

## Osnovi elektronike

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
Kolokvijum I (26.11.2018.)	50%	20%
Kolokvijum II (21.01.2019.)	50%	20%
	<b>120%</b>	<b>60%</b>

**Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA**

**Savet: Izađite na kolokvijum MNOGO JE LAKŠE!**

22. novembar 2018. 1

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

**Pojačavač može da se realizuje i sa BJT tranzistorima**

22. novembar 2018. 2

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

## I njih, kao i MOSFET, sagledavamo sa stanovišta:

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

22. novembar 2018. 3

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

## DC

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

**Mirnu radnu tačku određuju:**

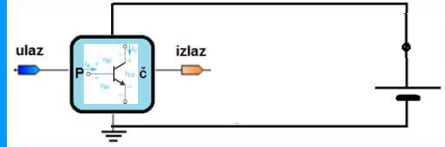
- a) vrednosti otpornosti i DC generatora u kolu t.j. radna prava na primer  $V_{CE} = V_{CC} - R_C I_C$
- b) I-V karakteristike BJT u kolu na primer

22. novembar 2018. 4

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

**DC**

**Za pojačavače realizovane na bazi BJT**



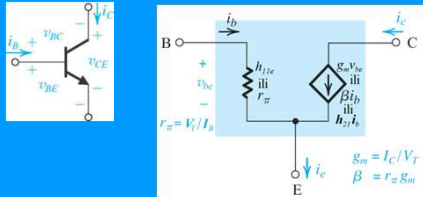
**BJT: mora da radi u aktivnoj oblasti:**  
*B-E spoj direktno; B-C spoj inverzno*

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

22. novembar 2018. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 5

**DC**

kada se utvrde DC struje i naponi, mogu da se izračunaju dinamički parametri ( $g_m, r_{\pi}, R_o, h_{11}, h_{21}, \dots$ ) aktivnih elemenata



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

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

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

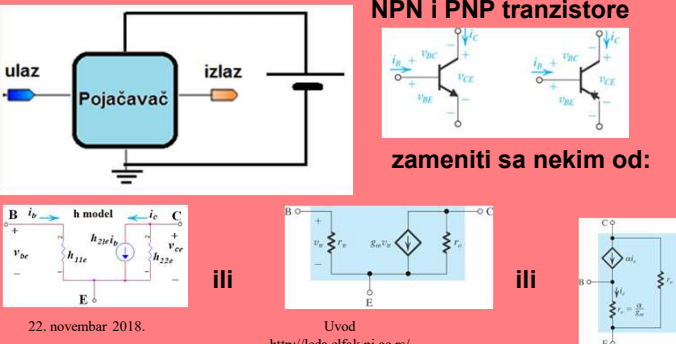
22. novembar 2018. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 6

**AC**

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

a) Poluprovodničke komponente zameniti AC modelima

**NPN i PNP tranzistore zameniti sa nekim od:**

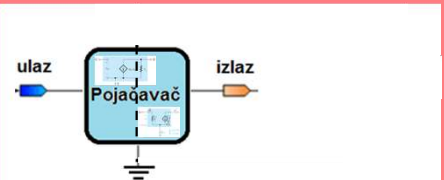
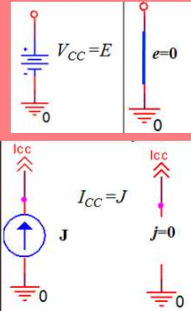


22. novembar 2018. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 7

**AC**

Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale :

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

22. novembar 2018. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 8

**AC**  
**Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale:**

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

22. novembar 2018. Uvod  
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 9

**AC**  
**Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale:**

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

22. novembar 2018. Uvod  
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 10

**AC**  
**Transformišemo električnu šemu u ekvivalentnu šemu za male signale:**

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

22. novembar 2018. Uvod  
http://leda.elfak.ni.ac.rs/ 11

**AC**  
**Odredimo ukupno pojačanje**

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

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

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

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni BJT pojačavači 12

**AC**

**Odredimo ukupno pojačanje**

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni BJT pojačavači 13

## Jednostepeni pojačavači sa BJT

14

## Osnovi elektronike

### Kako se BJT koristi kao pojačavač?

22. novembar 2018. Uvod <http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 15

**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

22. novembar 2018. Jednostepeni BJT pojačavači 16

### 1. Poređenje MOSFET – BJT: karakteristike

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

$i_G = 0$

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

$i_B = i_C / \beta$

22. novembar 2018. Jednostepeni BJT pojačavači 17

### 1. Poređenje MOSFET – BJT malosignalni model

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

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

$r_\pi = \frac{V_T}{I_B} \approx \frac{0.025 \text{ V}}{x \cdot 10^{-6} \text{ A}} \approx x \cdot [\text{k}\Omega]$

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

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

Jednostepeni BJT pojačavači

### 1. Poređenje MOSFET – BJT VF

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

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

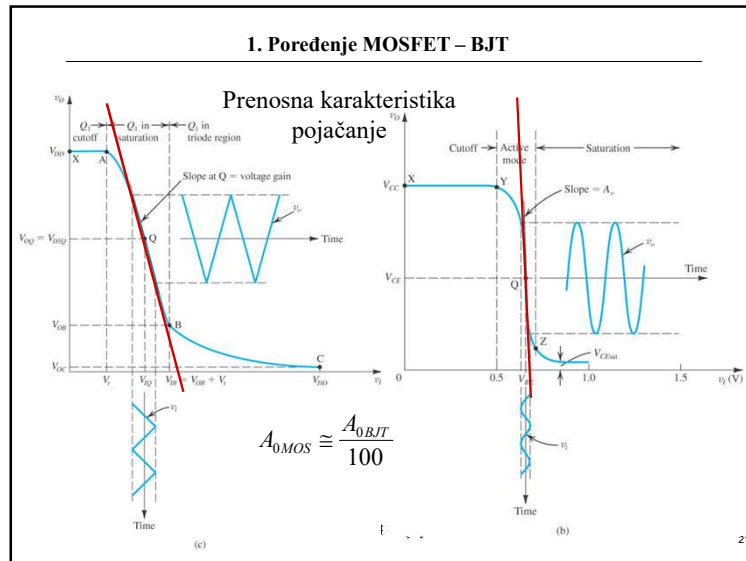
22. novembar 2018. Jednostepeni BJT pojačavači 19

### 1. Poređenje MOSFET – BJT Osnovna konfiguracija

(a)

(a)

22. novembar 2018. Jednostepeni BJT pojačavači 20



**Pojačavači sa BJT**

Važi za sve konfiguracije :

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

22. novembar 2018.
Jednostepeni pojačavači sa BJT

22

**Sadržaj**

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

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

22. novembar 2018.
Jednostepeni pojačavači sa BJT

23

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

a) Princip rada:

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

22. novembar 2018.
Jednostepeni pojačavači sa BJT

24

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**a) Princip rada:**

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

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

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

**Neophodna pretpolarizacija – jednosmerna (mirna) radna tačka**

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 25

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**a) Princip rada:**

- Tranzistor radi u aktivnom režimu

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

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

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

Da li obrće fazu? 🤔

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 28

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**a) Princip rada:**

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

Da li obrće fazu? 🤔

$$I_C = \beta I_B$$

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 27

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**a) Princip rada:**

- Tranzistor radi u aktivnom režimu

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

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

(=  $100 \cdot 60 \mu A = 6mA$ )

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

(=  $10 - 6mA \cdot 1k\Omega = 4V$ )

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 28

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**a) Princip rada:**

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**a) Princip rada:**

$v_{CE}$  zavisi od otpora  $R_C$  – nije osobina idealnog pojačavača napona  
**Strujno pojačanje  $i_C/i_B$  ostalo isto, a naponsko pojačanje se smanjilo.**

**Dakle, radi se suštinski o pojačavaču struje!**

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**a) Princip rada:**

**Pojačanje napona u konkretnom slučaju (1) iznosi**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**a) Princip rada:**

**Pojačanje napona u konkretnom slučaju (2) iznosi**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT



**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**b) DC polarizacija obezbeđuje rad u aktivnom režimu**

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      33

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**b) DC polarizacija**

**Ovo kolo predstavlja osnovu za praktičnu realizaciju pojačavača sa zajedničkim emitorom**

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      34

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**b) DC polarizacija**

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

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      35

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**b) DC polarizacija – analiza / model BJT za velike signale**

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

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      36

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

**d) Stabilnost**

Nestabilnost dolazi do izražaja usled:

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 37

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

**4) Stabilnost**

**Za BJT GENERALNO VAŽI**

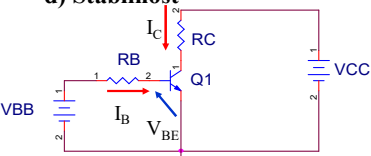
TEMPERATURNI NESTABILNA KOMPONENTA

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 38

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

**d) Stabilnost**



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

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

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

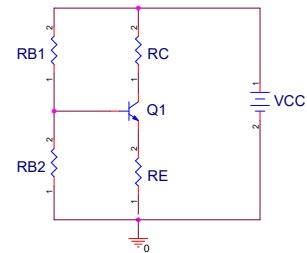
$I_C$  zavisi od

$\beta$ ,  $V_{BE}$  i  $I_{C0}$

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 39

2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom

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



[Ako poraste T] => [  $I_B$  raste (zašto?) ] =>

[ raste  $I_C$  i to  $\beta$  puta brže (zašto?) ] => [ raste  $V_E$  (zašto?) ]

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 40

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**d) Stabilnost veća ako postoji  $R_E$**

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

$\Delta I_C \approx 4 mA$                        $\Delta I_C \approx 45 mA$

22. novembar 2018.                      Jednostepeni pojačavači sa BJT                      41

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

Za one koji žele da nauče više

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

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

$Q1 \equiv Q2$

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

Strujno ogledalo  
Current mirror

22. novembar 2018.                      Jednostepeni pojačavači sa BJT                      42

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

22. novembar 2018.                      Jednostepeni pojačavači sa BJT                      43

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

22. novembar 2018.                      Jednostepeni pojačavači sa BJT                      44

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 45

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

Pojačanje ne zavisi od frekvencije!!!

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 46

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

**Spoljašnji elementi**

**Kolo pojačavača čine:**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 47

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 48

# Jednostepeni BJT pojačavači

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

$$R_u \equiv \left. \frac{v_u}{i_u} \right|_{R_p \rightarrow \infty, (i_i = 0)} = ?$$

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

**Pojačavač napona**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 49

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

**Otpornost pojačavača**

22. novembar 2018. 50

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 51

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

**model sa h-parametrima**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 52

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**  
**e) Analiza za male signale**  
**model sa  $h_{12}=0, h_{22}=0$**

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

$R_u = \frac{v_u}{i_u} = h_{11e} \mid R_B = \frac{h_{11e} R_B}{h_{11e} + R_B}$   
 $R_u \approx h_{11e}$  za  $R_B \gg h_{11e}$

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 53

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**  
**e) Analiza za male signale**  
**model sa  $h_{12}=0, h_{22}=0$**

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

$A_o = \frac{v_i}{v_u} \mid i_u = 0 = -\frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C$

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 54

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**  
**e) Analiza za male signale**  
**model sa  $h_{12}=0, h_{22}=0$**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 55

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**  
**e) Analiza za male signale**  
**model sa  $h_{12}=0, h_{22}=0$**   
**Parametri pojačavača sa zajedničkim emitorom:**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 56

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

**Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora**

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

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      57

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

**Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora**

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      58

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

**Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora**

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      59

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

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

**Pojačanje opterećenog pojačavača pobuđenog iz realnog izvora**

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      60

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale**

**Veza  $h$  i  $\pi$  modela**

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

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

$$R_i \cong R_C$$

Pojačavačem sa ZE može da se ostvari naponsko pojačanje reda nekoliko stotina.  
 Znak „-“ ukazuje da je signal na izlazu suprotne faze od ulaznog  
 Usled konačne ulazne otpornosti (reda k $\Omega$ ) dobro je da se pobuđuju generatorima male izlazne otpornosti.  
 Usled konačne izlazne otpornosti (x10k $\Omega$ ) povoljan je za pobudu potrošača sa što većom otpornošću.

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      61

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**Domaći 7.1:**  
 Izračunati napon na potrošaču od  $R_p=8\Omega$  pojačavača sa zajedničkim emitorom čiji su parametri:  $R_C=5k$ ,  $R_B=100k$ ,  $h_{11E}=1k$ ,  $h_{12E}=0$ ,  $h_{21E}=100$ ,  $h_{22E}=0$ , ako je pobuđen iz generatora  $V_g=10mV$  i  $R_g=600\Omega$ .

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      62

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale - otpornost u emitoru**

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

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

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

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

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

pojačavači sa BJT      63

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale - otpornost u emitoru**

64



**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**f) Analiza u frekvijskom domenu**

**Prethodna analiza:**

- Reaktanse svih kondenzatora zanemarene

**Rezultat:**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 65

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**f) Analiza u frekvijskom domenu**

**Realno kolo:**

**Reaktanse kondenzatora konačne**

- Na NF  $C_S$  i  $C_E$  predstavljaju konačne impedanse
- $C_S$  blokiraju (oslabi) NF signal
- $C_E$  ponaša se kao impedansa u emitoru – smanjuje pojačanje
- Na VF  $C_\mu$  i  $C_\pi$  (vidi  $\pi$  model BJT) dolaze do izražaja
- $C_\mu$  kratkospaja C i B
- $C_\pi$  kratkospaja B za E (masu)

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**f) Analiza u frekvijskom domenu**

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

Tranzistor se zamenjuje hibridnim  $\pi$  modelom

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 67

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**f) Analiza u frekvijskom domenu**

Za one koji žele da nauče više

VF –

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

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

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 68

**Za one koji žele da nauče više**

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**f) Analiza u frekvencijskom domenu**

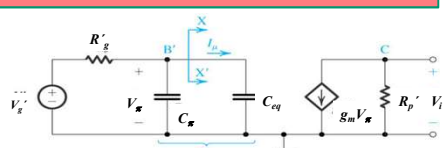
VF –

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

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

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

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

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


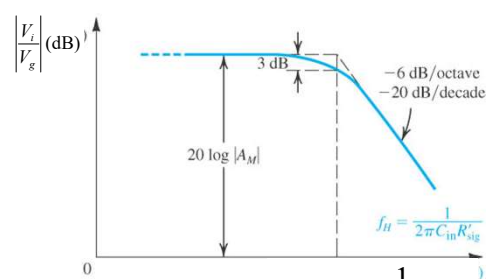
22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 69

**Za one koji žele da nauče više**

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**f) Analiza u frekvencijskom domenu**

VF –

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


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

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

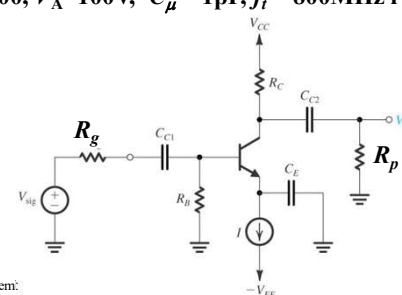
22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 70

**Za one koji žele da nauče više**

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**f) Analiza u frekvencijskom domenu - Primer**

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



22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 71

**Za one koji žele da nauče više**

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**f) Analiza u frekvencijskom domenu - Rešenje**

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

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

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

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 72

**Za one koji žele da nauče više**

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**f) Analiza u frekventijskom domenu - Rešenje**

Pojačanje na srednjim frekvencijama je:

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

$$A = -30V/V$$

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

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 73

**2. Pojačavač sa zajedničkim emitorom**

**e) Analiza za male signale - otpornost u emitoru**

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 74

**Sadržaj**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 75

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

**2. 3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 76

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

a) Princip rada:

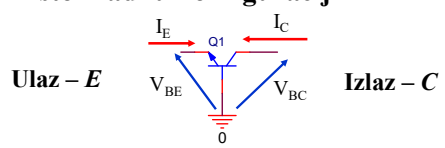
- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB
  - Ulaz –  $i_E$ ,  $v_{EB}$  pobuda u emitorskom kolu
  - Izlaz –  $i_C$ ,  $v_{CB}$  potrošač u kolektorskom kolu
- Tranzistor radi u **aktivnom** režimu
- Pojačava male signale (u okolini radne tačke)
- Ne obrće fazu

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      77

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB



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

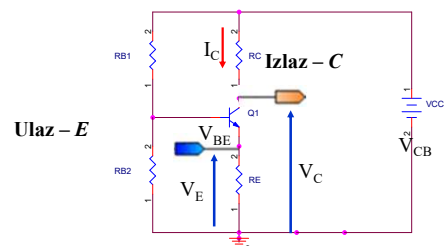
	NPN	PNP
BE direktno	$V_B > V_E$	$V_B < V_E$
BC inverzno	$V_B < V_C$	$V_B > V_C$
Značenje	$V_C > V_B > V_E$	$V_C < V_B < V_E$

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      78

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

a) Princip rada:

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

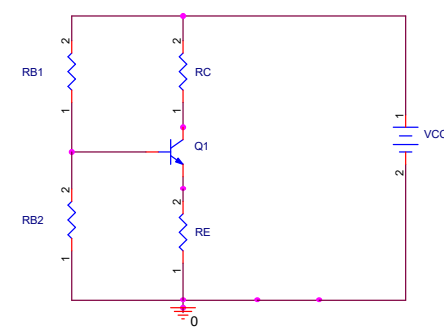


Ako  $V_E$  raste, tada  $V_{BE}$  ..., pa i  $I_B$  ..., a onda  $I_C$  ..., pa će  $V_{CE}$  da ... zato što je  $V_C = V_{CC} - I_{CM} R_C$

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      79

3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

b) DC polarizacija:



22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      80

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

**b) DC polarizacija:**

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 81

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

**b) DC polarizacija:**

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 82

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

**b) DC polarizacija:**

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 83

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

**b) DC polarizacija:**

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZB

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 84

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

**c) Analiza za male signale**

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

0

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 85

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

**c) Analiza za male signale**

0

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 88

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

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

0

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 87

**Model bipolarnog tranzistora**

**Hibridni model –  $h$  parametri**

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

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

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

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

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

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

22. novembar 2018. Modeli poluprovodničkih komponenta 88

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 89

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

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

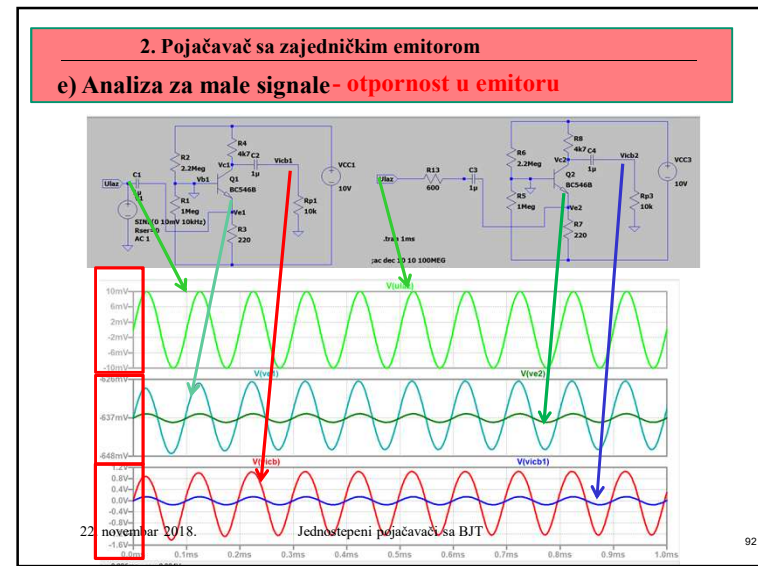
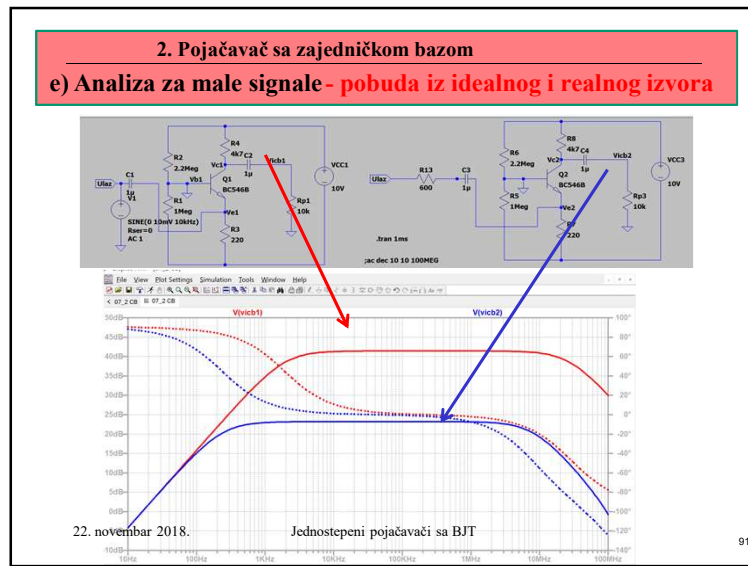
Mala ulazna otpornost  $R_u = \frac{v_u}{i_u} \approx h_{11b} = \frac{h_{11e}}{1+h_{21e}}$

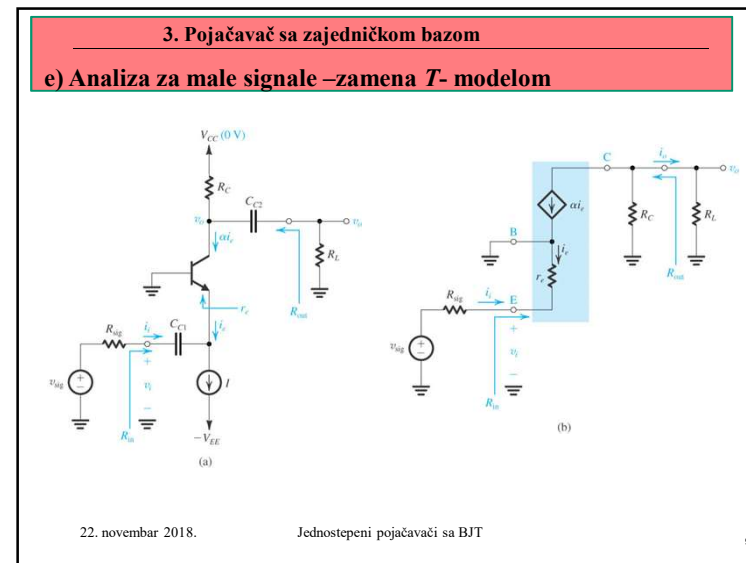
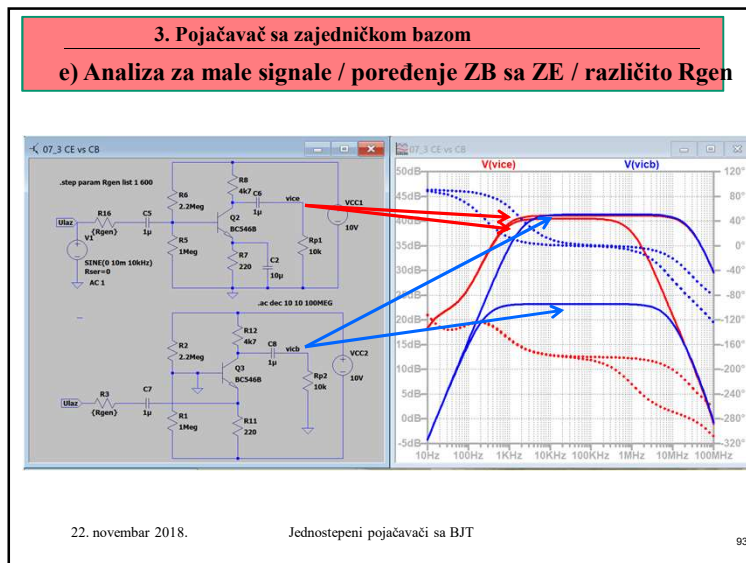
Veliko naponsko pojačanje (kao ZE)  $A_o \approx \frac{h_{21e}}{h_{11e}} R_C$

**NE obrće fazu**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 90





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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 95

**3. Pojačavač sa zajedničkom bazom**

**Primena: Ograničena zbog veoma male ulazne otpornosti**

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

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

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

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

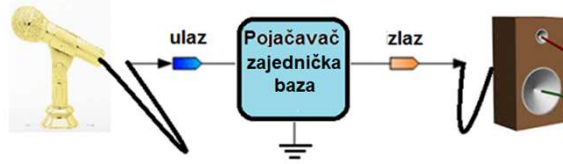
22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 96



## 3. Pojačavač sa zajedničkom bazom

### Domaći 7.2:

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



22. novembar 2018.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

97

## Sadržaj

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

22. novembar 2018.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

98

## 4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

### 3. 4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

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

22. novembar 2018.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

99

## 4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

### a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC
  - Ulaz –  $i_b$ ,  $v_{BC}$  pobuda u baznom kolu (B-C)
  - Izlaz –  $i_E$ ,  $v_{EC}$  potrošač u 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  $\approx 1$
- Pojaćanje struje  $\approx 1+\beta$

22. novembar 2018.

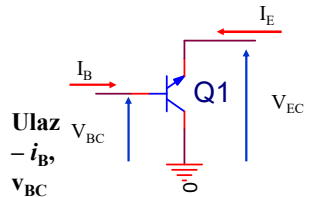
Jednostepeni pojačavači sa BJT

100

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

a) Princip rada:

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC



Izlaz  
-  $i_E$ ,  
 $V_{EC}$

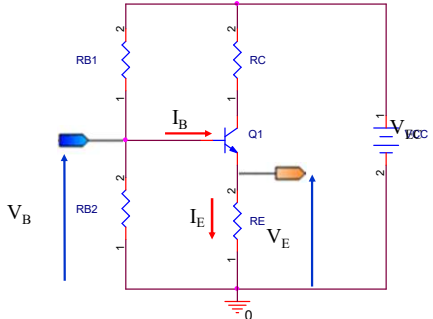
Faktor strujnog pojačanja  $h_{21C} = i_c/i_b = 1 + \beta$   
za  $V_{EC} = \text{const.} = V_{ECM}$

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      101

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

a) Princip rada:

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



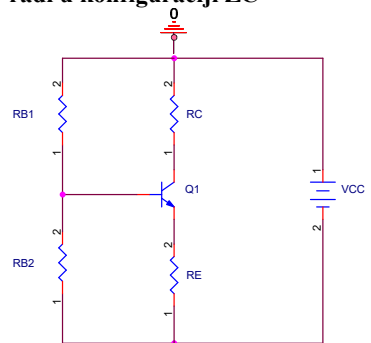
Ako  $V_B$  raste, tada  $I_B$  ~~...~~, onda  $I_C$  ~~...~~ i  $I_E$  ~~...~~ pa će  $V_E$  da ~~...~~

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      102

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

b) DC polarizacija – CILJ: BJT u aktivnom režimu  
(BE direktno; BC inverzno)

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC

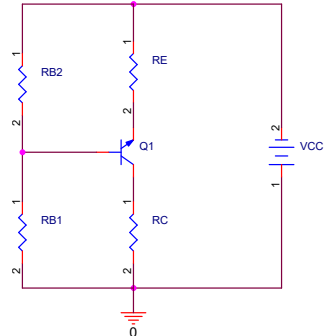


22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      103

4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom

b) DC polarizacija: Aktivni režim (BE direktno; BC inverzno)

- Tranzistor radi u konfiguraciji ZC



22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      104

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

**b) DC polarizacija: Aktivni režim (BE direktno; BC inverzno)**

- **Tranzistor radi u konfiguraciji ZC**

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 105

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

**DC polarizacija: Aktivni režim (BE direktno; BC inverzno)**

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 106

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

**e) Analiza za male signale**

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 107

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

**e) Analiza za male signale**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 108

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

**e) Analiza za male signale model sa  $h$ -parametrima**

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      109

**Model bipolarnog tranzistora**

**Hibridni model – h parametri**

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

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

22. novembar 2018.      Modeli poluprovodničkih komponenta      110

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

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

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

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

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      111

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

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

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

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

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

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      112

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

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

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

$$R_i = R_{it} \parallel R_E \approx R_{it} \approx \frac{h_{11e}}{1+h_{21e}}$$

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      113

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

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

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

Naponsko pojačanje  $\approx 1$        $A_o \approx 1$

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 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      114

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

**e) Analiza za male signale      zamena T- modelom**

22. novembar 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      115

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

**e) Analiza za male signale      zamena T- modelom**

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

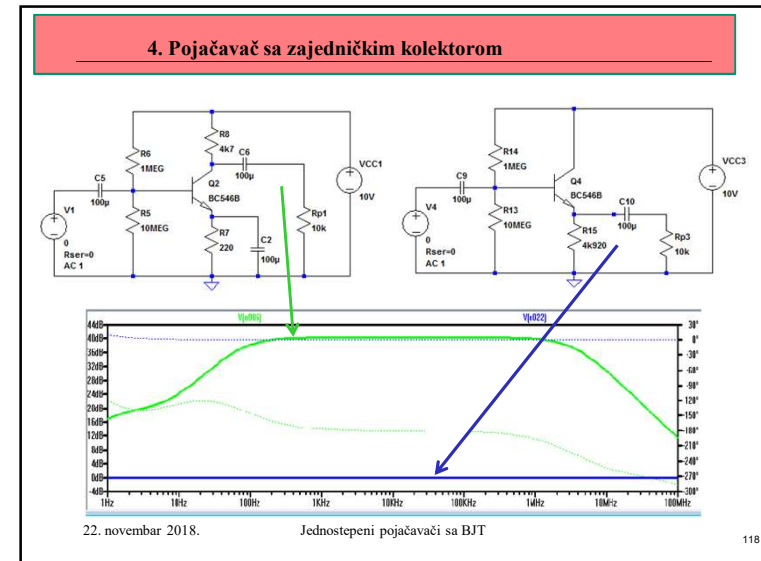
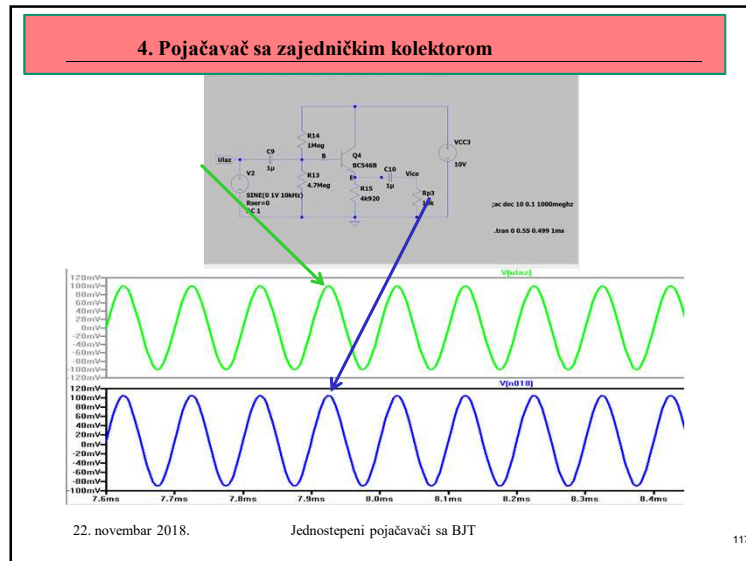
Naponsko pojačanje  $\approx 1$        $A_o \approx 1$

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 2018.      Jednostepeni pojačavači sa BJT      116



**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

**Za vežbu 7.2:**

Za pojačavač sa prethodne slike, kod koga je  $R_g=10k$ ,  $R_p=1k$ ,  $I=5mA$ ,  $R_B=40k$ ,  $\beta=100$  i  $V_A=100V$ , naći  $R_{uv}$ ,  $R_u$ ,  $A_o$ ,  $A$  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  $\Omega$ ; 5 V; 1.9 V; 0.768 V/V; 0.685 V/V.

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 119

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

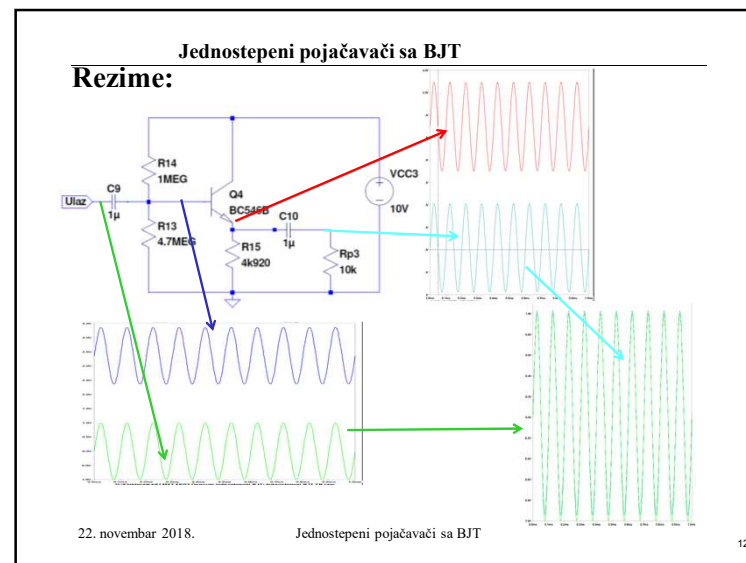
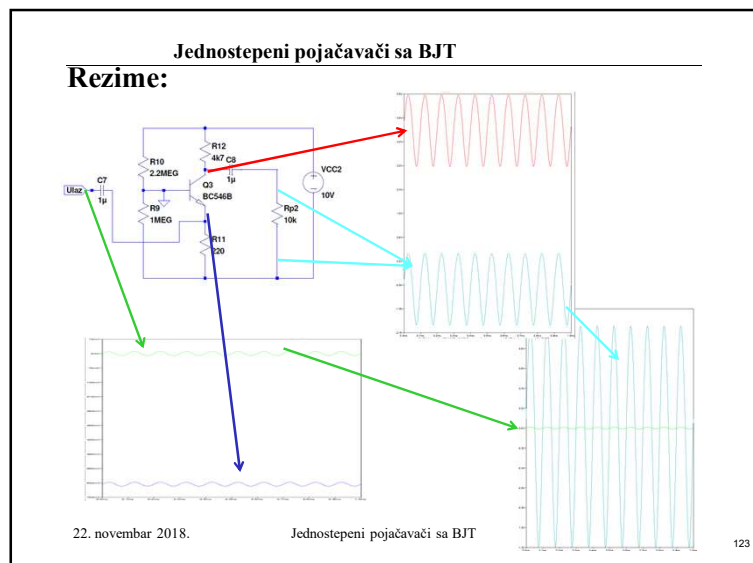
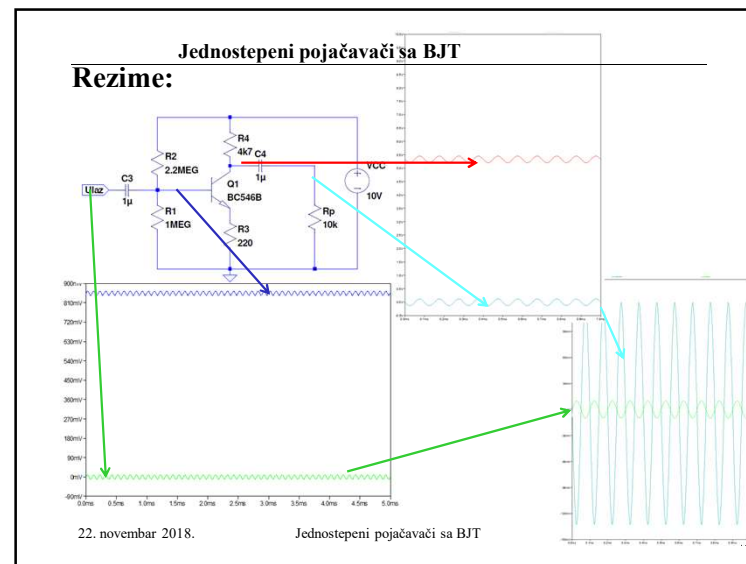
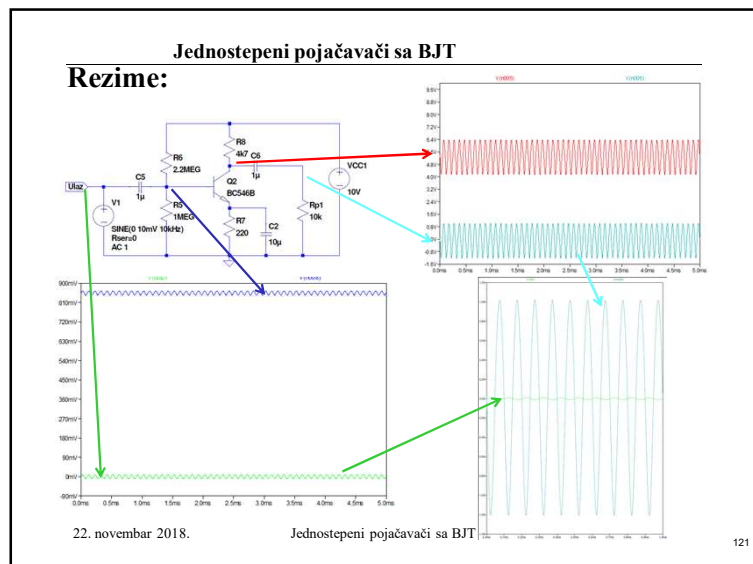
**Primena:**

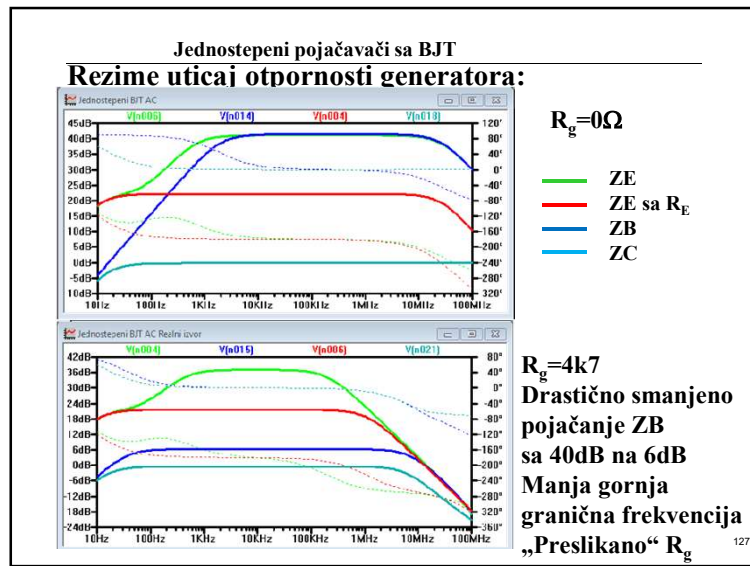
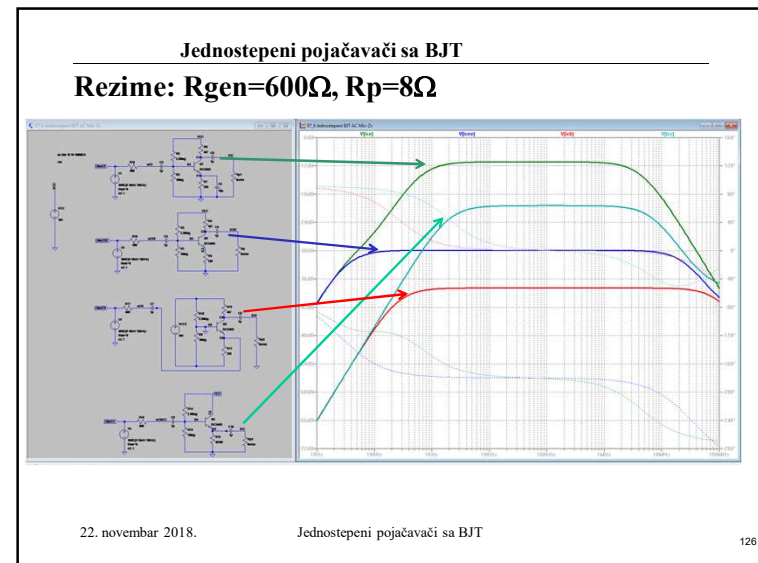
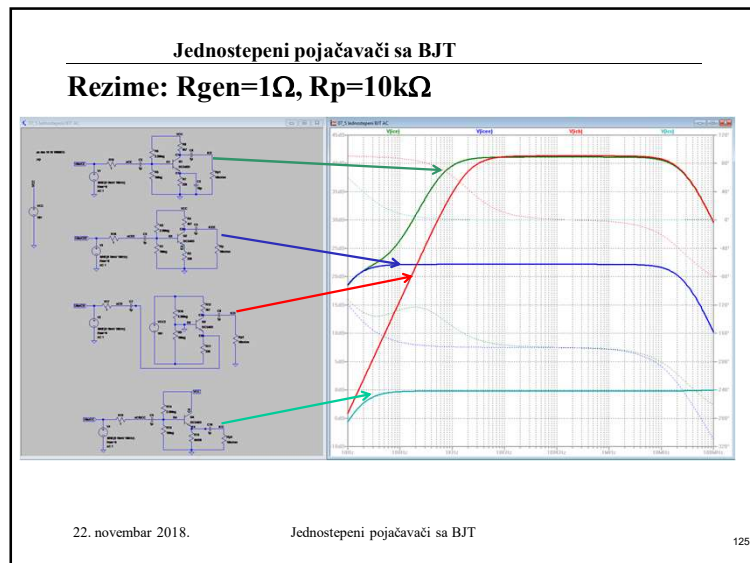
Kao bafer između naponskog generatora (pojačavača) sa velikom unutrašnjom otpornošću i potrošača sa malom otpornošću.

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 120

# Jednostepeni BJT pojačavači





**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

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

a) Direktno;

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 128



**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 129

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 130

**Jednostepeni pojačavači sa BJT**

**Rezime:  $R_{gen}=600\Omega$ ,  $R_p=8\Omega$ , dvostepeni**

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 131

**4. Pojačavač sa zajedničkim kolektorom**

**Rezime:**  
**1. Zajednički emitor**

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

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

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

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

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 132

**Jednostepeni pojačavači sa BJT**

**Rezime:**

**1.a Zajednički emitor sa otpornikom u emitoru**

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

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

$$R_i \approx R_C$$

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 133

**Jednostepeni pojačavači sa BJT**

**Rezime:**

**2. Zajednička baza**

$$R_u = r_e$$

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

$$R_i \approx R_C$$

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 134

**Jednostepeni pojačavači sa BJT**

**Rezime:**

**3. Zajednički kolektor**

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

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

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 135

**Jednostepeni pojačavači sa BJT**

**Rezime:**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT 136

## Jednostepeni pojačavači sa BJT

### Rezime:

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

22. novembar 2018.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

137

## Jednostepeni pojačavači sa BJT

### Rezime:

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

22. novembar 2018.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

138

## Jednostepeni pojačavači sa BJT

### Rezime:

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

22. novembar 2018.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

139

## Jednostepeni pojačavači sa BJT



### Šta smo naučili?

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

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

> EDUCATION > ELEKTRONIKA


slajdovi u pdf formatu

22. novembar 2018.

Jednostepeni pojačavači sa BJT

140

**Jednostepeni pojačavači sa BJT**



**Ispitna pitanja?**

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

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT

141

**Sledećeg časa**


**Diferencijalni i višestepeni pojačavači**

22. novembar 2018. Jednostepeni pojačavači sa BJT

142

**Rešenje: Domaći 6.1**

**Pojačavač sa zajedničkim sorsom**



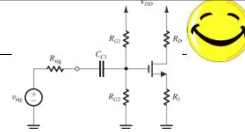
U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa  $V_T=1V$ ,  $\mu_n C_{ox} W/L=1mA/V^2$ ,  $\lambda=0$ . Poznato je  $V_{DD}=15V$ .

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  $V_{DD}/3$ . ( $R_D=R_S=10k$ ,  $R_{G1}=8M$ ,  $R_{G2}=7M$ )

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

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

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



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

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

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

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

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

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

$R_{G1}$  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.


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  $R_{G2}=7M$ .

22. novembar 2018. Jednostepeni BJT pojačavači

143

**Rešenje: Domaći 6.1**

**Pojačavač sa zajedničkim sorsom**



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

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

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

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

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

$$V_G = V_{OS} + R_S I_D = V_{OS} + V_T + R_S AV_{OS}^2$$

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

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

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

22. novembar 2018. Jednostepeni BJT pojačavači

144

# Jednostepeni BJT pojačavači

## Rešenje: Domaći 6.1

### Pojačavač sa zajedničkim sorsom

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

22. novembar 2018.

Jednostepeni BJT pojačavači

145

## Rešenje: Domaći 6.1

### Pojačavač sa zajedničkim sorsom

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

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

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

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

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

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

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

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

$$A_o = -g_m R_D$$

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

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

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

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

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

22. novembar 2018.

Jednostepeni BJT pojačavači

146

## Rešenje: Domaći 6.2

### Pojačavač sa zajedničkim gejtom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa  $V_t=1.5V$ ,  $\mu_n C_{ox} 'W/L=2A=1mA/V^2$ ,  $V_A=75V$ . Poznato je  $V_{DD}=V_{SS}=10V$ ,  $I_D=0.5mA$ ,  $R_D=15k$ .

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

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

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

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

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

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

22. novembar 2018.

Jednostepeni BJT pojačavači

147

## Rešenje: Domaći 6.2

### Pojačavač sa zajedničkim gejtom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa  $V_t=1.5V$ ,  $\mu_n C_{ox} 'W/L=2A=1mA/V^2$ ,  $V_A=75V$ . Poznato je  $V_{DD}=V_{SS}=10V$ ,  $I_D=0.5mA$ ,  $R_D=15k$ .

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

$$A_o = g_m R_D$$

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

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

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

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

$$A_v = g_m (R_D || R_p) \frac{(a)1}{1 + g_m R_{gen}}$$

$$A_v = 1 \cdot 10^{-3} \frac{15 \cdot 10^3 \cdot 15 \cdot 10^3}{15 \cdot 10^3 + 15 \cdot 10^3} \frac{1}{1 + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 50}$$

$$A_v = \frac{7,5}{1,05} \approx 7,5V/V$$

22. novembar 2018.

Jednostepeni BJT pojačavači

148

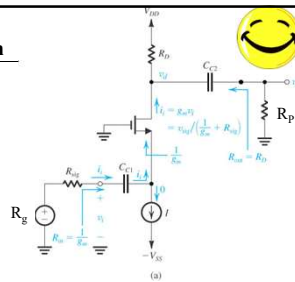
# Jednostepeni BJT pojačavači

## Rešenje: Domaći 6.2

### Pojačavač sa zajedničkim gejtom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa  $V_t=1.5V$ ,  $\mu_n C_{ox}'W/L=2A=1mA/V^2$ ,  $V_A=75V$ .  
 Poznato je  $V_{DD}=V_{SS}=10V$ ,  $I_D=0.5mA$ ,  
 $R_D=15k$ .

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



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

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

22. novembar 2018.

Jednostepeni BJT pojačavači

149

## Rešenje: Domaći 6.3

### Pojačavač sa zajedničkim drejnom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa  $V_t=1.5V$ ,  $V_A=75V$ ,  $\mu_n C_{ox}'W/L=2A=1mA/V^2$ .  
 Poznato je  $V_{DD}=V_{SS}=10V$ ,  $I_D=0.5mA$ ,  
 $R_G=4.7M$ ,  $R_P=15k$ .

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 2018.

Jednostepeni BJT pojačavači

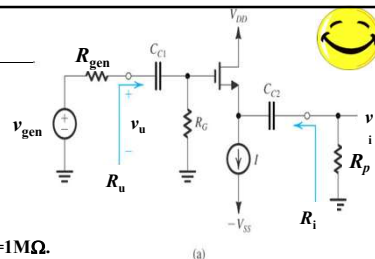
150

## Rešenje: Domaći 6.3

### Pojačavač sa zajedničkim drejnom

U kolu sa slike upotrebljen je tranzistor sa  $V_t=1.5V$ ,  $V_A=75V$ ,  $\mu_n C_{ox}'W/L=2A=1mA/V^2$ .  
 Poznato je  $V_{DD}=V_{SS}=10V$ ,  $I_D=0.5mA$ ,  
 $R_G=4.7M$ ,  $R_P=15k$ .

b) Odrediti  $A_0$ ,  $R_o$ ,  $R_i$  i  $A_v$  ukoliko je  $R_{gen}=1M\Omega$ .



$$A_0 = \frac{g_m r_o}{1 + g_m r_o}$$

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

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

$$A_0 = \frac{g_m r_o}{1 + g_m r_o} = \frac{10^{-3} \cdot 150 \cdot 10^3}{1 + 10^{-3} \cdot 150 \cdot 10^3} = \frac{150}{151} = 0,993V/V$$

$$R_u = R_G = 4,7M\Omega$$

$$R_i = \frac{r_o}{1 + g_m r_o} = \frac{150k\Omega}{151} = 0,993k\Omega \approx 1k\Omega$$

$$A_v = \frac{R_p}{R_p + R_i} \cdot A_0 \cdot \frac{R_u}{R_u + R_{gen}}$$

$$A_v = \frac{15k\Omega}{15k\Omega + 1k\Omega} \cdot 0,993 \cdot \frac{4,7M\Omega}{4,7M\Omega + 1M\Omega}$$

$$A_v = \frac{15}{16} \cdot 0,993 \cdot \frac{4,7}{5,7} = 0,768V/V$$

22. novembar 2018.

Jednostepeni BJT pojačavači

151