

Transistorn, en introduktion

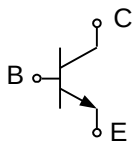
Transistorn är en komponent där en ström styrs med en spänning eller en annan ström.

Det finns två huvud typer, bipolartransistorer (strömstyrda) och fälteffekttransistorer (spänningsstyrda).

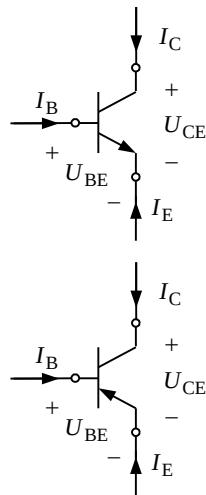
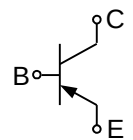
Vi börjar med bipolartransistorn som är strömstyrd, vilket betyder att en ström, kollektorströmmen I_C beror av en annan ström, basströmmen I_B . Detta beroende är i stort sett linjärt enligt sambandet $I_C = h_{FE} \cdot I_B$.

När transistoren sitter i en krets med resistorer påverkar kollektorströmmen transistorens kollektor-emitterspänning U_{CE} vilket gör att sambandet gäller upp till ett visst max-värde på kollektorströmmen, mer om detta senare.

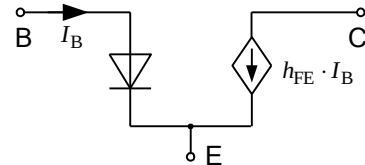
NPN



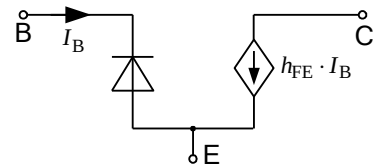
PNP



Modell

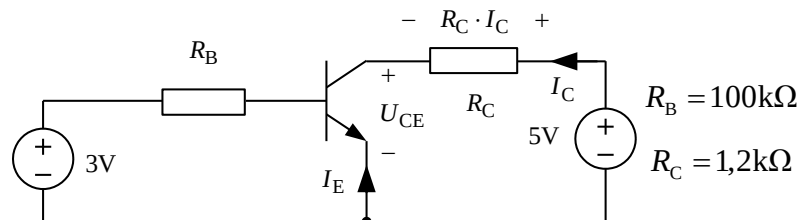


Modell



Exempel

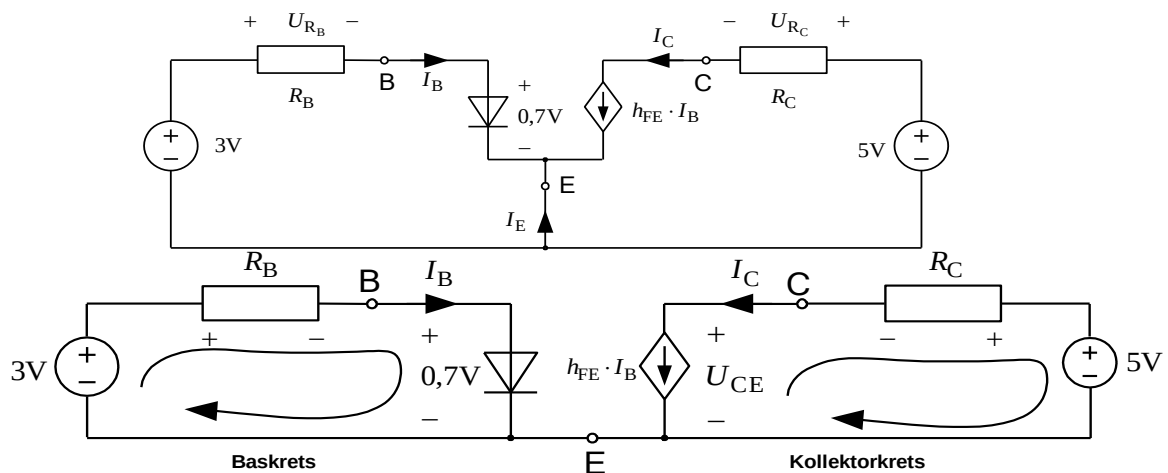
Bestäm kollektorström I_C , kollektor-emitterspänning U_{CE} och emitterström I_E hos transistoren i kretsen nedan.



För transistoren gäller $h_{FE} = 100$

Lösning

Ersätt transistoren med dess modell.



Eftersom $3V > 0,7V$ leder transistorens bas-emitterdiod.

Kollektorspänningen U_{CE} ges av Kirchhoffs spänningslag i kollektorkretsen

$$+U_{CE} + R_C \cdot I_C - 5V = 0,$$

så att

$$U_{CE} = 5V - R_C \cdot I_C \quad (1)$$

Men

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B \quad (2)$$

I_B ges av Kirchhoffs spänningslag i baskretsen

$$+3V - R_B \cdot I_B - 0,7V = 0$$

vilket i sin tur ger

$$I_B = \frac{3V - 0,7V}{R_B} = \frac{3V - 0,7V}{100k\Omega} = 23\mu A$$

Kollektorströmmen blir då enligt (2) $I_C = h_{FE} \cdot I_B = 100 \cdot 23\mu A = \underline{\underline{2,3mA}}$.

Kollektspänningen blir enligt (1) $U_{CE} = 5V - 1,2k\Omega \cdot 2,3mA = \underline{\underline{2,24V}}$.

Emitterströmmen erhålles med Kirchhoffs strömlag i emittern (E)

$$I_B + I_C + I_E = 0 \Rightarrow I_E = -(23\mu A + 2,3mA) = \underline{\underline{-2,323mA}}$$

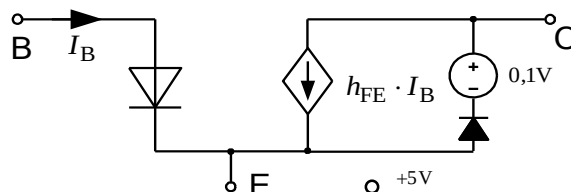
Strypt respektive botten transistor

Om baskretsens matningsspänning understiger $0,7V$ kommer dioden inte att leda varvid basströmmen alltså blir 0. Därför blir även kollektorströmmen 0. Transistorn sägs vara **strypt**.

En egenskap hos transistorn som inte framgår av vår modell är att kollektorspänningen inte kan understiga $0V$, i praktiken $\approx 0,1V$. När transistorens kollektorspänning når detta minimum sägs transistorn vara **bottenad**.

Kollektorspänningens minimivärde, botteningsspänningen, betecknas U_{CEsat} , där **sat** är förkortning för **saturation**, mättning.

Tar vi hänsyn till detta får vi en modell enligt schemat t.h. Vi använder dock det enklare schemat och behandlar bottening enligt b. i exemplet som följer.



Exempel

Betrakta kretsen t.h. där $R_B = 47k\Omega$ $R_C = 2,2k\Omega$

Bestäm kollektorström och kollektorspänning hos transistorn i kretsen t.h. då

- $U_1 = 1,5V$
- $U_1 = 4V$
- $U_1 = 0,5V$

För transistorn gäller $h_{FE} = 100$, $U_{CEsat} = 0,1V$.

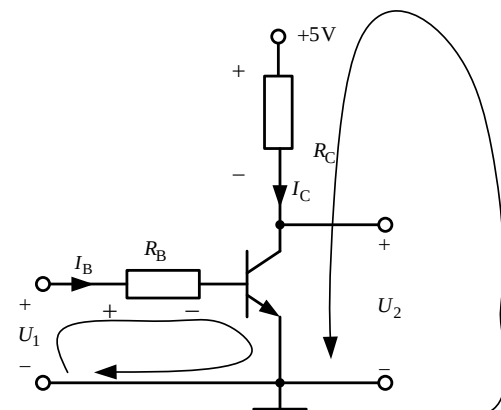
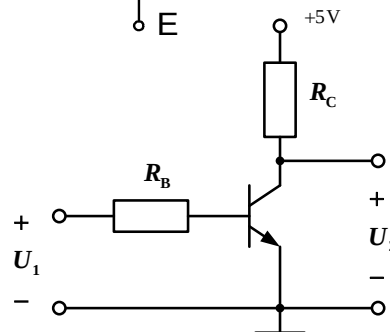
Lösning

Vi räknar direkt i kretsen

- Eftersom $U_1 = 1,5V > 0,7V$ leder transistorn. Basströmmen ges av Kirchhoffs spänningslag i baskretsen

$$+U_1 - R_B \cdot I_B - 0,7V = 0, \text{ så att } I_B = \frac{1,5V - 0,7V}{47k\Omega} = 17,02\mu A.$$

Kollektorströmmen blir då



$$I_C = h_{FE} \cdot I_B = 100 \cdot 17,02 \mu A = \underline{\underline{1,70 mA}}$$

Kirchhoffs spänningslag i kollektorkretsen ger nu U_2 :

$$+5V - R_C \cdot I_C - U_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad U_2 = 5V - 2,2k\Omega \cdot 1,7mA = \underline{\underline{1,26V}} .$$

b. Eftersom $U_1 = 4V > 0,7V$ leder transistorn.

Basströmmen ges av Kirchhoffs spänningslag i baskretsen

$$+U_1 - R_B \cdot I_B - 0,7V = 0 , \text{ så att } I_B = \frac{4V - 0,7V}{47k\Omega} = 70,2 \mu A .$$

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B = 100 \cdot 70,2 \mu A = \underline{\underline{7,02 mA}}$$

Kirchhoffs spänningslag i kollektorkretsen ger nu U_2 :

$$+5V - R_C \cdot I_C - U_2 = 0 \quad \Rightarrow \quad U_2 = 5V - 2,2k\Omega \cdot 7,02mA = \underline{\underline{-10,4V}} .$$

Men kollektorspänningen kan inte understiga $U_{CEsat} = 0,1V$ hos en npn-transistor! Vi tolkar därför vårt resultat som att transistorn är bottnad!

$$\text{Alltså har vi att } U_{CE} = U_{CEsat} = \underline{\underline{0,1V}}$$

Kollektorströmmen ges nu enligt Kirchhoffs spänningslag av

$$+5V - R_C \cdot I_C - U_{CEsat} = 0 \quad \Rightarrow \quad I_C = \frac{5V - 0,1V}{2,2k\Omega} = \underline{\underline{2,23 mA}}$$

c. $U_1 = 0,5V < 0,7V$ gör att transistorn är strypt, dvs $I_B = 0$. Detta ger att också $I_C = 0$, vilket ger

$$U_{CE} = 5V - 2,2k\Omega \cdot 0mA = \underline{\underline{5V}} .$$

Låt oss också ta ett exempel med en PNP-transistor.

Exempel

Betrakta kretsen t.h. där $R_B = 47k\Omega$ $R_C = 2,2k\Omega$

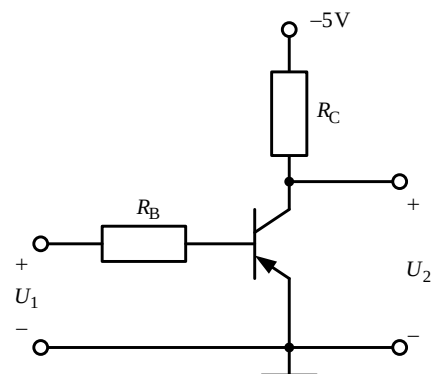
Bestäm kollektorström och kollektorspänning hos transistorn i kretsen t.h. då

a. $U_1 = -1,5V$

b. $U_1 = -4V$

c. $U_1 = -0,5V$

För transistorn gäller $h_{FE} = 100$, $U_{CEsat} = -0,1V$.



Lösning

a. Eftersom $U_1 = -1,5V < -0,7V$ leder transistoren. Basströmmen ges av Kirchhoffs spänningslag i baskretsen

$$+U_1 - R_B \cdot I_B - U_{BE} = 0, \text{ så att } I_B = \frac{-1,5V - (-0,7V)}{47k\Omega} = -17,02\mu A.$$

Kollektorströmmen blir då

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B = 100 \cdot (-17,02\mu A) = \underline{\underline{-1,70mA}}$$

Kirchhoffs spänningslag i kollektorkretsen ger nu U_2 :

$$-5V - R_C \cdot I_C - U_2 = 0 \Rightarrow U_2 = -5V - 2,2k\Omega \cdot (-1,70mA) = \underline{\underline{-1,26V}}$$

b. Eftersom $U_1 = -4V < -0,7V$ leder transistoren.

Basströmmen ges av Kirchhoffs spänningslag i baskretsen

$$+U_1 - R_B \cdot I_B - U_{BE} = 0, \text{ så att } I_B = \frac{-4V - (-0,7V)}{47k\Omega} = -70,2\mu A.$$

$$I_C = h_{FE} \cdot I_B = 100 \cdot (-70,2\mu A) = \underline{\underline{-7,02mA}}$$

Kirchhoffs spänningslag i kollektorkretsen ger nu U_2 :

$$-5V - R_C \cdot I_C - U_2 = 0 \Rightarrow U_2 = -5V - 2,2k\Omega \cdot (-7,02mA) = \underline{\underline{+10,4V}}$$

Men kollektorspänningen kan inte överstiga $U_{CEsat} = -0,1V$ hos en pnp-transistor! Vi tolkar därför vårt resultat som att transistoren är bottenad!

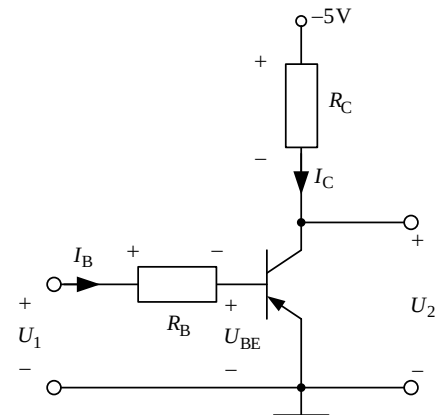
$$\text{Alltså har vi att } U_{CE} = U_{CEsat} = \underline{\underline{-0,1V}}$$

Kollektorströmmen ges nu enligt Kirchhoffs spänningslag av

$$-5V - R_C \cdot I_C - U_{CEsat} = 0 \Rightarrow I_C = \frac{-5V - (-0,1V)}{2,2k\Omega} = \underline{\underline{-2,23mA}}$$

$$c. U_1 = -0,5V > -0,7V \Rightarrow$$

$$\text{Transistorn strypt} \quad I_B = 0 \Rightarrow \underline{\underline{I_C = 0}}, \text{ så att } U_2 = -5V - R_C \cdot 0 = \underline{\underline{-5V}}$$



Övningar

I följande uppgifter gäller att om h_{FE} ej finns angivet, får h_{FE} antas vara så stor att basströmmen kan försummas, dvs att $I_B = 0$.

Dessutom gäller genomgående att

$U_{BE} = 0,7V$ då transistor leder, samt $U_{CEsat} = 0,1V$ för npn-transistorer

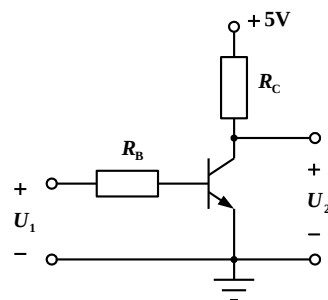
$U_{BE} = -0,7V$ då transistor leder, samt $U_{CEsat} = -0,1V$ för pnp-transistorer

1. I kretsen t.h. gäller

$$R_B = 120k\Omega \quad R_C = 1k\Omega$$

$$h_{FE} = 100 \quad U_1 = 4V$$

- Bestäm spänningen U_2 .
- Bestäm U_1 så att $U_2 = 3,8V$.
- För vilket värde på U_1 bottnar transistor?



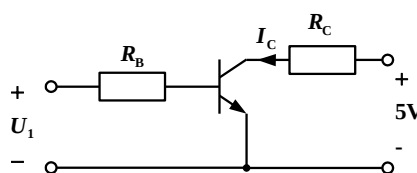
2. I kretsen t.h. gäller

$$R_B = 100k\Omega \quad R_C = 2,2k\Omega$$

$$h_{FE} = 100$$

Bestäm I_C då

- $U_1 = 2V$
- $U_1 = 10V$

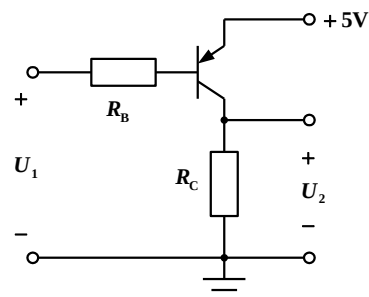


3. I kretsen t.h. gäller

$$R_B = 82k\Omega \quad R_C = 2,2k\Omega$$

$$h_{FE} = 100$$

Bestäm spänningen U_1 så att $U_2 = 2V$

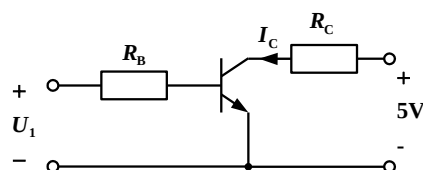


4. I kretsen t.h. gäller

$$R_C = 1k\Omega \quad U_1 = 5V$$

$$h_{FE} = 100$$

Bestäm R_B så att transistorn bottnar.

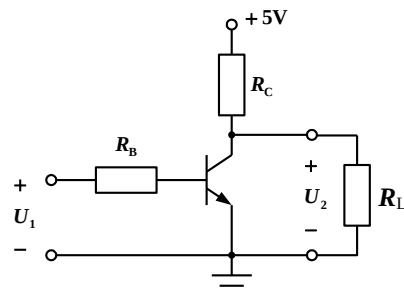


5. I kretsen t.h. gäller

$$R_C = 1k\Omega \quad R_B = 100k\Omega \quad R_L = 10k\Omega$$

$$h_{FE} = 100 \quad U_2 = 3V$$

Bestäm U_1 .

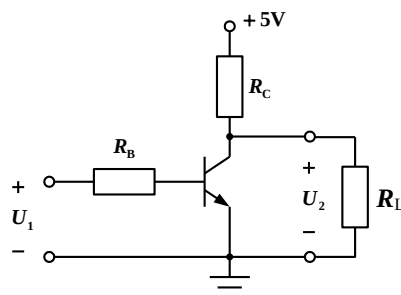


6. I kretsen t.h. gäller

$$R_C = 1\text{k}\Omega \quad R_L = 10\text{k}\Omega \quad U_1 = 5\text{V}$$

$$h_{FE} = 100$$

Bestäm R_B så att transistoren bottnar.



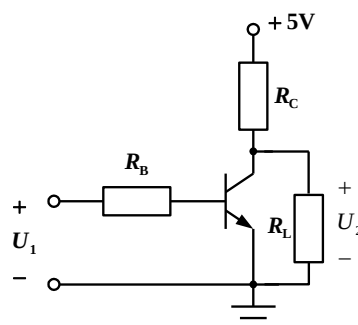
7. I kretsen t.h. gäller

$$R_C = 1\text{k}\Omega \quad h_{FE} = 100$$

Bestäm R_B och R_L så att

$$U_2 \leq 0,2\text{V} \text{ då } U_1 \geq 4,5\text{V} \text{ och}$$

$$U_2 \geq 4,5\text{V} \text{ då } U_1 \leq 0,5\text{V}.$$

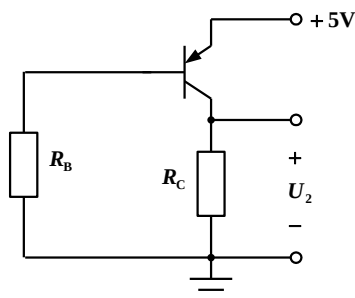


8. I kretsen t.h. gäller

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

$$h_{FE} = 100$$

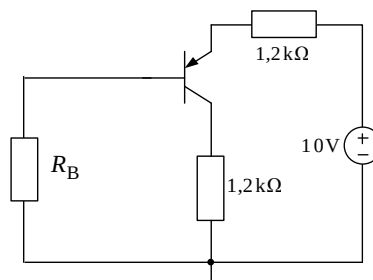
Bestäm R_B så att transistoren bottnar.



- 9 a. Bottnar transistoren i kretsen t.h. om $R_B = 0$?

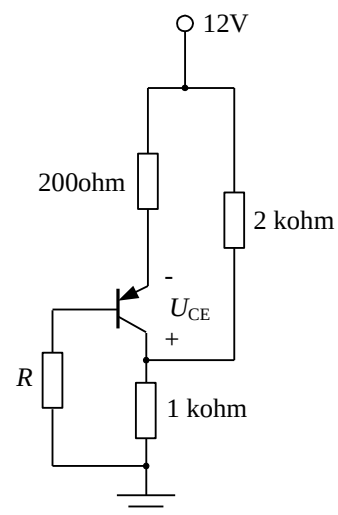
- b. För vilka värden på R_B bottnar transistoren?

$$h_{FE} = 20$$

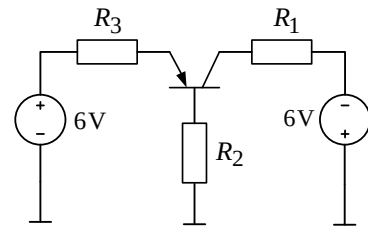


10. För transistoren i schemat gäller $h_{FE} = 100$

Bestäm R så att $U_{CE} = -6\text{V}$.



11. För transistorkopplingen till höger gäller att $R_1 = R_3 = 1,8\text{k}\Omega$, samt $h_{FE} = 30$. Bestäm R_2 så att $U_{CE} = -6\text{V}$.



Svar:

- | | | | | | |
|-----|----------------------------|-------------------------|-------------------|-----|-------|
| 1a. | 2,25V | 1b. | 2,14V | 1c. | 6,58V |
| 2a. | 1,3mA | 2b. | 2,23mA (bottnad!) | | |
| 3. | 3,55V | | | | |
| 4. | 87,8k Ω | | | | |
| 5. | 2,4V | | | | |
| 6. | 87,9k Ω | | | | |
| 7. | $R_B = 79,6\text{k}\Omega$ | $R_L = 9\text{k}\Omega$ | | | |
| 8. | $R_B = 87,7\text{k}\Omega$ | | | | |
| 9a. | Ja. | | | | |
| 9b. | $R_B < 21\text{k}\Omega$. | | | | |
| 10. | $R = 470\text{k}\Omega$ | | | | |
| 11. | $R_2 = 41,2\text{k}\Omega$ | | | | |