

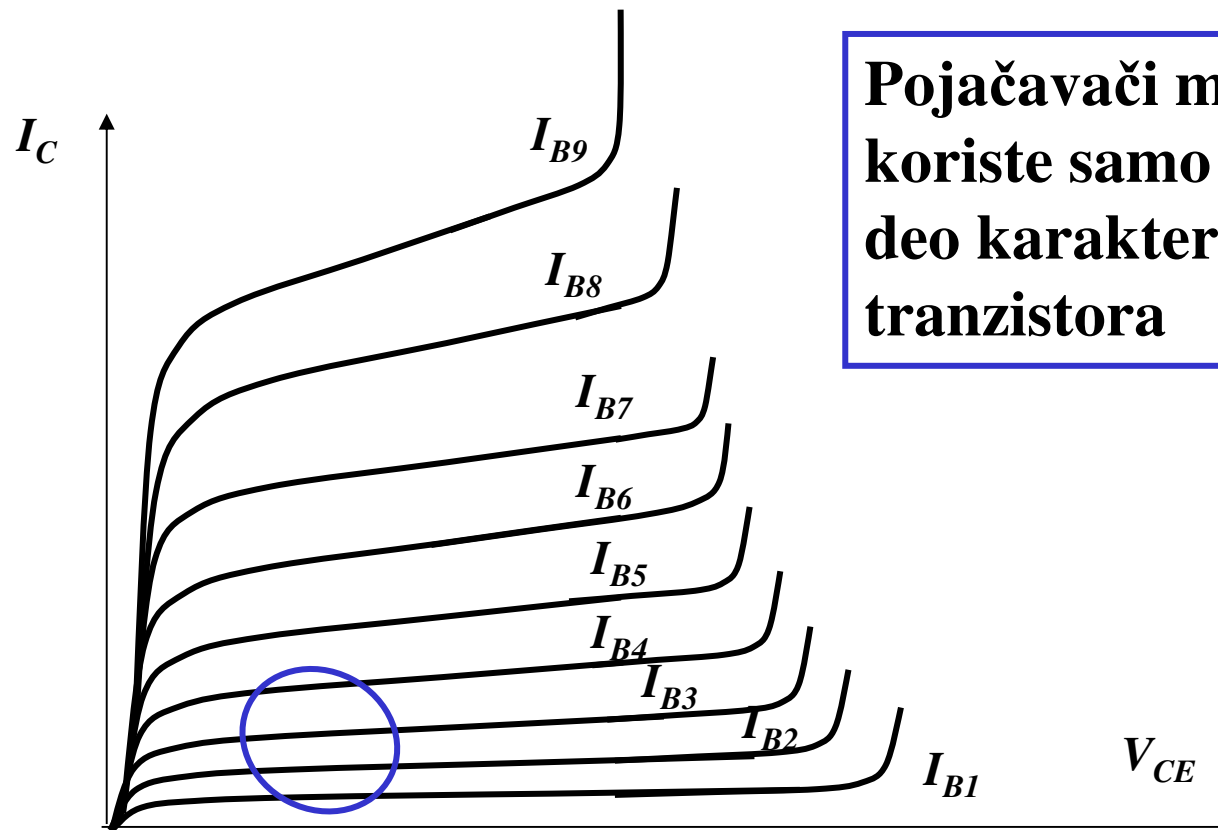
POJAČAVAČI SNAGE

Uvod

- Pojačavači snage koriste se kao izlazni stepen, na kraju pojačavačkog lanca.
- Ovi pojačavači treba da daju na izlazu što je moguće veću snagu sa što manje izobličenja i da je pri tom stepen iskorišćenja maksimalan. Pored toga bitno je da izlazna impedansa bude prilagođena potrošaču.
- S obzirom da se koristi cela radna oblast tranzistora uključujući i nelinearni deo izlazni signal je više izobličen nego kod naponskih pojačavača. To povlači za sobom činjenicu da pri njihovoj analizi nemogu ne važe linearni modeli za male signale.

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

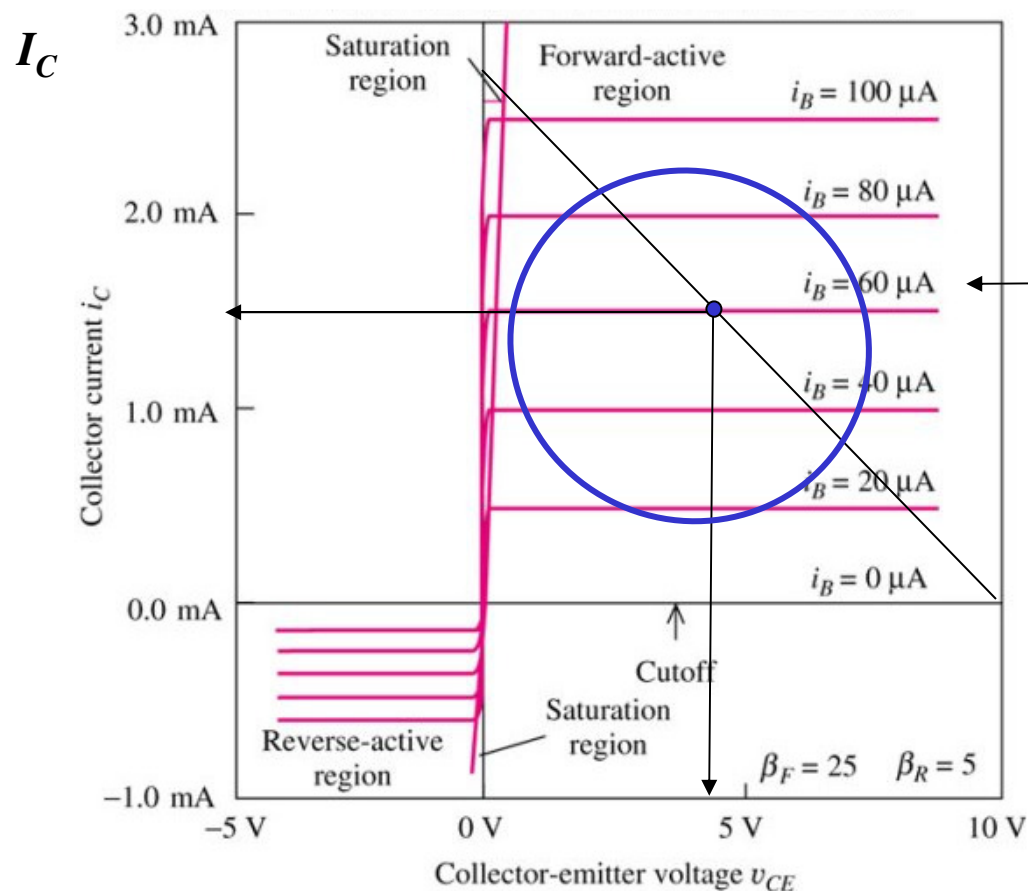
Izlazne karakteristike bipolarnog tranzistora koji radi u konfiguraciji sa zajedničkim emiterom



Pojačavači malih signala koriste samo najlinearniji deo karakteristika tranzistora

Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

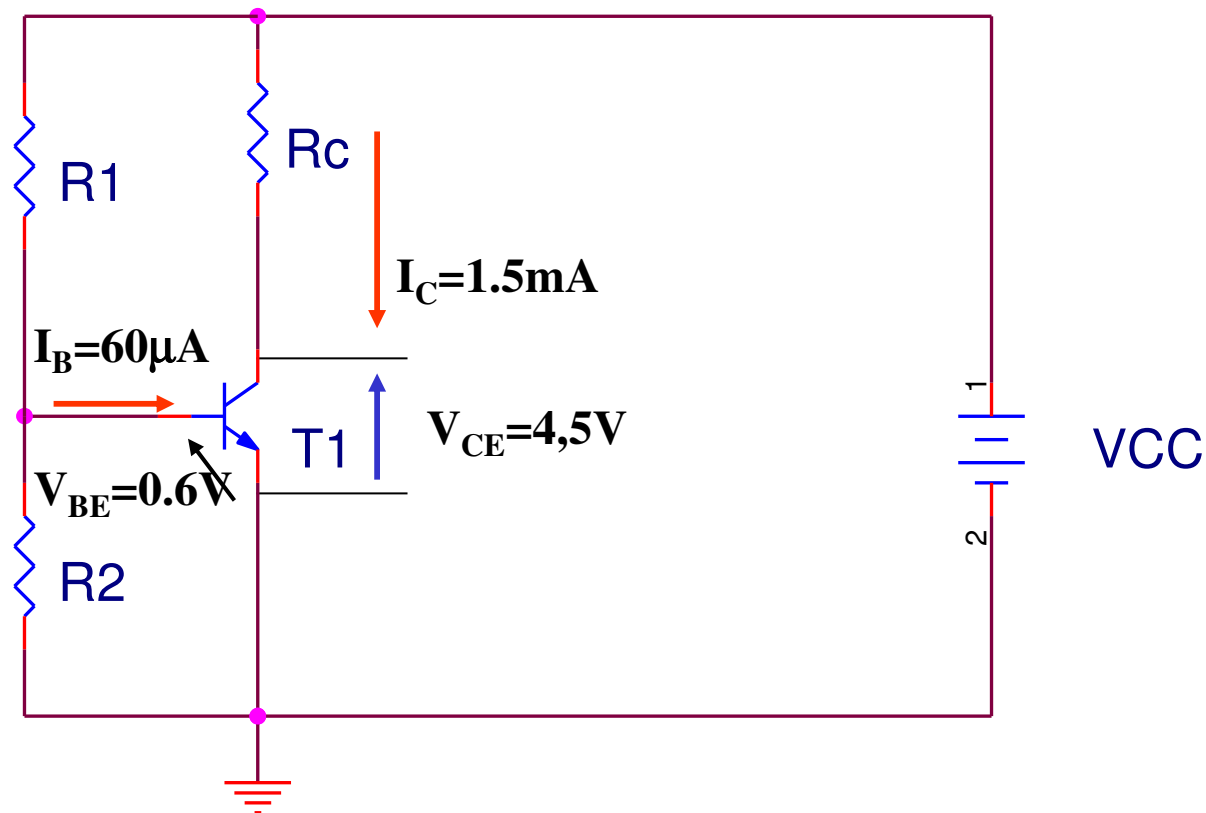
To se postiže izborom jednosmerne radne tačke,
odnosno jednosmernom polarizacijom tranzistora



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

Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

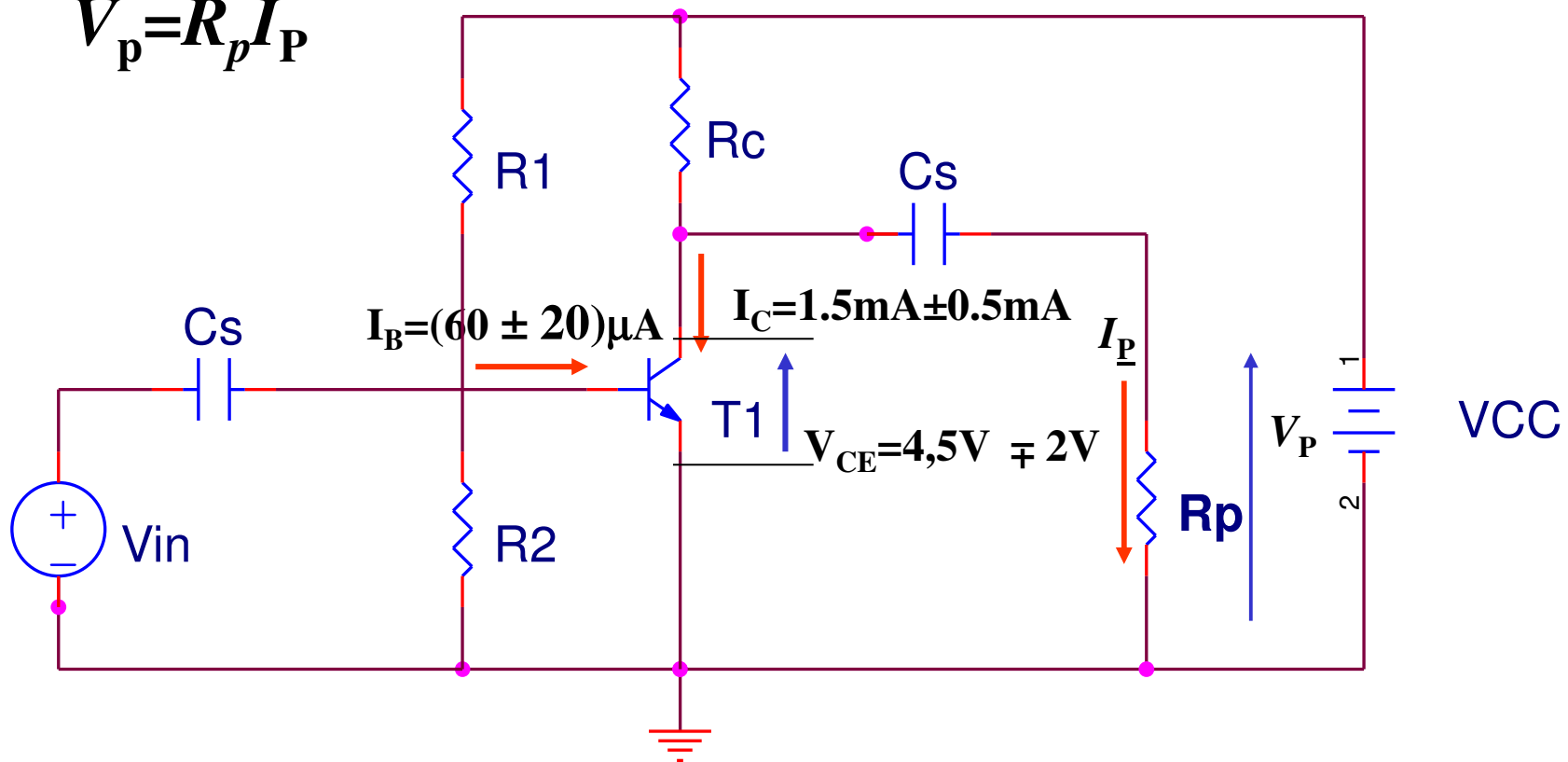
jednosmerna polarizacija tranzistora



Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

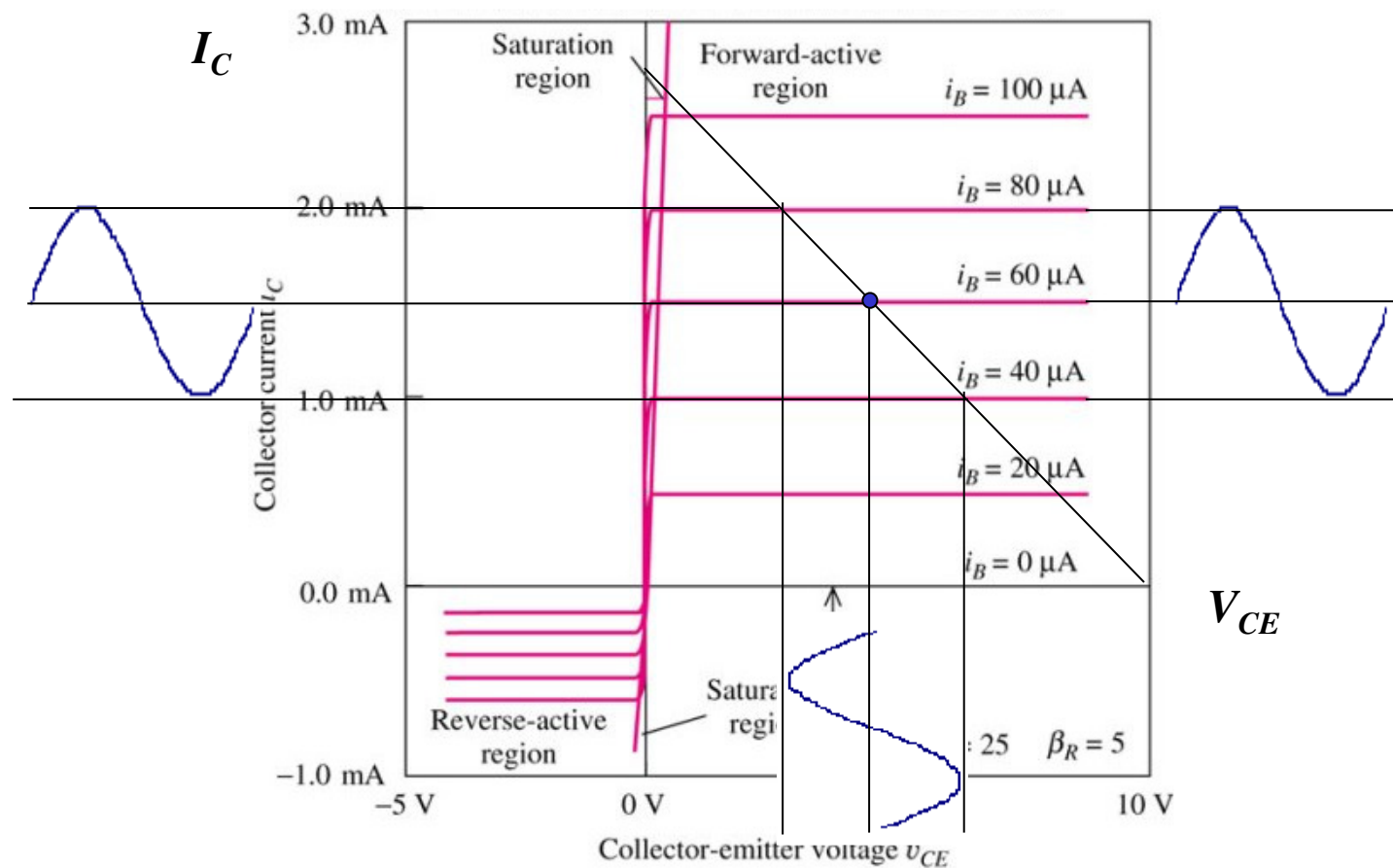
Pobuda malim naizmeničnim signalom preko C_s izazvaće na R_c promenu od $R_c(\beta i_B)$, tako da će na potrošaču da se javi naizmenična komponenta

$$V_p = R_p I_P$$



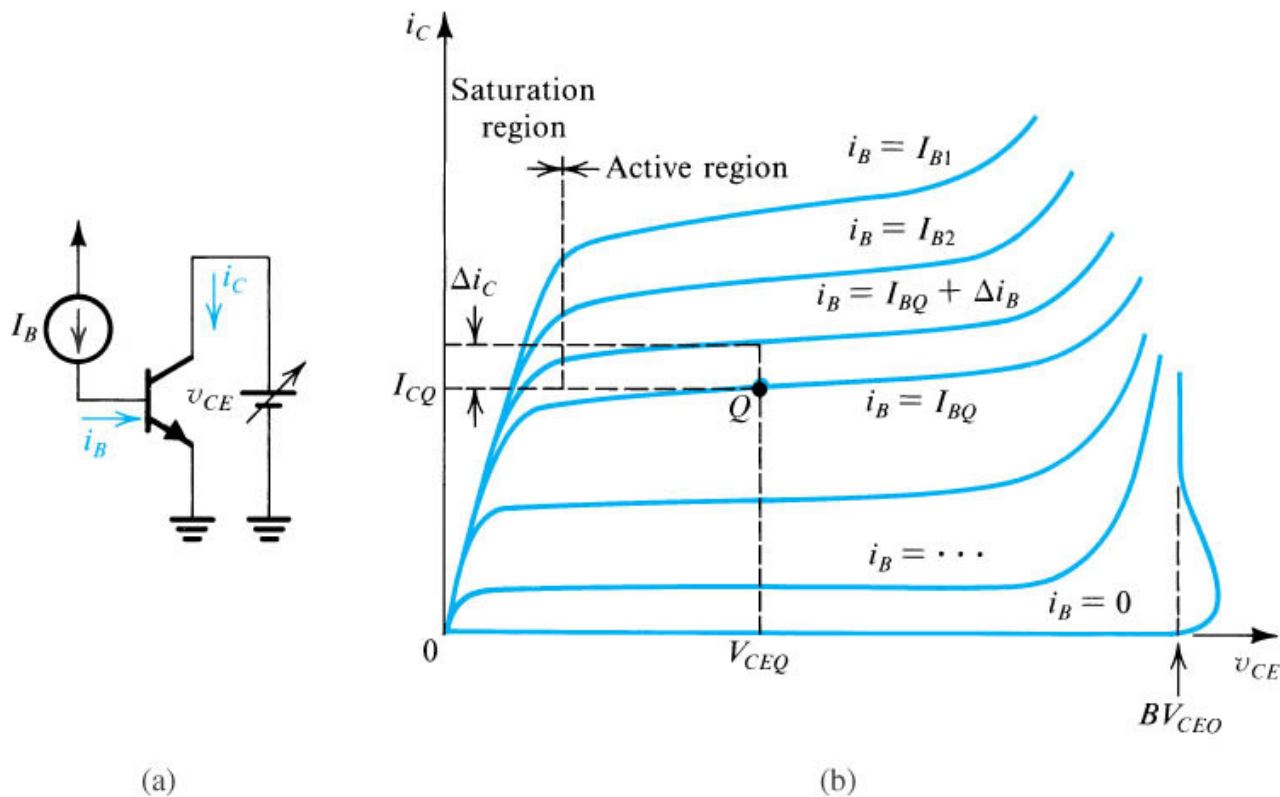
Da se podsetimo POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

jednosmerna polarizacija tranzistora + AC signal



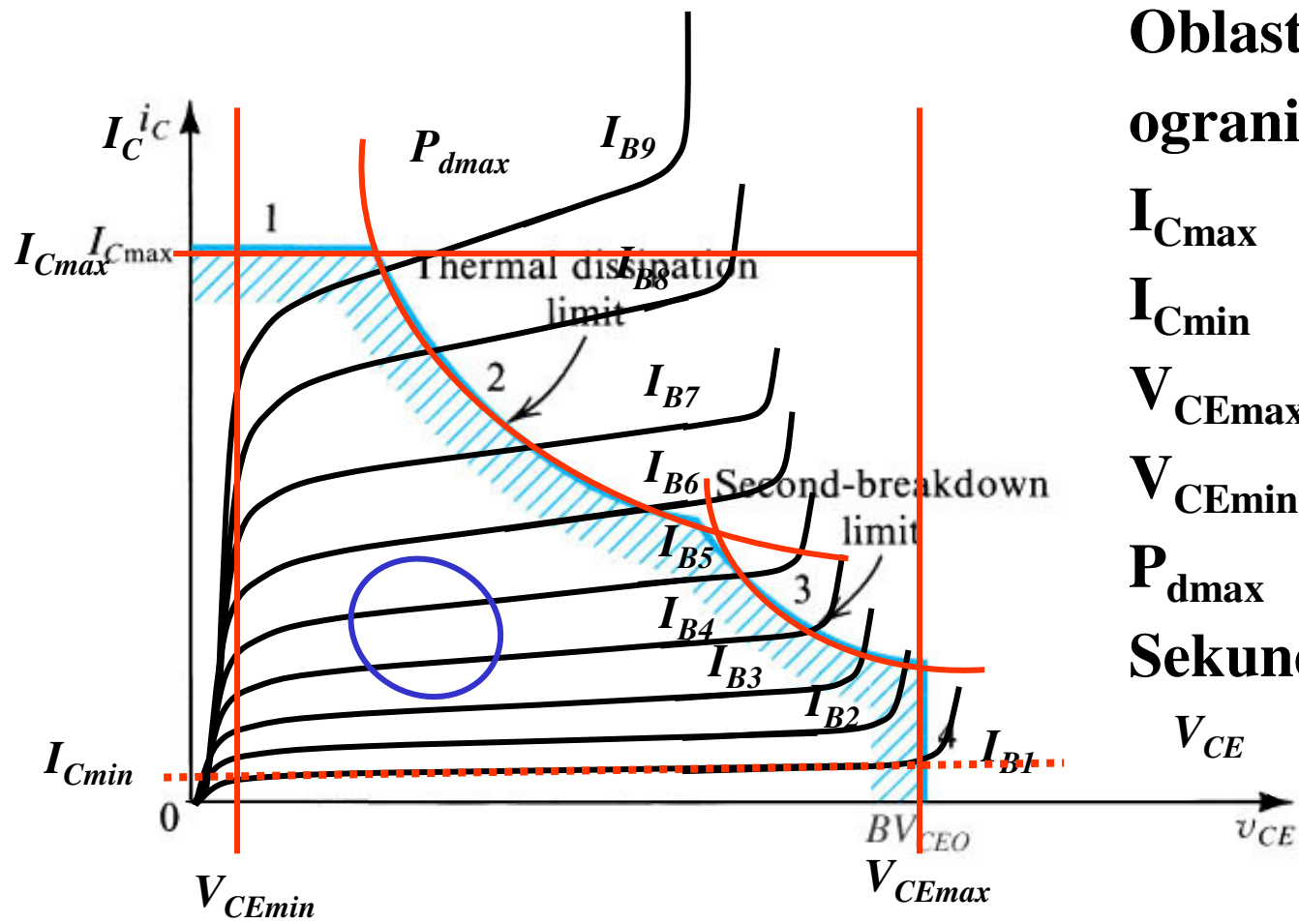
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Realno, karakteristike BJT nisu linearne



POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Od pojačavača velikih signala očekuje se da koristi se što veću oblast rada tranzistora!



Oblast rada ograničena je sa

$$I_{Cmax}$$

$$I_{Cmin}$$

$$V_{CEmax} = BV_{CE}$$

$$V_{CEmin} = V_{CEzas}$$

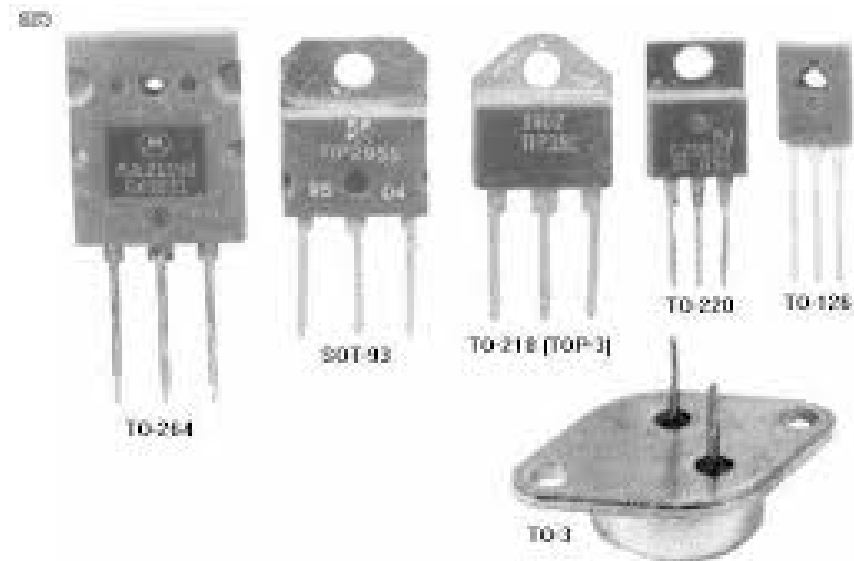
$$P_{dmax}$$

Sekundarni proboj

$$V_{CE}$$

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

„Snažni“ Tranzistori (snaga > 1W)



POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Generalno, za svaki uređaj definiše se pojam uložene snage i korisne snage. U ovom slučaju uložena snaga je zbir snage jednosmernog izvora napajanja P_{DC} i snage pobudnog signala, P_i . Korisna snaga je snaga signala na izlazu. Jedan deo snage koja se dobije od jednosmernog izvora napajanja i od pobudnog signala se dispira na komponentama.

Uložena snaga je povezana sa korisnom snagom i disipiranom snagom preko **jednačine balansa snaga**:

$$P_{DC} + P_i = P_D + P_o$$

P_{DC} je snaga jednosmernog izvora napajanja, P_i snaga pobudnog signala, P_D disipirana snaga, P_o snaga signala na izlazu ili korisna snaga.

S obzirom da uvek postoje gubici odnosno disipacija, **uložena snaga** mora biti veća od **utrošene snage**, odnosno korisne snage.

$$P_{DC} + P_i > P_o$$

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Na izlazu pojačavača, odnosno na potrošaču, razvija se veća snaga od snage koju pojačavaču predaje izvora signala. Ovu razliku u snazi obezbeđuje jednosmerni izvor napajanja. Da bi pojačavač funkcionisao neophodan je jednosmerni izvor napajanja, V_{CC} , iz koga pojačavač pojačavač “crpi” snagu.

Ukoliko pretpostavimo da je struja koja protiče kroz jednosmerni naponski generator V_{CC} periodična sa periodom T , onda je snaga koju ovaj generator predaju kolu:

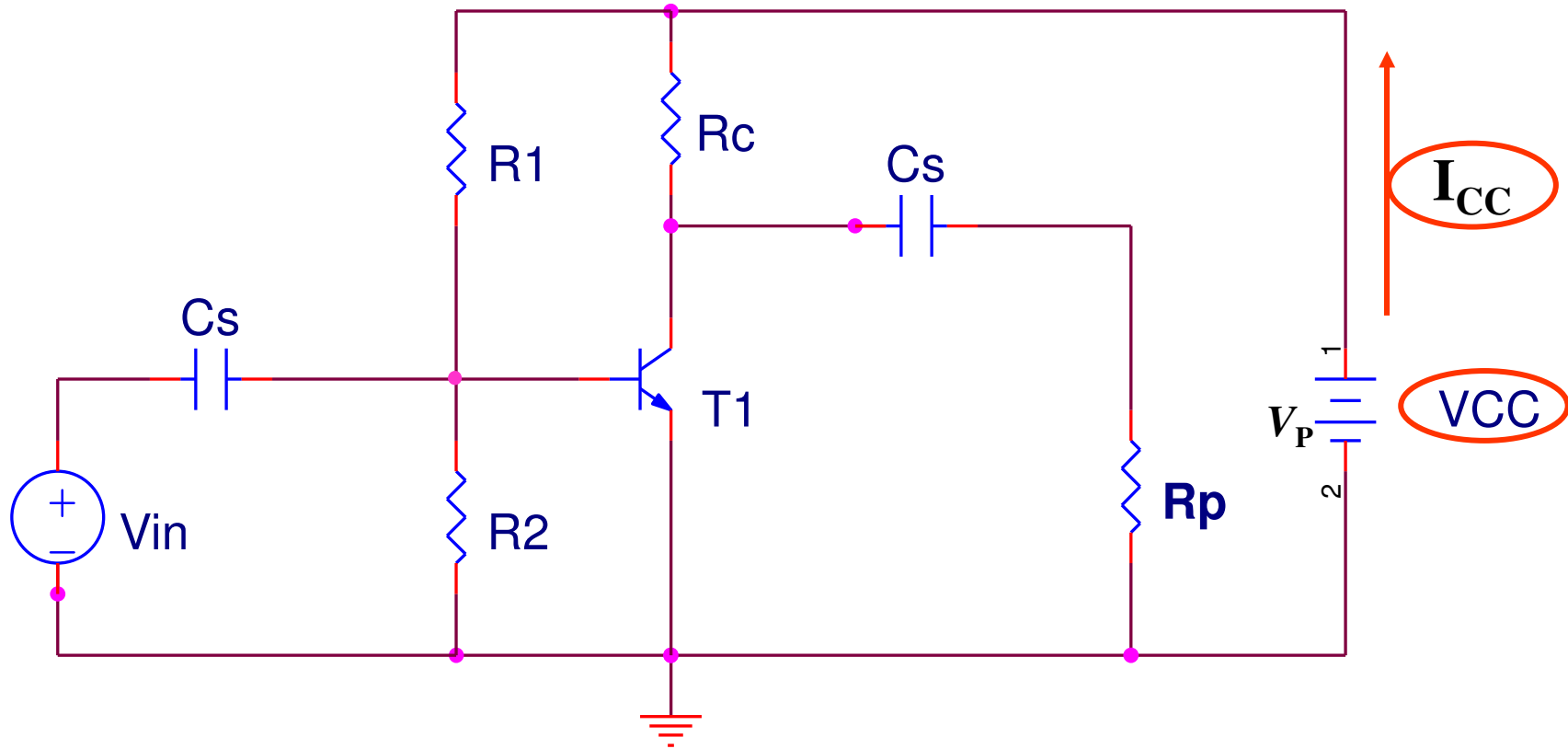
$$P_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T p_{CC}(t) dt = \frac{1}{T} \int_0^T V_{CC} \cdot i_{CC}(t) dt$$

$$P_{CC} = V_{CC} \cdot I_{CC}$$

Gde je: P_{CC} srednja vrednost snage izvora napajanja, $p_{CC}(t)$ trenutna snaga izvora napajanja, I_{CC} srednja vrednost struje kroz izvor napajanja.

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

$$P_{CC} = V_{CC} \cdot I_{CC}$$

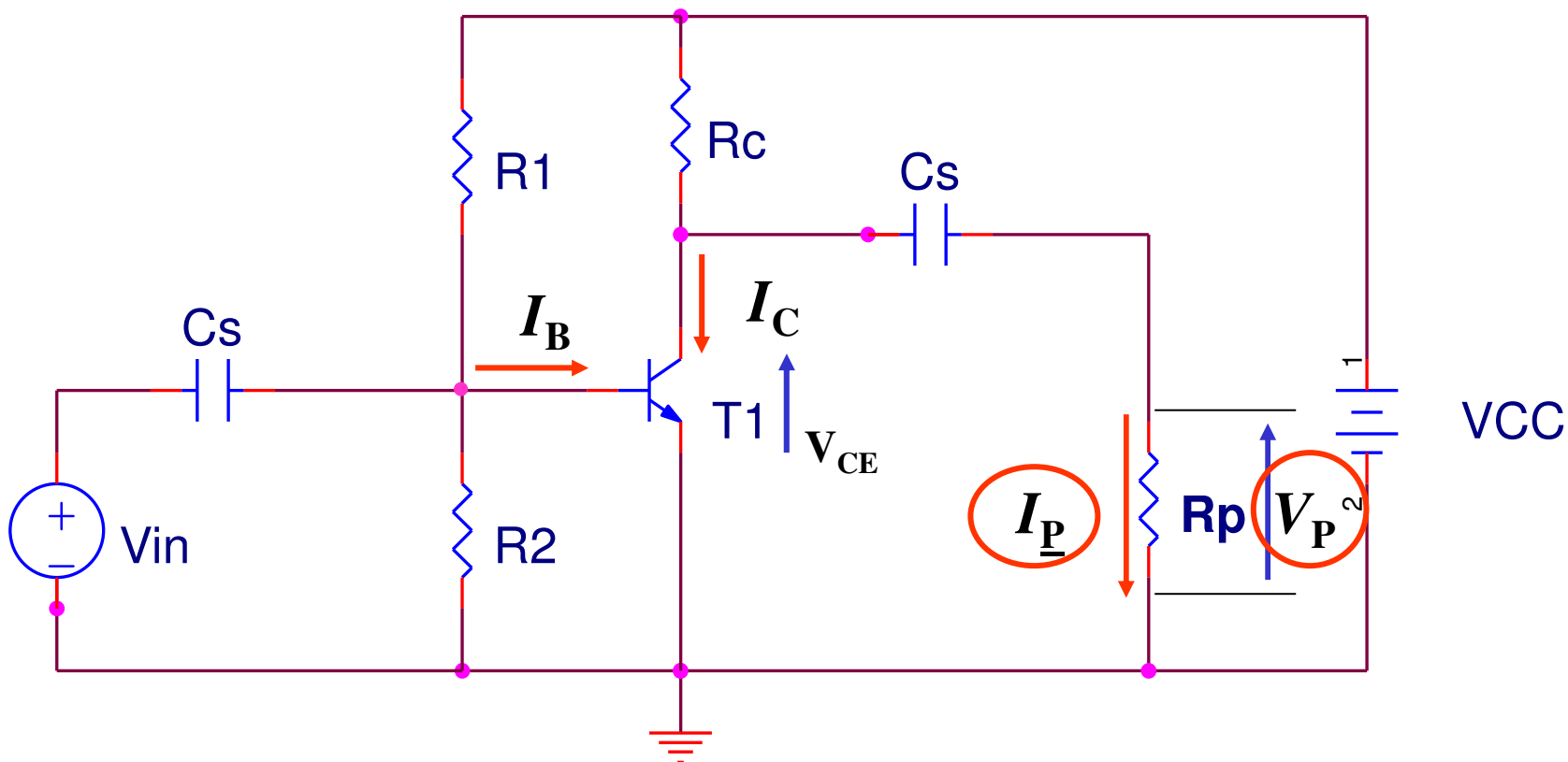


POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Korisna snaga je ona koja se ostvari na potrošaču

ona iznosi

$$P_k = P_P = V_P * I_P$$



POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Stepen korisnog dejstva, η , predstavlja odnos korisne snage na potrošaču,

$$P_k = V_P I_P$$

i ukupne snage koju predaje izvor za napajanje

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

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

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Idealni pojačavač snage bio bi onaj koji ima

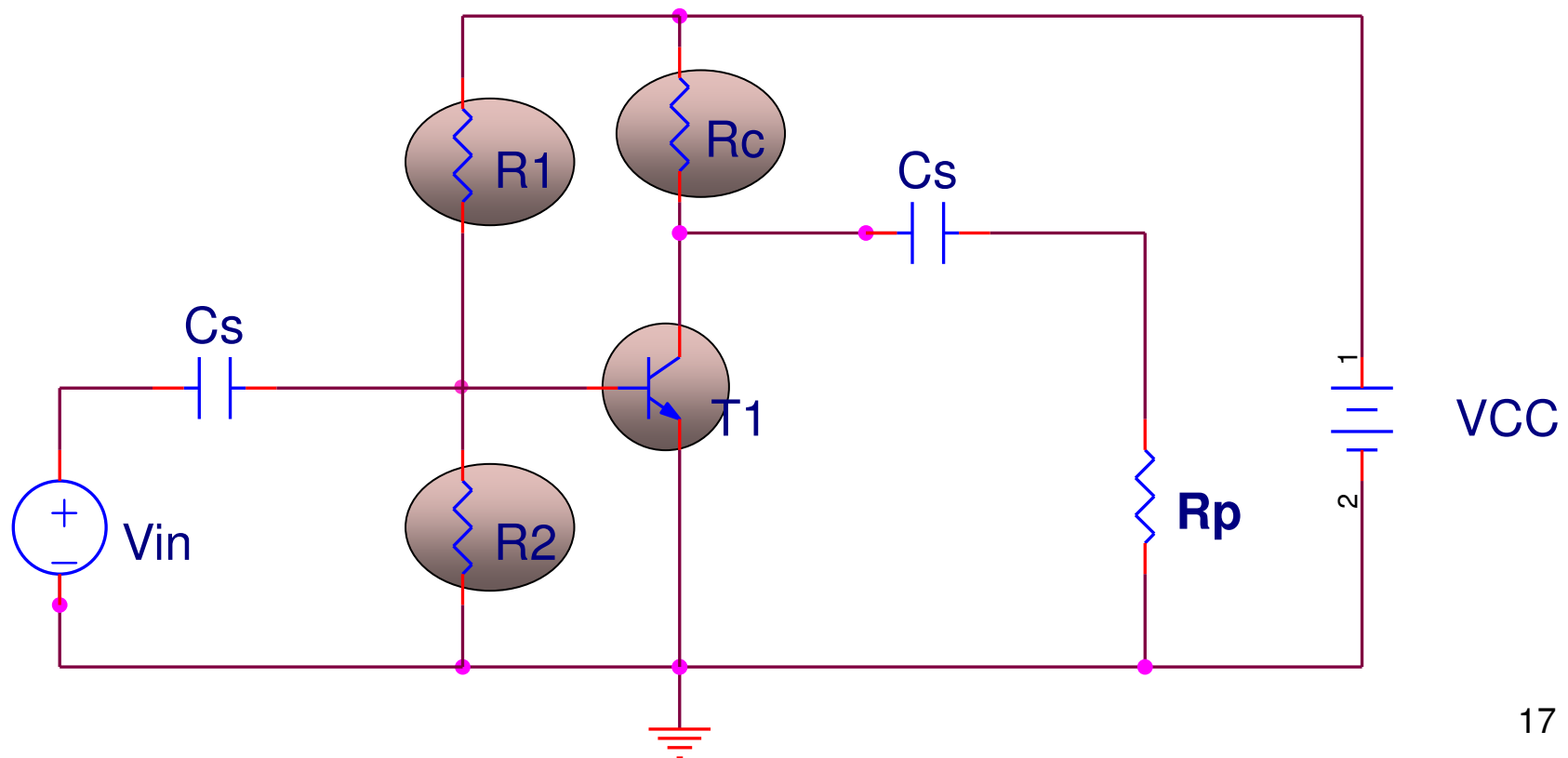
- stepen iskorišćenja $\eta=100\%$ ($P_K=P_{CC}$)
znači: snaga izvora za napajanje bez gubitaka dođe do potrošača
- neizobličen signal na potrošaču

Takvi pojačavači NE POSTOJE

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 ,...)

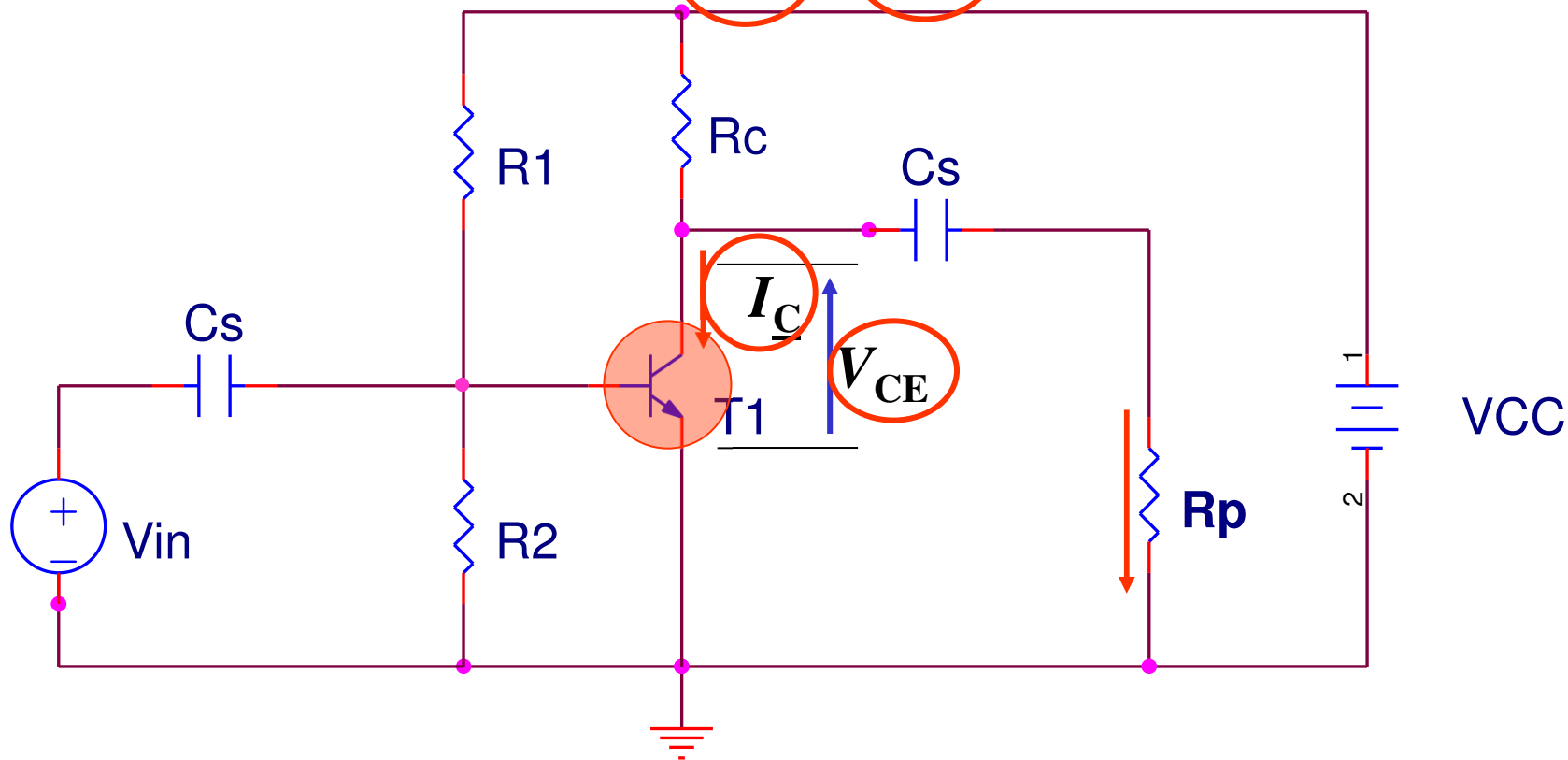


POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

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 **odsustvu korisnog signala**

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

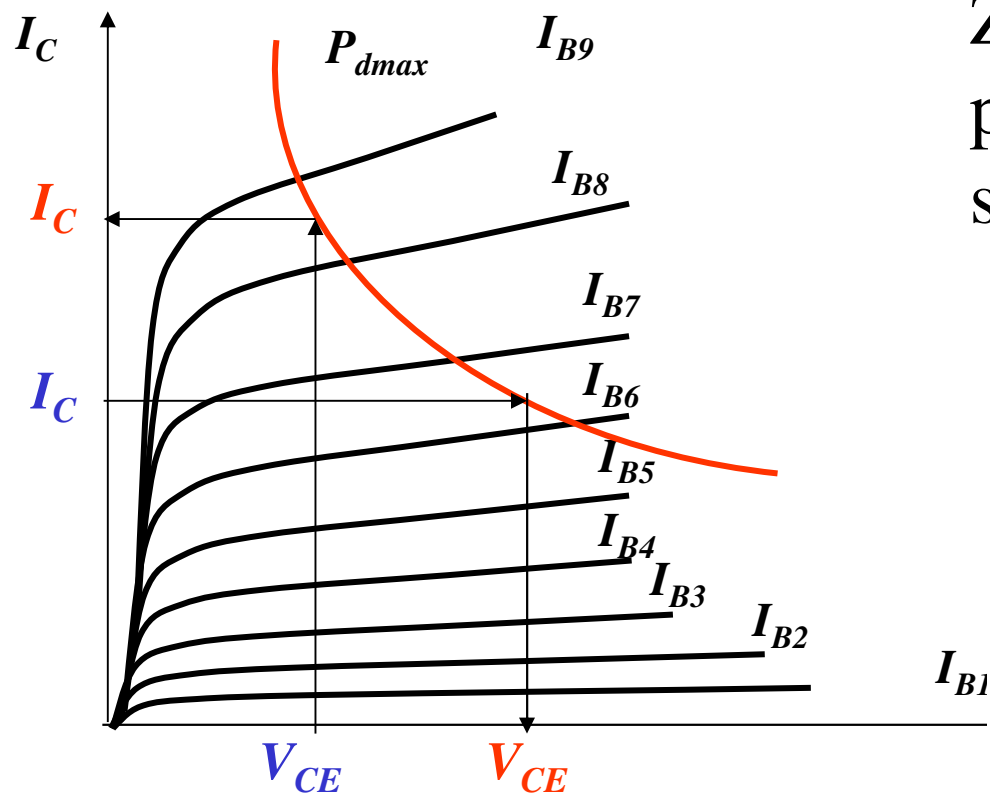
$$P_d = V_{DS} I_D \quad (\text{za FET/MOSFET})$$

Snaga na aktivnom elementu ne sme da premaši **maksimalnu snagu disipacije** koja je tehnološki parametar i nalazi se u katalozima P_{dmax} inače će tranzistor da pregori.

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

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

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Disipacija u funkciji TEMPERATURE

Temperatura na spoju komponente T_s menja se sa porastom snage disipacije na sledeći način:

$$T_s = T_o + R_{th} \cdot P_D \quad \text{Za } T_o > T_{o0}$$

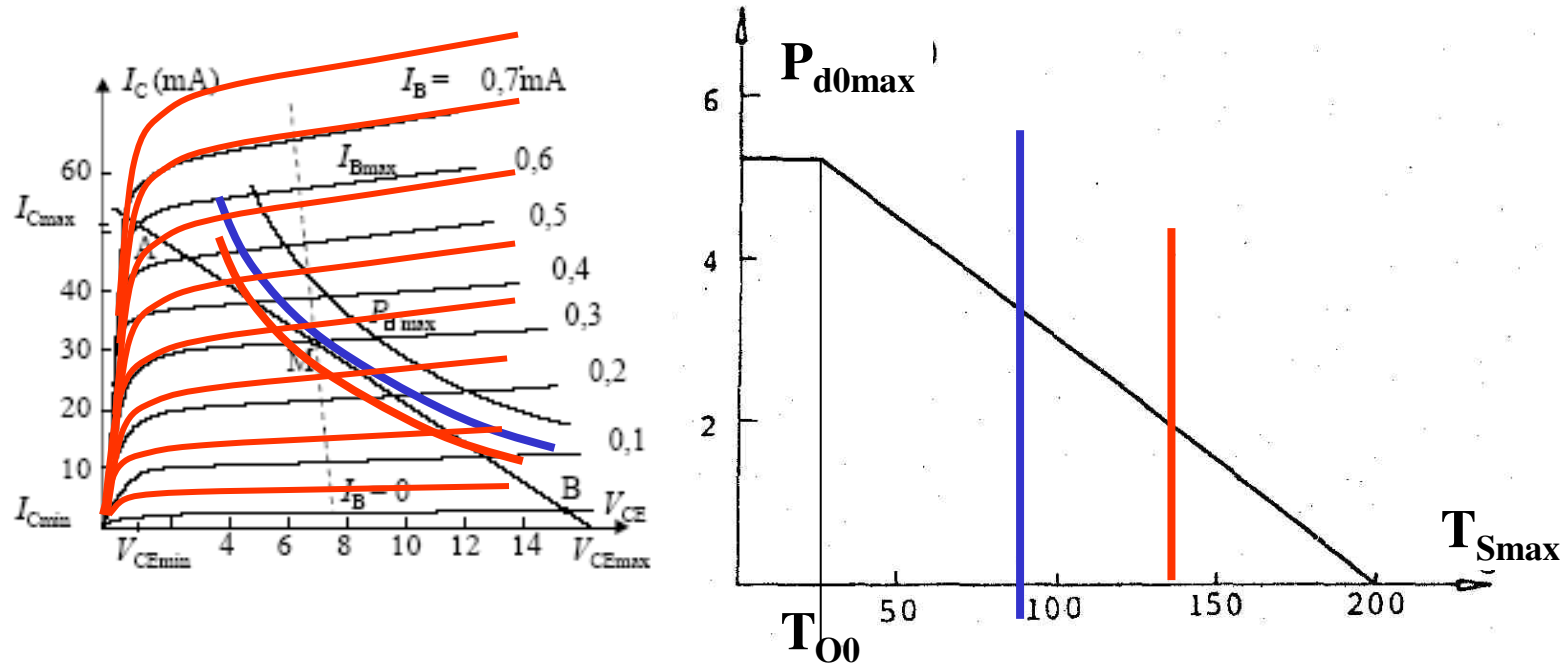
R_{th} – termička otpornost, T_o - Temperatura okoline

Vrednost temperature spoja ne sme da predje vrednost pri kojoj je komponenta uništena, T_{smax} . Odavde proizilazi da maksimalna snaga disipacije tranzistora pri spoljnoj temperaturi T_o iznosi:

$$P_{d \max} = \frac{T_{S \max} - T_o}{R_{th}}$$

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Disipacija u funkciji TEMPERATURE



Za $T_o > T_{O0}$
$$P_{d \max} = \frac{T_{S \max} - T_o}{R_{th}}$$

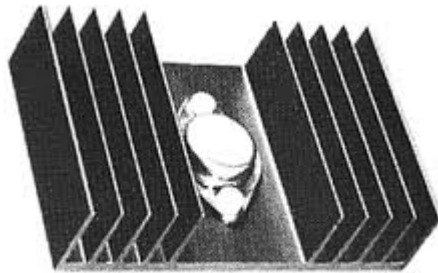
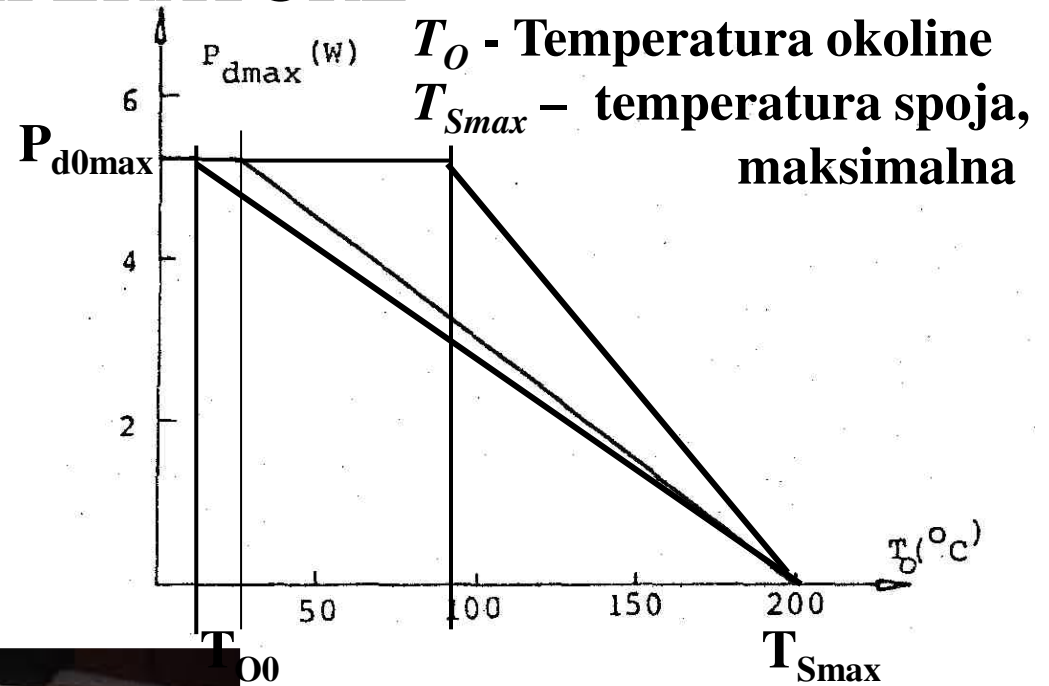
T_o - Temperatura okoline
 T_{Smax} - temperatura spoja,
 maksimalna

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Disipacija u funkciji TEMPERATURE

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

Kako se postiže?



POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Usled nelinearnosti prenosne karakteristike pojačavača pojavljuju se nelinearna izobličenja koja se manifestuju pojavom viših harmonika pri sinusnoj pobudi. Kao mera nelinearnih izobličenja pojačavača koristi se veličina koja se zove **koeficijent harmonijskog izobličenja** ili **klir faktor**.

Klir faktor n -tog harmonika signala x , definiše se kao odnos efektivne vrednosti napona n -tog harmonika i efektivne vrednosti napona osnovnog harmonika

$$k_n = \frac{V_n}{V_1}$$

Ukupan klir faktor je odnos efektivne vrednosti svih viših harmonika napona i efektivne vrednosti osnovnog harmonika napona.

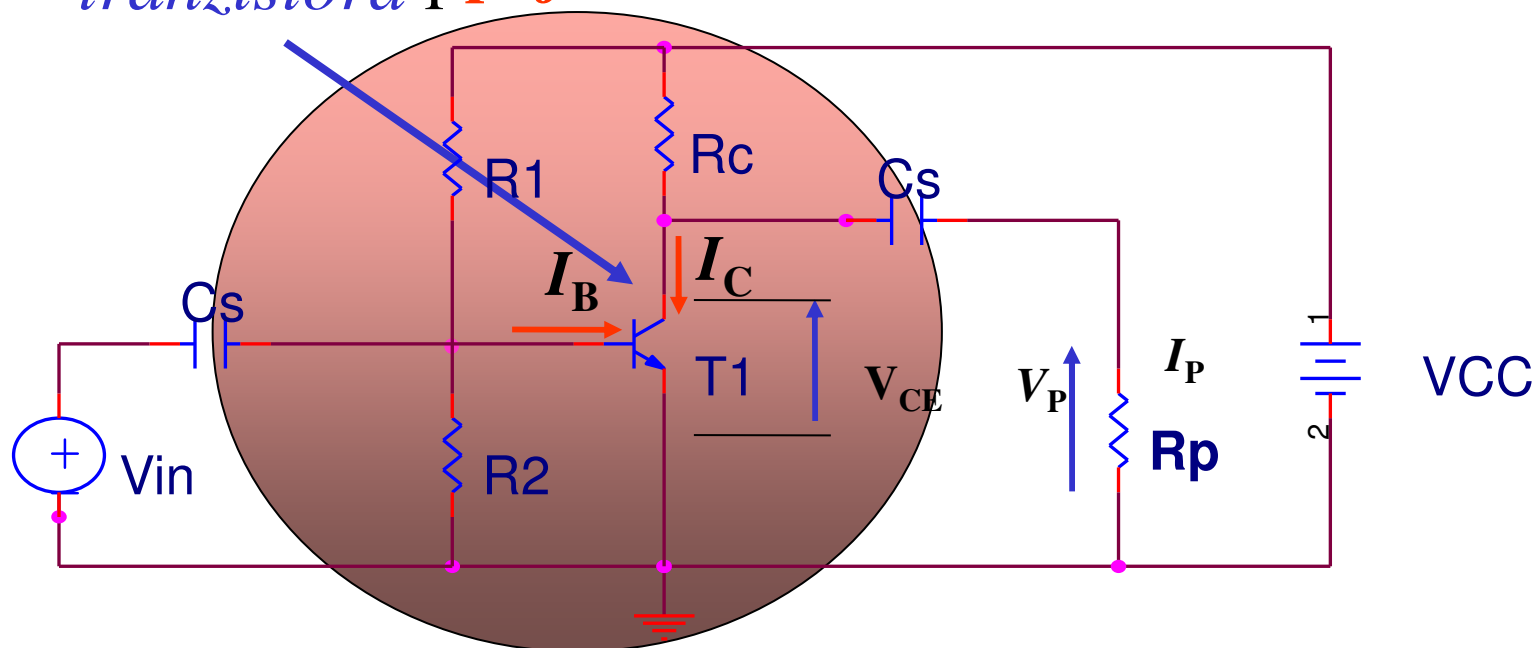
$$k = \frac{\sqrt{\sum_{i=2}^N V_i^2}}{V_1}$$

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

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

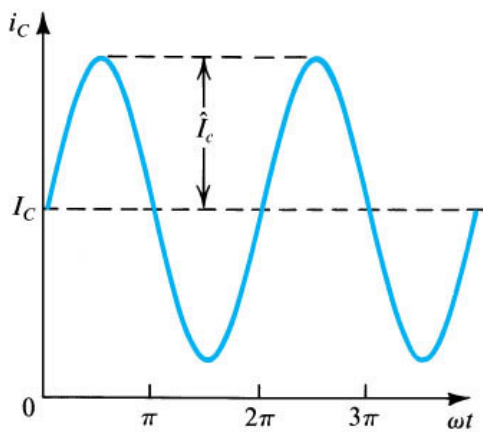
Stepen izobličenja i snaga potrošena na tranzistoru zavise od položaja radne tačke.

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

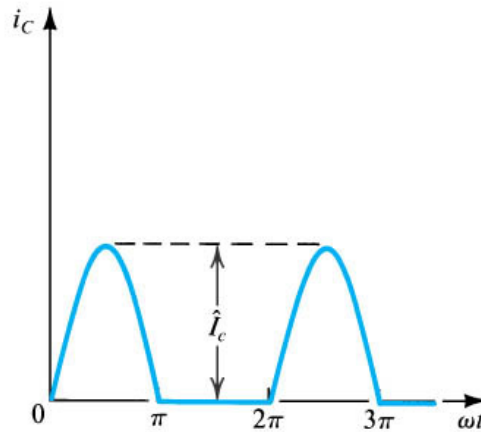


Klasifikacija pojačavača snage

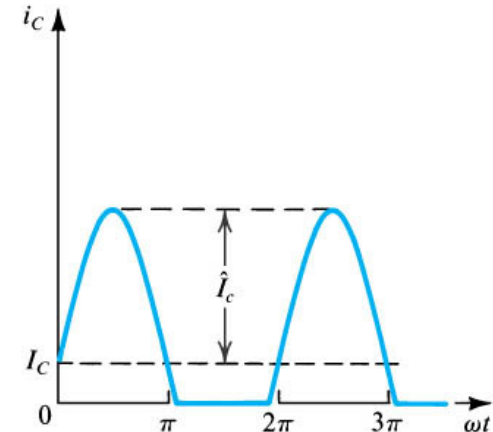
Pojačavači snage se klasifikuju prema tome koliki deo periode čini vremenski interval u toku koga tranzistor vodi, odnosno pojačava signal. Najšire zastupljeni pojačavači snage su pojačavači u klasama: A, B, AB, C. Pojačavči u klasama A, B i su širokopojasni pojačavači dok se klasa C predstavlja selektivni pojačavač



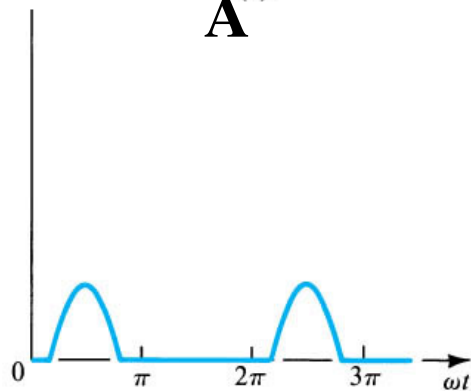
A^(a)



B^(b)



AB

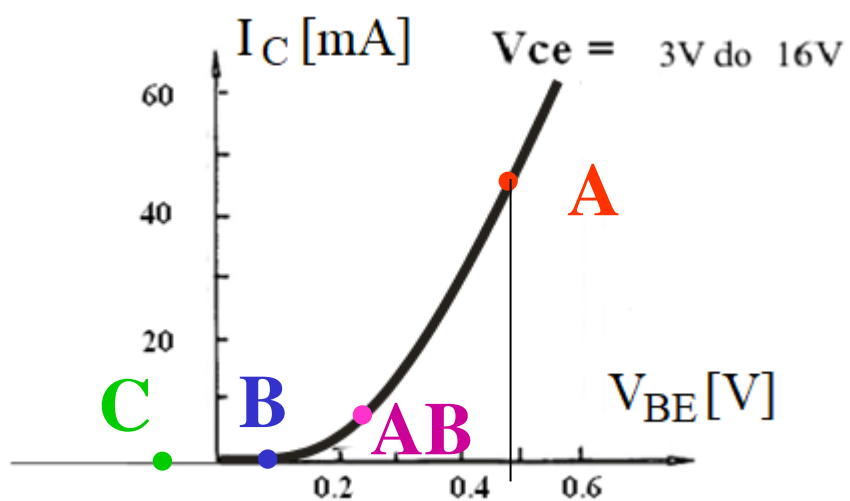


(d)

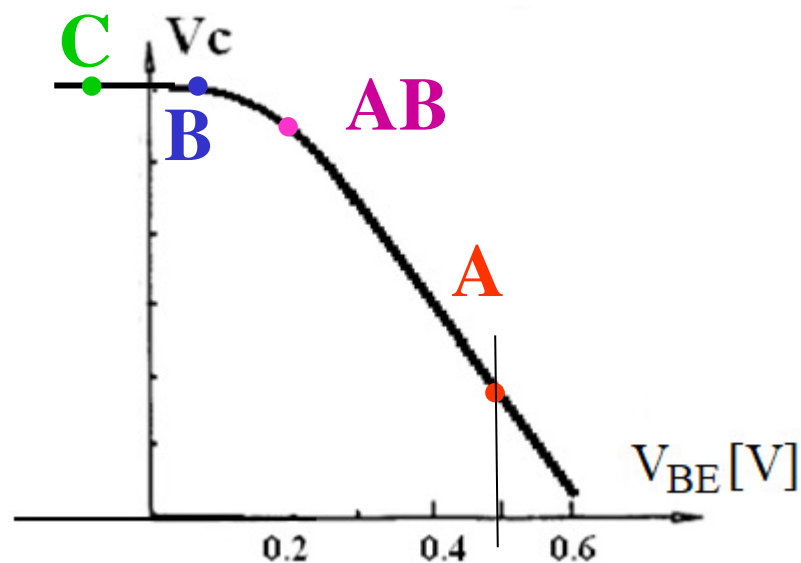
Klasa C

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Položaj radne tačke tranzistora na na prenosnoj karakteristici određuje u kojoj klasi radi pojačavač.



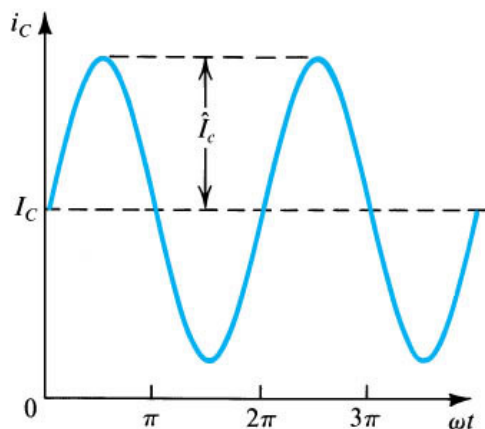
Strujno-naponska prenosna karakteristika



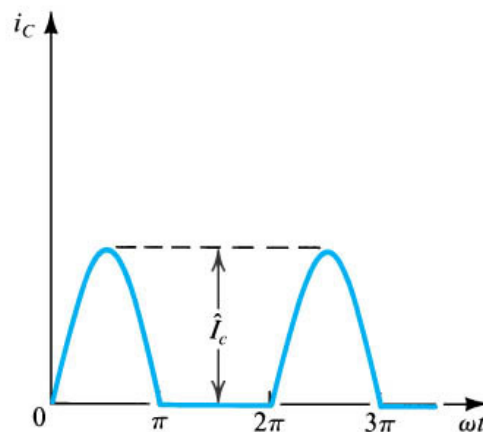
Naponsko-naponska prenosna karakteristika

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

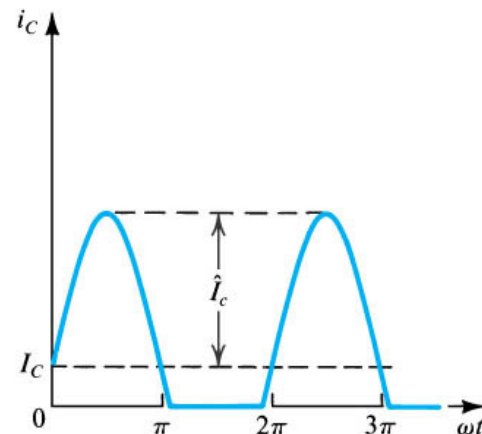
Klasa A, B i AB



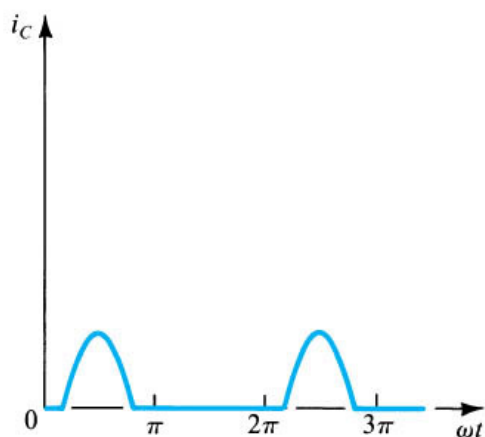
A



B



AB



(d)

C

Ugao proticanja je odnos vremenskog interval u toku koga teče struja, Δt , i periode pobudnog signala, T .

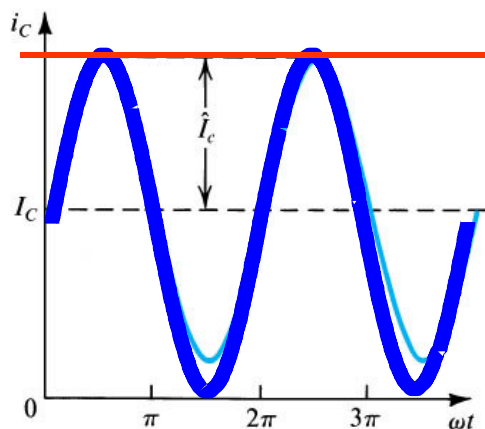
$$\theta = 2\pi \cdot \frac{\Delta t}{T}$$

	A	AB	B	C
Ugao proticanja θ	360°	$180^\circ \div 360^\circ$	180°	$<180^\circ$

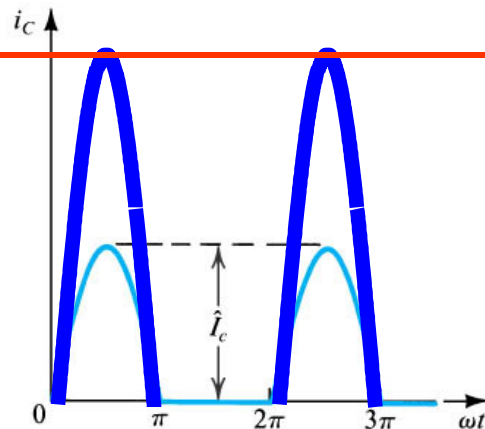
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

Klasa A, B i AB

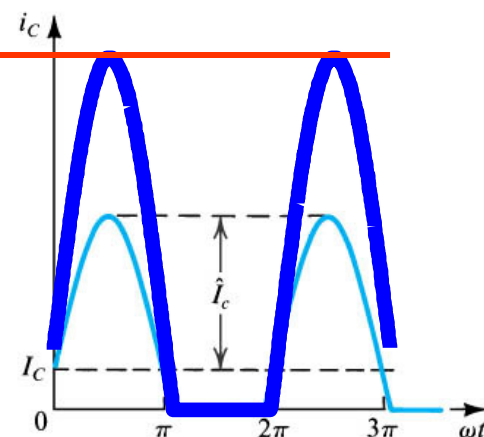
za širokopoljasne pojačavače



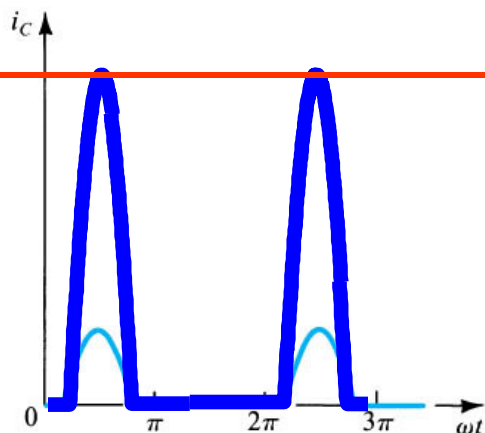
(a)
A



(b)
B



AB



(d)

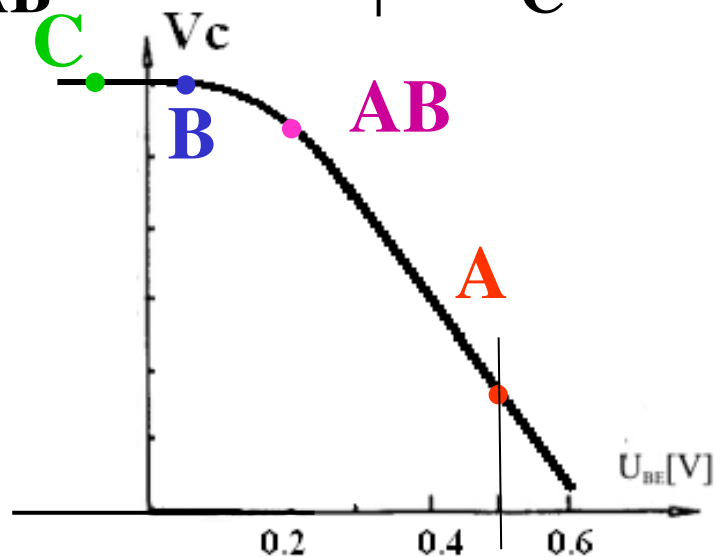
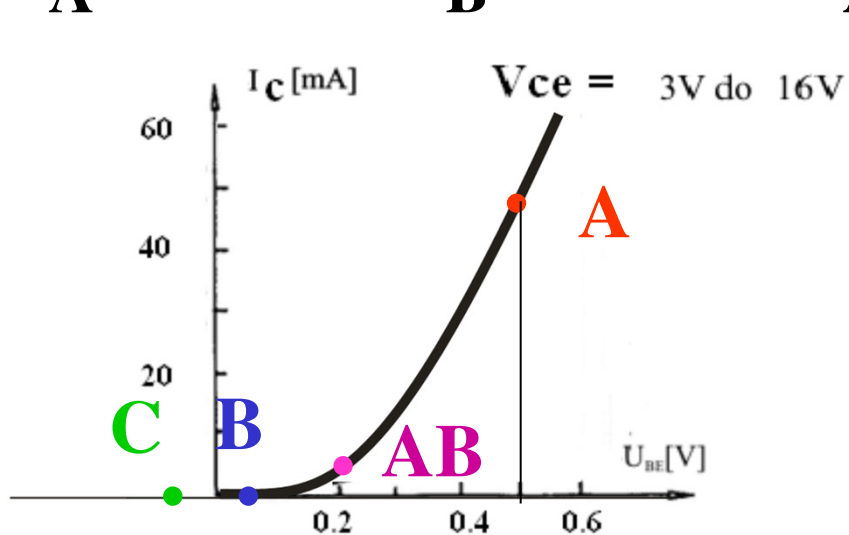
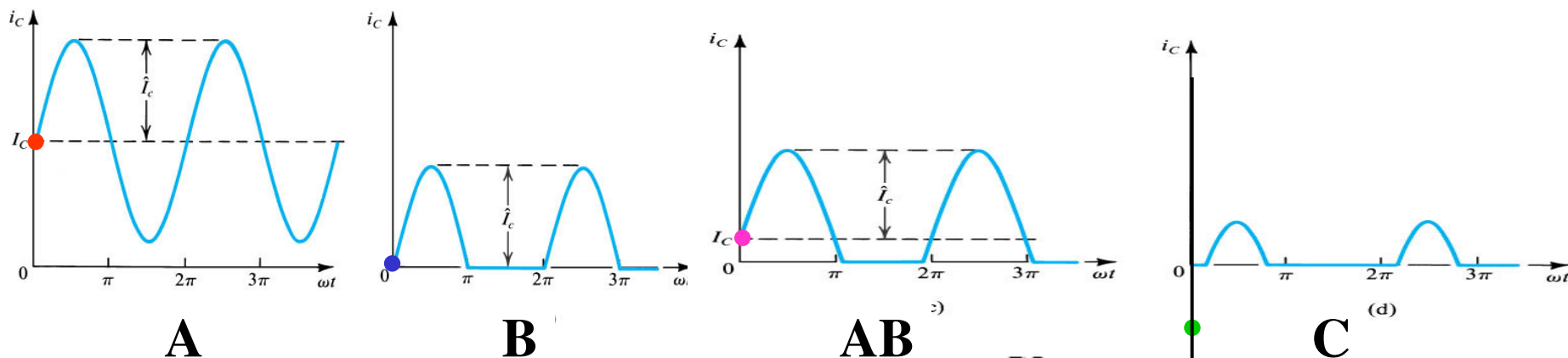
Klasa C

za uskopoljasne,
selektivne, pojačavače

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

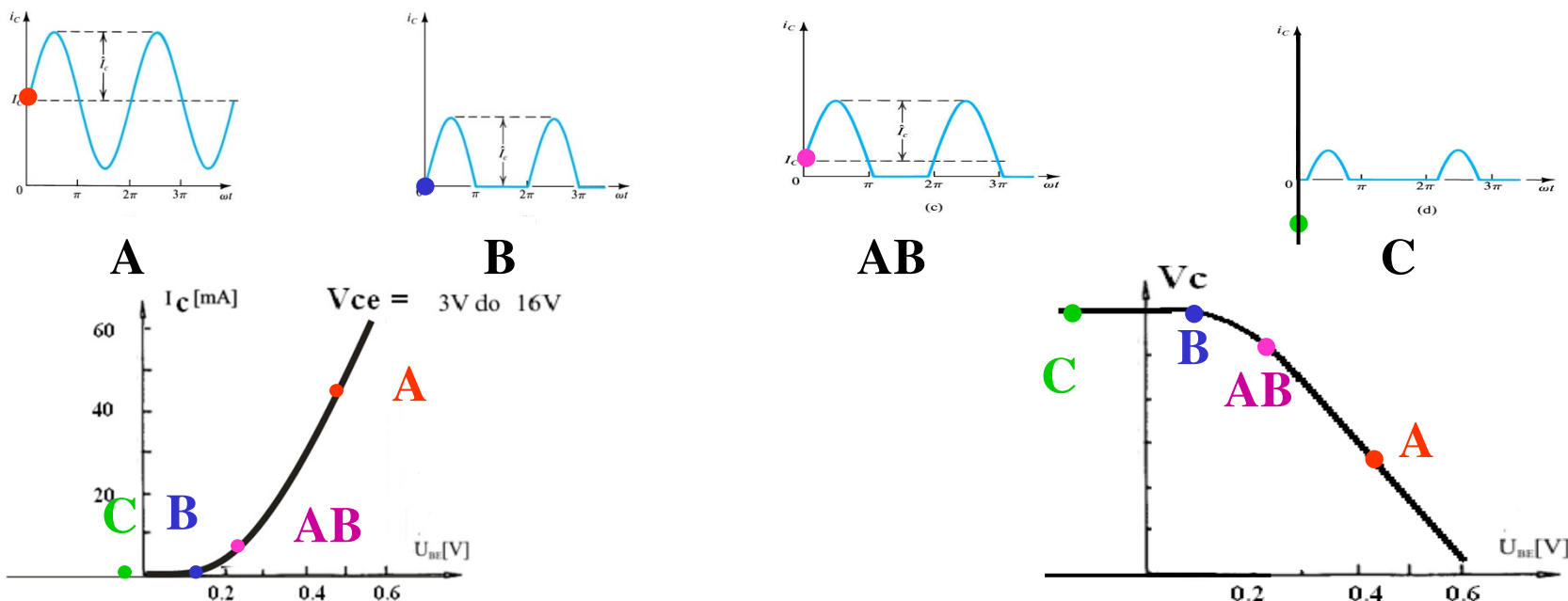
Klasifikacija pojačavača

Prema radnoj tački (A, B, AB, C)



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

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

PROJEKTOVANJE POJAČAVAČA SNAGE

Kako izabrati

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

Da bi se dobilo

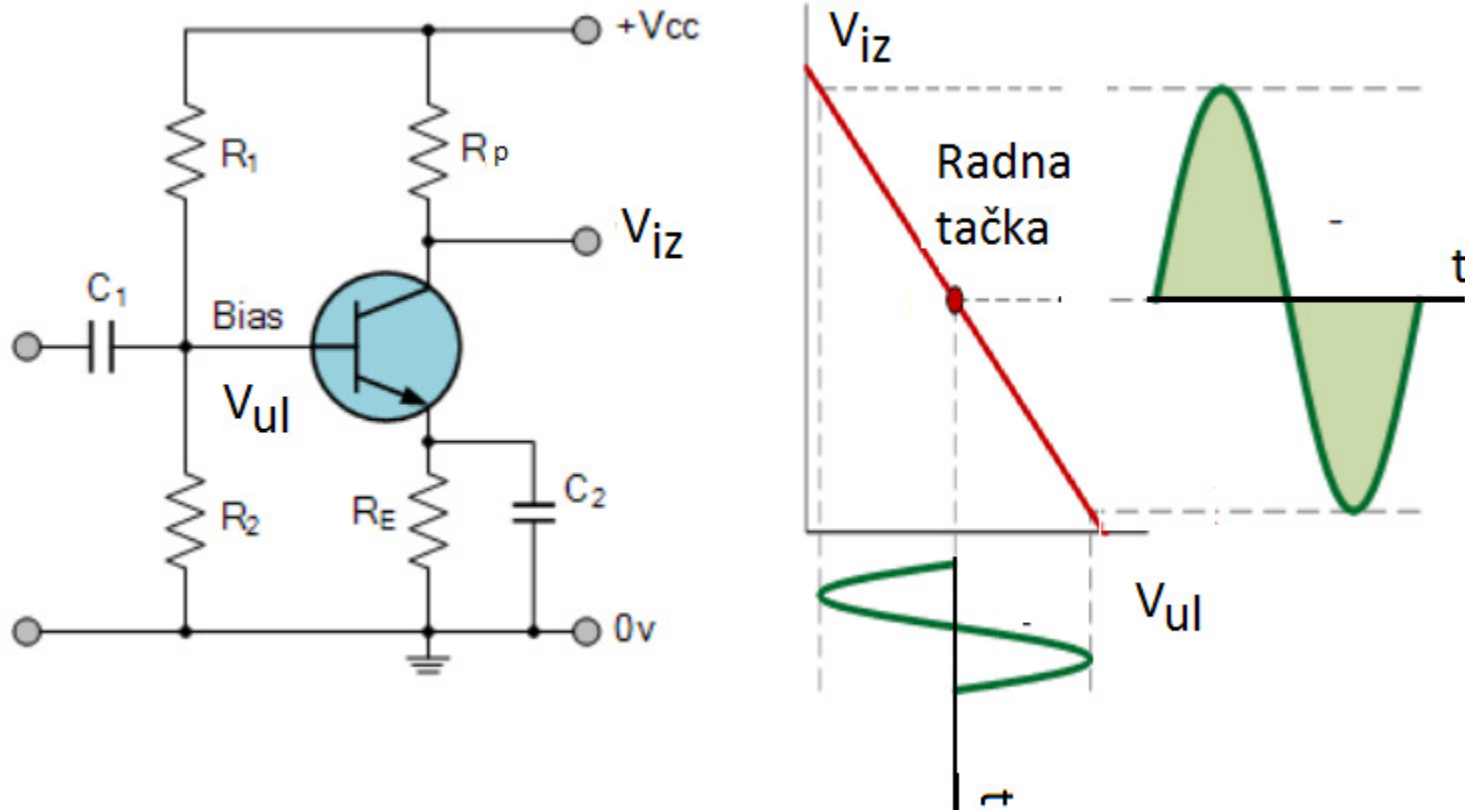
- **željena snaga na izlazu**
- **minimalna izobličenja,**
- **dozvoljena disipacija na aktivnom elementu**

POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA

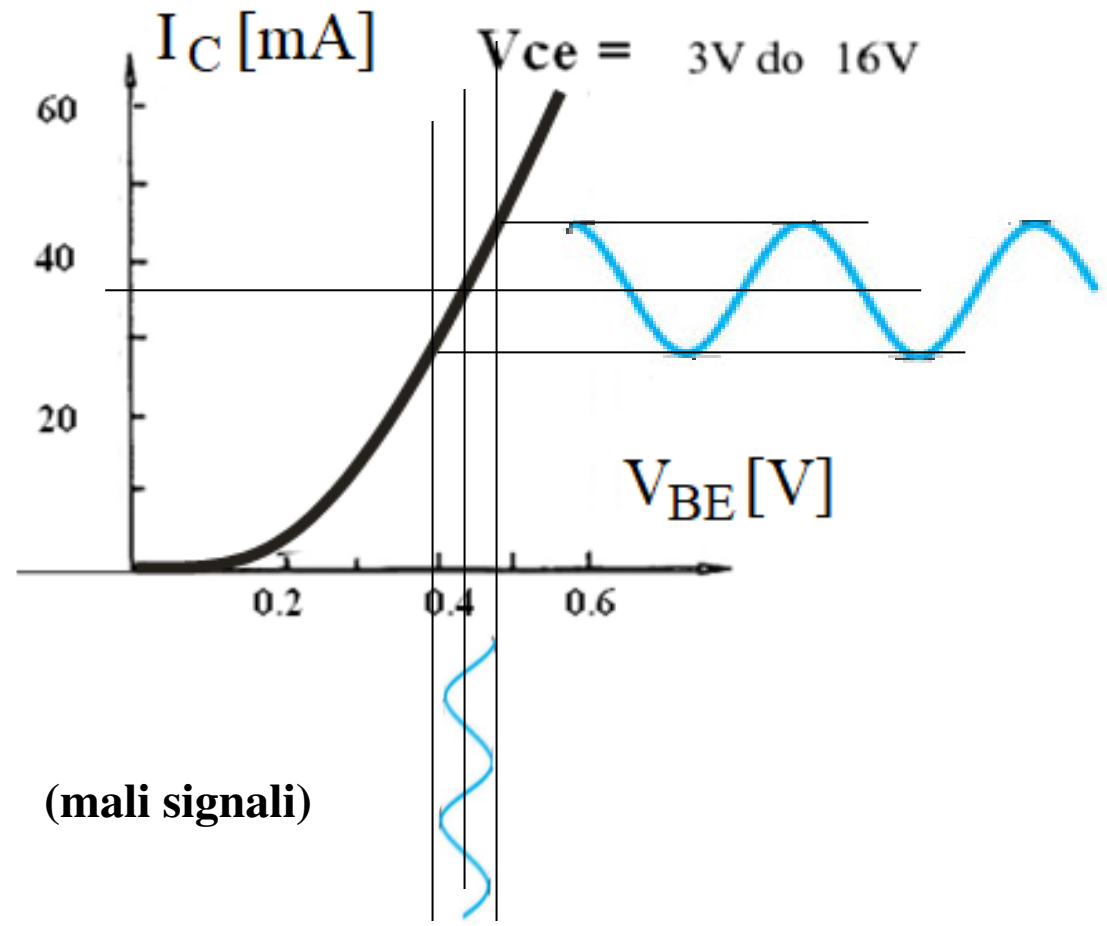
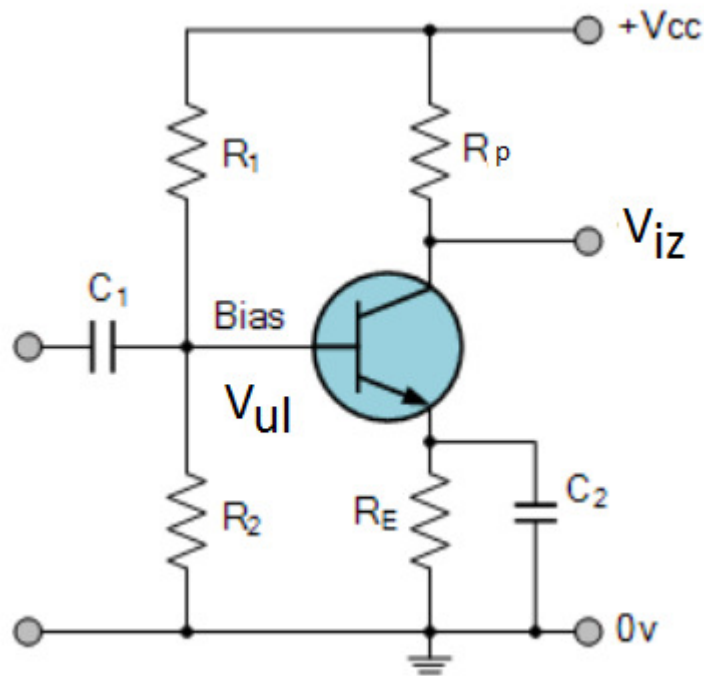
Pojačavač snage klase A

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Pojačavač snage u klasi A sa bipolarnim tranzistorom

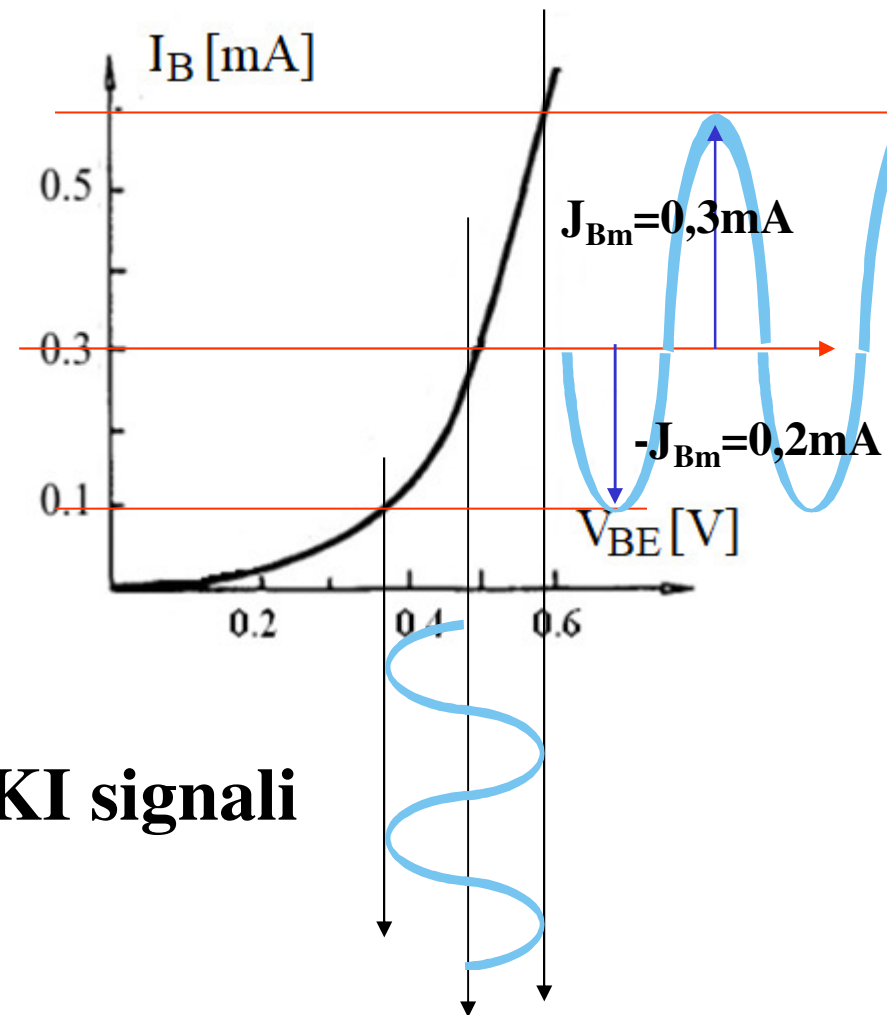
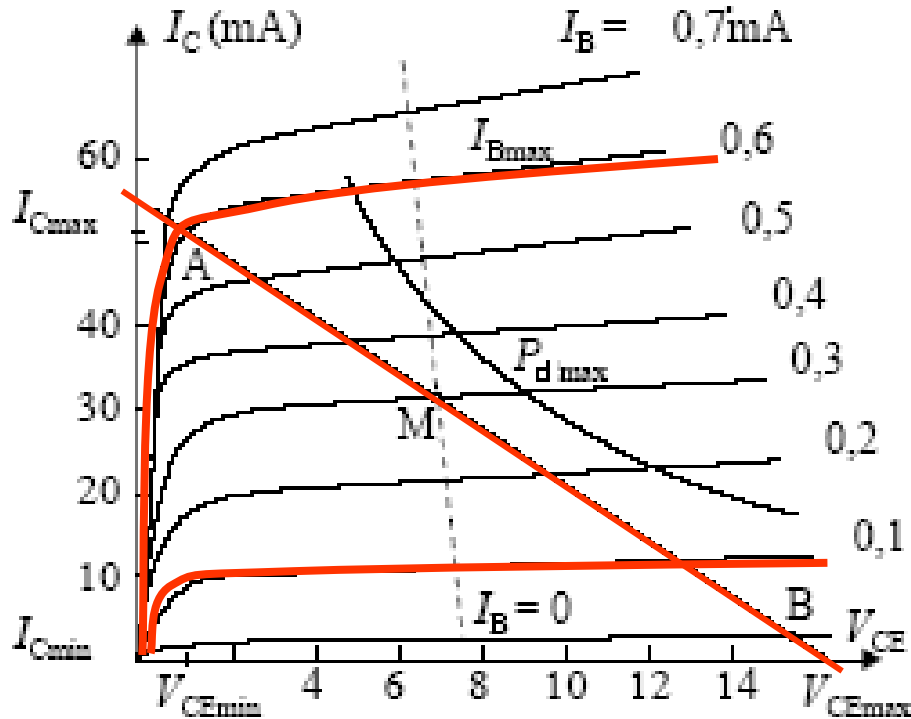


Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom



Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

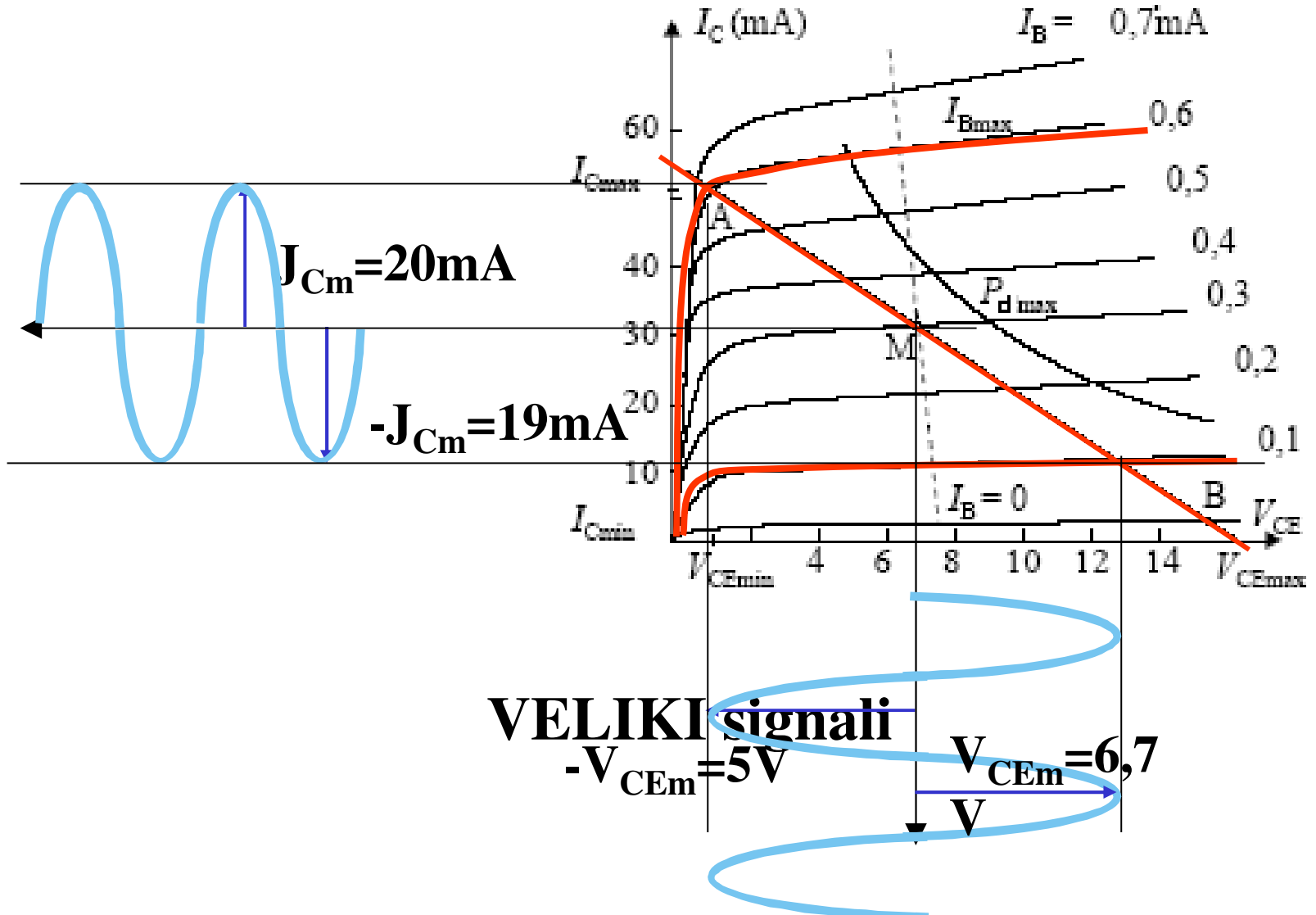
Efekat VELIKIH signala



VELIKI signali

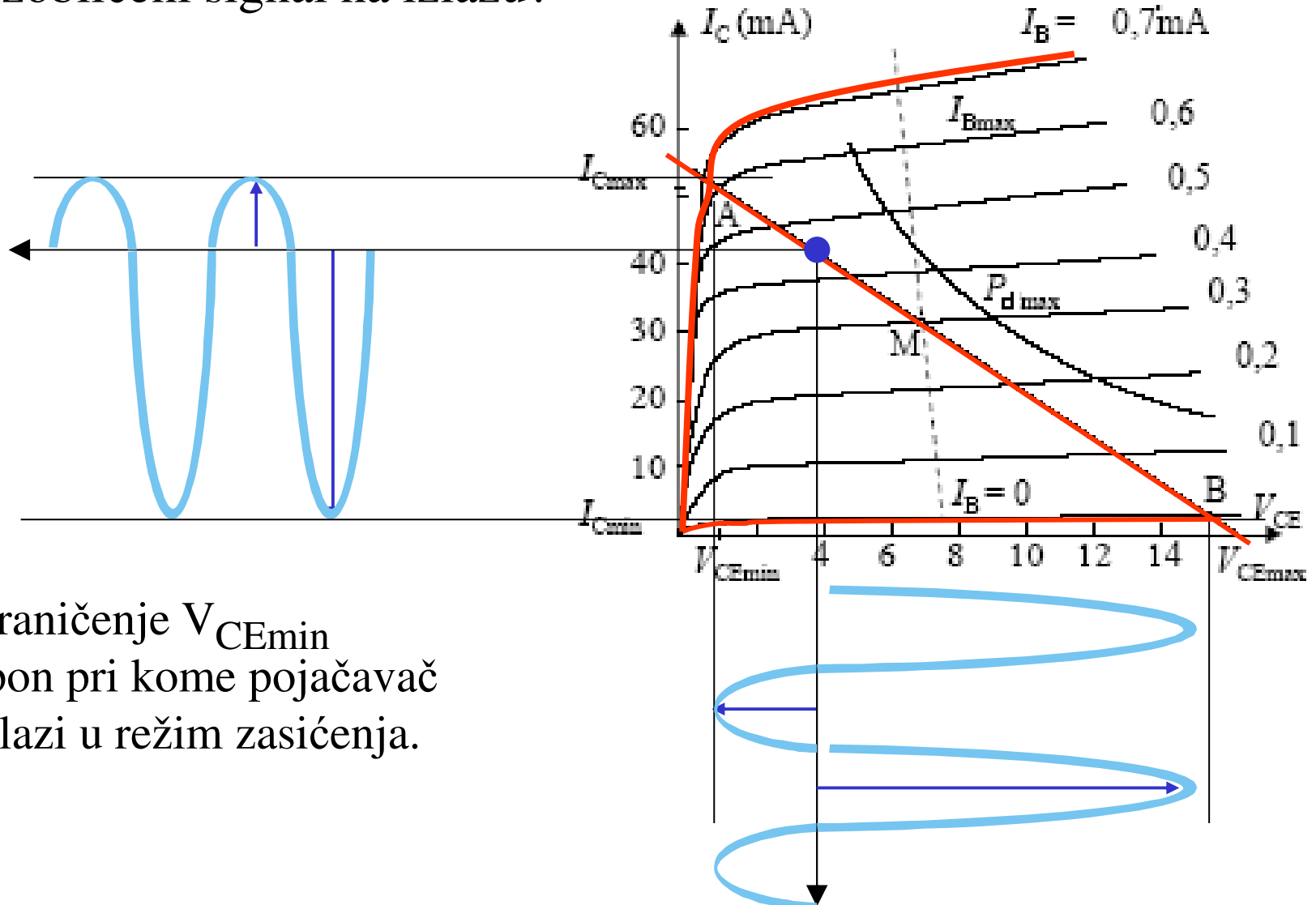
Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Efekat VELIKIH signala



Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

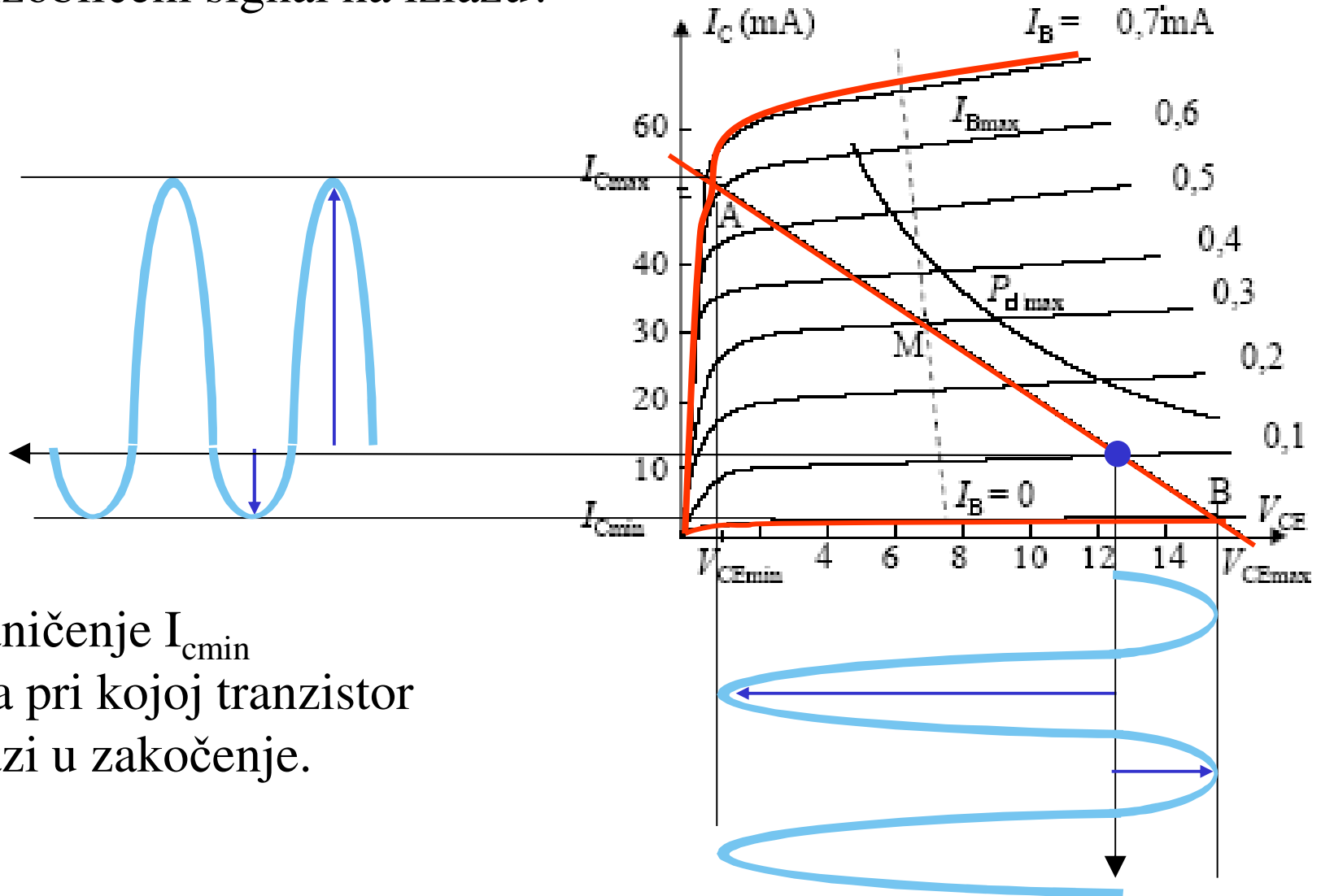
Gde postaviti radnu tačku da bi se dobio maksimalni neizobličeni signal na izlazu?



Ograničenje V_{CEmin} napon pri kome pojačavač prelazi u režim zasićenja.

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

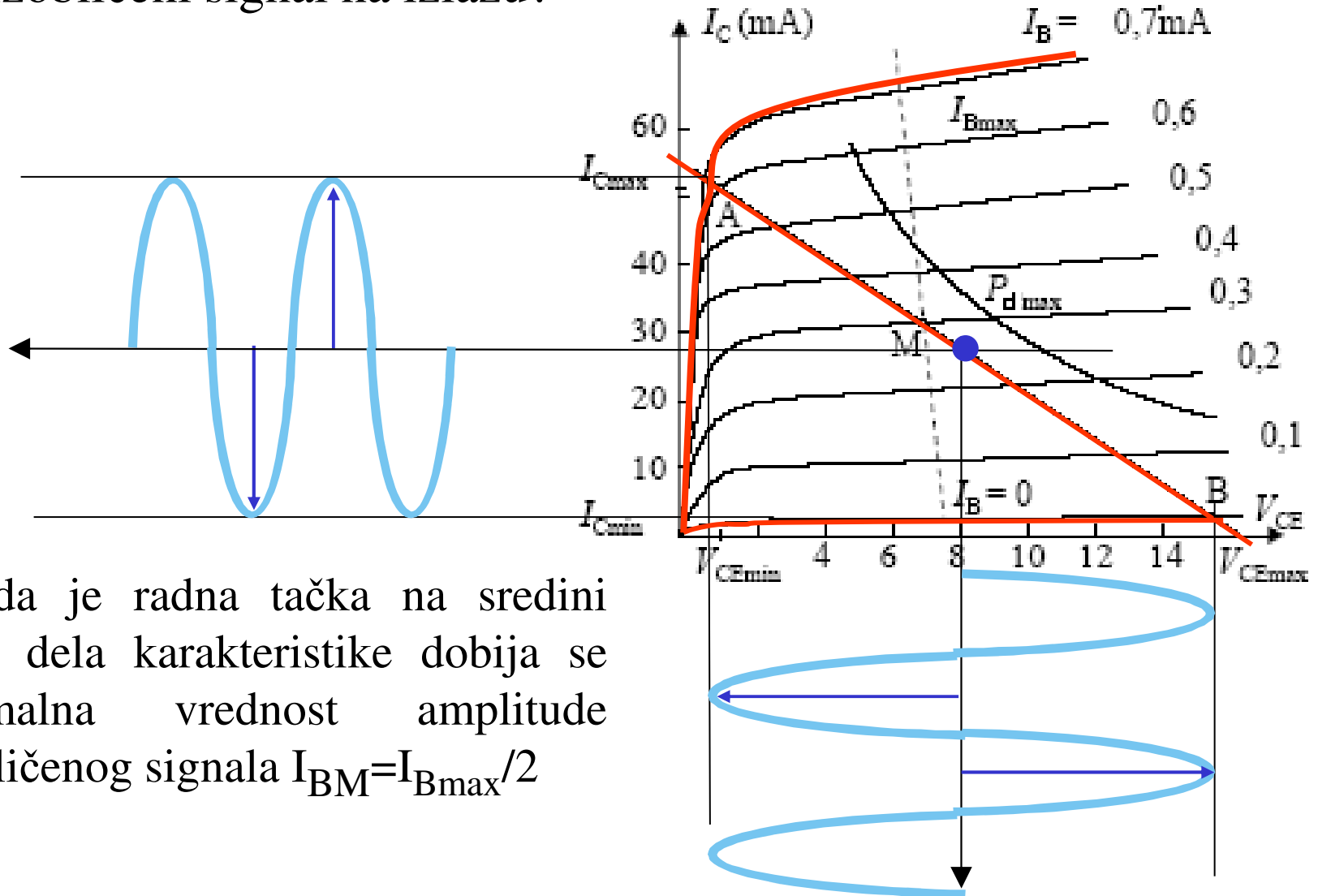
Gde postaviti radnu tačku da bi se dobio maksimalni neizobličeni signal na izlazu?



Ograničenje I_{cmin}
struja pri kojoj tranzistor
prelazi u zakočenje.

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

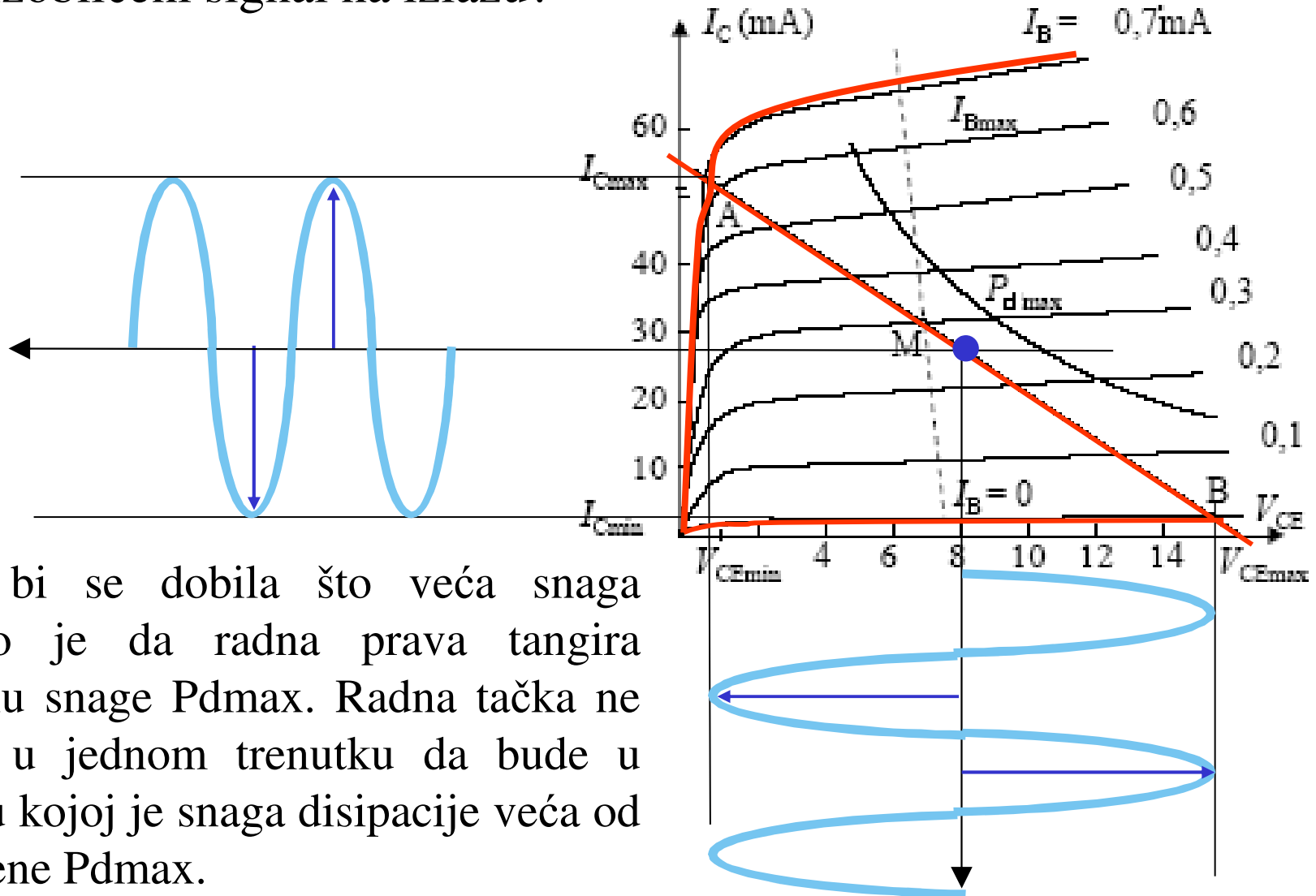
Gde postaviti radnu tačku da bi se dobio maksimalni neizobličeni signal na izlazu?



1) Kada je radna tačka na sredini radnog dela karakteristike dobija se maksimalna vrednost amplitude neizobličenog signala $I_{BM} = I_{B\max}/2$

Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Gde postaviti radnu tačku da bi se dobio maksimalni neizobličeni signal na izlazu?



2) Da bi se dobila što veća snaga potrebno je da radna prava tangira hiperbolu snage P_{dmax} . Radna tačka ne sme ni u jednom trenutku da bude u oblasti u kojoj je snaga disipacije veća od dozvoljene P_{dmax} .

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

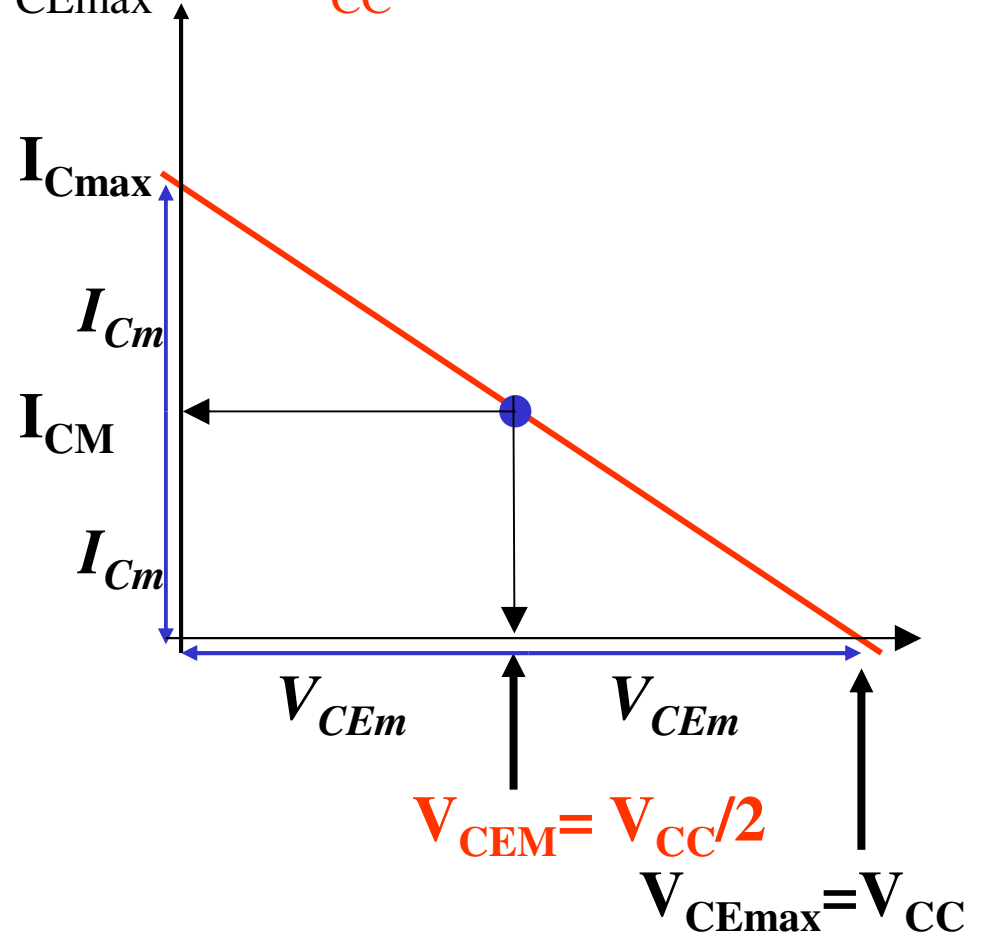
$$V_{CEm} \approx V_{CC}/2$$

a struje

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

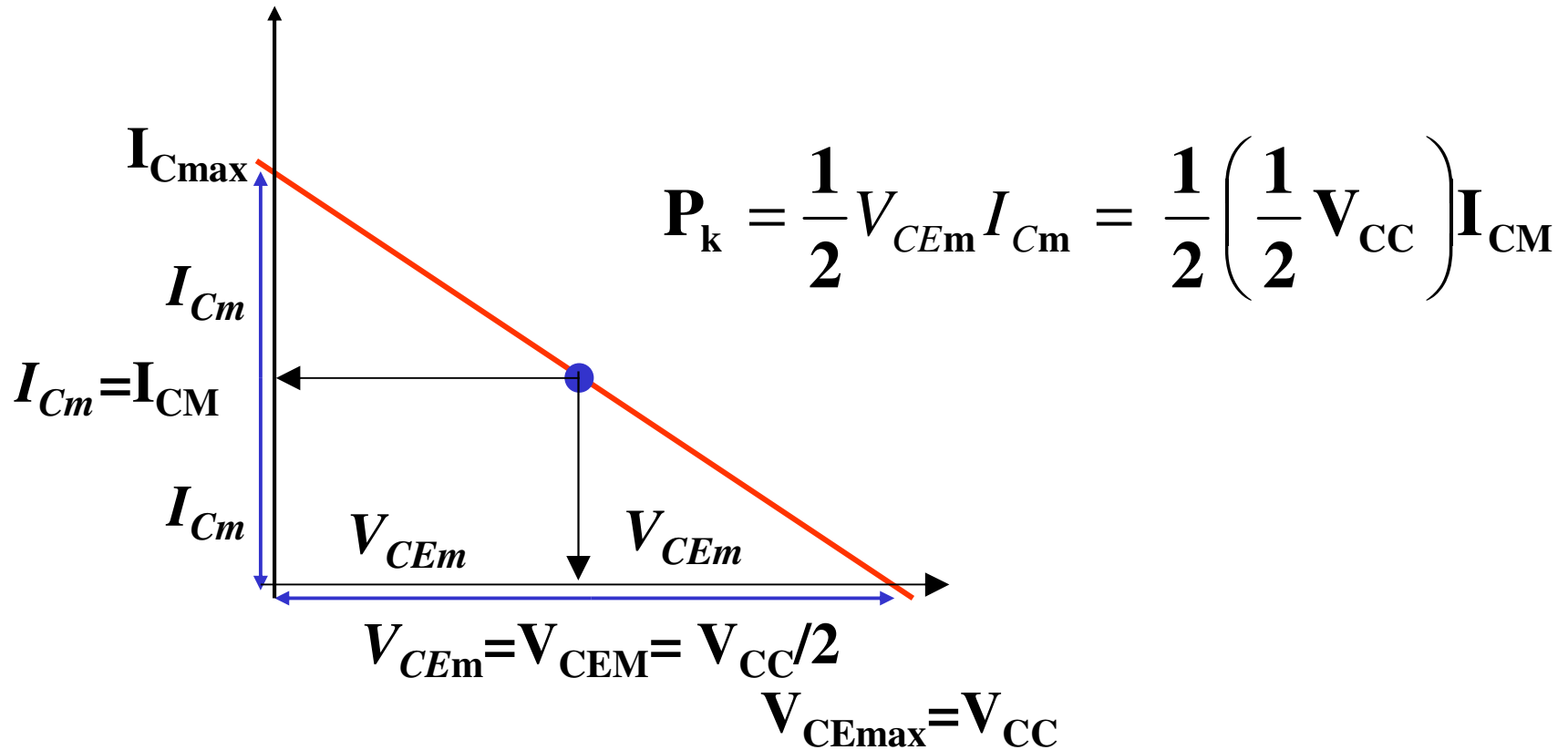
Tada se očekuje najveći stepen iskorišćenja.

Koliko on iznosi?



Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Tada je maksimalna korisana snaga



Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

$$P_k = \frac{1}{T} \int_0^T V_{CEm} \sin(\omega t) I_{Cm} \sin(\omega t) dt$$

$$P_k = \frac{V_{CEm} \cdot I_{Cm}}{2}$$

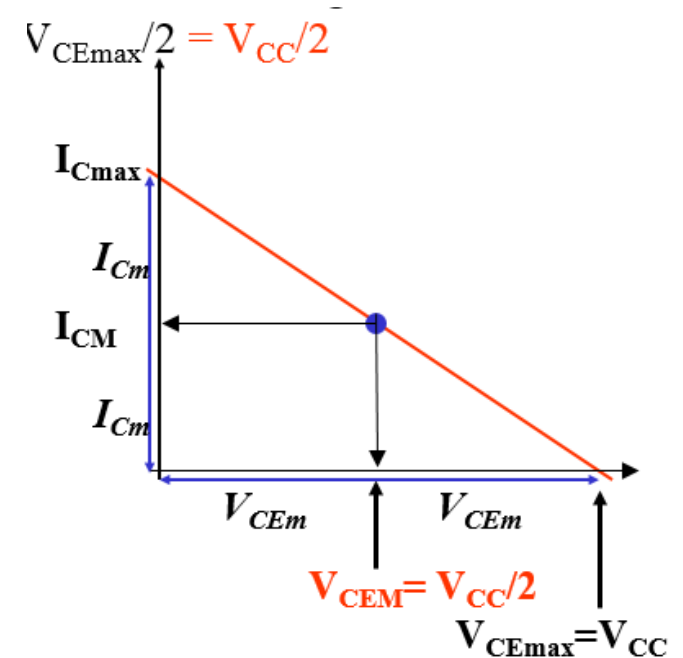
Maksimalna korisana snaga se dobija kada je radna tačka na sredini aktivne oblasti rada:

Maksimalna amplituda napona:

$$V_{CEm} = \frac{V_{CEmax} - V_{CEmin}}{2} = \frac{V_{CC} - 0}{2}$$

Maksimalna amplituda struje:

$$I_{Cm} = \frac{I_{Cmax} - I_{Cmin}}{2} = I_{CM}$$



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

Snaga koju daje jednosmerni izvor napajanja:

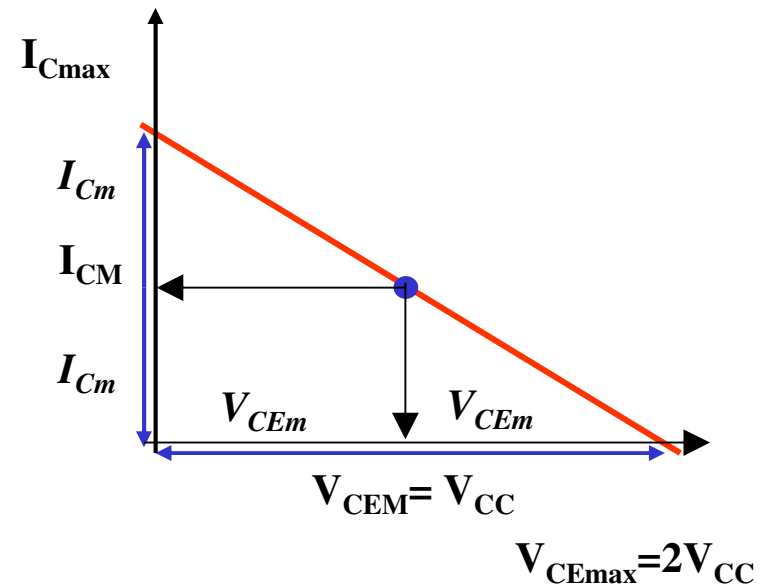
$$P_{CC} = V_{CC} I_{CC}$$

$$I_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T i_C(t) dt$$

$$I_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T (I_{CM} + I_{cm} \sin \omega t) dt = I_{CM}$$

$$P_{CC} = I_{CM} \cdot V_{CC}$$

Srednja vrednost struje jednaka je jednosmernoj struji kolektora. Snaga koju daje izvor napajanja jednaka je snazi koja se troši kada nema signala pod pretpostavkom da izobličenja ne sadrže konstantni član.



Pojačavač snage klase A sa bipolarnim tranzistorom

Najveća moguća vrednost stepena iskorišćenja pojačavača snage koji rade u klasi A dobija se kada je najveća amplituda ulaznog signala.

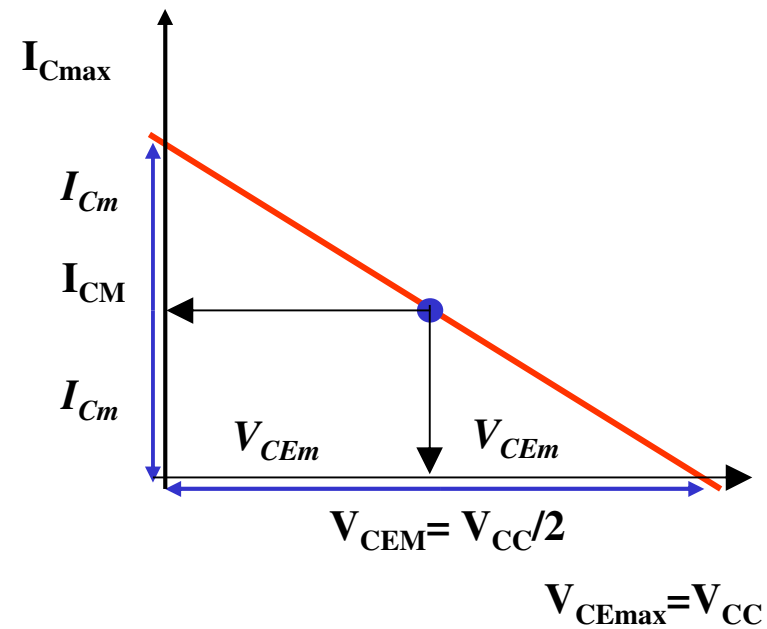
$$\eta_{\max} = \frac{P_k}{P_{CC}} = \frac{\frac{1}{2} V_{CEm} I_{Cm}}{V_{CC} I_{CM}} = \frac{1}{4} \frac{V_{CC} I_{CM}}{V_{CC} I_{CM}} = 0.25$$

Teoretski

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

Praktično

$$\eta < 20\%$$



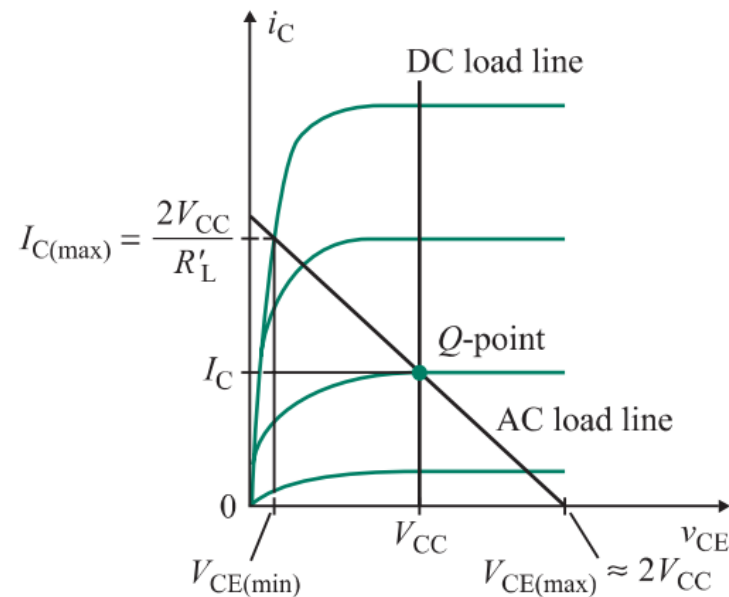
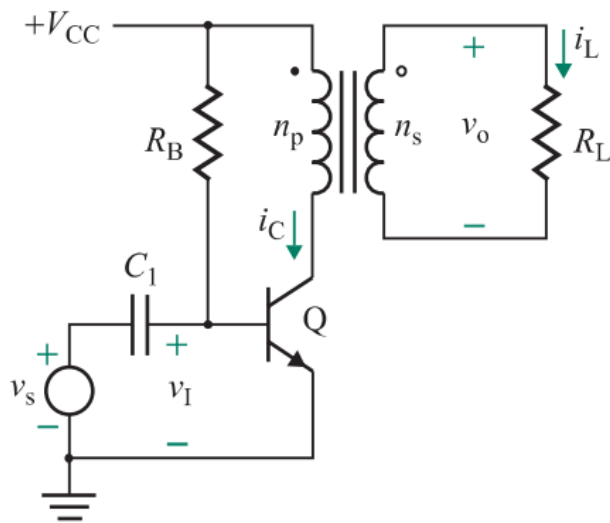
Primenom transformatora može se povećati stepen korisnog dejstva jer tada nema džulovih gubitaka na potrošaču. Izlazni napon, v_{ce} , ne zavisi od struje tako da je statička radna prava (DC load line) paralelna sa ordinatom. Maksimalna vrednost napona na kolektoru jednaka je $2 V_{CC}$.

$$n^2 \cdot R_L = \left(\frac{n_p}{n_s}\right)^2 \cdot R_L = \frac{V_{CC}}{I_{CM}}$$

$$P_{CC} = V_{CC} \cdot I_{CC} = V_{CC} \cdot I_{CM}$$

$$P_k = \frac{v_{CEM} \cdot i_{CM}}{2} = \frac{V_{CC} \cdot I_{CM}}{2}$$

$$\eta = \frac{P_K}{P_{CC}} = 0,5$$



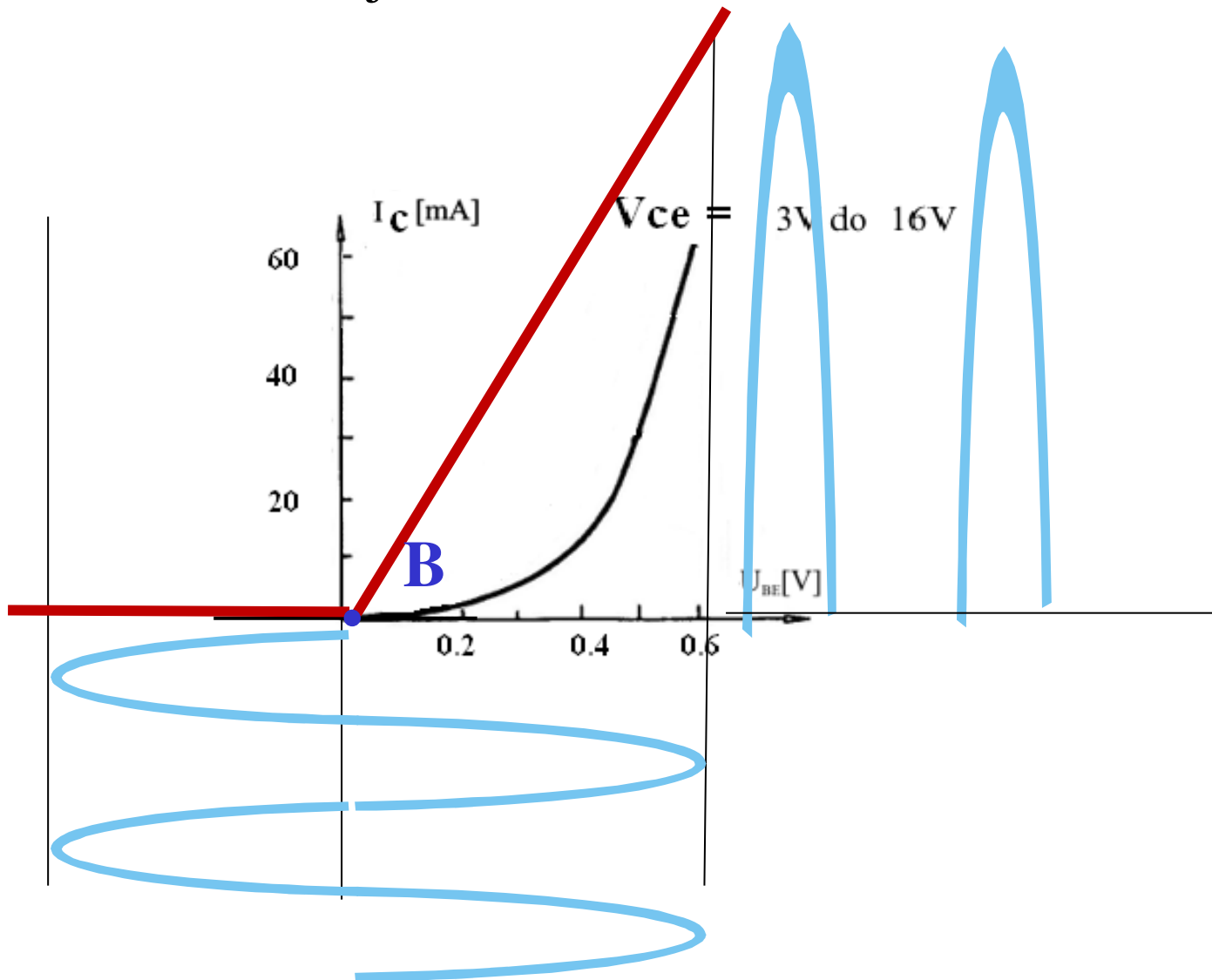
Pojačavači snage u klasi A

- 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.

Pojačavači snage u klasi B

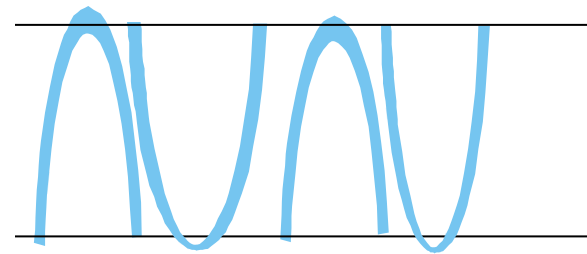
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA klasa B

Položaj radne na prenosnoj karakteristici tranzistora je na granici između zakočenja i aktivne oblasti.



Pojačavači snage u klasi B

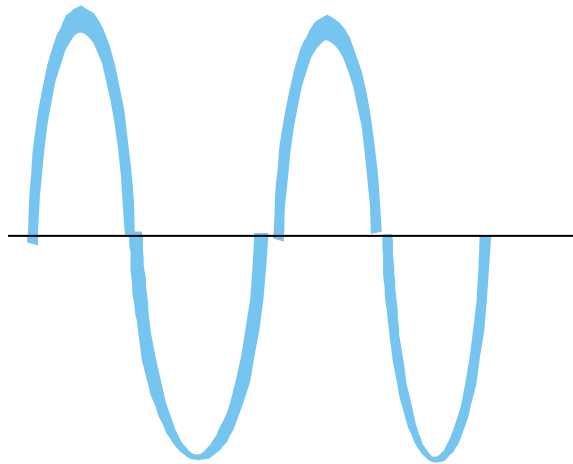
- Radna tačka aktivnog elementa nalazi se u tački gde prestaje da teče izlazna struja – granica zakočenja.
- Primenom samo jednog aktivnog elementa dolazi do velikih izobličenja izlaznih signala.
- Izlazni signal čini povorka pozitivnih ili negativnih implusa sinusoidnog oblika



Simetrična sprega u klasi B



Primenom simetrične sprege ovaj nedostatak se uklanja.

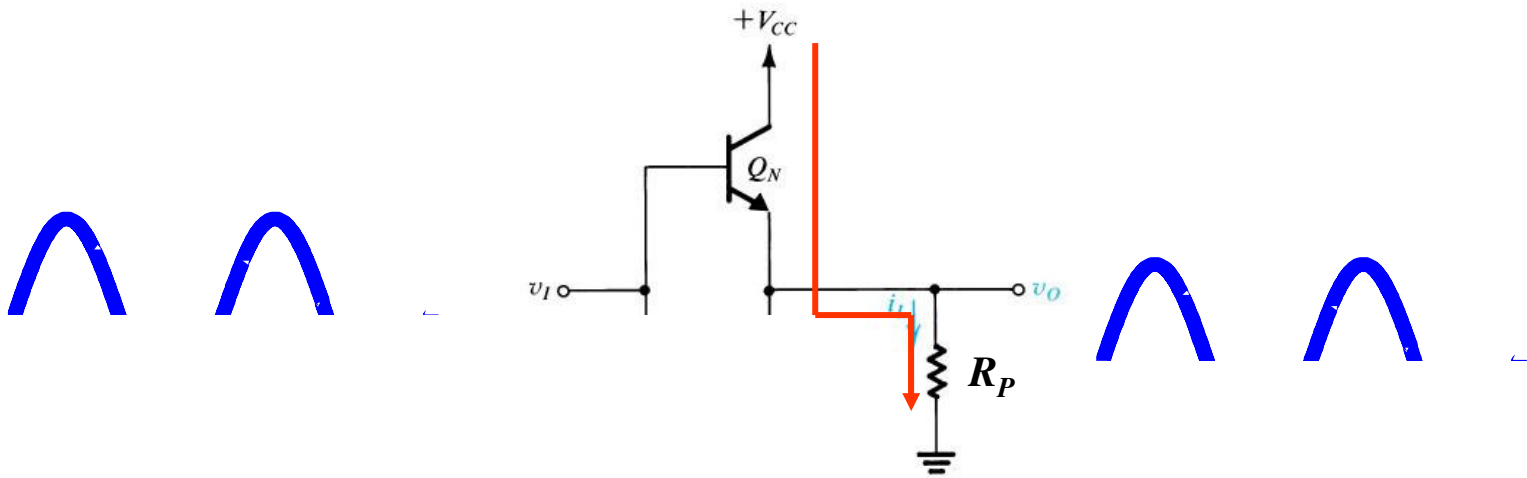


U praksi se za izlazne stepene najviše koristi **simetrična sprega** ili pušpul izlazni stepen sastavljen od dva tranzistora. Kod ovog pojačavačkog stepena pojačavač se pobuđuje razlikom struja pojačavačkih tranzistora.

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

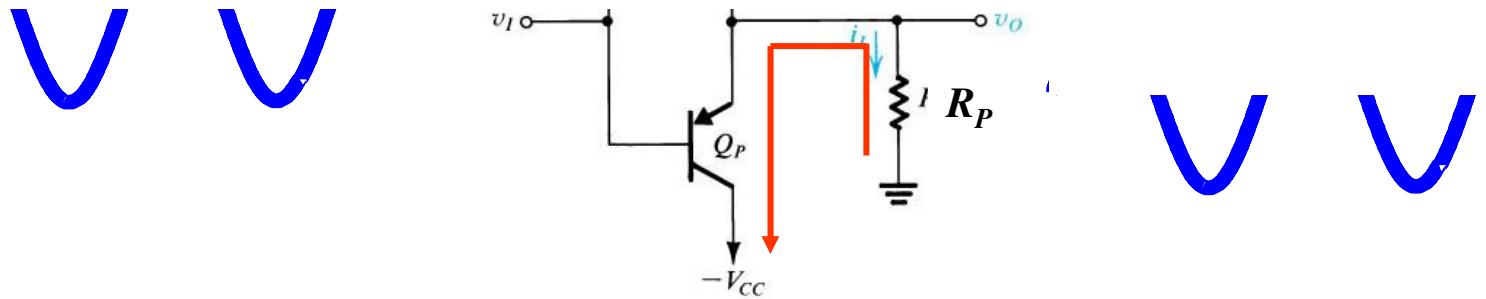
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

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.

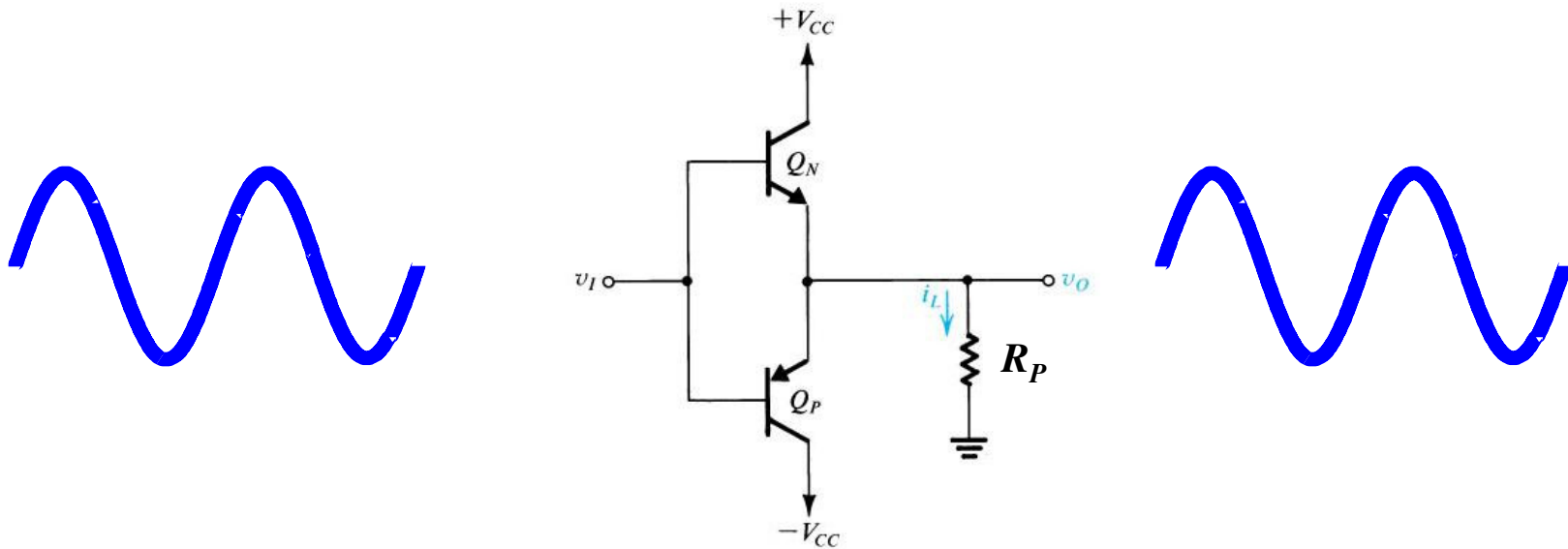


Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

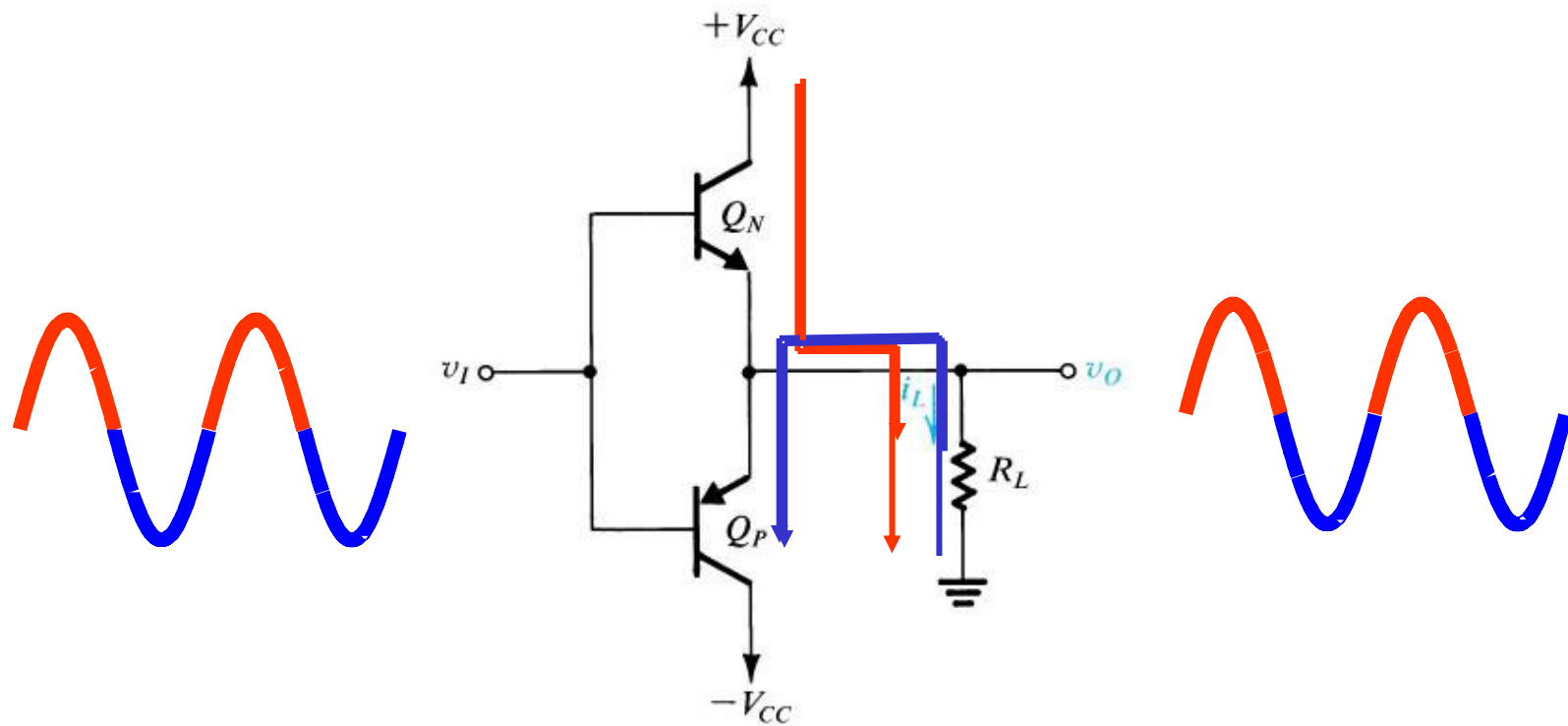
Pojačavač radi u klasi B.

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

Napon na R_P prati oblik ulaznog napona (idealizovano)



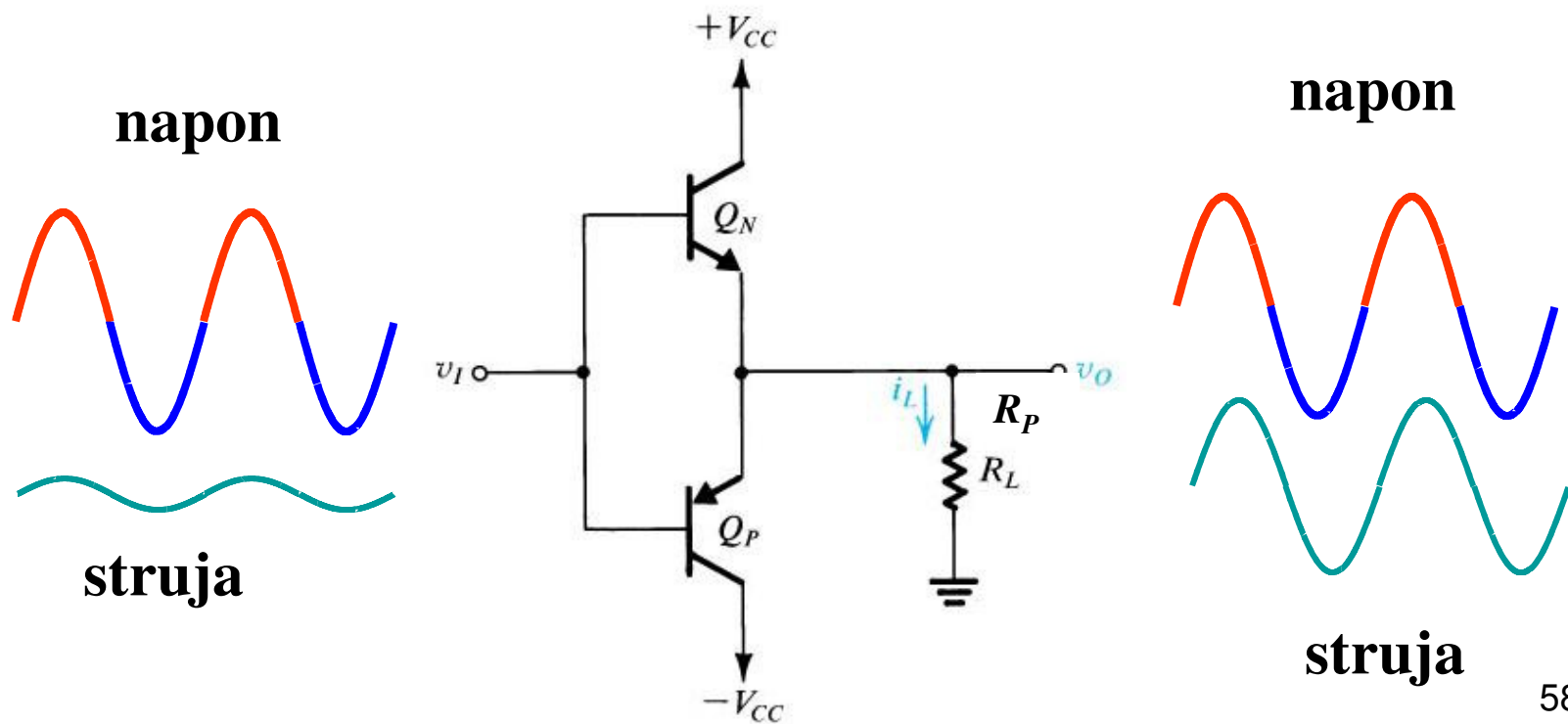
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

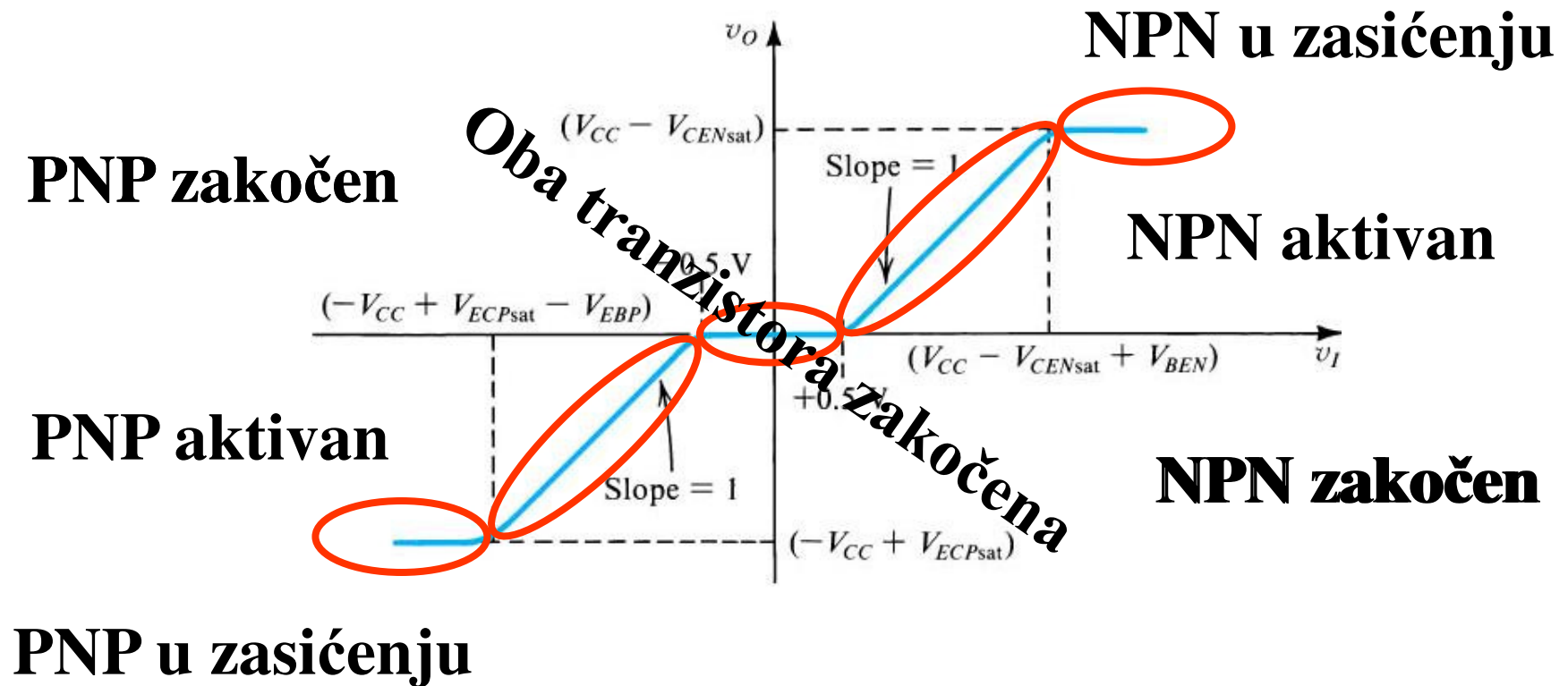
S obzirom da se radi o pojačavaču u konfiguraciji sa zajedničkim kolektorom, naponsko pojačanje je manje od 1.

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).



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

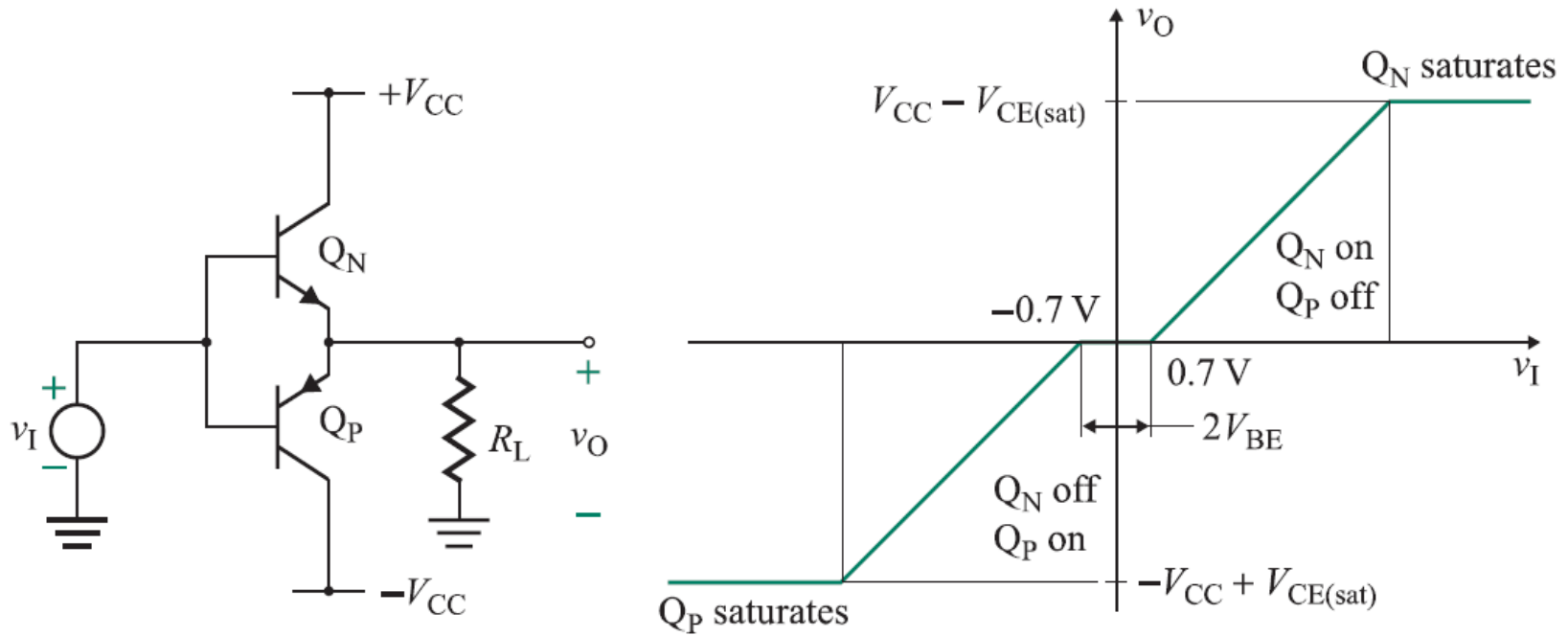
Prenosna karakteristika



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 u klasi B



Srednja vrednost struje kolektora jednog tranzistora:

$$I_{C1} = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} i_{c1} dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\pi} I_p \sin(\omega t) d(\omega t) = \frac{I_p}{\pi}$$

Srednja vrednost struje izvora napajanja:

$$I_{dc} = 2I_{C1} = \frac{2I_p}{\pi} \quad I_p \text{ je amplituda struje kroz potrošač.}$$

Snaga izvora napajanja:

$$P_S = I_{dc} V_{CC} = \frac{2I_p V_{CC}}{\pi}$$

Stepen iskorišćenja:

$$\eta = \frac{P_L}{P_S} = \frac{I_p V_p / 2}{2I_p V_{CC} / \pi} = \frac{\pi}{4} \left(\frac{V_p}{V_{CC}} \right) \quad V_p \text{ je amplituda napona na potrošaču.}$$

$$\eta_{\max} = \frac{P_{L(\max)}}{P_S} = \frac{I_p V_{CC} / 2}{2I_p V_{CC} / \pi} = \frac{\pi}{4} = 78.5\%$$

Srednja vrednost snage disipacije oba tranzistora:

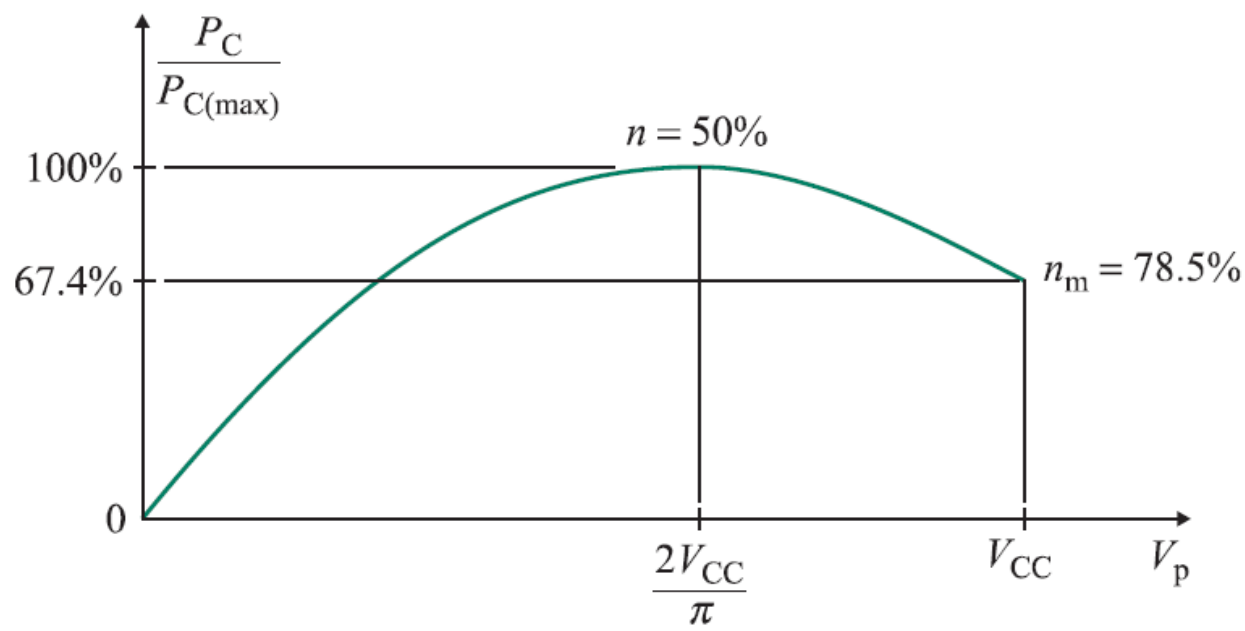
$$2P_C = P_S - P_L = \frac{2I_p V_{CC}}{\pi} - \frac{I_p^2 R_L}{2} = \frac{2V_p V_{CC}}{\pi R_L} - \frac{V_p^2}{2R_L}$$

Određivanje maksimalne snage disipacije $\frac{dP_C}{dI_p} = \frac{2V_{CC}}{\pi} - \frac{2I_p R_L}{2} = 0$

Struja pri kojoj se razvijaj maksimalna disipacija na tranzistorima:

$$I_{p(\max)} = \frac{2V_{CC}}{\pi R_L}$$

$$V_{p(\max)} = I_p R_L = \frac{2V_{CC}}{\pi}$$



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

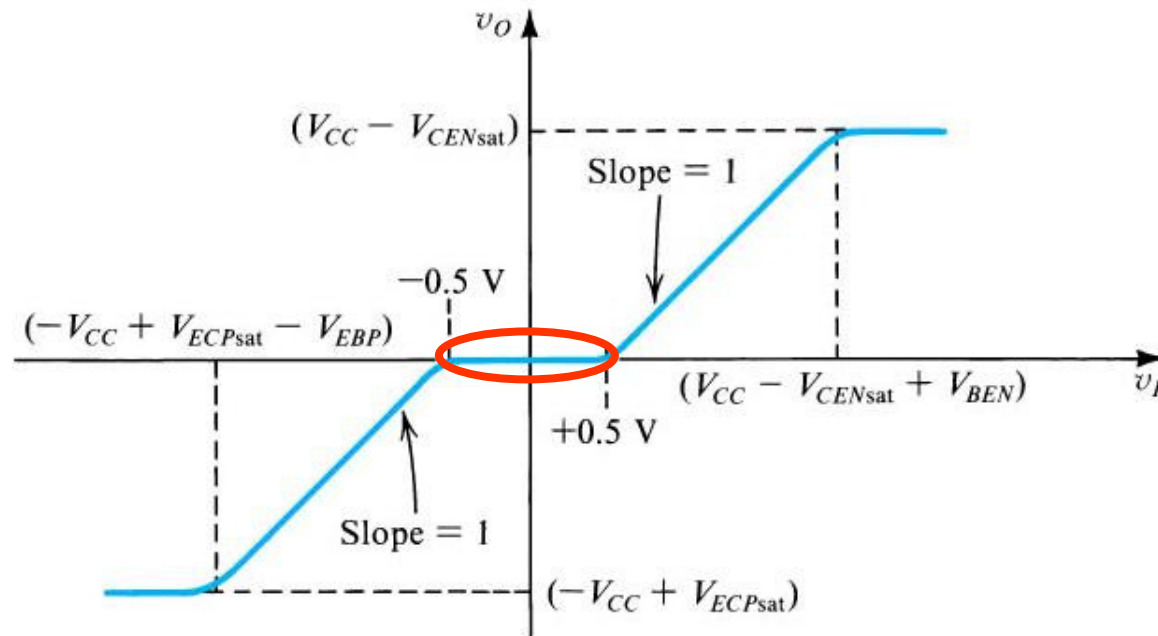
Komponente koje se ugrađuju u pojačavač klase B, mogu da imaju dva i po puta manju snagu disipacije od onih koje se koriste u klasi A, a da pojačavač obezbeđuje istu korisnu snagu potrošaču.

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.

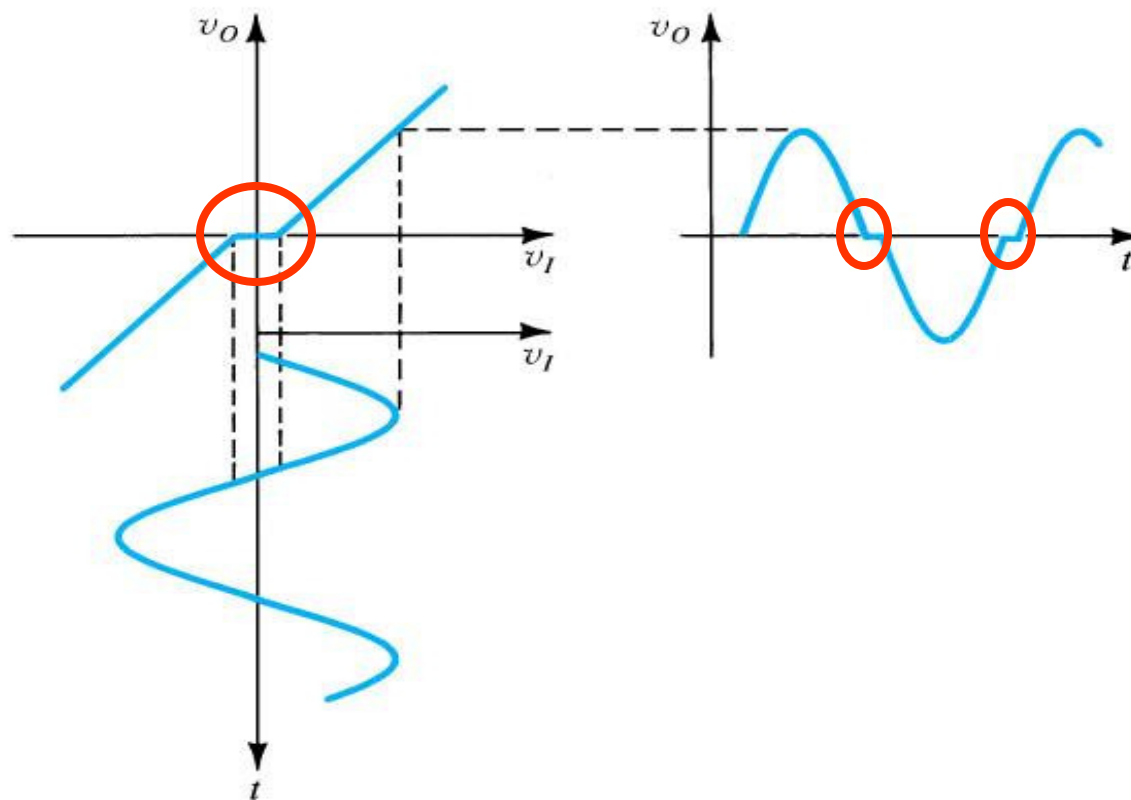
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

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.



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Krossover izobličenja



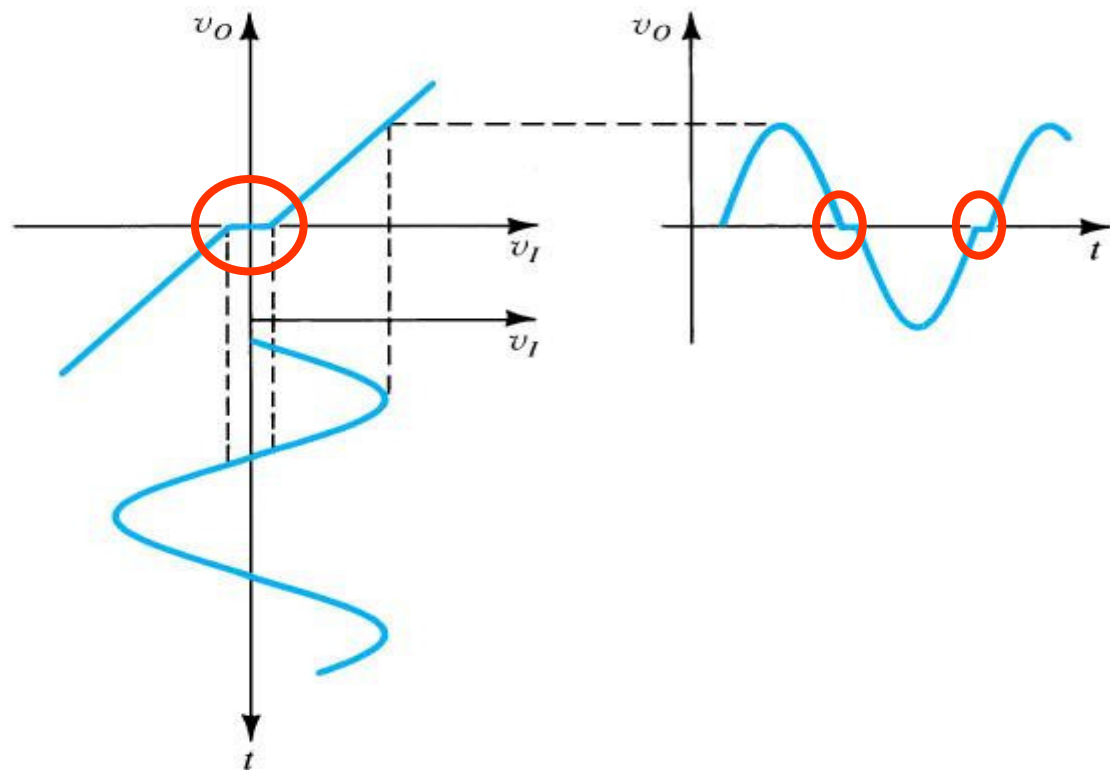
Uočljivo je da u delu malih struja izlazna struja odstupa od sinusoide. Praktično je napon na izlazu jednak nuli pri manjim vrednostima ulaznog napona.

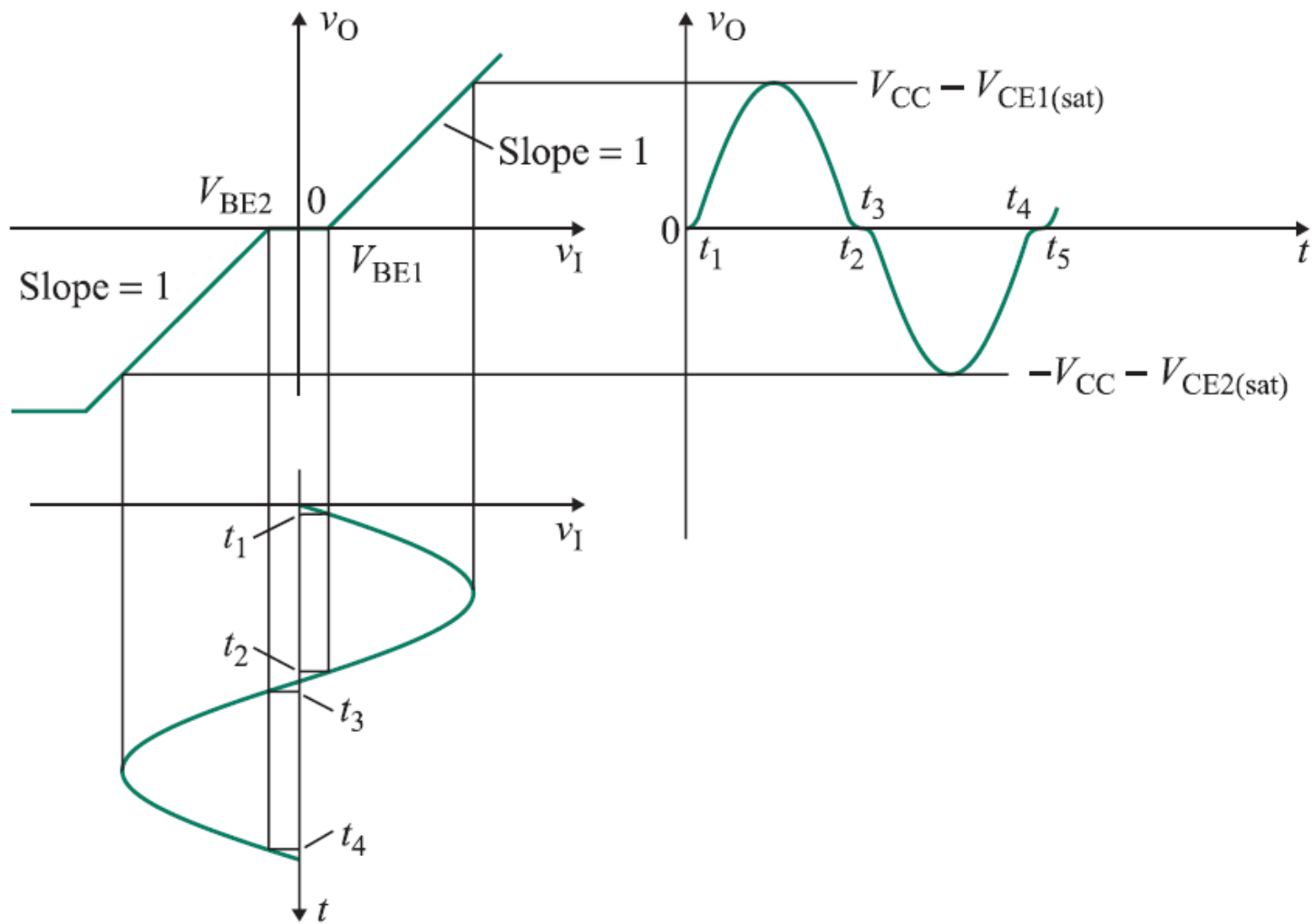
Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B

Pojačavače snage u klasi B karakteriše

- veći stepen iskorišćenja
- veća izobličenja

od pojačavača u klasi A

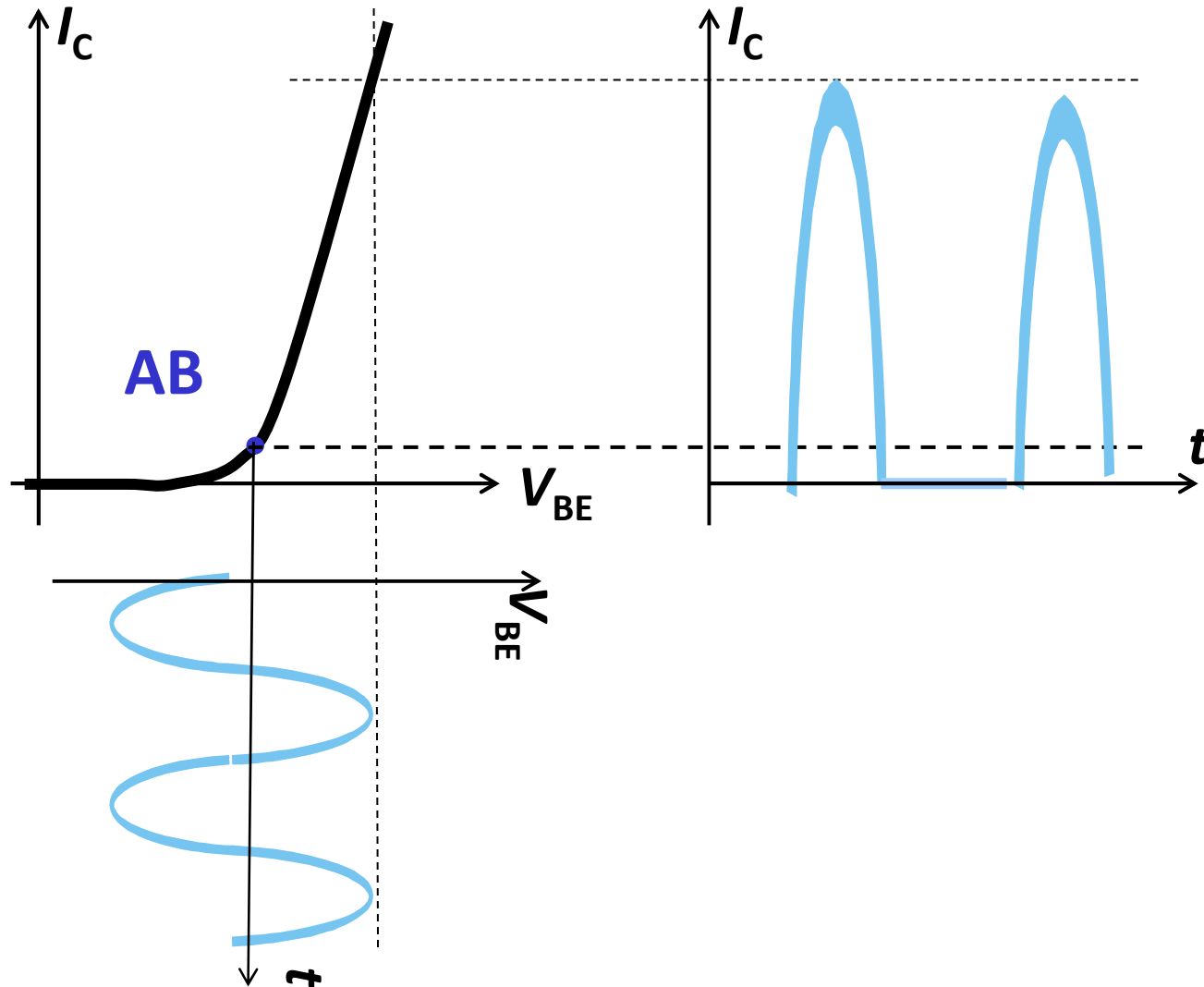




Pojačavači snage u klasi AB

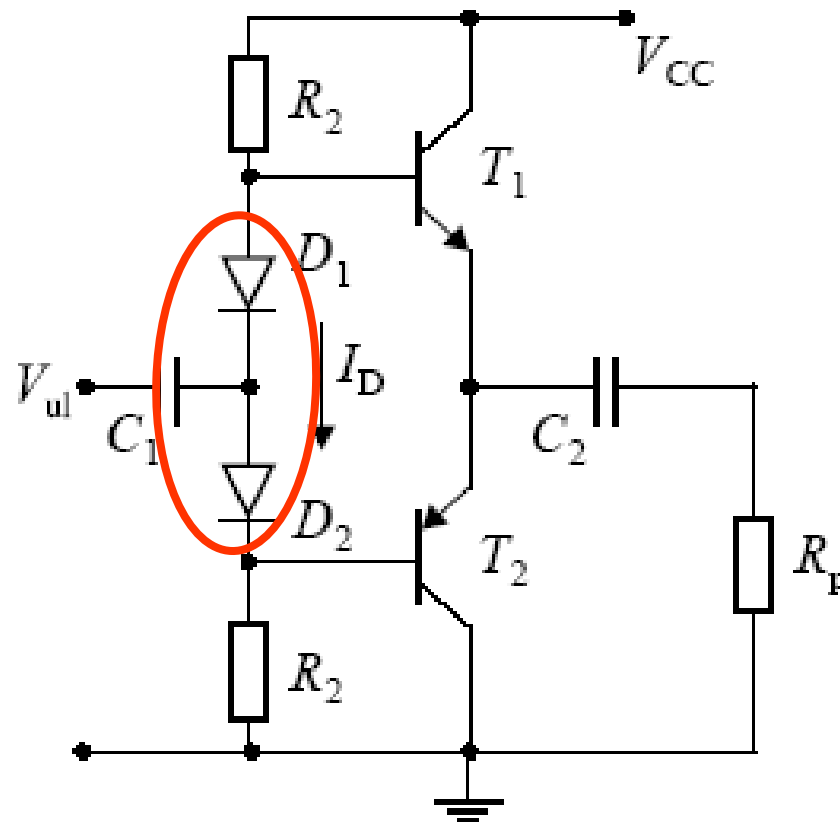
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA klasa AB

Položaj radne tačke na prenosnoj karakteristici tranzistora



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB

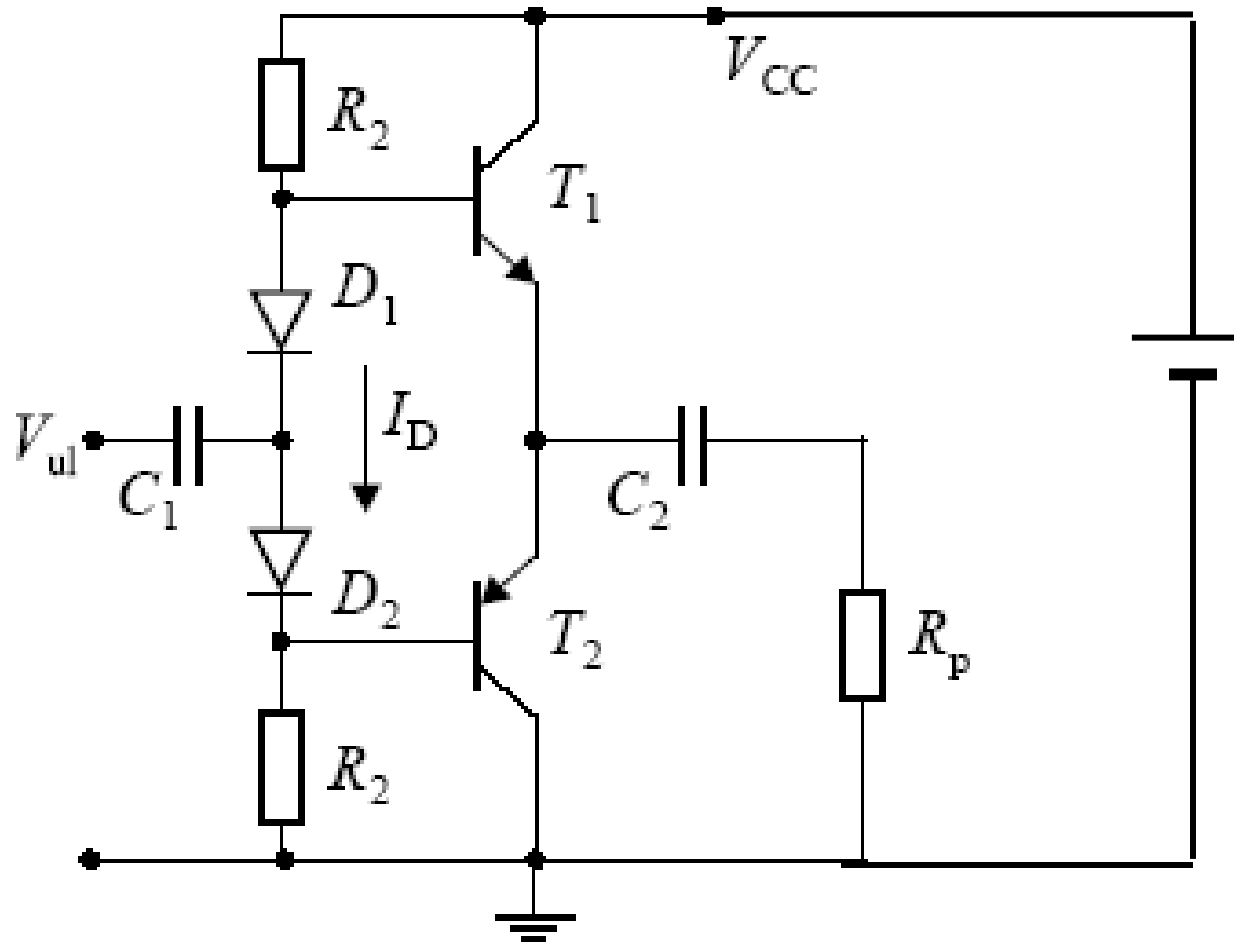
Vezivanjem dve direktno polarisane diode između baza NPN i PNP tranzistora svaki od tranzistora u push-pull stepenu polariše se da radi na ivici provođenja kada je pobudni napon ravan nuli. Na ovaj način eliminišu se krossover izobličenja. Praktično rečeno pri najmanjoj promeni ulaznog napona vodi jedna od dva tranzistora.



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB

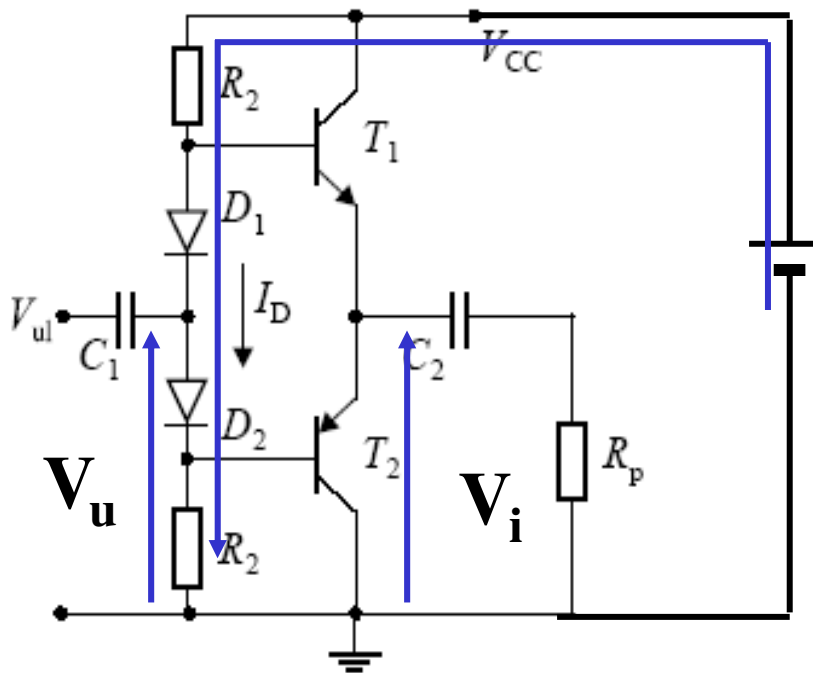
Kako diode utiču na temperatursku stabilnost?

Diode obezbeđuju bolju temperatursku stabilnost.



Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB

Kolo treba da bude polarisano na takav način da diode vode svo vreme. To praktično znači da treba obezbediti dovoljnu jednosmernu struju kroz diode, tako da one ostanu direktno polarisane i pri najvećim strujama baze.



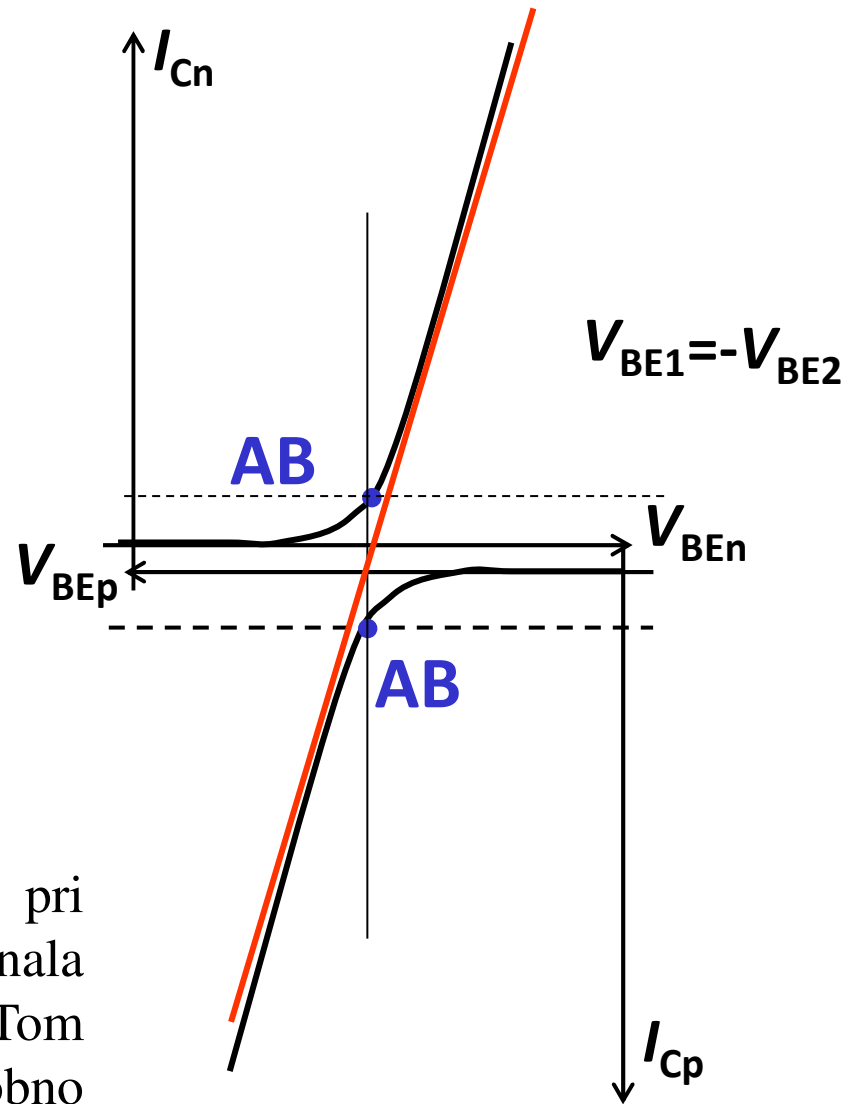
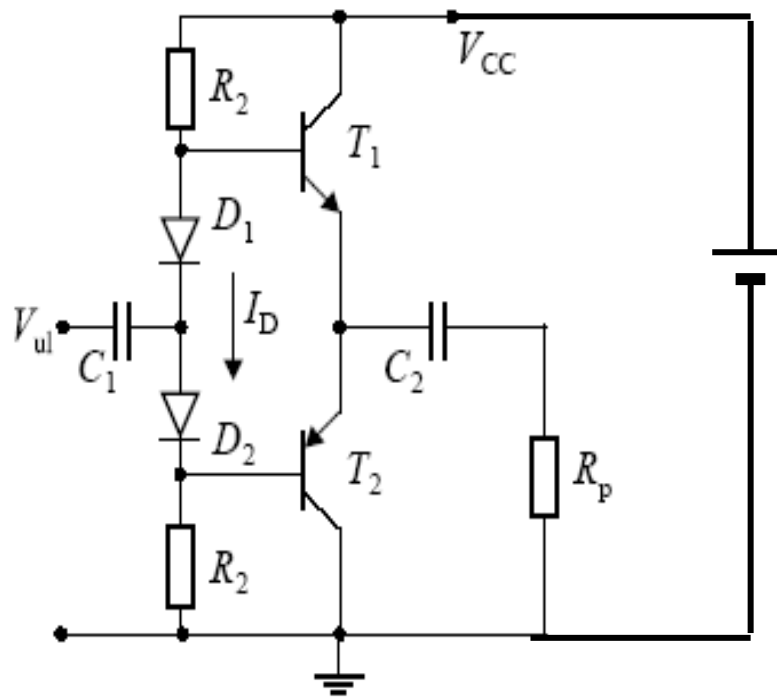
$$I_D \geq |J_{Dm \max}|$$

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

Naizmenična komponenta struje kroz diodu je suprotnog smera od jednosmerne komponente.

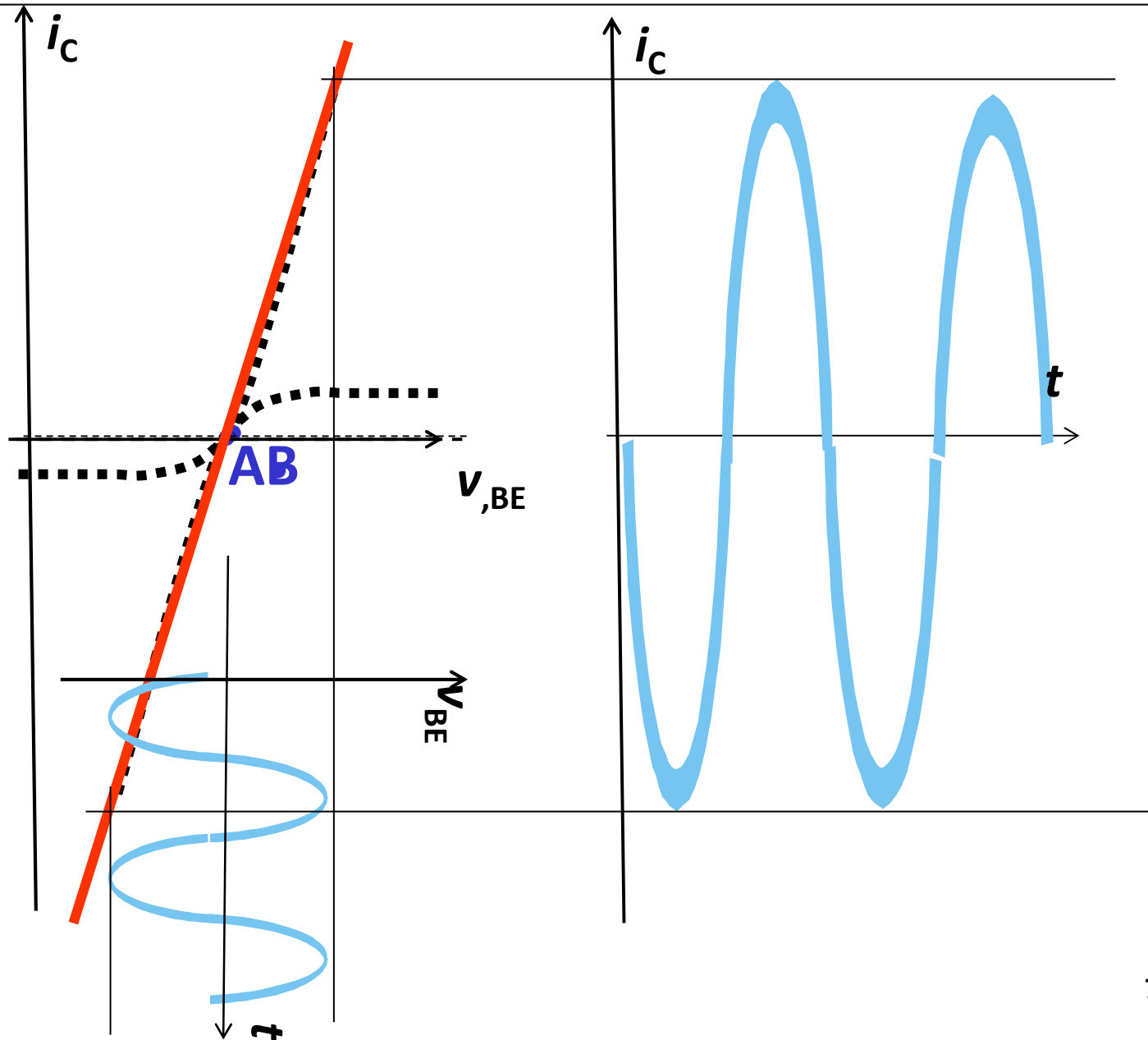
POJAČAVAČI VELIKIH SIGNALA klasa AB

Simetrična sprega



Za razliku od klase B u klasi AB pri manjim vrednostima ulaznog signala vode oba tranzistora pušpul stepena. Tom prilikom struje tranzistora se međusobno oduzimaju jer su suprotnog smera.

Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB

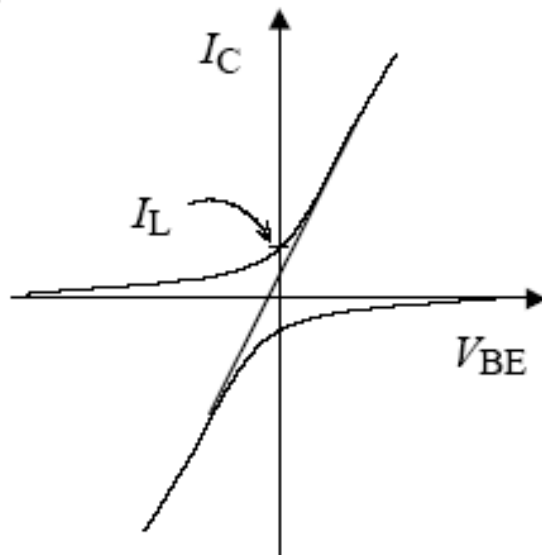


Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB

Pojačavač u klasi AB karakteriše

- manja korisna snaga
- manji stepen iskorišćenja
- manja izobličenja

nego pojačavač u klasi B.



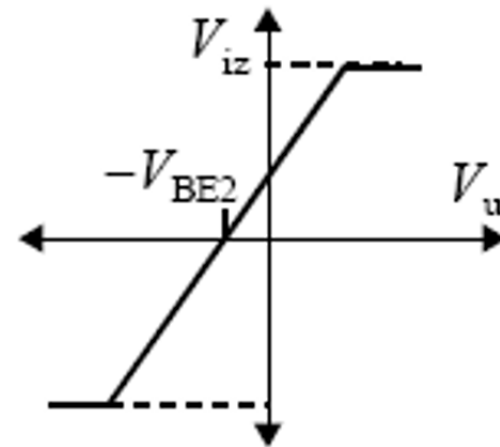
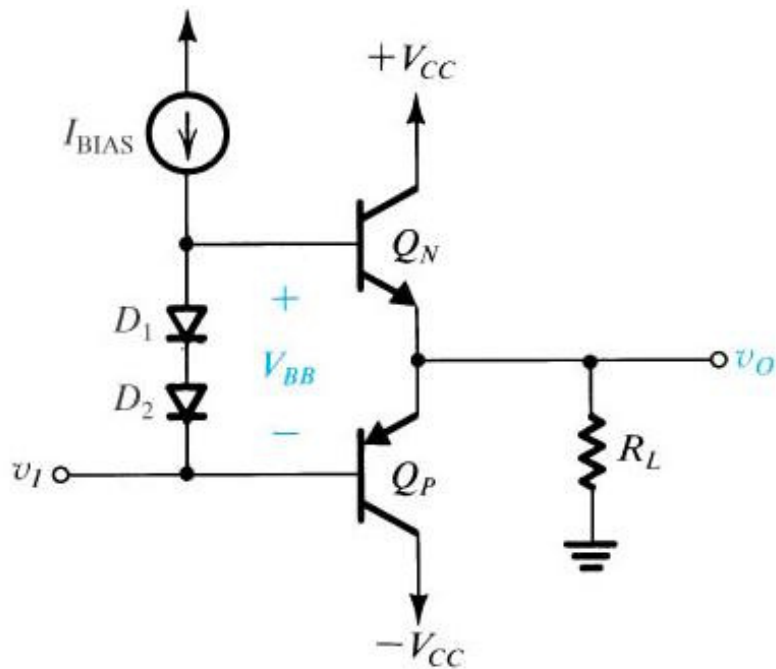
Klasa AB je po karakteristikama praktično kompromis između klase A i klase B.

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.
- Step en 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

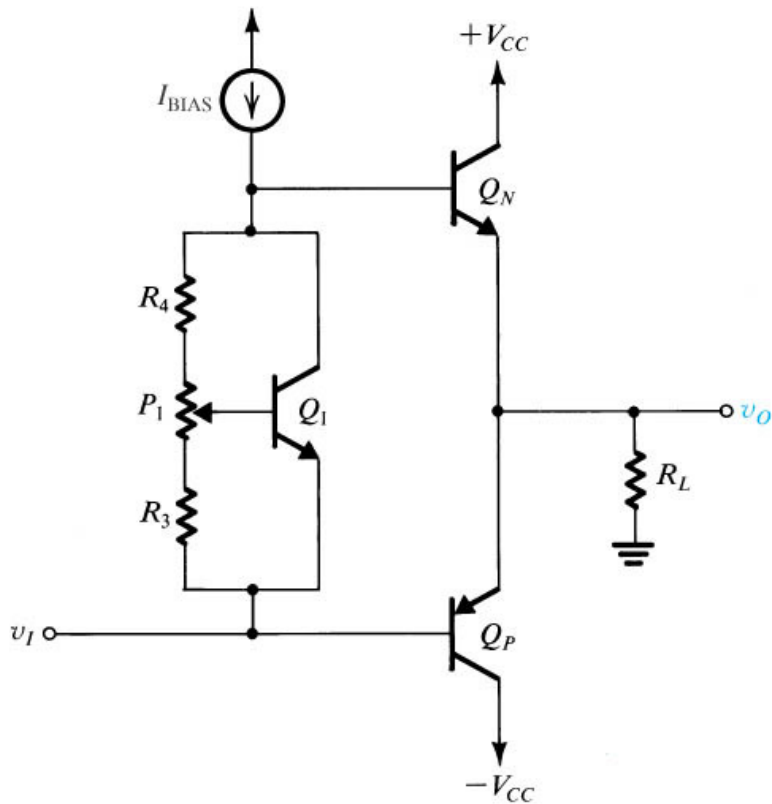
U ovom kolu se umesto otpornika za polarizaciju koristi strujni generator I_{BIAS} . Ukoliko se pobudni generator direktno poveže sa bazom jednog od dva tranzistora u pojačavaču prenosna karakteristika pojačavača neće prolaziti kroz koordinatni početak. Kada je ulazni napon manji od $-V_{BE}$ vodi pnp tranzistor, a kada je napon veći od $-V_{BE}$ vodi npn tranzistor.



Pojačavači snage u klasi AB

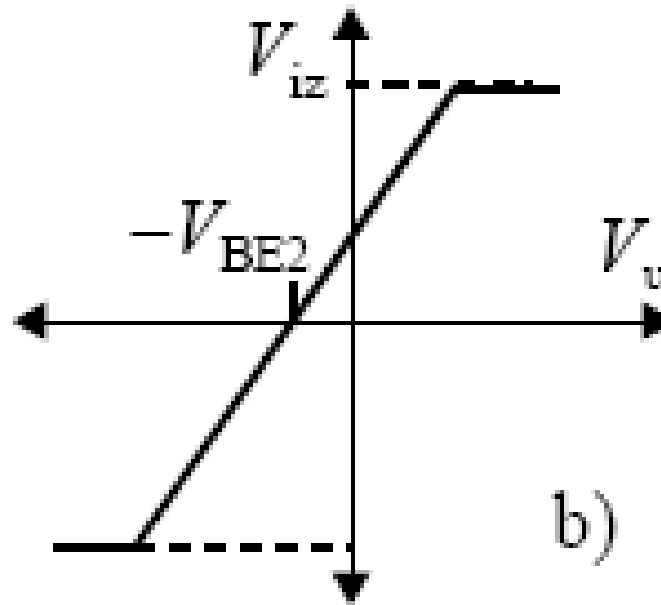
Krossover izobličenja se mogu eliminisati i upotrebnom tranzistora. Ukoliko je struja kroz razdelnik napona R_3 i R_4 zanemariva u odnosu na struju baze, razlika potencijala između baza tranzistora u pušpulu biće:

$$V_{BB} = \frac{R_3}{R_3 + R_4} \cdot V_{BE}$$



Pojačavači snage u klasi AB

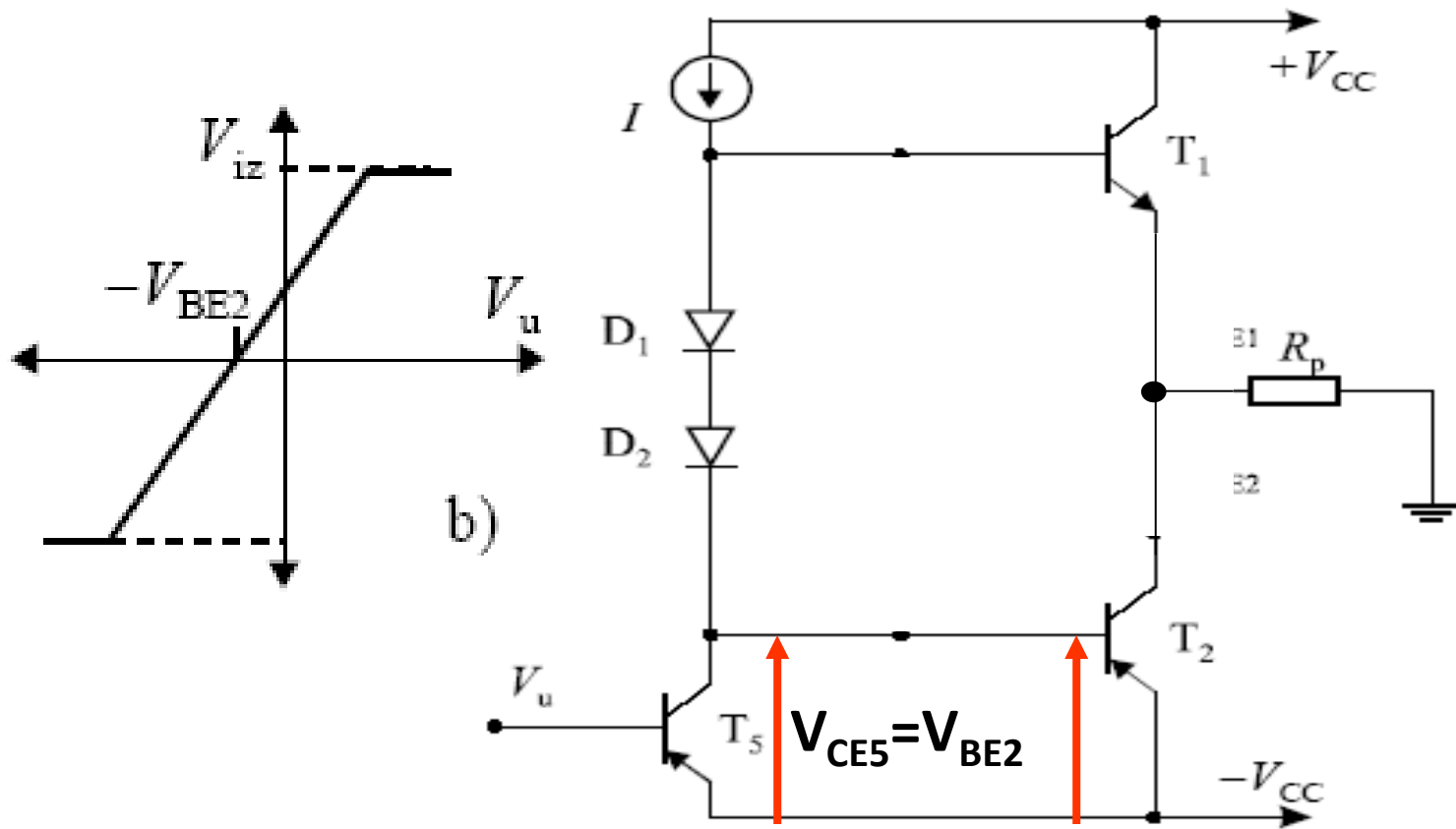
Prenosna karakteristika ne prolazi kroz nulu, iako su tranzistori identičnih karakteristika, kada je $V_u=0$, $V_{iz} \neq 0$.



Da bi se ovo otklonilo potrebno je da ulazni napon ima i jednosmernu komponentu $V_u = V_{BE2}$. U tu svrhu primenjuje se sprežni kondenzator za naizmjenični signal ili se koristi pomerač nivoa.

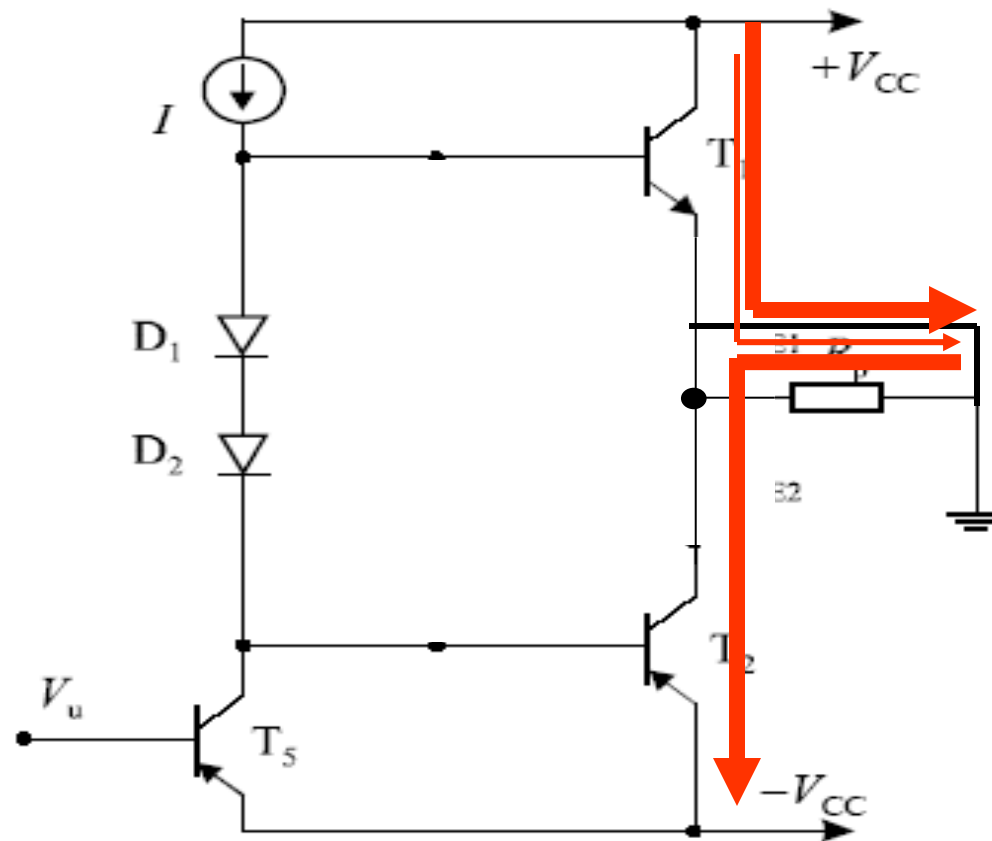
Pojačavači snage u klasi AB

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



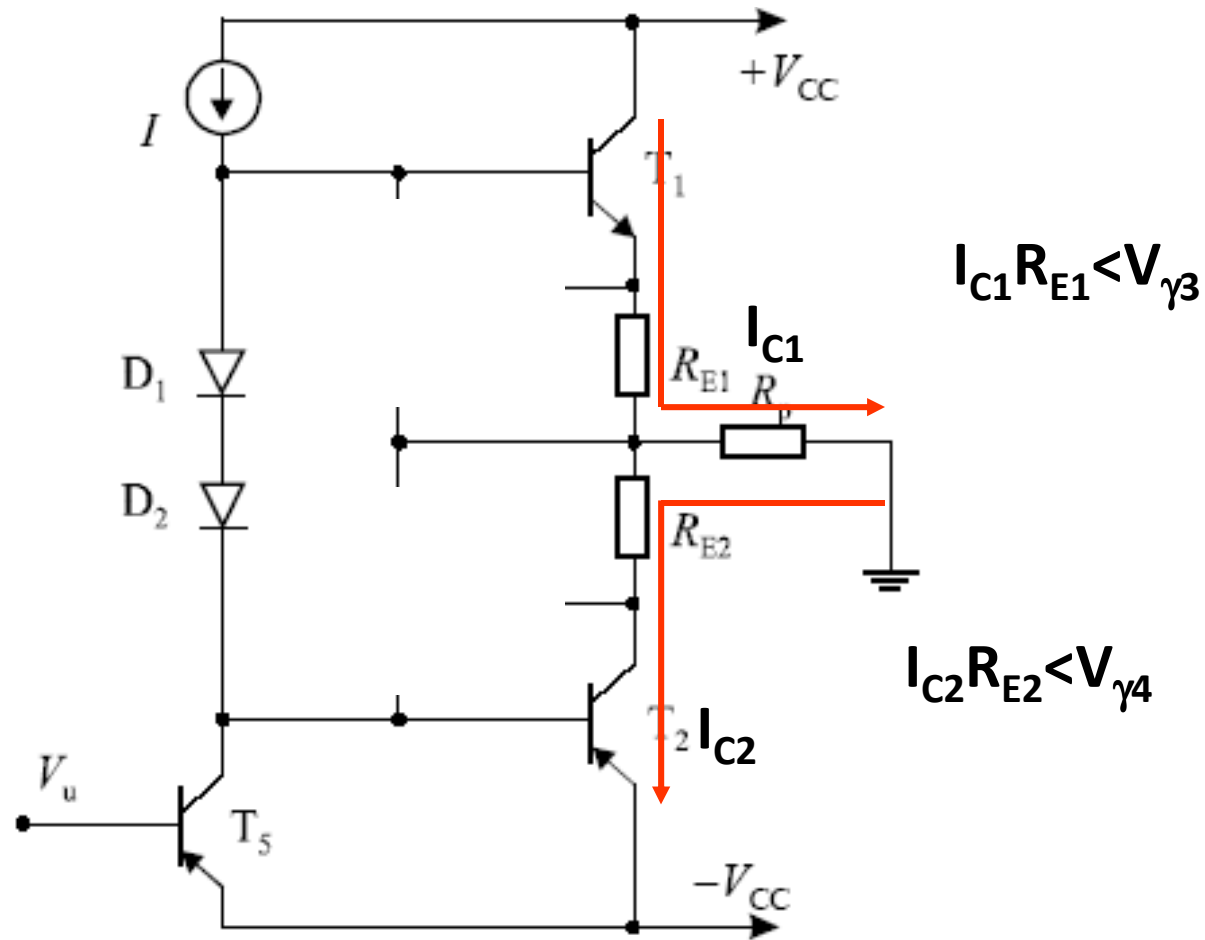
Pojačavači snage zaštita od kratkog spoja

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



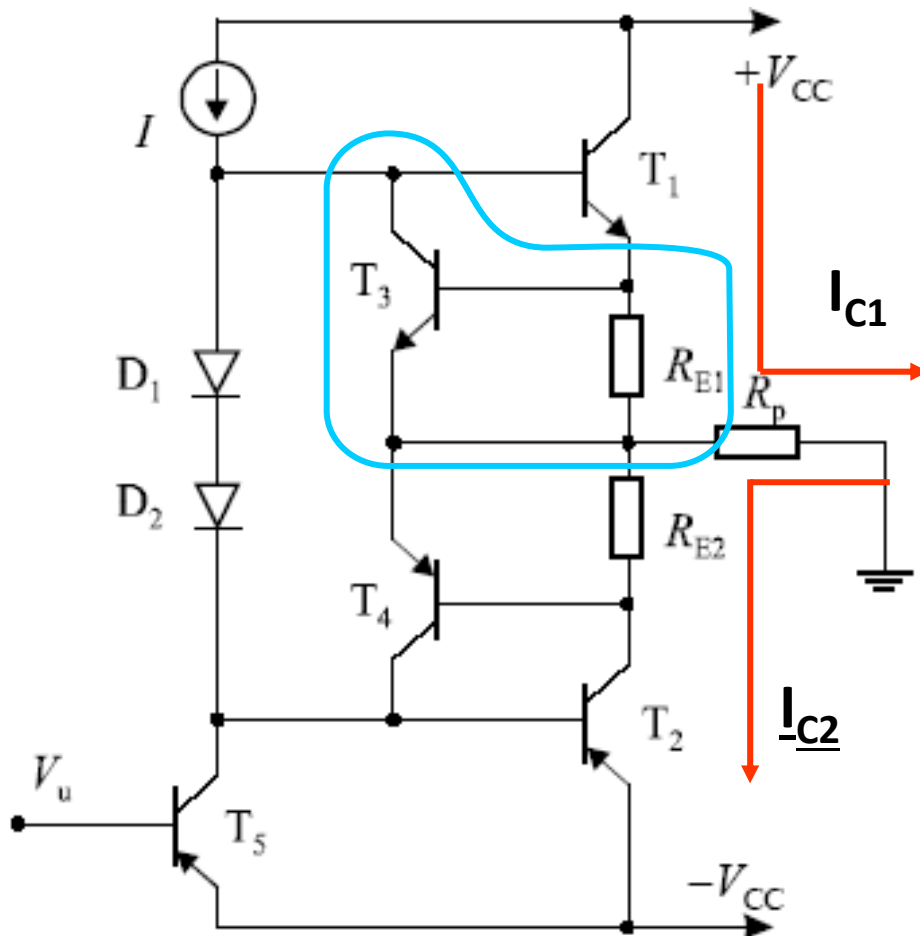
Pojačavači snage

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**)



Kroz senzorski otpornik RE1 teče ista struja kao kroz potrošač. Kada struja kroz potrošač dostigne maksimalnu dozvoljenu vrednost pad napona na RE1, pad napona na tom otporniku jednak je pragu provođenja tranzistora i zaštitni tranzistora T3 počinje da vodi.

Neophodan uslov koji treba da zadovolje senzorski otpornici:

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

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

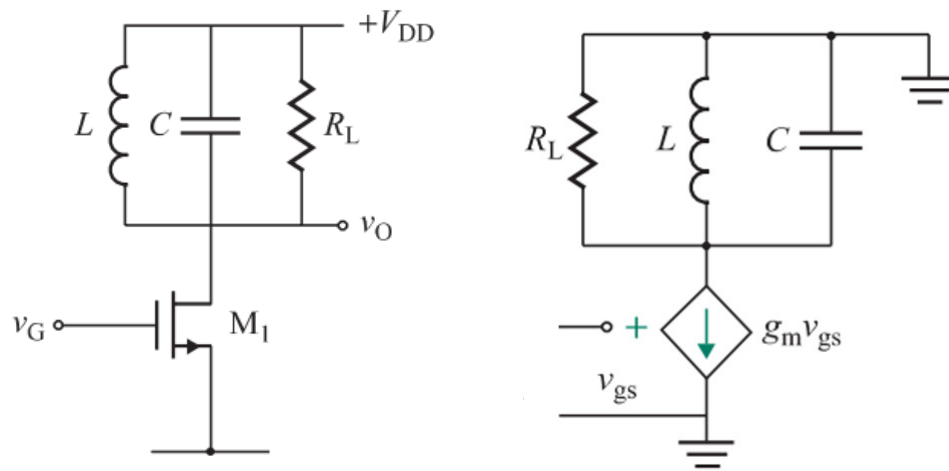
Pojačavači snage u klasi C

Pojačavači snage u klasi C

Pojačavaču u klasi C se može koristiti za pojačanje signala sa uskim frekvencijskim opsegom i stalne amplitude. Primenjuju se za pojačanje frekvencijski modulisanog signala. Pobudni signal treba da ima veću amplitudu jer je kod ovih pojačpvača začajno umanjen i osnovni harmonik. Pojačanje uskog opsega frekvencije postiže se primenom oscilatornog kola.

Rezonantna frekvencija oscilatornog kola je $\omega_o = \frac{1}{\sqrt{L \cdot C}}$

Faktor dobrote oscilatornog kola $Q = \frac{R}{\omega_o \cdot L} = \omega_o \cdot C \cdot R$



Pojačavači snage u klasi C

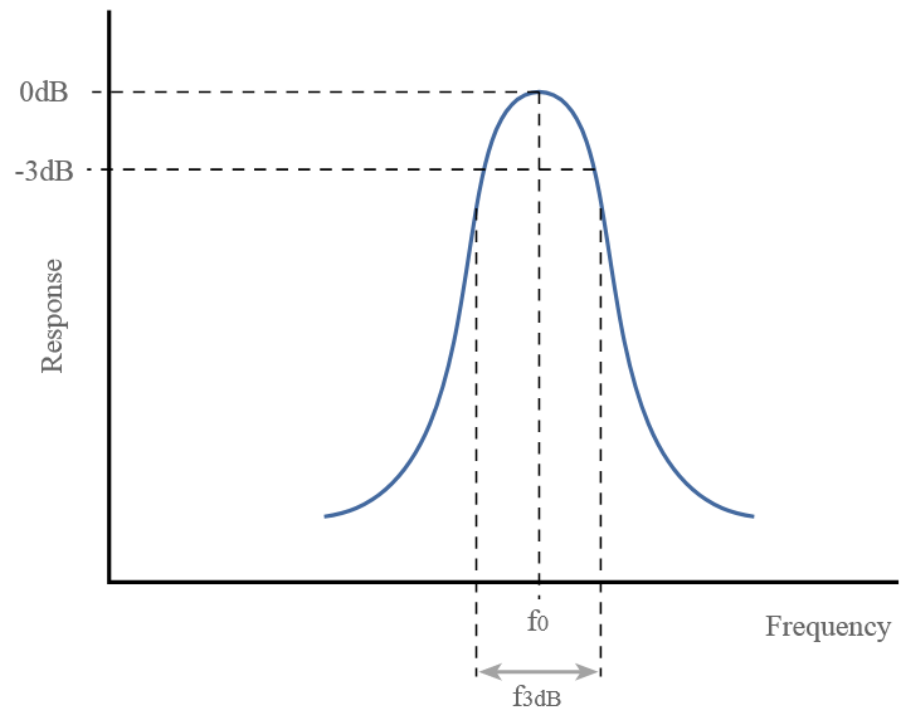
Prilikom projektovanja selektivnog pojačavača unapred se zadaje širina propusnog opsega pojačavača. Donja i gornja granična frekvencija pojačavača određena je sa rezonantnom frekvencijom i faktorom dobrote rezonantnog oscilatora:

$$\omega_g = \omega_o \left(1 + \frac{1}{2Q} \right)$$

$$\omega_d = \omega_o \left(1 - \frac{1}{2Q} \right)$$

Širina propusnog opsega je:

$$B = \omega_g - \omega_d = \frac{\omega_o}{Q}$$



Pojačavači snage

Elementarna pitanja

1. Korisna snaga, snaga izvora napajanja, stepen korisnog dejstva.
2. Klasifikacija pojačavača snage, talasni oblik napona na izlazu i položaj radne tačke u prenosnoj karakteristici za klase A, B, C.
3. Poređenje klasa A, B i AB sa stanovišta stepena korisnog dejstva i izobličenja (vrednost stepena iskorišćenja za pojedine klase).

Ostala ispitna pitanja

4. Snaga disipacije, hiperbola disipacije, zavisnost maksimalne snage disipacije od temperature.
5. Stepen korisnog dejstva pojačavač u klasi A (izvođenje izraza).
6. Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi B (prenosna karakteristika, režimi rad tranzistora u pojedinim delovima karakteristike).
7. Simetrična sprega sa komplementarnim parom u klasi AB, umanjeње krossover izobličenja primenom dioda.
8. Stepen korisnog dejstva pojačavač u klasi B (izvođenje izraza).
9. Pojačavači snage u klasi C.
10. Kolo za strujnu zaštitu, princip rada.