

Анализ на постоянно-токов режим на биполярен транзистор

1 Области на работа на биполярен транзистор в схема общ емитер

1.1 Активна област

$$U_{BE} = 0.7V$$

$$I_C = \beta I_B \quad I_C = \alpha I_E \quad I_E = (\beta + 1)I_B$$

$$U_{CB} > 0 \quad U_{CE} > 0.7V$$

$$I_B > 0 \quad I_C > 0 \quad I_E > 0$$

1.2 Област на насищане

$$U_{BE} = 0.7V$$

$$U_{CB} = -0.5V \quad U_{CE} = 0.2V$$

$$I_C < \beta I_B$$

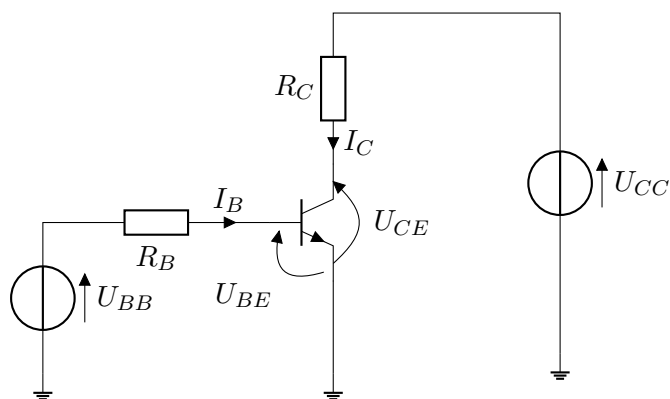
$$I_B > 0 \quad I_C > 0 \quad I_E > 0$$

1.3 Област на отсечка

$$I_B = 0 \quad I_C = 0 \quad I_E = 0$$

$$U_{BE} < 0.7V$$

$$U_{CB} > 0$$



Фигура 1: NPN транзистор в схема с общ емитер.

2 Анализ

На фигура 1 е показана схема на усилвател с биполярен NPN транзистор свързан в общ емитер. Целта на анализа е да се определят U_{BE} , U_{CE} , I_B и I_C .

- **Стъпка 1** Приемаме, че транзисторът работи в активната област. Това означава, че следните равенства са изпълнени:

$$U_{BE} = 0.7V$$

$$I_C = \beta I_B$$

- **Стъпка 2** Изчисляваме U_{CE} , I_B и I_C .

Според законът на Кирхоф за напреженията:

$$U_{BB} - I_B R_B - U_{BE} = 0$$

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

От I_B можем да определим I_C

$$I_C = \beta I_B$$

И накрая изчисляваме U_{CE}

$$U_{CC} - I_C R_C - U_{CE} = 0$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C$$

- **Стъпка 3** Проверяваме дали са изпълнени неравенствата за активната област

$$U_{CE} > 0.7V$$

$$I_B > 0 \quad I_C > 0 \quad I_E > 0$$

Ако някое от тях не е изпълнено, значи предположението, че работната точка на транзистора е в активната област е погрешно. В такъв случай избираме една от останалите област (отсечка или насищане) и повтаряме стъпки 2 и 3.

3 Пример 1

Определете работната точка на транзистора в схемата от фигура 1. Транзисторът има коефициен на усилване по ток $\beta = 300$. $R_B = 10k\Omega$, $R_C = 100\Omega$, $U_{CC} = 9V$ и $U_{BB} = 3V$.

3.1 Решение

- **Стъпка 1** Приемаме, че транзисторът работи в активната област. Това означава, че следните равенства са изпълнени:

$$U_{BE} = 0.7V$$

$$I_C = \beta I_B$$

- **Стъпка 2** Изчисляваме U_{CE} , I_B и I_C .

Според законът на Кирхоф за напреженията:

$$U_{BB} - I_B R_B - U_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B} = \frac{3V - 0.7V}{10k\Omega} = 0.23mA$$

От I_B можем да определим I_C

$$I_C = \beta I_B = 300 \cdot 0.23mA = 69mA$$

И накрая изчисляваме U_{CE}

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = 9V - 69mA \cdot 100\Omega = 9 - 6.9 = 2.1V$$

- **Стъпка 3** Проверяваме дали са изпълнени неравенствата за активната област

$$U_{CE} > 0.7V \quad 2.1V > 0.7V \quad \text{изпълнено}$$

$$I_B > 0 \quad 0.23mA > 0 \quad \text{изпълнено}$$

Неравенствата са изпълнени, транзисторът е в активната област и работната му точка е

$$U_{BE} = 0.7V \quad I_B = 0.23mA \quad U_{CE} = 2.1V \quad I_C = 69mA$$

4 Пример 2

Определете работната точка на транзистора в схемата от фигура 1. Транзисторът има коефициен на усилване по ток $\beta = 500$. $R_B = 10k\Omega$, $R_C = 100\Omega$, $U_{CC} = 9V$ и $U_{BB} = 3V$.

4.1 Решение

- **Стъпка 1** Приемаме, че транзисторът работи в активната област. Това означава, че следните равенства са изпълнени:

$$U_{BE} = 0.7V$$

$$I_C = \beta I_B$$

- **Стъпка 2** Изчисляваме U_{CE} , I_B и I_C .

Прилагаме законът на Кирхоф за напреженията към веригата на базата:

$$\begin{aligned} U_{BB} - I_B R_B - U_{BE} &= 0 \\ I_B &= \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B} = \frac{3V - 0.7V}{10k\Omega} = 0.23mA \end{aligned}$$

От базовия ток получаваме колекторният:

$$I_C = \beta I_B = 500 \cdot 0.23mA = 115mA$$

И накрая изчисляваме U_{CE}

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = 9V - 115mA \cdot 100\Omega = 9 - 11.5 = -2.5V$$

- **Стъпка 3** Проверяваме дали са изпълнени неравенствата за активната област

$$U_{CE} = -2.5V < 0.7V \quad \text{не е изпълнено}$$

Неравенството за U_{CE} не е изпълнено, следователно работната точка на транзисторът не е в активната област. Приемаме, че транзисторът е в областта на насищане и повтаряме стъпки 1, 2 и 3.

- **Стъпка 1** Приемаме, че транзисторът работи в областта на насищане. Това означава, че следните равенства са изпълнени:

$$U_{BE} = 0.7V$$

$$U_{CB} = -0.5V \quad U_{CE} = 0.2V$$

- **Стъпка 2** Изчисляваме I_B и I_C .

Прилагаме законът на Кирхоф за напреженията към веригата на базата:

$$\begin{aligned} U_{BB} - I_B R_B - U_{BE} &= 0 \\ I_B &= \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B} = \frac{3V - 0.7V}{10k\Omega} = 0.23mA \end{aligned}$$

Прилагаме законът на Кирхоф за напреженията към веригата на колектора:

$$\begin{aligned} U_{CC} - I_C R_C - U_{CE} &= 0 \\ I_C &= \frac{U_{CC} - U_{CE}}{R_C} = \frac{9V - 0.2V}{100\Omega} = 0.088A = 88mA \end{aligned}$$

- **Стъпка 3** Проверяваме дали са изпълнени неравенствата за областта на насищане

$$I_C < \beta I_B \quad 88mA < 500 \cdot 0.23mA = 115mA \quad \text{изпълнено}$$

$$I_B > 0 \quad 0.23mA > 0 \quad \text{изпълнено}$$

Неравенствата са изпълнени, транзисторът е в областта на насищане и работната му точка е

$$U_{BE} = 0.7V \quad I_B = 0.23mA \quad U_{CE} = 0.2V \quad I_C = 88mA$$

5 Пример 3

Определете работната точка на транзистора в схемата от фигура 1. Транзисторът има коефициент на усилване по ток $\beta = 100$. $R_B = 10k\Omega$, $R_C = 100\Omega$, $U_{CC} = 9V$ и $U_{BB} = -3V$.

5.1 Решение

- **Стъпка 1** Приемаме, че транзисторът работи в активната област. Това означава, че следните равенства са изпълнени:

$$U_{BE} = 0.7V$$

$$I_C = \beta I_B$$

- **Стъпка 2** Изчисляваме U_{CE} , I_B и I_C .

Според законът на Кирхоф за напреженията:

$$U_{BB} - I_B R_B - U_{BE} = 0$$

$$I_B = \frac{U_{BB} - U_{BE}}{R_B} = \frac{-3V - 0.7V}{10k\Omega} = -0.37mA$$

Вижда се, че неравенството $I_B > 0$ не е изпълнено, затова сменяме предположението за областта на работа.

- **Стъпка 1** Приемаме, че транзисторът работи в областта на отсечка. Това означава, че следните равенства са изпълнени:

$$I_B = 0 \quad I_C = 0 \quad I_E = 0$$

- **Стъпка 2** Изчисляваме U_{BE} , U_{CE} и U_{CB} .

Прилагаме законът на Кирхоф за напреженията към веригата на базата:

$$U_{BB} - I_B R_B - U_{BE} = 0$$

$$U_{BE} = U_{BB} - I_B R_B = -3V - 0 \cdot 10k\Omega = -3V$$

Прилагаме законът на Кирхоф за напреженията към веригата на колектора:

$$U_{CC} - I_C R_C - U_{CE} = 0$$

$$U_{CE} = U_{CC} - I_C R_C = 9V - 0 \cdot 100 = 9V$$

Пак според законът на Кирхоф за напреженията:

$$U_{CE} + U_{CB} + U_{BE} = 0$$

$$U_{CB} = -U_{CE} - U_{BE} = -9V - (-3V) = -6V$$

- **Стъпка 3** Проверяваме дали са изпълнени неравенствата за областта на отсечка

$$U_{BE} < 0.7V$$

$$-3V < 0.7V \quad \text{изпълнено}$$

$$U_{CB} > 0$$

$$6V > 0 \quad \text{изпълнено}$$

Неравенствата са изпълнени, транзисторът е в областта на насищане и работната му точка е

$$U_{BE} = -3V \quad I_B = 0 \quad U_{CE} = 9V \quad I_C = 0$$