



Elektronički sklopovi - uvod

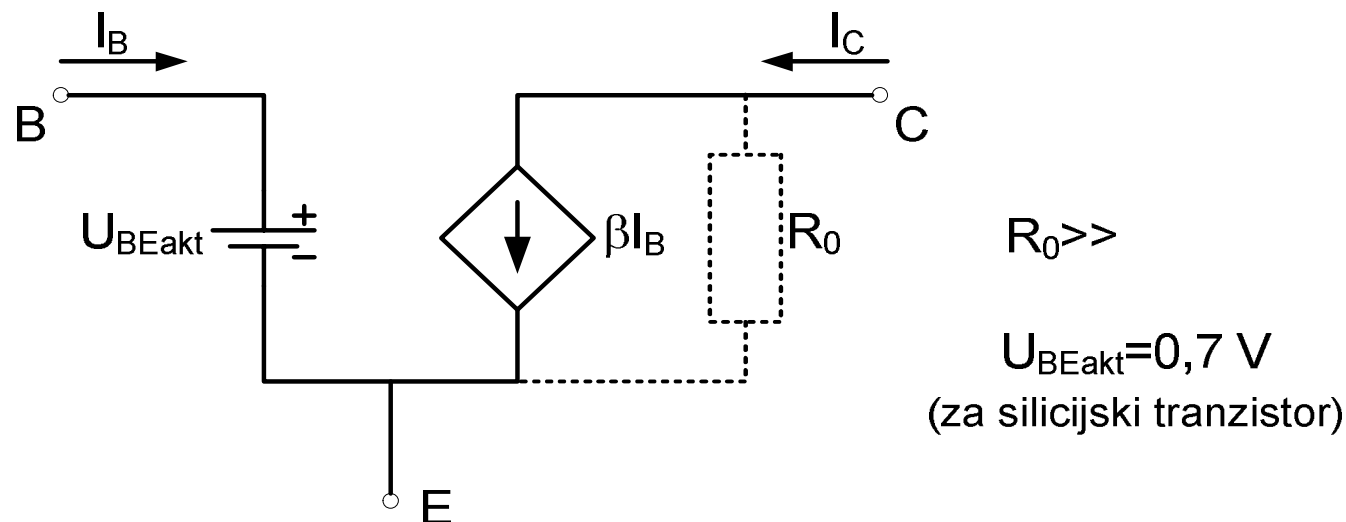
Elektronika – 6. predavanje

Model bipolarnog tranzistora u istosmjernim (statičkim) uvjetima

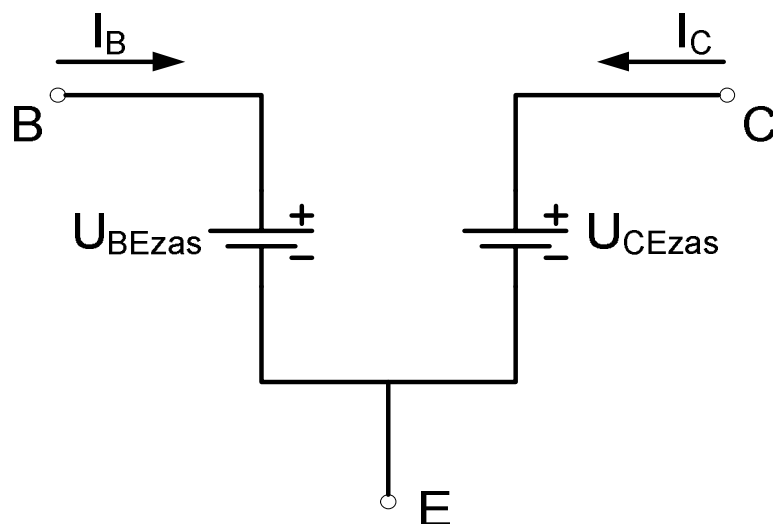
- DC (Direct Current) model

- Aktivno područje rada: $I_C = \beta \cdot I_B + (\beta + 1) \cdot I_{CB0}$

$$I_C \approx \beta \cdot I_B$$



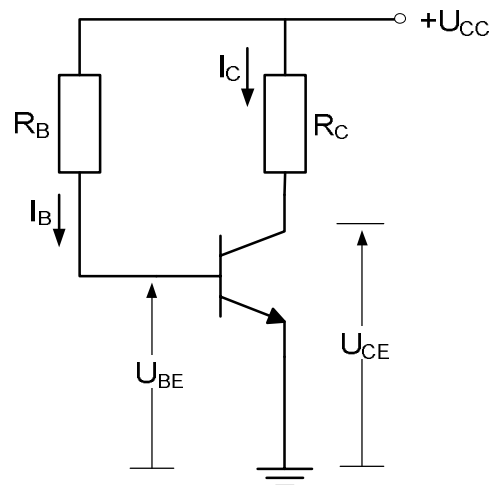
■ Područje zasićenja:



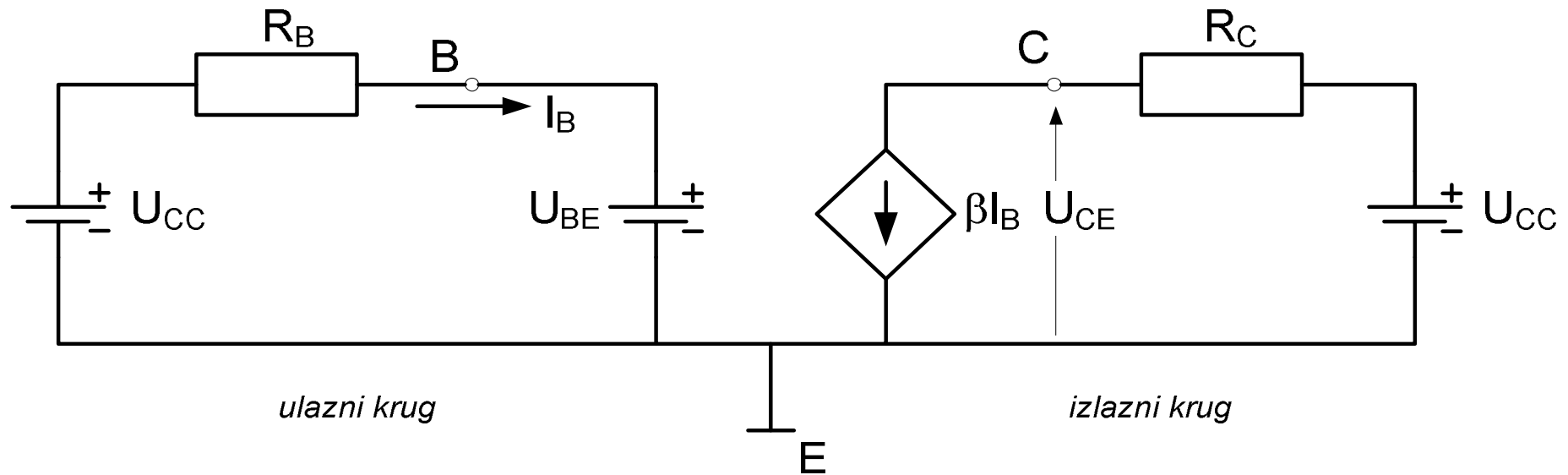
$$U_{BEzas} = 0,8 \text{ V}$$

$$U_{CEzas} = 0,2 \text{ V} - 0,3 \text{ V}$$

■ Primjer:



- Nadomjesni sklop u istosmjernim uvjetima:



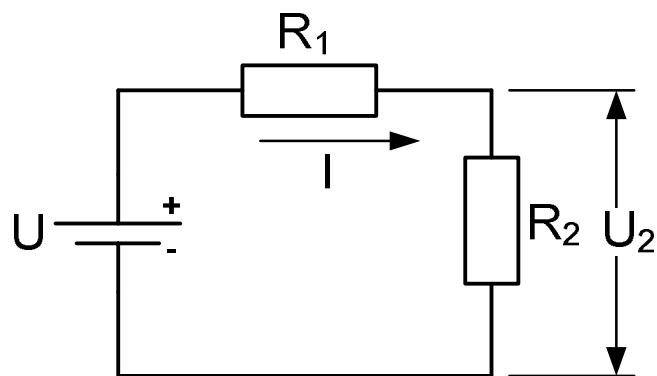
$$I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$

$$-U_{CC} + \beta \cdot I_B \cdot R_C + U_{CE} = 0$$

$$I_C = \beta \cdot I_B + (1 + \beta) \cdot I_{CB0} \approx \beta \cdot I_B$$

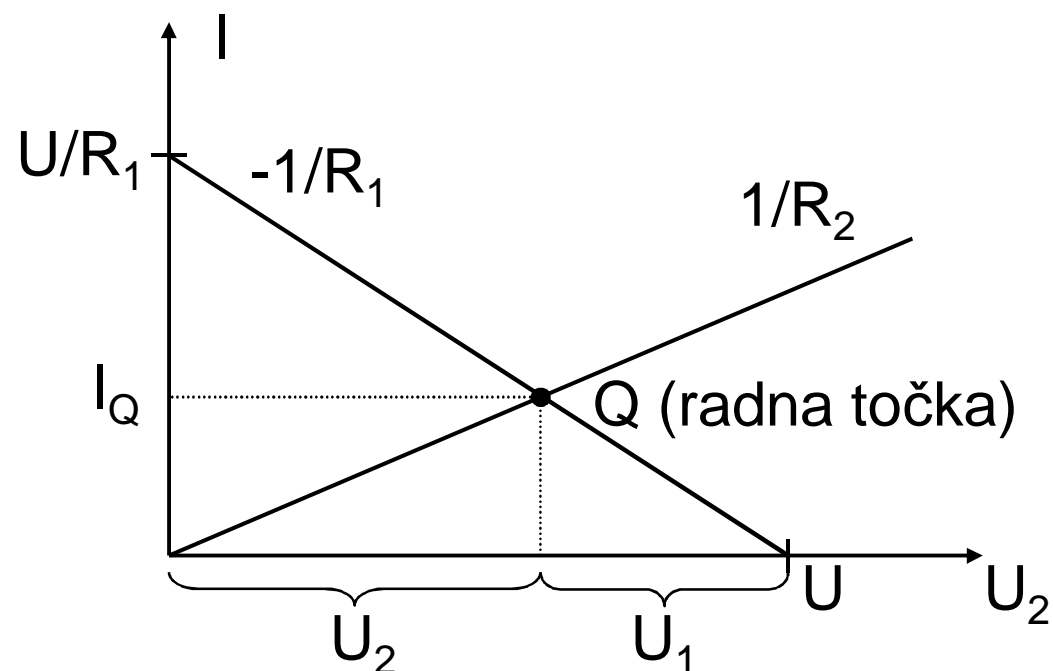
Grafička analiza elektroničkih sklopova

■ 1. primjer



$$U_2 = I \cdot R_2 \Rightarrow I = \frac{1}{R_2} \cdot U_2 \quad (1)$$

$$U = I \cdot R_1 + U_2 \quad (2)$$



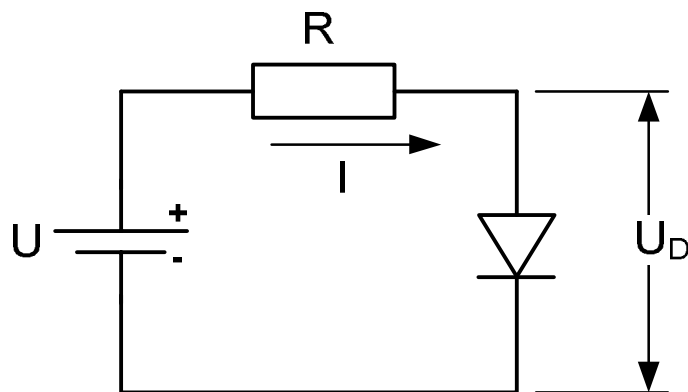
Ucrtati pravac određen jednačbom (2) u koordinatni sustav I - U_2 .

Odrediti npr. dvije točke tog pravca:

Za $U_2=0$; $I=U/R_1$

Za $I=0$; $U_2=U$

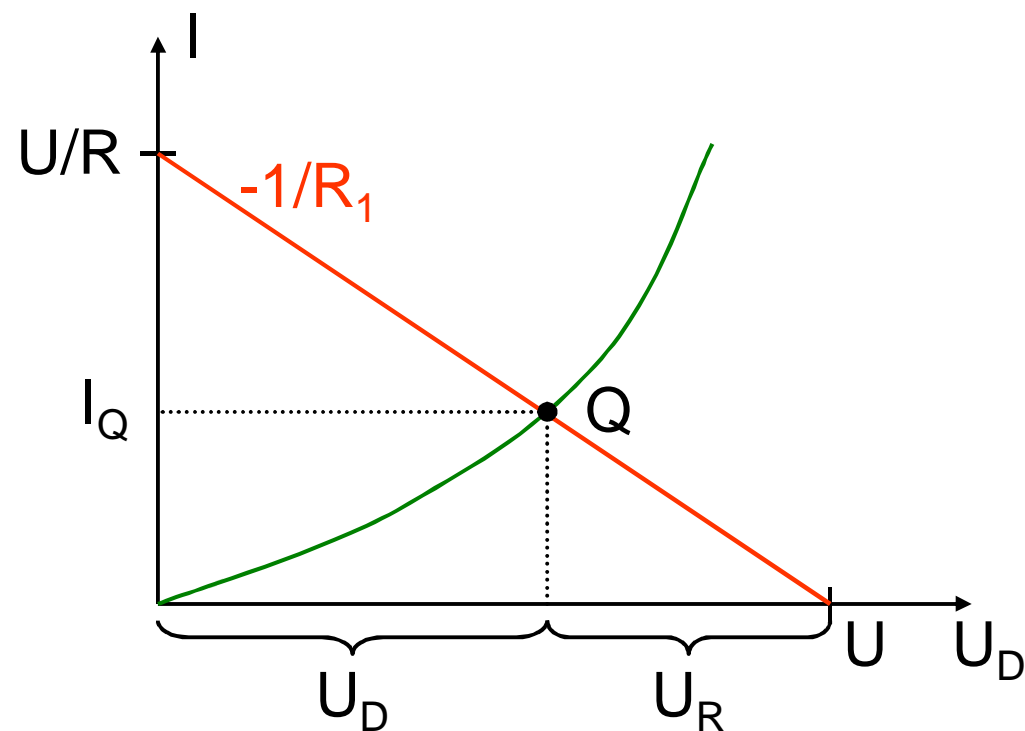
■ 2. primjer



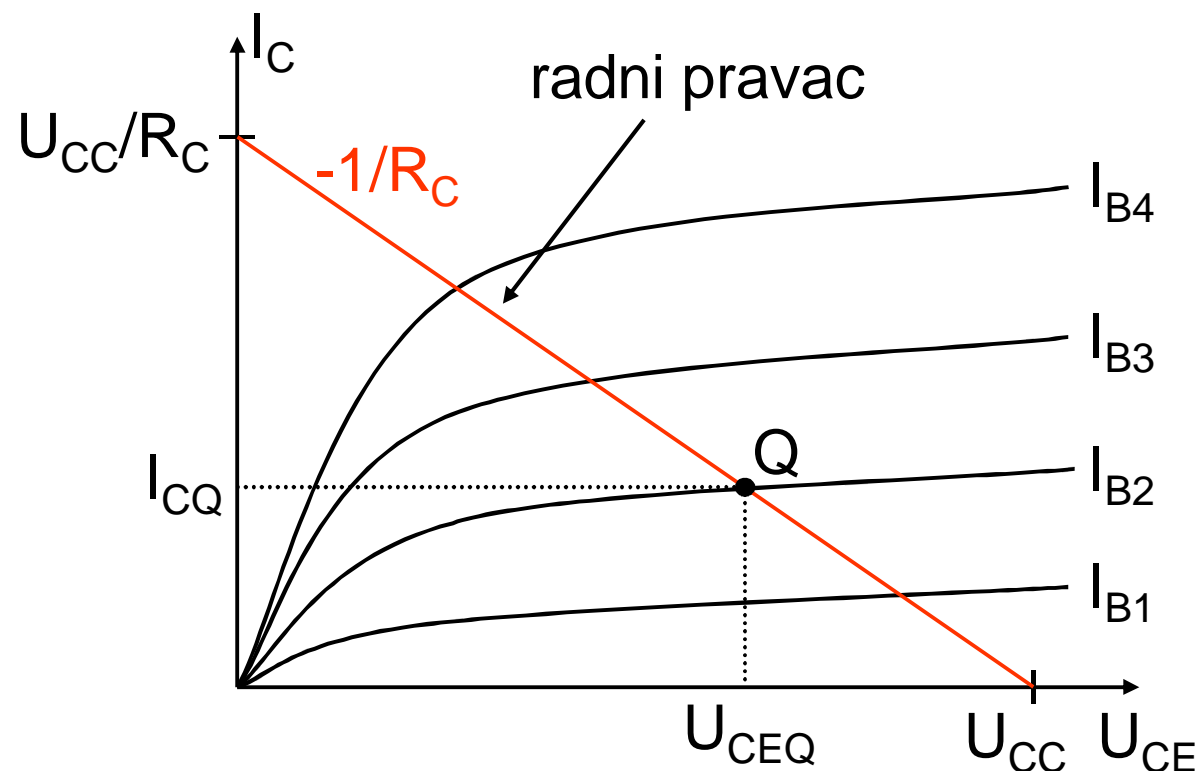
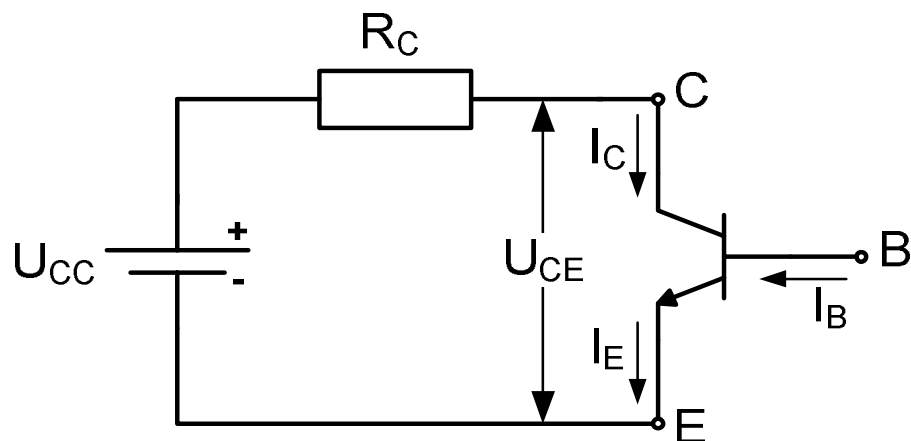
$$U = I \cdot R + U_D$$

Ako je $I=0$; $U_D=U$

Ako je $U_D=0$; $I=U/R$



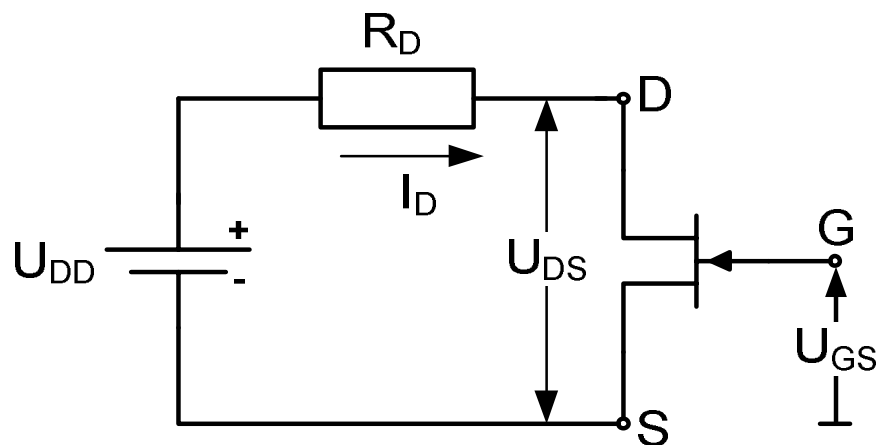
■ 3. primjer



$$U_{CC} = I_C \cdot R_C + U_{CE}$$

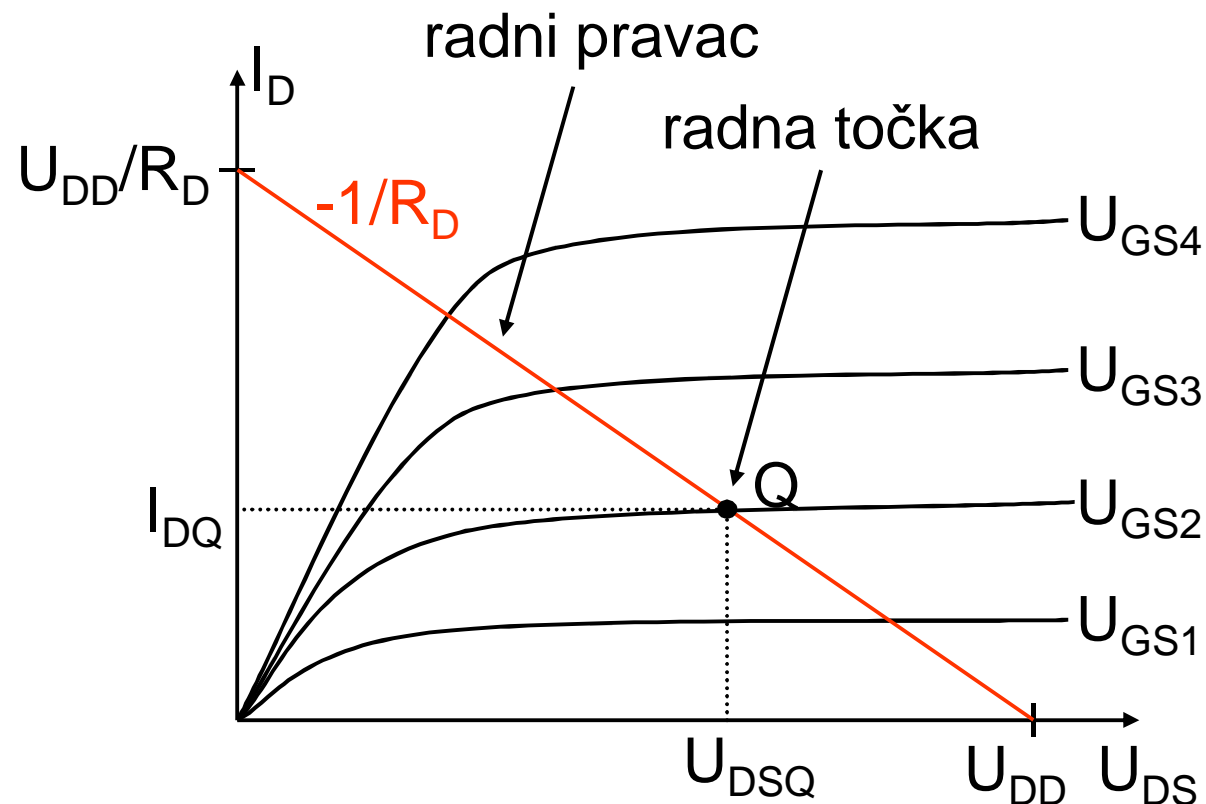
Jednadžba radnog pravca

■ 4. primjer

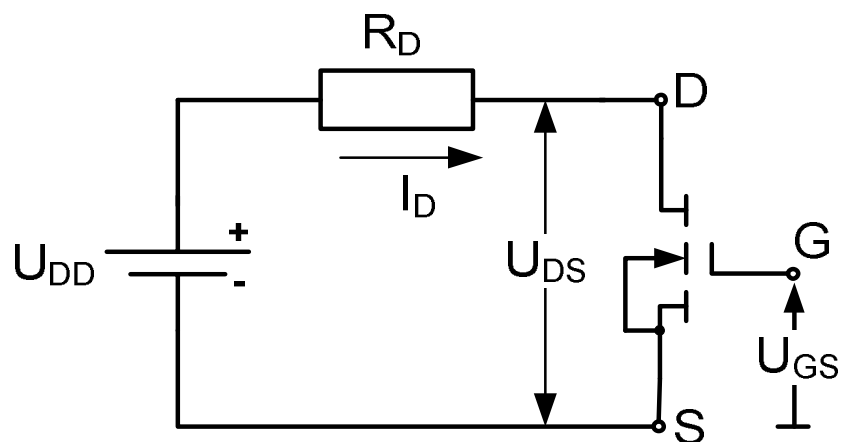


$$U_{DD} = I_D \cdot R_D + U_{DS}$$

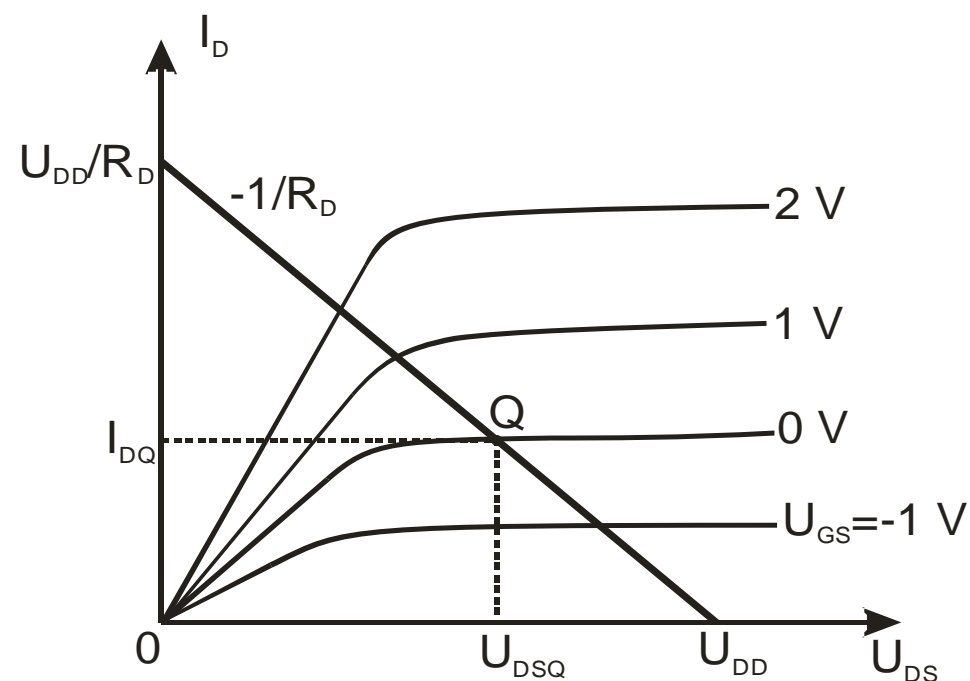
Jednadžba radnog pravca



■ 5. primjer



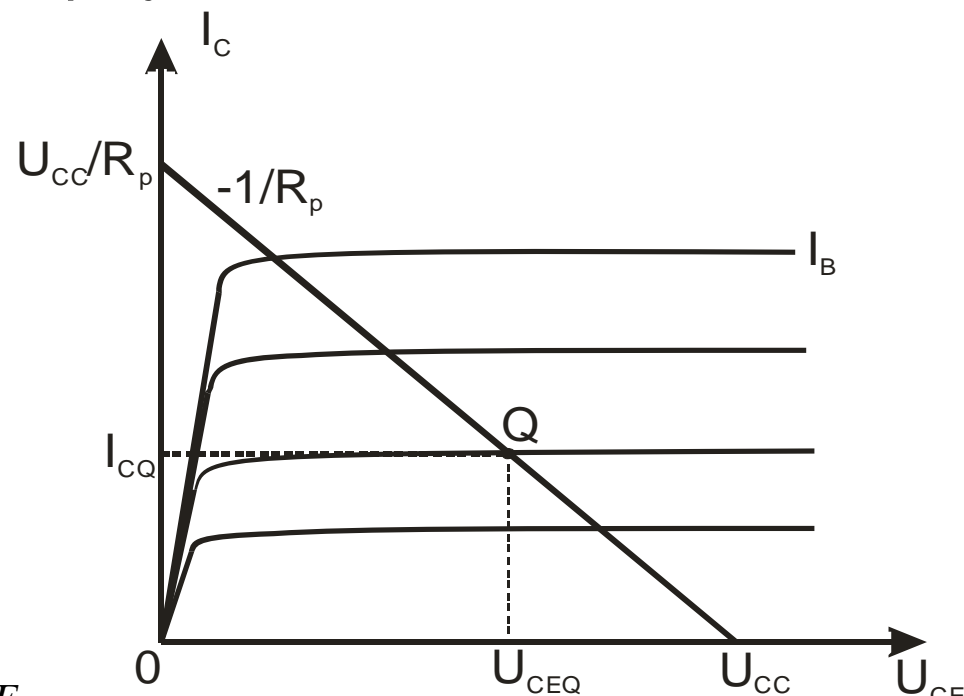
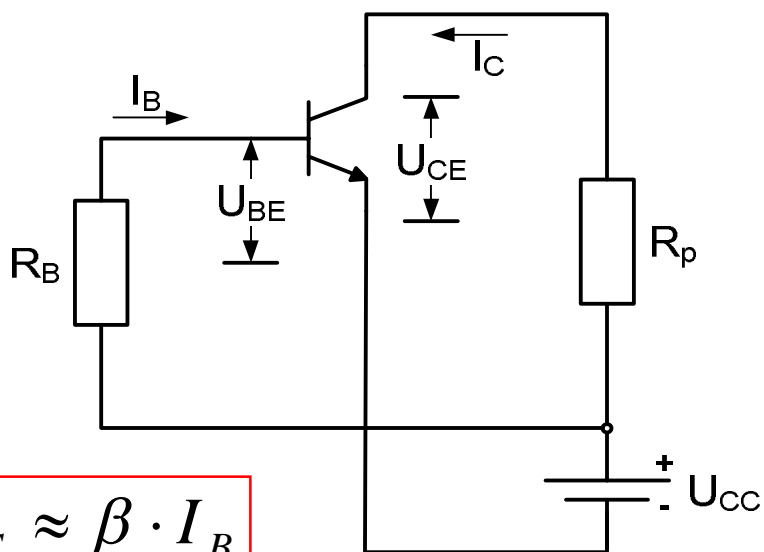
$$U_{DD} = I_D \cdot R_D + U_{DS}$$



Osnovni sklopovi pojačala s bipolarnim tranzistorom

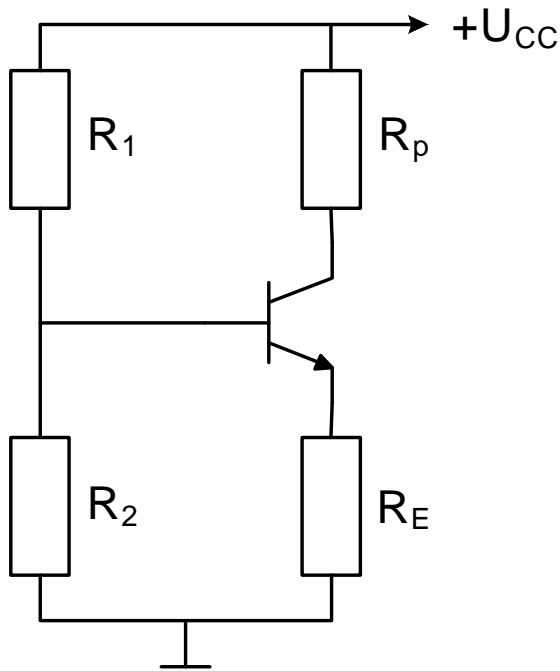
■ Rad u statičkim (istosmjernim) uvjetima

- Prikazana je jednostavna izvedba sklopa kojim je određena statička radna točka tranzistora u polju izlaznih karakteristika.



$$U_{CC} = I_C \cdot R_p + U_{CE} \quad I_B = \frac{U_{CC} - U_{BE}}{R_B}$$

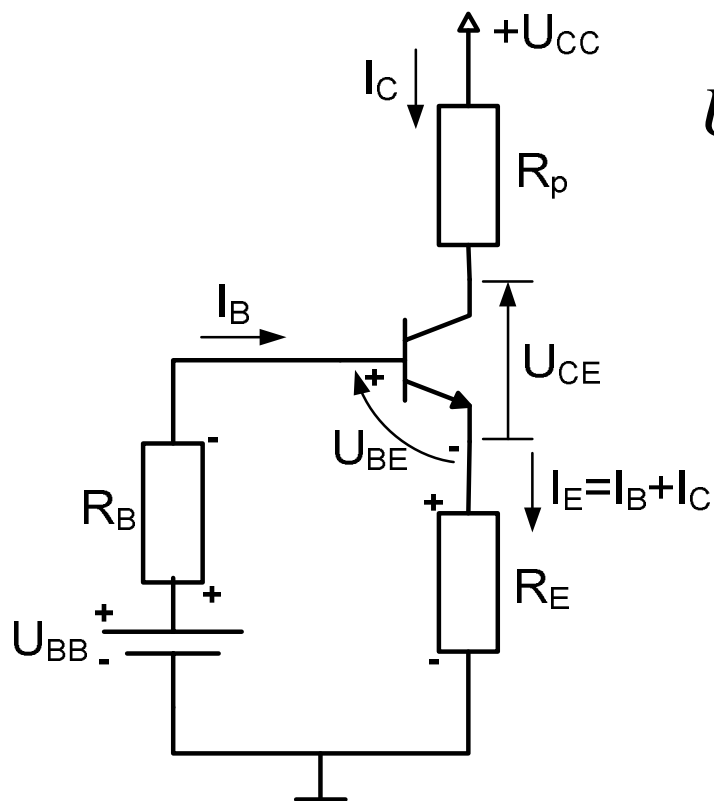
Stabilizacija statičke radne točke pomoću emitterske degeneracije



Prikazani sklop je tipična izvedba kojom se osigurava **temperaturna stabilnost statičke radne točke**. Stabilnost se postiže otpornikom R_E u krugu emitera. U dinamičkim uvjetima rada otpornik R_E ima određeni negativni utjecaj na pojačanje sklopa pa se ovakva stabilizacija radne točke naziva **stabilizacijom pomoću emitterske degeneracije**.

Transformacija sklopa prema Theveninovu teoremu:

Djelitelj napona u krugu baze R_1 - R_2 može se nadomjestiti izvorom i otporom (U_{BB} , odnosno R_B).



$$U_{BB} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_{CC} \quad R_B = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2} = R_1 \parallel R_2$$

$$U_{BB} = I_B \cdot R_B + U_{BE} + (I_B + I_C) \cdot R_E \quad (1)$$

$$I_C = \beta I_B + I_{CE0} \quad (2)$$

$$I_C = \beta I_B + (1 + \beta) I_{CB0}$$

$$(1 + \beta) I_{CB0} = I_{CE0}$$

Iz (1) i (2) slijedi:

$$I_C = \frac{\beta(U_{BB} - U_{BE}) + I_{CE0}(R_B + R_E)}{R_B + (1 + \beta)R_E} \quad (3)$$

- Ako je $(1+\beta)R_E \gg R_B$ te ako je $\beta \gg 1$, tada je:

$$I_C \approx \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_E} + \frac{I_{CE0}}{1 + \beta} \left(1 + \frac{R_B}{R_E} \right) \quad (4)$$

- Budući da je kod silicijskih tranzistora $I_{CE0} \ll$ izraz (4) može se svesti na jednostavan oblik:

$$I_{CQ} \approx \frac{U_{BB} - U_{BEQ}}{R_E} \quad (5)$$

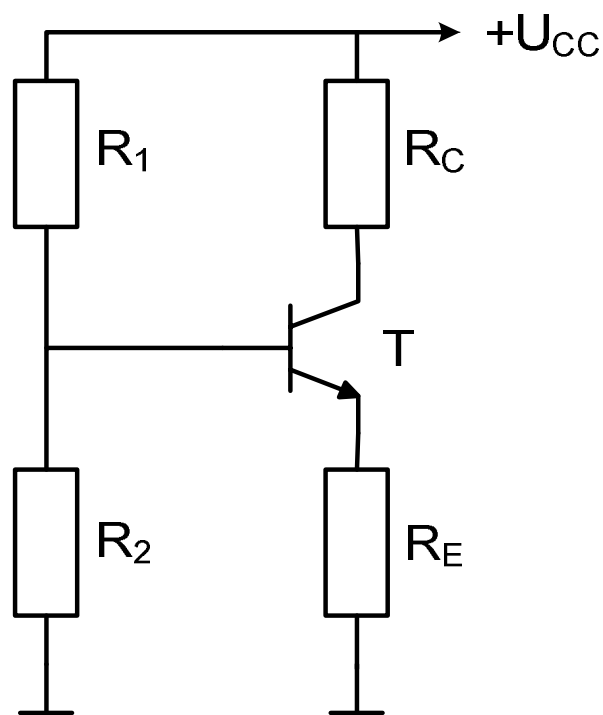
gdje je U_{BEQ} napon U_{BE} u radnoj točki Q.

- Prema izrazu (5) vidi se da **struja I_{CQ}** (struja kolektora u radnoj točki Q) **ne ovisi o parametrima tranzistora koji su funkcija temperature, već samo o vrijednosti otpornika R_E .**

Određivanje statičke radne točke tranzistora

■ Primjer:

- Pomoću izlaznih karakteristika tranzistora odrediti statičku radnu točku sklopa prikazanog na slici.



Zadano je:

$$U_{CC}=22,5 \text{ V}$$

$$R_C=5,6 \text{ k}\Omega$$

$$R_E=1 \text{ k}\Omega$$

$$R_1=90 \text{ k}\Omega$$

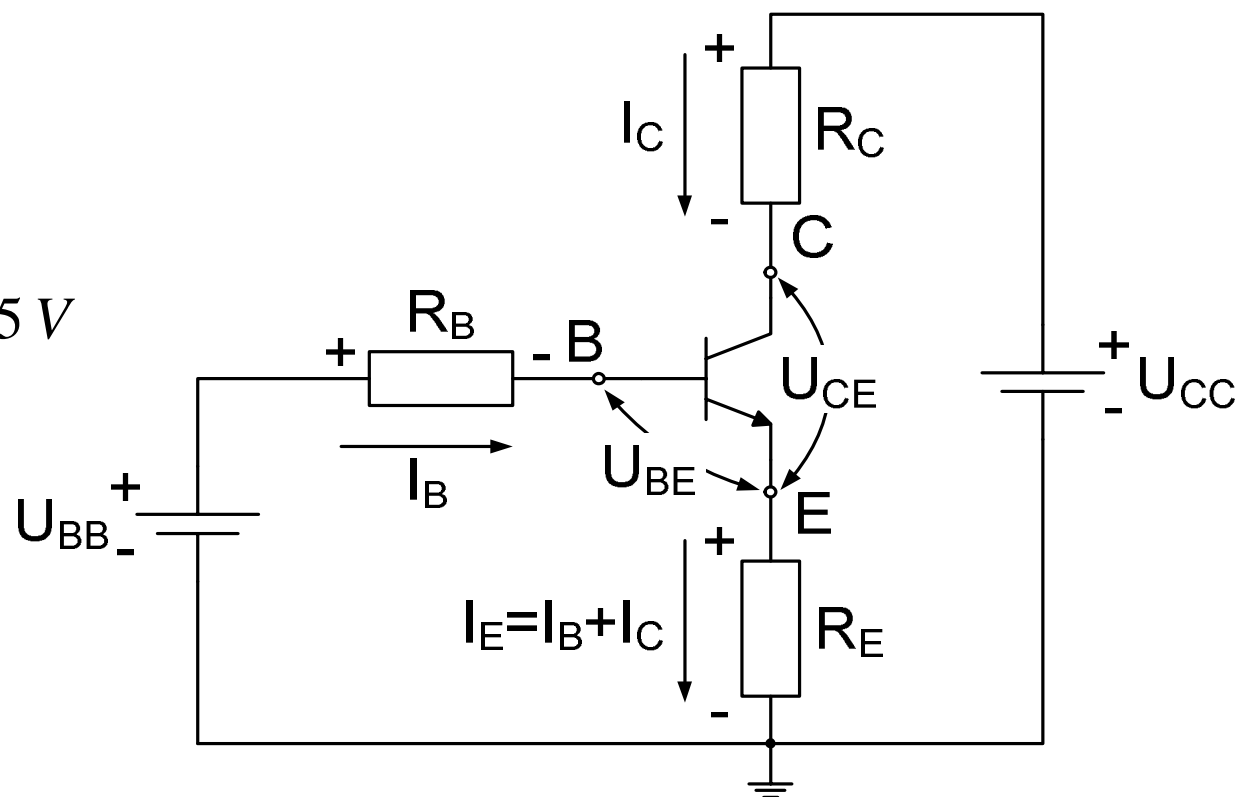
$$R_2=10 \text{ k}\Omega$$

$$U_{BE}=U_{BEakt}=0,6 \text{ V}$$

■ Theveninov teorem =>

$$R_B = R_1 \parallel R_2 = \frac{90 \cdot 10}{90 + 10} \cdot 10^3 = 9 \text{ k}\Omega$$

$$U_{BB} = \frac{U_{CC}}{R_1 + R_2} R_2 = \frac{22,5}{90 + 10} \cdot 10 = 2,25 \text{ V}$$



Kirchhoffov zakon primijenjen na strujni krug baze (ulazni krug):

$$U_{BB} = I_B \cdot R_B + U_{BE} + (I_B + I_C) \cdot R_E \quad (1)$$

Kirchhoffov zakon primijenjen na strujni krug kolektora (izlazni krug):

$$U_{CC} = I_C \cdot R_C + U_{CE} + (I_B + I_C) \cdot R_E = I_C \cdot (R_C + R_E) + I_B \cdot R_E + U_{CE} \quad (2)$$

- Uvrštavanjem numeričkih vrijednosti u (1) i (2) dobija se:

$$22,5 = 6,6I_C + I_B + U_{CE} \quad (3)$$

$$2,25 = 0,6I_C + 10I_B \quad (4)$$

- Eliminacijom struje I_C iz (3) i (4) dobija se jednačba:

$$U_{CE} = 65 \cdot 10^3 I_B + 11,6 \Rightarrow \text{prednaponska krivulja} \quad (5)$$

- Izračunajmo nekoliko točaka prednaponske krivulje:

$I_B [\mu A]$	20	40	60
$U_{CE} [V]$	12,9	14,2	15,5

te ih unesimo u izlazne karakteristike, $I_C = f(U_{CE})$.

- Zatim ucrtajmo u izlazne karakteristike i pravac određen jednađbom izlaznog kruga, (2).

$$U_{CC} = I_C (R_E + R_C) + U_{CE} + I_B R_E$$

odnosno ako se zanemari član $I_B R_E$ koji je puno manji od $I_C (R_C + R_E)$:

$$U_{CC} = I_C (R_E + R_C) + U_{CE} \quad \text{Jednađba statičkog radnog pravca}$$

- Pravac je jednoznačno određen s dvije točke, npr:

- ☐ Za $U_{CE}=0$;
$$I_C = \frac{U_{CC}}{R_C + R_E} = \frac{22,5V}{5,6k\Omega + 1k\Omega} = 3,4mA$$

- ☐ Za $I_C=0$;
$$U_{CE} = U_{CC} = 22,5V$$

