

### Osnovi elektronike

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

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

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

**Savet: Učite, konstantno po malo, MNOGO JE LAKŠE da POLOŽITE preko KOLOKVIJUMA!**

11. decembar 2018 1

### Osnovi elektronike

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

Redovno pohađanje nastave (predavanja+vežbe.	10%	10%
Odbranjene laboratorijske vežbe	10%	10%
<b>Kolokvijum I (Kasno za kakanje)</b>	<b>50%</b>	<b>20%</b>
Kolokvijum II (20.01.2018.)	50%	20%
<b>120%</b>		<b>60%</b>

**Ko nije izašao na I kolokvijum, a ide na lab i predavanja od 120, ima 70% (još nije kasno); ako ne ide na predavanja ima 60% (nije kasno); ali, ako na drugom kolokvijumu ima < 80% imaće <50% (e, tada je kasno)**

11. decembar 2018 2

# POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 3

### Osnovi elektronike

$$P_z = v_z \cdot i_z = v_z \cdot \frac{v_z}{R_z} = \frac{v_z^2}{R_z} = 100W$$

$$v_z = \sqrt{R_z P_z} = \sqrt{800} = 28,28 \text{ [V]}$$


12. oktobar 2015. Uvod 4  
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/>

1. Uvod	Sadržaj
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Namena</b></li> <li>• <b>Oblast sigurnog rada tranzistora</b></li> <li>• <b>Bilans snage (stepen iskorišćenja)</b></li> <li>• <b>Klir faktor</b></li> <li>• <b>Klasifikacija pojačavača prema položaju radne tačke</b></li> </ul>	
2. Pojačavač snage u klasi A sa BJT	
3. Pojačavač snage u klasi B sa BJT	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Simetrična sprega u klasi B</b></li> <li>• <b>Simetrična sprega sa komplementarnim parom</b></li> </ul>	
11. decembar 2018.	Pojačavači velikih signala

Sadržaj	
4. Pojačavači snage u klasi AB	
5. CMOS pojačavači snage	
6. Primer integrisanog pojačavača snage	
7. Pojačavač snage u klasi C	
8. Prekidački pojačavači snage	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Pojačavači snage klase D, E, F</b></li> <li>• <b>Pojačavači snage klase S, I, T</b></li> <li>• <b>Pojačavači snage klase G, H</b></li> </ul>	
11. decembar 2018.	Pojačavači velikih signala

Uvod	
1. Uvod	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Namena</b></li> <li>• <b>Oblast sigurnog rada tranzistora</b></li> <li>• <b>Bilans snage (stepen iskorišćenja)</b></li> <li>• <b>Klir faktor</b></li> <li>• <b>Klasifikacija pojačavača prema položaju radne tačke</b></li> </ul>	
11. decembar 2018.	Pojačavači velikih signala

Uvod	
<b>Namena</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Koriste se kao izlazni stepen, na kraju pojačavačkog lanca:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Opterećen je potrošačem, tako da je veoma važno da se izlazna impedansa prilagodi potrošaču (za pojačavače napona – mala izlazna otpornost).</li> <li>• Prethodno je signal već dovoljno pojačan, tako da pobudni signali nisu mali.</li> <li>• Očekuju se veliki signali na izlazu.</li> <li>• <u>Koristi se cela radna oblast tranzistora – i nelinearni deo.</u></li> <li>• Izlazni signal izobličen.</li> <li>• Ne važe linearni malosignalni modeli.</li> <li>• Veliki signali impliciraju velike snage – zato je važan odnos korisne snage na potrošaču i ukupne uložene snage.</li> </ul> </li> </ul>	
11. decembar 2018.	Pojačavači velikih signala



**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Izlazne karakteristike bipolarnog tranzistora koji radi u konfiguraciji sa zajedničkim emiterom

Pojačavači malih signala koriste samo najlinearniji deo karakteristika tranzistora

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 9

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

To se postiže izborom jednosmerne radne tačke, odnosno jednosmernom polarizacijom tranzistora

Npr. u RT sa  $I_B = 60 \mu A$  biće  $I_C = 1.5 mA$  i  $V_{CE} = 4.5 V$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 10

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

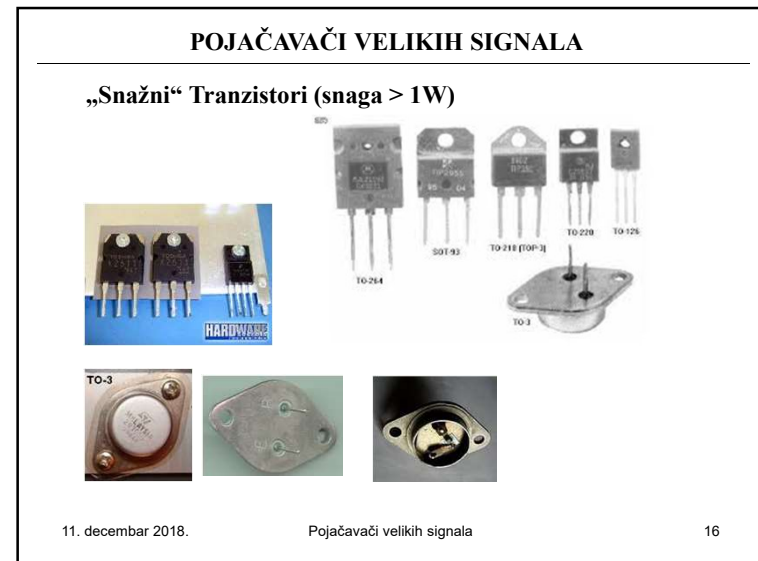
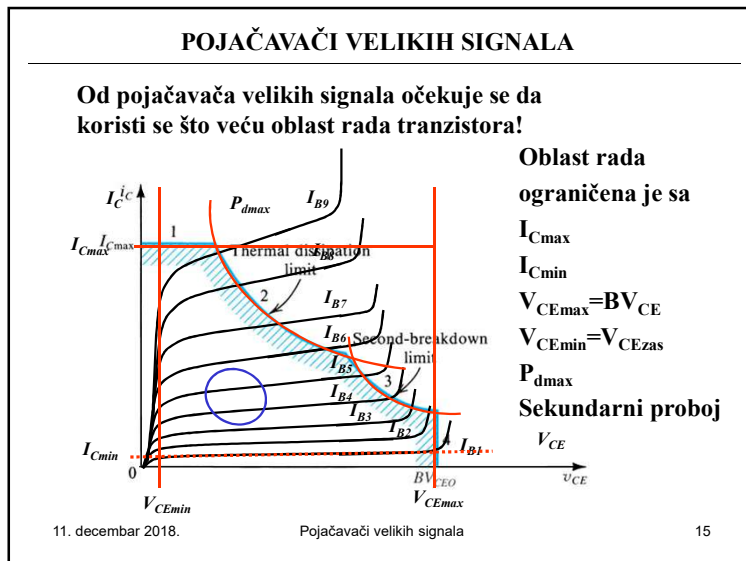
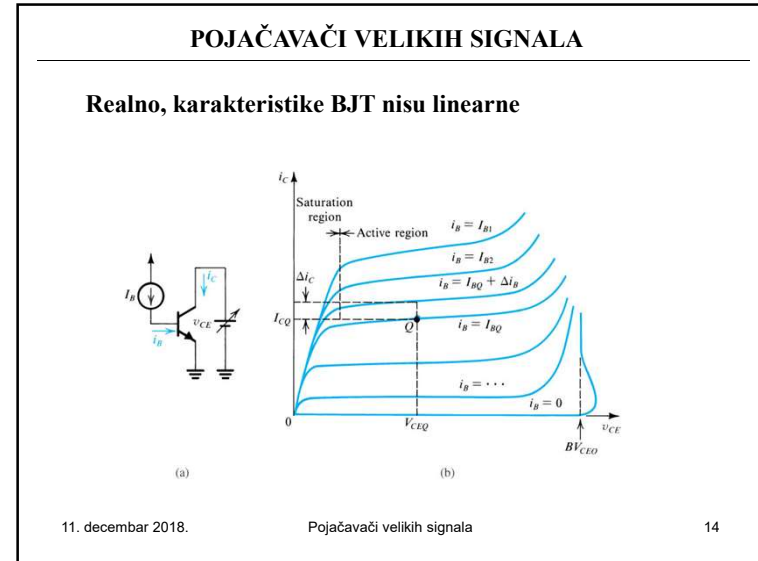
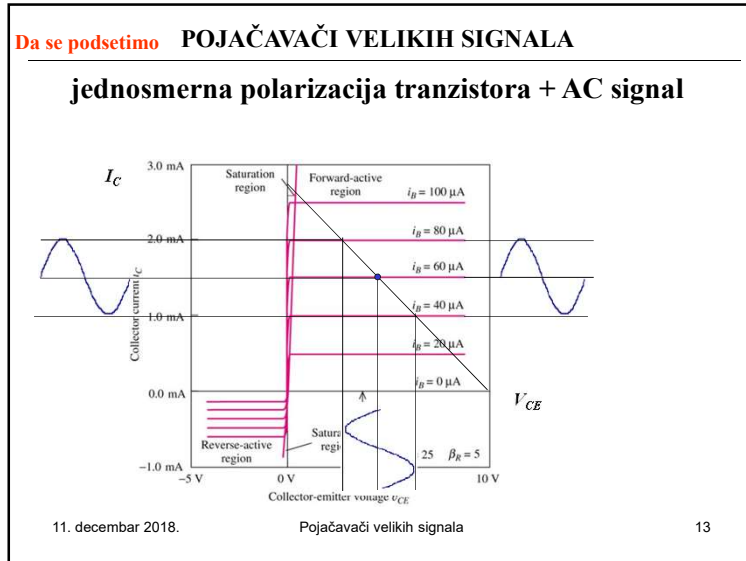
jednosmerna polarizacija tranzistora

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 11

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Pobuda malim naizmeničnim signalom preko  $C_s$  izazvaće na  $R_c$  promenu od  $R_c(\beta i_B)$ , tako da će na potrošaču da se javi naizmenična komponenta  $V_p = R_p I_p$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 12



**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Pojačavači koji koriste što veću radnu oblast nazivaju se pojačavačima snage.

Zadatak im je da što veću snagu dopreme do potrošača – (generalno snage veće od 1W).

Dobro je da se definiše pojam snage vezan za pojačavače.

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 17

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Generalno, za svaki uređaj definiše se pojam

- uložene snage i
- korisne snage

Opšte prirodno načelo kaže da uložena snaga mora biti veća od utrošene, odnosno korisne snage.

$$P_{uloženo} > P_{korisno}$$

Šta je sa razlikom?

Razlika se odnosi na snagu gubitaka.

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 18

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Šta se ulaže?

Da bi pojačavač radio, potrebno je da se napaja iz izvora  $V_{CC}$ .

Pojačavač “crpi” snagu iz izvora napajanja.

Snaga koju izvor za napajanje daje, predstavlja ukupnu utrošenu snagu i ona iznosi

$$P_{CC} = V_{CC} * I_{CC}$$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 19

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

$P_{CC} = V_{CC} * I_{CC}$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 20

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

**Korisna snaga je ona koja se ostvari na potrošaču**

ona iznosi  $P_k = P_P = V_P \cdot I_P$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 21

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

**Stepen iskorišćenja,  $\eta$ , predstavlja odnos korisne snage na potrošaču,**

$$P_k = V_P I_P$$

**i ukupne snage koju predaje izvor za napajanje**

$$P_{CC} = V_{CC} I_C$$

$$\eta_{\max} = \frac{P_k}{P_{CC}}$$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 22

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

**Osim na potrošaču, snaga izvora za napajanje troši se i na:**

- aktivnim elementima (tranzistori)
- na pasivnim elementima pojačavača ( $R_1, R_2, R_C, \dots$ )

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 23

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

**Termička snaga tranzistora (tranzistor se greje) koja se troši na tranzistoru zove se *Snaga disipacije***

ona iznosi  $P_d = V_{CE} \cdot I_C$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 24

### POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Snaga na aktivnom elementu (tranzistoru) predstavlja snagu koja se utroši na tranzistoru da bi se obezbedio željeni položaj radne tačke i u **odsustvu korisnog signala**

$P_d = V_{CE} I_C$  (za bipolarni tranzistor)  
 $P_d = V_{DS} I_D$  (za FET/MOSFET)

Snaga na aktivnom elementu ne sme da premaši **maksimalnu snagu disipacije** koja je tehnološki parametar i nalazi se u katalogizima

$P_{dmax}$

inače će tranzistor da pregori.

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 25

### POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Zato je radna oblast tranzistora ograničena hiperbolom disipacije definisanom sa

$P_{dmax} = I_C * V_{CE}$

Za svako dato  $V_{CE}$  postoji maksimalna struja  
 $I_C = P_{dmax} / V_{CE}$

i za svaku datu  $I_C$  postoji maksimalni napon  
 $V_{CE} = P_{dmax} / I_C$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 26

### Uticaj temperature na $P_d$

•promena radne temperature  $T_1 < T_2$

$I_B = 0.7\text{mA}$   $P_{dmax} = 380\text{mW}$   
 $I_B = 0.6\text{mA}$   $P_{dmax} = 350\text{mW}$   
 $I_B = 0.5\text{mA}$   
 $I_B = 0.4\text{mA}$   
 $I_B = 0.3\text{mA}$   
 $I_B = 0.2\text{mA}$   
 $I_B = 0.1\text{mA}$   
 $I_B = 0\text{mA}$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala

### Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

#### Disipacija u funkciji TEMPERATURE

$T_o$  - Temperatura okoline  
 $T_{Smx}$  - temperatura spoja, maksimalna

Za  $T_o > T_{o0}$   $T_{Smx} - T_o = R_{th} \cdot P_{dmax}$

Za  $T_o > T_{o0}$   $P_{dmax} = \frac{T_{Smx} - T_o}{R_{th}}$

$R_{th}$  - termička otpornost O-S  
 $P_{dmax}$  - max.  $P_d$

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 28

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**Disipacija u funkciji TEMPERATURE**

$R_{th}$  – termička otpornost O-S  
pokazuje koliko se teško odvodi toplota (sa ili bez otpora)

$P_{dmax}$  – max.  $P_d$

Za  $T_o > T_{O0}$

$$P_{dmax}(T_o) = \frac{T_{Smax} - T_o}{R_{th}}$$

Da li je bolje imati veće ili manje  $P_d$ ?

Da li je bolje imati veću ili manju  $R_{th}$ ?

Kako se postiže?

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 29

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**Disipacija u funkciji TEMPERATURE**

Da li je bolje imati veću ili manju  $R_{th}$ ?

Kako se postiže?

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 30

**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

**Domaći 11.1:**

Bipolarni tranzistor karakteriše snaga disipacije od  $P_{d0max} = 2W$ , pri  $T_{O0} = 25^\circ C$  i maksimalna temperatura spoja  $T_{Smax} = 150^\circ C$ .  
Odrediti termičku otpornost tranzistora i maksimalnu snagu koju tranzistor može da disipira pri temperaturi okoline  $T_o = 50^\circ C$ .

[]

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 31

**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Idealni pojačavač snage bio bi onaj koji ima

- stepen iskorišćenja  $\eta = 100\%$  ( $P_k = P_{CC}$ )  
znači: snaga izvora za napajanje bez gubitaka dođe do potrošača
- neizobličen signal na potrošaču

Takvi pojačavači NE POSTOJE

11. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 32



**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Kao mera kvaliteta pojačavača služi poređenje sa idealnim.

Snage  $P_{CC}$  i  $P_K$  možemo da izračunamo/merimo i odredimo stepen iskorišćenja  $\eta$ .

Kako odrediti i kvantifikovati izobličenje signala?



11. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

33

**Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Izobličenje se meri veličinom koja se naziva *klir faktor* i označava se sa  $k$ .

Klir faktor  $n$ -tog harmonika signala  $x$ , definiše se kao odnos amplitude  $n$ -tog i amplitude osnovnog harmonika

$$k_n = X_{nm} / X_{1m}$$

Ukupan klir faktor

$$k = \sum_{i=2}^N X_{im} / X_{1m}$$

11. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

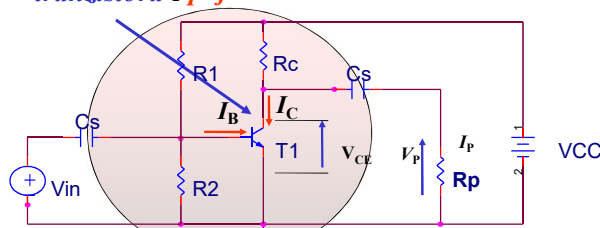
34

**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Sa karakteristika tranzistora očigledno je da će veći signali biti više izoblićeni.

Stepen izobličenja i snaga potrošena na tranzistoru zavise od položaja radne tačke.

Ovo se najbolje vidi sa prenosnih karakteristika *tranzistora i pojačavača*



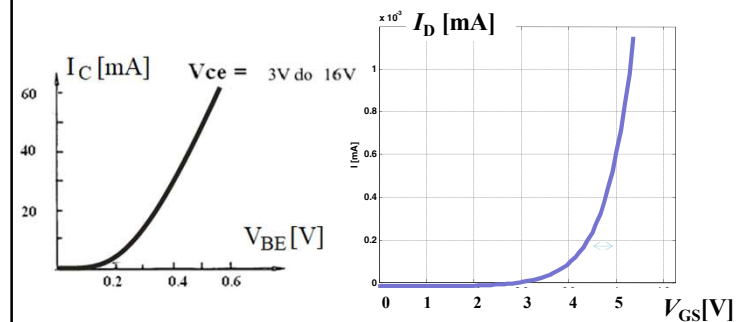
11. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

35

**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

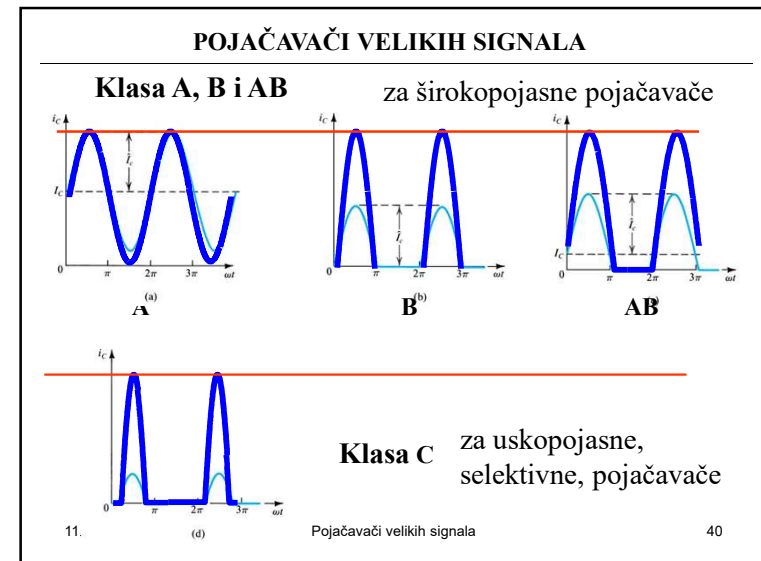
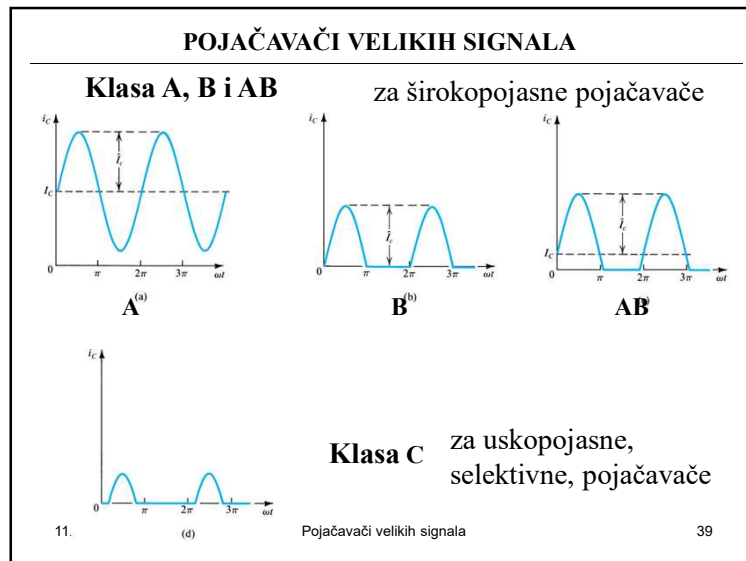
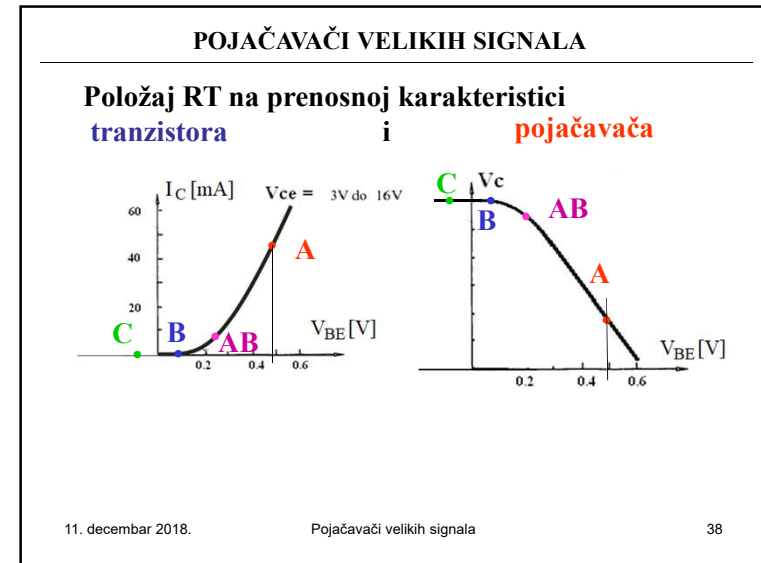
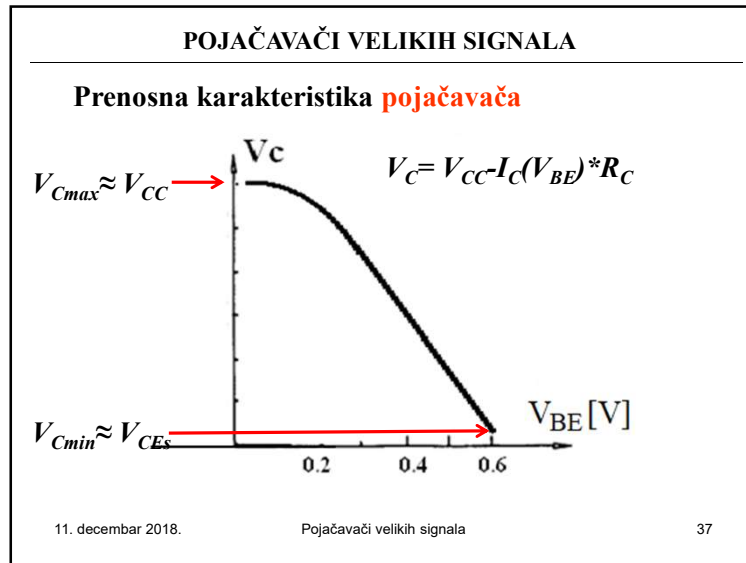
**Prenosna karakteristika tranzistora**

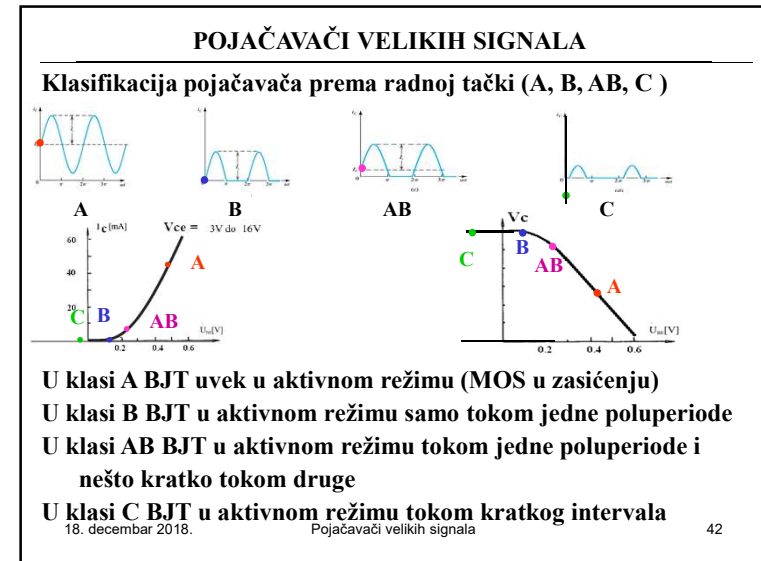
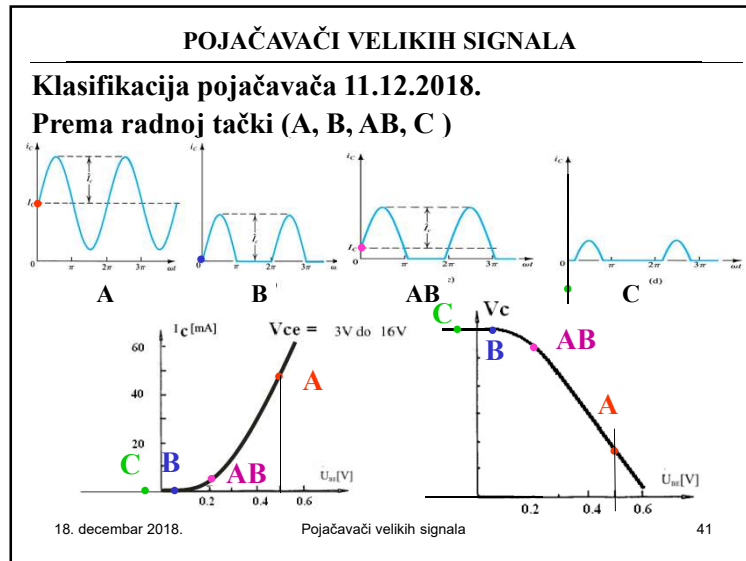


11. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

36





**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Pored pojačavača čiji je radni režim definisan položajem radne tačke podešene u tački A, B, AB ili C, postoje pojačavači snage kod kojih tranzistor radi u prekidačkom režimu (u zakočenju ili u zasićenju).

Ovi pojačavači klasifikuju se kao pojačavači koji rade u klasi

D, E, F,  
S, I, T,  
G, H

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 43

**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

**PROJEKTOVANJE POJAČAVAČA SNAGE**

<p><b>Kako izabrati</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• aktivni element,</li> <li>• elemente kola,</li> <li>• veličinu ulaznog signala,</li> <li>• otpornost potrošača</li> </ul>	<p><b>Da bi se dobilo</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• željena snaga na izlazu</li> <li>• minimalna izobličenja,</li> <li>• dozvoljena disipacija na aktivnom elementu</li> </ul>
--	---

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 44

**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

**Kompromis:**  
**Izobličenja – korisna snaga (osnovni harmonik)**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 45

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**Pojačavač snage u klasi A sa bipolarnim tranzistorom**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 46

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**(mali signali)**

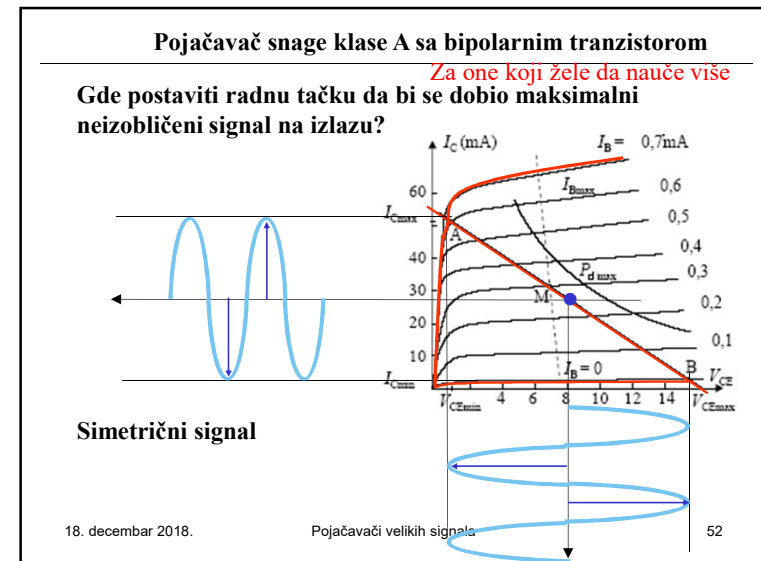
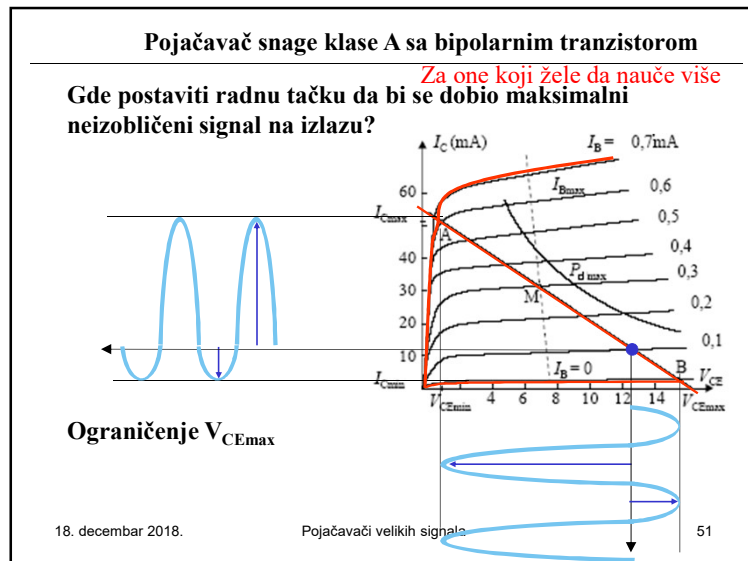
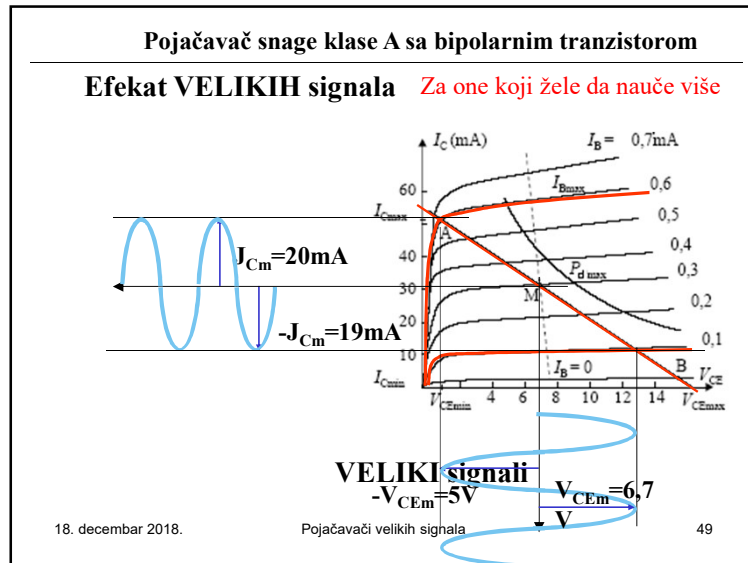
18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 47

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**Efekat VELIKIH signala** Za one koji žele da nauče više

**VELIKI signali**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 48



**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

U idealnom slučaju najveći neizobličeni signal dobiće se za RT definisanu sa  $V_{CEM} = V_{CC} = V_{CEmax}/2$  i  $I_{CM} = I_{Cmax}/2$

*Za one koji žele da nauče više*

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 53

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

U idealnom slučaju najveći neizobličeni signal dobiće se za RT definisanu sa  $V_{CEM} = V_{CEmax}/2 = V_{CC}/2$  i  $I_{CM} = I_{Cmax}/2$

*Za one koji žele da nauče više*

Amplituda napona iznosi  $V_{CEm} = V_{CC}/2$   
a struje  $I_{Cm} = I_{CM}$   
Tada se očekuje najveći stepen iskorišćenja.  
Koliko on iznosi?

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 54

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

Tada je maksimalna korisana snaga  $P_k = \frac{1}{2} V_{CEm} I_{Cm} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} V_{CC} \right) I_{CM}$

*Za one koji žele da nauče više*

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 55

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

Dok je ukupna snaga koju daje baterija  $P_{CC} = V_{CC} I_{CM}$

Tako da je  $\eta_{max} = \frac{P_k}{P_{CC}} = \frac{\frac{1}{2} V_{CEm} I_{Cm}}{V_{CC} I_{CM}} = \frac{1}{4} \frac{V_{CC} I_{DM}}{V_{CC} I_{DM}} = 0.25$

*Za one koji žele da nauče više*

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 56

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**Najveća moguća vrednost stepena iskorišćenja pojačavača snage koji rade u klasi A**

**Teoretski**

$\eta_{\max} = 25\%$

**Praktično**

$\eta < 20\%$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 57

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**$Q_1$  ZC, a  $Q_2$  izvor konstantne struje – polarizacija.**

$I_{E1} = I + i_L$

$I_{E1} > I$  za najveće  $i_L$  da bi radio u klasi A, inače  $Q_1$  ide u zakočenje.

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 58

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**Pretnosna karakteristika pojačavača**

$v_o = v_i - v_{BE1}$

**Granice linearne oblasti**

$v_{omax} = V_{CC} - V_{CE1sat}$   $I_{E1} = I$ ;  $i_L = 0$

$v_{omin} = -IR_L$ , odnosno  $v_{omin} = -V_{CC} + V_{CE2sat}$   $I_{E1} = 0$ ;  $i_L = I$

**Najmanji izlazni napon obezbeđuje struja**

$I > |-V_{CC} + V_{CEsat2}| / R_L$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 59

**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**Talasnici napona i snage**

$P_{D1} \equiv v_{CE1} \cdot i_{C1}$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 60

### Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

**Disipacija snage**

Na  $Q_1$  najveća  $V_{CC}I$ , kada je  $v_o=0$   
Definisana sa DC RT.

Na  $Q_2$ :  
Teče konstantna struja  $I$ , tako da je najveća  
kada je najveći napon  $v_o=V_{CC}$  i iznosi  
 $P_{D2max}=2V_{CC}I$ .  
Srednja snaga na  $Q_2$  je  $V_{CC}I$

(d)

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala

### Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

**Efikasnost – stepen korisnog dejstva**

$$\eta \equiv \frac{P_L}{P_{CC}}$$

$$P_L = \frac{(v_o/\sqrt{2})^2}{R_L} = \frac{1}{2} \frac{(v_o)^2}{R_L}$$

$$P_{CC} = 2V_{CC}I$$

**Za idealni slučaj**  
 $V_o=V_{CC}=IR_L$

$$\eta = \frac{P_L}{P_{CC}} = \frac{1}{2} \frac{(V_{CC})^2}{R_L} \frac{1}{2V_{CC}I} = 0.25$$

(d)

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala

### POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

**Domaći 11.A:** Za one koji žele da nauče više

U kolu sa slike poznato je  $V_{CC}=15V$ , tranzistore karakteriše  
 $V_{CEsat}=0,2V$ ,  $V_{BE}=0,7V$  i  $\beta \gg 1$ . Odrediti:

- dinamički opseg izlaznog signala;
- vrednost otpornika  $R$  koja obezbeđuje dovoljnu struju  $I$ , da bi se na otporniku  $R_p$  dobio maksimalni dinamički opseg signala;
- minimalnu i maksimalnu vrednost emitorske struje.

[0,97k, ±14,8V, 0-29,6mA]

(d)

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 63

### POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

**Domaći 11.B:** Za one koji žele da nauče više

U kolu sa slike poznato je  $V_{CC}=10V$ ,  $I=100mA$  i  $R_p=100\Omega$ , usvojiti  
 $V_{CEsat}=0V$  i  $\alpha=1$ . Odrediti:

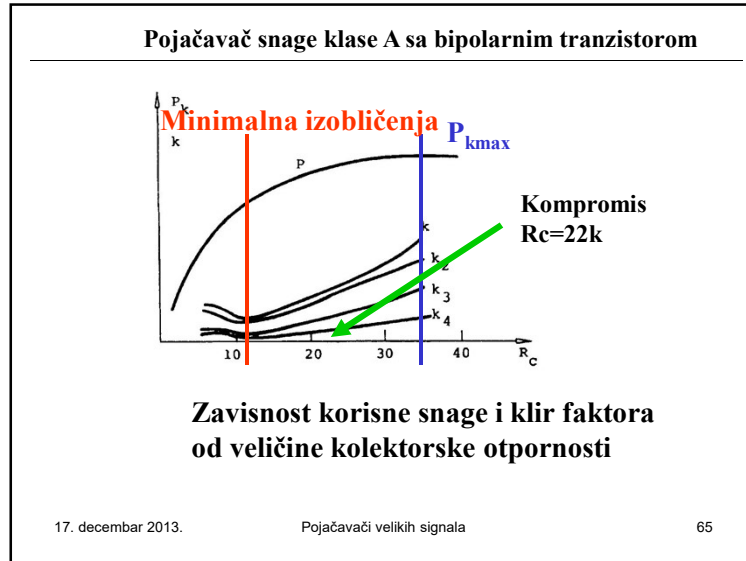
- disipaciju snage na svakom od tranzistora kada je  $V_u=0V$ .  
Ukoliko je pojačavač pobuđen prostoperiodičnim signalom najveće moguće amplitude odrediti:
- disipaciju snage na svakom od tranzistora,
- snagu na potrošaču i
- stepen iskorišćenja,

[1W, 1W, 0.5W, 1W, 0.5W, 25%]

(d)

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 64

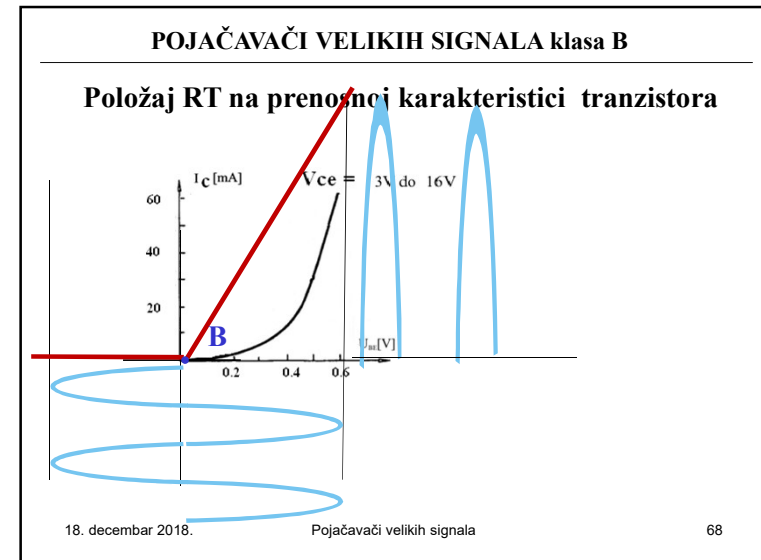




- ### Pojačavači snage u klasi A
- Pojačavače snage u klasi A karakteriše:
    - vrlo mala izobličenja (mali klir faktor)
    - velika disipacija snage na aktivnom elementu (idealno 50% u najpovoljnijem realnom slučaju oko 60% od ukupne uložene snage)
    - Izrada pojačavača velikih snaga u klasi A zahteva skupe i komplikovane komponente za hladjenje
    - Koriste se za relativno male snage do 1W
18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 66

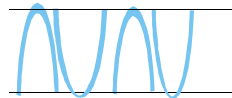
### Pojačavači snage u klasi B

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 67



## Pojačavači snage u klasi B

- ❖ Radna tačka aktivnog elementa nalazi se u tački gde prestaje da teče izlazna struja – granica zakočenja.
- ❖ Primenom samo jednog aktivnog elementa dolazi do velikih izobličenja izlaznih signala.
- ❖ Izlazni signal čini povorka pozitivnih ili negativnih implusa sinusoidnog oblika



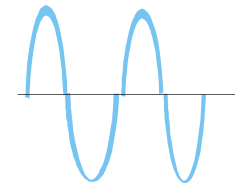
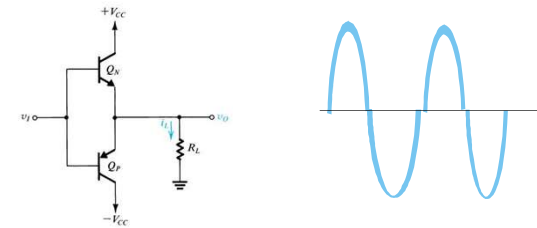
18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

69

## Simetrična sprega u klasi B

- ❖ Primenom simetrične sprega (dva komplementarna tranzistora) ovaj nedostatak se uklanja.



18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

70

## Simetrična sprega u klasi B

- ❖ Radna tačka nalazi se na granici praga provođenja aktivnih elemenata.
- ❖ U odsustvu signala oba aktivna elementa su zakočena.
- ❖ Idealizovano: jedan aktivni element počinje da vodi čim signal postane veći od 0, a drugi čim signal bude manji od 0.

18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

71

## Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

72

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B**

**Kada je signal pozitivan, vodi tranzistor  $Q_N$  (NPN tipa) i njegova izlazna struja teče preko otpornika  $R_p$ .  
Tranzistor  $Q_P$  (PNP tipa) je zakočen.**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 73

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B**

**Kada je signal negativan vodi tranzistor  $Q_P$  i obezbeđuje struju kroz potrošač dok je tranzistor  $Q_N$  je zakočen.**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 74

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B**

**Pojačavač radi u klasi B.  
Ako je pobuda sinusoidalna,  $Q_N$  vodi u pozitivnoj a  $Q_P$  u negativnoj poluperiodi.  
Napon na  $R_p$  prati oblik ulaznog napona (idealizovano)**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 75

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 76

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B**

S obzirom da se radi o pojačavaču u konfiguraciji sa zajedničkim kolektorom, naponsko pojačanje je manje od 1. Važno je da se uoči da je pojačana snaga jer je struja na ulazu – struja baze, a na izlazu je kolektorska struja ( $\beta$  puta veća), tako da je snaga na izlazu veća ( $\beta$  puta veća).

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 77

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B**

**Realna prenosna karakteristika**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 78

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B**

- ❖ U svakoj poluperiodi vodi samo jedan tranzistor, tako da se ukupna otpornost preslikava u kolo svakog aktivnog elementa.
- ❖ Ukupna KORISNA snaga koju predaje svaki aktivni element odnosi se na jednu poluperiodu i iznosi
 
$$P_{kl} = (1/2) * [(1/2)(I_{1m} V_{1m})]$$

$$= 1/4 * I_{1m} * [V_0 - V_{min}], \text{ maksimalna na } R_p;$$

$$\approx 1/4 * I_{1m} * [V_{CC} - V_{CEsat}]$$
- ❖ Maksimalna korisna snaga koju daju oba aktivna elementa je
 
$$P_k = 2 * P_{kl} = 1/2 * I_{1m} [V_{CC} - V_{CEsat}]$$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 79

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B**

- ❖ Snaga svakog od izvora za napajanje ( $\pm V_{CC}$ ) koja se predaje jednom aktivnom elementu je
 
$$P_1 = V_{CC} * I_0$$
 ( $I_0$  – jednosmerna komponenta impulsne struje)
 
$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i_0(t) \cdot dt$$

$$I_0 = \frac{1}{T} \left( \int_0^{T/2} I_{Cm \max} \sin \omega t \cdot dt + \int_{T/2}^T 0 \cdot dt \right)$$

$$I_0 = \frac{1}{T} \frac{I_{Cm \max}}{\omega} \int_0^{\pi} \sin \omega t \cdot d(\omega t) = \frac{1}{T} \frac{I_{Cm \max}}{2\pi} \int_0^{\pi} \sin \omega t \cdot d(\omega t)$$

$$I_0 = -\frac{I_{Cm \max}}{2\pi} \cos(\omega t) \Big|_0^{\pi} = -\frac{I_{Cm \max}}{2\pi} ((\cos(\pi)) - \cos(0)) = \frac{I_{Cm \max}}{\pi}$$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 80

## Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

- ❖ Dakle, po jednom aktivnom elementu troši se

$$P_1 = P_2 = (1/\pi) * V_{CC} * I_{Cmmax}$$

- ❖ Ukupna maksimalna snaga koju daju baterije iznosi

$$P = (2/\pi) * V_{CC} * I_{1mmax}$$

18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

81

## Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

- ❖ Stepenu iskorišćenja simetrične sprege po jednom aktivnom elementu jednak je stepenu iskorišćenja celog pojačavača

$$\eta = P_{k1} / P_1 = P_k / P$$

$$= \pi/4 * (V_{CC} - V_{CEsat}) / V_{CC}$$

$$\eta = 0.785 * (1 - V_{CEsat} / V_{CC})$$

- ❖ Stepenu iskorišćenja pojačavača snage u klasi B u idealnom slučaju ( $V_{CEsat} = 0$ ) je

$$\eta = 78.5\%$$

18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

82

## Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

- ❖ Disipirana snaga na jednom aktivnom elementu je

$$P_{d1} = P_1 - P_{k1} = V_0 I_{1m} / \pi - 1/4 * V_{1m} I_{1m}$$

$$P_{d1} = V_0 I_{1m} / \pi - (1/4) R I_{1m}^2$$

- ❖ Maksimalna vrednost disipacije je za  $V_0 = V_{CC}$

$$I_{1m} = (2/\pi) (V_{CC} / R)$$

$$P_{d1max} = (1/\pi^2) (V_{CC}^2 / R)$$

- ❖ Poređenjem sa korisnom snagom

$$P_{k1} = (\pi^2 / 4) P_{d1max} \sim 2.5 P_{d1max}$$

18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

83

## Simetrična sprega u klasi B

Korisna snaga aktivnog elementa pojačavača sa simetričnom spregom u klasi B

veća je 2,5 puta

od disipirane (nekorisne) snage

18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

84

### Simetrična sprega u klasi B

**Primer**  
 Ako se želi pojačavač kod koga je izlazna snaga na potrošaču 20W, svaki element treba da da po 10W.  
 U klasi B će se na svakom elementu disipirati po 4W, a u klasi A (simetrična), u idealnom slučaju po 10W.  
 U odsustvu signala na aktivnim elementima u pojačavaču klase B neće se disipirati snaga, a u pojačavaču klase A disipiraće se čitavih 20W.  
 Komponente koje se ugrađuju u pojačavač klase B, mogu da imaju dva i po puta manju snagu disipacije od onih koje se koriste u klasi A, a da pojačavač obezbeđuje istu korisnu snagu potrošaču.

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 85

### Poređenje karakteristika pojačavača snage klase A i B

- Pojačavač u klasi B daje veću korisnu snagu (78,5% : 25%)
- Disipacija na aktivnim elementima pojačavača u klasi B, 2,5 puta je manja od disipacije u klasi A
- Pojačavač u klasi B ima veća izobličenja od pojačavača u klasi A
- Jednosmerna komponenta aktivnog elementa nije konstantna i može da ugrozi ostali deo kola

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 86

- Veća korisna snaga zahteva veću dinamičku signala koja se postiže povećanjem napona napajanja – u pretpojačavačima napon koristi se manji napon napajanja.

Pad napona DC

**Izvođenjne napajanja kod kola koja sadže pojačavače snage u izlaznom stepenu**

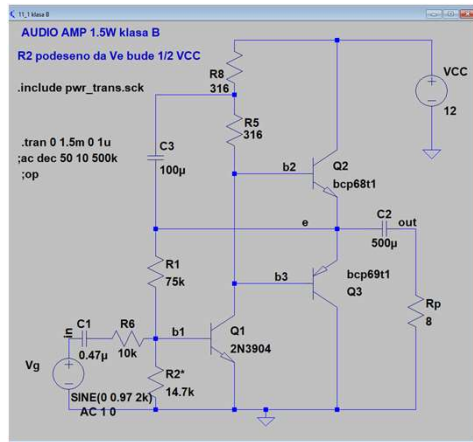
18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 87

### Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Praktično pojačavač radi u klasi C jer tranzistori počinju da vode tek kada je napon između baze i emitora > 0,5V.

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 88

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

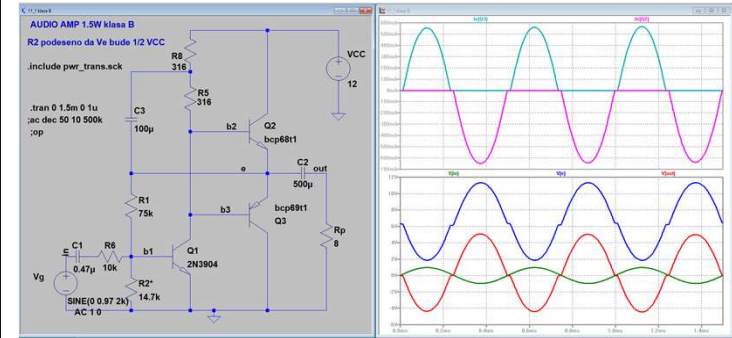


18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

89

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B



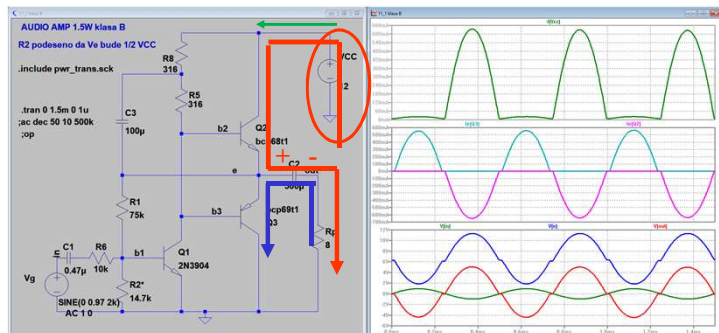
18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

90

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

**Paznja!**  
Napajanje je iz jednog izvora!!! Kako radi?



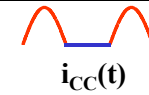
18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

91

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Snaga koju daje baterija



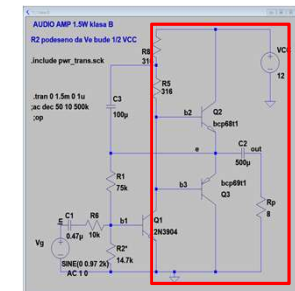
$$P_0 = V_{CC} I_0$$

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T J_{Cm \max} \sin \omega t \cdot dt$$

$$I_0 = \frac{J_{Cm \max} T}{2\pi T} \int_0^{T/2} \sin \omega t \cdot d(\omega t)$$

$$I_0 = -\frac{J_{Cm \max}}{2\pi} \cos(\omega t) \Big|_0^\pi = \frac{J_{Cm \max}}{\pi}$$

$$P_0 = V_{CC} J_{Cm \max} / \pi$$



18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

92

### Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

**Korisna snaga na potrošaču**

$$P_k = \frac{1}{2} V_{im \max} J_{Cm \max} = \frac{1}{2} \left( \frac{1}{2} V_{CC} \right) J_{Cm \max}$$

$$P_k = \frac{1}{4} V_{CC} J_{Cm \max}$$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 93

### Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

**Stepen iskorišćenja u idealnom slučaju**

$$\eta_{\max} = \frac{P_k}{P_0} = \frac{\frac{1}{2} V_{im \max} J_{Cm \max}}{V_{CC} J_{Cm \max}} \pi$$

$$\eta_{\max} = \frac{1}{2} \frac{V_{CC} J_{Cm \max}}{V_{CC} J_{Cm \max}} \pi$$

$$\eta_{\max} = \frac{\pi}{4} 100 = 78,5\%$$

$\eta < 78,5\%$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 94

### Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

**Izobličenja**

**Uočljivo je da u delu malih struja izlazna struja odstupa od sinusoide.**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 95

### Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

**Kako mogu da se smanje nelinearna izobličenja?**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 96



**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B**

**Pojačavače snage u klasi B karakteriše**

- veći stepen iskorišćenja 😊
- veća izobličenja 😞

od opjačavača u klasi A

18. decembar 2018.

**Domaći 11.2: POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B, odrediti

- vrednost  $V_{CC}$  tako da bude za 5V veći od maksimalnog napona na potrošaču od  $8\Omega$ , kada se na njemu ostvaruje korisna snaga od 20W.
- maksimalnu struju svakog tranzistora,
- ukupnu snagu izvora napajanja,
- stepen korisnog dejstva i
- maksimalnu disipiranu snagu na svakom tranzistoru.

$[V_{CC} > 22.9V, I_{pmax} = 2.25A, P_{CC} = 32.8W, \eta = 61\%, P_{dn} = P_{dp} = 6.7W]$

18. decembar 2012. Pojačavači velikih signala 98

**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

**Domaći 11.3:**

Za pojačavač sa slike koji radi u klasi B poznato je:  $V_{CC} = 6V, R_p = 4\Omega$  i  $\beta_N = \beta_P = 50$ . Izmerena je maksimalna vrednost izlaznog napona  $V_{pmax} = 4.5V$ . Odrediti:

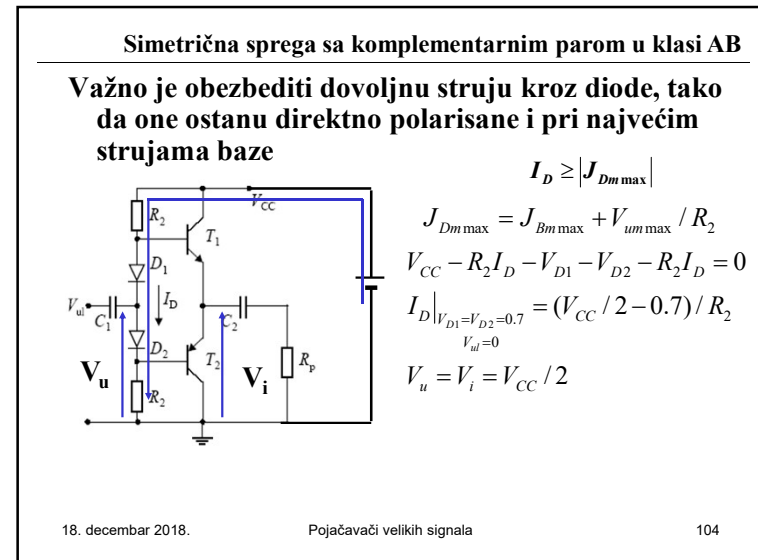
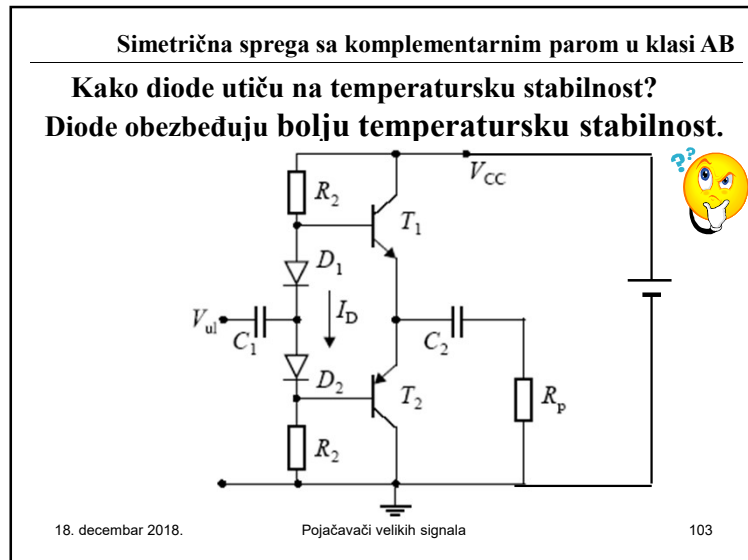
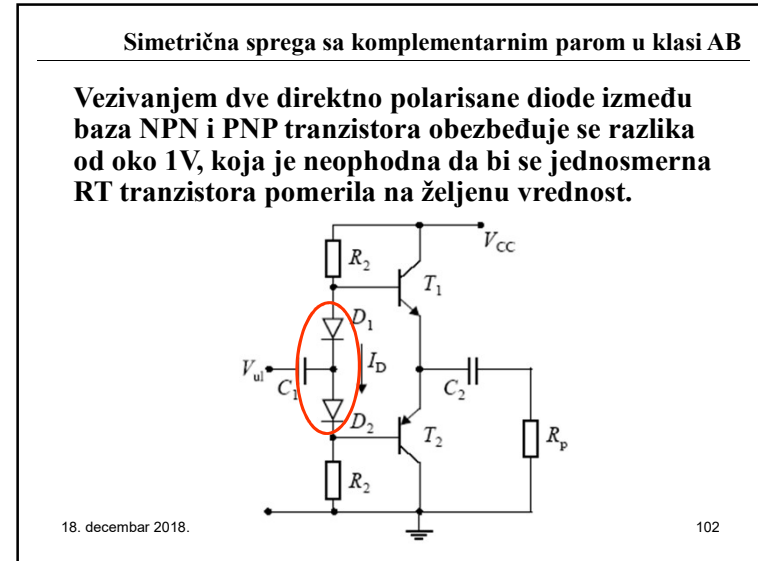
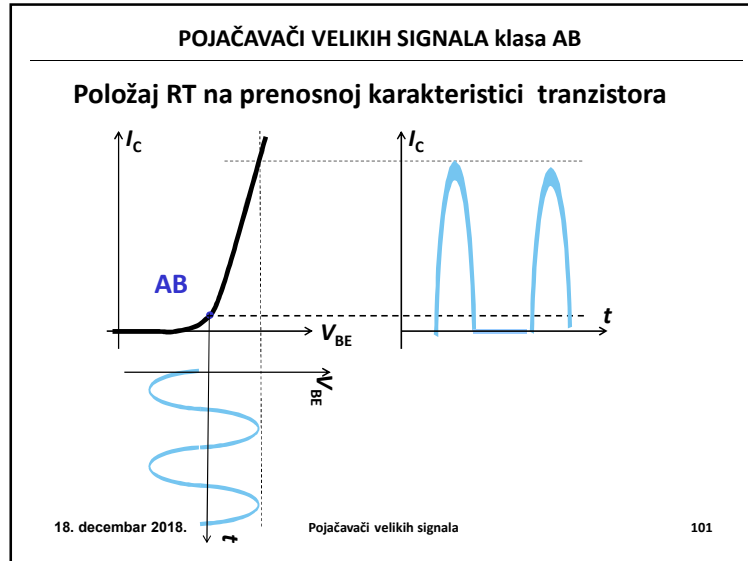
- Snagu na potrošaču
- Snagu svakog izvora
- Stepen iskorišćenja
- Maksimalnu ulaznu struju
- Snagu disipacije svakog tranzistora.

$[P_k = 2.53W, P_{CC+} = P_{CC-} = 2.15W, \eta = 59\%, I_{um} = 22.1mA, P_{dn} = P_{dp} = 0.91W]$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 99

**Pojačavači snage u klasi AB**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 100



**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB**  
 Za one koji žele da nauče više  
**Analiza za naizmenične signale - vodi jedan tranzistor**

$$J_{Dm \max} = J_{Bm \max} + V_{um \max} / R_2$$

$$V_{um \max} \approx R_p h_{21E} J_{Bm \max}$$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 105

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB**  
 Za one koji žele da nauče više  
**Analiza za naizmenične signale - vodi jedan tranzistor**

$$J_{Dm \max} = J_{Bm \max} + V_{im \max} / R_2$$

$$V_{im \max} \approx R_p h_{21E} J_{Bm \max}$$

$$R_2 = h_{21E} R_p \frac{V_{CC} / 2 - 0,7 - V_{im \max}}{V_{im \max}}$$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 106

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB**  
 Za one koji žele da nauče više  
**Pojačanje**

**Strujno**  $A_s = \frac{J_i}{J_u} = -\frac{R_2}{2R_p}$

**Naponsko**  $A = \frac{V_i}{V_{ul}} \approx 1$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 107

**POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA klasa AB**

**Simetrična sprega**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 108

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB**

**Prenosna karakteristika ekvivalentnog elementa u klasi AB – kompromis između klasa A i B**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 109

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 110

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB**

**Pojačavač u klasi AB karakteriše**

- manja korisna snaga ☹️
- manji stepen iskorišćenja ☹️
- manja izobličenja 😊

nego pojačavač u klasi B.

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 111

**Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB**

- Korisna snaga u klasi AB manja je nego u klasi B jer je redukovano dinamičko područje promene ulaznog, a time i izlaznog signala.
- Stepen iskorišćenja u klasi AB manji je nego u klasi B, jer teče jednosmerna struja i u odsustvu ulaznog signala, tako da uvek postoji disipacija na tranzistoru.
- Široka primena u audio pojačavačima.

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 112

**Pojačavači snage u klasi AB**

**Realizacija pojačavača snage u klasi AB: obezbediti napon na bazama koji je nešto veći od praga provođenja tranzistora.**

18. decembar 2018. Pojač 113

**Pojačavači snage u klasi AB**

**Realizacija pojačavača snage u klasi AB: obezbediti napon na bazama koji je nešto veći od praga provođenja tranzistora.**

18. decembar 2018. 114

**Pojačavači snage u klasi AB**

**Prenosna karakteristika ne prolazi kroz nulu, iako su tranzistori identičnih karakteristika, kada je  $V_u=0$ ,  $V_{iz} \neq 0$ .**

**Da bi se ovo otklonilo potrebno je da ulazni napon ima i jednosmernu komponentu  $V_u=V_{BE2}$ .**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 115

**Pojačavači snage u klasi AB**

**Zato se pobuđuje preko pojačavača za zajedničkim kolektorom, a pad napona između  $V_{CE}$  obezbeđuje ovu jednosmernu komponentu.**

18. decembar 2018. 116

### Pojačavači snage u klasi AB

AUDIO AMP 1.5W Klasa AB  
3dB 30Hz-500KHz.  
R2 podeseño da V<sub>e</sub> bude 1/2 VCC

```
.include pwr_trans.ack
.tran 0 1.5m 0 1u
.ac dec 50 10 500k
;op
```

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 117

### Pojačavači snage u klasi AB

AUDIO AMP 1.5W Klasa AB  
3dB 30Hz-500KHz.  
R2 podeseño da V<sub>e</sub> bude 1/2 VCC

```
.include pwr_trans.ack
.tran 0 1.5m 0 1u
.ac dec 50 10 500k
;op
```

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 118

### POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

**Domaći 11.4:**

Za pojačavač sa slike koji radi u klasi AB poznato je:  $V_{CC} = 15V$ ,  $R_p = 100\Omega$ ; tranzistori su upareni sa  $I_s = 0.1\text{pA}$  i  $\beta = 50$ , dok za diode važi da je  $I_{sd} = 21I_s$ . Odrediti:

- Struju  $I$  tako da kroz diode u najnepovoljnijem slučaju protiče struja od 1mA;
- Lenju struju ( $I_{cmin}$ );
- Disipaciju svakog tranzistora i
- jednosmerni napon  $V_{BB}$  u odsustvu ulaznog signala.

**$I = 4\text{mA}$ ,  $I_c = 9\text{mA}$ ,  $P_d = 270\text{mW}$ ,  $V_{BB} = 1.32\text{V}$**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 119

### Pojačavači snage zaštita od kratkog spoja

**Ako se (greškom) potrošač veže za masu (kratak spoj), struja kroz tranzistore postaje suviše velika.**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 120

**Pojačavači snage**

**Zato se uvodi kolo za zaštitu od kratkog spoja (važi za sve klase pojačavača)**

$I_{C1}R_{E1} < V_{\gamma 3}$

$I_{C2}R_{E2} < V_{\gamma 4}$

18. decembar 2018. 121

**Pojačavači snage**

**Zato se uvodi kolo za zaštitu od kratkog spoja (važi za sve klase pojačavača)**

$I_C R_{E1} > V_{\gamma 3}$

18. decembar 2018. 122

**Pojačavači snage**

**Kvazikomplementarna sprega:**

Oba tranzistora snage  $T_1$  i  $T_2$  su NPN tipa, namenjeni za pojačanje snage i identičnih su karakteristika. Tranzistor  $T_3$  koji je PNP tipa je lakše proizvesti jer nije tranzistor snage.

18. decembar 2018. 123

**CMOS pojačavači snage**

**Klasa AB ili B u CMOS integrisanim kolima.**

$T_1$  i  $T_2$  komplementarni par.

$T_5$  i  $T_6$  za polarizaciju gejtova izlaznog stepena. Pad napona na paru  $T_5$ - $T_6$  zavisi od struje koja protiče kroz njih – kontrolisana sa  $V_r$ .

Tranzistor  $T_3$  je pobudni, pojačavački, tranzistor.

Tranzistor  $T_4$  je dinamičko opterećenje za  $T_3$ .

18. decembar 2018. 124

**Simetrična sprega sa MOS tranzistorima snage**

**Za velike snage najčešće se koriste N-kanalni izlazni tranzistori.**

Pošto su oba MOSFET-a istog tipa, pobuđuju se preko faznog obrtača. Naponi  $V_u$  imaju i DC komponentu koja služi za polarizaciju gejtova.

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 125

**Komponente pojačavača snage**

Slika 16. Integrisani pojačavač snage LM380

Slika 17. Tranzistor snage 2N3055

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 126

**Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 127

**Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici**

**LM380.**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 128



**Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici**

**LM380.**

- Svaki ulazni priključak direktno spregnut za prethodni stepen, jednosmerno izolovan ili uzemljen.
- Izlazno kolo je zaštićeno i temperaturski i od kratkog spoja.

18. decembar 2018. 129

**Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici**

**Ulazni stepen od PNP tranzistora u sprezi sa zajedničkim emitorom**

- velika ulazna impedansa pojačavača
- direktna spregra.

18. decembar 2018. 130

**Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici**

**Drugi stepen, stepen sa zajedničkim emitorom T<sub>12</sub>. Opterećen strujnim izvorom.**

**Izlazni stepen je kvazikomplementarni par koji se sastoji od tranzistora T<sub>7</sub>, T<sub>8</sub> i T<sub>9</sub>.**

18. decembar 2018. Pojačavač

**Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici**

**Praktična primena**

**Bypass kondenzatori popravljaju PSRR**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala

### Pojačavači snage u klasi C

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 133

**Da se podsetimo**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 134

### Pojačavači snage u klasi C

$C_1 L_1 = C_2 L_2$ , zaptivno kolo  
 $Z_1 = Z_2 \rightarrow \infty$  na  $\omega = \omega_{rez}$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 135

### Pojačavači snage u klasi C

**Za one koji žele da nauče više**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 136

Pojačavači snage u klasi C

**Za one koji žele da nauče više**

Za  $V_u > V_{1p}$  počinje da teče struja drejna  $i_2$

Za  $V_u > V_\gamma$  počinje da teče struja gejta  $i_1$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 137

Pojačavači snage u klasi C

**Za one koji žele da nauče više**

Trenutna vrednost snage na tranzistoru

$$P_d = i_2 v_2$$

Srednja snaga na tranzistoru

$$P_d = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_2 v_2 d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-a_1}^{a_2} i_2 v_2 d(\omega t)$$

Snaga izvora za napajanje

$$P_{DD} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i_2 V_{DD} d(\omega t) = \frac{1}{2\pi} V_{DD} \int_{-a_1}^{a_2} i_2 d(\omega t)$$

Korisna snaga na potrošaču

$$P_k = P_{DD} - P_d = \frac{1}{2} J_{pm} V_{pm} = \frac{V_{pm}^2}{2R_p}$$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 138

Pojačavači snage u klasi C

**Za one koji žele da nauče više**

Stepen iskorišćenja

$$\eta = \frac{P_k}{P_{DD}} = 1 - \frac{P_d}{P_{DD}}$$

Srednja snaga na tranzistoru

$$P_d = \frac{1}{2\pi} \int_{-a_1}^{a_2} i_2(t) v_2(t) d(\omega t)$$

Za male uglove  $\alpha$ , srednja snaga na tranzistoru

$$P_d = \frac{1}{2\pi} \int_{-a_1}^{a_2} i_2 V_{2min} d(\omega t) = \frac{V_{2min}}{2\pi} \int_{-a_1}^{a_2} i_2 d(\omega t)$$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 139

Pojačavači snage u klasi C

**Za one koji žele da nauče više**

Stepen iskorišćenja

$$\eta = 1 - \frac{P_d}{P_{DD}} = 1 - \frac{\frac{1}{2\pi} V_{2min} \int_{-a_1}^{a_2} i_2 d(\omega t)}{\frac{1}{2\pi} V_{DD} \int_{-a_1}^{a_2} i_2 d(\omega t)} = 1 - \frac{V_{2min}}{V_{DD}} \approx 100\%$$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 140


**Pojačavači snage u klasi C**

**Stepen iskorišćenja  $\approx 100\%$**

**Realno, stepen iskorišćenja je manji (oko 80%).**

**Kako može da se poveća?**

**Šta je to što je omogućilo ovoliki stepen iskorišćenja?**



18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 141

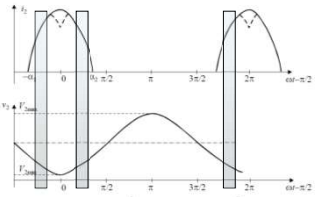
**Prekidački pojačavači (nisu linearni)**  
**Pojačavači snage u klasi D, E, F (S, I, T)**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 142

**Pojačavači snage u klasi D, E, F**

**Osnovni gubitak snage na aktivnom elementu koji radi u klasi C ispoljava se dok kroz njega protiče značajna struja, a na njegovim krajevima postoji dovoljno veliki napon  $V_{DS}$  ( $V_{CE}$ ).**

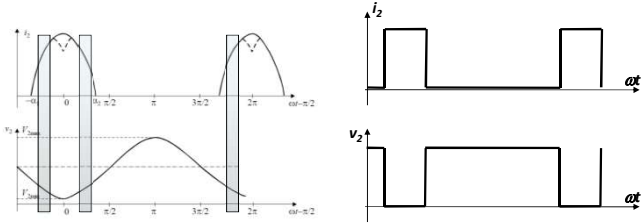
**To je stanje koje postoji dokle god komponenta (BJT ili MOSFET) radi u aktivnom režimu.**



18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 143

**Pojačavači snage u klasi D, E, F**

**Kako da se smanje gubici na aktivnom elementu?**  
**- radom u prekidačkom režimu**



18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 144

Pojačavači snage u klasi D, E, F

**Komponenta (MOSFET / BJT) radi kao prekidač:**  
 Otvoren – zakočenje:  $V_{DS} = V_{CC}$ ,  $I_D = 0$   
 Zatvoren – zasićenje:  $V_{DS} \rightarrow 0$ ,  $I_D$  – velika

Ovo podrazumeva da se pojačavač pobuđuje **pravougaonim** impulsima.

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 145

Pojačavači snage u klasi D, E, F **Za one koji žele da nauče više**

**Talasni oblici struje  $I_D$ .**

**MOSFET klasa C**

**Izgubljena ulazna snaga**

**MOSFET klasa D**

**Izgubljena ulazna snaga**

**Sinusni: od  $-V_{max}$  do  $+V_{max}$       Pravougaoni: od  $0-V_{max}$**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 146

Pojačavači snage u klasi D

**Talasni oblici signala na ulazu i izlazu**

**Izlaz iz komparatora na logičkoj 1 kada je signal veći od trougaonog**

Using  $f_{PWM} = 100\text{kHz}$  to modulate 25kHz sinusoidal waveform

PWM, jedini.gsm  
Transient Analysis

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 147

Pojačavači snage u klasi D, E, F

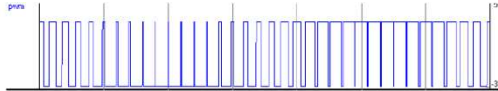
**Pobuđuje se PWM signalom (Pulse Width Modulation).**

**Ima VF i NF komponentu.**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 148

**Pojačavači snage u klasi D, E, F**


Kako regenerisati NF izlazni signal iz:



?

Filtriranjem izlaznog signala  
Prema načinu izdvajanja NF signala razlikuju se

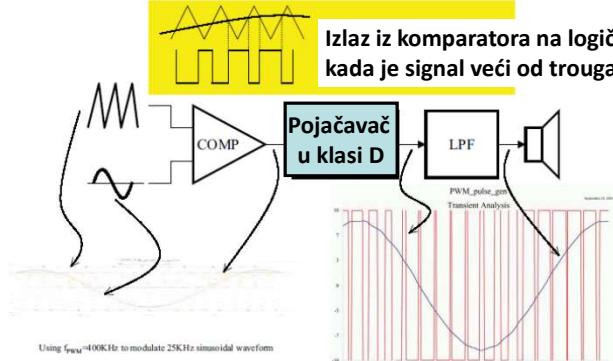
- klasa D
- klasa E
- klasa F



18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 149

**Pojačavači snage u klasi D**

**Talasnici signala na ulazu i izlazu**

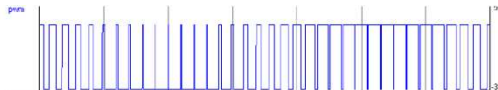


Izlaz iz komparatora na logičkoj 1  
kada je signal veći od trougaonog

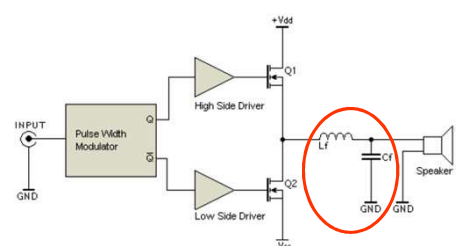
Using  $f_{\text{mod}}=400\text{kHz}$  to modulate 25kHz sinusoidal waveform

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 150

**Pojačavači snage u klasi D**



**Filtriranje izlaznog signala – klasa D**

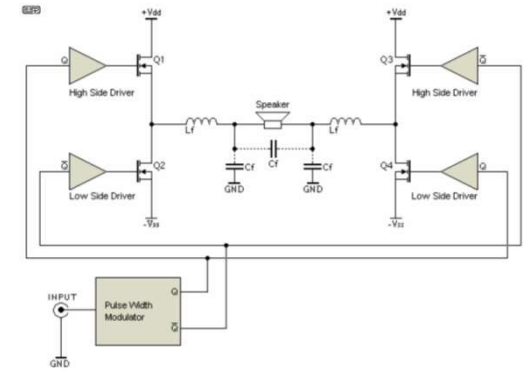


18. de: Pojačavači velikih signala 151

**Pojačavači snage u klasi D**

**Za one koji žele da nauče više**

**Alternativna simetrična konfiguracija – potpuni most**



18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 152

Pojačavači snage u klasi D

**Pojačavač snage klase D 400W.**



**Ne napaja se iz AA baterije!!!  
Prikazana je samo zbog poređenja  
dimenzija**

*Figure 2: Example of a 400W complete Class-D amplifier module*

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 153

Pojačavači snage u klasi E

**Pojačavač snage klase E**

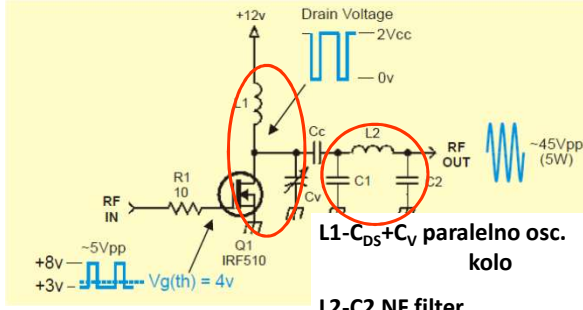
Aktivni element radi kao prekidač.

- NF filter zamenjen rezonantnim kolima koja su podešena na osnovnu frekvenciju.
- Filter sastavni deo pojačavača jer je izlazna kapacitivnost aktivnog elementa sastavni deo zaptivnog rezonantnog kola (paralelnog).

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 154

Pojačavači snage u klasi E

**Pojačavač snage klase E**



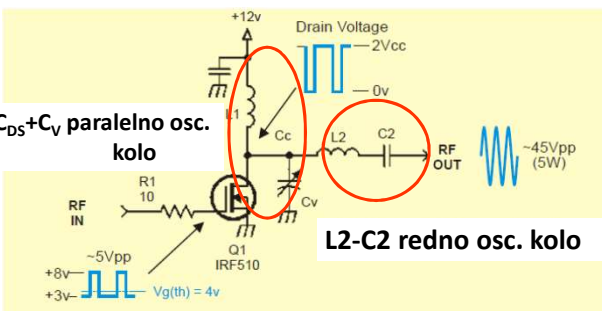
**L1-C<sub>DS</sub>+C<sub>V</sub> paralelno osc. kolo**

**L2-C2 NF filter**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 155

Pojačavači snage u klasi E

**Pojačavač snage klase E**



**L1-C<sub>DS</sub>+C<sub>V</sub> paralelno osc. kolo**

**L2-C2 redno osc. kolo**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 156

**Pojačavači snage u klasi F**

**Za one koji žele da nauče više**

**Pojačavač snage klase F**

L1+L2-C<sub>1</sub> redno osc. kolo  $f_o$   
 L2-C<sub>2</sub> paralelno osc. kolo  $3f_o$   
 L3-C<sub>3</sub> paralelno osc. kolo  $f_o$  ( $R_p=50\Omega$ )

18. decembar 2018. 57

**Prekidački pojačavači snage**

**Za one koji žele da nauče više**

**Ostali prekidački pojačavači snage:**  
 U osnovi su pojačavači klase D

- Klasa S, namenjeni za VF.
- Umesto NF, koristi filtar propusnik opsega (Band Pass – BPF)
- 500MHz za W-CDMA

[http://eprints.nuim.ie/1409/1/RIA\\_Dooley\\_2008.pdf](http://eprints.nuim.ie/1409/1/RIA_Dooley_2008.pdf)

18. decembar 2018. 158

**Prekidački pojačavači snage**

**Za one koji žele da nauče više**

**U osnovi su pojačavači klase D**

- Nazivi se slode na “trgovačke marke”
- Klasa I  
 -(Interlived – preplitanje u vremenu prekidanja)
- Klasa T

www.crownaudio.com

18. decembar 2018. 159

**Prekidački pojačavači snage**

**Za one koji žele da nauče više**

**crown**

**U osnovi su pojačavači klase D**


- Klasa I  
 -(Interlived – preplitanje u vremenu prekidanja)

www.crownaudio.com

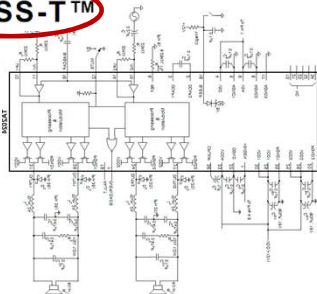
18. decembar 2018. 160



Prekidački pojačavači snage  
**Za one koji žele da nauče više**  
 U osnovi su pojačavači klase D  
 -Klase T integrisani Tripath Technology



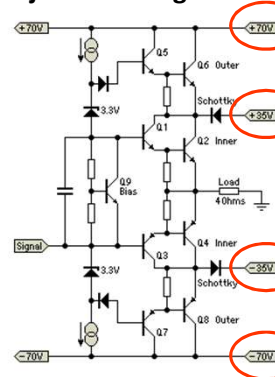
**STEREO 15W (4Ω) CLASS-T™**  
 DIGITAL AUDIO AMPLIFIER USING  
 DIGITAL POWER PROCESSING™  
 TECHNOLOGY



<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/Tripath/mXyzxwvt.pdf>  
 18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 161

Pojačavači snage u klasi G i H  
**Za one koji žele da nauče više**

**Pojačavači snage klase G i H**



Koristi više izvora za napajanje,  
 pri malim signalima 35V,  
 pri velikim 70V

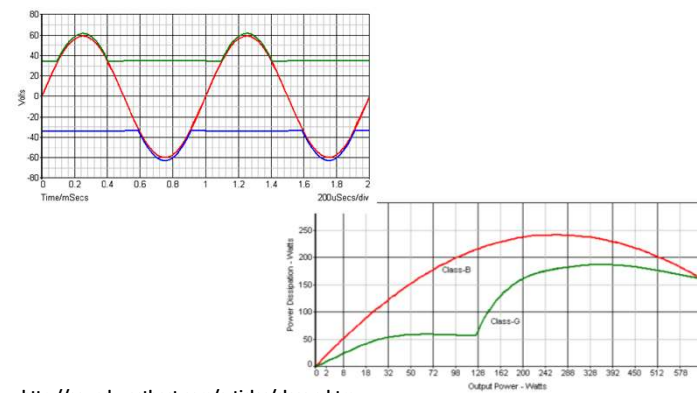
Primena: ADSL izlazni stepen  
<http://sound.westhost.com/articles/class-g.htm>

Klasa G – nezavisni izvori  
 Klasa H – bootstrep kondenzator  
 (prelazak na viši napon u  
 ograničenom trajanju, dok se  
 kondenzator ne isprazni)

18. decembar 2018. Pojači: kondenzator ne isprazni)

Pojačavači snage u klasi G i H  
**Za one koji žele da nauče više**

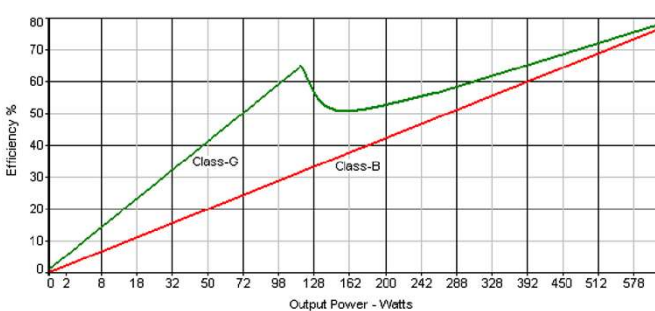
**Pojačavač snage klase G i H**



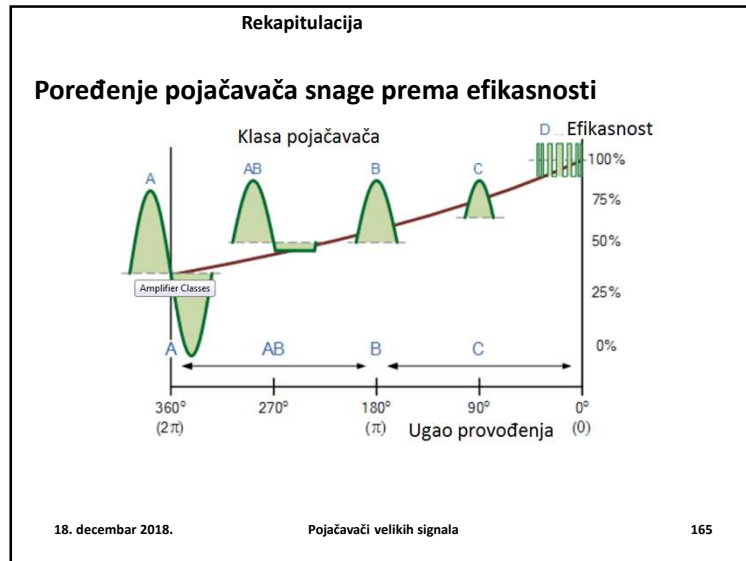
<http://sound.westhost.com/articles/class-g.htm>  
 18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 163

Pojačavači snage u klasi G  
**Za one koji žele da nauče više**

**Pojačavač snage klase G i H**



<http://sound.westhost.com/articles/class-g.htm>  
 18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 164



## II kolokvijum

### 21.01.2019.

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 166

- 
- ### Šta smo naučili?
- **Uporediti pojačavače velikih signala klase A, B, AB i C sa stanovišta stepena iskorišćenja i izobličenja izlaznog signala.**
  - Klasifikacija pojačavača snage prema položaju radne tačke (ucrtati u prenosnim karakteristikama tranzistora i pojačavača).
  - Skicirati talasni oblik napona na izlazu pojačavača snage sa komplementarnim tranzistorima koji radi u klasi B kada je pobuđen idealnim sinusnim naponom i opterećen otpornim potrošačem (prikazati DC i AC komponentu).
18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala

- 
- ### Šta smo naučili?
- Skicirati talasni oblik napona na izlazu pojačavača snage sa komplementarnim tranzistorima koji radi u klasi AB kada je pobuđen idealnim sinusnim naponom i opterećen otpornim potrošačem (prikazati DC i AC komponentu).
  - Skicirati talasni oblik struje (kolektorske ili drejna) tranzistora snage koji radi u klasi C kada je pobuđen idealnim sinusnim naponom (prikazati DC i AC komponentu).
18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 168

Ispitna pitanja

1. Namena, specifičnosti i zahtevi koji se postavljaju pred pojačavače snage
2. Zavisnost maksimalne snage disipacije bipolarnog tranzistora od temperature.
3. Pojačavač snage u klasi "A" sa bipolarnim tranzistorom i direktnom spregom sa potrošačem (električna šema, prenosna karakteristika, stepen iskorišćenja).
4. Pojačavač snage u klasi "B" sa komplementarnim parom i simetričnim napajanjem (električna šema, princip rada i stepen iskorišćenja).
5. Pojačavač snage u klasi "B" sa komplementarnim parom i simetričnim napajanjem (električna šema i prenosna karakteristika).
6. Pojačavač snage u klasi "B" sa komplementarnim parom i nesimetričnim napajanjem (električna šema i princip rada).
7. Pojačavač snage u klasi „AB" sa komplementarnim parom i simetričnim napajanjem (električna šema i princip rada).
8. Zaštita izlaznog tranzistora (u pojačavaču snage) od kratkog spoja.
9. Pojačavač snage u klasi C (namena, princip rada i stepen iskorišćenja)
10. Blok šema i princip rada prekidačkih tranzistora snage (klasa D).



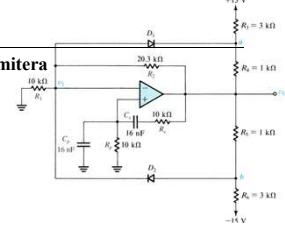
18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

169

Rešenje 10.1:

1. Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera
2. Naći frekvenciju oscilovanja
3. Odrediti amplitudu oscilovanja ako je VD=0.7V.



$$A(s)B(s) = 1; \quad A(s) = 1 + \frac{R_2}{R_1}; \quad B(s) = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s};$$

$$B(s) = \frac{\frac{R_p / sC_p}{R_p + 1/sC_p}}{\frac{R_p / sC_p}{R_p + 1/sC_p} + R_s + 1/sC_s} = \frac{R_p}{1 + R_p sC_p} \cdot \frac{R_p}{R_p + 1/sC_s + R_s + 1/sC_s}$$

$$B(s) = \frac{sC_s R_p}{sC_s R_p + (1 + sC_s R_s)(1 + sC_p R_p)} \Big|_{\substack{R_p = R_s = R \\ C_p = C_s = C}} = \frac{sCR}{1 + 3sCR + s^2 C^2 R^2} = \frac{1}{3 + sCR + 1/sCR}$$

$$A(s)B(s) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{3 + sCR + 1/(sCR)} = 1$$

$$3 + sCR + 1/(sCR) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right), \text{ zamenom brojnih vrednosti dobija se}$$

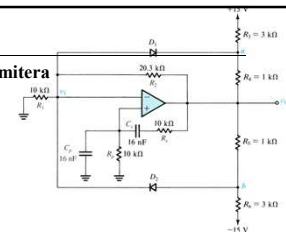
$$3 + s \cdot 16 \cdot 10^{-9} \cdot 10^4 + 1/(s \cdot 16 \cdot 10^{-9} \cdot 10^4) = 3,03; \quad s^2 \cdot 256 \cdot 10^{-10} - 0,03s \cdot 16 \cdot 10^{-5} + 1 = 0$$

18. decembar 2018.

Povratna sprega

Rešenje 10.1:

1. Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera
2. Naći frekvenciju oscilovanja
3. Odrediti amplitudu oscilovanja ako je VD=0.7V.



$$s_{1,2} = \frac{0,03s \cdot 16 \cdot 10^{-5} \pm \sqrt{9 \cdot 10^{-4} \cdot 256 \cdot 10^{-10} - 4 \cdot 256 \cdot 10^{-10}}}{2 \cdot 256 \cdot 10^{-10}}$$

$$s_{1,2} = \frac{0,03 \cdot 16 \cdot 10^{-5} \pm 16 \cdot 10^{-5} \cdot \sqrt{9 \cdot 10^{-4} - 4}}{2 \cdot 256 \cdot 10^{-10}} \approx \frac{0,03 \pm \sqrt{-4}}{32 \cdot 10^{-5}}$$

$$s_{1,2} \approx \frac{0,03 \pm \sqrt{-4}}{32 \cdot 10^{-5}} = \frac{10^{-5}}{16} (0,015 \pm j)$$

$$A(j\omega)B(j\omega) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{3 + j\omega CR + 1/(j\omega CR)} = \frac{(1 + \frac{R_2}{R_1})}{3 + j(\omega CR - 1/(\omega CR))}$$

$$\text{Im}\{A(j\omega)B(j\omega)\} = \frac{-j(\omega CR - 1/(\omega CR))(1 + \frac{R_2}{R_1})}{3^2 + (\omega CR - 1/(\omega CR))^2} = 0, \Rightarrow \omega CR - 1/(\omega CR) = 0;$$

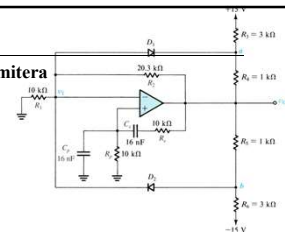
$$\omega CR = 1/(\omega CR) \Rightarrow \omega = \frac{1}{CR} = \frac{10^{-5}}{16} \text{ rad/s} \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = 1 \text{ kHz}$$

18. decembar 2018.

Povratna sprega

Rešenje 10.1:

1. Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera
2. Naći frekvenciju oscilovanja
3. Odrediti amplitudu oscilovanja ako je VD=0.7V.



c) D2 provode za maksimalni napon u tač t "b"

$$V_b = V_I + V_D$$

$$V_I = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{o \max} \approx \frac{1}{3} V_{o \max}$$

s druge strane, napon u tač t "b", ako se zanemari struja kroz diodu, približno je jednak :

$$V_b = \frac{R_5}{R_5 + R_6} V_{SS} + \frac{R_6}{R_5 + R_6} V_{o \max}$$

$$\frac{R_5}{R_5 + R_6} V_{SS} + \frac{R_6}{R_5 + R_6} V_{o \max} = \frac{R_1}{R_1 + R_2} V_{o \max} + V_D \Rightarrow \left(\frac{R_6}{R_5 + R_6} - \frac{R_1}{R_1 + R_2}\right) V_{o \max} = +V_D - \frac{R_5}{R_5 + R_6} V_{SS}$$

$$\left(\frac{3}{4} - \frac{10}{30,3}\right) V_{o \max} = +0,7 - \frac{1}{4}(-15) \Rightarrow V_{o \max} = 10,68 \text{ V, zbog simetrije } D1, \text{ } \hat{V}_{o \min} = -10,68 \text{ V}$$

tako da je:

$$V_{opp} = V_{o \max} - V_{o \min} = 2 \cdot 10,68 \text{ V} = 21,36 \text{ V}$$

18. decembar 2018.

Povratna sprega

**Rešenje 10.2:**

a) Odrediti položaj potenciometra pri kome se uspostavljaju oscilacije

b) Naći frekvenciju oscilovanja

$$A(s)B(s) = 1; \quad A(s) = 1 + \frac{R_2}{R_1}; \quad B(s) = \frac{Z_p}{Z_p + Z_s};$$

$$B(s) = \frac{1}{3 + sCR + 1/sCR}$$

$$A(s)B(s) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) \frac{1}{3 + sCR + 1/(sCR)} = 1$$

$$R_2 = 10k\Omega + R_X; \quad R_1 = 50k\Omega - R_X$$

$$3 + sCR + 1/(sCR) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right), \quad \text{za } j\omega_0 CR = -j/(\omega_0 CR)$$

$$\left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right) = 3 \Rightarrow \frac{R_2}{R_1} = \frac{10k\Omega + R_X}{50k\Omega - R_X} = 2 \Rightarrow 10k\Omega + R_X = 2 \cdot (50k\Omega - R_X)$$

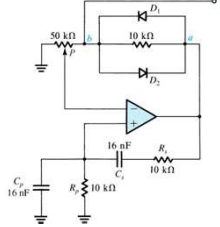
$$3R_X = 100k - 10k = 90k\Omega \Rightarrow R_X = 30k\Omega$$

$$\text{Potenciometar: } R_X = 30k\Omega \text{ i } 50k\Omega - R_X = 20k\Omega$$

$$\omega_0 CR = 1/(\omega_0 CR) \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{CR} = \frac{10^{-5}}{16} \text{ rad/s} \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = 1 \text{ kHz}$$

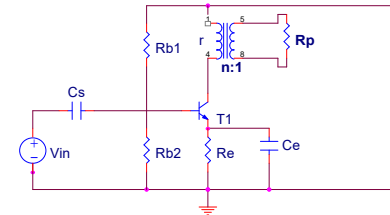
18. decembar 2018.

Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija



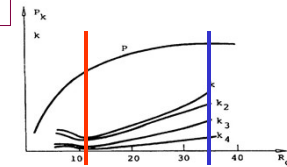
**Za one koji žele da nauče više**  
**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**Kako projektovati pojačavač snage?**  
**Projektovati = odrediti topologiju i**



**vrednosti elemenata kola,**

**da bi se ispunili određeni zahtevi**

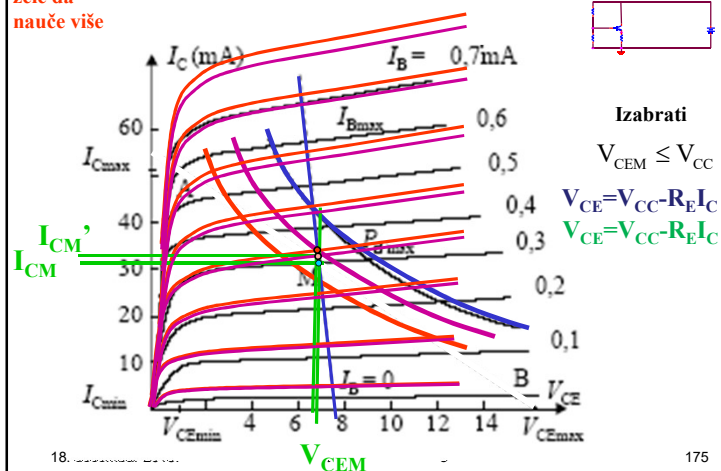


18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

174

**Za one koji žele da nauče više**  
**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**



18. decembar 2018.

175

**Za one koji žele da nauče više**  
**Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom**

**Postupak projektovanja:**

1. Definišemo  $\Delta I_{CM} = I_{CM}' - I_{CM}$
2. Izaberemo  $r = R_C = 22k$  (kompromis snaga/izobličenja);  
 $R_P$  je poznato, a  $n$  (trafoa) se podešava,  $n = \sqrt{r/R_P}$
3. Izračunamo  $V_{CEM}$ :  $V_{CEM} = \sqrt{P_{dmax} \cdot R_C}$
4. Izračunamo  $I_{CM}'$   $I_{CM}' = P_{dmax} / V_{CEM}$
5. Izračunamo  $I_{CM}$   $I_{CM} = I_{CM}' - \Delta I_{CM}$

18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

176

Za one koji žele da nauče više Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

6. Izračunamo  $I_{BM}$

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

7. Izračunamo  $R_E$  za  $I_E \approx I_C = I_{CM}$

$$V_{CC} \approx V_{CEM} + R_E I_{CM} \quad R_E = (V_{CC} - V_{CEM}) / I_{CM}$$

8. Izračunamo  $R_{B1}$  i  $R_{B2}$

18. decembar 2018.

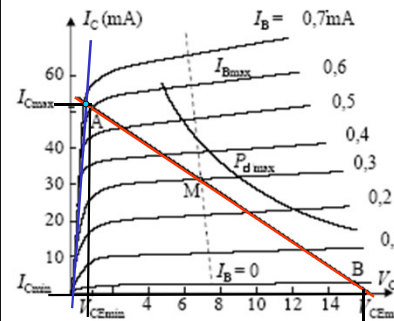
Pojačavači velikih signala

177

Za one koji žele da nauče više Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Radna prava za naizmenični signal

$$I_C - I_{CM} = -\frac{1}{R_C} (V_{CE} - V_{CEM})$$



Aproksimacija strujnog zasićenja

$$I_C = V_{CE} / R_{on}$$

U preseku je  $I_{Cmax}$

18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

178

Za one koji žele da nauče više Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

$$I_{Cmax} = (V_{CEM} + R_C I_{CM}) / (R_C + R_{ion})$$

Proveriti da li je

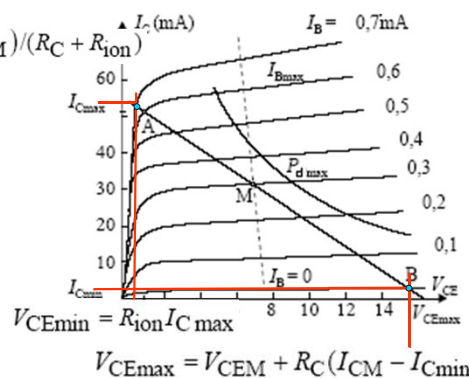
$I_{Cmax} >$  od dozvoljene

Za poznato  $I_{Cmin}$

izračunati  $V_{CEmax}$

Proveriti da li je

$V_{CEmax} >$   $BV_{CE0}$



18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

179

Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega u klasi A

18. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

180

**Za one koji žele da nauče više** **Simetrična sprega u klasi A**

**Treba obezbediti minimalna nelinearna izobličenja i maksimalnu korisnu snagu**

Jedno od rešenja za smanjenje nelinearnih izobličenja i povećanje stepena iskorišćenja nudi

**simetrična sprega**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 181

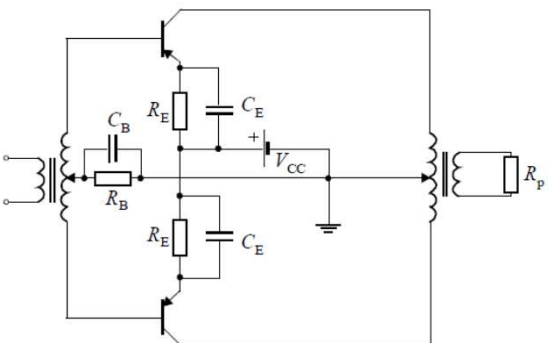
**Za one koji žele da nauče više** **Simetrična sprega u klasi A**

**SIMETRIČNA SPREGA je:**

specijana sprega dva aktivna elementa identičnih karakteristika, koja omogućava dobijanje dvostruko veće korisne snage uz znatno manje nelinearnih izobličenja u odnosu na stepen sa jednim aktivnim elementom

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 182

**Za one koji žele da nauče više** **Simetrična sprega u klasi A**

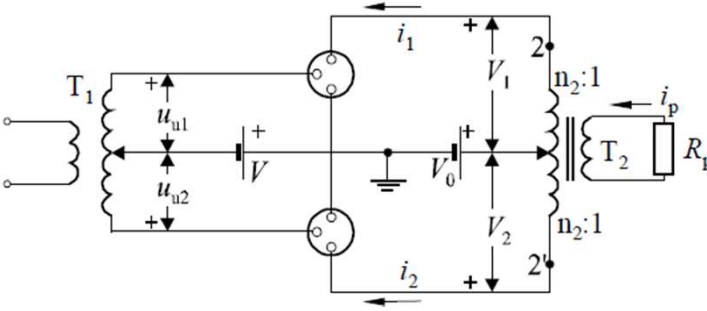


**Simetrična sprega u klasi A sa bipolarnim tranzistorima**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 183

**Za one koji žele da nauče više** **Simetrična sprega u klasi A**

**Analiza upotrebom simetričnog pojačavača sa uopštenim aktivnim elementom**



18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 184

**Za one koji žele da nauče više**      **Simetrična sprega u klasi A**

- Na ulazu simetrične povratne sprege nalazi se transformator T1
- Sekundar ovog transformatora ima simetrična tri izvoda
- Tako se dobija da su ulazni signali aktivnih elemenata iste amplitude i suprotne faze

18. decembar 2018.      Pojačavači velikih signala      185

**Za one koji žele da nauče više**      **Simetrična sprega u klasi A**

- Potrošač je, takođe, priključen preko simetričnog transformatora koji ima tri izvoda

18. decembar 2018.      Pojačavači velikih signala      186

**Za one koji žele da nauče više**      **Simetrična sprega u klasi A**

Za prostoperiodičnu pobudu na izlazu se dobija izobličeni signal sa harmonicima:

$$i_1 = I + I_{1m} \cos \omega t + I_{2m} \cos 2\omega t + I_{3m} \cos 3\omega t + \dots$$

$$i_2 = I + I_{1m} \cos[\omega t + \pi] + I_{2m} \cos[2\omega t + \pi] + I_{3m} \cos[3\omega t + \pi] + \dots$$

$$i_2 = I - I_{1m} \cos \omega t + I_{2m} \cos 2\omega t - I_{3m} \cos 3\omega t + \dots$$

18. decembar 2018.      Pojačavači velikih signala      187

**Za one koji žele da nauče više**      **Simetrična sprega u klasi A**

- ❑ Struja u sekundaru transformatora T2 dobija se iz:
 
$$n_2 i_1 - n_2 i_2 = i_p$$

$$i_p = n_2 (i_1 - i_2) = n_2 (2I_{1m} \cos \omega t + 2I_{3m} \cos 3\omega t + \dots)$$
- ❑ Struja potrošača ne sadrži jednosmernu komponentu ni parne harmonike!

**Poništeni su primenom simetrične sprege**

18. decembar 2018.      Pojačavači velikih signala      188

**Za one koji žele da nauče više**

### Obrtači faze

- Ulazni transformator služi da generiše dva signala čije su amplitude jednake, a faze suprotne.
- Transformator više doprinosi amplitudskim i faznim izobličenjima i na niskim i na visokim frekvencijama nego što to čine aktivni elementi
- Zato se umesto transformatora koriste elektronska kola koja obezbeđuju signale istih amplituda a suprotnih faza.

Ona se nazivaju: **fazni obrtači**.

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 189

**Za one koji žele da nauče više**

### Obrtači faze

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 190

**Za one koji žele da nauče više**

### Obrtači faze

Diferencijalni pojačavač sa nesimetričnim ulazom.

Napon →  
Struja →

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 191

**Za one koji žele da nauče više**

### Obrtači faze

- Pod uslovom da je kolo simetrično i da je  $R_E \gg h_{11E}$  važi:

$$V_2 = A_{11}V_1 = -\frac{h_{21E}R_C}{2h_{11E}}V_1$$

$$V'_2 = A_{12}V_1 = +\frac{h_{21E}R_C}{2h_{11E}}V_1$$

$$V_2 = -V'_2$$

Tačna analiza daje

$$V_2 = A_{11}V_1 = -\frac{h_{21E}R_C(1+h_{21E}+h_{11E}/R_E)}{2h_{11E}(1+h_{21E}+h_{11E}/(2R_E))}V_1$$

$$V'_2 = A_{12}V_1 = +\frac{h_{21E}R_C(1+h_{21E})}{2h_{11E}(1+h_{21E}+h_{11E}/(2R_E))}V_1$$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 192



**Za one koji žele da nauče više**

### Obrtači faze

#### Osnovni pojačavač kao obrtač faze

■ Za  $R_C = R_E$   $V_2 = -V_2' \approx V_1$

Izlazne impedanse nisu jednake!!!

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 194

**Za one koji žele da nauče više**

### Obrtači faze

#### Primer primene obrtača faze kao zamena za ulazni transformator:

Položaj radne tačke (klasa A B ili C) podešava se padom napona na otporniku  $R_1$  (izborom vrednosti  $R_1$ ).

Nedostatak: a) primena transformatora na izlazu  
b) temperaturski nestabilno

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 194

**Za one koji žele da nauče više**

### Simetrična sprega sa komplementarnim parom

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 195

**Za one koji žele da nauče više**

### Simetrična sprega sa komplementarnim parom

Komplementarni tranzistori ?

PNP i NPN identične karakteristike

Nema izlaznog trafoa!

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 196

Za one koji žele da nauče više **Simetrična sprega sa komplementarnim parom**

**Komplementarni tranzistori**  
**DC signal**

Baze razdvojene za DC

DC struja kroz potrošač  $I_p=0$

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 197

Za one koji žele da nauče više **Simetrična sprega sa komplementarnim parom**

**Komplementarni tranzistori**  
**DC struja kroz potrošač  $I_p=0$**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 198

Za one koji žele da nauče više **Simetrična sprega sa komplementarnim parom**

**Komplementarni tranzistori**  
**AC signal**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 199

Za one koji žele da nauče više **Simetrična sprega sa komplementarnim parom**

**Komplementarni tranzistori**  
**identičnih karakteristika**

Napon  $\rightarrow$  (blue arrow)  
Struja  $\rightarrow$  (red arrow)

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 200

**Za one koji žele da nauče više** Simetrična sprega sa komplementarnim parom

Gde vezati masu potrošača?

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 201

**Za one koji žele da nauče više** Simetrična sprega sa komplementarnim parom

Masa u čvoru 1  
Pojačavači sa zajedničkim emitorom

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 202

**Za one koji žele da nauče više** Simetrična sprega sa komplementarnim parom

Masa u čvoru 1  
konfiguracija sa zajedničkim emitorom

😊  
Veliko pojačanje

😞  
Ni jedan kraj baterije nije vezan za masu!!!

Negativna povratna sprega preko  $R_B$   
(smanjuje pojačanje)

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 203

**Za one koji žele da nauče više** Simetrična sprega sa komplementarnim parom

Masa u čvoru 1  
konfiguracija sa zajedničkim emitorom

Moguća neutralizacija negativne povratne sprege

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 204

Za one koji žele da nauče više **Simetrična sprega sa komplementarnim parom**

**Masa u čvoru 2**

**Konfiguracija sa zajedničkim kolektorom**

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 205

Za one koji žele da nauče više **Simetrična sprega sa komplementarnim**

**Masa u čvoru 2**

**Konfiguracija sa zajedničkim kolektorom**

☹️

- Potreban je veći ulazni signal jer je pojačanje manje

☺️

- Izlazna otpornost je manja

Ulazni signal može biti veliki (pretpojačavač) ☺️

18. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 206