

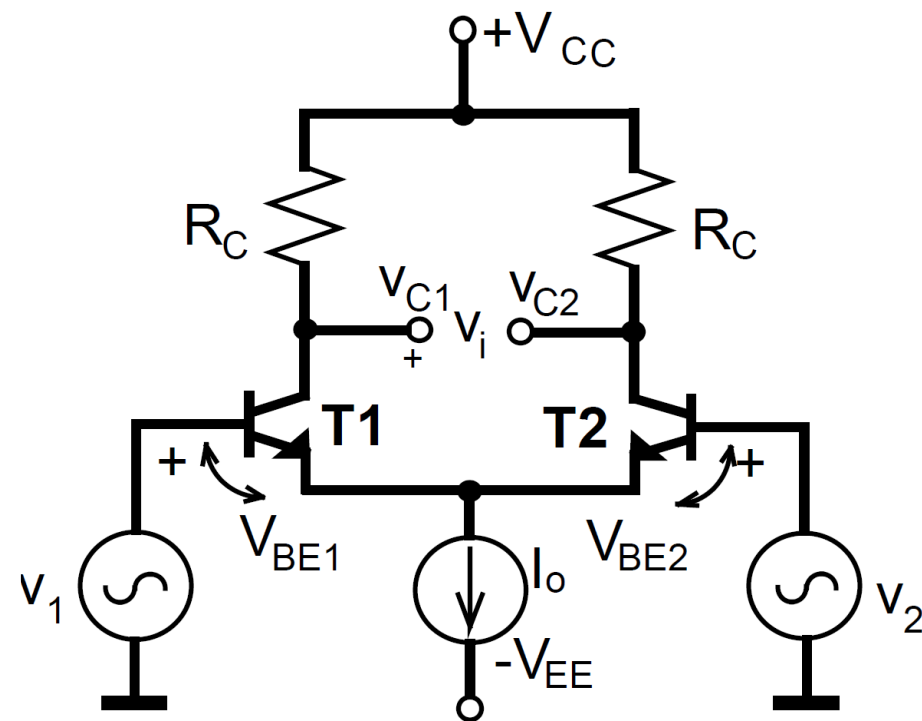
# Diferencijalni pojačavači i strujni izvori

Osnovi elektronike

Studije primijenjenog računarstva

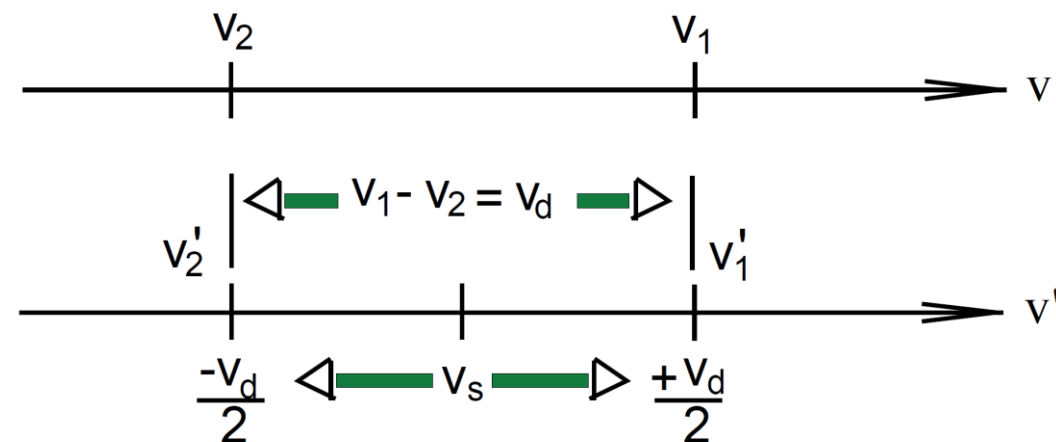
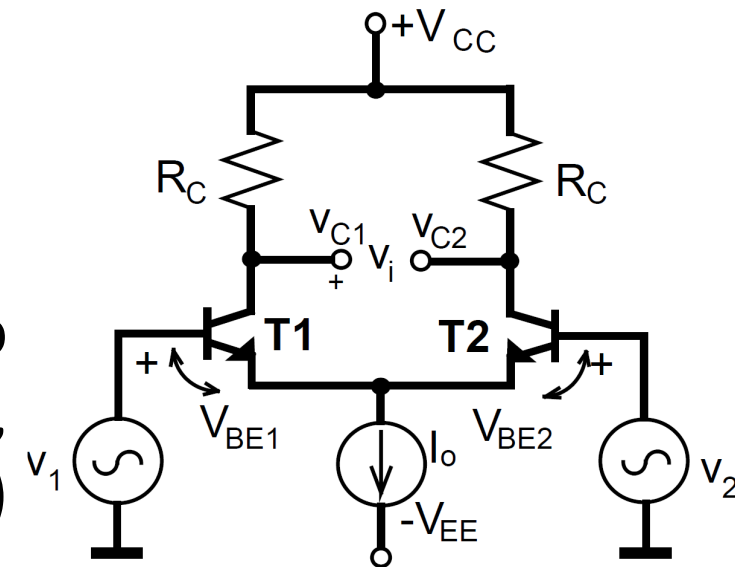
# Diferencijalni pojačavač

- Diferencijalnim pojačavačem se razlika napona sa ulaza pojačava na izlazu
- Pretpostavka da je pojačavač idealan
  - odnosno da su tranzistori i otpornici identičnih
  - Karakteristika
- Tada, ukoliko su na ulazima jednaki naponi, (naponi  $V_1$  i  $V_2$ ) kolektorske struje tranzistora su iste, a, samim tim, jednaki su padovi napona na otpornicima  $R_c$
- Kao rezultat toga, **izlazni napon, koji predstavlja razliku kolektorskih napona pojedinih tranzistora,** jednak je nuli.



# Diferencijalni pojačavač

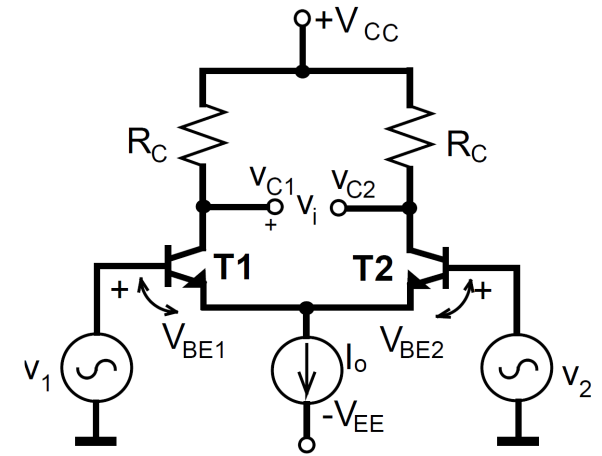
- Međutim, ukoliko su ulazni naponi  $V_1$  i  $V_2$  međusobno različiti, odnosno ako je  $V_1 - V_2 = V_d$  različito od nule, onda se na izlazu dobija pojačani ulazni (diferencijalni) napon
- Posmatrajmo diferencijalni napon  $V_d$  kao razliku koja se dobija tako što se  $V_1$  posmatra kao odstupanje u pozitivnom smjeru za  $V_d/2$  od srednje vrijednosti  $V_s$  ( $V_s = (V_1 + V_2)/2$ ), a  $V_2$  kao odstupanje u negativnom smjeru za  $V_d/2$  od iste vrijednosti



# Diferencijalni pojačavač

- Na ovaj način, djelovanje napona  $V_d$  može se prikazati kao djelovanje  $V_d/2$  na ulazu gdje je priključen  $V_1$  i kao djelovanje  $-V_d/2$  na drugom ulazu
- U ovom slučaju, pri porastu  $V_d$ , **struja kolektora prvog tranzistora se povećava**, dok se **struja kolektora drugog tranzistora smanjuje u istom iznosu**
- To ima za posljedicu proporcionalno smanjenje napona na kolektoru prvog, odnosno isto takvo povećanje napona na kolektoru drugog tranzistora, što znači da se i njihova razlika, koja je zapravo izlazni napon  $V_i$ , povećala.

# Diferencijalni pojačavač



- Za izlazni napon važi:

$$V_I = V_{CC} - R_C I_{C1} - (V_{CC} - R_C I_{C2}) = R_C (I_{C1} - I_{C2})$$

- Takođe važi da je  $I_0 = I_{E1} + I_{E2}$ , pa, imajući u vidu činjenicu da su struje emitora i kolektora približno jednake, važi:

$$I_0 = I_{C1} + I_{C2}$$

- Kako je:

$$I_{C1} = I_S e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}$$

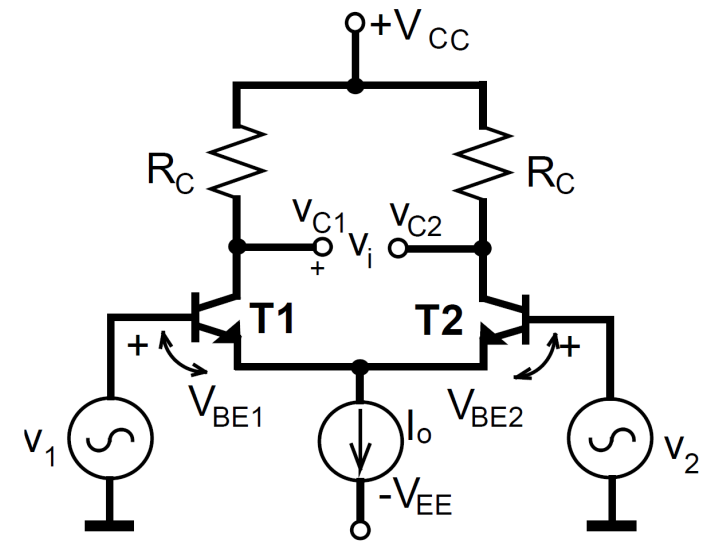
$$I_{C2} = I_S e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}}$$

$$\left. \begin{aligned} V_I &= R_C I_S \left( e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} - e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}} \right) \\ I_S \left( e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}} + e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} \right) &= I_0 \end{aligned} \right\} \rightarrow V_I = R_C I_0 \left( \frac{e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} - e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}}{e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}} + e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}}} \right)$$

# Diferencijalni pojačavač

- Sa slike se vidi da je:  $V_1 - V_{BE1} + V_{BE2} - V_2 = 0$   
 $V_1 - V_2 = V_{BE1} - V_{BE2}$

$$V_d = V_1 - V_2, \quad V_d = V_{BE1} - V_{BE2}$$



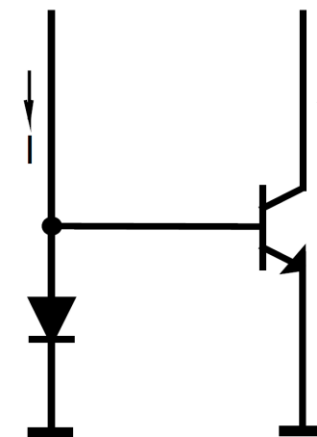
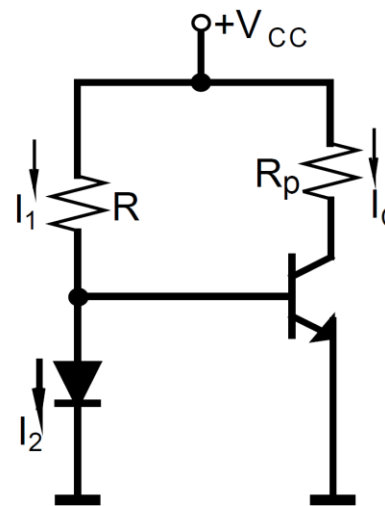
- Dijeljenjem svakog člana relacije  $V_I = R_C I_0 \left( \frac{e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} - e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}}}{e^{\frac{V_{BE1}}{V_T}} + e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}}} \right)$  sa  $e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}}$  dobija se

prenosna karakteristika diferencijalnog pojačavača:

$$V_I = R_C I_0 \left( \frac{e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} \left( \frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{V_T} \right)}{e^{\frac{V_{BE2}}{V_T}} \left( e^{\frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{V_T}} + 1 \right)} \right) = R_C I_0 \left( \frac{1 - e^{\frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{V_T}}}{1 + e^{\frac{V_{BE1} - V_{BE2}}{V_T}}} \right) \longrightarrow V_I = R_C I_0 \left( \frac{1 - e^{\frac{V_d}{V_T}}}{1 + e^{\frac{V_d}{V_T}}} \right)$$

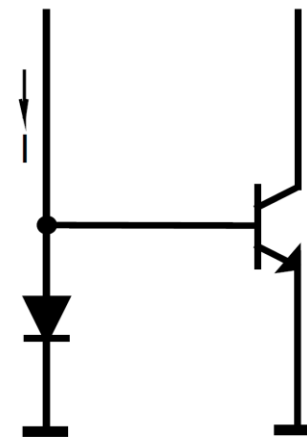
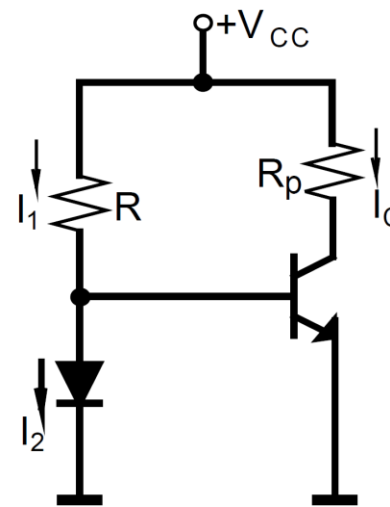
# Strujni izvori

- Idealnim strujnim izvorom smatrao bi se onaj izvor koji bi bio sposoban da daje konstantnu struju, nezavisno od otpora potrošača, i koji bi imao beskonačnu vrijednost sopstvene otpornosti
- Nažalost, takav strujni izvor nije moguće realizovati, pa su, stoga, svi strujni izvori, manje ili više, nesavršeni, odnosno, samo približno ispunjavaju prethodne zahtjeve
- Realizacija jednog, veoma jednostavnog (sa dosta grubom aproksimacijom), strujnog izvora prikazana je na slici



# Strujni izvori

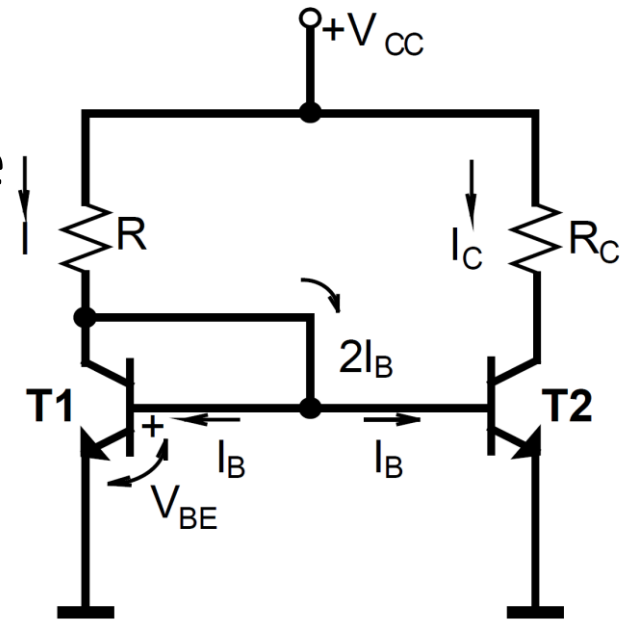
- Kolo sa prethodne slike naziva se **strujno ogledalo**
- Njegov naziv slijedi iz same funkcije. Kolo se projektuje tako da prenosna karakteristika tranzistora (struja kolektora u zavisnosti od napona baza-emitor) i strujno naponska karakteristika diode budu što je moguće sličnije. Ukoliko se, za teorijsku analizu, uzme da su ove karakteristike identične, tada su kolektorska struja i struja diode jednake, jer su napon baza-emitor i napon diode isti
- Kako je bazna struja  $\beta$  puta manja od kolektorske struje, to se može, sa dovoljnom tačnošću, smatrati da je struja kroz otpornik  $R$  jednaka struji diode, a ova je jednaka kolektorskoj struji.
- Zbog pretpostavke da su pomenute karakteristike diode i tranzistora identične, može se zaključiti da je  $I_1$  približno jednako sa  $I_c$
- Na ovaj način se, znači, struja iz grane sa otpornikom preslikava, kao u ogledalu, na kolektorsku granu.





# Strujni izvori

- Postoje realizacije strujnih ogledala kod kojih se preslikavanje struje vrši uz manje aproksimacije (savršeniji izvori)
- Jedno takvo strujno ogledalo prikazano je na slici
- Da bi izvršili analizu ovog strujnog izvora, pretpostavimo, na početku, da su **tranzistori identičnih karakteristika**
- U ovom slučaju, njihove bazne struje su iste, te su im, samim tim, i kolektorske struje jednake
- Sa slike se vidi da je  $I = \frac{V_{CC} - V_{BE}}{R} \approx \text{const}$ , kao i  $I = I_C + 2I_B = I_C(1 + 2/\beta)$ .
- Kako je korektna pretpostavka da je  **$2/\beta$**  zanemarljivo, to slijedi da je  **$I_C$**  približno jednako struji  **$I$**



# Strujni izvori (sa tri tranzistora)

- Šema poboljšane verzije strujnog ogledala data je na slici

- U ovom slučaju važi da je:  $I = \frac{V_{CC} - 2V_{BE}}{R} \cong \text{const}$

- Takođe je  $I_{E3} = 2I_B = 2I_C/\beta$ , odnosno  $I_{B3} = I_{E3}/(\beta + 1)$

- Kako je  $I = I_C + I_{B3}$ , slijedi da je  $I = I_C \left(1 + \frac{2}{\beta^2 + \beta}\right)$

- Očigledno je da su mnogo bolje karakteristike

ovog, nego prethodno razmatranog, strujnog izvora jer je:

$$\frac{2}{\beta^2 + \beta} \ll \frac{2}{\beta}$$

