

Osnovi elektronike

Predispitne obaveze:

U JANUARU OSTALO

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



120% 60%

Ko nije izašao na I kolokvijum ima 70% (još nije kasno) i

ako ne ide na predavanja ima 60% (još nije kasno)

ako na drugom kolokvijumu ima < 80% imaće 50% (skoro da je kasno)

15. decembar 2016.

Uvod

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

1

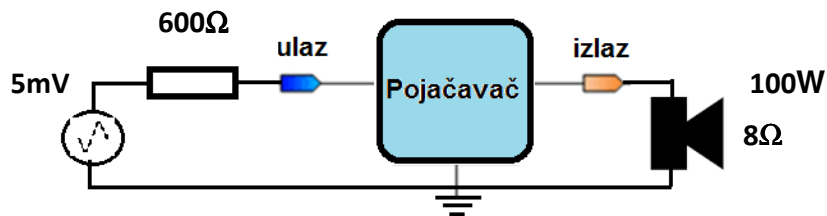
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

15. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

2

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

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

3

1. Uvod Sadržaj

- 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

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

15. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

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
 - Pojačavači snage klase D, E, F
 - Pojačavači snage klase S, I, T
 - Pojačavači snage klase G, H

1. Uvod

- Namena
- Oblast sigurnog rada tranzistora
- Bilans snage (stepen iskorišćenja)
- Klir faktor
- Klasifikacija pojačavača prema položaju radne tačke

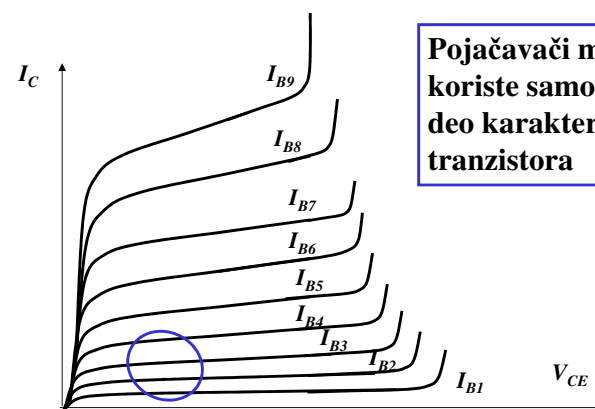


Namena

- Koriste se kao izlazni stepen, na kraju pojačavačkog lanca:
 - 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.
 - Koristi se cela radna oblast tranzistora – i nelinearni deo.
 - 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.

Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

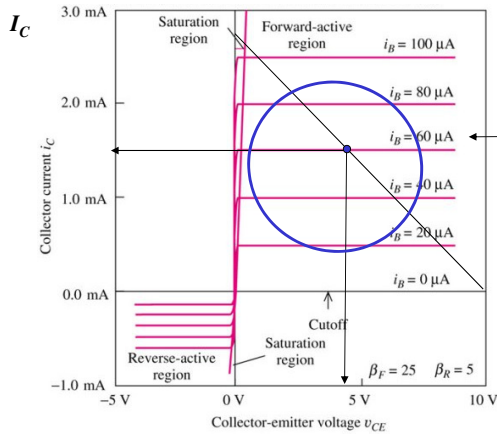
Izlazne karakteristike bipolarnog tranzistora koji radi u konfiguraciji sa zajedničkim emiterom



Pojačavači malih signala koriste samo najlinearniji deo karakteristika tranzistora

Da se podsetimo **POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

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

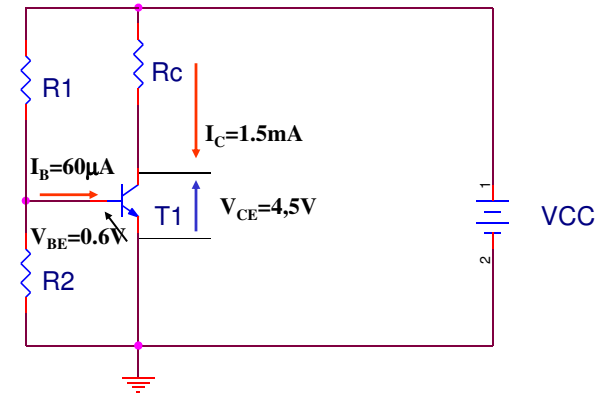


Npr. u RT sa
 $I_B = 60 \mu A$
 Biće
 $I_C = 1.5$ mA i
 $V_{ce} = 4.5$ V

Da se podsetimo **POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

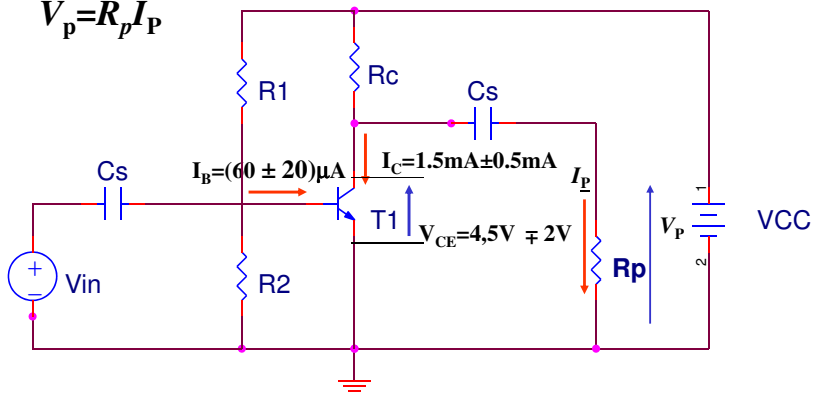


jednosmerna polarizacija tranzistora



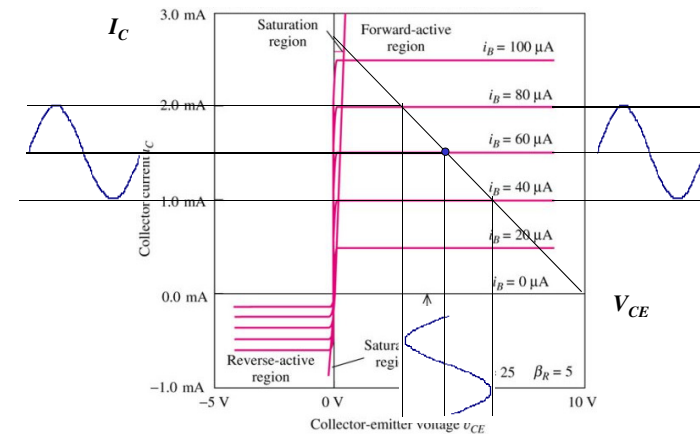
Da se podsetimo **POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

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



Da se podsetimo **POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA**

jednosmerna polarizacija tranzistora + AC signal



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.



Šta se ulaže?

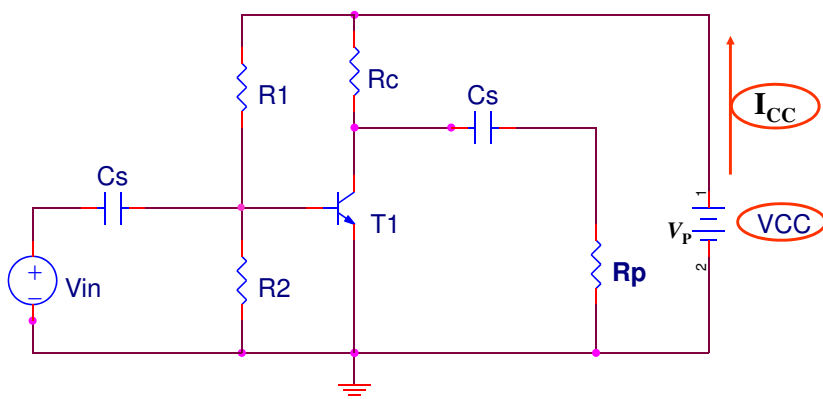
Da bi pojačavač radio, potrebno je da se napaja iz izvora V_{CC} .

Pojačavač “crpi” snagu iz izvora napajanja.

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

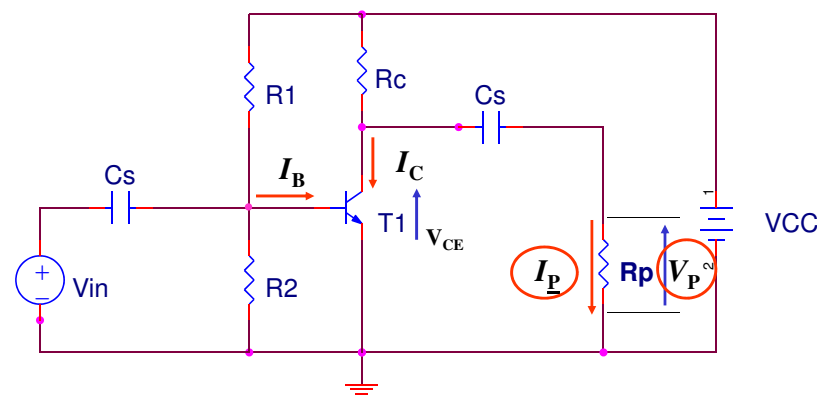
$$P_{CC} = V_{CC} * I_{CC}$$

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



Korisna snaga je ona koja se ostvari na potrošaču

ona iznosi $P_k = P_P = V_P * I_P$



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

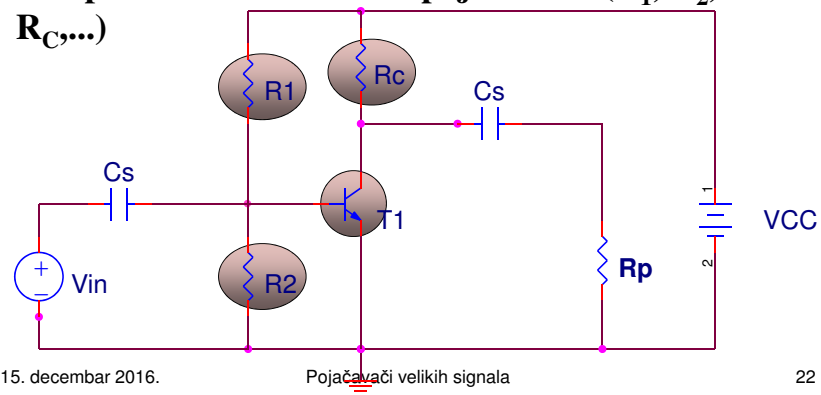
$$P_{CC} = V_{CC} I_C$$

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

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)

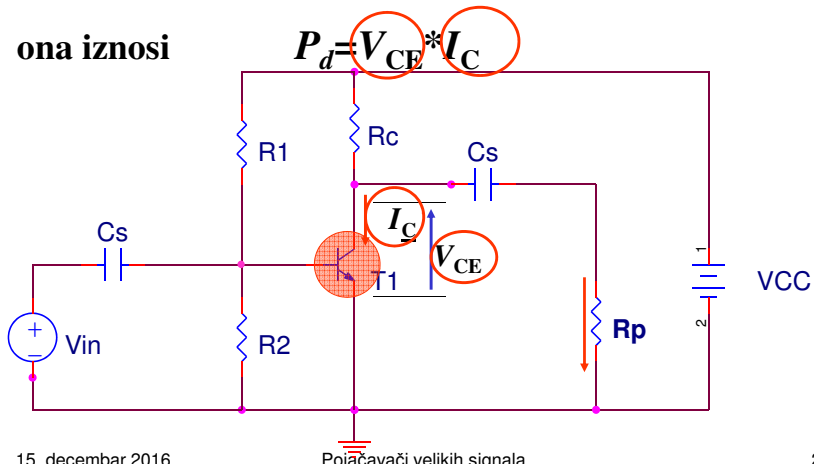


Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

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

ona iznosi

$$P_d = V_{CE} * I_C$$



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 **odsutstvu korisnog signala**

$$P_d = V_{CE} I_C \quad (\text{za bipolarni tranzistor})$$

$$P_d = V_{DS} I_D \quad (\text{za FET/MOSFET})$$

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

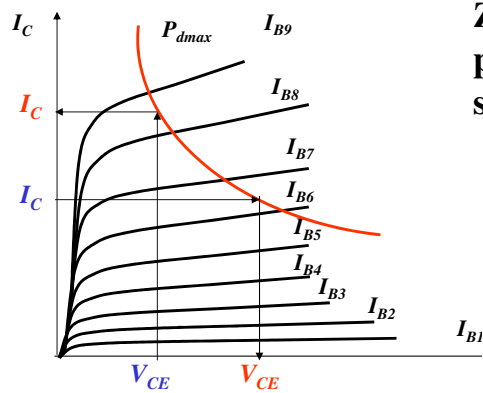
$$P_{dmax}$$

inače će tranzistor da pregori.

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Zato je radna oblast tranzistora ograničena hiperbolom disipacije definisanom sa

$$P_{dmax} = I_C \cdot V_{CE}$$



Za svako dato V_{CE} postoji maksimalna struja

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

i za svaku datu I_C postoji maksimalni napon

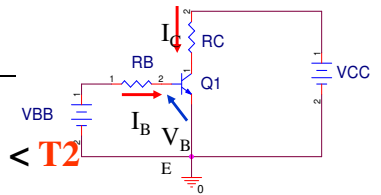
$$V_{CE} = P_{dmax} / I_C$$

15. decembar 2016.

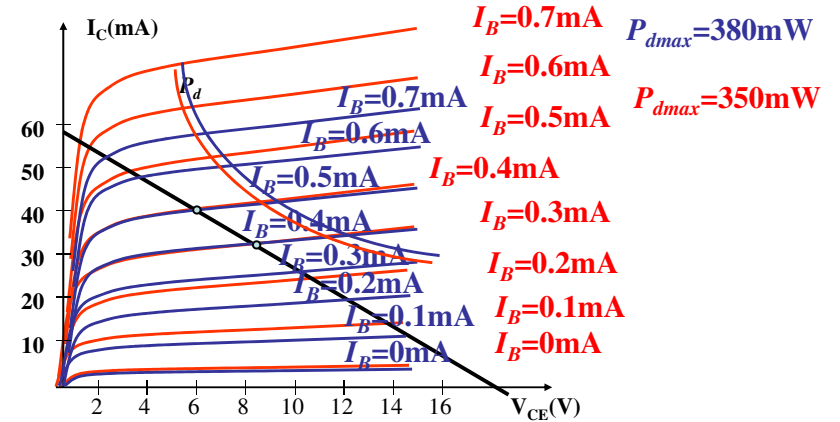
Pojačavači velikih signala

25

Uticaj temperature na P_d .



• promena radne temperature $T_1 < T_2$

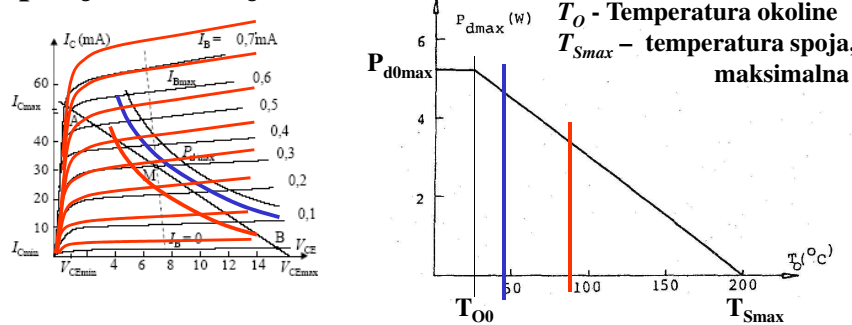


15. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Disipacija u funkciji TEMPERATURE



$$\text{Za } T_o > T_{O0} \quad T_{Smax} - T_o = R_{th} \cdot P_{dmax}$$

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

$$\text{Za } T_o > T_{O0} \quad P_{dmax} = \frac{T_{Smax} - T_o}{R_{th}}$$

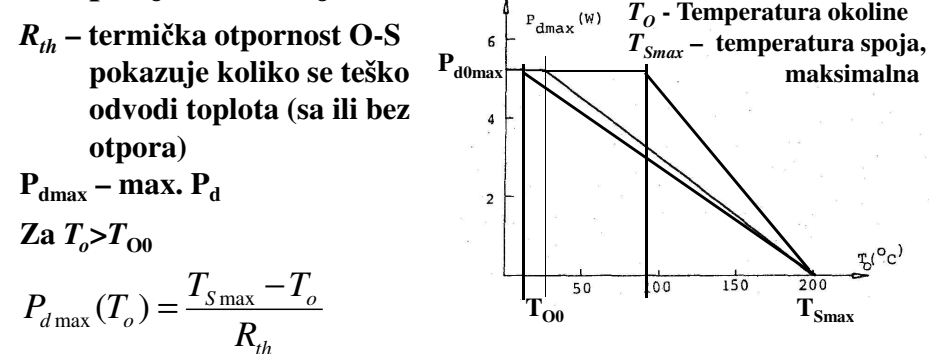
15. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

27

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 veću ili manju R_{th} ? Da li je bolje imati veće ili manje P_d ?

Kako se postiže?



15. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

28

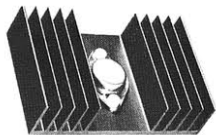
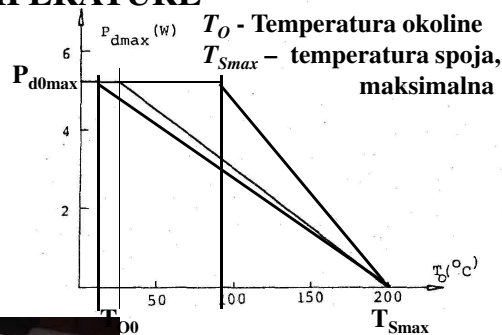
Disipacija u funkciji TEMPERATURE

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



Kako se postiže?

Da li je bolje imati veće ili manje P_d ?



Domaći 10.1:

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 $T_O = 50^\circ C$.

[]

Idealni pojačavač snage bio bi onaj koji ima

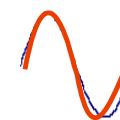
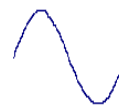
- stepen iskorišćenja $\eta = 100\%$ ($P_K = P_{CC}$)
znači: snaga izvora za napajanje bez gubitaka dođe do potrošača
- neizobličen signal na potrošaču

Takvi pojačavači NE POSTOJE

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?



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

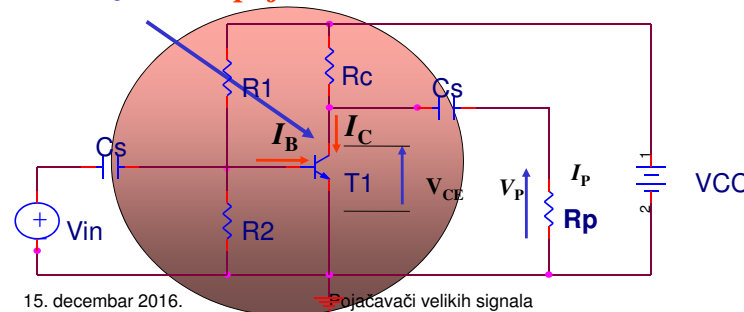
$$k = \sum_{i=2}^N X_{im} / X_{1m}$$

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

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

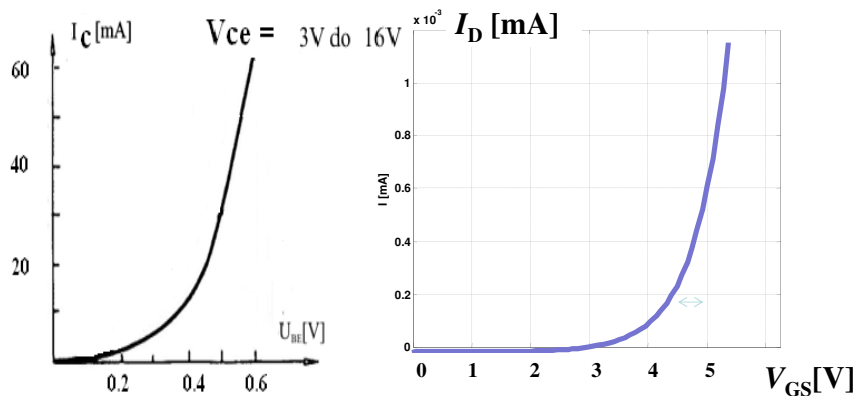
Stepen izobličenja i snaga potrošena na tranzistoru zavise od položaja radne tačke.

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



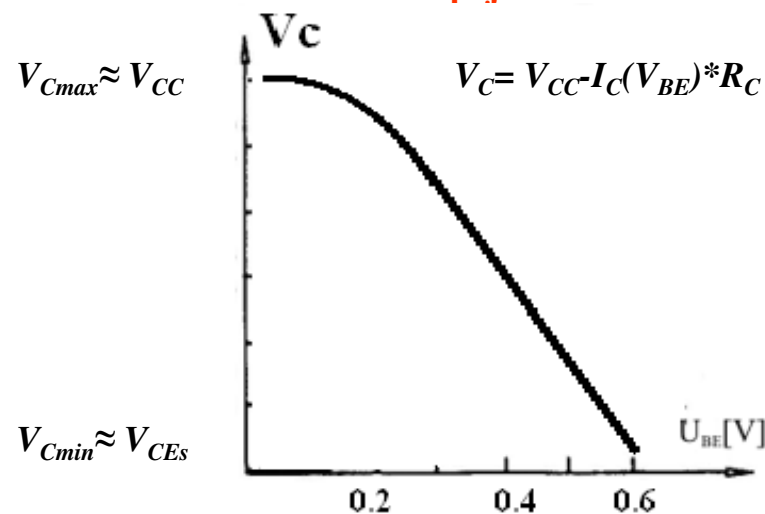
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Prenosna karakteristika *tranzistora*



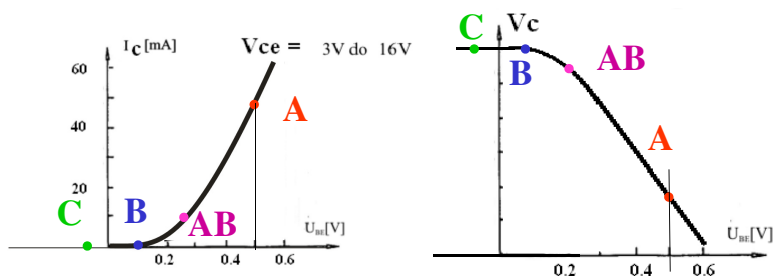
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Prenosna karakteristika *pojačavača*



POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Položaj RT na prenosnoj karakteristici tranzistora i pojačavača



15.12.2016.

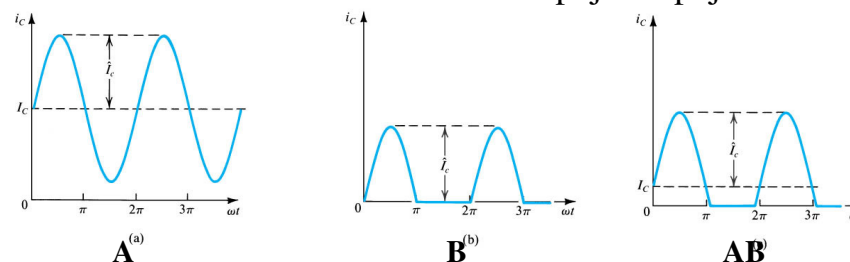
15. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

37

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Klasa A, B i AB za širokopolasne pojačavače

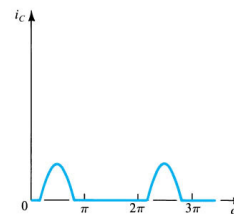


A^(a)

B^(b)

AB^(c)

Klasa C za uskopolasne, selektivne, pojačavače



22

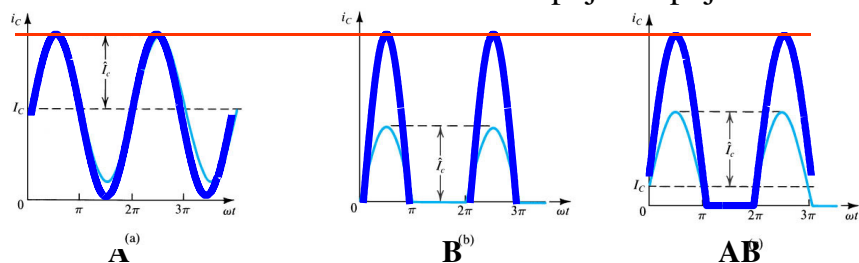
(d)

Pojačavači velikih signala

38

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Klasa A, B i AB za širokopolasne pojačavače

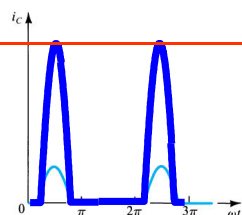


A^(a)

B^(b)

AB^(c)

Klasa C za uskopolasne, selektivne, pojačavače



22

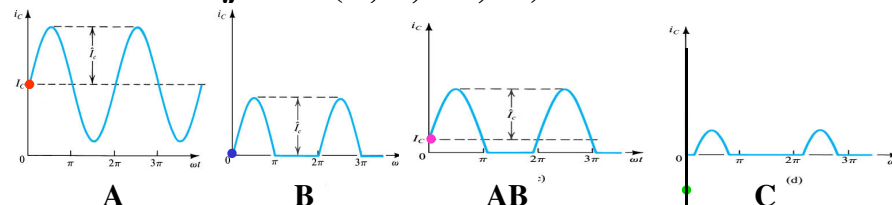
(d)

Pojačavači velikih signala

39

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Klasifikacija pojačavača Prema radnoj tački (A, B, AB, C)

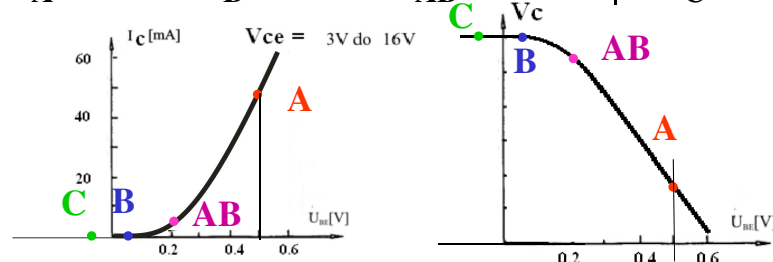


A

B

AB

C



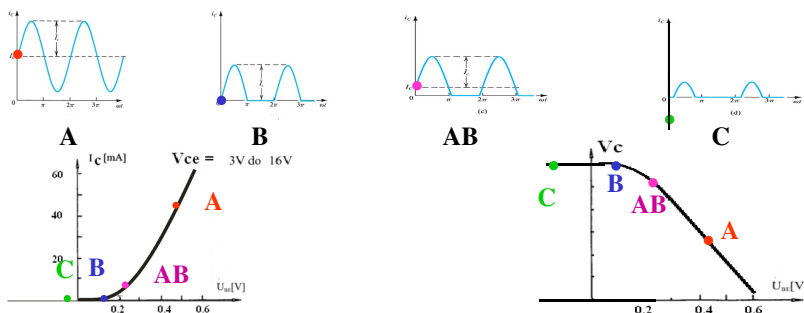
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

40

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Klasifikacija pojačavača prema radnoj tački (A, B, AB, C)



U klasi A BJT uvek u aktivnom režimu (MOS u zasićenju)

U klasi B BJT u aktivnom režimu samo tokom jedne poluperiode

U klasi AB BJT u aktivnom režimu tokom jedne poluperiode i nešto kratko tokom druge

U klasi C BJT u aktivnom režimu tokom kratkog intervala

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

41

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

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

42

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

PROJEKTOVANJE POJAČAVAČA SNAGE

Kako izabrati

- aktivni element,
- elemente kola,
- veličinu ulaznog signala,
- otpornost potrošača

Da bi se dobilo

- željena snaga na izlazu
- minimalna izobličenja,
- dozvoljena disipacija na aktivnom elementu

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

43

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Kompromis:

Izobličenja – korisna snaga (prvog harmonika)

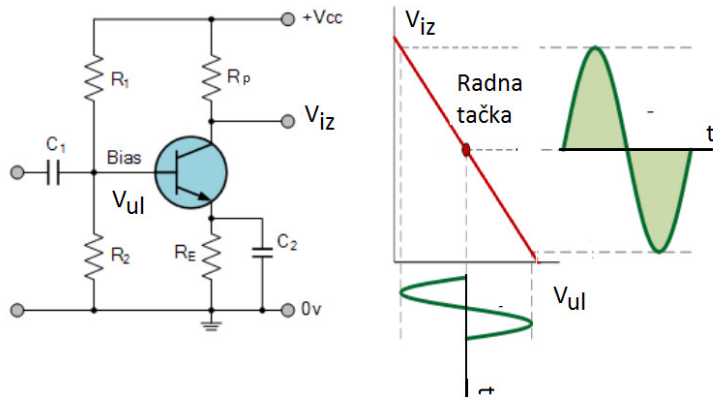
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

44

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Pojačavač snage u klasi A sa bipolarnim tranzistorom

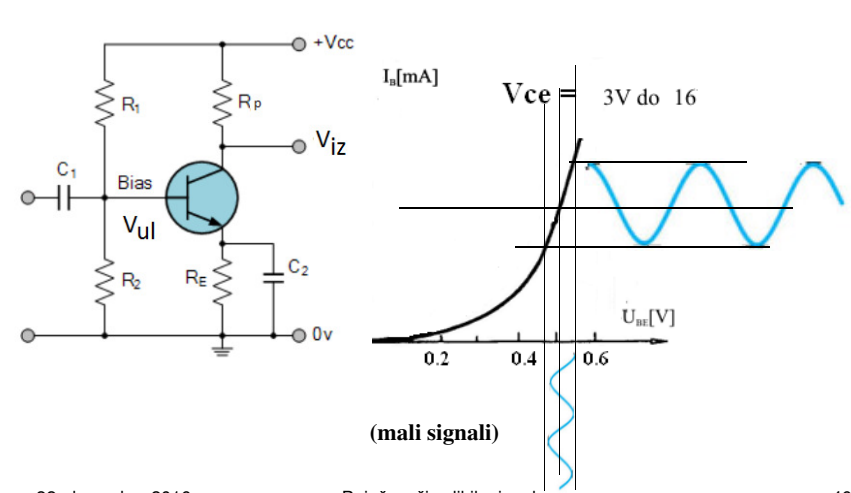


22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

45

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

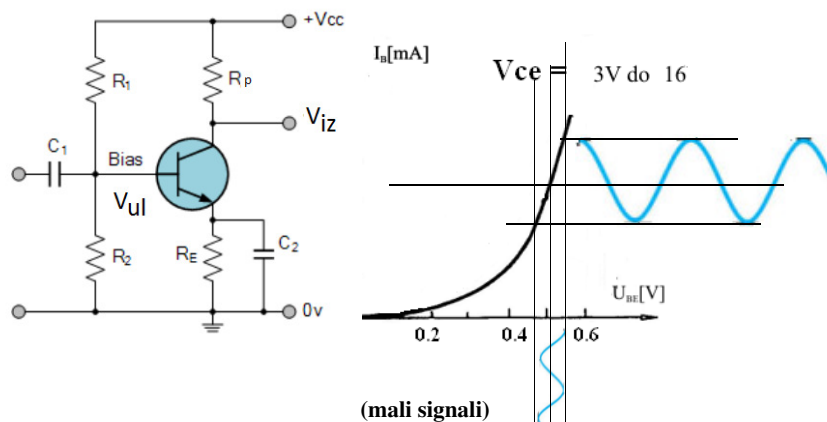


22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

46

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom



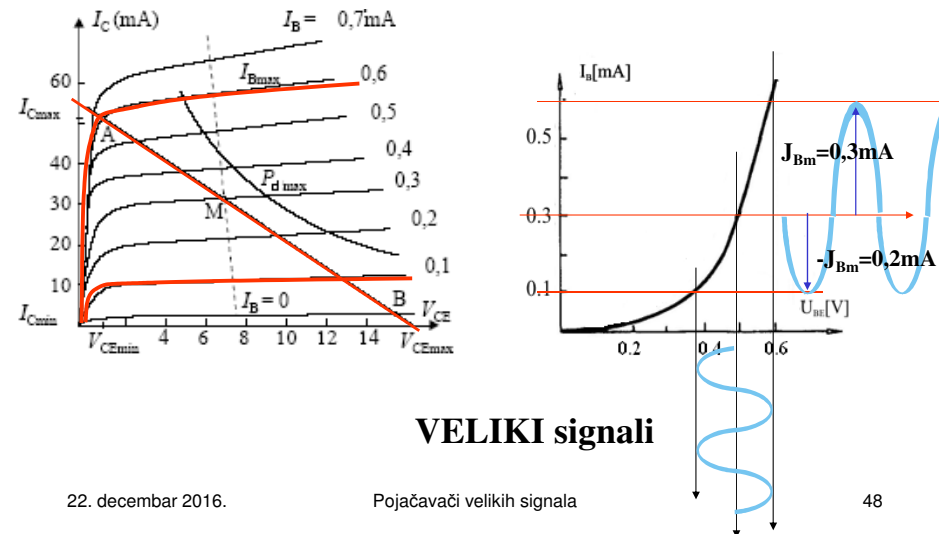
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

47

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Efekat VELIKIH signala Za one koji žele da nauče više



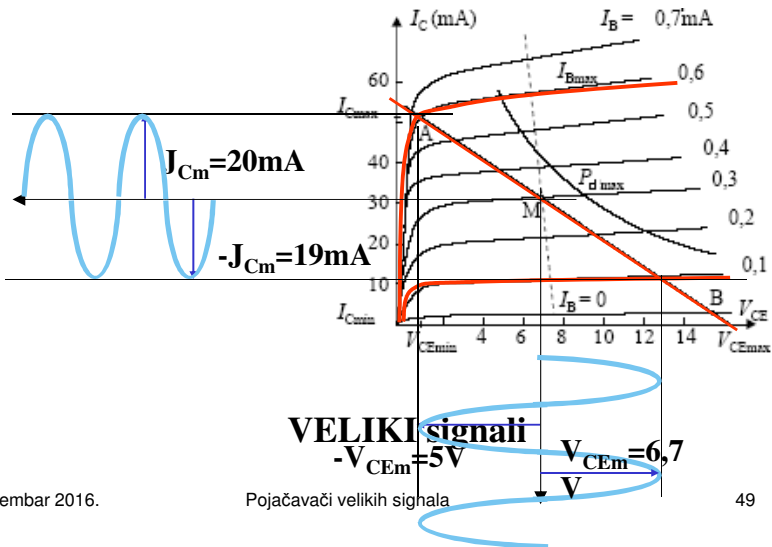
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

48

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

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



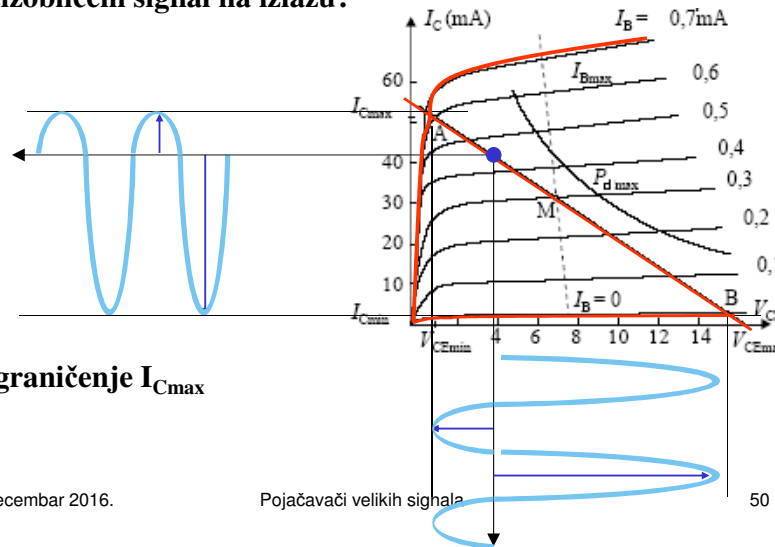
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

49

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Za one koji žele da nauče više
Gde postaviti radnu tačku da bi se dobio maksimalni neizobličeni signal na izlazu?



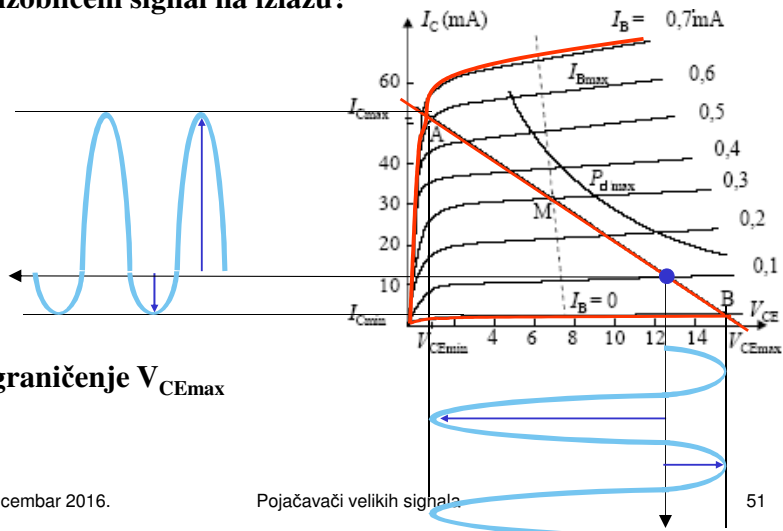
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

50

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Za one koji žele da nauče više
Gde postaviti radnu tačku da bi se dobio maksimalni neizobličeni signal na izlazu?



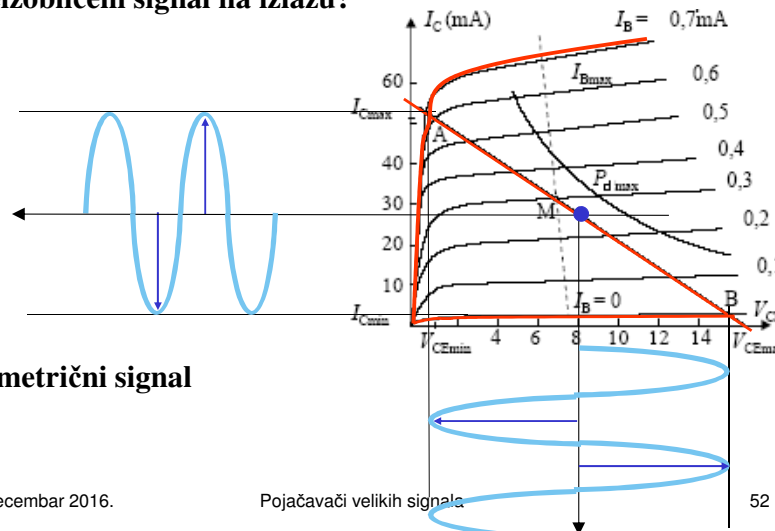
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

51

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Za one koji žele da nauče više
Gde postaviti radnu tačku da bi se dobio maksimalni neizobličeni signal na izlazu?



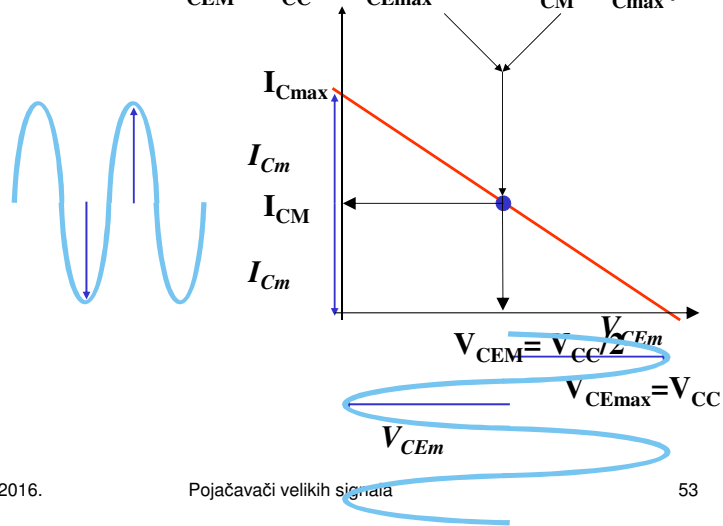
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

52

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 $I_{CM} = I_{Cmax}/2$



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 $I_{CM} = I_{Cmax}/2$

Amplituda napona iznosi

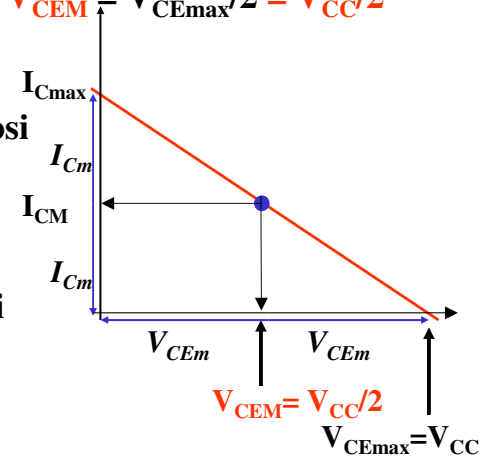
$$V_{CEm} = V_{CC}/2$$

a struje

$$I_{Cm} = I_{CM}$$

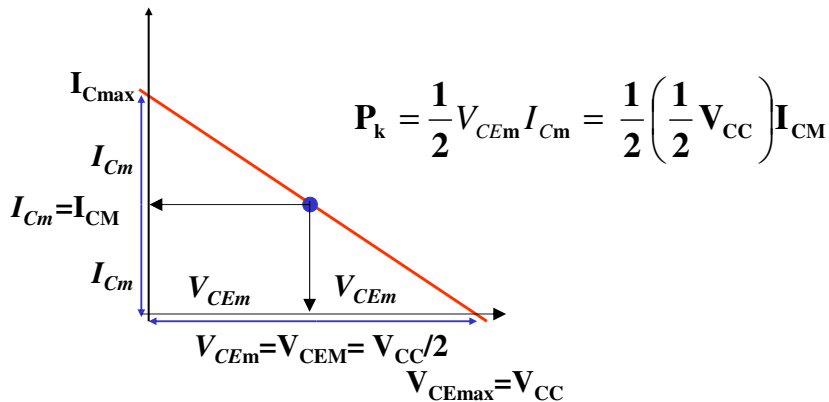
Tada se očekuje najveći stepen iskorišćenja.

Koliko on iznosi?



Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

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

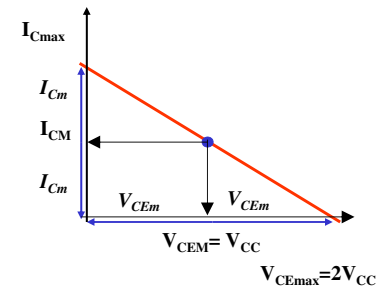


Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

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

Tako da je

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



Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

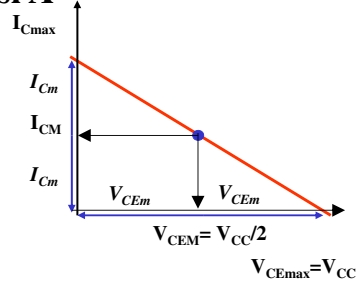
Najveća moguća vrednost stepena iskorišćenja
pojačavača snage koji rade u klasi A

Teoretski

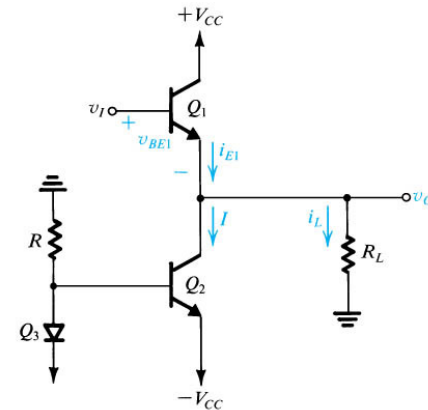
$$\eta_{\max} = 25\%$$

Praktično

$$\eta < 20\%$$



Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom



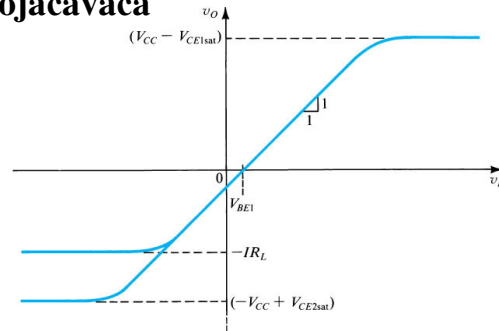
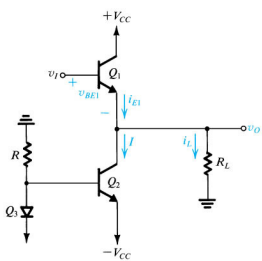
Q_1 ZC, a Q_2 izvor
konstantne struje –
polarizacija.

$$I_{E1} = I + i_L$$

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

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Prenosna karakteristika pojačavača



$$v_o = v_i - v_{BE1}$$

Granice linearne oblasti

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

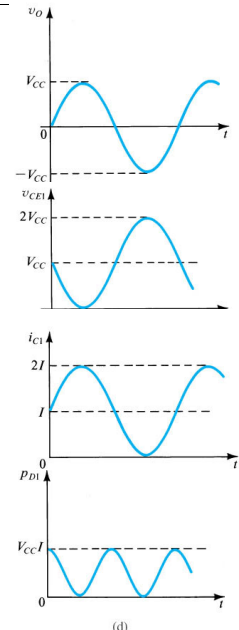
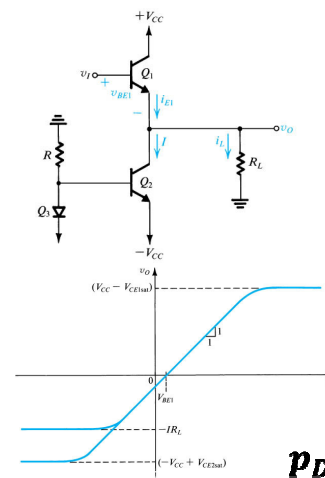
$$v_{omin} = -IR_L, \text{ odnosno } v_{omin} = -V_{CC} + V_{CE2sat} \quad I_{E1} = 0; \quad i_L = I$$

Najmanji izlazni napon obezbeđuje struja

$$I > |-V_{CC} + V_{CE2sat}| / R_L$$

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Talasi oblici napona i snage



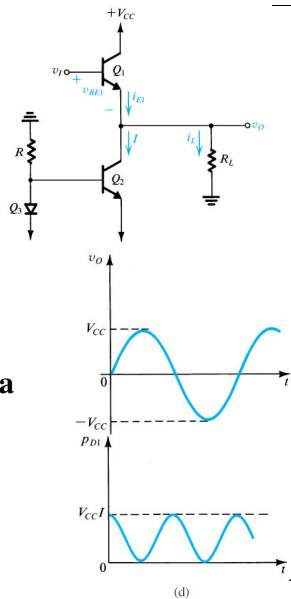
$$p_{D1} \equiv v_{CE1} \cdot i_{C1}$$

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 $V_{CC}I$



22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Efikasnost – stepen korisnog dejstva

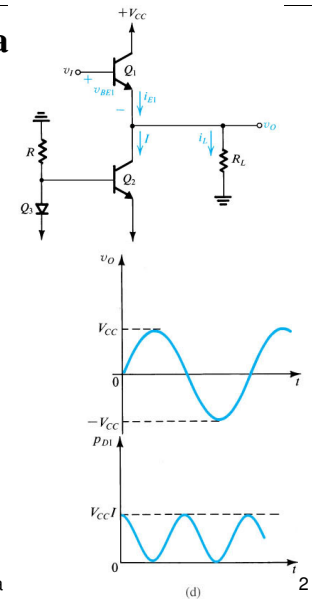
$$\eta \equiv \frac{P_L}{P_{CC}}$$

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

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

Za idealni slučaj
 $V_o=V_{CC}=IR_L$

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



22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

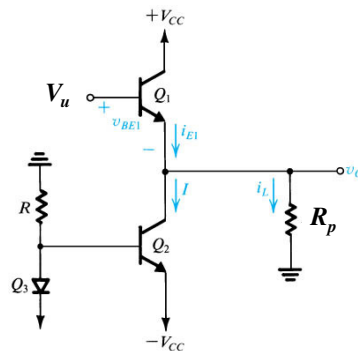
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Domaći 10.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]



22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

63

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Domaći 10.B: Za one koji žele da nauče više

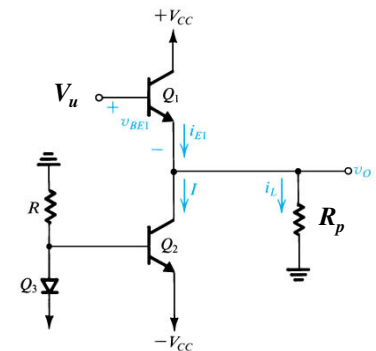
U kolu sa slike poznato je $V_{CC}=10V$, $I=100mA$ i $R_p=100\Omega$, usvojiti
 $V_{CEsat}=0V$ i $\alpha=1$. Odrediti:

- 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%]

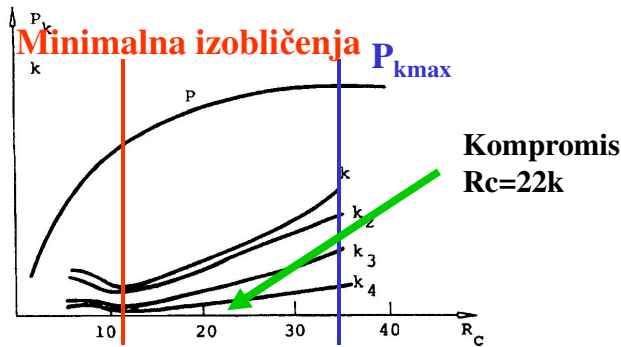


22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

64

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom



Zavisnost korisne snage i klir faktora od veličine kolektorske otpornosti

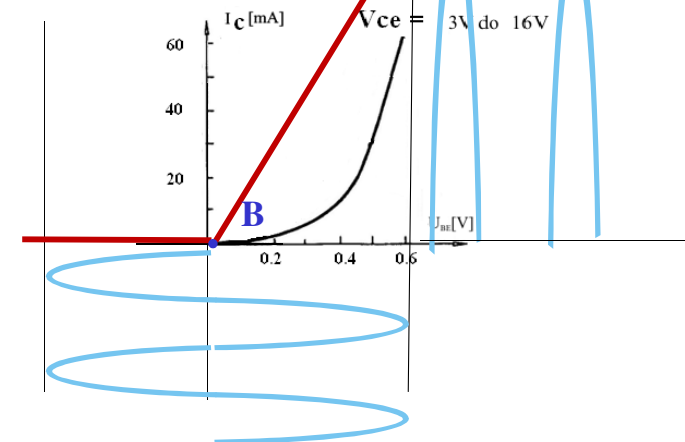
Pojačavači snage u klasi A

- 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 hlađenje
 - Koriste se za relativno male snage do 1W

Pojačavači snage u klasi B

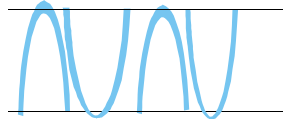
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA klasa B

Položaj R_T na prenosnoj karakteristici tranzistora



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



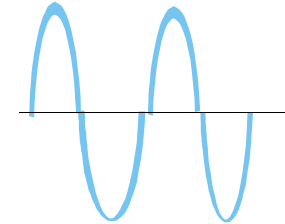
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

69

Simetrična sprega u klasi B

- ❖ Primenom simetrične sprege ovaj nedostatak se uklanja.



22. decembar 2016.

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.

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

71

22. decembar 2016.

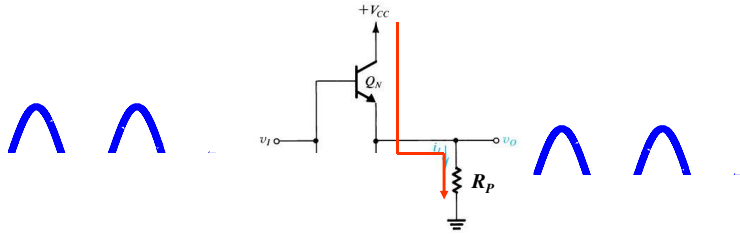
Pojačavači velikih signala

72

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

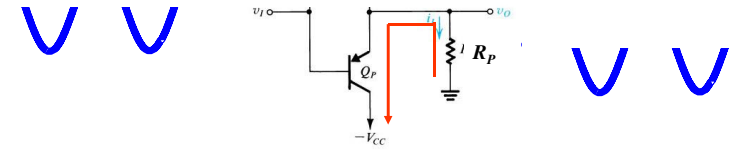
Kada je signal pozitivan, vodi tranzistor Q_N (NPN tipa) i njegova izlazna struja teče preko otpornika R_p .

Tranzistor Q_P (PNP tipa) je zakočen.



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.

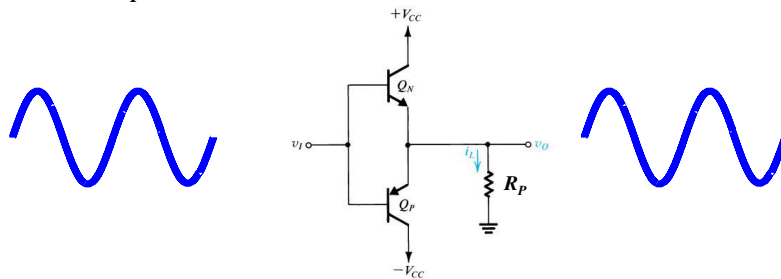


Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

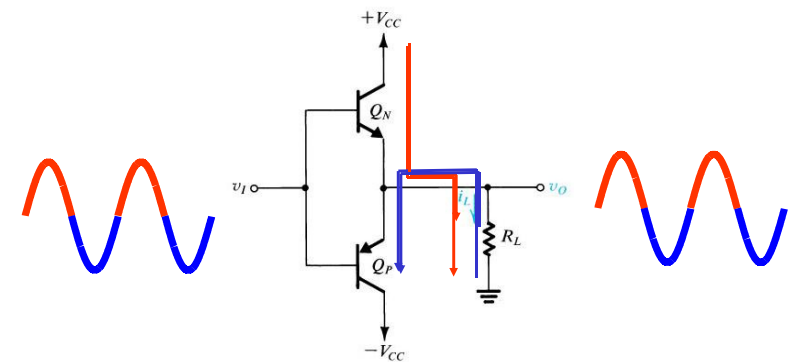
Pojačavač radi u klasi B.

Ako je pobuda sinusoidalna, Q_N vodi u pozitivnoj a Q_P u negativnoj poluperiodi.

Napon na R_p prati oblik ulaznog napona (idealizovano)

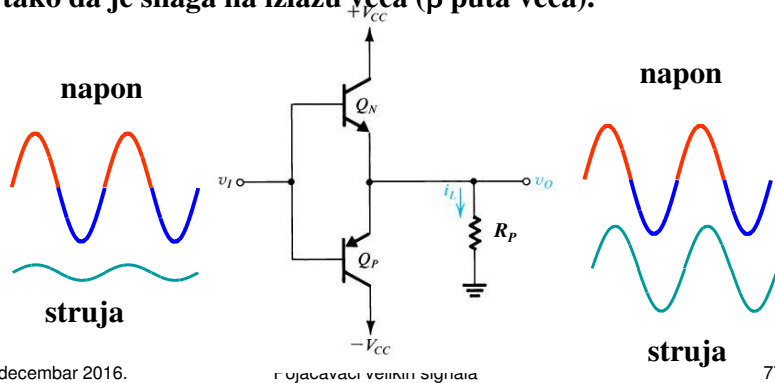


Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B



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).



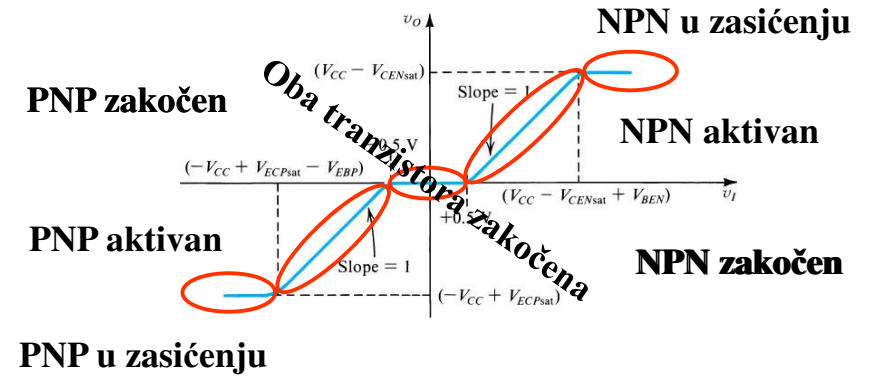
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

77

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Prenosna karakteristika



22. decembar 2016.

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

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

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

$$\approx 1/4 * I_{Im} * [V_{CC} - V_{CEsat}]$$

- ❖ Maksimalna korisna snaga koju daju oba aktivna elementa je

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

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

79

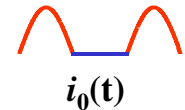
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

- ❖ 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)

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



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

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

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

22. decembar 2016.

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

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

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

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

$$\begin{aligned}\eta &= P_{k1} / P_1 = P_k / P \\ &= \pi/4 * (V_{CC} - V_{CEsat}) / V_{CC} \\ \eta &= 0.785 * (1 - V_{CEsat} / V_{CC})\end{aligned}$$

- ❖ Stepenn iskorišćenja pojačavača snage u klasi B u idealnom slučaju ($V_{CEsat}=0$) je $\eta = 78.5\%$.

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

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

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

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.

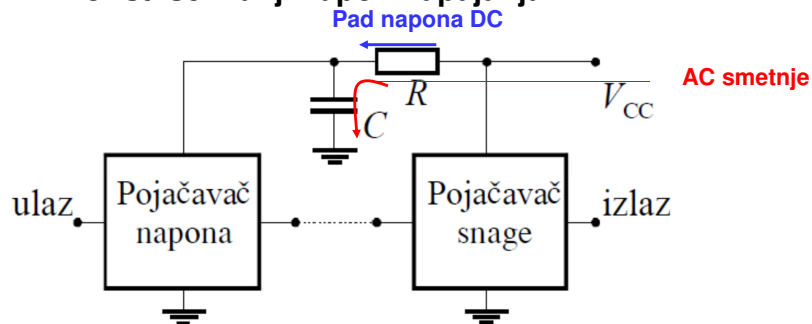
U odsustvu signala na aktivnim elementima u pojačavaču klase B neće se disipirati snaga, a u pojačavaču klase A disipiraće se čitavih 20W.

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.

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

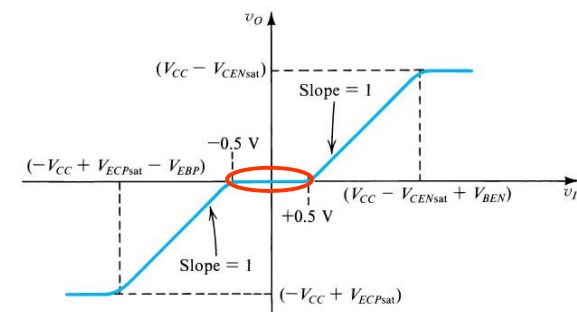
- ❑ Veća korisna snaga zahteva veću dinamiku signala koja se postiže povećanjem napona napajanja – u pretpojačavačima napona koristi se manji napon napajanja.



Izvođenjne napajanja kod kola koja sadže pojačavače snage u izlaznom stepenu

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

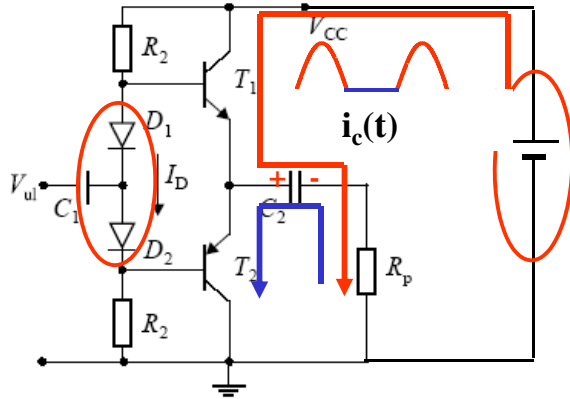
Praktično pojačavač radi u klasi C jer tranzistori počinju da vode tek kada je napon između baze i emitora $> 0,5V$.



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

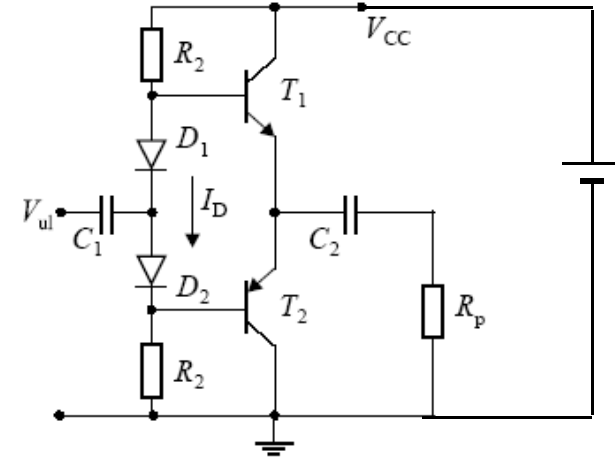
Vezivanjem dve direktno polarisane diode između baza NPN i PNP tranzistora obezbeđuje se razlika od oko 1V, koja je neophodna da bi se RT tranzistora pomerila na granicu provodnog režima.

Asimetrično napajanje!!!



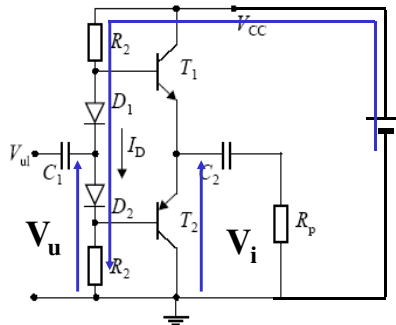
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Kako diode utiču na temperaturnu stabilnost? Diode obezbeđuju bolju temperaturnu stabilnost.



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Važno je obezbediti dovoljnu struju kroz diode, tako da one ostanu direktno polarisane i pri najvećim strujama baze



$$I_D \geq |J_{Dm \max}|$$

$$V_{CC} - R_2 I_D - V_{D1} - V_{D2} - R_2 I_D = 0$$

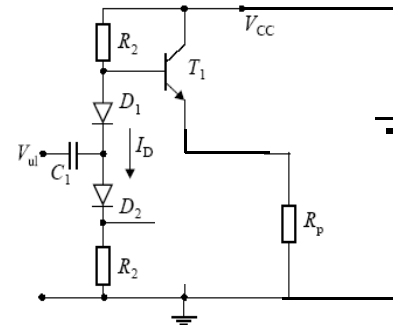
$$I_D \Big|_{\substack{V_{D1}=V_{D2}=0.7 \\ V_{ul}=0}} = (V_{CC} / 2 - 0.7) / R_2$$

$$V_u = V_i = V_{CC} / 2$$

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Za one koji žele da nauče više

Analiza za naizmenične signale - vodi jedan tranzistor



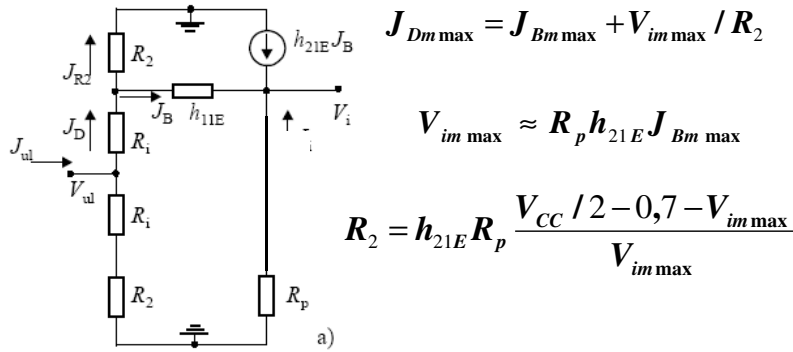
$$J_{Dm \max} = J_{Bm \max} + V_{um \max} / R_2$$

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

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Za one koji žele da nauče više

Analiza za naizmenične signale - vodi jedan tranzistor



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Za one koji žele da nauče više

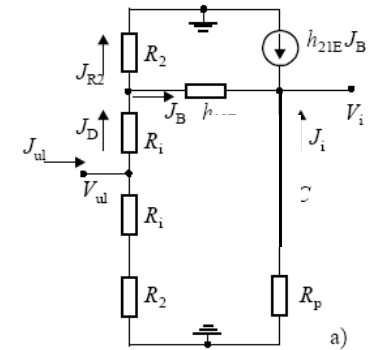
Pojačanje

Strujno

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

Naponsko

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



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Snaga

Baterije

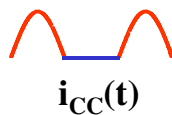
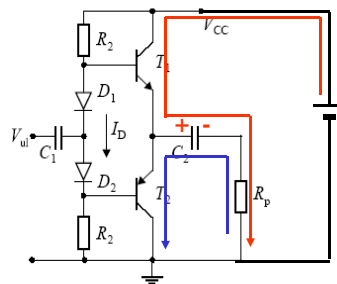
$$P_0 = V_{CC} I_0$$

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

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

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

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



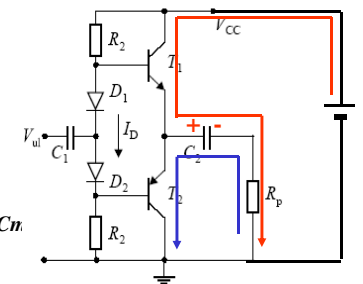
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Snaga

Korisna, na potrošaču

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

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



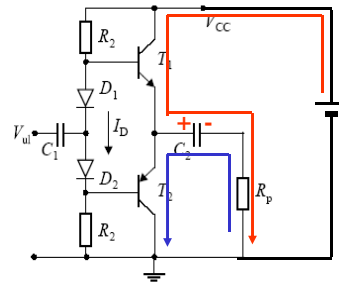
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Stepen iskorišćenja u idealnom slučaju

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

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

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



$$\eta < 78,5\%$$

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Za one koji žele da nauče više

Maksimalna moguća struja kroz R_p

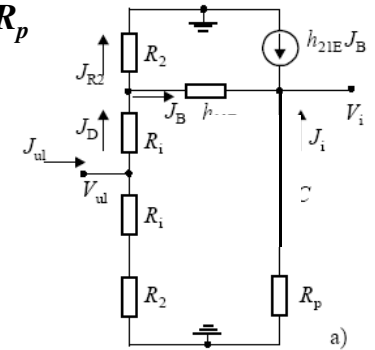
$$J_{Cm \max} = (V_{CC} / 2) / R_p = \frac{V_{CC}}{2R_p}$$

Maksimalni mogući napon na R_p

$$V_{im \max} = \frac{V_{CC}}{2} = J_{cm \max} R_p$$

Maksimalna korisna snaga na potrošaču

$$P_{k \max} = \frac{1}{2} V_{im \max} J_{Cm \max} = \frac{1}{2} \frac{V_{CC}}{2} \frac{V_{CC}}{2R_p} = \frac{V_{CC}^2}{8R_p}$$



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Za one koji žele da nauče više

Maksimalna snaga disipirana na tranzistoru

$$P_d = P_0 - P_{k \max} = \frac{V_{CC} J_{Cm \max}}{\pi} - \frac{J_{Cm \max}^2 R_p}{2}$$

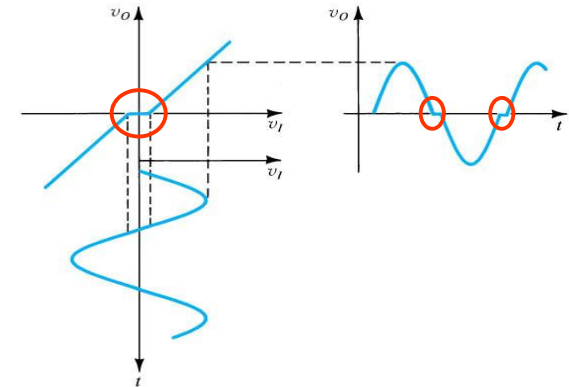
Od interesa je da se odredi pri kojoj struji $J_{cm \max}$ se disipira najveća snaga

$$\frac{\partial P_d}{\partial J_{Cm \max}} = 0, \quad \Rightarrow \quad J_{Cm \max} = \frac{V_{CC}}{\pi R_p}$$

$$P_{d \max} = P_d \Big|_{J_{Cm \max} = V_{CC} / (\pi R_p)} = \frac{V_{CC}^2}{2\pi^2 R_p}$$

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Izobličenja

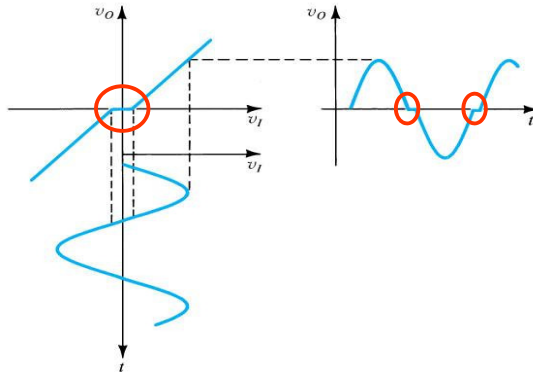


Uočljivo je da u delu malih struja izlazna struja odstupa od sinusoide.

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Pojačavače snage u klasi B karakteriše

- veći stepen iskorišćenja 😊
 - veća izobličenja 😞
- od opjačavača u klasi A



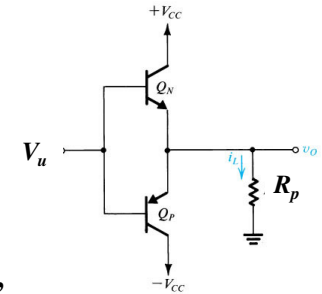
22. decembar 2016.

Domaći 10.2: 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

102

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

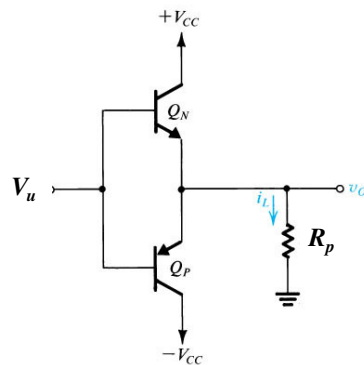


Domaći 10.3:

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.

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



22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

103

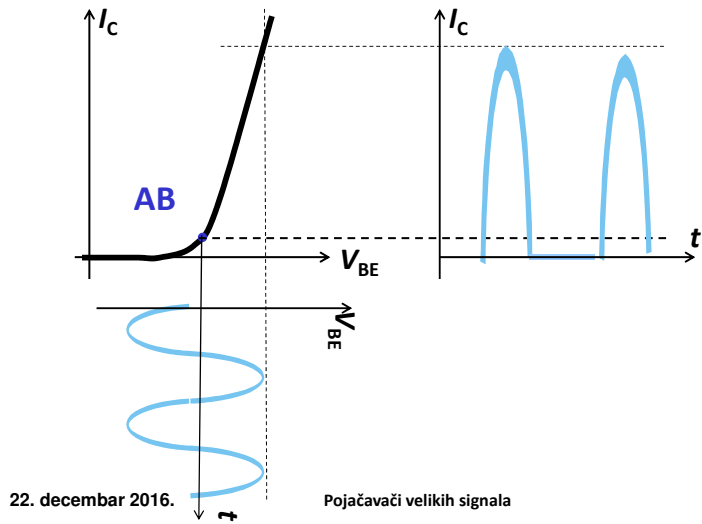
Pojačavači snage u klasi AB

22. decembar 2016.

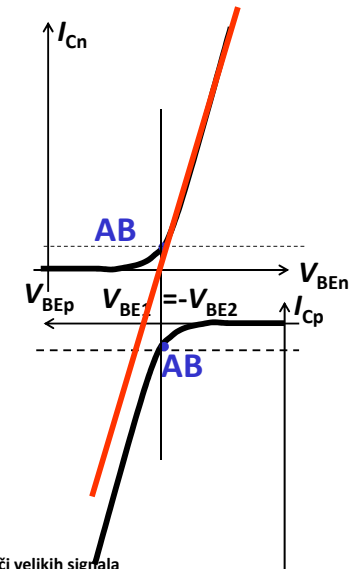
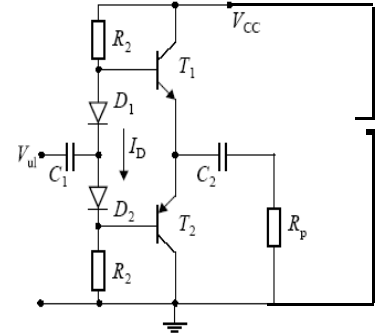
Pojačavači velikih signala

104

Položaj RT na prenosnoj karakteristici tranzistora

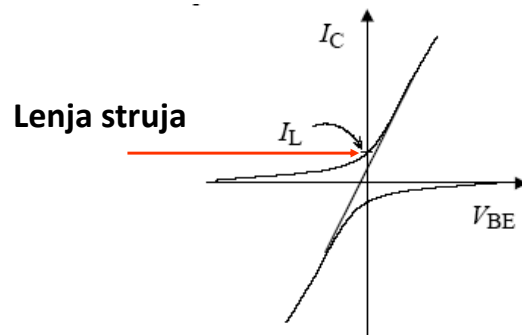


Simetrična sprega



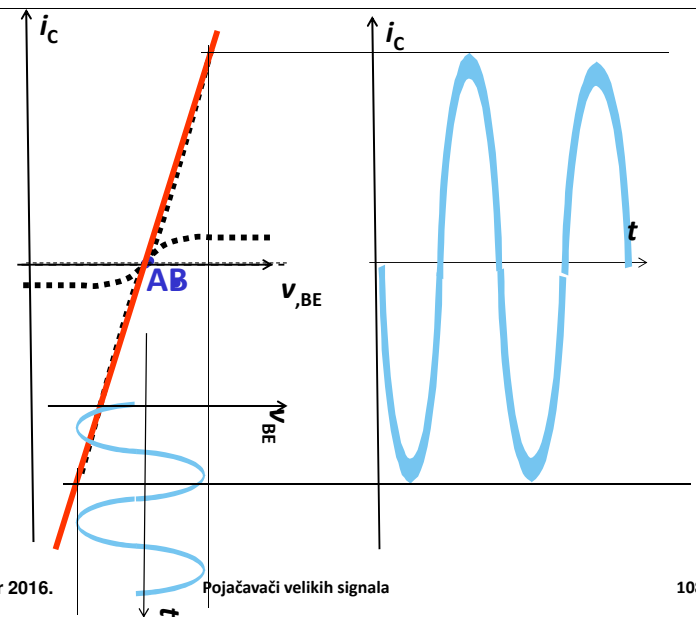
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB

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



Lenja struja

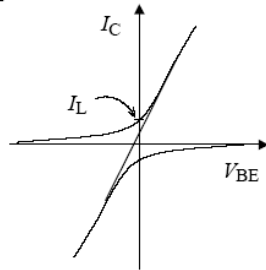
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB



Pojačavač u klasi AB karakteriše

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

nego pojačavač u klasi B.

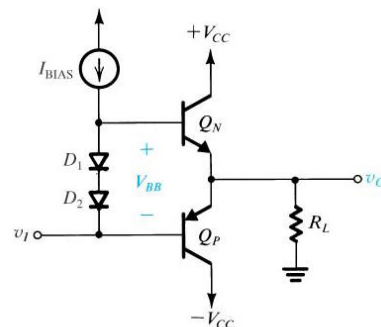
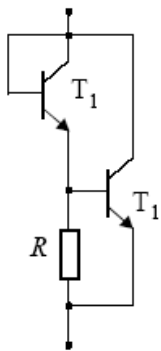


- Korisna snaga u klasi AB manja je nego u klasi B jer je redukovano dinamičko područje promene ulaznog, a time i izlaznog signala.
- Stepen iskorišćenja u klasi AB manji je nego u klasi B, jer teče jednosmerna struja i u odsustvu ulaznog signala, tako da uvek postoji disipacija na tranzistoru.
- Široka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

Pojačavači snage u klasi AB

Realizacija pojačavača snage u klasi AB:

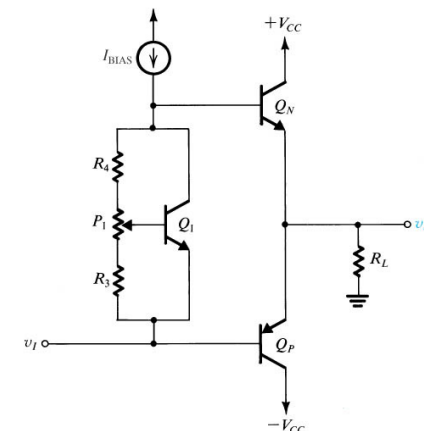
obezbediti napon na bazama koji je nešto veći od praga provođenja tranzistora.



Pojačavači snage u klasi AB

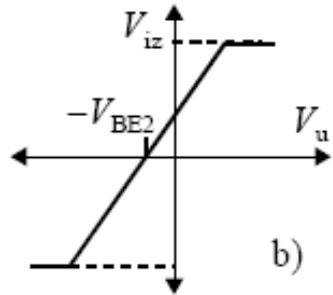
Realizacija pojačavača snage u klasi AB:

obezbediti napon na bazama koji je nešto veći od praga provođenja tranzistora.



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 $V_u = V_{BE2}$.

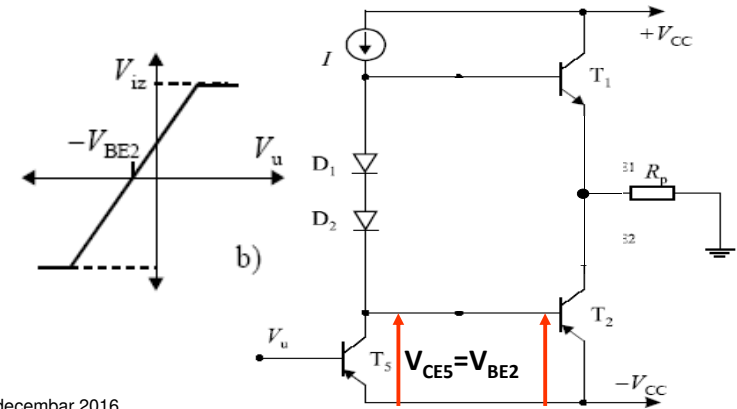
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

113

Pojačavači snage u klasi AB

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



22. decembar 2016.

114

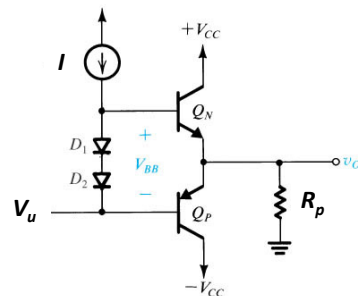
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA



Domaći 10.4:

Za pojačavač sa slike koji radi u klasi AB poznato je: $V_{CC} = 15V$, $R_p = 100\Omega$; tranzistori su upareni sa $I_s = 0.1\mu A$ 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.



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

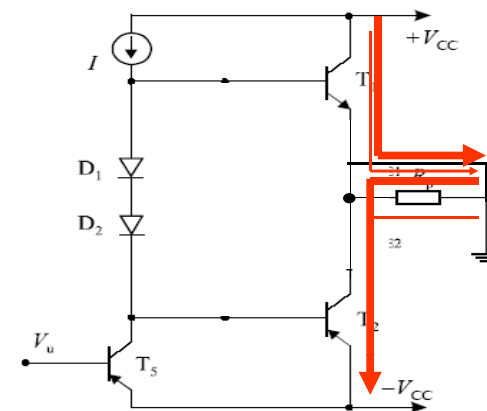
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

115

Pojačavači snage zaštita od kratkog spoja

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



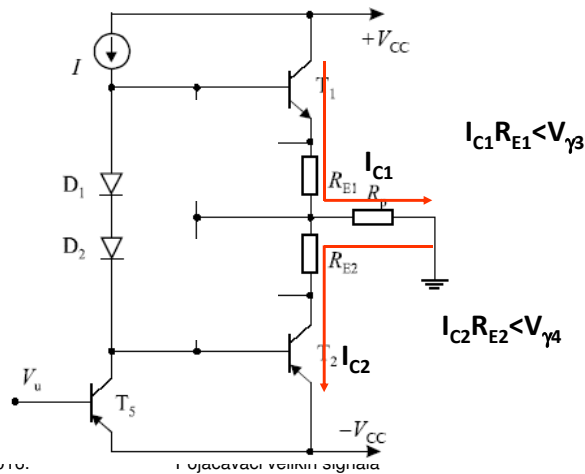
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

116

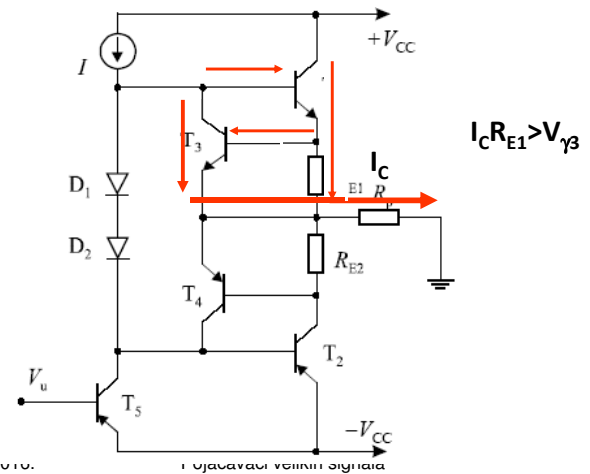
Pojačavači snage

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



Pojačavači snage

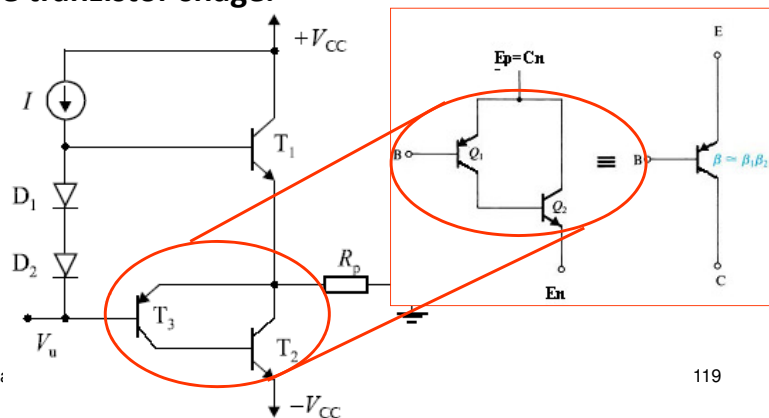
Zato se uvodi kolo za zaštitu od kratkog spoja (važi za sve klase pojačavača)



Pojačavači snage

Kvazikomplementarna sprega:

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



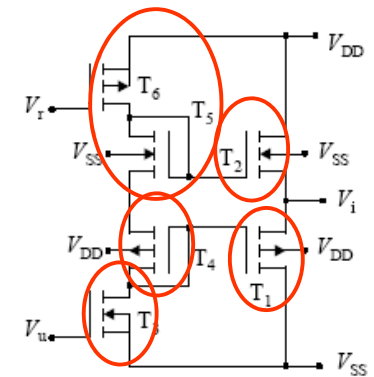
CMOS pojačavači snage

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.

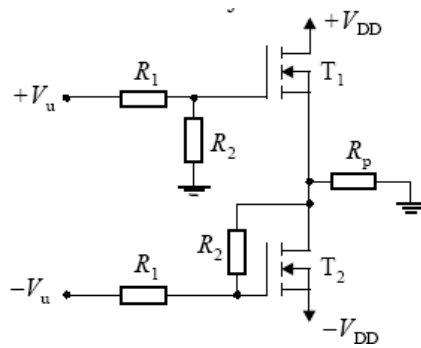
Tranzistor T_4 je dinamičko opterećenje za T_3 .



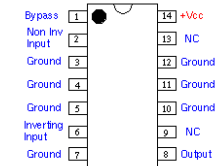
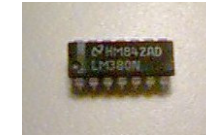
Simetrična sprega sa MOS tranzistorima snage

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

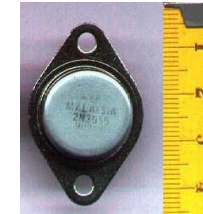
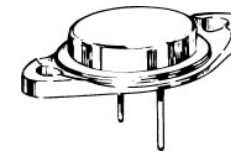
Pošto su oba MOSFET-a istog tipa, pobuđuju se preko faznog obrtača. Naponi V_u imaju i DC komponentu koja služi za polarizaciju gejtova.



Komponente pojačavača snage



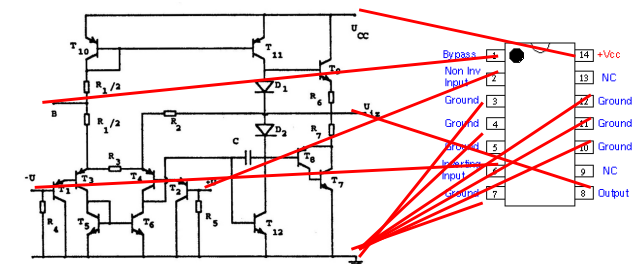
Slika 16. Integrirani pojačavač snage LM380



Slika 17. Tranzistor snage 2N3055

Primer pojačavača snage u integriranoj tehnici

LM380.

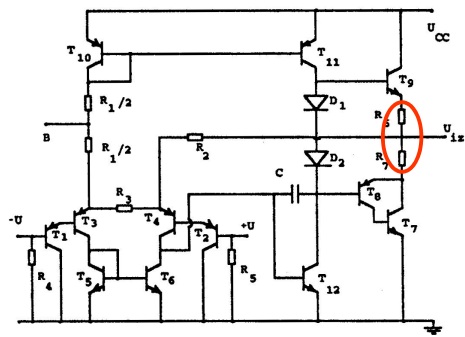


Primer pojačavača snage u integriranoj tehnici

Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici

LM380.

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



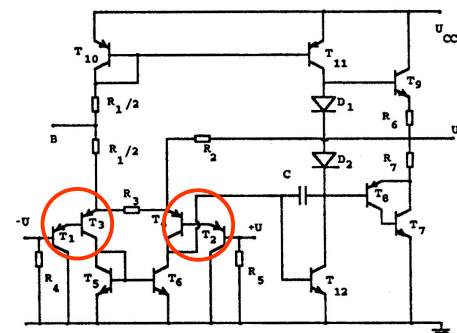
22. decembar 2016.

125

Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici

Ulazni stepen od PNP tranzistora u sprezi sa zajedničkim emitorom

- velika ulazna impedansa pojačavača
- direktna sprega.



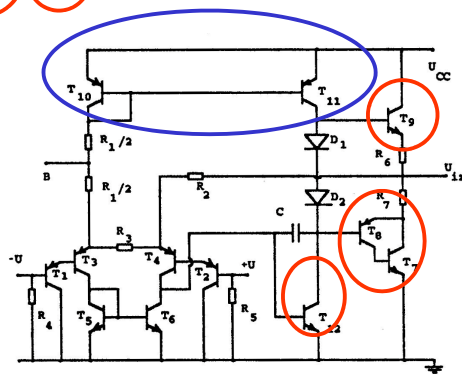
22. decembar 2016.

126

Primer pojačavača snage u integrisanoj tehnici

Drugi stepen, stepen sa zajedničkim emitorom T_{12} . Opterećen strujnim izvorom.

Izlazni stepen je kvazikomplementarni par koji se sastoji od tranzistora T_7 , T_8 i T_9 .



22. decembar 2016.

Pojačavač

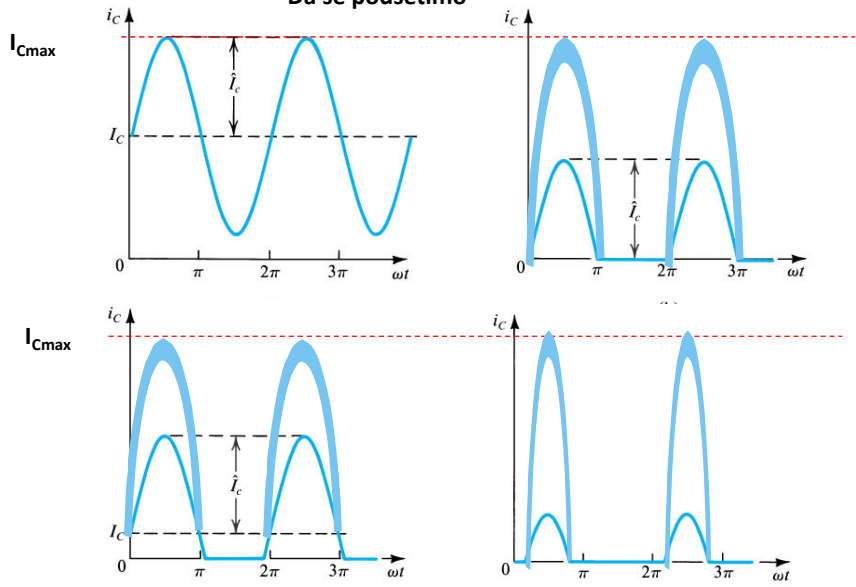
Pojačavači snage u klasi C

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

128

Da se podsetimo



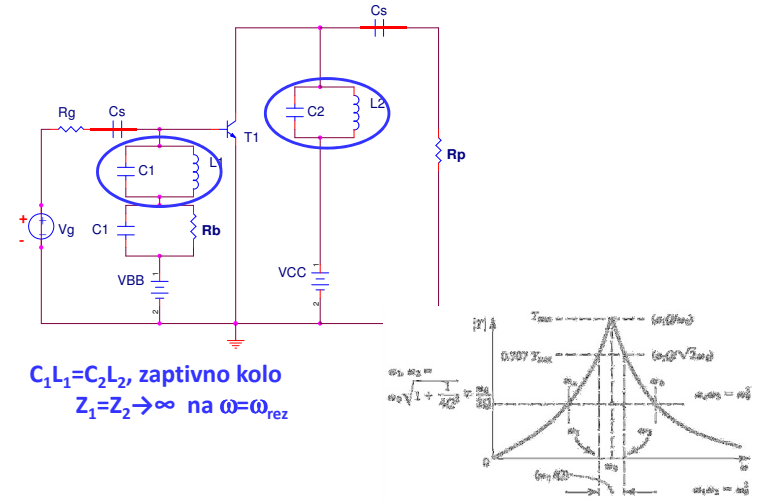
22. decembar 2016.

(c)

Pojačavači velikih signala

129

Pojačavači snage u klasi C



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

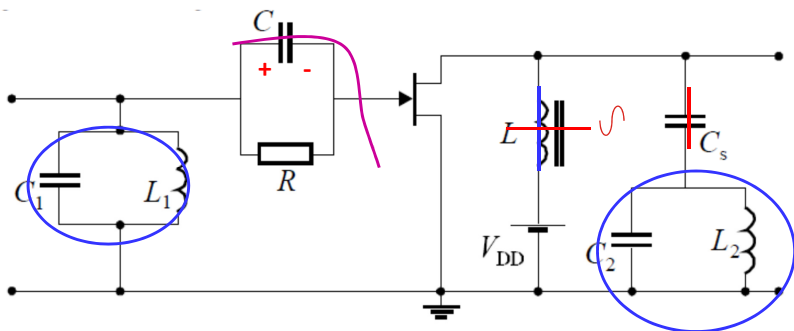
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

130

Pojačavači snage u klasi C

Za one koji žele da nauče više



22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

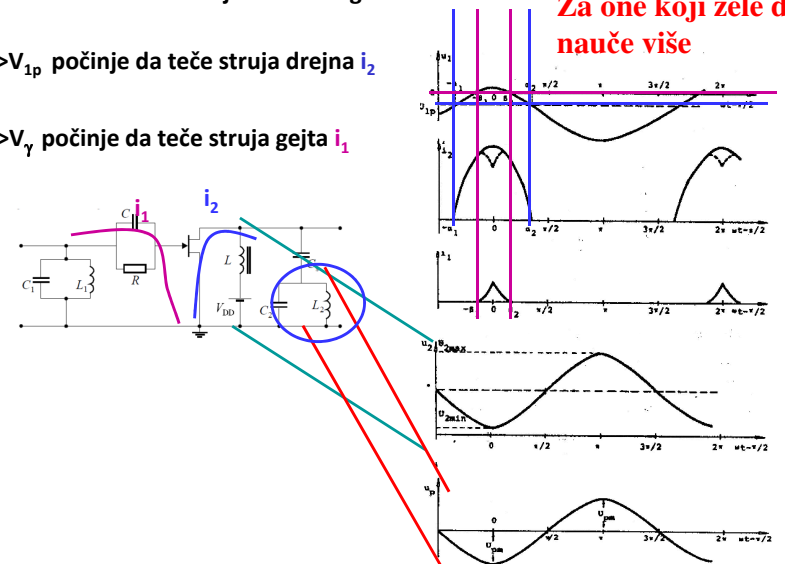
131

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



22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

132

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

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

Za one koji žele da nauče više

Stepen iskorišćenja

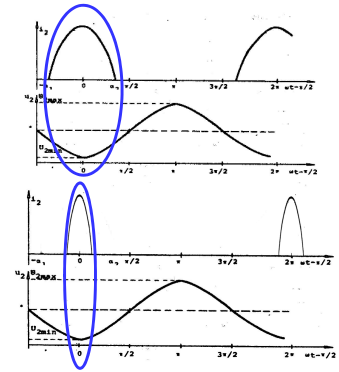
$$\eta = \frac{P_k}{P_{DD}} = 1 - \frac{P_d}{P_{DD}}$$

Srednja snaga na tranzistoru

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

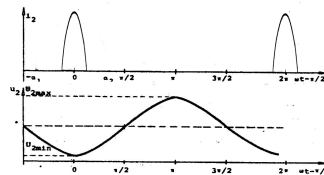
Za male uglove α , srednja snaga na tranzistoru

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



Za one koji žele da nauče više

Stepen iskorišćenja



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

Stepen iskorišćenja $\approx 100\%$

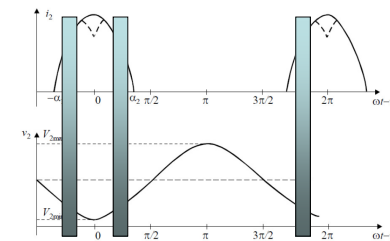
Realno, stepen iskorišćenja je manji (oko 80%).

Kako može da se poveća?

Šta je to što je omogućilo ovoliki stepen iskorišćenja?



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.



22. decembar 2016.

138

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

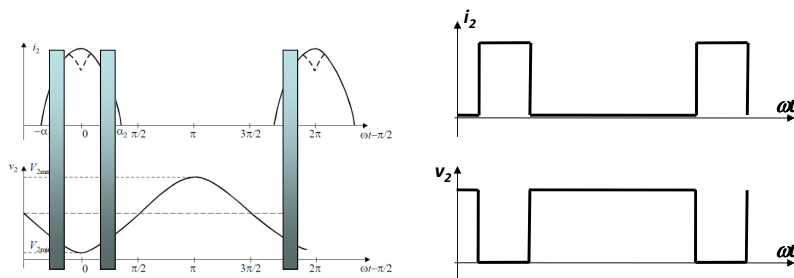
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

137

Pojačavači snage u klasi D, E, F

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



22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

139

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.

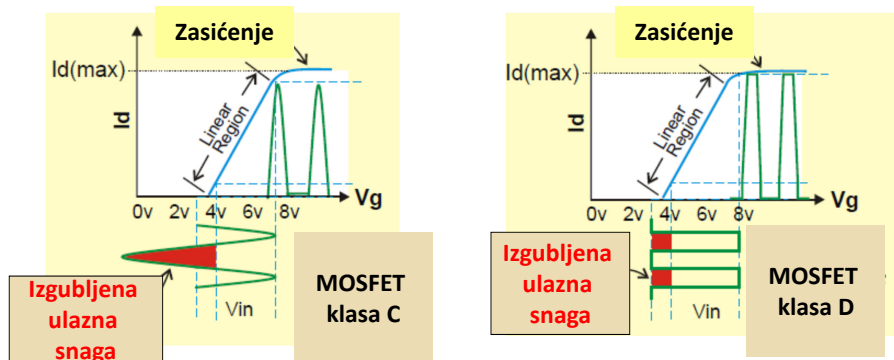
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

140

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

Talasni oblici struje I_D .



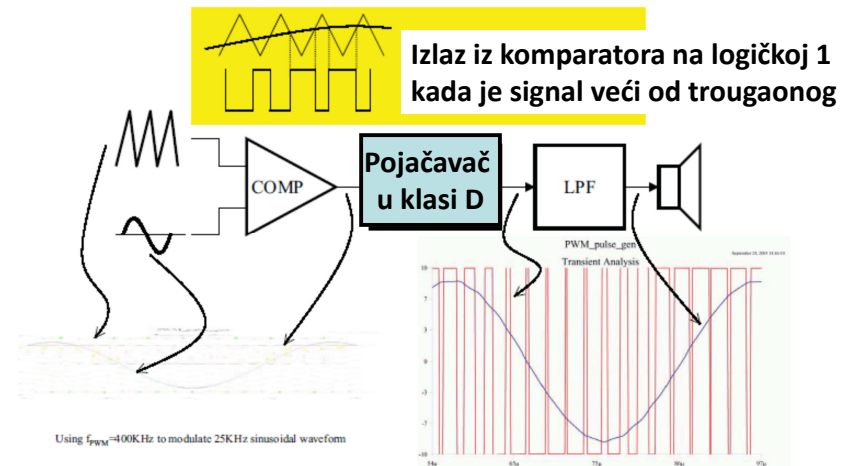
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

141

Pojačavači snage u klasi D

Talasni oblici signala na ulazu i izlazu



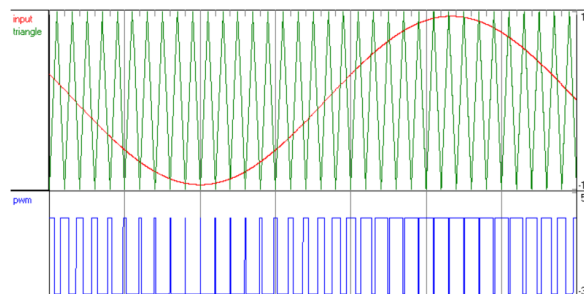
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

142

Pojačavači snage u klasi D, E, F

Pobuđuje se PWM signalom (Pulse Width Modulation).



Ima VF i NF komponentu.

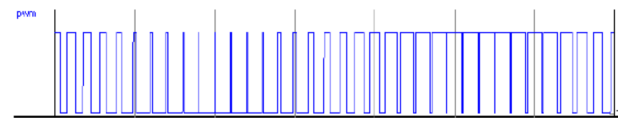
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

143

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

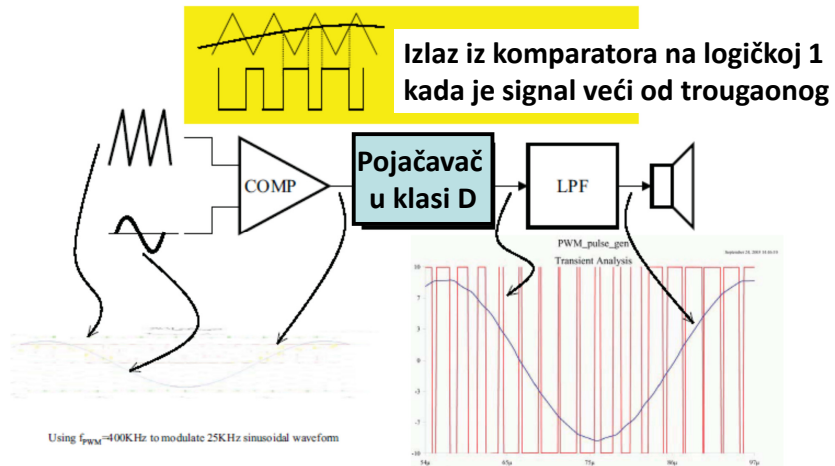
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

144

Pojačavači snage u klasi D

Talasnici signala na ulazu i izlazu

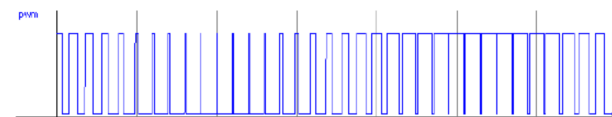


22. decembar 2016.

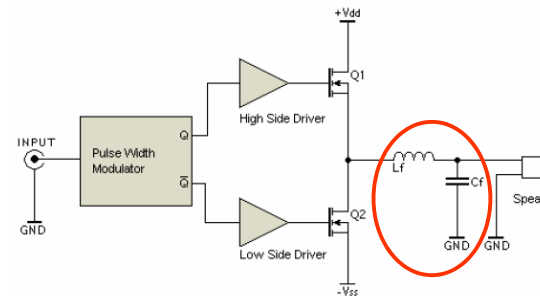
Pojačavači velikih signala

145

Pojačavači snage u klasi D



Filtriranje izlaznog signala – klasa D



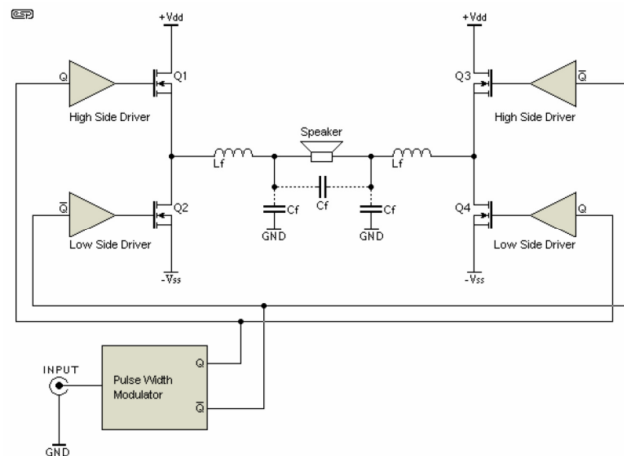
22. dec

146

Pojačavači snage u klasi D

Za one koji žele da nauče više

Alternativna simetrična konfiguracija – potpuni most



22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

147

Pojačavači snage u klasi D

Pojačavač snage klase D 400W.



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

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

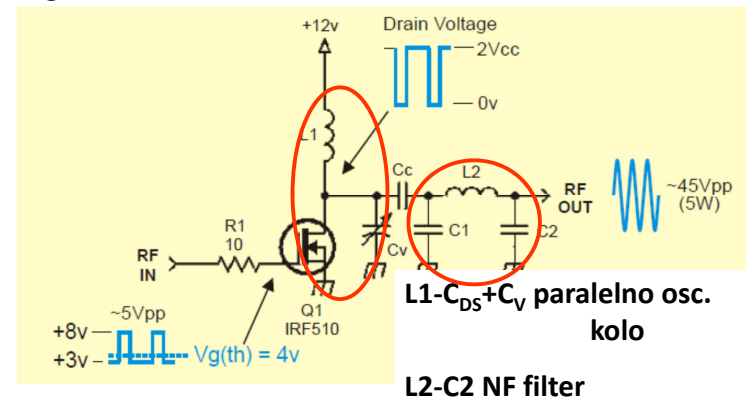
148

Pojačavač snage klase E

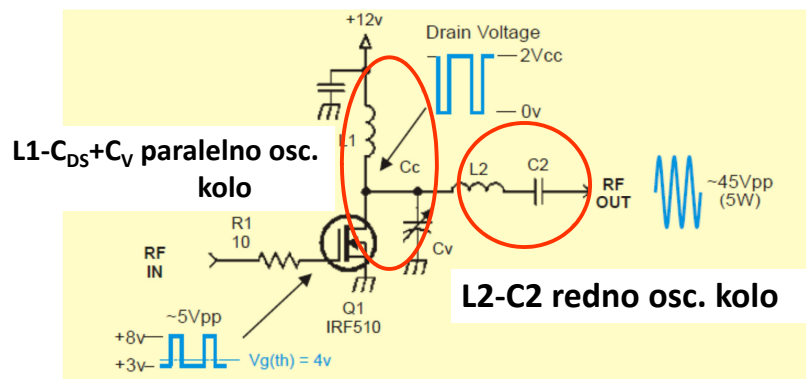
Aktivni element radi kao prekidač.

- 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).

Pojačavač snage klase E

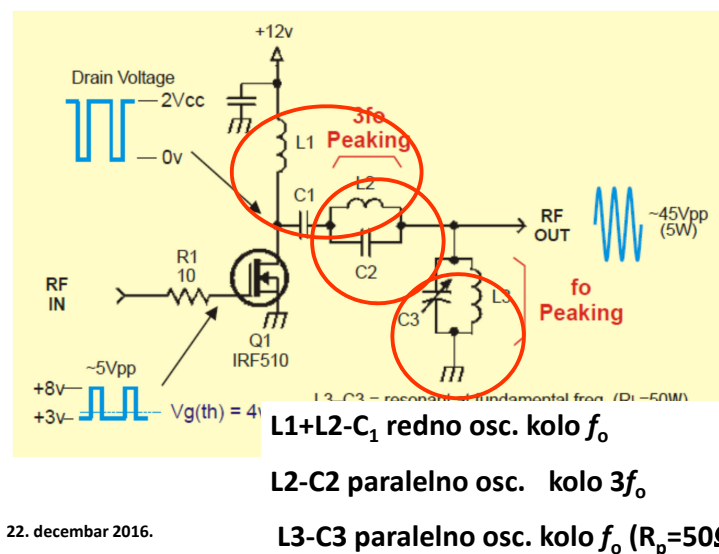


Pojačavač snage klase E



Za one koji žele da nauče više

Pojačavač snage klase F



Prekidački pojačavači snage

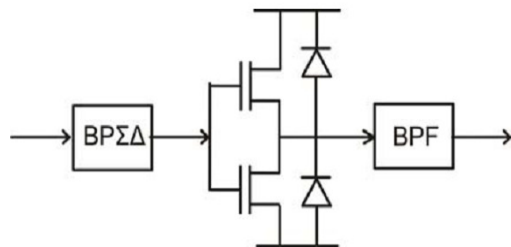
Ostali prekidački pojačavači snage:

U osnovi su pojačavači klase D

- Klasa S, namenjeni za VF.

-Umesto NF, koristi filter propusnik opsega (Band Pass – BPF)

-500MHz za W-CDMA



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

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

153

Za one koji žele da nauče više

Prekidački pojačavači snage

U osnovi su pojačavači klase D

-Nazivi se slode na “trgovačke marke”

-Klasa I

-(*Interlived* – preplitanje u vremenu prekidanja)

- Klasa T



www.crownaudio.com

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

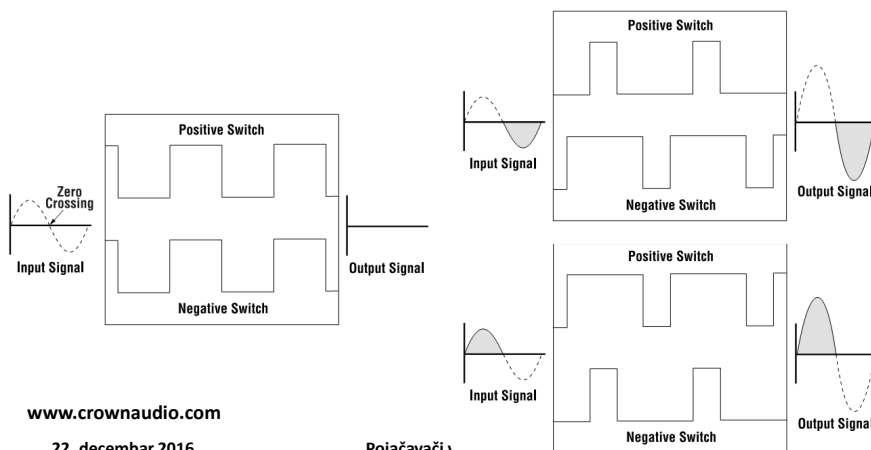
154

Za one koji žele da nauče više Prekidački pojačavači snage

U osnovi su pojačavači klase D

-Klasa I

-(*Interlived* – preplitanje u vremenu prekidanja)



www.crownaudio.com

22. decembar 2016.

Pojačavači

Za one koji žele da nauče više Prekidački pojačavači snage

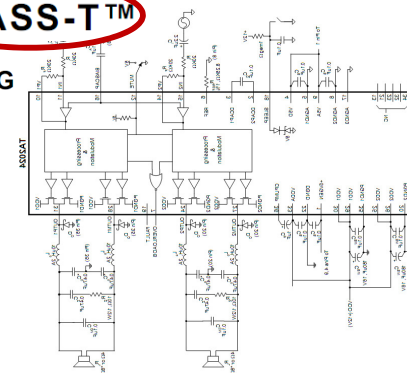
U osnovi su pojačavači klase D

-Klase T integrisani Tripath Technology



STEREO 15W (4Ω) **CLASS-T™**

DIGITAL AUDIO AMPLIFIER USING
DIGITAL POWER PROCESSING™
TECHNOLOGY



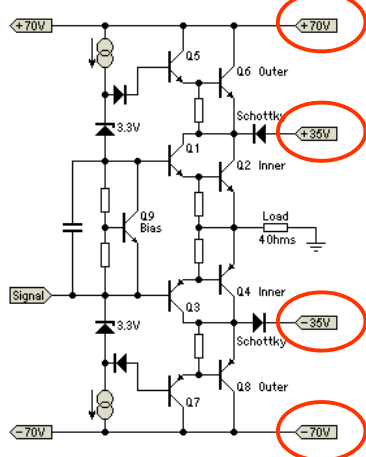
<http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/Tripath/mXyzxwwt.pdf>

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

156

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>

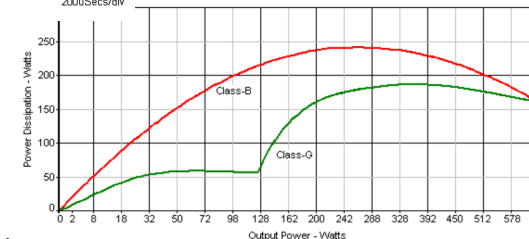
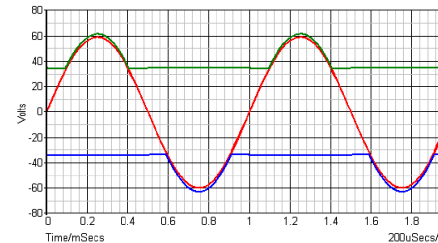
Klasa G – nezavisni izvori

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

22. decembar 2016.

Pojači

Pojačavač snage klase G i H



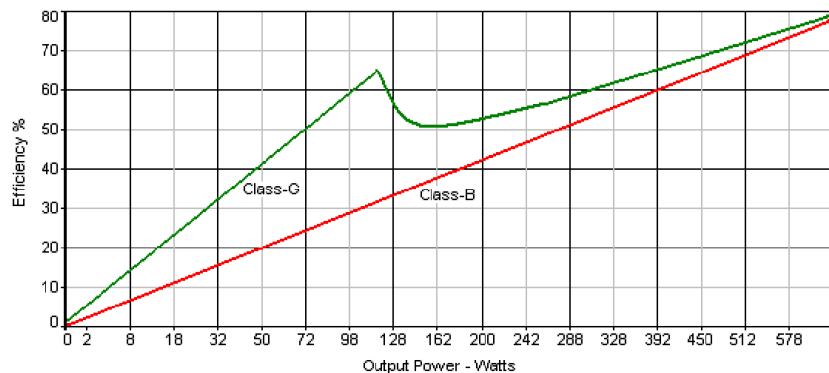
<http://sound.westhost.com/articles/class-g.htm>

22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

158

Pojačavač snage klase G i H



<http://sound.westhost.com/articles/class-g.htm>

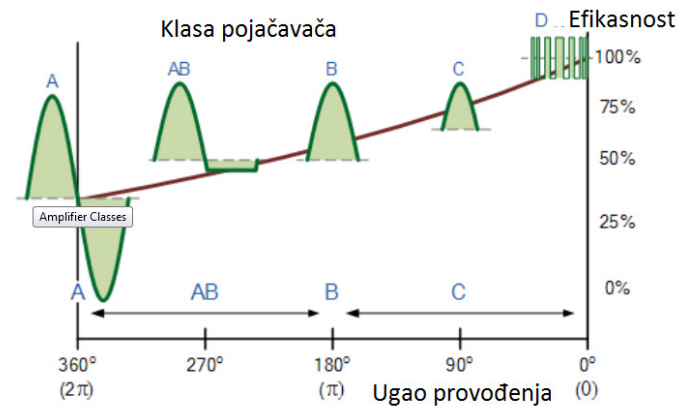
22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

159

Rekapitulacija

Poređenje pojačavača snage prema efikasnosti



22. decembar 2016.

Pojačavači velikih signala

160

II kolokvijum

21.01.2017.



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).



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).



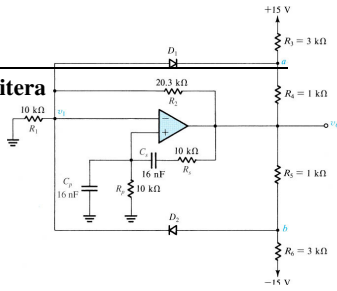
Ispitna pitanja

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).



Rešenje 9.1:

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



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

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

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

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

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

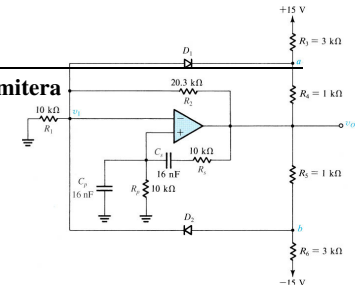
$$3 + s \cdot 16 \cdot 10^{-9} \cdot 10^4 + 1/(s \cdot 16 \cdot 10^{-9} \cdot 10^4) = 3,03; \quad s^2 \cdot 256 \cdot 10^{-10} - 0,03s \cdot 16 \cdot 10^{-5} + 1 = 0$$

22. decembar 2016.

Povratna sprega

Rešenje 9.1:

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



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

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

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

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

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

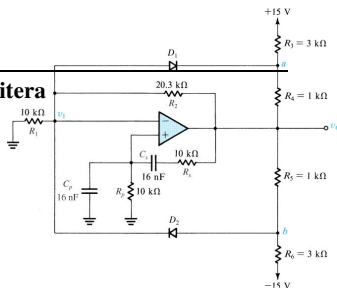
$$\omega CR = 1/(\omega CR) \Rightarrow \omega = \frac{1}{CR} = \frac{10^{-5}}{16} \text{ rad/s} \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = 1 \text{ kHz}$$

22. decembar 2016.

Povratna sprega

Rešenje 9.1:

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



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 :

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

22. decembar 2016.

Povratna sprega

Rešenje 9.2:

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

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

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

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

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

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

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

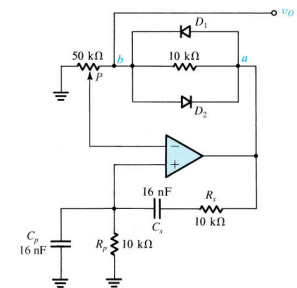
$$3R_X = 100k - 10k = 90k\Omega \Rightarrow R_X = 30k\Omega$$

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

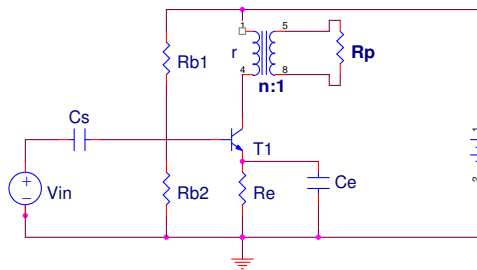
$$\omega_0 CR = 1/(\omega_0 CR) \Rightarrow \omega_0 = \frac{1}{CR} = \frac{10^{-5}}{16} \text{ rad/s} \Rightarrow f = \frac{\omega}{2\pi} = 1 \text{ kHz}$$

22. decembar 2016.

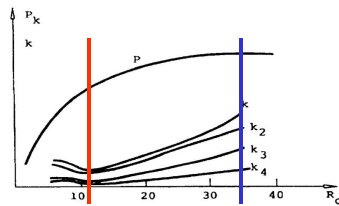
Oscilatori prostoperiodičnih oscilacija



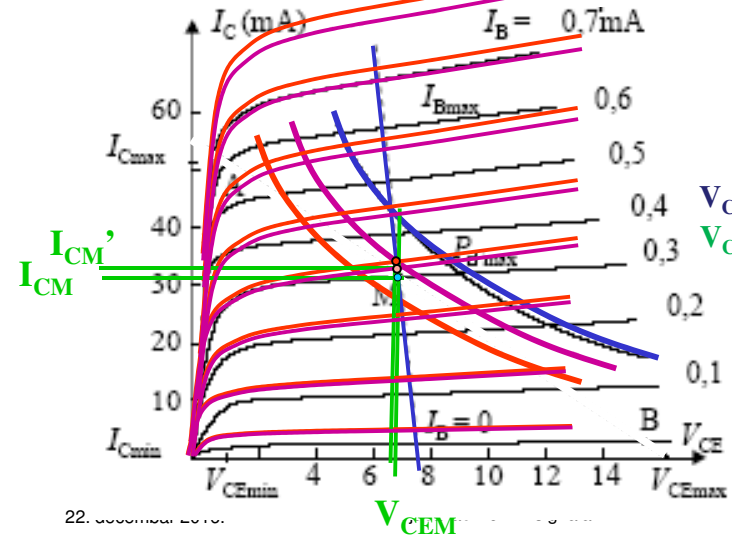
Kako projektovati pojačavač snage?
Projektovati = odrediti topologiju i



vrednosti
elemenata kola,



da bi se ispunili određeni zahtevi



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

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} : $V_{CEM} = \sqrt{P_{d\max} \cdot R_C}$
4. Izračunamo I_{CM}' $I'_{CM} = P_{d\max} / V_{CEM}$
5. Izračunamo I_{CM} $I_{CM} = I'_{CM} - \Delta I_{CM}$

6. Izračunamo I_{BM}

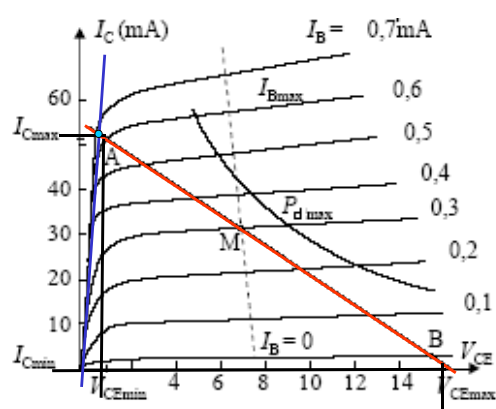
$$I_{BM} = I_{CM} / \beta$$

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}

Radna prava za naizmenični signal

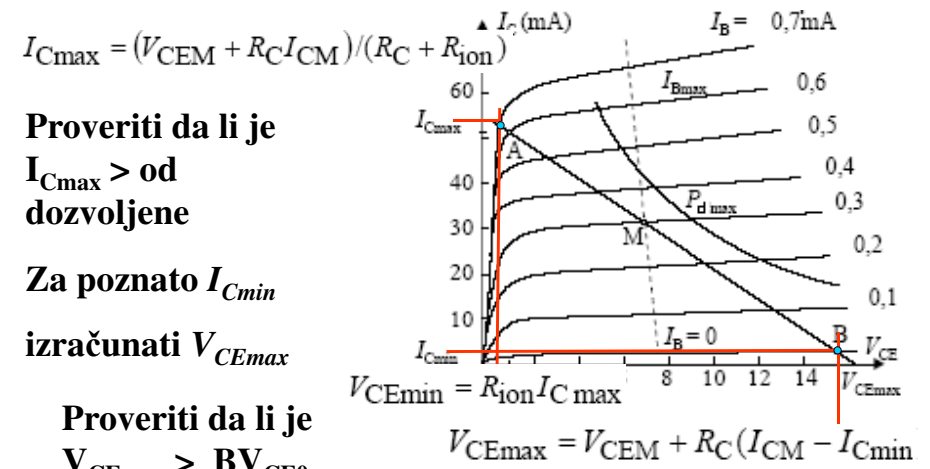


$$I_C - I_{CM} = -\frac{1}{R_C}(V_{CE} - V_{CEM})$$

Aproksimacija strujnog zasićenja

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

U preseku je I_{Cmax}



Proveriti da li je $I_{Cmax} >$ od dozvoljene

Za poznato I_{Cmin} izračunati V_{CEmax}

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

Simetrična sprega u klasi A

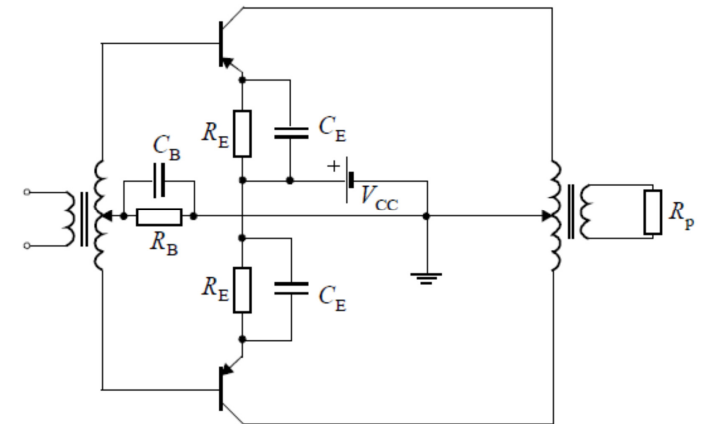
Treba obezbediti minimalna nelinearna izobličenja i maksimalnu korisnu snagu

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

simetrična sprega

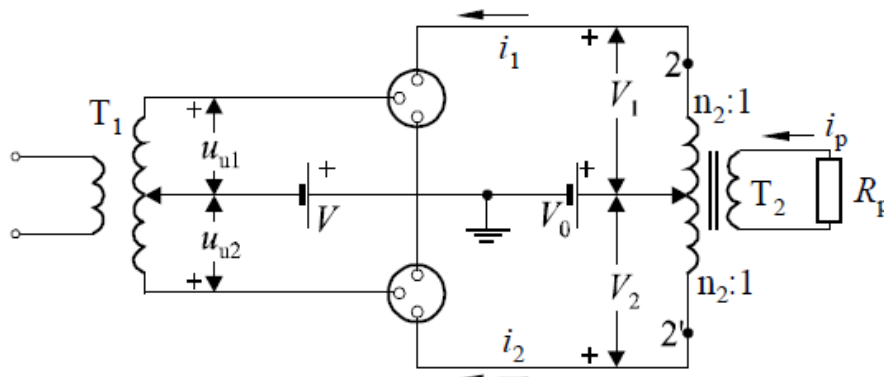
SIMETRIČNA SPREGA je:

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

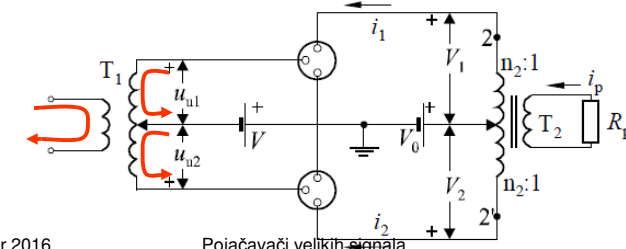


Simetrična sprega u klasi A sa bipolarnim tranzistorima

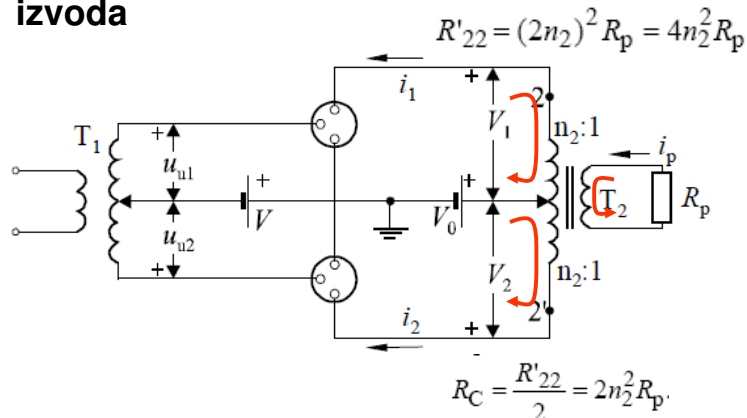
Analiza upotrebom simetričnog pojačavača sa uopštenim aktivnim elementom



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



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



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

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

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

$$i_3 = I - I_{1m} \cos \omega t + I_{2m} \cos 2\omega t - I_{3m} \cos 3\omega t + \dots$$

- ❑ 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

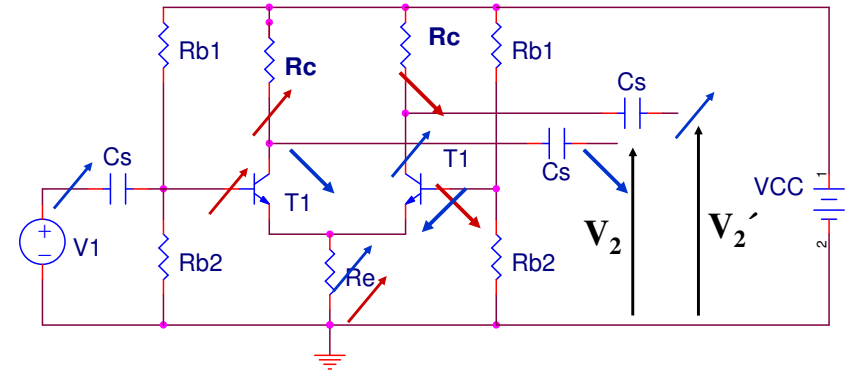
- ❑ Ulazni transformator služi da generiše dva signala čije su amplitude jednake, a faze suprotne.
- ❑ Transformator više doprinosi amplitudskim i faznim izobličenjima i na niskim i na visokim frekvencijama nego što to čine aktivni elementi
- ❑ Zato se umesto transformatora koriste elektronska kola koja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

Ona se nazivaju: **fazni obrtači**.

Obrtači faze

Obrtači faze

Diferencijalni pojačavač sa nesimetričnim ulazom.



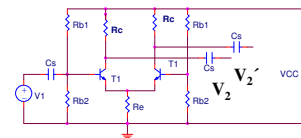
Napon →

Struja →

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

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

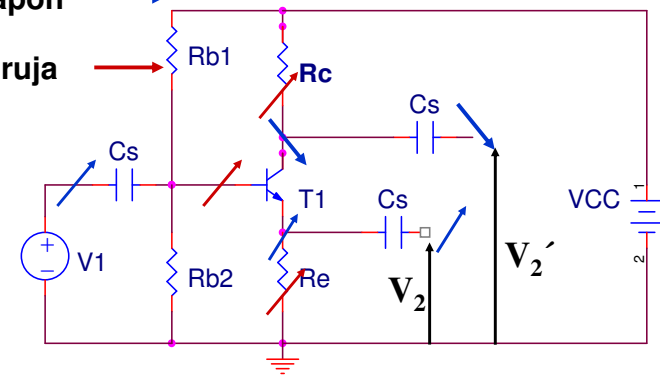
$$V'_2 = A_{12}V_1 = \frac{h_{21E}R_C(1+h_{21E})}{2h_{11E}(1+h_{21E}+h_{11E}/(2R_E))}V_1$$

Obrtači faze

Osnovni pojačavač kao obrtač faze

Napon →

Struja →



■ Za $R_C = R_E$



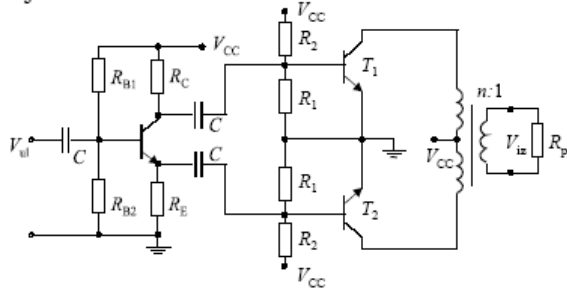
$$V_2 = -V'_2 \approx V_1$$

Izlazne impedanse nisu jednake!!!

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

Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega sa komplementarnim parom

Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega sa komplementarnim parom

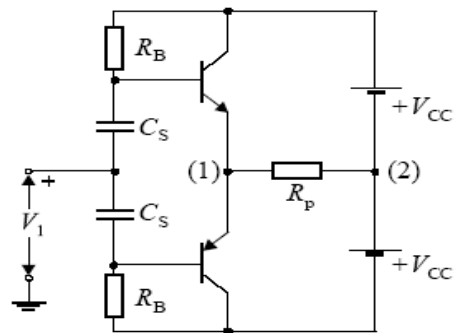


Komplementarni tranzistori ?

PNP i NPN

identične karakteristike

Nema izlaznog trafoa!

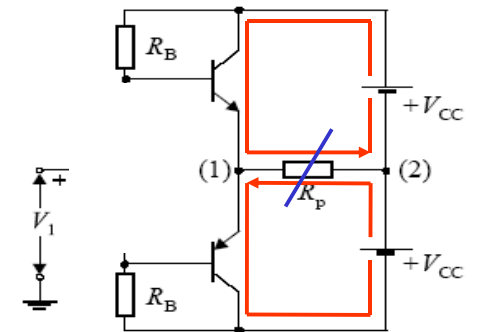


Za one koji žele da nauče više

Simetrična sprega sa komplementarnim parom

Komplementarni tranzistori DC signal

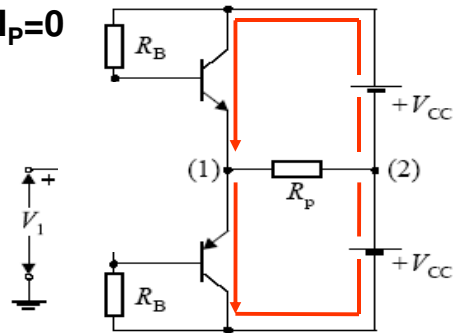
Baze razdvojene za DC



DC struja kroz potrošač $I_P=0$

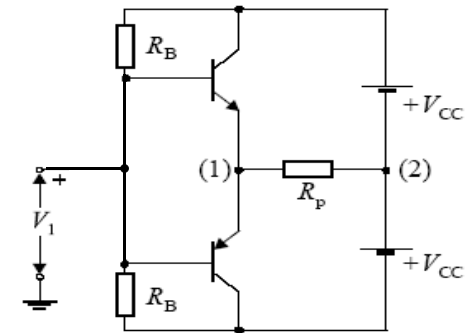
Komplementarni tranzistori

DC struja kroz potrošač $I_p=0$



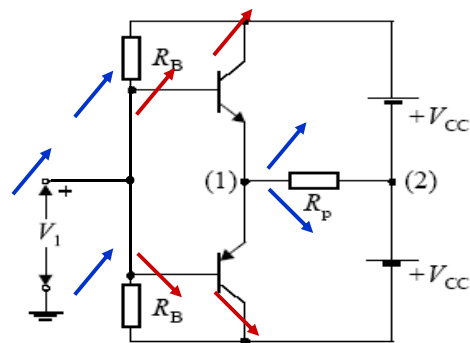
Komplementarni tranzistori

AC signal

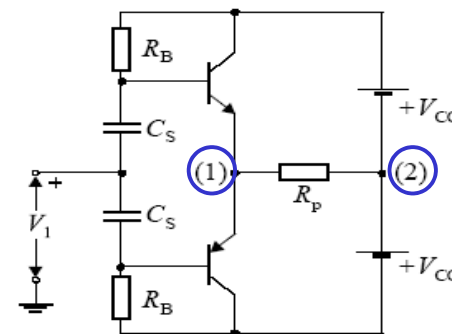


Komplementarni tranzistori identičnih karakteristika

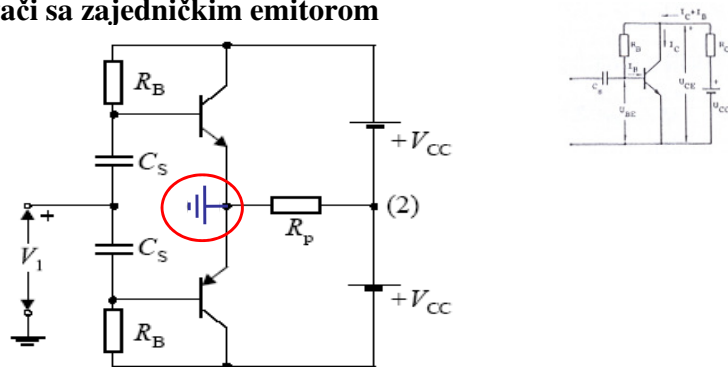
Napon \rightarrow
Struja \rightarrow



Gde vezati masu potrošača?



Masa u čvoru 1
Pojačavači sa zajedničkim emitorom



Masa u čvoru 1
konfiguracija sa zajedničkim emitorom

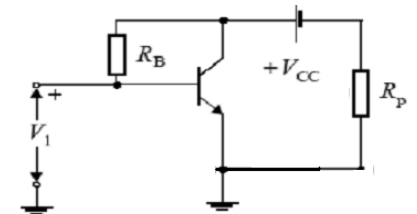


Veliko pojačanje

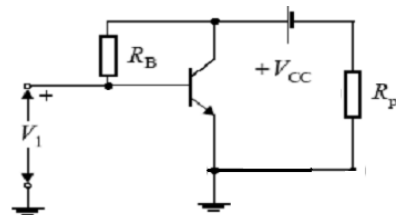


Ni jedan kraj baterije nije vezan za masu!!!

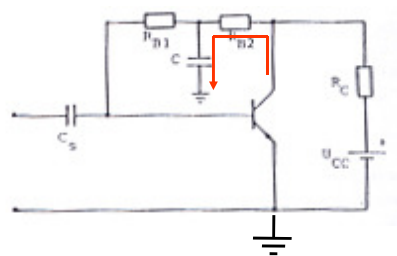
Negativna povratna sprega preko R_B
(smanjuje pojačanje)



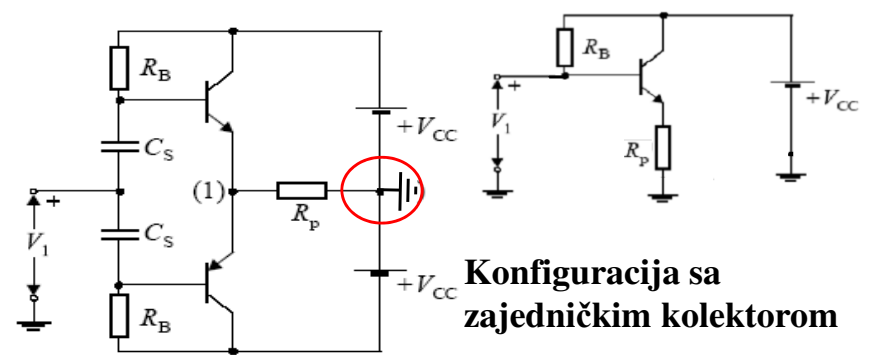
Masa u čvoru 1
konfiguracija sa zajedničkim emitorom



Moguća neutralizacija negativne povratne sprege



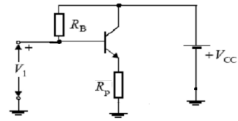
Masa u čvoru 2



Konfiguracija sa zajedničkim kolektorom

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)

