

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

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

Ukupan skor u januaru može biti 120% PRE ISPITA

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

13. decembar 2018. 1

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze: U JANUARU OSTALO

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

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)

13. decembar 2018. 2

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

13. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 3

Osnovi elektronike

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

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


13. decembar 2018. Uvod
<http://leda.elfak.ni.ac.rs/> 4

1. Uvod	Sadržaj
<ul style="list-style-type: none"> • Namena • Oblast sigurnog rada tranzistora • Bilans snage (stepen iskorišćenja) • Klir faktor • Klasifikacija pojačavača prema položaju radne tačke 	
2. Pojačavač snage u klasi A sa BJT	
3. Pojačavač snage u klasi B sa BJT	
<ul style="list-style-type: none"> • Simetrična sprega u klasi B • Simetrična sprega sa komplementarnim parom 	
13. 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"> • Pojačavači snage klase D, E, F • Pojačavači snage klase S, I, T • Pojačavači snage klase G, H
13. decembar 2018. Pojačavači velikih signala

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

Uvod
Namena
<ul style="list-style-type: none"> • Koriste se kao izlazni stepen, na kraju pojačavačkog lanca: <ul style="list-style-type: none"> • Opterećen je potrošačem, tako da je veoma važno da se izlazna impedansa prilagodi potrošaču (za pojačavače napona – mala izlazna otpornost). • Prethodno je signal već dovoljno pojačan, tako da pobudni signali nisu mali. • Očekuju se veliki signali na izlazu. • <u>Koristi se cela radna oblast tranzistora – i nelinearni deo.</u> • Izlazni signal izobličen. • Ne važe linearni malosignalni modeli. • Veliki signali impliciraju velike snage – zato je važan odnos korisne snage na potrošaču i ukupne uložene snage.
13. 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

13. 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 $V_{CE} = 4.5 V$

13. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 10

Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

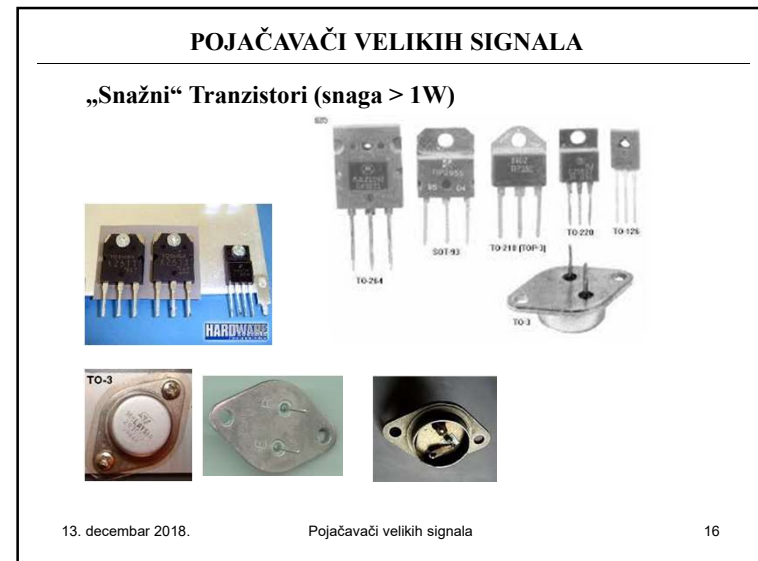
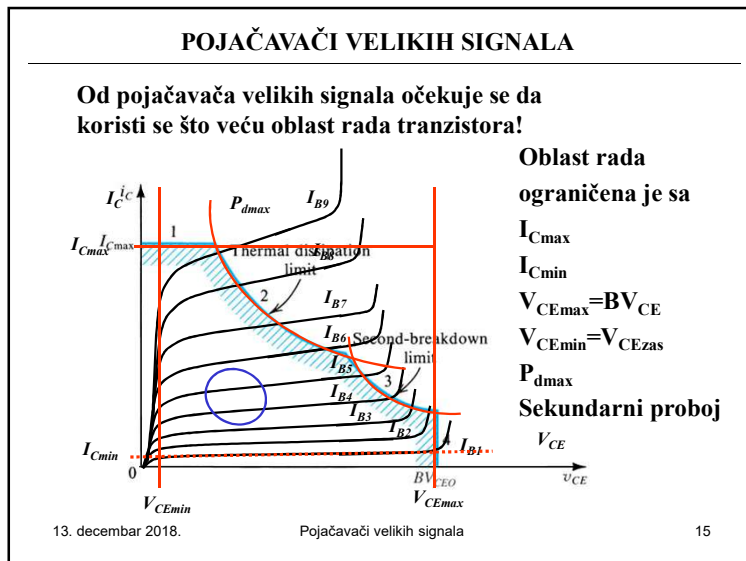
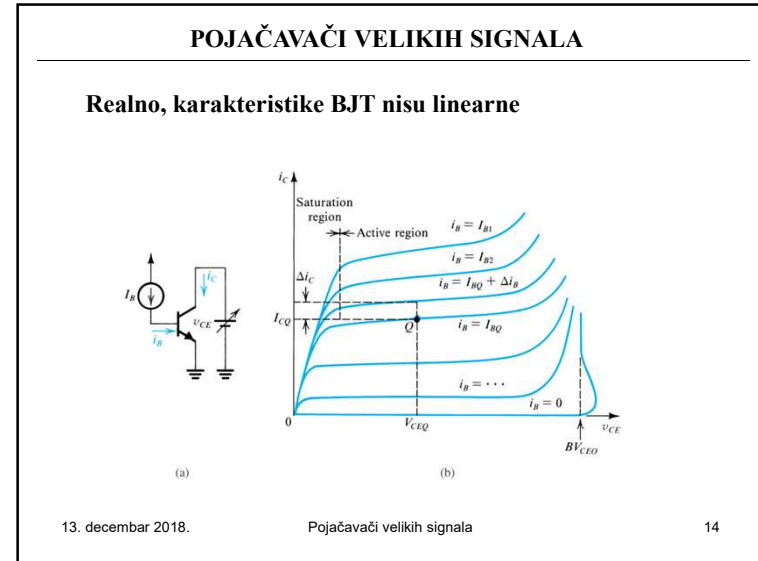
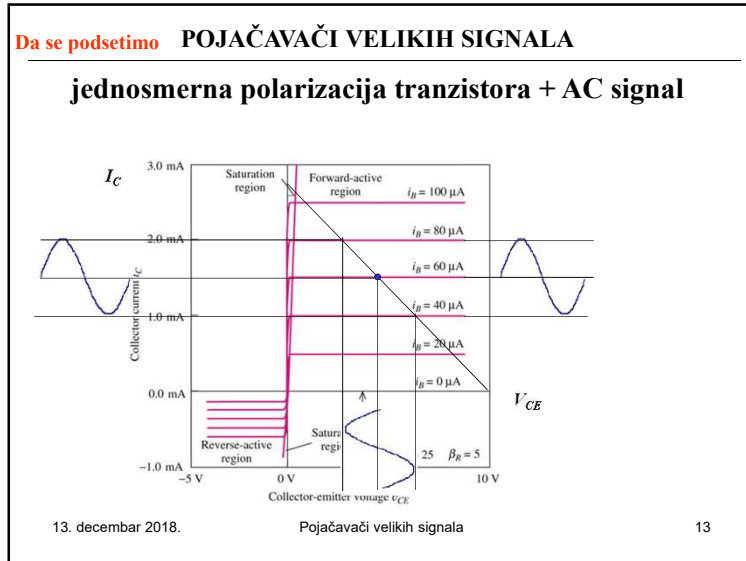
jednosmerna polarizacija tranzistora

13. 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 $V_p = R_p I_p$

13. 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.

13. 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.

13. 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

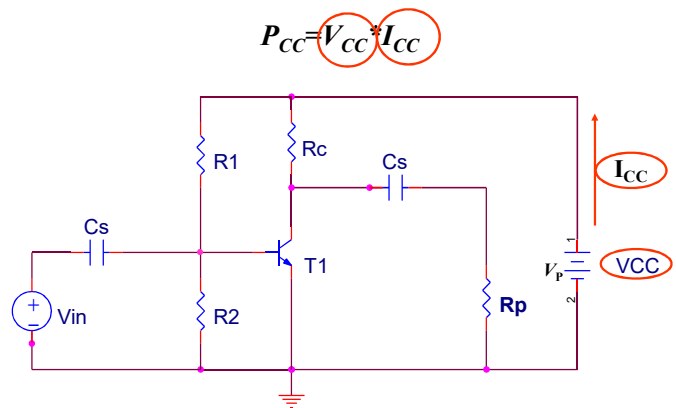
$$P_{CC} = V_{CC} * I_{CC}$$



13. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 19

Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

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



13. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 20

Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Korisna snaga je ona koja se ostvari na potrošaču

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

13. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 21

Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Stepen iskorišćenja, η , predstavlja odnos korisne snage na potrošaču,

$$P_k = V_P I_P$$

i ukupne snage koju predaje izvor za napajanje

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

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

13. 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)

13. 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 $P_d = V_{CE} \cdot I_C$

13. 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.

13. 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
 $V_{CE} = P_{dmax} / I_C$

13. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 26

Uticaj temperature na P_d

•promena radne temperature $T_1 < T_2$

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

13. decembar 2018. Pojačavači velikih signala

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Disipacija u funkciji TEMPERATURE

T_o - Temperatura okoline
 T_{Smax} - temperatura spoja, maksimalna

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

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

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

13. 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?

13. 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?

13. 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 $T_o = 50^\circ C$.

[]

13. 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

13. 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 η .

Kako odrediti i kvantifikovati izobličenje signala?



13. 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

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

13. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

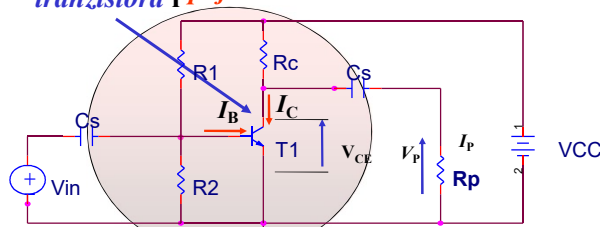
34

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Sa karakteristika tranzistora očigledno je da će veći signali biti više izobličeni. **13.12.2018.**

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

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



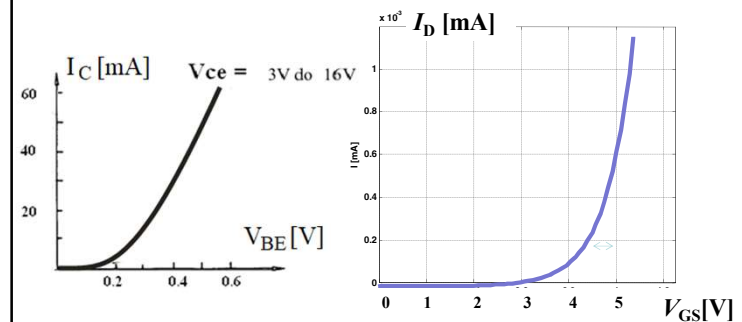
13. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

35

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

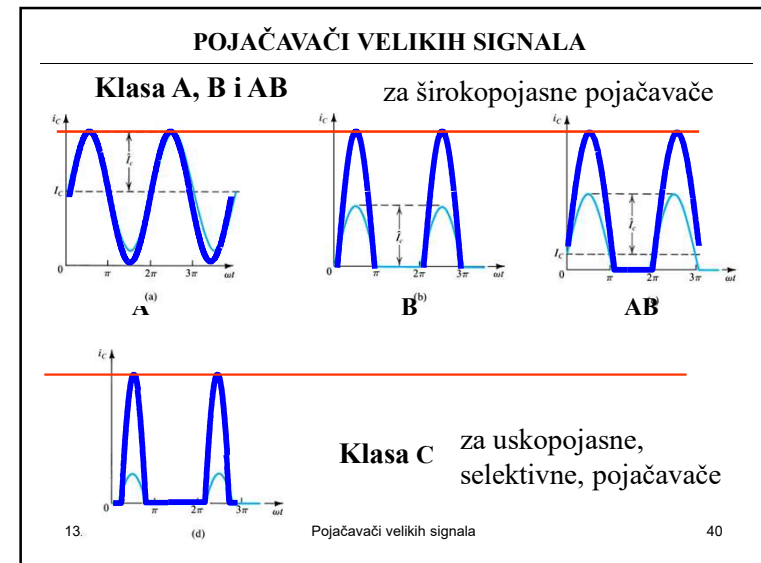
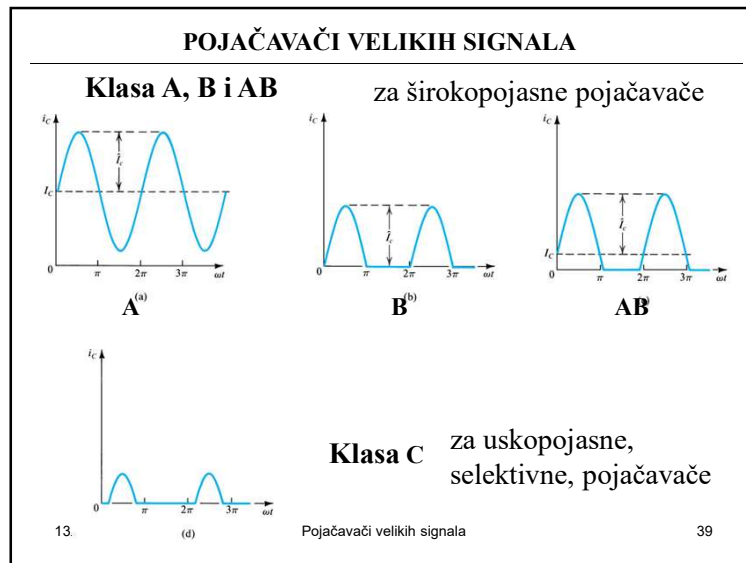
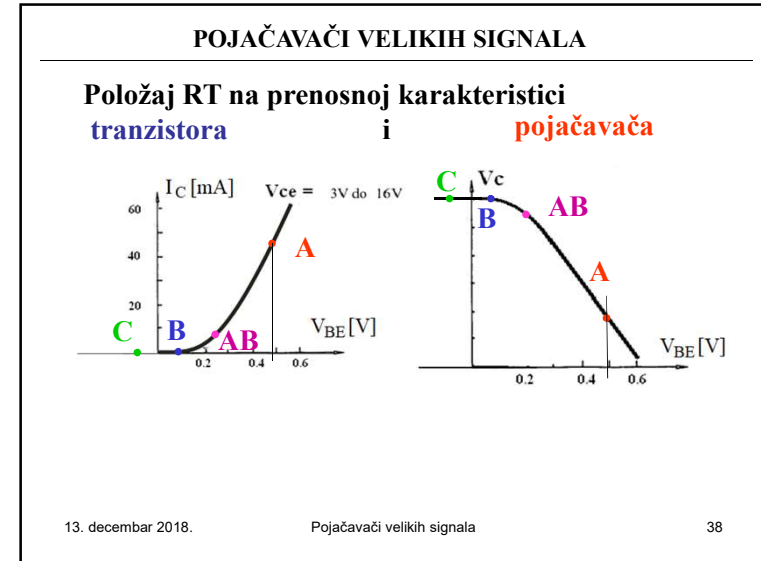
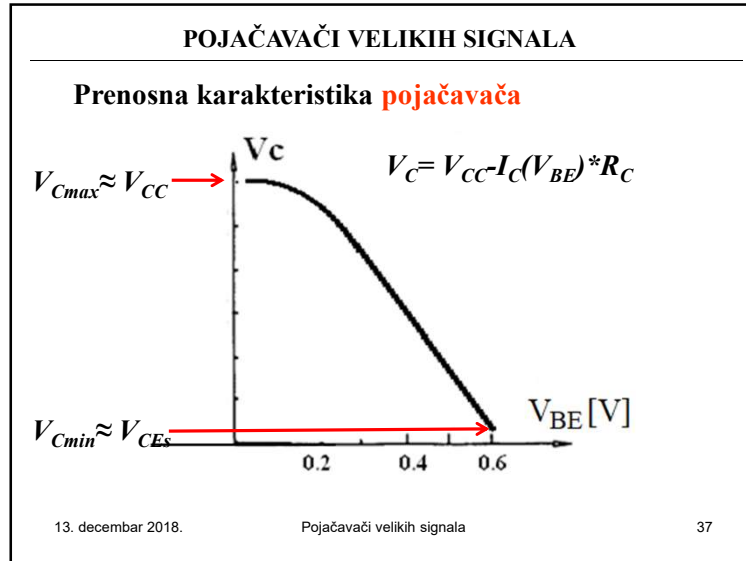
Prenosna karakteristika tranzistora

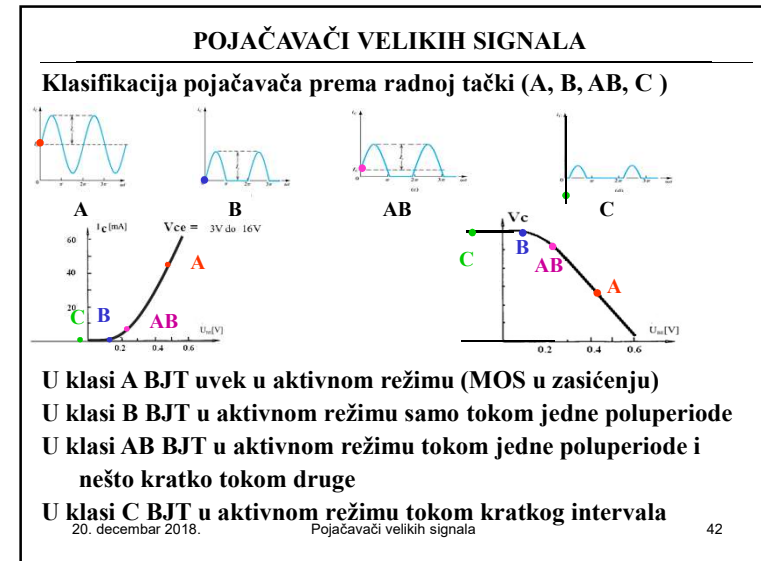
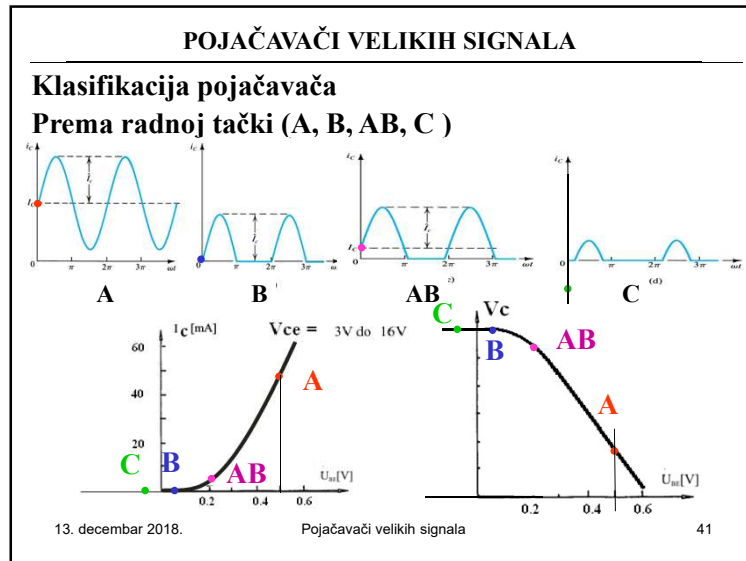


13. decembar 2018.

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

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 43

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

PROJEKTOVANJE POJAČAVAČA SNAGE

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

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 44

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Kompromis:
Izobličenja – korisna snaga (osnovni harmonik)

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 45

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Pojačavač snage u klasi A sa bipolarnim tranzistorom

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 46

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

(mali signali)

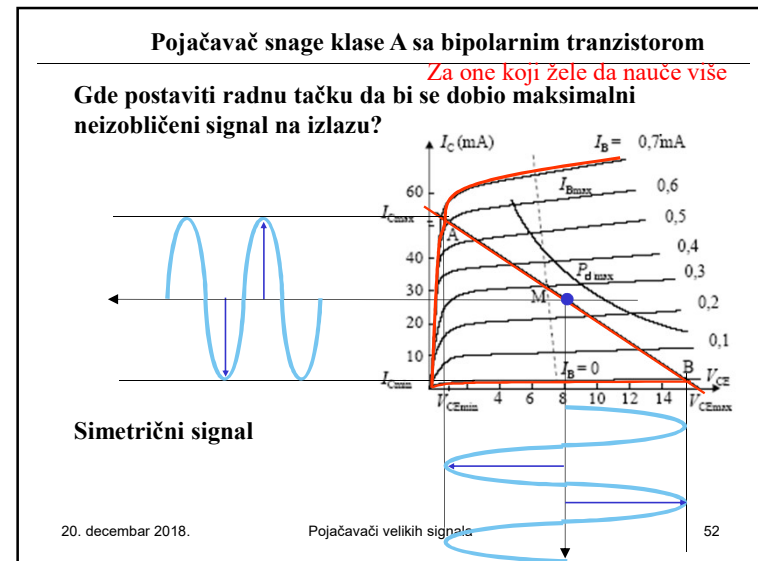
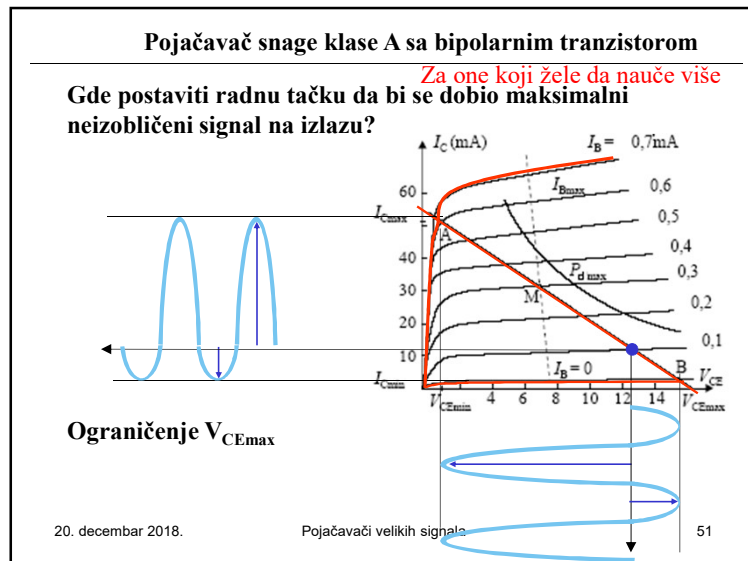
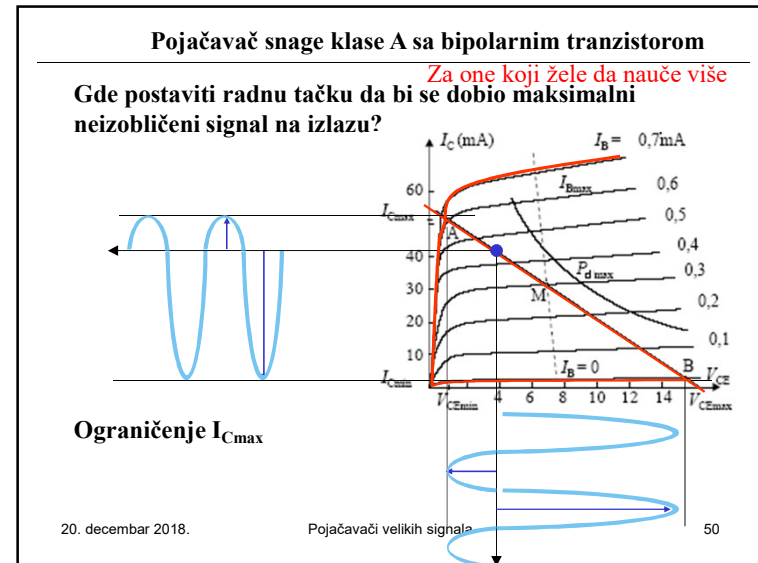
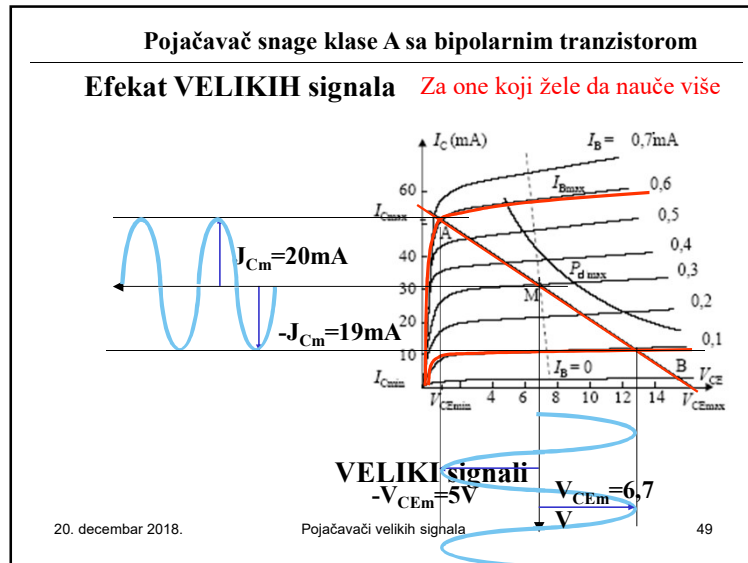
20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 47

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Efekat VELIKIH signala Za one koji žele da nauče više

VELIKI signali

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 48



Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Za one koji žele da nauče više

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

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 53

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Za one koji žele da nauče više

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

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

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 54

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Za one koji žele da nauče više

Tada je maksimalna korisana snaga

$$P_k = \frac{1}{2} V_{CEM} I_{CM} = \frac{1}{2} \left(\frac{1}{2} V_{CC} \right) I_{CM}$$

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 55

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Za one koji žele da nauče više

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

Tako da je

$$\eta_{max} = \frac{P_k}{P_{CC}} = \frac{\frac{1}{2} V_{CEM} I_{CM}}{V_{CC} I_{CM}} = \frac{1}{4} \frac{V_{CC} I_{DM}}{V_{CC} I_{DM}} = 0.25$$

20. 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

$\eta < 20\%$

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 57

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Q₁ ZC, a Q₂ izvor konstantne struje – polarizacija.

$I_{EI} = I + i_L$

$I_{EI} > I$ za najveće i_L da bi radio u klasi A, inače Q₁ ide u zakočenje.

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 58

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Preosna karakteristika pojačavača

$v_o = v_i - v_{BE1}$

Granice linearne oblasti

$v_{omax} = V_{CC} - V_{CE1sat} \quad I_{EI} = I; \quad i_L = 0$

$v_{omin} = -IR_L, \text{ odnosno } v_{omin} = -V_{CC} + V_{CE2sat} \quad I_{EI} = 0; \quad i_L = I$

Najmanji izlazni napon obezbeđuje struja

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

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 59

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Talasnici napona i snage

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

20. 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)

20. 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)

20. 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)

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 63

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

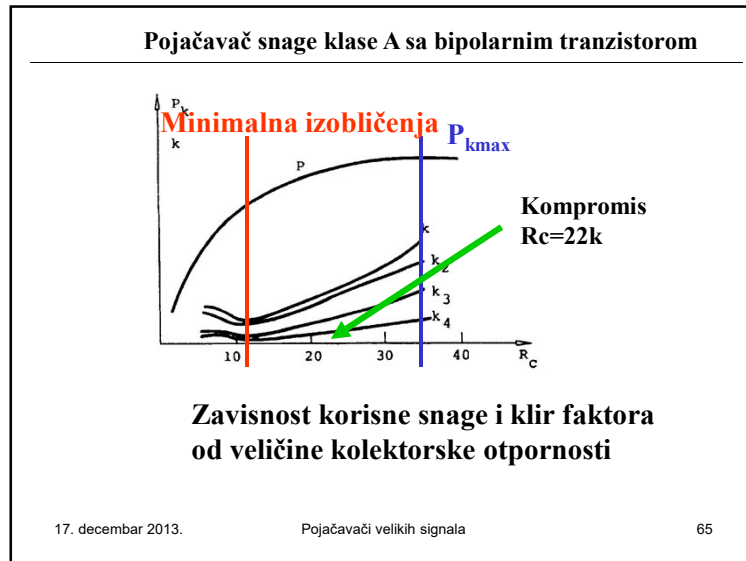
Domaći 11.B: Za one koji žele da nauče više

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)

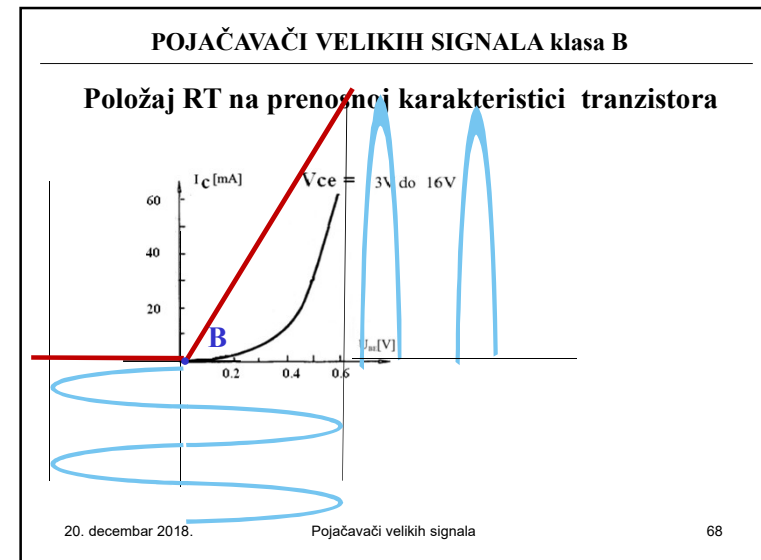
20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 64



- ### 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
20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 66

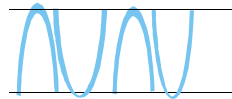
Pojačavači snage u klasi B

20. 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



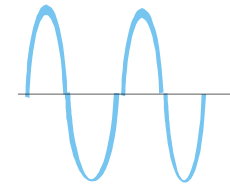
20. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

69

Simetrična sprega u klasi B

- ❖ Primenom simetrične sprege ovaj nedostatak se uklanja.



20. 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.
- ❖ Jedan aktivni element počinje da vodi čim signal postane veći od 0, a drugi čim signal bude manji od 0.

20. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

71

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

20. 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.**

20. 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.

20. 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)**

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 75

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

20. 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 (β puta veća), tako da je snaga na izlazu veća (β puta veća).

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 77

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Prenosna karakteristika

20. 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

$$P_{kl} = (1/2) * [(1/2)(I_{Im} V_{Im})]$$

$$= 1/4 * I_{Im} * [V_o - V_{min}], \text{ maksimalna na } R_p:$$

$$\approx 1/4 * I_{Im} * [V_{CC} - V_{CEsat}]$$
- ❖ Maksimalna korisna snaga koju daju oba aktivna elementa je

$$P_k = 2 * P_{kl} = 1/2 * I_{Im} [V_{CC} - V_{CEsat}]$$

20. 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)

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i_0(t) \cdot dt$$

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

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

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

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 80

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

- ❖ Odakle sledi da se po jednom aktivnom elementu troši

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

- ❖ Ukupna maksimalna snaga koju daju baterije iznosi

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

20. 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 $\eta = 78.5\%$.

20. 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

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

20. 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

20. 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.

20. 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

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 86

- Veća korisna snaga zahteva veću dinamiku 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

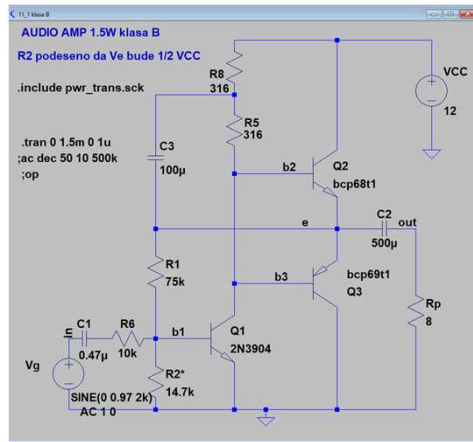
20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 87

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, ali „prećutno“ ga tretiramo kao klasa B.

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 88

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

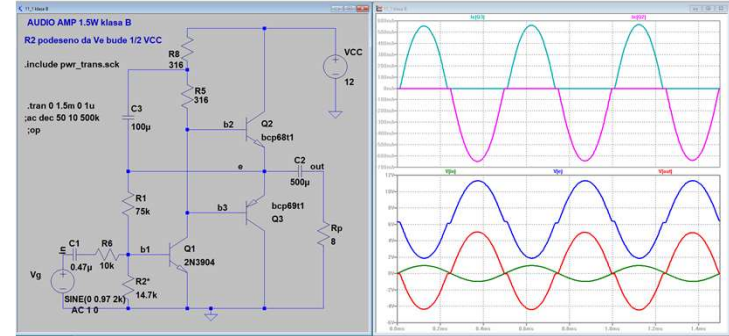


20. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

89

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B



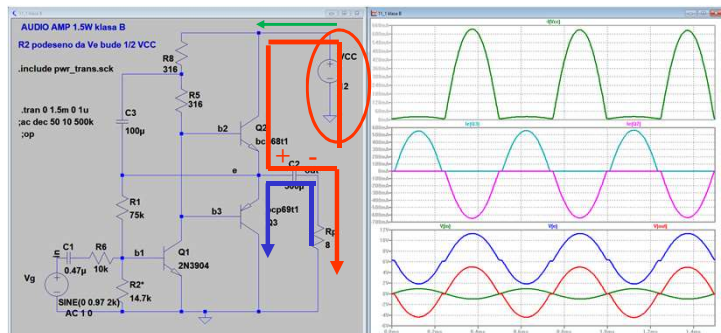
20. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

90

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Pažnja!
Napajanje je iz jednog izvora!!! Kako radi?



20. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

91

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

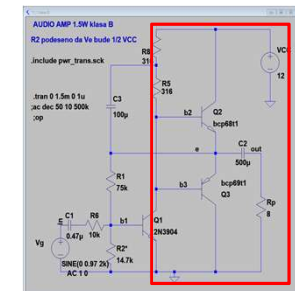
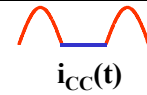
Snaga
Baterije $P_0 = V_{CC} I_0$

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

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

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

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



20. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

92

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Korisna snaga na potrošaču

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

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

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 93

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Stepen iskorišćenja u idealnom slučaju

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

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

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

$\eta < 78,5\%$

20. 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.

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 95

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Kako mogu da se smanje nelinearna izobličenja?

20. 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

20. 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 8Ω , 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:

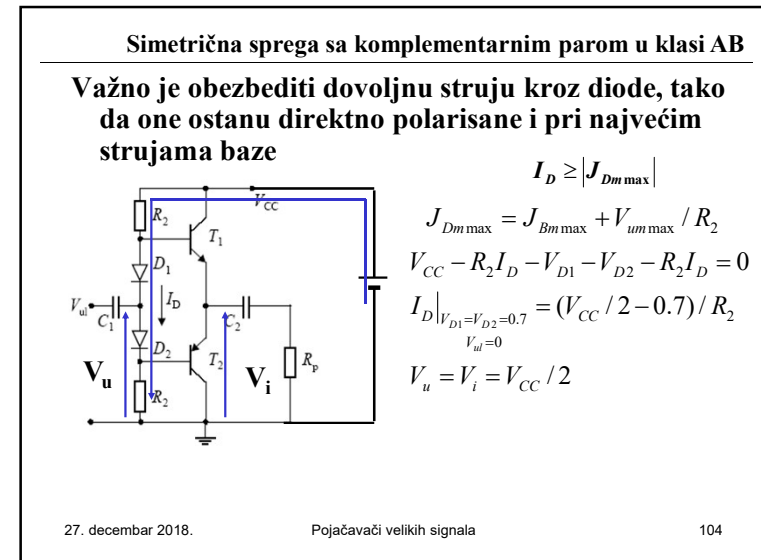
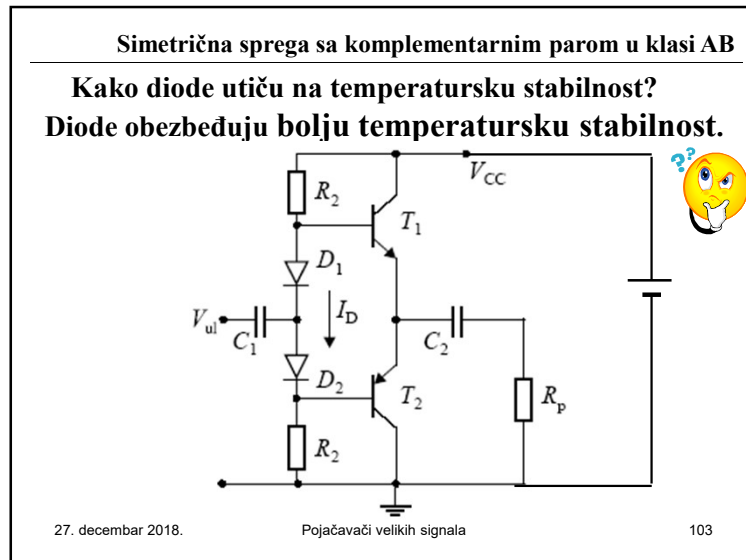
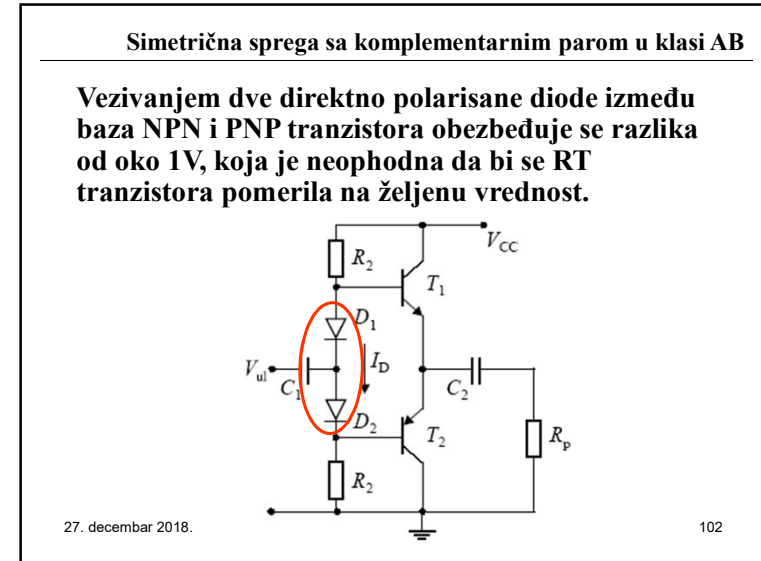
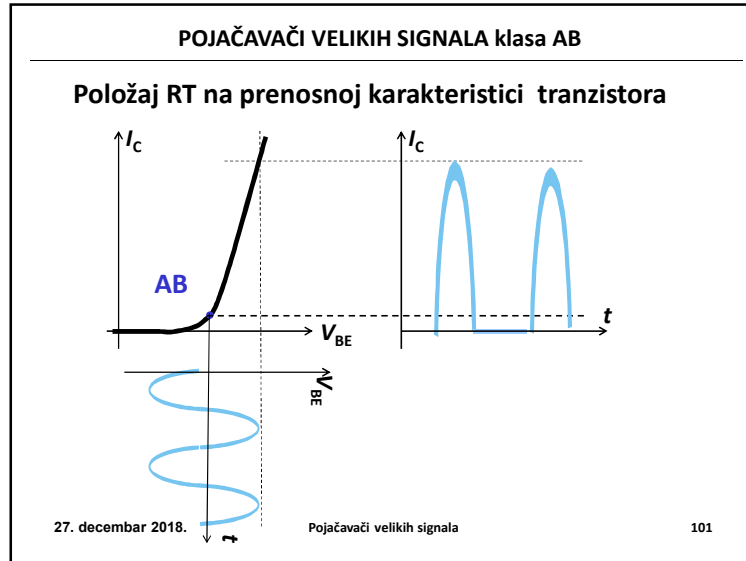
- Snagu na potrošaču
- Snagu svakog izvora
- Stepen iskorišćenja
- Maksimalnu ulaznu struju
- Snagu disipacije svakog tranzistora.

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

20. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 99

Pojačavači snage u klasi AB 20.12.2018

27. 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

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

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

27. 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

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

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

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

27. 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 $A = \frac{V_i}{V_{ul}} \approx 1$

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 107

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA klasa AB

Simetrična sprega

27. 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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 109

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB

27. 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.

27. 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.

27. 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.

27. 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.

27. decembar 2018. 114

Pojačavači snage u klasi AB

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

b)

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

27. 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.

b)

27. decembar 2018. 116

Pojačavači snage u klasi AB

AUDIO AMP 1.5W Klasa AB
3dB 30Hz-500KHz.
R2 podeseño da V_e bude 1/2 VCC

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

C1 0.47µ 10k
R8 14.7k
SINE(0 1V 2k)
AC 1 0

R1 75k
R2* 14.7k
R3 75k
R4 316
R5 316
R6 316
R7 316
C2 500µ
C3 100µ
D1 1N4148
D2 1N4148
Q1 2N3904
Q2 bcp68t1
Q3 bcp68t1
Rp 8

Vg
VCC 12

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 117

Pojačavači snage u klasi AB

AUDIO AMP 1.5W Klasa AB
3dB 30Hz-500KHz.
R2 podeseño da V_e bude 1/2 VCC

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

C1 0.47µ 10k
R8 14.7k
SINE(0 1V 2k)
AC 1 0

R1 75k
R2* 14.7k
R3 75k
R4 316
R5 316
R6 316
R7 316
C2 500µ
C3 100µ
D1 1N4148
D2 1N4148
Q1 2N3904
Q2 bcp68t1
Q3 bcp68t1
Rp 8

Vg
VCC 12

27. 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 $I_s = 0.1pA$ 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.

[$I = 4mA$, $I_c = 9mA$, $P_d = 270mW$, $V_{BB} = 1.32V$]

27. 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.

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 120

Pojačavači snage

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

$I_{C1}R_{E1} < V_{\gamma 3}$
 $I_{C2}R_{E2} < V_{\gamma 4}$

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 121

Pojačavači snage

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

$I_C R_{E2} > V_{\gamma 3}$

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 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.

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 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 .

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 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.

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 125

Komponente pojačavača snage

Slika 16. Integrirani pojačavač snage LM380

Slika 17. Tranzistor snage 2N3055

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 126

Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 127

Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici

LM380.

27. 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.

27. 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.

27. decembar 2018. 130

Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici

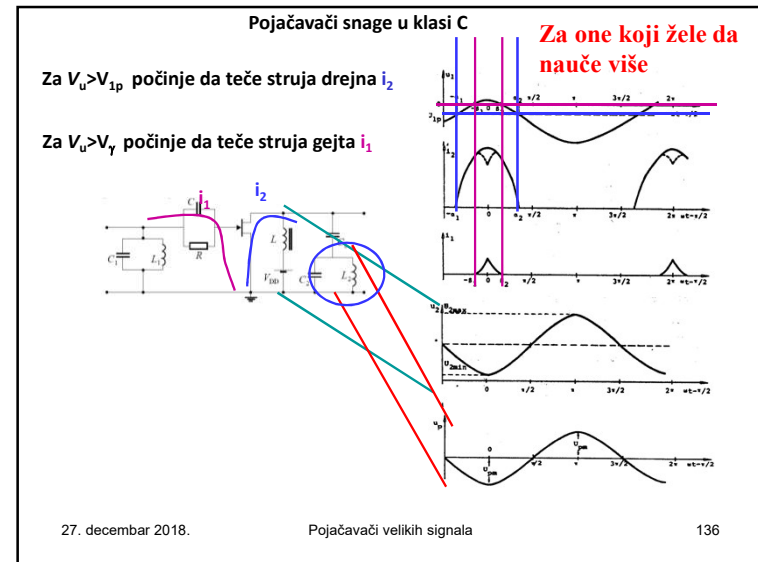
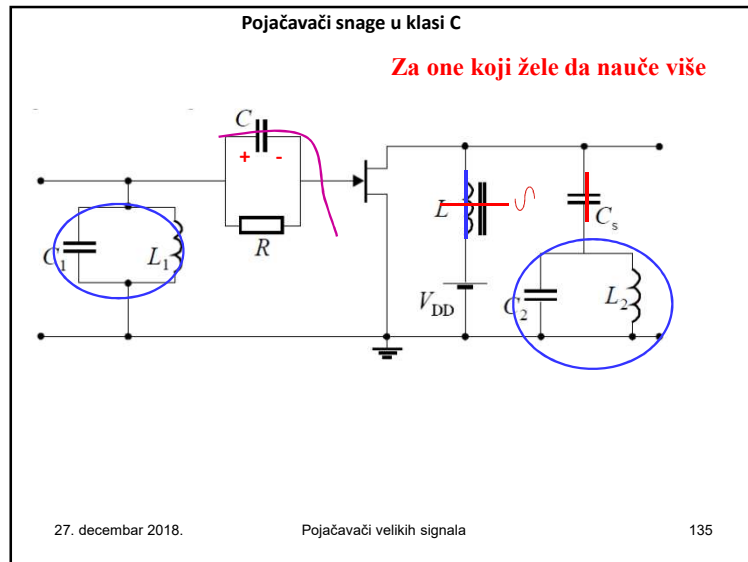
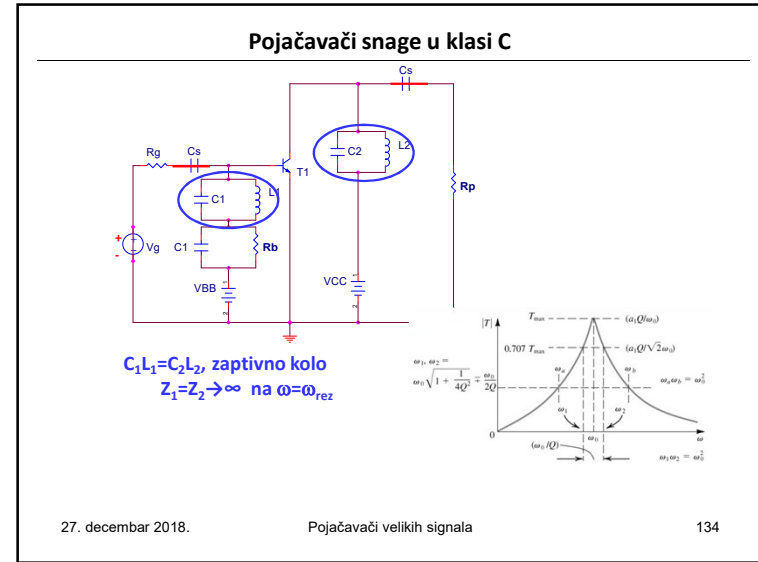
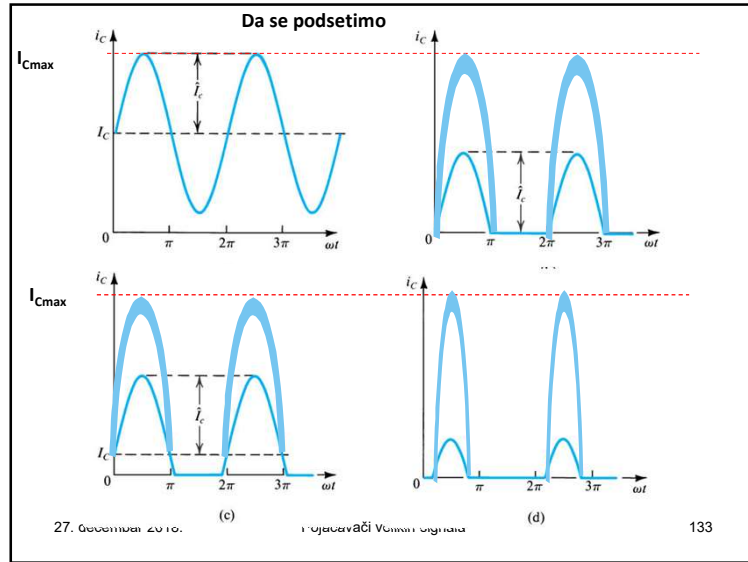
Drugi stepen, stepen sa zajedničkim emitorom T₁₂. Opterećen strujnim izvorom.

Izlazni stepen je kvazikomplementarni par koji se sastoji od tranzistora T₇, T₈ i T₉.

27. decembar 2018. Pojačavač

Pojačavači snage u klasi C

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 132



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

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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 137

Pojačavači snage u klasi C

Za one koji žele da nauče više

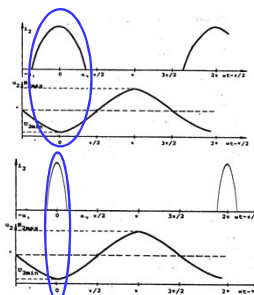
Stepen iskorišćenja

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

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 α , srednja snaga na tranzistoru

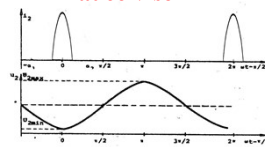
$$P_d = \frac{1}{2\pi} \int_{-a_1}^{a_2} i_2 V_{2min} d(\omega t) = \frac{V_{2min}}{2\pi} \int_{-a_1}^{a_2} i_2 d(\omega t)$$


27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 138

Pojačavači snage u klasi C

Za one koji žele da nauče više

Stepen iskorišćenja



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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 139


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?



27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 140

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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 141

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.

27. decembar 2018. 142

Pojačavači snage u klasi D, E, F

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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 143

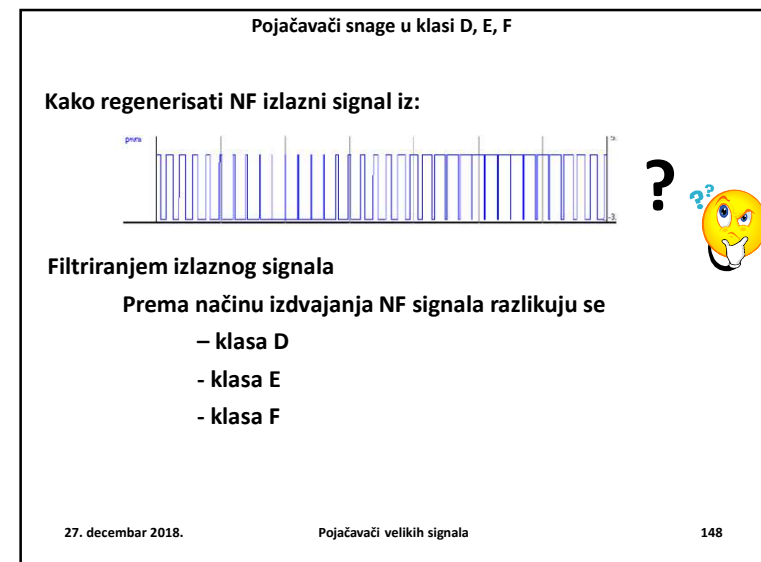
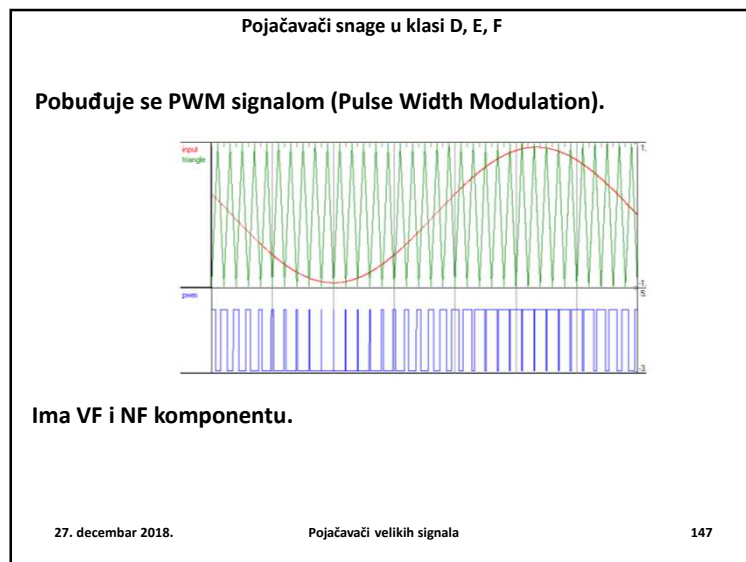
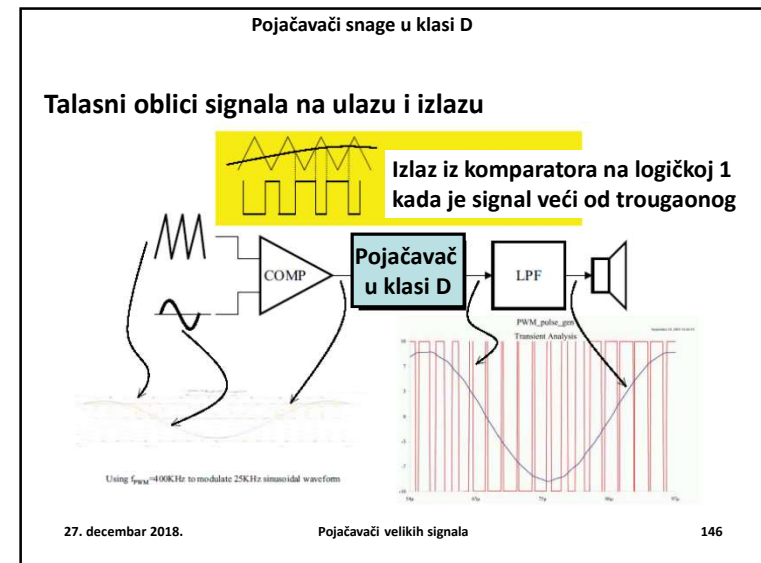
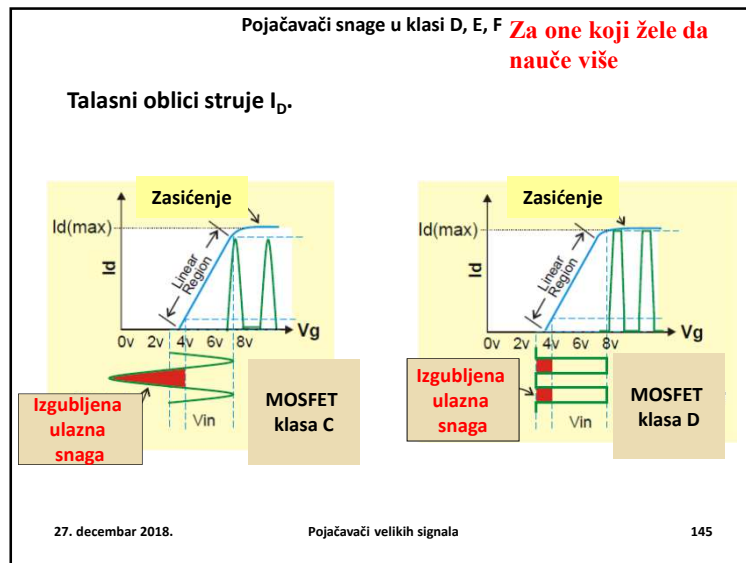
Pojačavači snage u klasi D, E, F

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.

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 144



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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 149

Pojačavači snage u klasi D

Filtriranje izlaznog signala – klasa D

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 150

Pojačavači snage u klasi D

Za one koji žele da nauče više

Alternativna simetrična konfiguracija – potpuni most

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 151

Pojačavači snage u klasi D

Pojačavač snage klase D 400W.

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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 152

Pojačavači snage u klasi D

Pojačavač snage klase E

Aktivni element radi kao prekidač.

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

27. decembar 2018.
Pojačavači velikih signala
153

Pojačavači snage u klasi E

Pojačavač snage klase E

27. decembar 2018.
Pojačavači velikih signala
154

Pojačavači snage u klasi E

Pojačavač snage klase E

27. decembar 2018.
Pojačavači velikih signala
155

Pojačavači snage u klasi F

Za one koji žele da nauče više

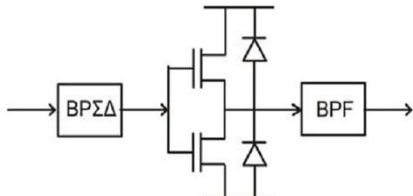
Pojačavač snage klase F

27. decembar 2018.
Pojačavači velikih signala
156

Prekidački pojačavači snage

Ostali prekidački pojačavači snage:
U osnovi su pojačavači klase D
 - Klasa S, namenjeni za VF.
 - Umesto NF, koristi filter propusnik opsega (Band Pass – BPF)
 - 500MHz za W-CDMA

Za one koji žele da nauče više



http://eprints.nuim.ie/1409/1/RIA_Dooley_2008.pdf



27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 157

Prekidački pojačavači snage

U osnovi su pojačavači klase D

Za one koji žele da nauče više

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


www.crownaudio.com

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 158

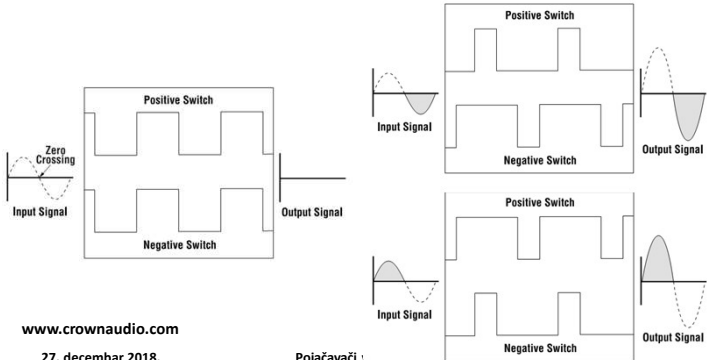
Prekidački pojačavači snage

Za one koji žele da nauče više

U osnovi su pojačavači klase D



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



www.crownaudio.com


27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala

Prekidački pojačavači snage

Za one koji žele da nauče više

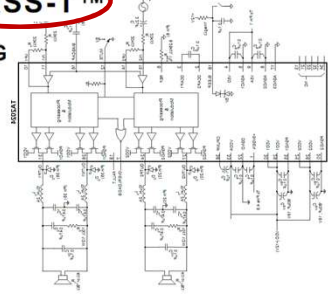
U osnovi su pojačavači klase D

- 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>

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 160

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)

27. decembar 2018. Pojači

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>

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala

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>

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala


Rekapitulacija

Poređenje pojačavača snage prema efikasnosti

Klasa pojačavača

Ugao provođenja (0)


27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala



II kolokvijum

21.01.2019.


27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 165



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).


27. 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).

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 167



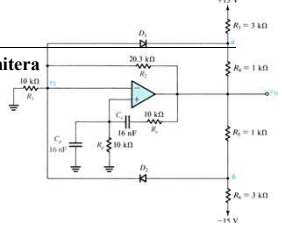
Ispitna pitanja

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).

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 168

Rešenje 10.1:

- a) Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera
 b) Naći frekvenciju oscilovanja
 c) Odrediti amplitudu oscilovanja ako je $V_D=0.7V$.



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

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

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

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

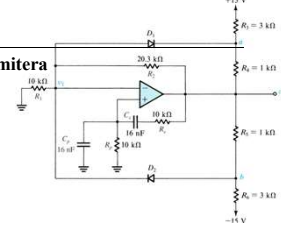
$3 + sCR + 1/(sCR) = \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)$, zamenom brojnih vrednosti dobija se

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

27. decembar 2018. Povratna sprega

Rešenje 10.1:

- a) Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera
 b) Naći frekvenciju oscilovanja
 c) Odrediti amplitudu oscilovanja ako je $V_D=0.7V$.



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

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

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

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

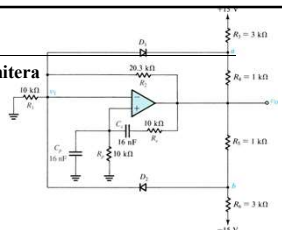
$$\text{Im}\{A(j\omega)B(j\omega)\} = \frac{-j(\omega CR - 1/(\omega CR)) \left(1 + \frac{R_2}{R_1}\right)}{3^2 + (\omega CR - 1/(\omega CR))^2} = 0, \Rightarrow \omega CR - 1/(\omega CR) = 0;$$

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

27. decembar 2018. Povratna sprega

Rešenje 10.1:

- a) Odrediti polove funkcije 1-AB zanemarujući kolo limitera
 b) Naći frekvenciju oscilovanja
 c) Odrediti amplitudu oscilovanja ako je $V_D=0.7V$.



c)

D2 provede 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:

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

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

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

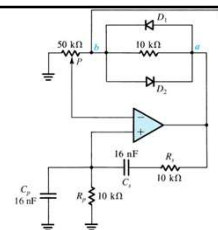
tako da je:

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

27. decembar 2018. Povratna sprega

Rešenje 10.2:

- a) Odrediti položaj potencijetra pri kome se uspostavljaju oscilacije
 b) Naći frekvenciju oscilovanja



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

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

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

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

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

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

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

Potencijetar : $R_X = 30k\Omega$ i $50k\Omega - R_X = 20k\Omega$

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

27. 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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 173

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

Izabrati
 $V_{CEM} \leq V_{CC}$
 $V_{CE} = V_{CC} - R_E I_C$
 $V_{CE} = V_{CC} - R_E I_C$

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 174

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} $I_{CM} = I_{CM}' - \Delta I_{CM}$

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 175

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}

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 176

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}

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 177

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}

$$V_{CEmin} = R_{ion} I_{Cmax}$$

$$V_{CEmax} = V_{CEM} + R_C (I_{CM} - I_{Cmin})$$

Proveriti da li je $V_{CEmax} >$ BV_{CE0}

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 178

Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega u klasi A

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 179

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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 180

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

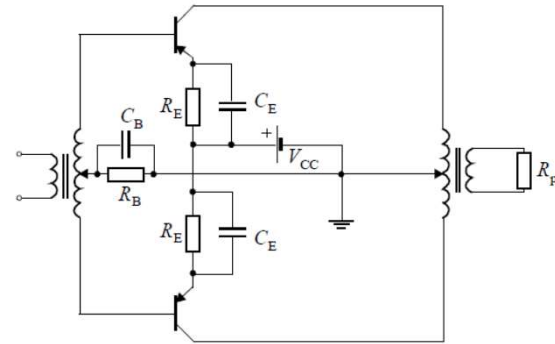
27. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

181

Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega u klasi A



Simetrična sprega u klasi A sa bipolarnim tranzistorima

27. decembar 2018.

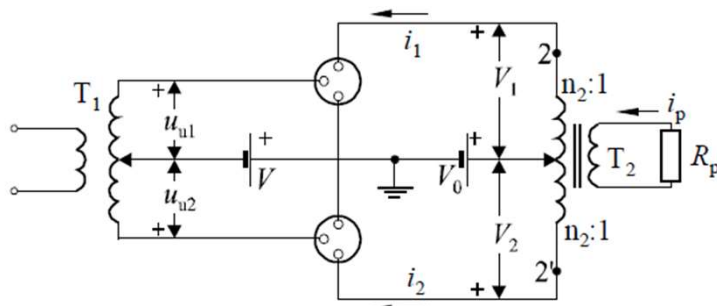
Pojačavači velikih signala

182

Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega u klasi A

Analiza upotrebom simetričnog pojačavača sa uopštenim aktivnim elementom



27. decembar 2018.

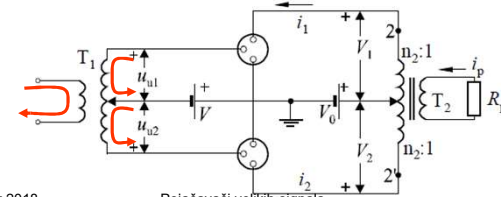
Pojačavači velikih signala

183

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



27. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

184

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

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

$R'_{22} = (2n_2)^2 R_p = 4n_2^2 R_p$

$R_C = \frac{R'_{22}}{2} = 2n_2^2 R_p$

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 185

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

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

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

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

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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 186

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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 187

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*.

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 188

Za one koji žele da nauče više

Obrtači faze

27. decembar 2018.

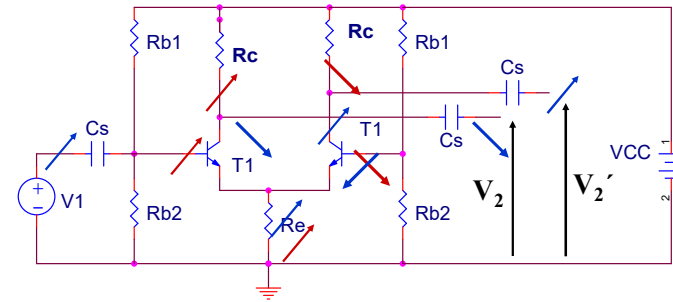
Pojačavači velikih signala

189

Za one koji žele da nauče više

Obrtači faze

Diferencijalni pojačavač sa nesimetričnim ulazom.



Napon →

Struja →

27. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

190

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

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

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

27. decembar 2018.

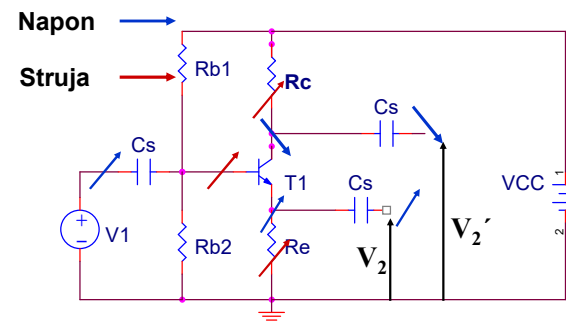
Pojačavači velikih signala

191

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!!!

27. decembar 2018.

Pojačavači velikih signala

192

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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 193

Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega sa komplementarnim parom

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 194

Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega sa komplementarnim parom ?

Komplementarni tranzistori ?

PNP i NPN

identične karakteristike

Nema izlaznog trafoa!

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 195

Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega sa komplementarnim parom

Komplementarni tranzistori

DC signal

Baze razdvojene za DC

DC struja kroz potrošač $I_P=0$

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 196

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

Komplementarni tranzistori

DC struja kroz potrošač $I_p=0$

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 197

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

Komplementarni tranzistori

AC signal

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 198

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

Komplementarni tranzistori identičnih karakteristika

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

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 199

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

Gde vezati masu potrošača?

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 200

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

Masa u čvoru 1
Pojačavači sa zajedničkim emitorom

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 201

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)

27. 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

Moguća neutralizacija negativne povratne sprege

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 203

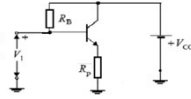
Za one koji žele da nauče više Simetrična sprega sa komplementarnim parom

Masa u čvoru 2

😊
Konfiguracija sa zajedničkim kolektorom

27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 204

Za one koji žele da nauče više Simetrična sprega sa komplementarnim

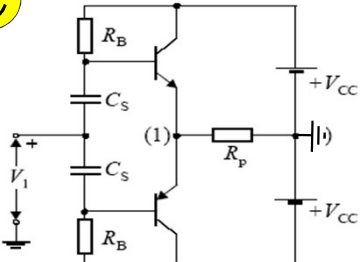


Masa u čvoru 2
Konfiguracija sa zajedničkim kolektorom

☹️ • Potreban je veći ulazni signal jer je pojačanje manje

☺️ • Izlazna otpornost je manja

Ulazni signal može biti veliki (prepojačavač)



27. decembar 2018. Pojačavači velikih signala 205