale – zamena hibridnim π -modelom



$$A_{SS} = \left. \frac{i_c}{i_u} \right|_{R_p=0} = \frac{g_m v_\pi}{i_u} = \frac{g_m}{i_u} \frac{R_B r_\pi}{R_B + r_\pi} i_u = \frac{g_m R_B r_\pi}{R_B + r_\pi} \cong g_m r_\pi$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale



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

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

$$R_i \cong R_C$$

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.

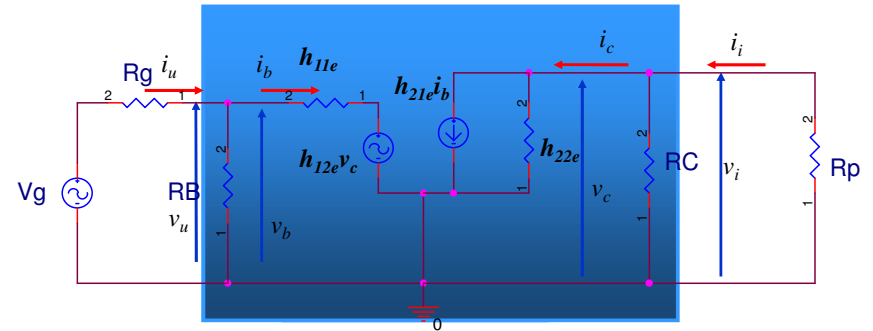
22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više

5) Analiza za male signale –zamena h-parametrima



Izrazi izvedeni na osnovu kompletnog modela sa h-parametrima i kompletnog hibridnog π-modela dati su u knjizi

22. novembar 2016.

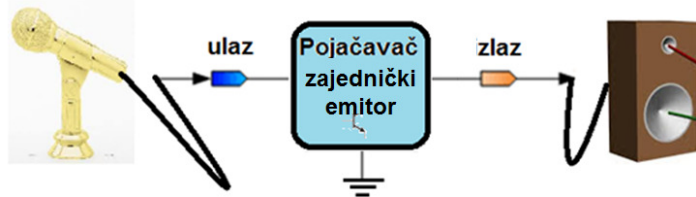
Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



Domaći 7.1:

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 preko pojačavača sa zajedničkim emitorom čiji su parametri: $R_C=5k$, $R_B=100k$, $h_{11E}=1k$, $h_{12E}=0$, $h_{21E}=100$, $h_{22E}=0$;



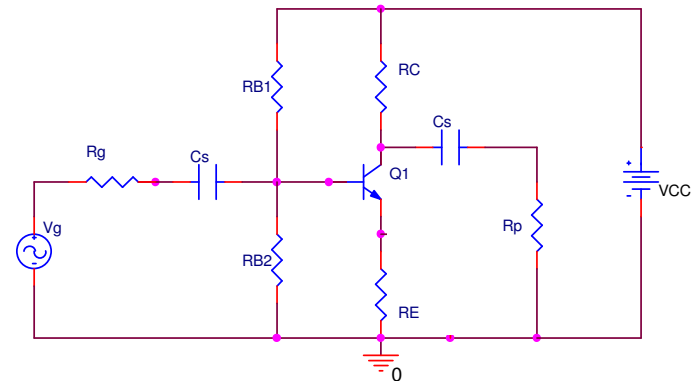
22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

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



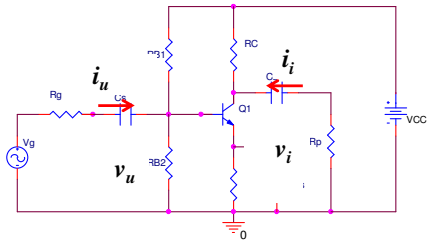
22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

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



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

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

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

Za RE=0, dobijaju se izrazi za klasični pojačavač sa ZE.

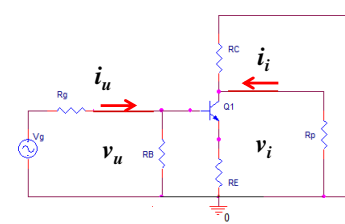
Znači: A_o smanjeno
 R_u povećano
 R_i ostalo isto

pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

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



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

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

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

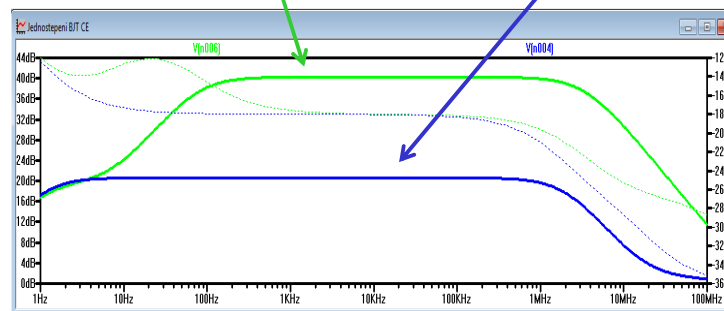
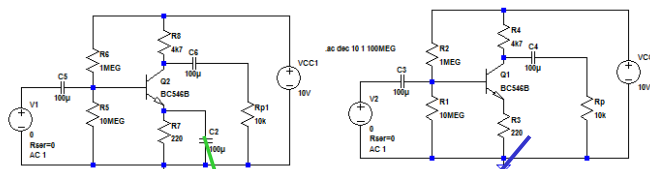
Za RE=0, dobijaju se izrazi za klasični pojačavač sa ZE.

Znači: A_o smanjeno
 R_u povećano
 R_i ostalo isto

pojačavači sa BJT

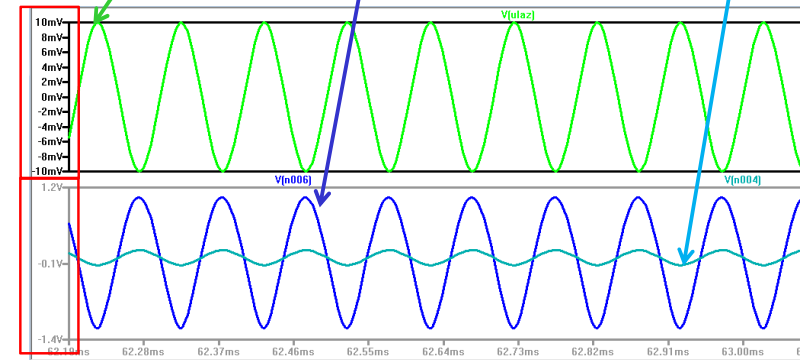
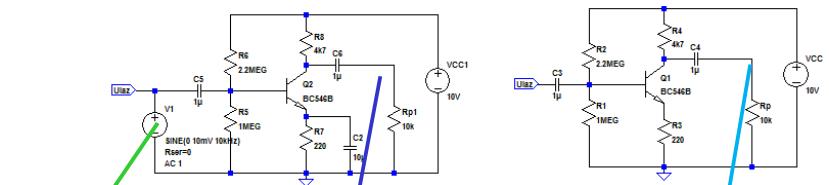
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale - otpornost u emitoru



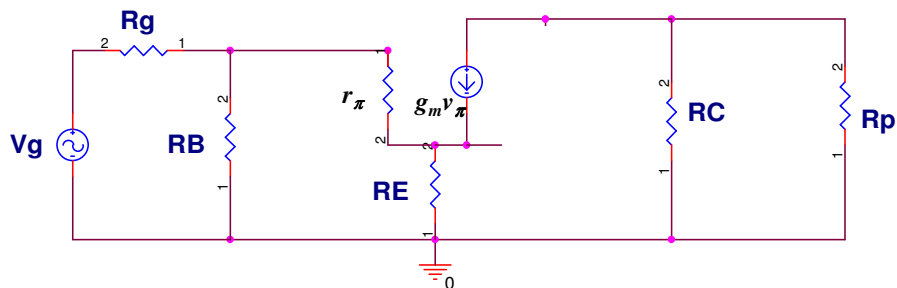
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

e) Analiza za male signale - otpornost u emitoru



5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

Uticao R_E na osobine pojačavača sa ZE može se analizirati primenom ma kog od malosignalnih modela (h- parametri, hibridni π -model, T-model), ali je najzgodniji T-model)

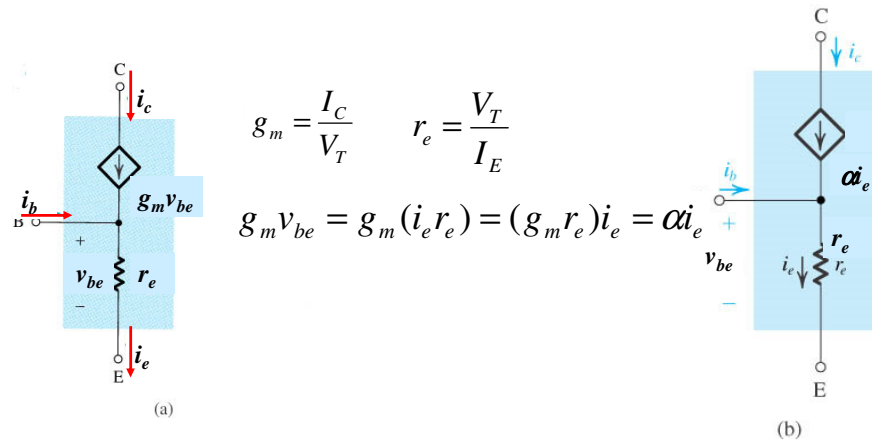


22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

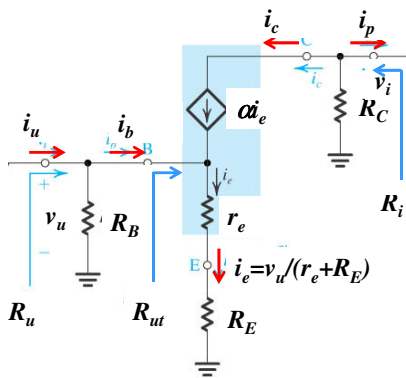
Najpogodnije je da se koristi T-model za analizu pojačavača sa ZE koji sadrže otpornost u emitoru



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru



Pojačanje

$$v_i = -i_c R_C = -\alpha_e R_C$$

$$v_i = -i_c R_C = -\alpha \frac{v_u}{(r_e + R_E)} R_C$$

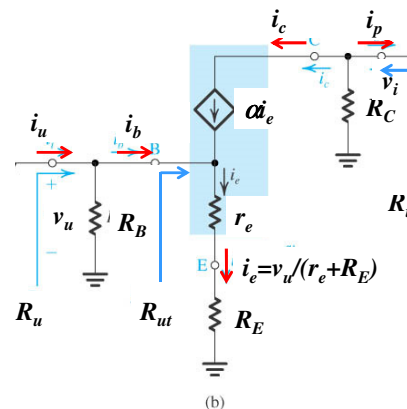
$$A_o = \frac{v_i}{v_u} = -\alpha \frac{R_C}{(r_e + R_E)}$$

$$A_o \approx -\frac{R_C}{(r_e + R_E)}$$

Naponsko pojačanje ZE približno jednako količniku ukupne otpornosti u kolu kolektora i kolu emitora!!!

si sa BJT

5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru



Pojačanje

$$A_o = \frac{v_i}{v_u} = -\alpha \frac{R_C}{(r_e + R_E)}$$

$$A_o = -\frac{\alpha}{r_e} \frac{R_C}{(1 + R_E / r_e)}$$

$$A_o = -\frac{g_m R_C}{(1 + R_E / r_e)}$$

$$A_o \approx -\frac{g_m R_C}{(1 + g_m R_E)}$$

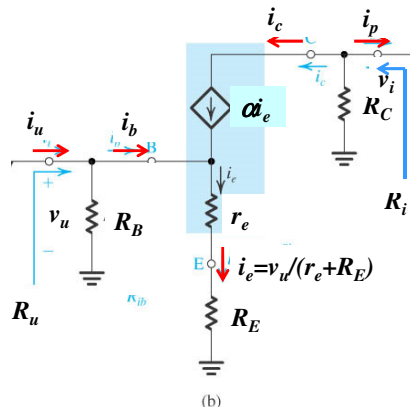
Naponsko pojačanje smanjeno za $(1 + g_m R_E)$

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

$$R_u = \frac{v_u}{i_u} = R_B \parallel R_{ut}$$



5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

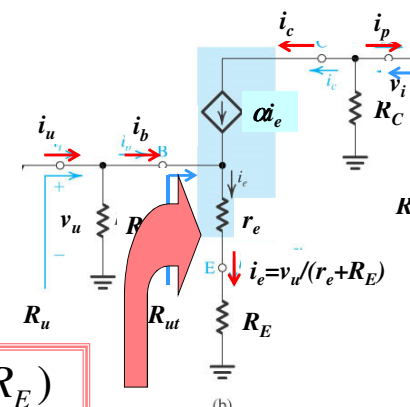
$$R_{ut} \equiv \frac{v_u}{i_b}$$

$$i_b = (1 - \alpha) i_e = \frac{i_e}{1 + \beta}$$

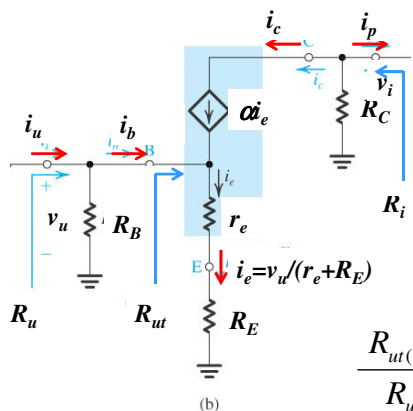
$$i_e = \frac{v_u}{r_e + R_E}$$

$$R_{ut} = (1 + \beta)(r_e + R_E)$$

Ulazna otpornost tranzistora veća je $(1 + \beta)$ puta od otpornosti u emitoru



5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru



Malom modifikacijom R_E može značajno da se utiče na ukupnu ulaznu otpornost

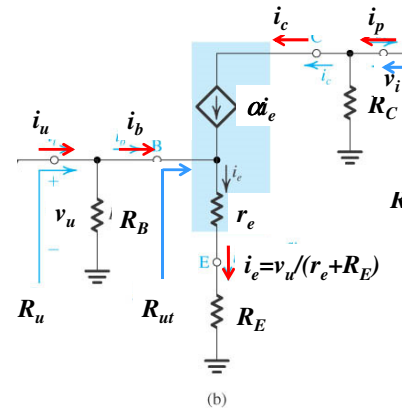
$$R_{ut} \Big|_{R_E \neq 0} = R_{ut(RE)}$$

$$= (1 + \beta)(r_e + R_E)$$

$$\frac{R_{ut(RE)}}{R_{ut}} = \frac{(1 + \beta)(r_e + R_E)}{(1 + \beta)r_e} = \frac{(r_e + R_E)}{r_e}$$

$$\frac{R_{ut(RE)}}{R_{ut}} = 1 + \frac{R_E}{r_e} \cong 1 + g_m R_E$$

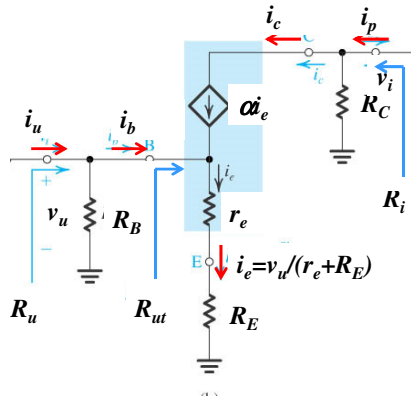
5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru



Izlazna otpornost :
Određuje se pri $v_u=0$,
a tada su $i_b=0$ i $i_e=0$

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

5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru



Strujno pojačanje isto kao bez R_E

$$A_{SS} \equiv \left. \frac{i_p}{i_u} \right|_{R_p = 0}$$

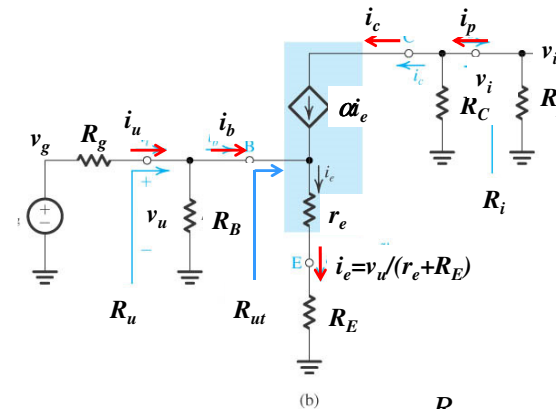
$$i_p = \alpha i_e = \alpha \frac{v_u}{r_e + R_E}$$

$$i_u = \frac{v_u}{R_u} = \frac{v_u}{R_B \parallel R_{ut}} \cong \frac{v_u}{(1 + \beta)(r_e + R_E)}$$

$$A_{SS} = \frac{\alpha(1 + \beta)(r_e + R_E)}{(r_e + R_E)}$$

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

5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru



Ukupno naponsko pojačanje

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

$$v_i = -\alpha i_e (R_C \parallel R_p)$$

$$v_i = -\alpha \frac{v_u}{r_e + R_E} (R_C \parallel R_p)$$

$$v_u = \frac{R_u}{R_g + R_u} v_g \cong \frac{(1 + \beta)(r_e + R_E)}{R_g + (1 + \beta)(r_e + R_E)} v_g$$

5) Analiza za male signale - otpornost u emitoru

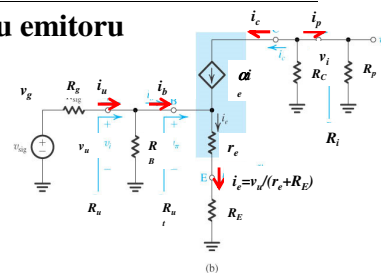
Ukupno naponsko pojačanje

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

$$A = -\alpha \frac{(R_C \parallel R_p)}{r_e + R_E} \frac{(1 + \beta)(r_e + R_E)}{R_g + (1 + \beta)(r_e + R_E)}$$

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

Ukupno naponsko pojačanje manje nego bez R_E , ali je -ulazna otpornost veća i -manje osetljiv na promenu β



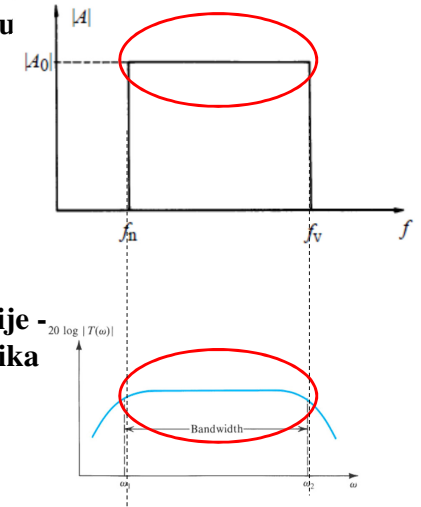
f) Analiza u frekvencijskom domenu

Prethodna analiza:

- Reaktanse svih kondenzatora zanemarene

Rezultat:

- Pojačanje ne zavisi od frekvencije - Ravna amplitudska karakteristika
- Prihvatljivo samo pri nekim frekvencijama - u propusnom opsegu



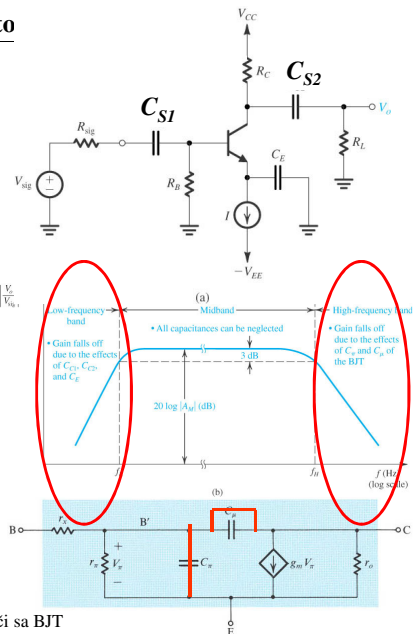
Pojačavač sa zajedničkim emito

f) Analiza u frekvencijskom domenu

Realno kolo:

Reaktanse kondenzatora konačne

- Na NF C_S i C_E predstavljaju konačne impedanse
- C_S blokiraju (oslabe) NF signal
- C_E ponaša se kao impedansa u emitoru – smanjuje pojačanje
- Na VF C_μ i C_π (vidi π model BJT) dolaze do izražaja
- C_μ kratkospaja C i B
- C_π kratkospaja B za E (masu)



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

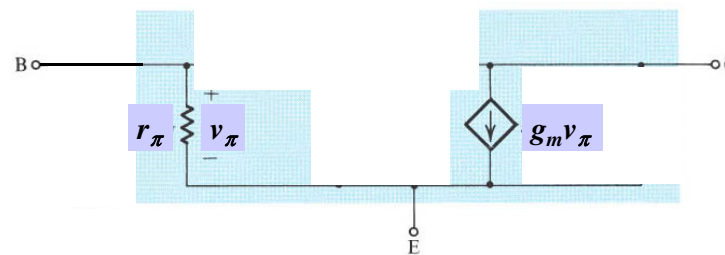
Za one koji žele da nauče više

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF

- u hibridnom π modelu zanemareni $r_x \ll r_\pi$ i r_o (vrlo veliki)
- uticaj C_μ i C_π je zanemariv pri NF (reaktanse velike);



22. novembar 2016.

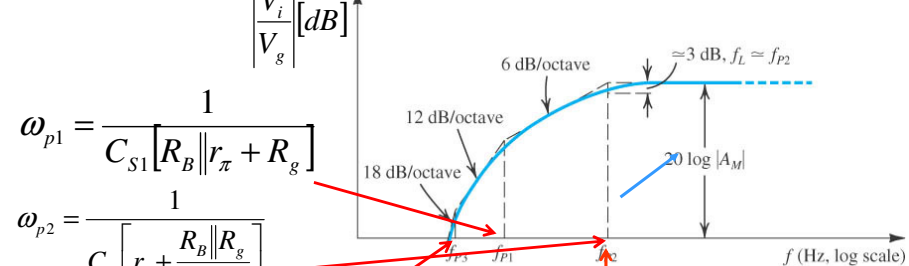
Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF – Uticaj sva tri kondenzatora C_{S1} , C_{S2} i C_E (Vidi Za one koji žele da nauče više)

U slučaju da ne | $\frac{V_i}{V_g}$ | interakcija medju njima



$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_{S1} [R_B \parallel r_\pi + R_g]}$$

$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_E \left[r_e + \frac{R_B \parallel R_g}{\beta + 1} \right]}$$

$$\omega_{p3} = \frac{1}{C_{S2} [R_C + R_p]}$$

22. novembar 2016.

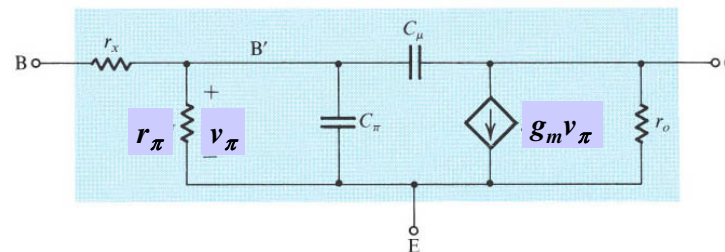
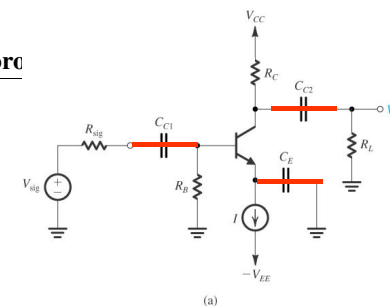
Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

VF – C_{S1} , C_{S2} i C_E predstavljaju kratak spoj

Tranzistor se zamenjuje hibridnim π modelom



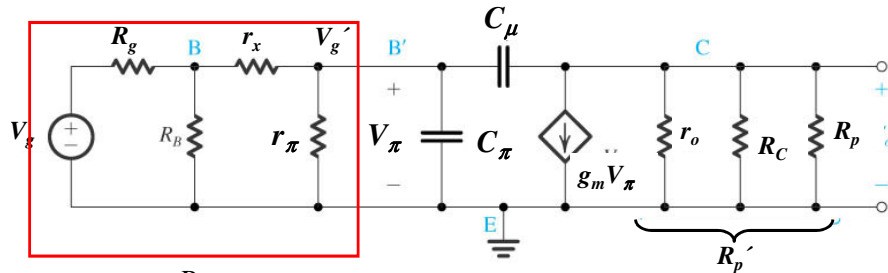
22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Za one koji žele da nauče više

f) Analiza u frekvencijskom domenu

VF – C_{S1} , C_{S2} i C_E predstavljaju kratak spoj
Tranzistor se zamenjuje hibridnim π modelom



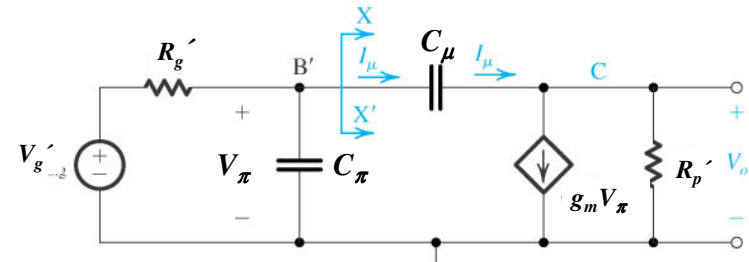
$$V_g' = V_g \frac{R_B}{R_B + R_g} \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + r_x + R_B \parallel R_g}$$

$$R_g' = r_{\pi} \parallel [r_x + R_B \parallel R_g]$$

Jednostepeni pojačavači sa BJT

f) Analiza u frekvencijskom domenu

VF – Zamena Thevenenovim generatorom na ulazu



$$V_g' = V_g \frac{R_B}{R_B + R_g} \frac{r_{\pi}}{r_{\pi} + r_x + R_B \parallel R_g}$$

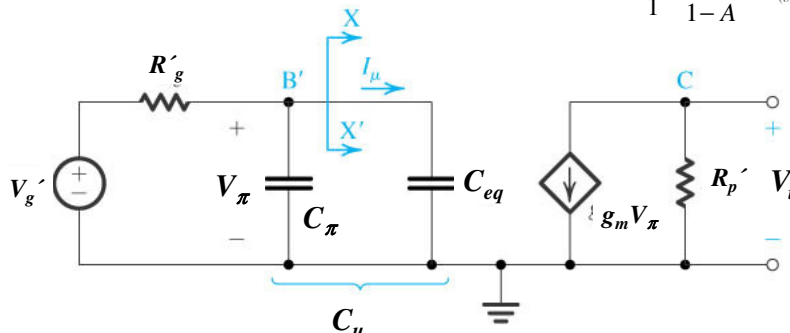
$$R_p' = r_o \parallel R_C \parallel R_p$$

$$R_g' = r_{\pi} \parallel [r_x + R_B \parallel R_g]$$

f) Analiza u frekvencijskom domenu

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

$$Z_1 = \frac{Z}{1-A}$$



$$C_u = C_{\pi} + C_{eq}$$

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

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

f) Analiza u frekvencijskom domenu

VF –

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

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

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

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

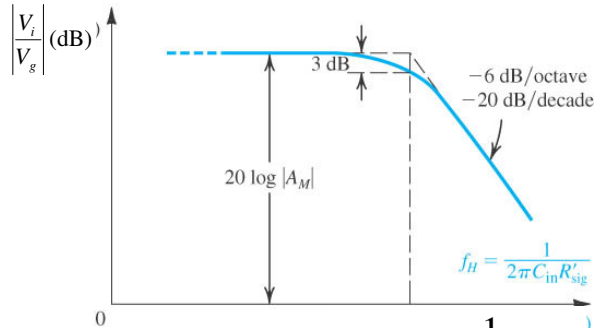
$$\frac{V_i}{V_g} = \frac{A}{1 + s/\omega_o}$$

f) Analiza u frekvencijskom domenu

VF –

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

$$\omega_v = 1/(C_u R_g \hat{ })$$



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

f) Analiza u frekvencijskom domenu

VF – Rezime

Gornja granična frekvencija određena je vremenskom konstantom $R_g \hat{ }$ i C_u .

za $R_B \gg R_g$ i $r_x \ll R_g$, $R_g \hat{ } = R_g // r_\pi$, to znači da će $R_g = R_{generatora}$ uticati na f_v , ukoliko nije $R_g \gg r_\pi$

U C_u dominira C_{eq} , zapravo deo C_μ koji se preslikava na ulaz.

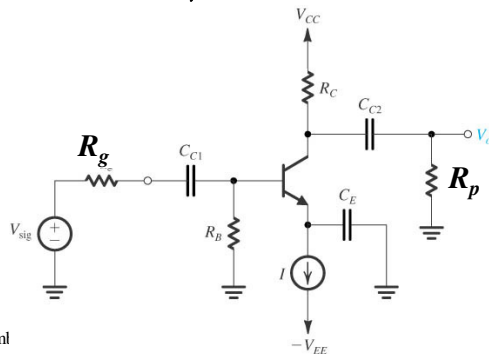
Iako je C_μ malo, preslikava se kao $(1 + g_m R_p \hat{ })$ puta veća kapacitivnost i snižava f_v .

f) Analiza u frekvencijskom domenu - Primer 7.1

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 $r_x = 50\Omega$.



f) Analiza u frekvencijskom domenu - Rešenje primer 7.1

Za $I_C = I = 1mA$, parametri hibridnog modela imaju sledeće

vrednosti:

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

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

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

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

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

f) Analiza u frekvencijskom domenu - Rešenje

Pojačanje na srednjim frekvencijama je:

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

$$A = -30V/V$$

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

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

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

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

f) Analiza u frekvencijskom domenu - Za vežbu 7.1

Odrediti vrednost otpora potrošača za koju će se pojačanje na srednjim frekvencijama iz prethodnog primera smanjiti na polovinu. Kolika će tada biti granična frekvencija pojačavača?

(Analizirati dobijene vrednosti i uporediti ih sa prethodnim)

Rešenje: 1.9k, 1.42MHz.

Sadržaj

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

Pojačavač sa zajedničkom bazom

2. Pojačavač sa zajedničkom bazom

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

1) 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

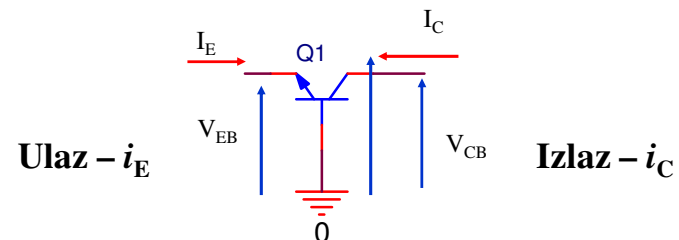
Faktor strujnog pojačanja $i_c/i_e \approx 1$

za $v_i=v_{cb}=0; V_{CB} = \text{const.} = V_{CBM}$

- Tranzistor radi u **aktivnom** režimu
- Pojačava male signale (u okolini radne tačke)
- Ne obrće fazu
- Pojačanje struje ≈ 1
- Pojačavač napona

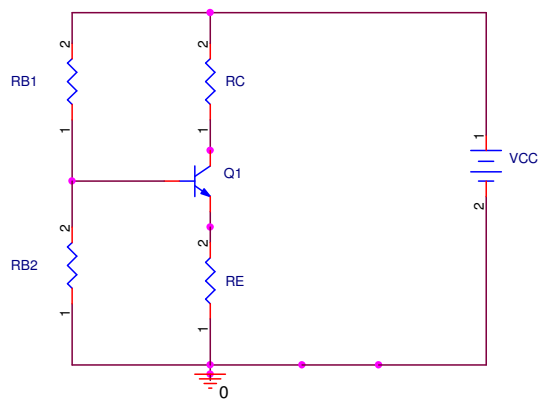
1) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB



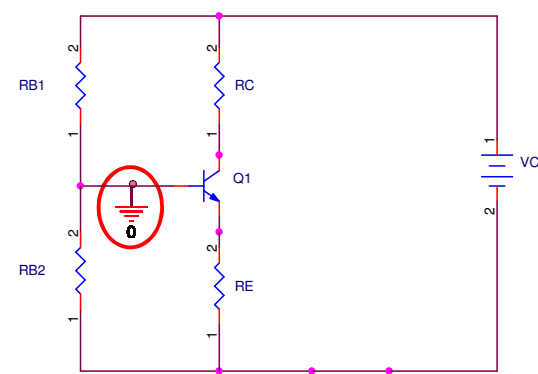
Faktor strujnog pojačanja $h_{21C} = i_c/i_e = \alpha$
za $V_{CB} = \text{const.} = V_{CBM}$

2) DC polarizacija:



2) DC polarizacija:

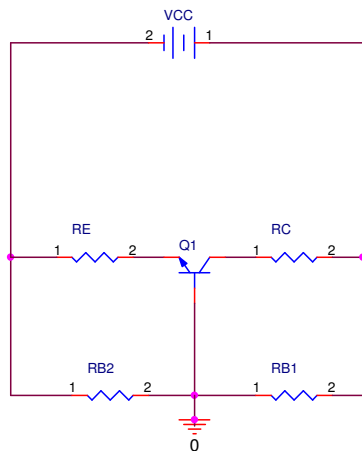
- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB



Pojačavač sa zajedničkom bazom

2) DC polarizacija:

- **Tranzistor radi u konfiguraciji ZB**



22. novembar 2016.

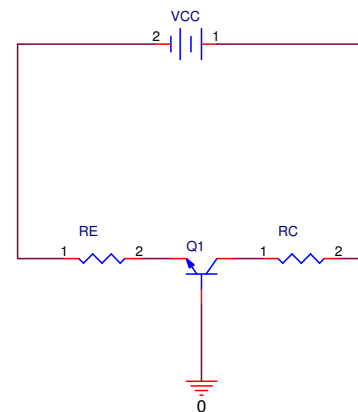
Jednostepeni pojačavači sa BJT

133

Pojačavač sa zajedničkom bazom

2) DC polarizacija:

- **Tranzistor radi u konfiguraciji ZB**



22. novembar 2016.

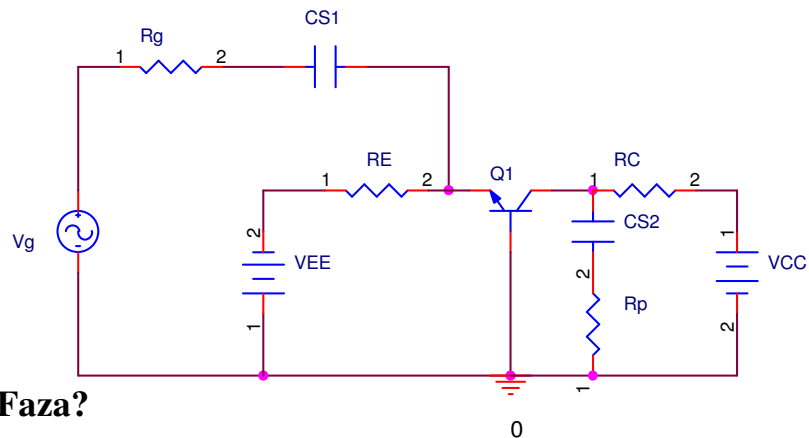
Jednostepeni pojačavači sa BJT

134

Pojačavač sa zajedničkom bazom

2) DC polarizacija:

- **Tranzistor radi u konfiguraciji ZB**



Faza?

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

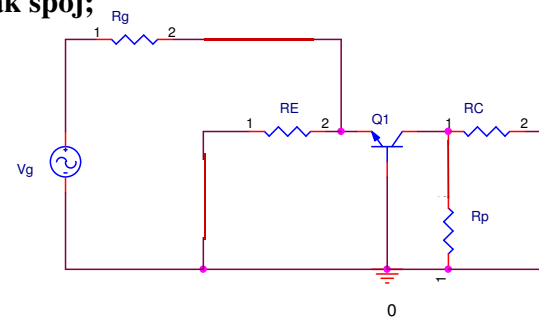
135

Pojačavač sa zajedničkom bazom

3) Analiza za male signale

V_{EE} i V_{CC} kratak spoj;

C_{S1} i C_{S2} kratak spoj;

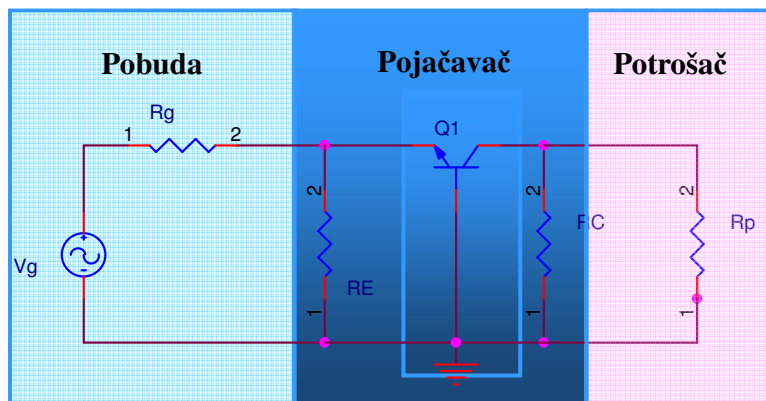


22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

136

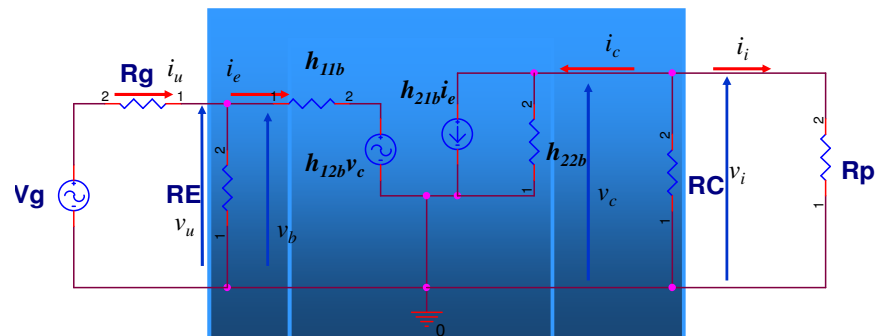
3) Analiza za male signale



Tranzistor zameniti modelom

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

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

Hibridni model – h parametri

Relacije između h -parametara konfiguracija ZB sa ZE kada se ima u vidu realna činjenica da je

$$h_{12E} \ll 1, h_{11E} h_{22E} \ll 1, h_{12B} \ll 1, h_{11B} h_{22B} \ll 1, h_{12C} \approx 1$$

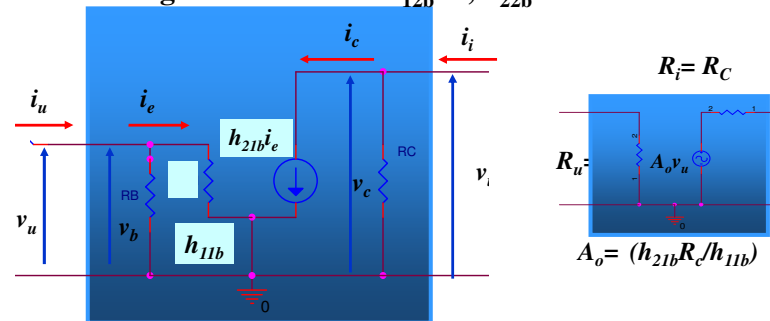
$$h_{11B} \approx \frac{h_{11E}}{1 + h_{21E}} \ll h_{11E} \quad h_{11C} = h_{11E} \quad [\Omega = \text{ohm}]$$

$$h_{12B} \approx \frac{h_{11E} h_{22E}}{1 + h_{21E}} - h_{12E} \approx 0 \quad h_{12C} = 1 - h_{12E} \approx 1 \quad [\text{V/V}]$$

$$h_{21B} \approx -\frac{h_{21E}}{1 + h_{21E}} \approx -1 \quad h_{21C} = -(1 + h_{21E}) \approx -h_{21E} \quad [\text{A/A}]$$

$$h_{22B} \approx \frac{h_{22E}}{1 + h_{21E}} \approx 0 \quad h_{22C} = h_{22E} \approx 0 \quad [\text{S} = 1/\Omega = \text{mho}]$$

e) Analiza za male signale – model sa $h_{12b}=0, h_{22b}=0$



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

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

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)

$$A_o \approx \frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C$$

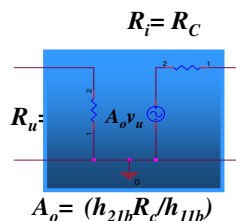
NE obrće fazu

Strujno pojačanje ≈ 1

$$A_{SS} \approx \frac{\beta}{1+\beta} = \alpha$$

Relativno velika izlazna otpornost (kao ZE)

$$R_i = R_C$$

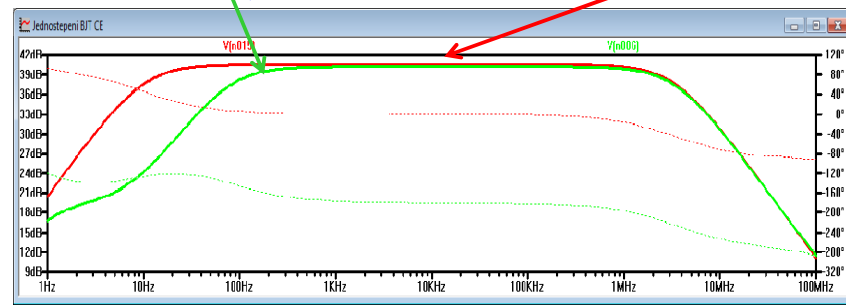
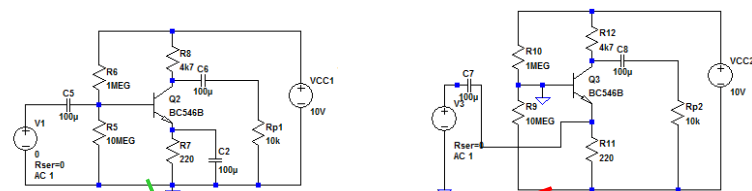


22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

141

Pojačavač sa zajedničkom bazom

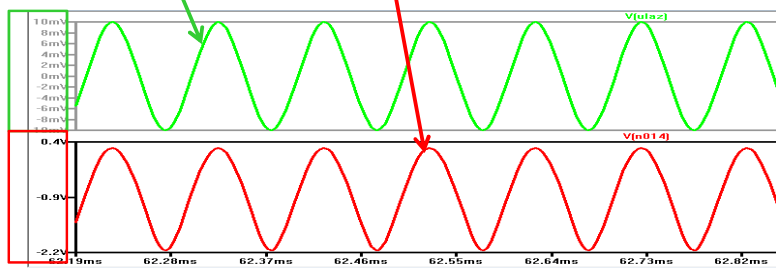
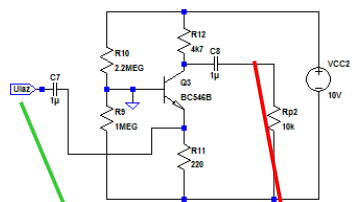


22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

142

Pojačavač sa zajedničkom bazom



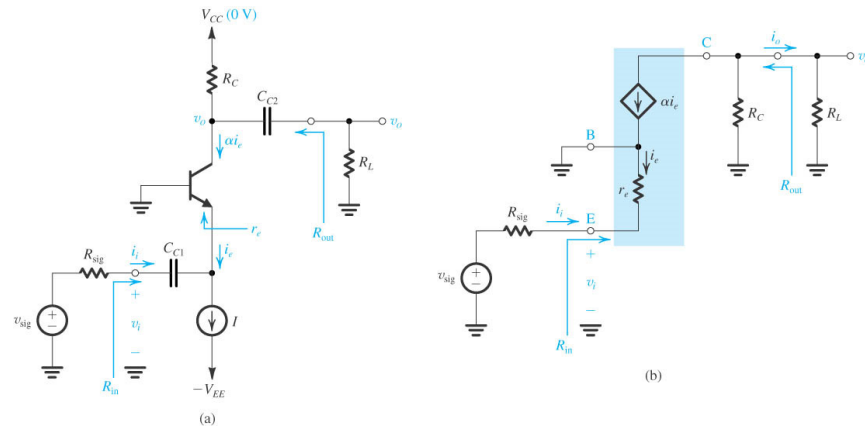
22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

143

Pojačavač sa zajedničkom bazom

e) Analiza za male signale –zamena T- modelom



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

144

Pojačavač sa zajedničkom bazom

e) Analiza za male signale – zamena T -modelom

Mala ulazna otpornost

$$R_u \approx h_{11b} = \frac{h_{11e}}{1 + h_{21e}} = r_e$$

Veliko naponsko pojačanje (kao ZE)

$$A_o \approx \frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C = \frac{\alpha}{r_e} R_C = g_m R_C$$

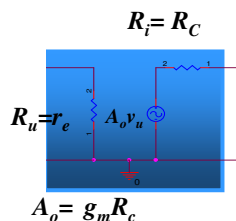
NE obrće fazu

Strujno pojačanje ≈ 1

$$A_{SS} \approx \frac{\beta}{1 + \beta} = \alpha \approx 1$$

Relativno velika izlazna otpornost (kao ZE)

$$R_i = R_C$$



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

145

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:

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

- VF signali priključeni preko koaksialnog kabla (da bi se sprečila refleksija signala - prilagođenje po impedansi $Z_c = 50-75\Omega$)

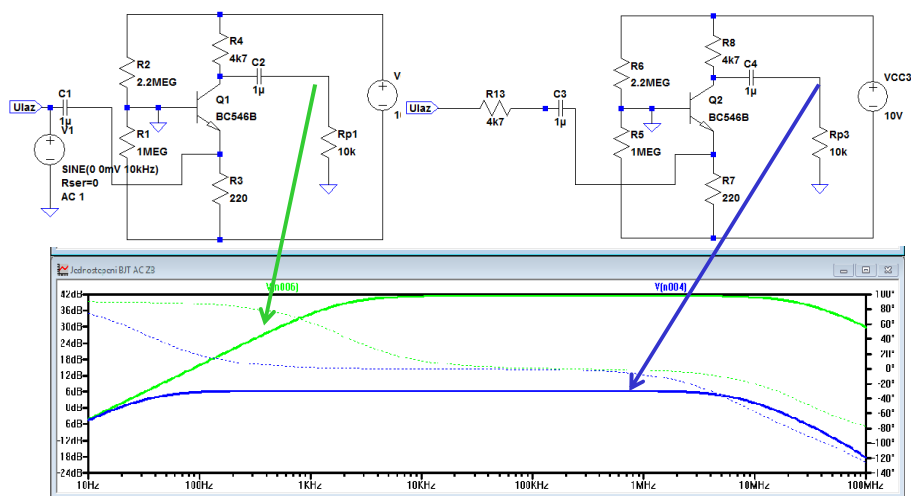
Strujni bafer – jedinično strujno pojačanje – prilagođenje male u veliku izlaznu otpornost.

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

146

Pojačavač sa zajedničkom bazom



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

147

Sadržaj

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

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

148

3. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

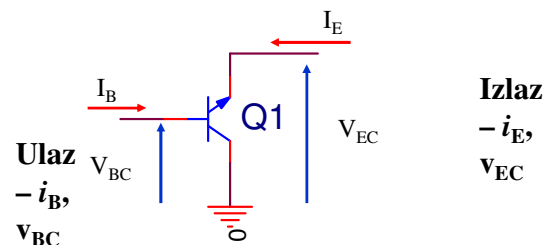
- a. Princip rada
- b. DC polarizacija
- c. Odnosi snaga
- d. Stabilnost
- e. Analiza za male signale
 - i. Ulazna otpornost
 - ii. Pojaćanje
 - iii. Izlazna otpornost
- f. Analiza u frekvencijskom domenu

1) 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 emitorskom kolu (E-C)
 - Faktor strujnog pojaćanja 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
- Pojaćanje napona ≈ 1
- Pojaćanje struje $\approx 1+\beta$

1) Princip rada:

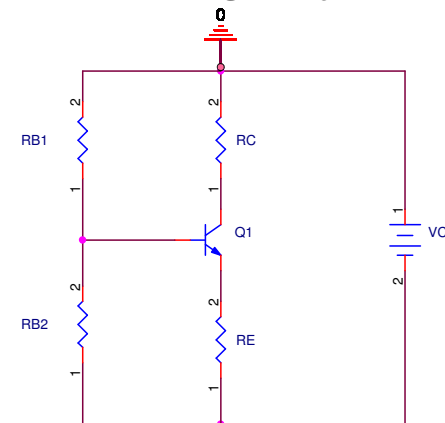
- **Tranzistor radi u konfiguraciji ZC**



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

2) DC polarizacija:

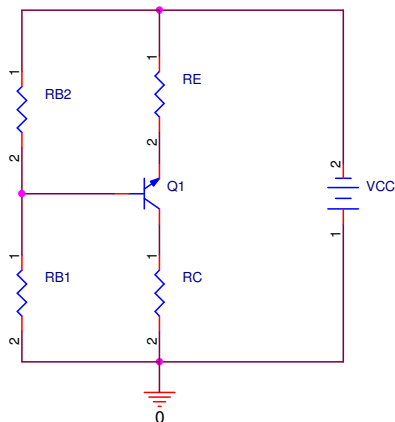
- **Tranzistor radi u konfiguraciji ZC**



Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

2) DC polarizacija:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC



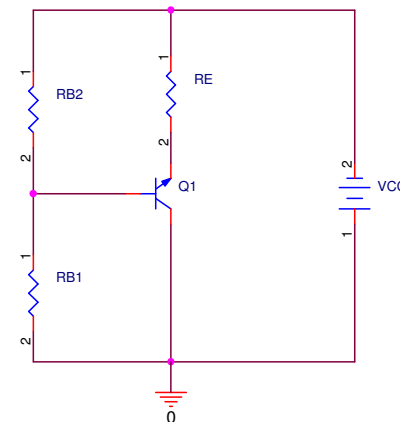
22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

2) DC polarizacija:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC
- Faza?

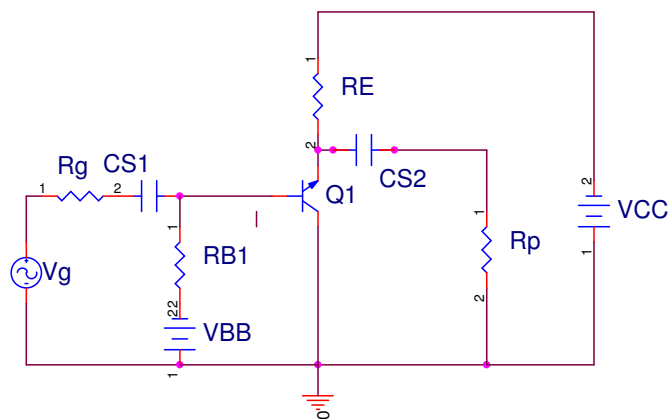


22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

2) DC polarizacija:



22. novembar 2016.

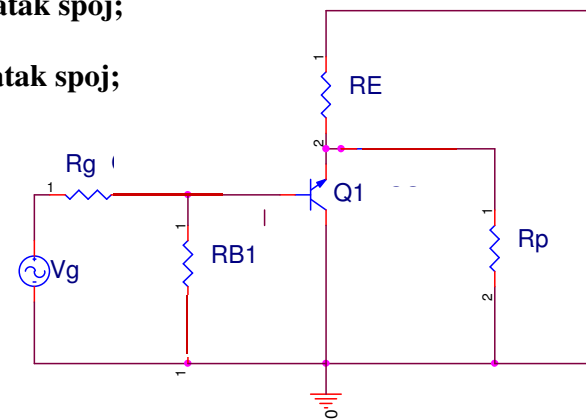
Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

3) Analiza za male signale

V_{EE} i V_{BB} kratak spoj;

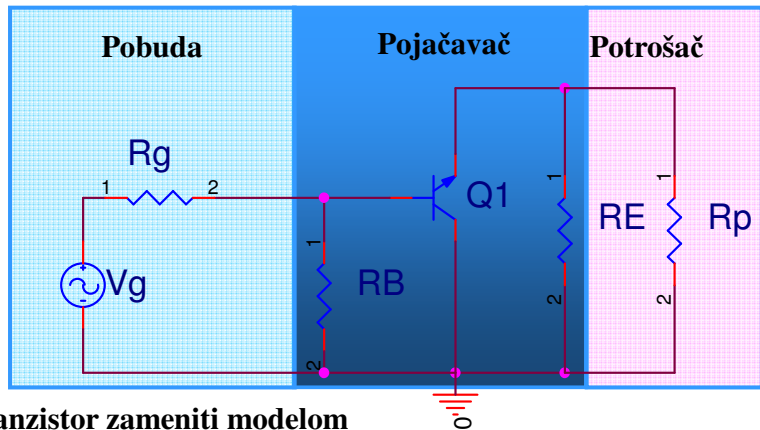
C_{S1} i C_{S2} kratak spoj;



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

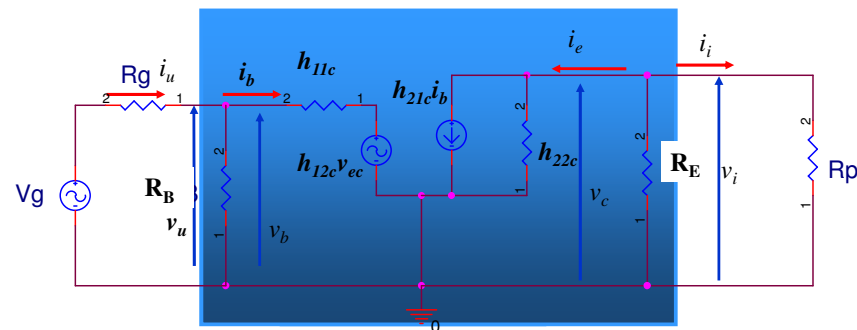
3) Analiza za male signale



Tranzistor zameniti modelom

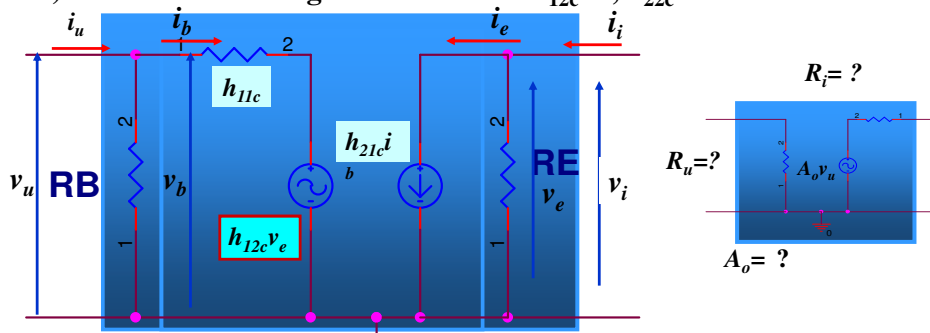
Videti predavanja iz 4. nedelje „04. Modeli poluprovodnickih komponenata (14)“

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



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

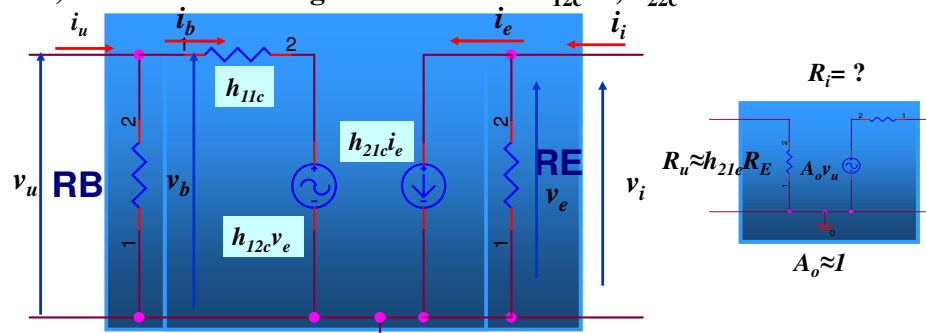
e) Analiza za male signale – model sa $h_{12c}=1, h_{22c}=0$



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

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

e) Analiza za male signale – model sa $h_{12c}=1, h_{22c}=0$

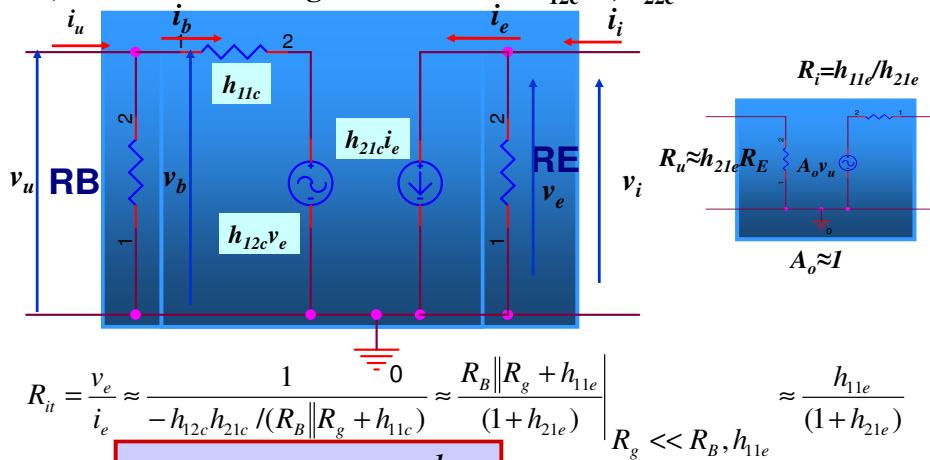


$$R_u = R_{ut} \parallel R_B \approx R_{ut} \approx h_{21} R_E \quad A_o = \left. \frac{v_i}{v_u} \right|_{i_u=0} = -\frac{h_{21c}}{h_{11c} / R_E - h_{12c} h_{21c}}$$

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

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

e) Analiza za male signale – model sa $h_{12c}=1, h_{22c}=0$



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

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

22. novembar 2016. Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

e) Analiza za male signale – model sa $h_{12c}=1, h_{22c}=0$

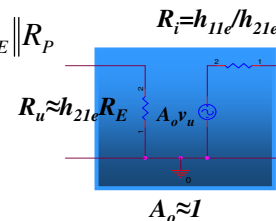
Velika ulazna otpornost

$$R_u \approx h_{11e} + (1+h_{21e})R_E \parallel R_p$$

Naponsko pojačanje ≈ 1

$$A_o \approx 1$$

NE obrće fazu



Strujno pojačanje

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

Mala izlazna otpornost

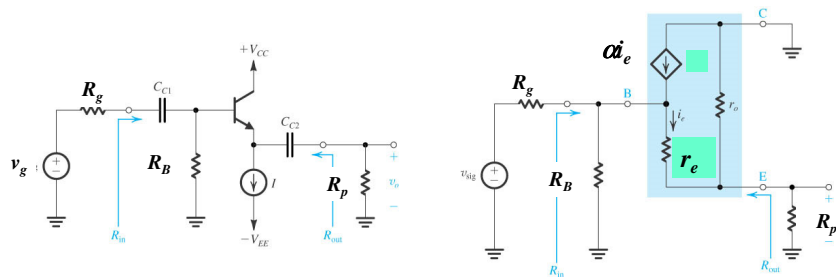
$$R_i = \frac{R_g \parallel R_B + h_{11e}}{1+h_{11e}}$$

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

e) Analiza za male signale –zmena T- modelom



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

e) Analiza za male signale –zmena T- modelom

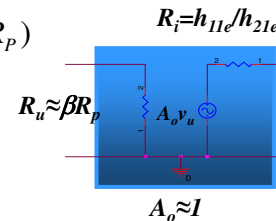
Velika ulazna otpornost

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

Naponsko pojačanje ≈ 1

$$A_o \approx 1$$

NE obrće fazu



Strujno pojačanje

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

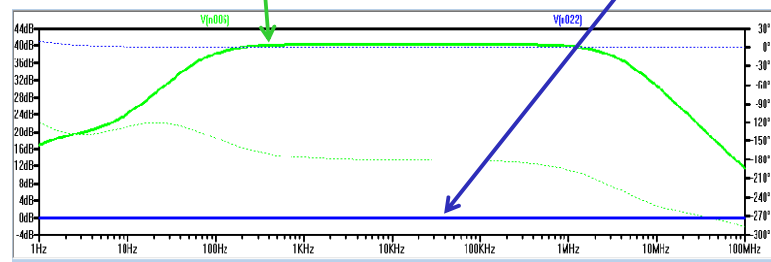
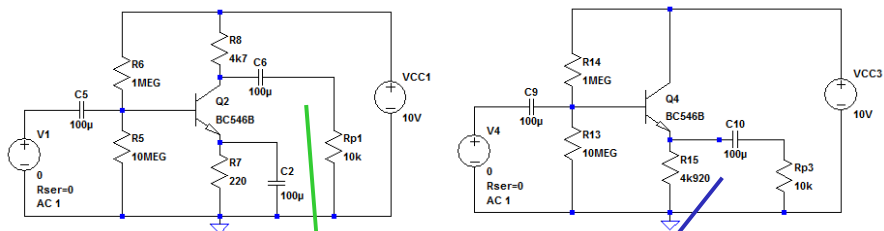
Mala izlazna otpornost

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

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

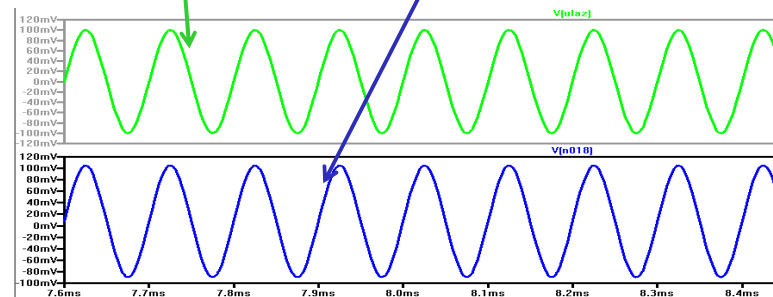
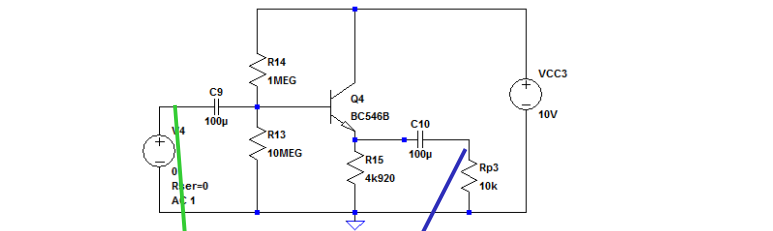


22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

165

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

166

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.

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

167

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.

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

168

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



Domaći 7.2:

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;
- b) preko pojačavača sa zajedničkim kolektorom čiji su parametri: $R_E=5k, R_B=100k, h_{11E}=1k, h_{12E}=0, h_{21E}=100, h_{22E}=0$;
- c) preko pojačavača sa zajedničkim emitorom čiji su parametri: $R_C=5k, R_B=100k, h_{11E}=1k, h_{12E}=0, h_{21E}=100, h_{22E}=0$;
- d) preko kaskadne veze pojačavača sa zajedničkim emitorom iz tačke c) (ulaz vezan za generator) i pojačavača sa zajedničkim kolektorom iz tačke b) (izlaz vezan za R_p).

Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



Domaći 7.2:

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;



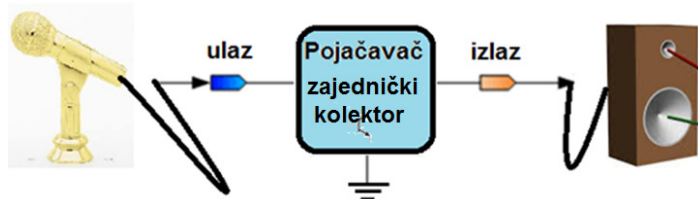
Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



Domaći 7.2:

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:

- b) preko pojačavača sa zajedničkim kolektorom čiji su parametri: $R_E=5k, R_B=100k, h_{11E}=1k, h_{12E}=0, h_{21E}=100, h_{22E}=0$;



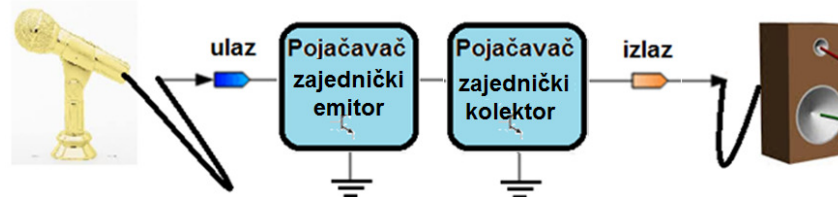
Pojačavač sa zajedničkim kolektorom



Domaći 7.2:

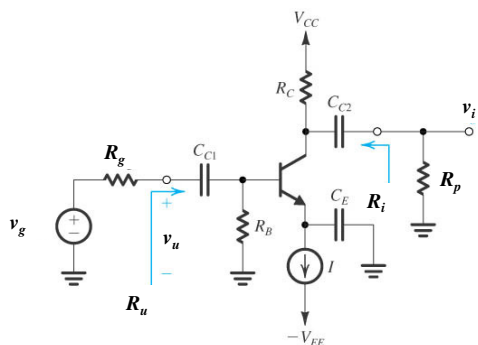
Izračunati napon na potrošaču od $R_p=8\Omega$ ako je pobuđen iz generatora $V_g=10mV$ i $R_g=600\Omega$ u slučaju da je povezan:

- c) preko kaskadne veze pojačavača sa zajedničkim emitorom iz domaćeg zadatka 7.1 (ulaz vezan za generator) i pojačavača sa zajedničkim kolektorom iz tačke b) (izlaz vezan za R_p).



Rezime:

1. Zajednički emitor



$$R_u = R_B \parallel r_\pi = R_B \parallel h_{11e} = R_B \parallel (1 + \beta)r_e$$

$$A_o = -g_m(r_o \parallel R_C) \approx -h_{21e}R_C$$

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

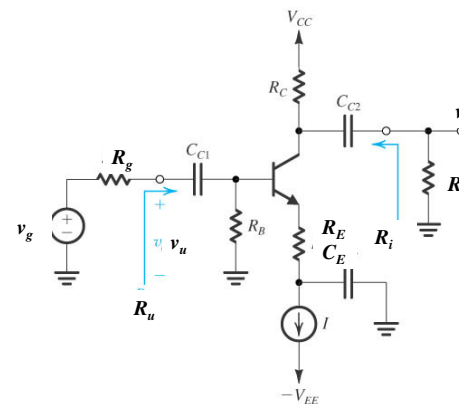
$$A_u = -\frac{R_B \parallel r_\pi}{R_B \parallel r_\pi + R_g} g_m(R_C \parallel R_p)$$

$$A_u \approx -\beta \frac{(R_C \parallel R_p)}{r_\pi + R_g} = -h_{21e} \frac{(R_C \parallel R_p)}{h_{11e} + R_g}$$

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

Rezime:

1.a Zajednički emitor sa otpornikom u emitoru



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

$$R_u = R_B \parallel (h_{11e} + (1 + h_{21e})R_E)$$

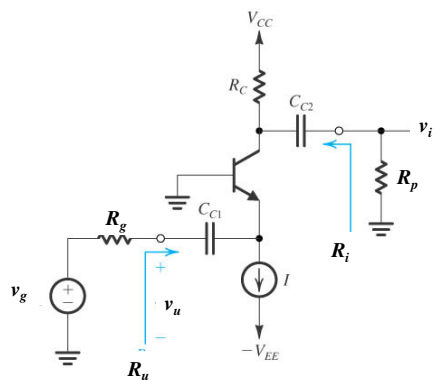
$$A_o \approx -g_m \frac{R_C}{1 + g_m R_E}$$

$$R_i \approx R_C$$

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

Rezime:

2. Zajednička baza



$$R_u = r_e$$

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

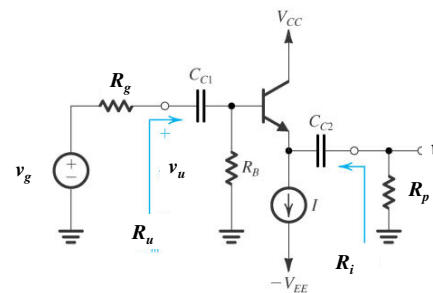
$$R_i \approx R_C$$

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

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

Rezime:

3. Zajednički kolektor



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

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

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

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

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

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]

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

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)

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)



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.**
- **Uticao otpornika u R_E na karakteristike pojačavača sa ZE.**
- **Električna šema, princip rada pojačavača sa ZC i ekvivalentno kolo za male signale na srednjim frekvencijama.**

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

> EDUCATION > ELEKTRONIKA

slajdovi u pdf formatu

Sledećeg časa

Diferencijalni i višestepeni pojačavači

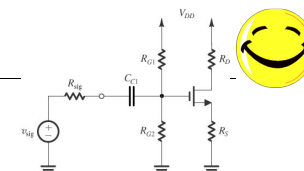


Ispitna pitanja?

1. U polju izlaznih karakteristika BJT u konfiguraciji pojačavača sa ZE nacrtati statičku radnu pravu i označiti izraze koji određuju položaj karakterističnih tačaka. Objasniti uticaj promene R_C na naponsko pojačanje.
2. Odrediti izraze za naponsko pojačanje neopterećenog pojačavača, ulaznu i izlaznu otpornost pojačavača u konfiguraciji sa ZE.
3. Uticao promene temperature na promenu položaja radne tačke osnovnog pojačavača sa zajedničkim emitorom.
4. Temperaturna stabilizacija osnovnog pojačavača sa zajedničkim emitorom pomoću otpornika R_E .
5. Frekvencijske karakteristike pojačavača sa ZE (objasniti zašto se smanjuje pojačanje na NF i VF).
6. Električna šema, princip rada pojačavača sa ZB i ekvivalentno kolo za male signale.
7. Odrediti izraze za naponsko pojačanje neopterećenog pojačavača, ulaznu i izlaznu otpornost pojačavača u konfiguraciji sa ZB.
8. Odrediti izraze za naponsko pojačanje neopterećenog pojačavača, ulaznu i izlaznu otpornost pojačavača u konfiguraciji sa ZC.
9. Nacrtati električne šeme i objasniti fazne stavove izlaznog i ulaznog napona kod pojačavača sa ZE, ZB i ZC.

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.

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

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

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

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

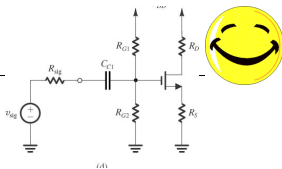
$$V_G = V_S + V_{GS} = V_{DD} / 3 + V_{GS}$$

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

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 $R_{G2}=7M$.

Rešenje: Domaći 6.1

Pojačavač sa zajedničkim sorsom



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

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

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

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

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

$$V_G = V_{GS} + R_S I_D = V_{OS} + V_t + R_S A V_{OS}^2$$

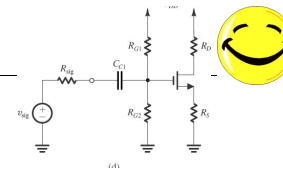
Zamenom brojnih vrednosti za $V_t=1.5\text{V}$, $V_G=7\text{V}$, $R_S=10\text{k}\Omega$, $\Delta R_S=10\text{k}\Omega$ i $A=0.5\text{mA/V}^2$, dobija se kvadratna jednačina po V_{OS} :

$$5V_{OS}^2 + V_{OS} - 5.5 = 0 \Rightarrow V_{OS} = 0.953\text{V} \Rightarrow I_D = A V_{OS}^2 = 0.4546\text{mA}$$

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

Rešenje: Domaći 6.1

Pojačavač sa zajedničkim sorsom



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

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

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

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

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

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

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

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

$$I_D = \frac{1}{2} 10^{-3} (2 - 1.5)^2 = 0.125\text{mA}$$

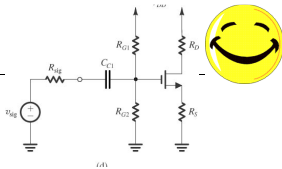
$$\Delta I_D = (0.5 - 0.125)\text{mA} = -0.375\text{mA}$$

$$\Delta I_D / I_D = -(0.375 / 0.5) = -0.75$$

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

Rešenje: Domaći 6.1

Pojačavač sa zajedničkim sorsom



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

- d) Izračunati naponsko pojačanje ulazni i izlaznu otpornost u slučaju a) i c). ($A_u=-10/11$, $R_{ua}=3.73\text{M}\Omega$, $R_{ic}=10\text{k}\Omega$, $A_c=10$, $R_{uc}=1.73\text{M}\Omega$, $R_{ic}=10\text{k}\Omega$)

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

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_t)} = \frac{2 \cdot 0.50 \cdot 10^{-3}}{1} = 1\text{mA/V}$$

$$A_o = -\frac{1 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3}{1 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3} = -\frac{10}{11} = 0.91$$

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

$$R_u = \frac{56 \cdot 10^{12}}{15 \cdot 10^6} = 3.73\text{M}\Omega$$

$$R_i = R_D = 10\text{k}\Omega$$

$$A_o = -g_m R_D$$

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_t)} = \frac{0.250 \cdot 10^{-3}}{0.5} = 0.125\text{mA/V}$$

$$A_o = -0.125 \cdot 10^{-3} \cdot 10 \cdot 10^3 = -1.25$$

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

$$R_u = \frac{26 \cdot 10^{12}}{15 \cdot 10^6} = 1.73\text{M}\Omega$$

$$R_i = R_D = 10\text{k}\Omega$$

Rešenje: Domaći 6.2

Pojačavač sa zajedničkim gejtom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa $V_t=1.5\text{V}$, $\mu_n C_{ox}' W/L=2\text{A/V}^2$, $V_A=75\text{V}$. Poznato je $V_{DD}=V_{SS}=10\text{V}$, $I_D=0.5\text{mA}$, $R_D=15\text{k}\Omega$.

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

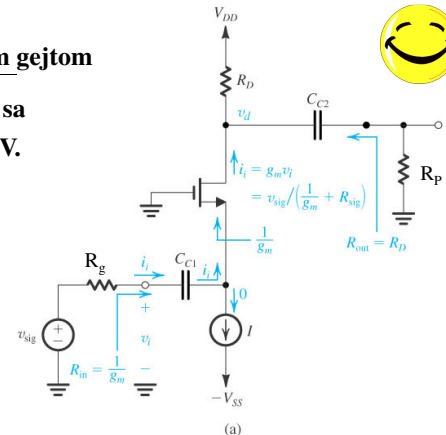
$$V_D = V_{DD} - R_D I_D = 10 - 15 \cdot 10^3 \cdot 0.5 \cdot 10^{-3} = 2.5\text{V}$$

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

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

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

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



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

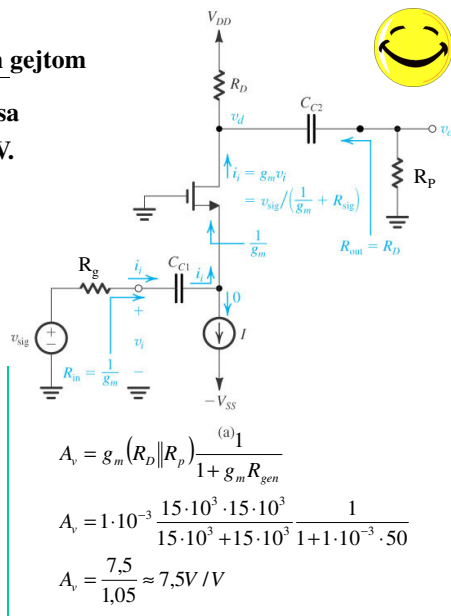
$$A_o = g_m R_D$$

$$g_m = \frac{2I_D}{(V_{GS} - V_t)} = \frac{2 \cdot 0.50 \cdot 10^{-3}}{1} = 1mA/V$$

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

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

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



22. novembar 2016.

Jednostepeni MOSFET pojačavači

189

Rešenje: Domaći 6.2

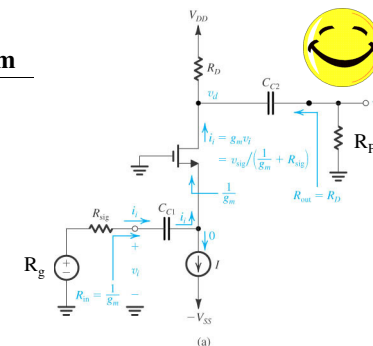
Pojačavač sa zajedničkim gejtom

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 $R_g=1k$, $10k$, $100k$.

$$A_v = g_m (R_D || R_p) \frac{1}{1 + g_m R_{gen}} = 1 \cdot 10^{-3} \frac{15 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^3} \frac{1}{1 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot R_{gen}} = \frac{7.5}{1 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot R_{gen}}$$

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



22. novembar 2016.

Jednostepeni MOSFET pojačavači

190

Rešenje: Domaći 6.3

Pojačavač sa zajedničkim g

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 .

$$V_G = 0$$

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

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

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

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

22. novembar 2016.

Jednostepeni MOSFET pojačavači

191

Rešenje: Domaći 6.3

Pojačavač sa zajedničkim g

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_u , R_i i A_v ukoliko je $R_{gen}=1M\Omega$.

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

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

$$A_o = \frac{g_m r_o}{1 + g_m r_o} = \frac{2 \cdot 0.5mA}{1V} = 1mS$$

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

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

$$A_v = \frac{R_p}{R_p + R_i} \cdot A_o \cdot \frac{R_u}{R_u + R_{gen}} = \frac{15k\Omega}{15k\Omega + 1k\Omega} \cdot 0.993 \cdot \frac{4.7M\Omega}{4.7M\Omega + 1M\Omega} = \frac{15}{16} \cdot 0.993 \cdot \frac{4.7}{5.7} = 0.768V/V$$

22. novembar 2016.

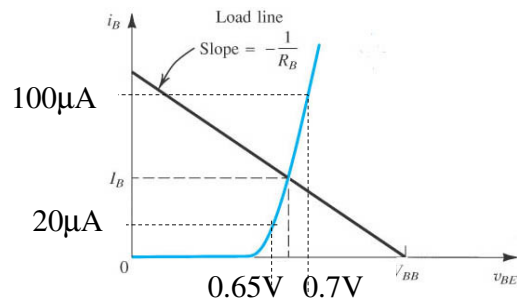
Jednostepeni MOSFET pojačavači

192

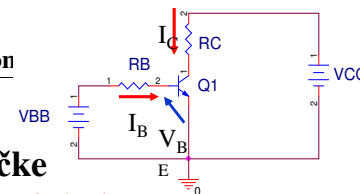
2) DC polarizacija

- Stabilan položaj radne tačke:

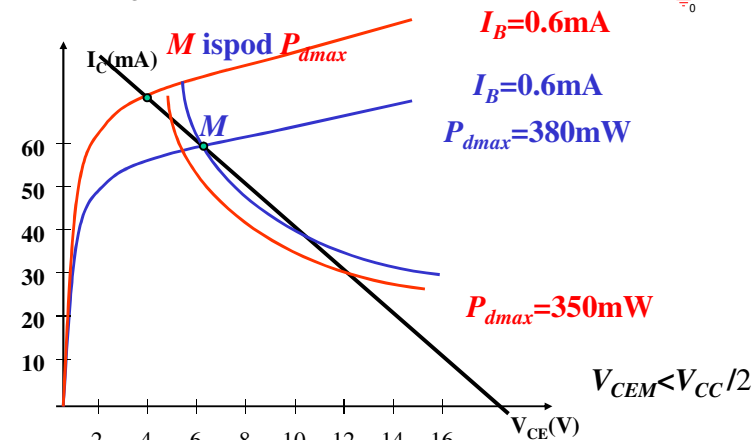
Ulaznu karakteristiku tranzistora karakteriše značajna promena I_B (500%) za male promene V_{BE} (7.7%)



4) Stabilnost



- Značaj izbora mirne radne tačke

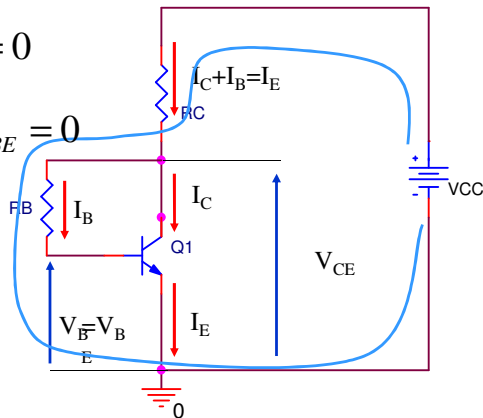


2) DC polarizacija – preko BC otpornika

$$V_{CC} - I_E R_C - I_B R_B - V_{BE} = 0$$

$$V_{CC} - I_E R_C - \frac{I_E}{1 + \beta} R_B - V_{BE} = 0$$

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_B}{1 + \beta}} = 0$$



2) DC polarizacija – preko BC otpornika

$$I_E = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R_C + \frac{R_B}{1 + \beta}} = 0$$

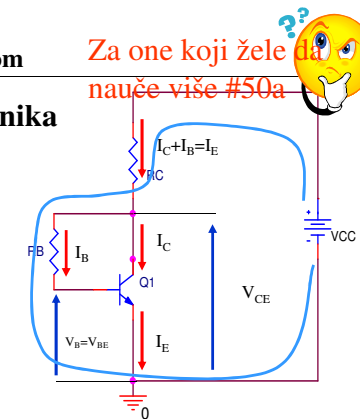
Izraz za I_E sličan onom sa prethodne šeme [link](#)

Umesto V_{BB} je V_{CC} , a umesto R_E je R_C .

Da bi I_E bila nezavisna od β , potrebno je

$R_C \gg R_B / (1 + \beta)$, odnosno **bolje je manje R_B** .

Međutim, vrednost R_B direktno utiče na maksimalni opseg promene izlaznog napona $V_C = I_B R_B - V_{BE}$, tako da mora da se traži kompromis.



Pojačavač sa zajedničkim emitorom
2) DC polarizacija – preko BC otpornika

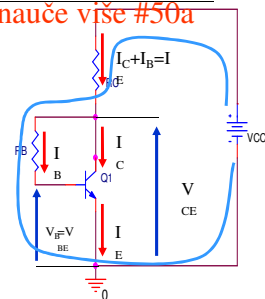
Domaći 7.4:

Projektovati kolo sa slike tako da se obezbedi $I_E = 1\text{mA}$ i opseg promene izlaznog napona od $\pm 2\text{V}$ (znači minimalno $V_{CEM} = 2.3\text{V}$). Poznato je $V_{CC} = 10\text{V}$ i $\beta = 100$.

Ukoliko se proračunate vrednosti otpornosti zamene najpribližnijim standardnim iz seta EIA E24, izračunati koliko će se odstupiti od projektnih zahteva?



Za one koji žele da nauče više #50a



Pojačavač sa zajedničkim emitorom
2) DC polarizacija – preko BC otpornika

Domaći 7.4:

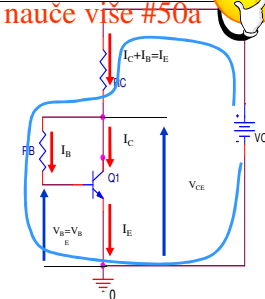
EIA E24 Standardne vrednosti
(otpornici sa tolerancijom $\pm 5\%$)

10	22	47
11	24	51
12	27	56
13	30	62
15	33	68
16	36	75
18	39	82
20	43	91

Veće vrednosti dobijaju se množenjem x10, x100, x1000

Rešenje: $R_B = 162\text{k}$, $R_C = 7.7\text{k}$; $I_E = 1.02\text{mA}$, $V_C = 2.3\text{V}$.

Za one koji žele da nauče više #50a



Pojačavač sa zajedničkim emitorom

2) DC polarizacija – preko simetričnog napajanja

$$I_B = \frac{I_E}{1 + \beta}$$

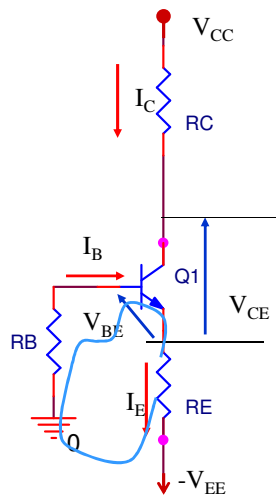
$$I_E = \frac{V_{EE} - V_{BE}}{R_E + \frac{R_B}{1 + \beta}}$$

Za pojačavač sa ZB može $R_B = 0$

Zašto?



Za one koji žele da nauče više #50a



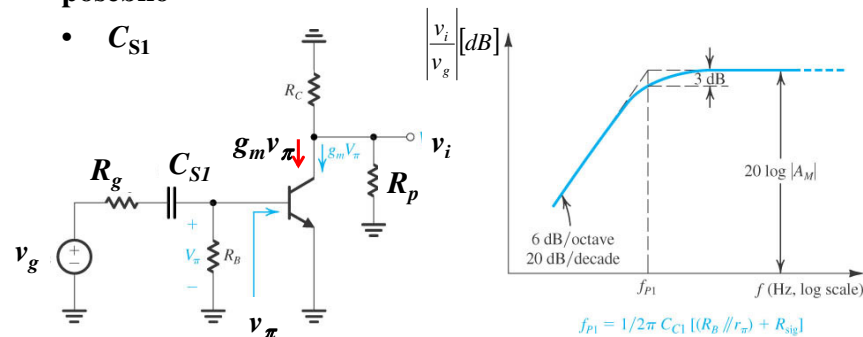
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF

Utiču C_{S1} , C_E i C_{S2} ; posmatramo uticaj svakog kondenzatora posebno

- C_{S1}

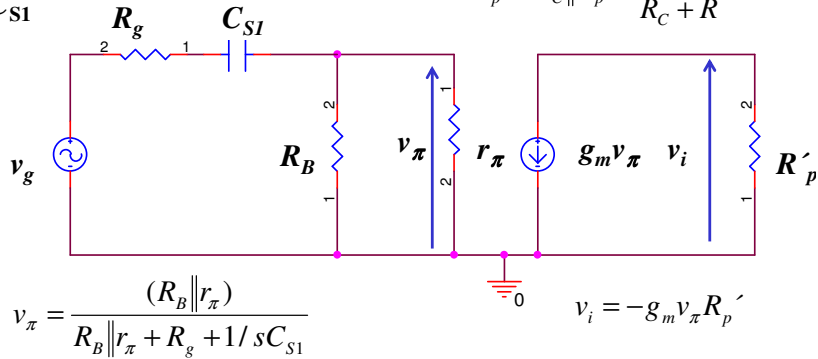


Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF - C_{S1}



$$R_p' = R_C \parallel R_p = \frac{R_C R_p}{R_C + R_p}$$

$$v_\pi = \frac{(R_B \parallel r_\pi)}{R_B \parallel r_\pi + R_g + 1/sC_{S1}}$$

$$v_i = -g_m v_\pi R_p'$$

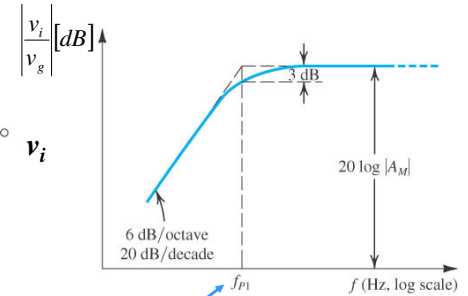
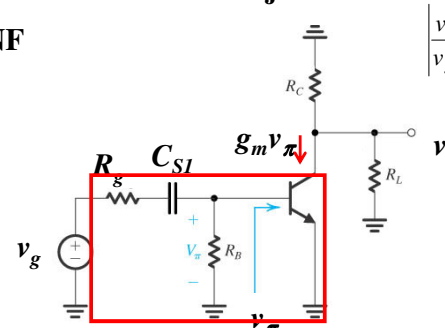
$$A = \frac{V_i}{V_g} = -\frac{(R_B \parallel r_\pi)}{R_B \parallel r_\pi + R_g} g_m R_p' \frac{s}{s + \frac{1}{C_{S1} [R_B \parallel r_\pi + R_g]}}$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF



$$f_{p1} = \frac{1}{2\pi \cdot C_{S1} [R_B \parallel r_\pi + R_g]}$$

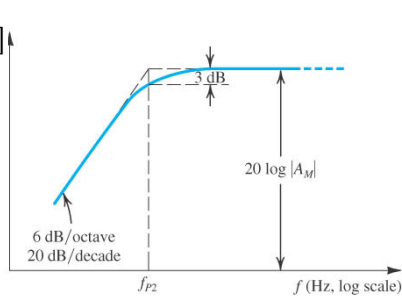
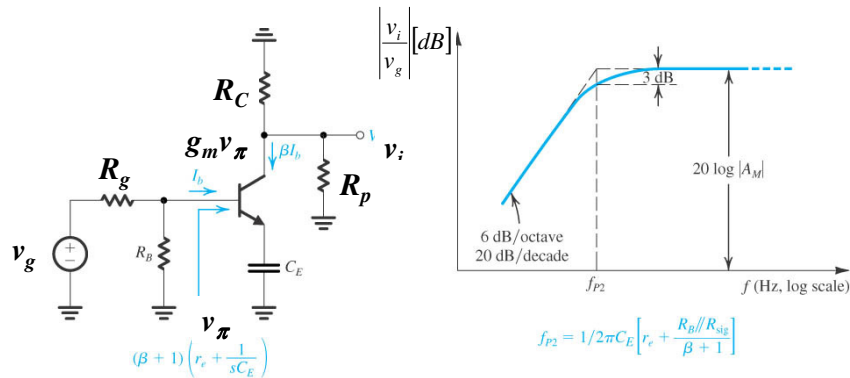
$$\omega_{p1} = \frac{1}{C_{S1} [R_B \parallel r_\pi + R_g]}$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF - C_E



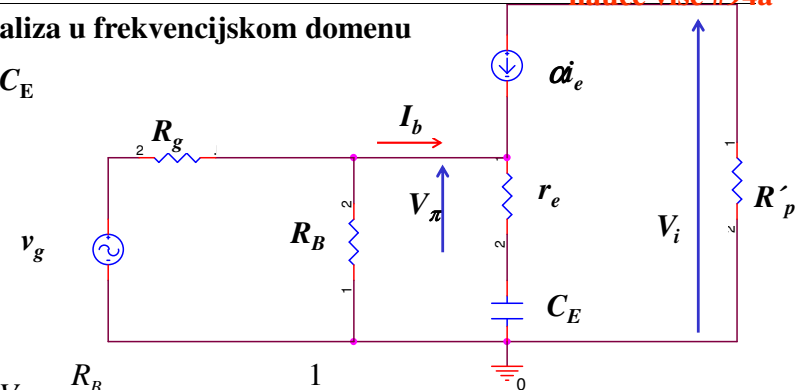
$$f_{p2} = 1/2\pi C_E \left[r_e + \frac{R_B \parallel R_{sig}}{\beta + 1} \right]$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF - C_E



$$I_b = V_g \frac{R_B}{R_B + R_g} \frac{1}{R_B \parallel R_g + (1 + \beta)(r_e + 1/sC_E)}$$

$$V_i = -\beta I_b R_p'$$

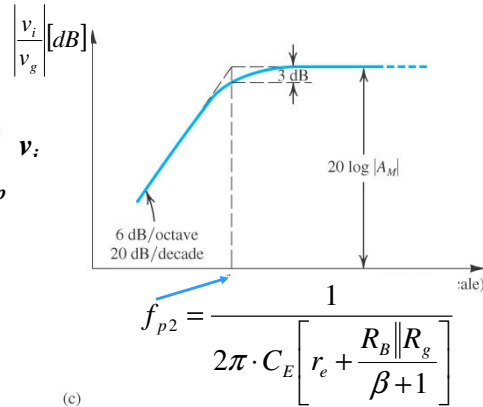
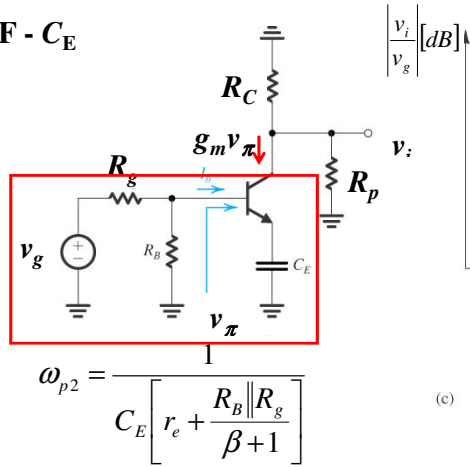
$$A = \frac{V_i}{V_g} = -\frac{R_B}{R_B + R_g} \frac{\beta R_p'}{R_B \parallel R_g + (1 + \beta)r_e} \frac{s}{s + \frac{1}{C_E \left[r_e + \frac{R_B \parallel R_g}{\beta + 1} \right]}}$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF - C_E



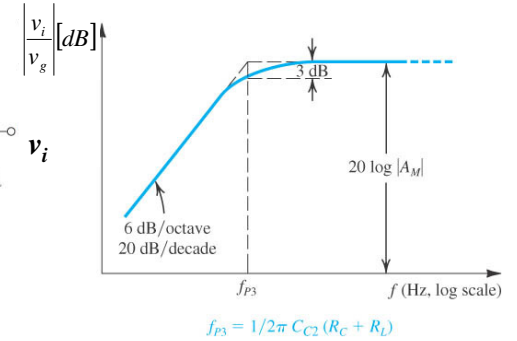
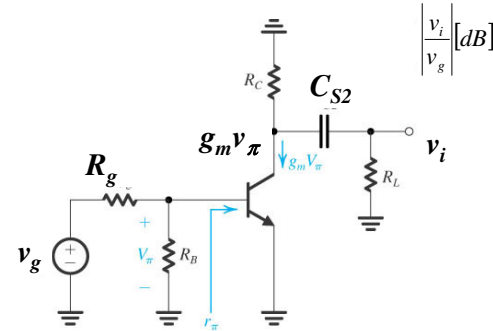
$$\omega_{p2} = \frac{1}{C_E \left[r_e + \frac{R_B \parallel R_g}{\beta + 1} \right]}$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF - C_{S2}



$$f_{p3} = 1/2\pi C_{S2} (R_C + R_L)$$

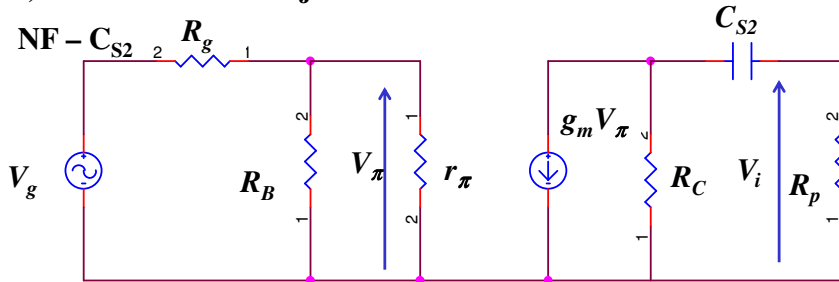
(d)

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF - C_{S2}



$$V_\pi = \frac{(R_B \parallel r_\pi)}{R_B \parallel r_\pi + R_g} V_g$$

$$V_i = -g_m V_\pi \frac{R_C}{R_C + 1/(sC_{S2}) + R_p} R_p$$

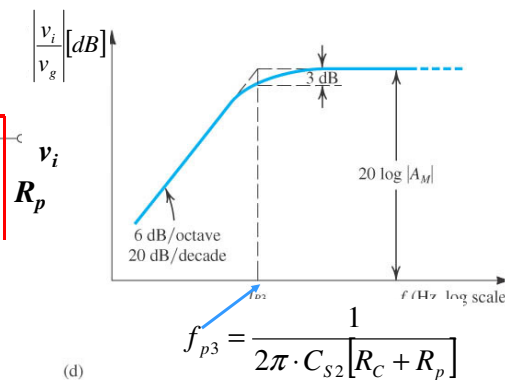
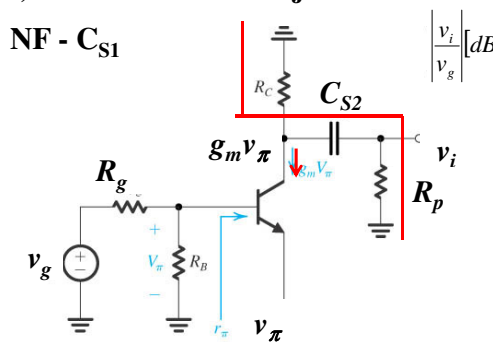
$$A = \frac{V_i}{V_g} = -\frac{(R_B \parallel r_\pi)}{R_B \parallel r_\pi + R_g} g_m R_p \frac{s}{s + \frac{1}{C_{S2} [R_C + R_p]}}$$

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF - C_{S1}



$$\omega_{p3} = \frac{1}{C_{S1} [R_C + R_p]}$$

(d)

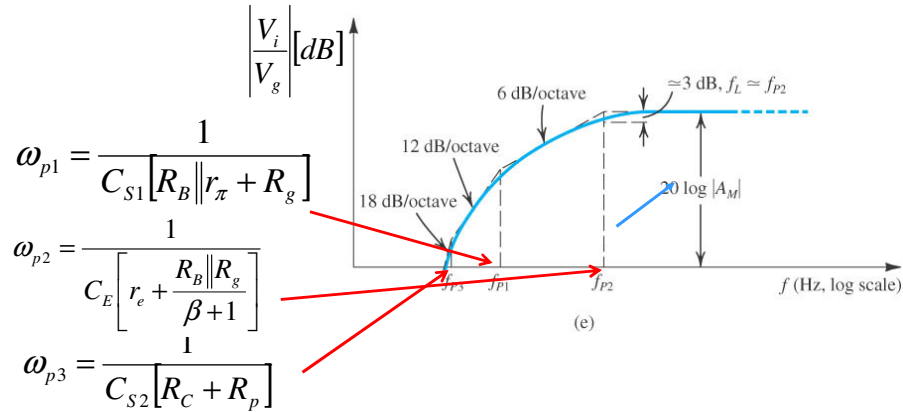
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF – Uticaj sva tri kondenzatora

U slučaju da ne postoji interakcija medju njima



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

209

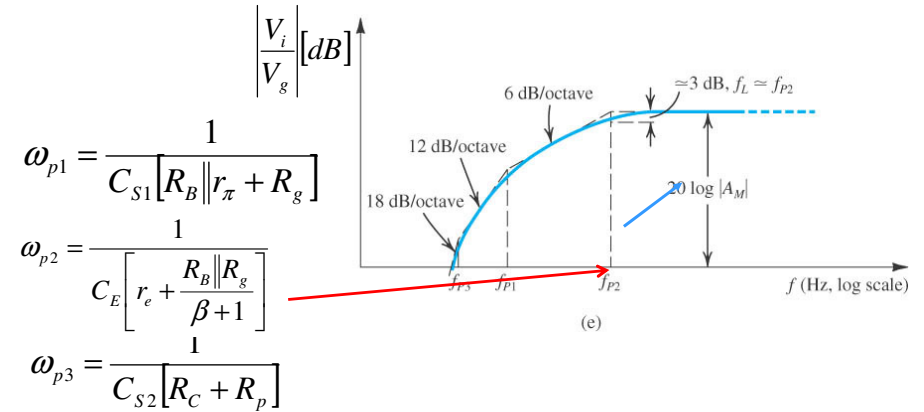
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF – Uticaj sva tri kondenzatora

Donju graničnu frekvenciju određuje uticaj C_E



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

210

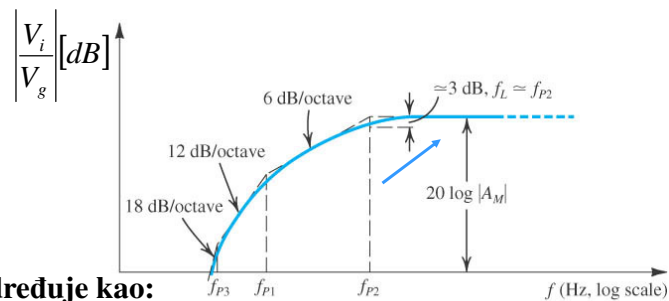
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF – Uticaj sva tri kondenzatora

Ukoliko postoji interakcija (naročito se ispoljava kod C_{S1} i C_E), nije lako izračunati donju graničnu frekvenciju.



Približno se određuje kao:

$$\omega_d = \omega_{p1} + \omega_{p2} + \omega_{p3} = \frac{1}{C_{S1} R_{S1}} + \frac{1}{C_E R_e} + \frac{1}{C_{S2} R_{S2}}$$

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

211

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

Za one koji žele da nauče više #94a

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF – Projektovanje



S obzirom da dominantnu ulogu igra C_E , za željenu f_d izabere se C_E tako da član $1/(C_E R_e)$ predstavlja 80% zbira. C_{S1} i C_{S2} biraju se tako da njihov doprinos bude po 10%.

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

212

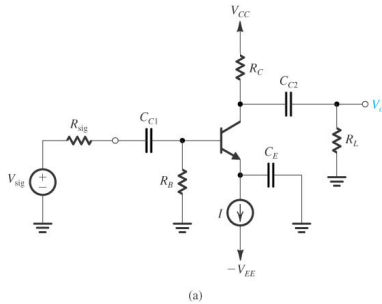
Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF – Projektovanje

Primer:

Odrediti vrednosti kondenzatora C_{S1} , C_{S2} i C_E u kolu sa slike tako da donja granična frekvencija bude 100Hz. Poznato je $R_B=100k$, $R_C=8k$, $R_p=5k$, $R_g=5k$, $\beta=100$, $g_m=40mA/V$ i $r_\pi=2.4k$.



22. novembar 2016.

213

Za one koji žele da nauče više #94a

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF – Projektovanje

Rešenje:

Odrede se vrednosti otpornosti koje “vidi” svaki kondenzator pod uslovom da je $V_g=0$ i da su reaktanse druga dva kondenzatora =0.

$$R_{S1} = R_B \parallel r_\pi + R_g = 7.44k\Omega$$

$$R_E = r_e + \frac{R_B \parallel R_g}{\beta + 1} = 72\Omega$$

$$R_{S2} = R_C + R_p = 13k\Omega$$

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

214

Pojačavač sa zajedničkim emitorom

f) Analiza u frekvencijskom domenu

NF – Projektovanje

Rešenje:

Odredi se vrednost C_E tako što se njegov doprinos izjednači sa 80% zadate granične frekvencije.

$$\omega_{p3} = \frac{1}{C_E R_E} = 0.8\omega_d = 0.8 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 100$$

$$C_E = \frac{0.8 \cdot \omega_d}{R_E} = \frac{0.8 \cdot 2 \cdot \pi \cdot 100}{72} = 27.6\mu F$$

Odredi se vrednost C_{S1} i C_{S2} tako što se njihov doprinos izjednači sa 10% zadate granične frekvencije.

$$C_{S1} = \frac{0.1 \cdot \omega_d}{R_{S1}} = 2.1\mu F \quad C_{S2} = \frac{0.1 \cdot \omega_d}{R_{S2}} = 1.2\mu F$$

22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

215

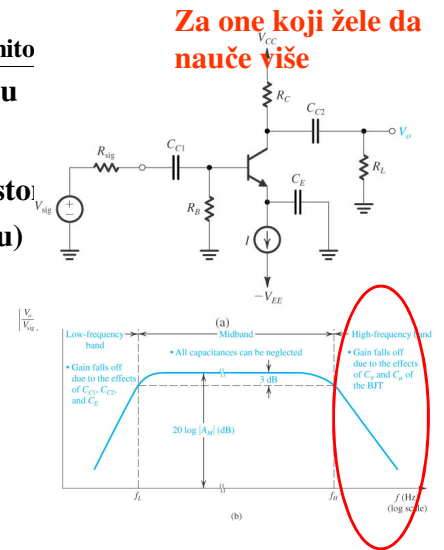
Za one koji žele da nauče više #94a

Pojačavač sa zajedničkim emito

f) Analiza u frekvencijskom domenu

Na VVF C_μ i C_π dolaze do izražaja

- C_μ kratkospaja C i B tranzistora
- C_π kratkospaja B za E (masu)



22. novembar 2016.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

216

Za one koji žele da nauče više