

# Analogna i digitalna elektronika

- **Pojačavači snage**
- **Povratna sprega**

# Analogna i digitalna elektronika

## ➤ Pojačavači snage

## Definicija

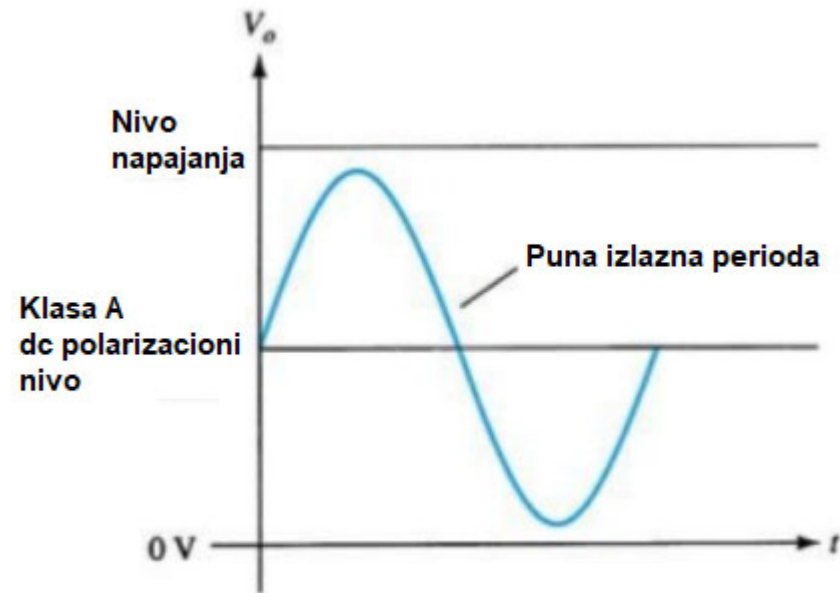
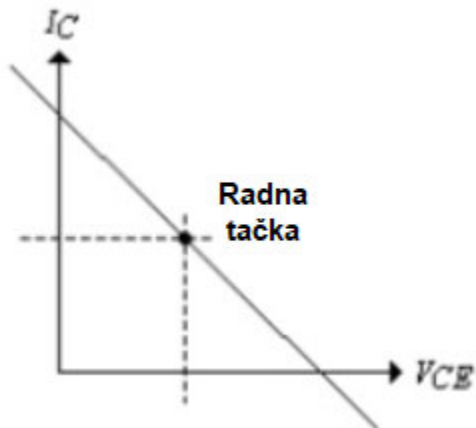
- **U pojačavačima malih signala, glavni faktori su:**
  - pojačanje
  - linearnost
  
- **Kako pojačavači snage rade sa relativno velikim naponskim signalima i nivoima struje, glavni faktori su:**
  - efikasnost
  - maksimalna snaga

# Klase pojačavača snage

- **Klasa A:**
  - Pojačavač provodi cijelih  $360^\circ$  periode ulaznog signala. Radna tačka je pozicionirana na u blizini sredini radne prave.
- **Klasa B:**
  - Pojačavač provodi  $180^\circ$  periode ulaznog signala. Radna tačka je pozicionirana u zakočenja.
- **Klasa AB:**
  - Predstavlja kompromis između klase A i B. Pojačavač provodi negdje između  $180^\circ$  i  $360^\circ$  periode ulaznog signala. Radna tačka je pozicionirana između sredine radne prave i oblasti zakočenja.
- **Klasa C:**
  - Pojačavač provodi manje od  $180^\circ$  periode ulaznog signala. Radna tačka je pozicionirana ispod granice zakočenja.
- **Klasa D:**
  - Ovaj pojačavač je posebno pogodan za digitalne signale.

# Pojačavač u klasi A

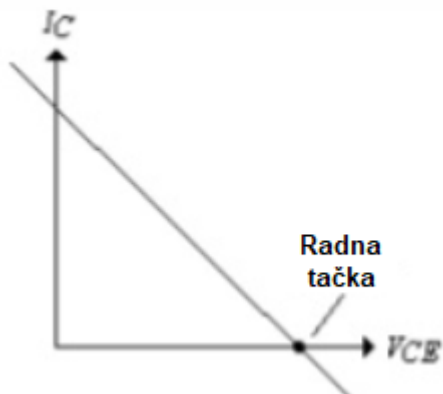
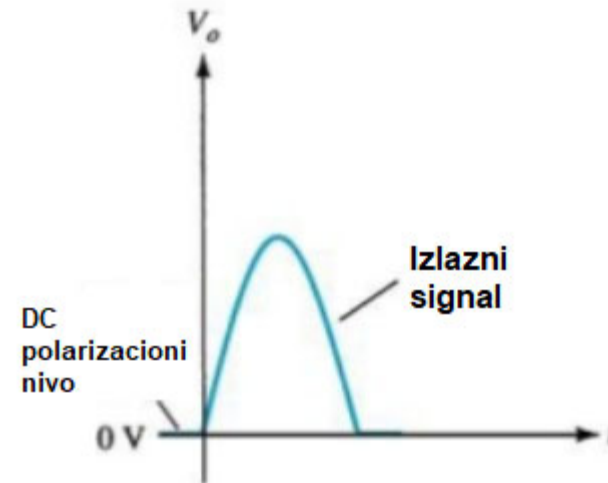
Pojačavač u klasi A provodi svo vrijeme (punu periodu,  $360^\circ$ )



Radna tačke je postavljena na, približno, sredini radne prave

# Pojačavač u klasi B

Pojačavač u klasi B provodi pola vremena (pola periode ulaznog signala,  $180^\circ$ )



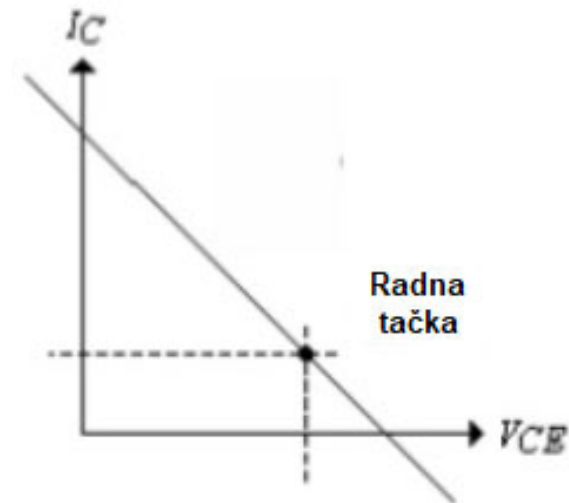
Radna tačka je na  $I_C=0$  radne prave.

## Pojačavač u klasi AB

Pojačavač u klasi AB predstavlja kompromis između klase A i klase B.

Radna tačka je iznad radne tačke pojačavača u klasi B ali i ispod radne tačke pojačavača u klasi A.

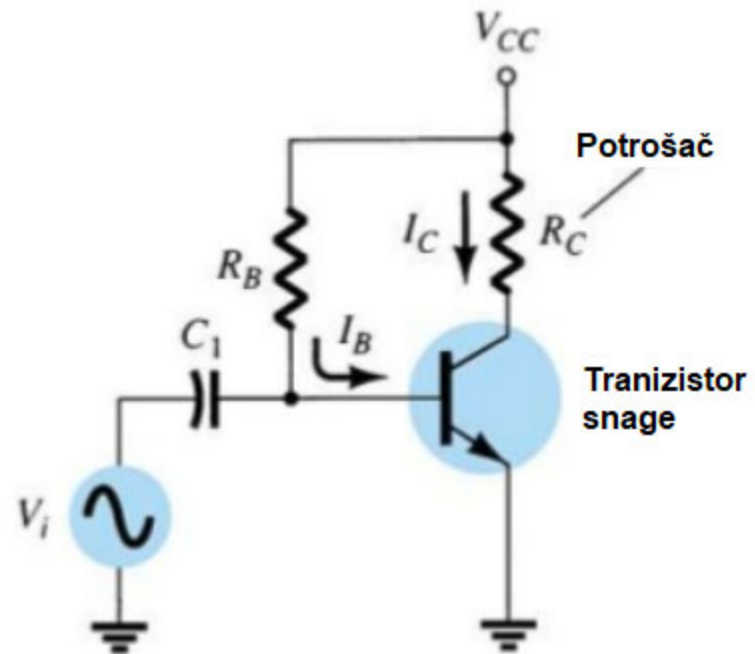
Pojačavač u klasi AB provodi nešto više od pola periode ulaznog signala. Između  $180^\circ$  i  $360^\circ$



## Pojačavač u klasi A

Ovaj pojačavač je sličan pojačavačima za male signale, osim što radi sa većim naponima.

Upotrijebljeni tranzistor je transistor snage.



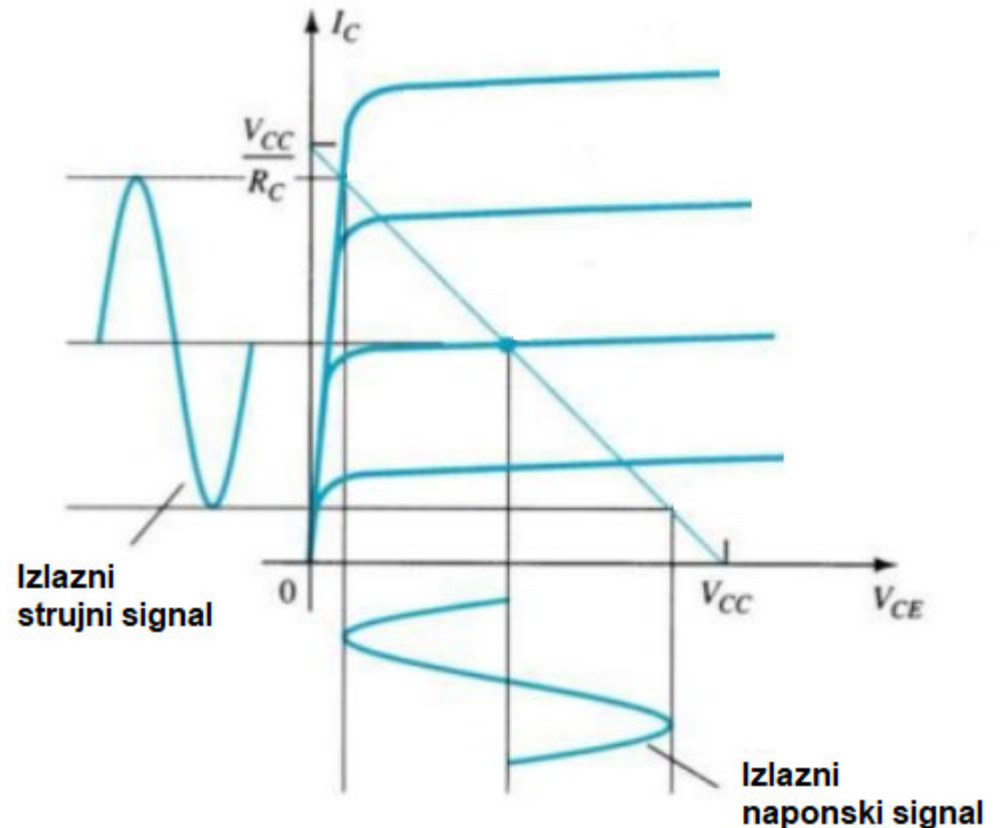


# Pojačavač u klasi A

Kada se priključi ulazni signal, polarizacioni napon i struja na izlazu će varirati.

Ulazni signal izaziva variranje izlaznog napona do maksimalne vrijednosti  $V_{CC}$  i minimalne vrijednosti  $V_{CES} \approx 0V$ .

Struja će takođe varirati od  $0mA$  do struje zasićenja  $I_{CSAT} \approx V_{CC}/R_C$ .



# Pojačavač u klasi A

## Uložena snaga

U pojačavač se snaga ulaže iz DC napajanja. U odsustvu ulaznog signala, teče DC struja, koja predstavlja polarizacionu struju kolektora,  $I_{CQ}$ .

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

## Izlazna snaga (Snaga koja se predaje potrošaču)

Izlazna snaga predstavlja snagu koja se predaje potrošaču i ona se još naziva korisna snaga.

$$P_K = \frac{1}{T} \int_0^T v_{R_C}(t) i_{R_C}(t) dt \quad \text{ili} \quad P_{K_{\max}} = \frac{1}{T} \int_0^T v_{R_C \max}(t) i_{R_C \max}(t) dt$$

$$P_{K_{\max}} = \frac{1}{2} R_C I_{c \max}^2 = \frac{1}{8} \frac{V_{CC}^2}{R_C}$$

## Pojačavač u klasi A

### Efikasnost (Koeficijent korisnog djelstva)

Efikasnost se izražava u procentima, kao odnos korisne snage i uložene snage.

$$\eta = \frac{P_K}{P_{CC}} \times 100$$

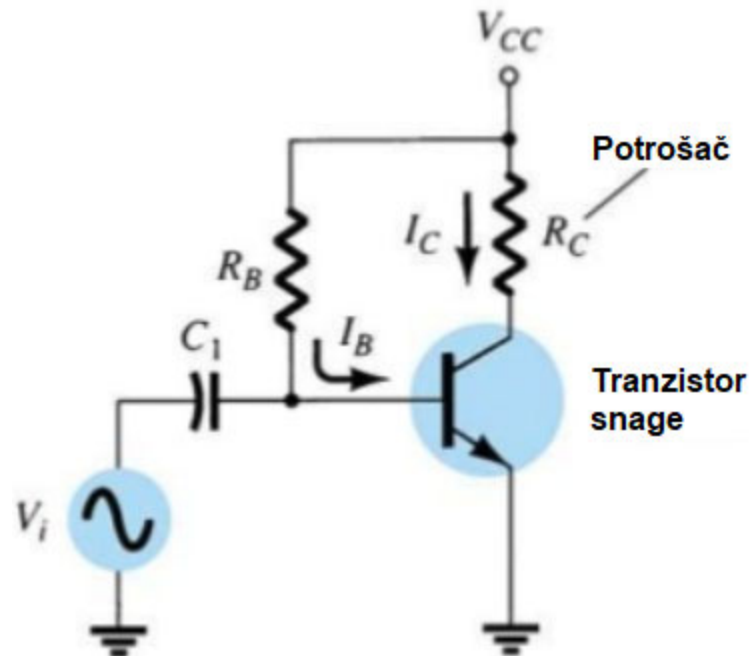
Za pojačavač u klasi A maksimalni koeficijent korisnog djelstva očigledno je manji od 25%

## Pojačavač u klasi A

### Primjer:

Izračunajte uloženu snagu, korisnu snagu i efikasnost pojačavača, za ulazni naponski signal koji proizvodi strujni signal baze amplitude 10mA.

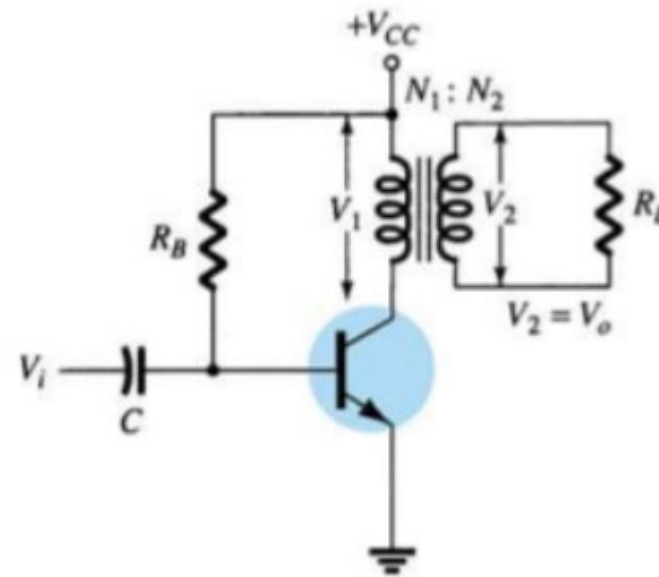
Poznato je:  $R_B = 1K\Omega$ ,  $R_C = 20\Omega$ ,  $\beta = 25$ ,  $V_{CC} = 20V$



# Pojačavač u klasi A – transformatorski spregnut potrošač

U ovom pojačavaču upotrijebljen je transformator za povezivanje potrošača.

Ovako se može povećati efikasnost pojačavača na do oko 50%.



# Pojačavač u klasi B

Pojačavač u klasi B se još naziva Push-Pull (dvotaktni, protivtaktni) pojačavač.

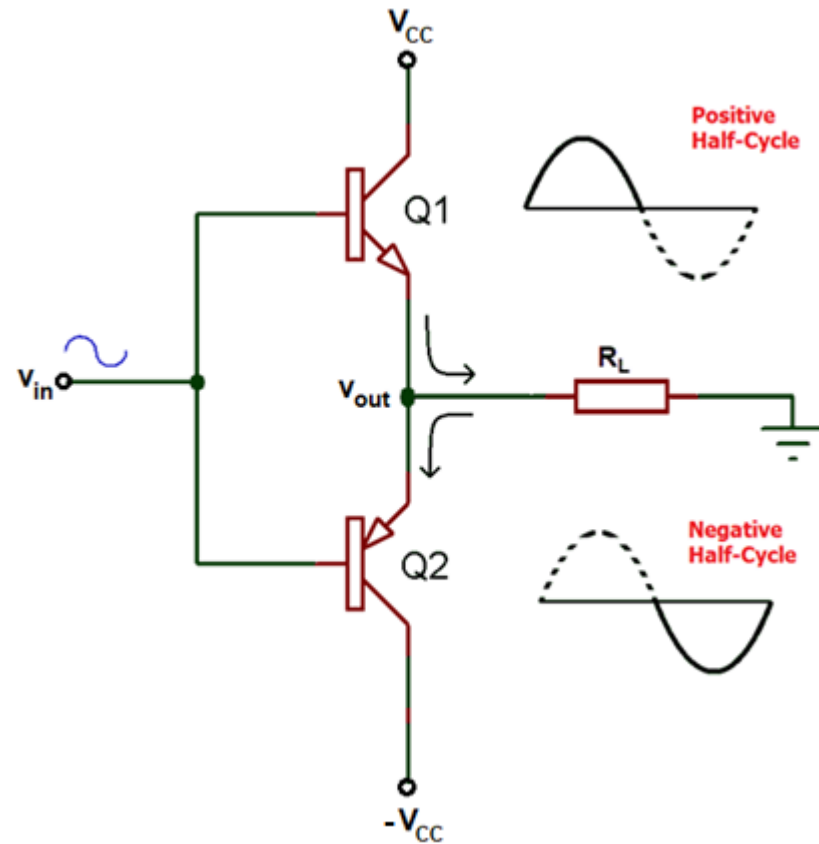
Efikasnost pojačavača u klasi B je veća nego efikasnost pojačavača u klasi A.

Sastoji se od dva tranzistora: NPN i PNP.

Svaki transistor provodi u jednoj periodi ulaznog signala.

Ugao provođenja je  $180^\circ$

Jedan transistor “gura” izlazni napona ka pozitivnim vrijednostima (pozitivna poluperioda), dok drugi transistor “vuče” izlazni napon ka negativnim vrijednostima (negativna poluperioda)



# Pojačavač u klasi B - Efikasnost

Ulazna snaga u pojačavač jednaka je

$$P_{CC} = \frac{1}{T} \int_0^T V_{CC} i_{cu} dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\pi} V_{CC} I_m \sin \omega t dt = \frac{2}{\pi} V_{CC} I_m$$

$$i_{cu} = i_{c1} + i_{c2}$$

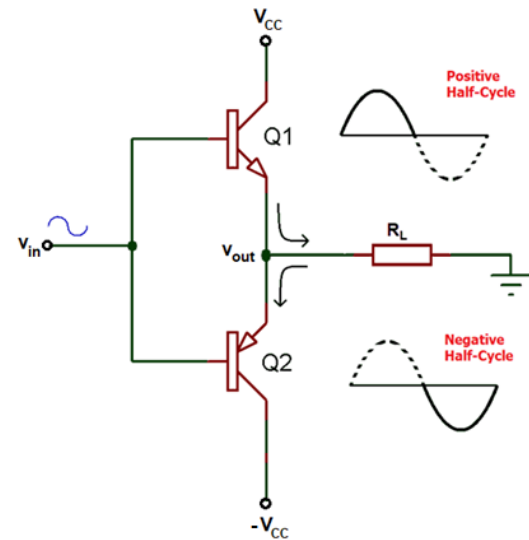
Korisna snaga je jednaka:

$$P_K = \frac{1}{T} \int_0^T v_p i_p dt = \frac{1}{T} \int_0^T R_L I_m^2 \sin^2 \omega t dt = \frac{1}{2} R_L I_m^2 = \frac{1}{2} V_p I_m = \frac{1}{2} \frac{V_p^2}{R_L}$$

Ako se uzme da je  $V_{pmax} \approx V_{CC}$  slijedi da je:  $P_{Kmax} = \frac{V_{CC}^2}{2R_L}$

Koeficijent korisnog djelovanja je:  $\eta = \frac{P_K}{P_{CC}} \times 100$

Dobija se da je:  $\eta_{max} = \frac{P_{Kmax}}{P_{CC}} \times 100 = \frac{\frac{V_{CC}^2}{2R_L}}{\frac{2}{\pi} \frac{V_{CC}^2}{R_L}} \times 100 = \frac{\pi}{4} \times 100 = 78.54\%$



# Pojačavač u klasi B

Pati od efekta poznatog kao izobličenja mrtve zone (Crossover Distortion) u kojima je izlazni signal izobličen na 0V.

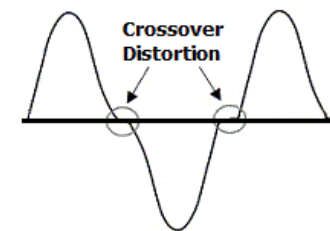
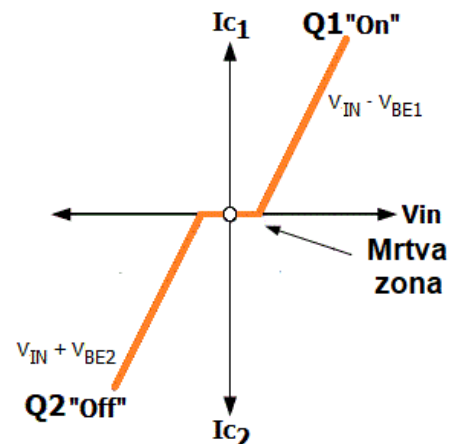
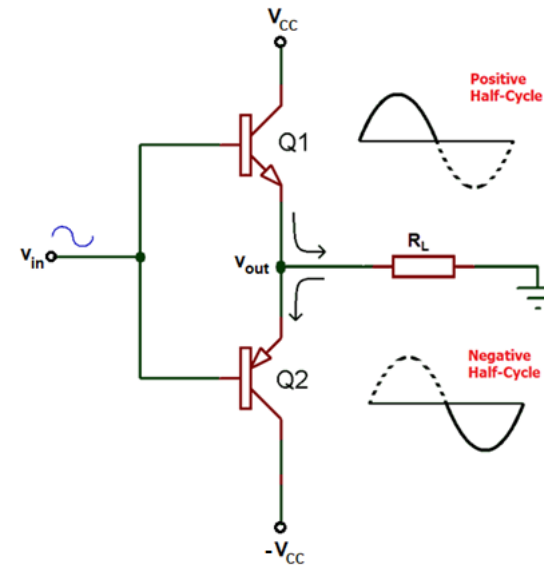
Poznato je da transistor zahtijeva 0.7V između baze i emitora da bi proveo.

Kada AC ulazni napon počinje rasti od 0V, dok ne dostigne 0.7V, transistor ostaje zakočen i na izlazu nema nikakvog napona.

Isto se dešava i sa PNP tranzistorom u negativnoj poluperiodi ulaznog signala.

Ova pojava na izlazu, naziva se mrtva zona.

U cilju prevazilaženja problema, upotrebljavaju se diode ili otpornici za polarizaciju tranzistora, i tada se dobija pojačavač u klasi AB.



Talasni oblik na izlazu



# Pojačavač u klasi AB

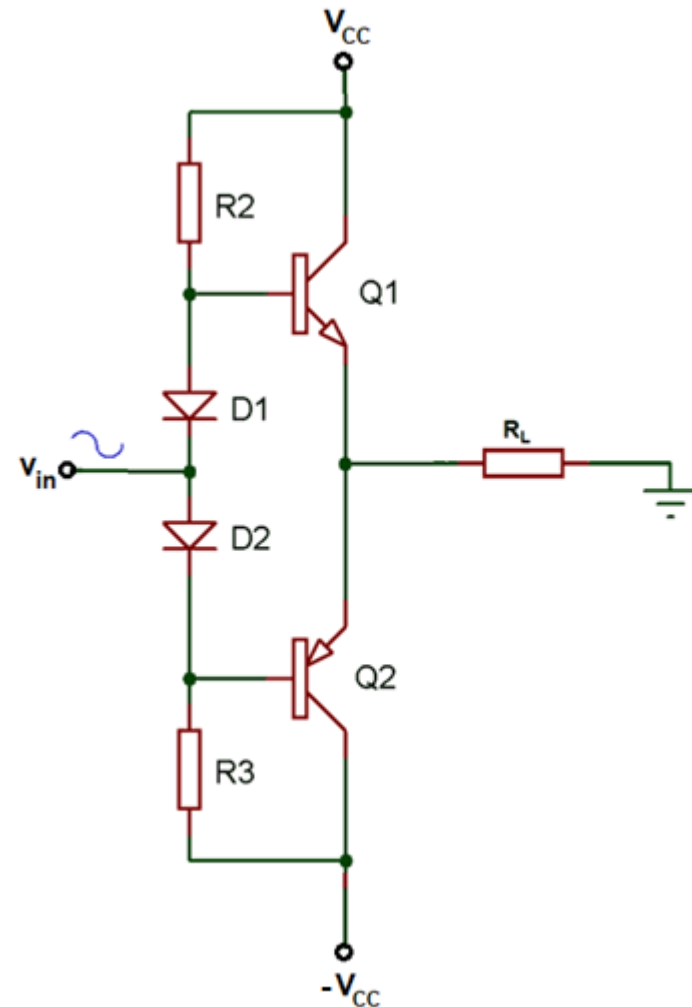
Uobičajen metod za eliminisanje izobličenja mrtve zone je polarizacija oba tranzistora tako da se oni nalaze na granici provođenja (Slika).

Ovakvo kolo je poznato kao pojačavač u klasi AB

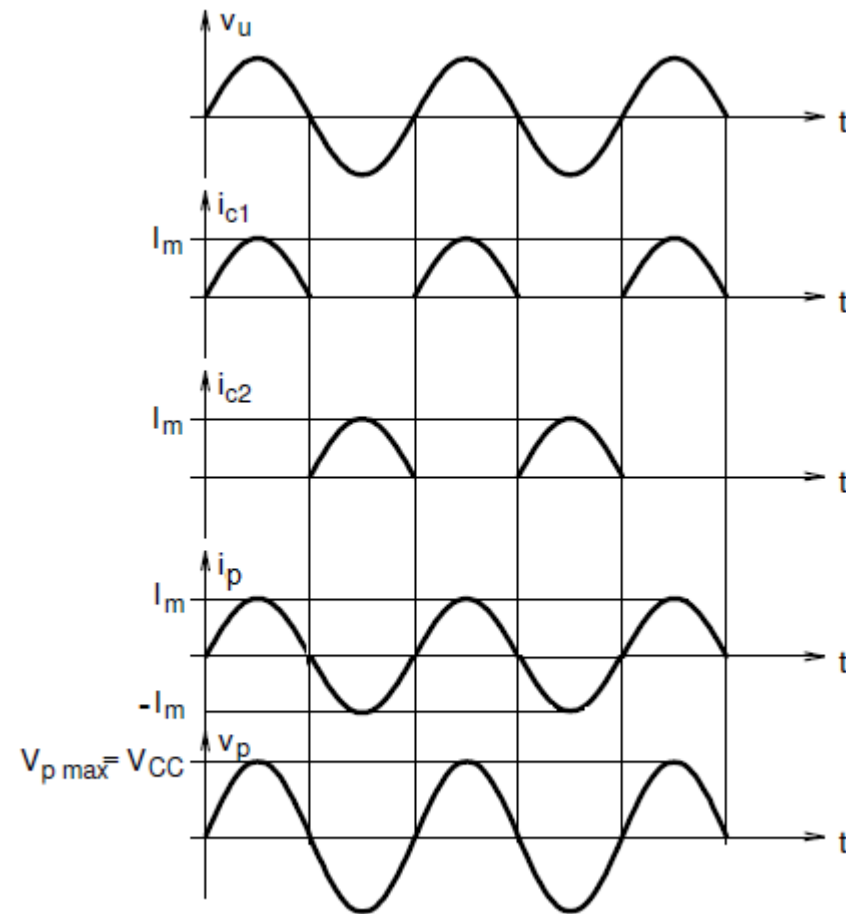
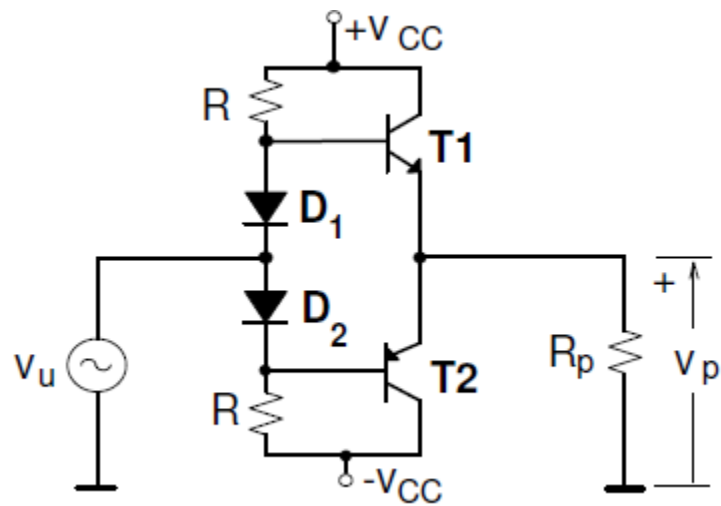
Pojačavač u klasi AB predstavlja kombinaciju pojačavača u klasi A i pojačavača u klasi B.

Dodavanjem diode tranzistori su polarisani tako da malo provode struju i u odsustvu ulaznog signala.

Time se uklanja problem izobličenja mrtve zone ali i nešto, ali ne značajno, umanjuje efikasnost pojačavača u odnosu na klasu B.

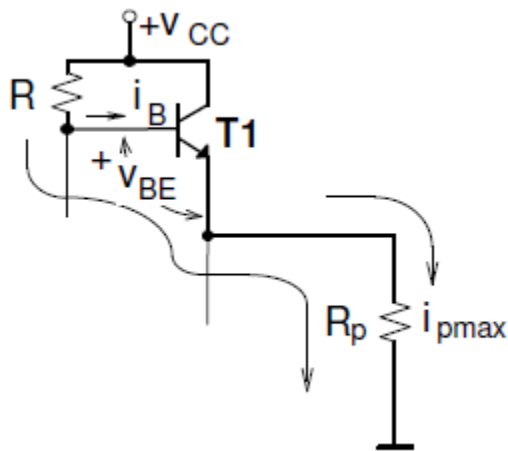
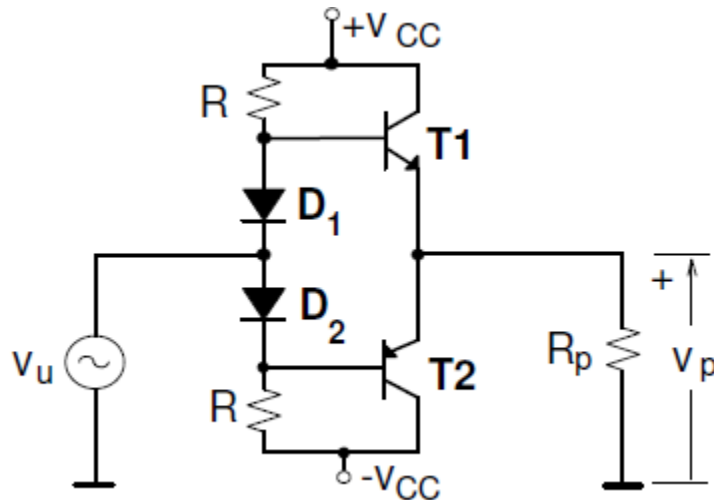


# Pojačavač u klasi AB



# Pojačavač u klasi AB

Maksimalna struja potrošača



Iz konture sa slike ispod ima se da je:

$$V_{CC} - R i_{B \max} - V_{BE} - R_P i_{p \max} = 0$$

Kako je  $i_p = \beta i_B$ , rješavanjem po  $i_B$  dobija se:

$$i_{B \max} = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R + \beta R_P}$$

Pa je:

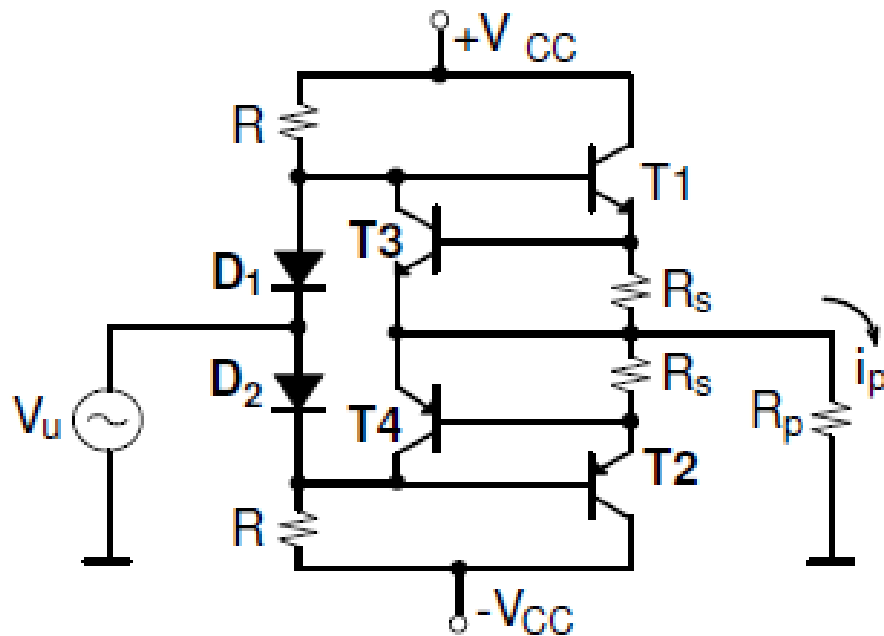
$$i_{P \max} = \beta \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R + \beta R_P}$$

odnosno:

$$v_{P \max} = R_P i_{P \max}$$

# Pojačavač u klasi AB

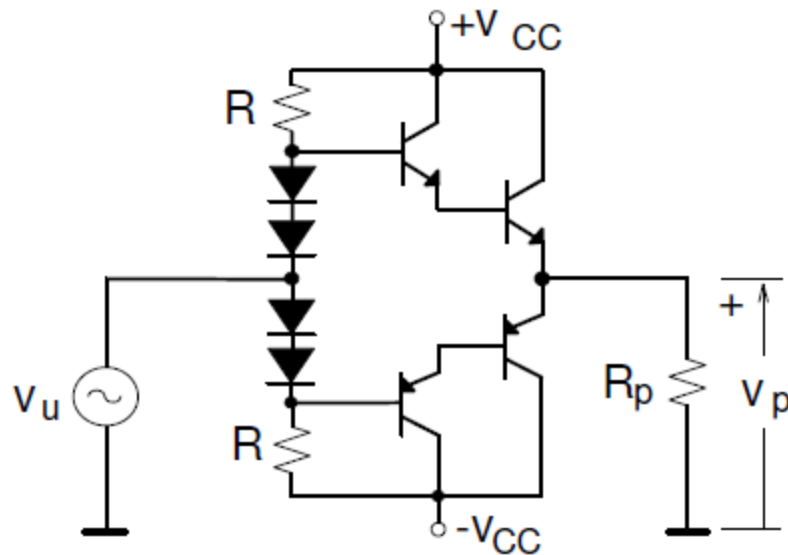
Strujna zaštita:



Dodavanjem paru  $T_1$  i  $T_2$  tranzistora  $T_3$  i  $T_4$  realizuje se strujna zaštita.

# Pojačavač u klasi AB

Povećanje ulazne otpornosti



$$i_{P_{\max}} = \beta_1 \beta_2 \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R + \beta_1 \beta_2 R_P}$$

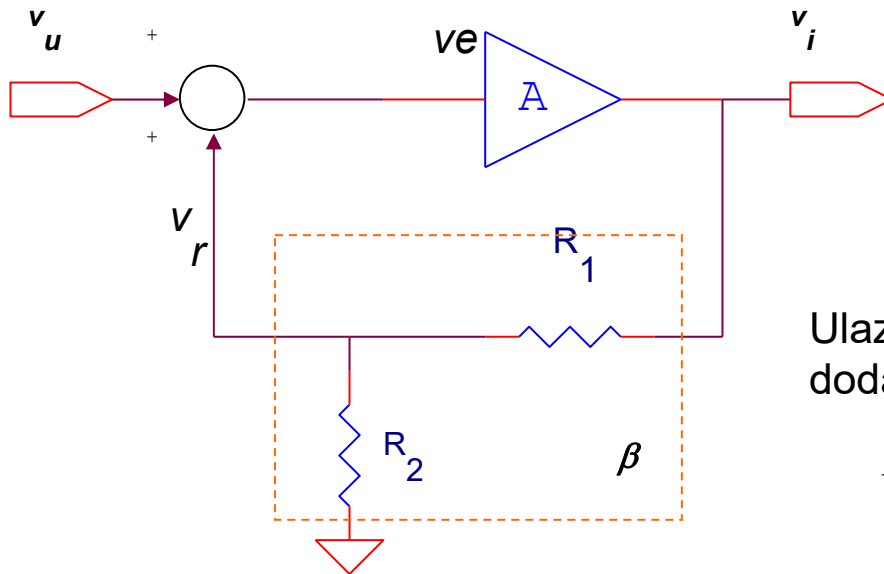
# Analogna i digitalna elektronika

## Povratna sprega

## Povratno djejestvo izlaza na ulaz

- **Izlazni signal ima uticaja na ulazni.**
- **Signal na ulazu pojačavača se modifikuje pa se i pojačanje ekvivalentnog pojačavača mijenja**

# Struktura pojačavača sa povratnom spregom



$\beta$  - kolo povratne sprege

$$\beta = \frac{v_r}{v_i} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

Ulaznom signalu na ulazu u osnovni pojačavač dodaje se povratni signal, pa je:

$$v_e = v_u + v_r = v_u + \beta v_i$$

Pojačanje osnovnog pojačavača je:  $A = \frac{v_i}{v_e}$

Pojačanje sa reakcijom je:  $A_r = \frac{v_i}{v_u}$

Sređivanjem se dobija da je pojačanje sa povratnom spregom (reakcijom):

$$A_r = \frac{v_i}{v_u} = \frac{A}{1 - A\beta}$$



## Karakteristični slučajevi

1. Kada je  $|1 - A_\beta| > 1$ , odnosno kada je ekvivalentno pojačanje manje od pojačanja pojačavača bez sprege, kaže se da je uspostavljena negativna povratna sprega.
2. Kada je  $|1 - A_\beta| < 1$ , pojačanje sa spregom je veće nego bez nje. Sprega takvog tipa naziva se pozitivna povratna sprega.
3. Specijalan slučaj prethodnog je  $|1 - A_\beta| = 0$ . Tada je rezultatno pojačanje teorijski beskonačno. Kola kod kojih je ispunjen ovaj uslov nazivaju se oscilatori.

# Osnovni pojmovi

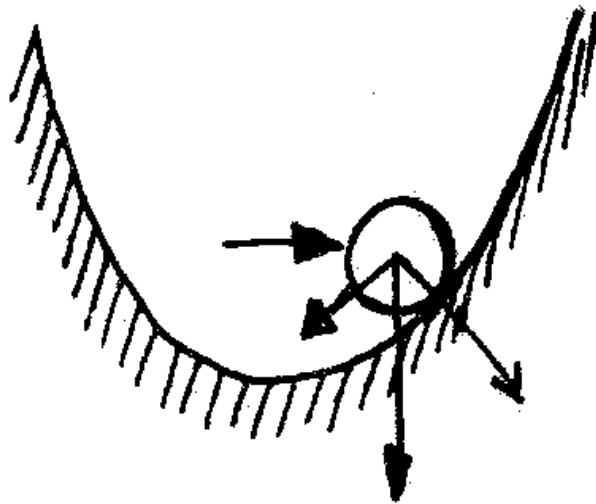
- $A\beta$  - kružno pojačanje
- $1-A\beta$  - funkcija reakcije
- $A_r$  – pojačanje sa reakcijom
- $A$  – pojačanje u otvorenoj konturi
- $v_r$  – signal reakcije
- $v_u$  – ulazni signal

$$A_r = \frac{v_i}{v_u} = \frac{A}{1 - A\beta}$$

# Negativna i pozitivna povratna sprega

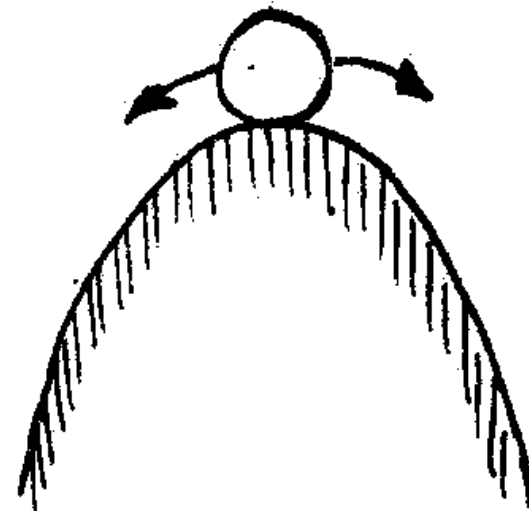
Negativna povratna sprega (NPS)

ravnoteža, stabilnost

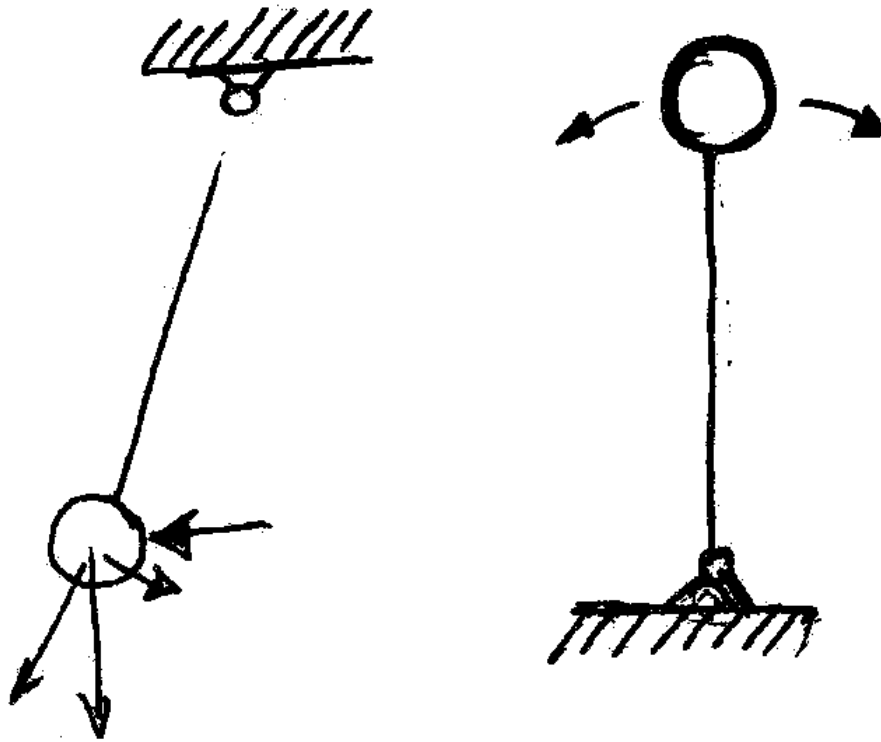


Pozitivna povratna sprega (PPS)

divergencija, nestabilnost



# Negativna i pozitivna povratna sprega



## Negativna povratna sprega (NPS)

Negativna povratna sprega sa najčešće realizuje tako što se podesi da je faza  $A\beta$  jednaka  $\pi$ .

U tom slučaju važi:

$$A_r = \frac{v_i}{v_u} = \frac{A}{1 - A\beta}$$

$$A_r = \frac{v_i}{v_u} = \frac{A}{1 + |A\beta|}$$

Ukoliko je  $|A\beta| \gg 1$ , slijedi:

$$A_r = \frac{1}{\beta}$$

Ekvivalentno pojačanje nezavisno je od pojačanja osnovnog pojačavača.

Za jaku spregu  $|A\beta| \gg 1$ , takođe važi:

$$v_e = v_u + v_r \rightarrow 0$$

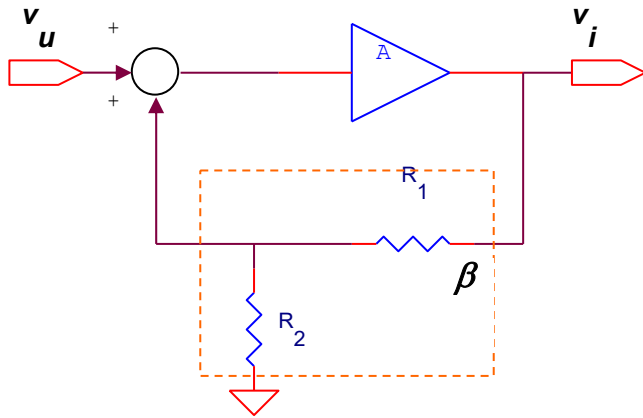
jer je:

$$v_i = \frac{A}{1 + |A\beta|} v_u \quad \text{i} \quad v_i = A v_e$$

odakle slijedi:

$$v_e = \frac{1}{1 + |A\beta|} v_u \rightarrow 0$$

## Uticaj NPS na konstantnost pojačanja



Pojačanje pojačavača A zavisi od puno faktora:

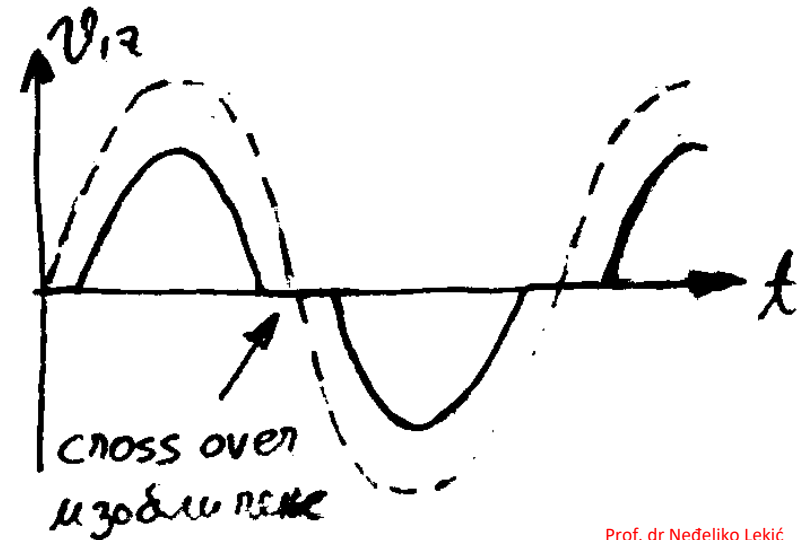
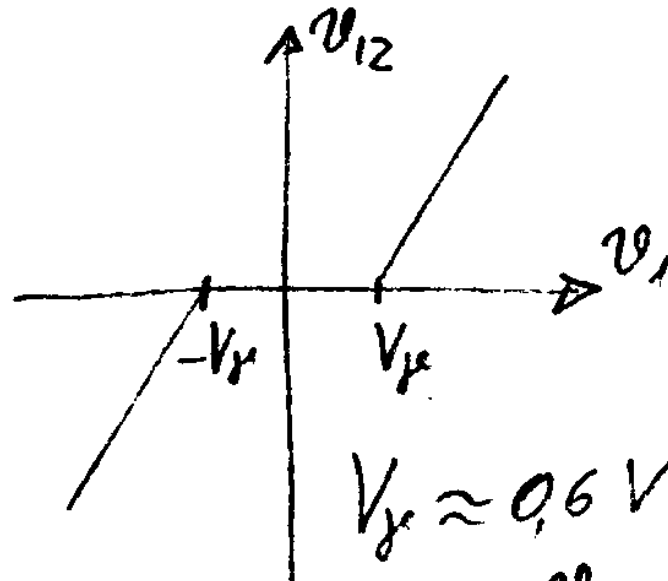
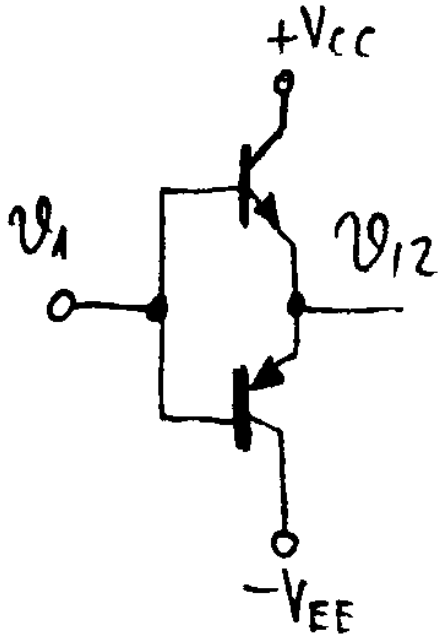
$$A = A(T, t, V_{CC}, R_P, \dots)$$

$$\frac{dA}{A} \text{ - relativna promjena } A$$

$$\frac{dA_r}{A_r} = \frac{d\left(\frac{A}{1 - A\beta}\right)}{\frac{A}{1 - A\beta}} = \frac{\frac{dA}{A}}{1 - A\beta}$$

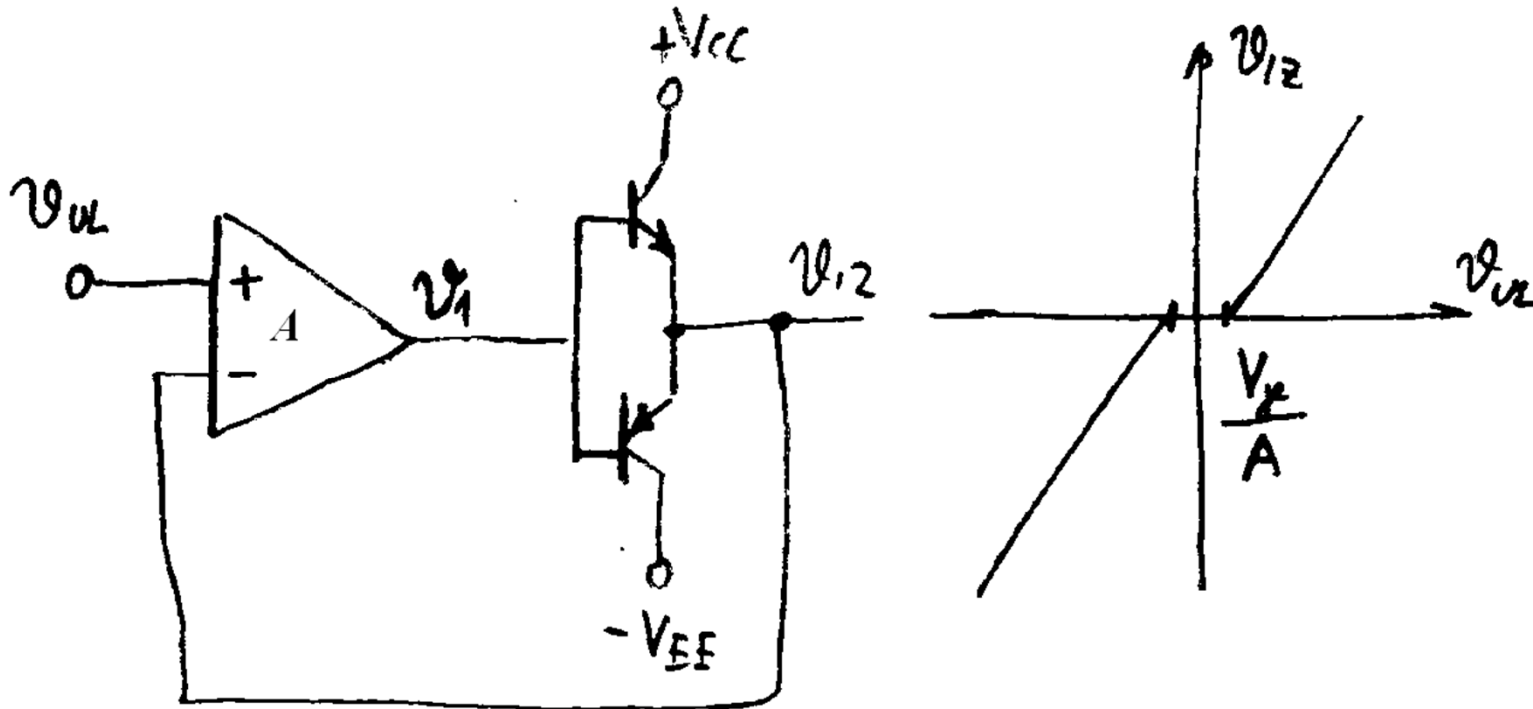
# Uticaj NPS na izobličenja

Izobličenje mrtve zone kod pojačavača u B klasi.



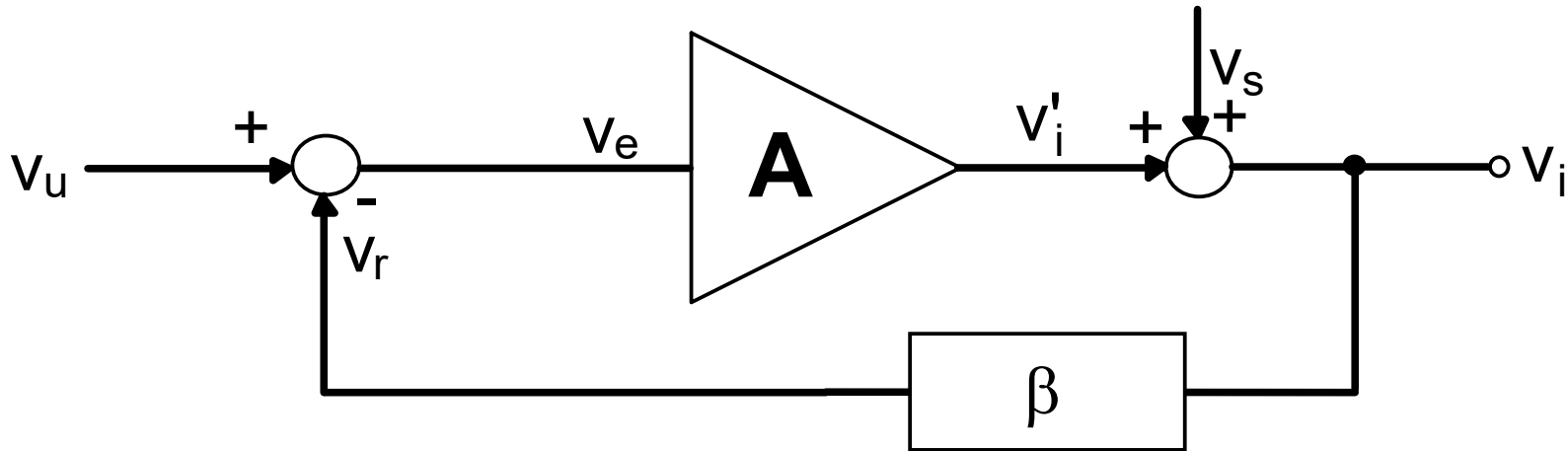
# Uticaj NPS na izobličenja

NPS smanjuje mrtvu zonu A puta





## Šum u kolu NPS



$$v_i = Av_u - |A\beta|v_i + v_s \quad \Rightarrow \quad v_i = \frac{A}{1 + |A\beta|} v_u + \frac{1}{1 + |A\beta|} v_s$$

**Zaključak:** Što je izvor šuma bliže izlazu, NPS više redukuje šum.

## Kolo može imati i NPS i PPS

