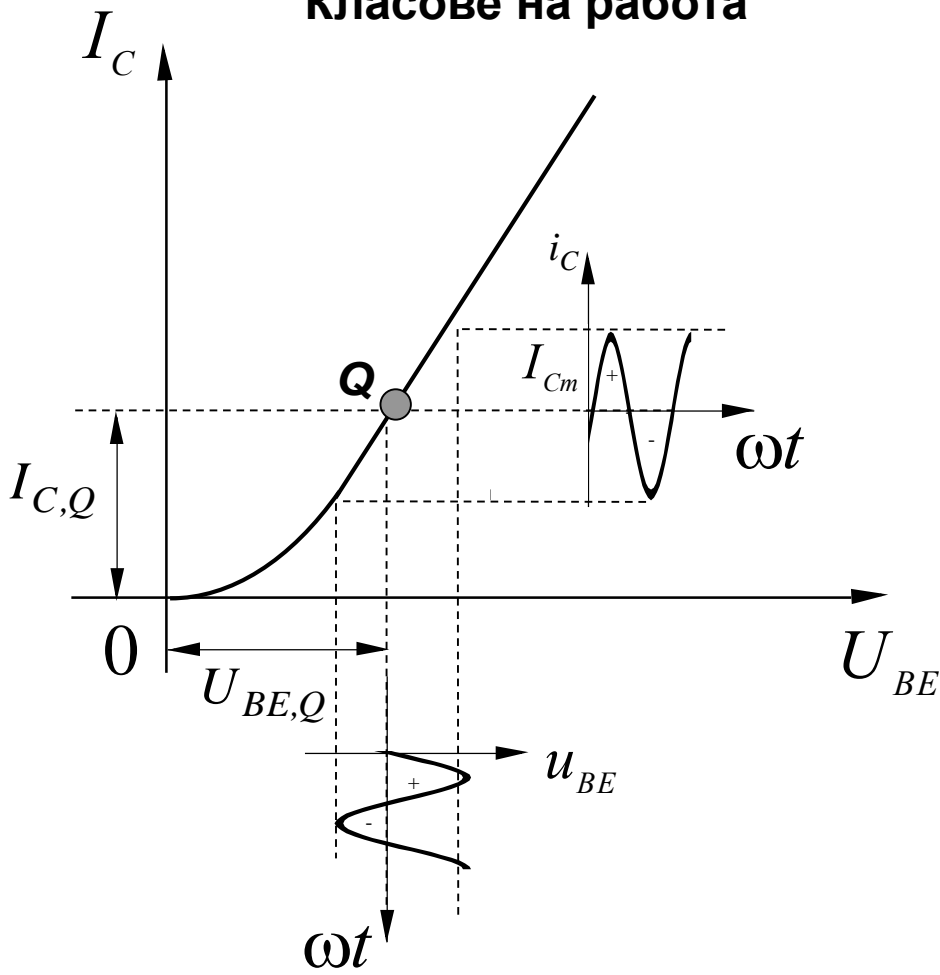
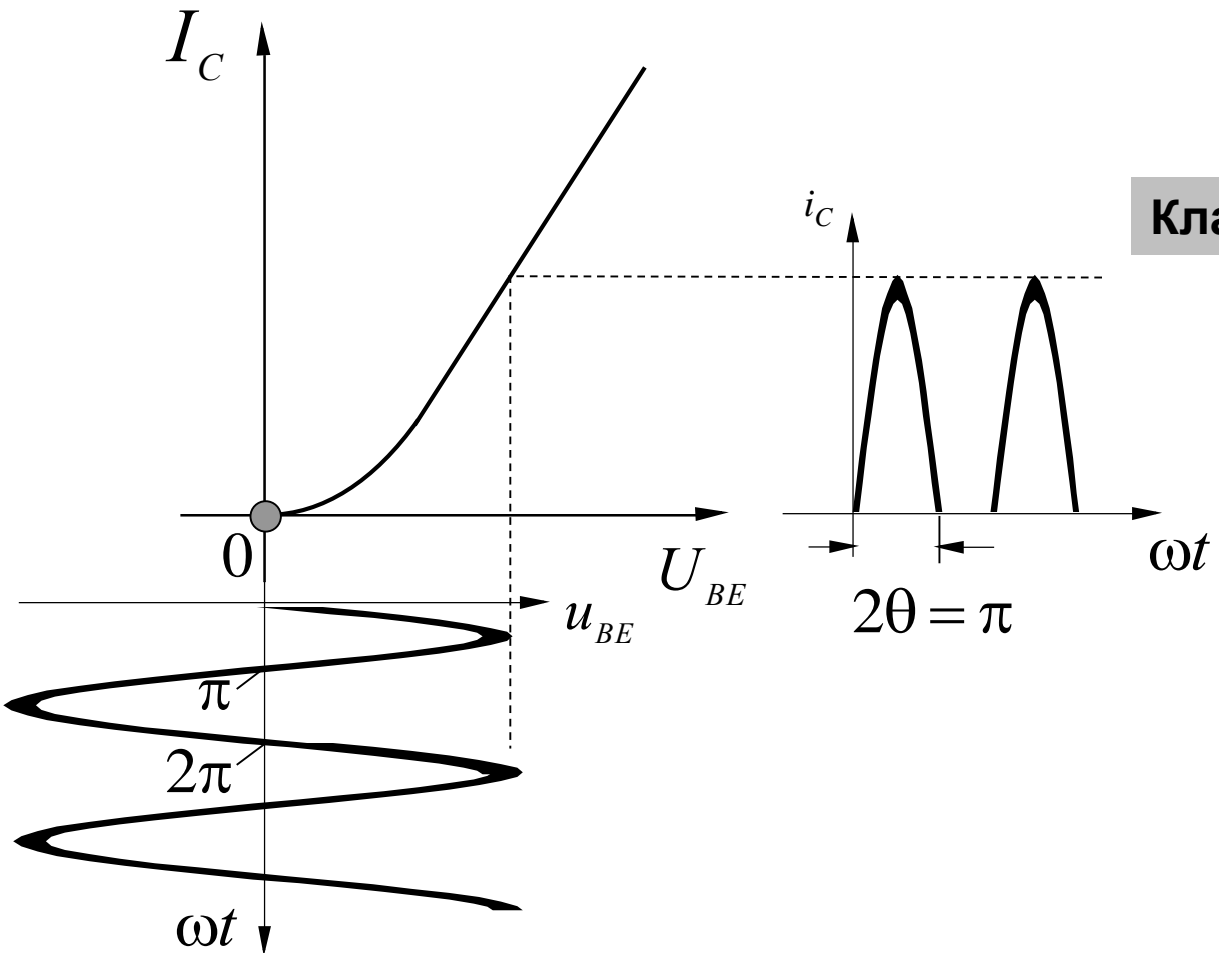


Изходни (крайни) стъпала. Класове на работа

Класове на работа



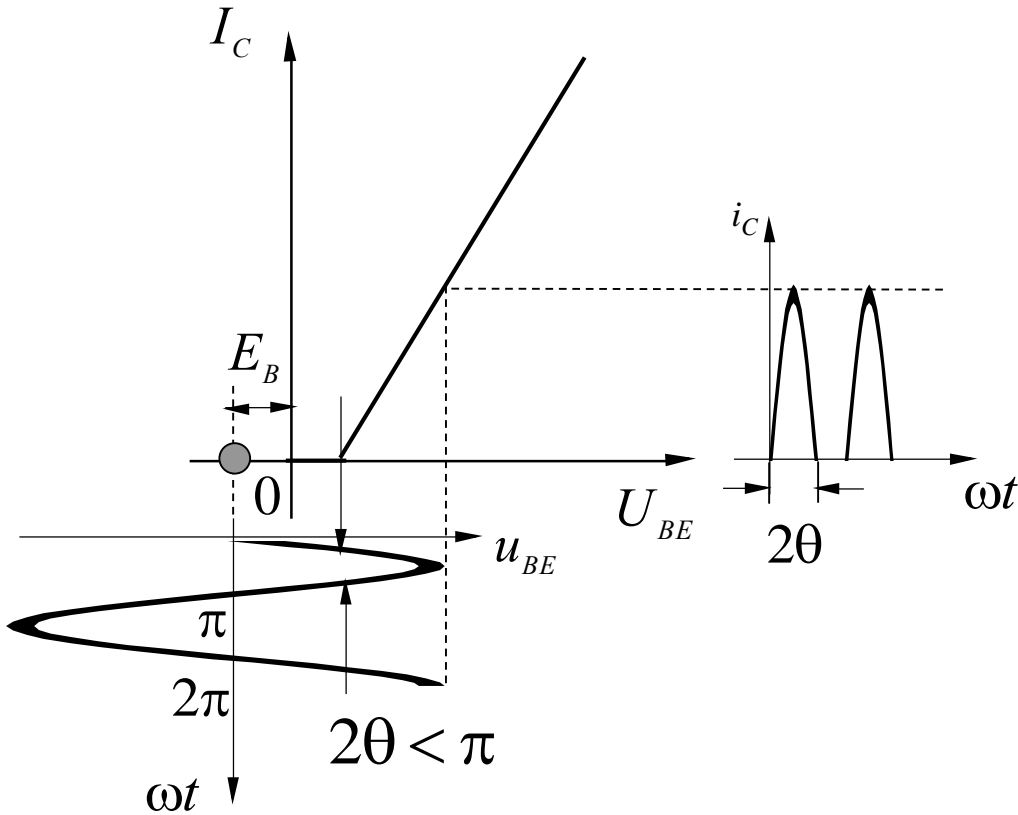
Клас А



Клас В

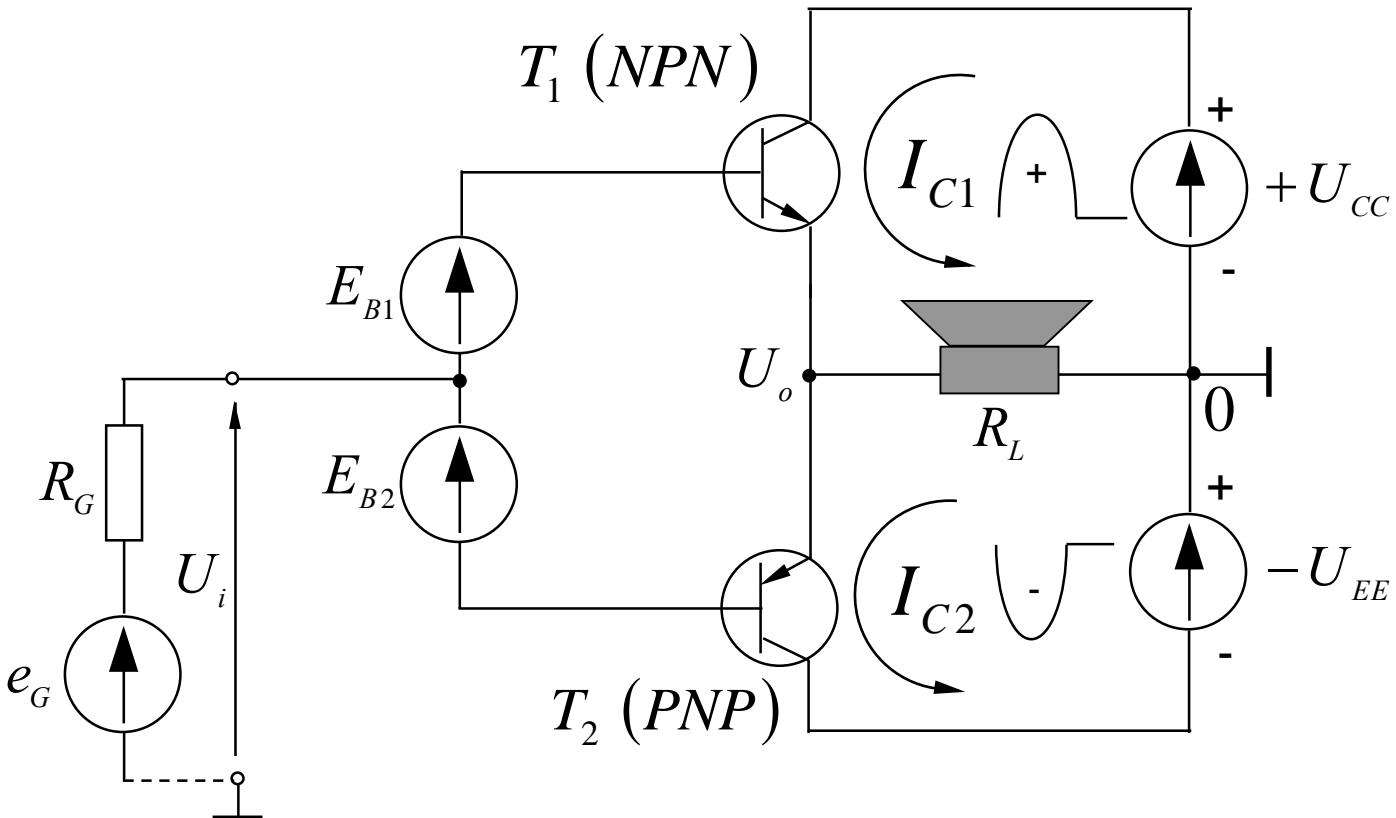
Изходни (крайни) стъпала. Класове на работа

Класове на работа



Клас С

Изходни (крайни) стъпала, работещи в режим клас В или клас АВ

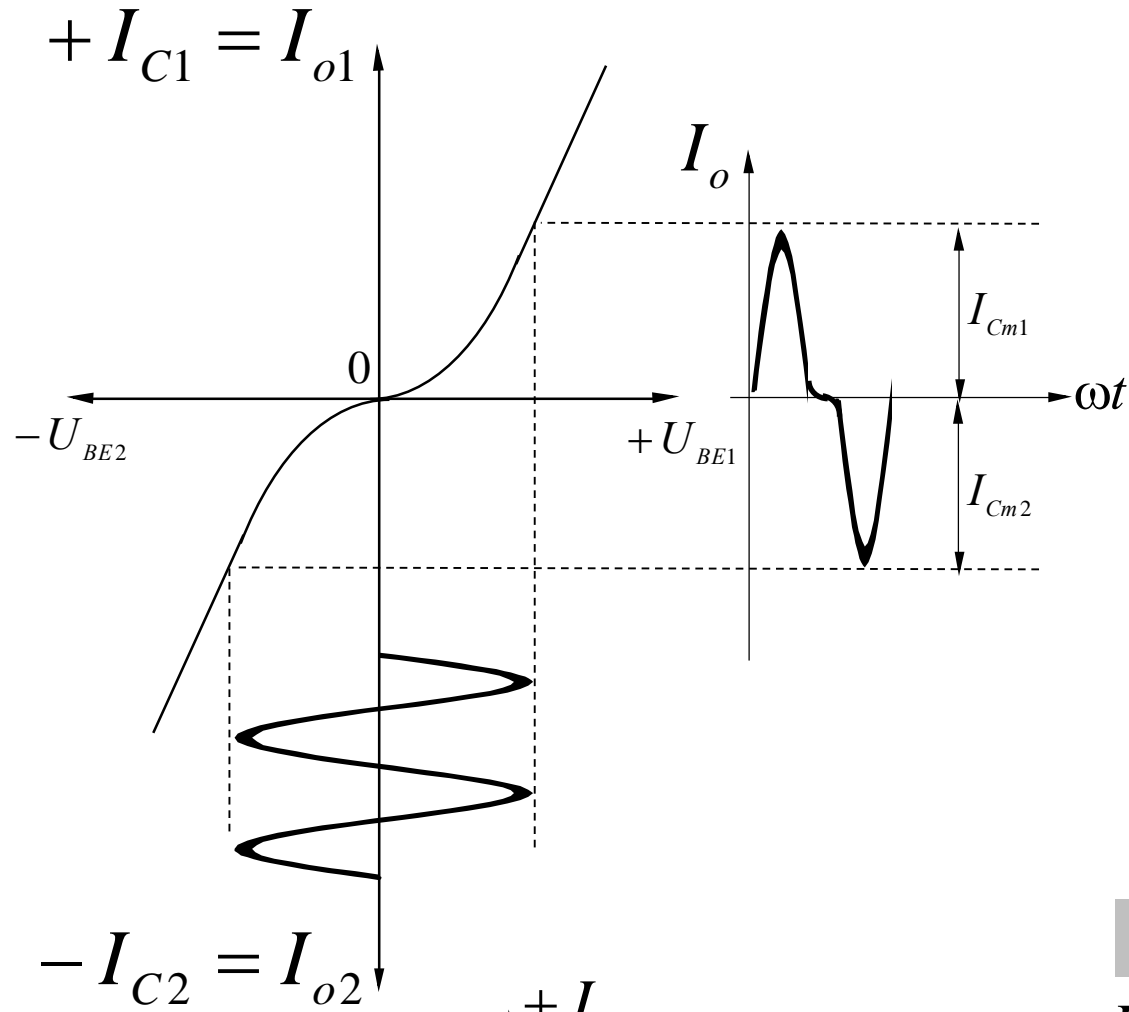


Изходни (крайни) стъпала, работещи в режим **клас В** или **клас АВ**

Клас В

$$E_{B1} = 0V$$

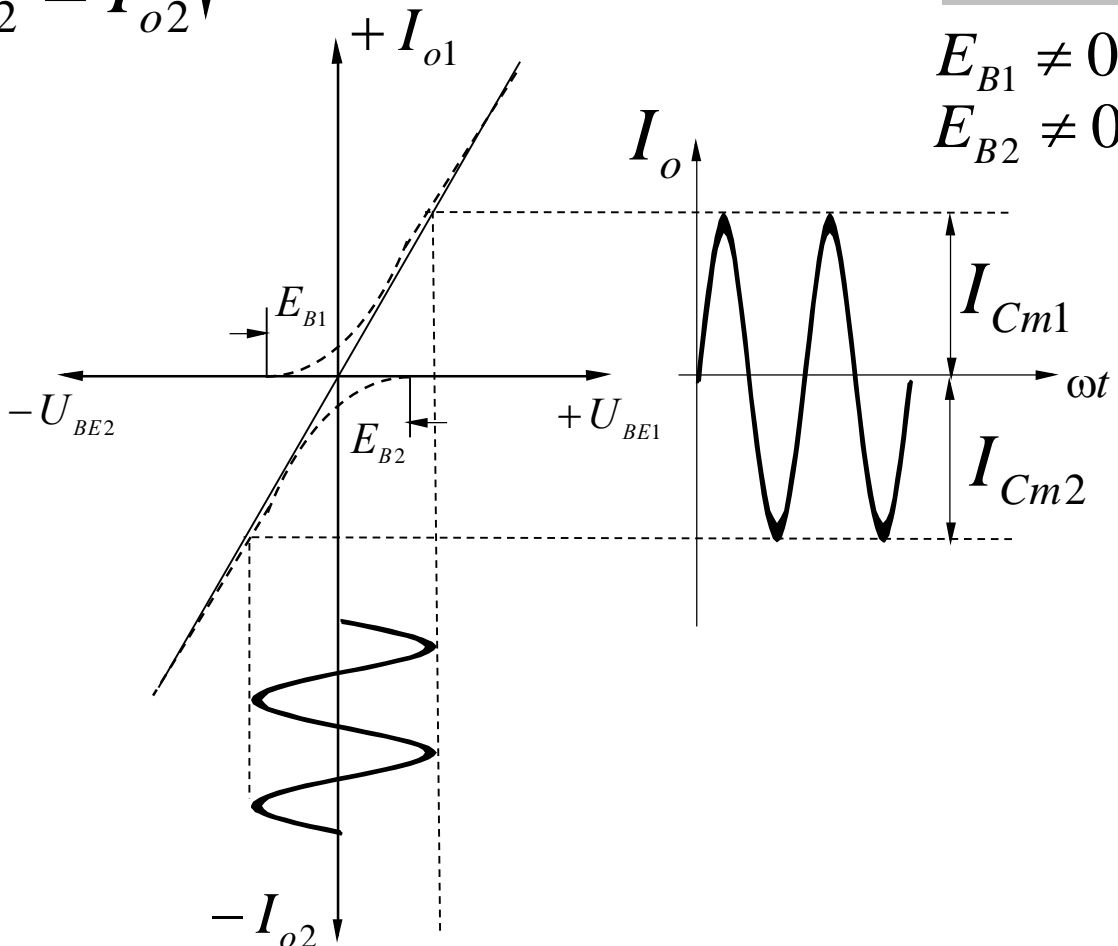
$$E_{B2} = 0V$$



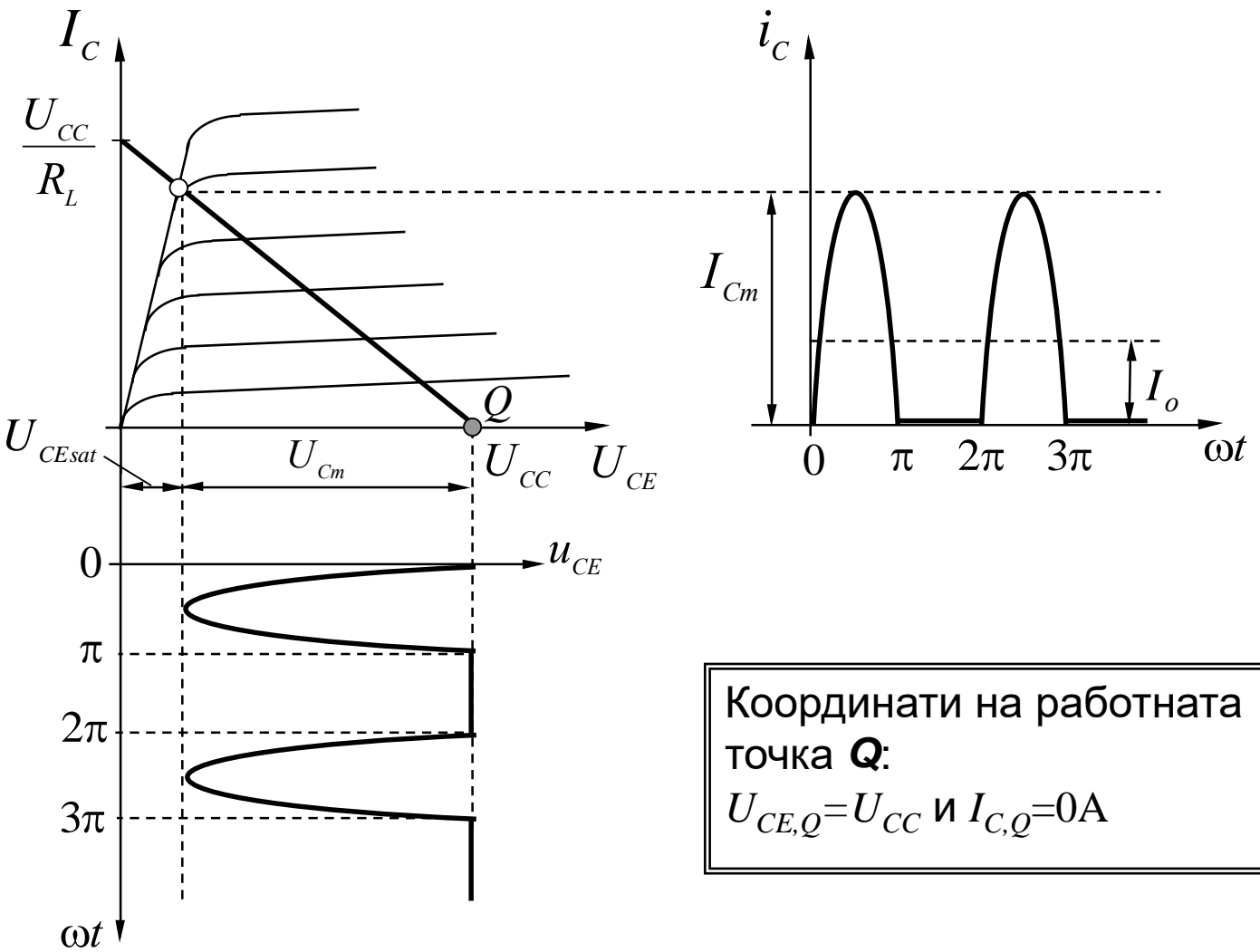
Клас АВ

$$E_{B1} \neq 0V$$

$$E_{B2} \neq 0V$$



Енергиен анализ за режим на работа клас В



Координати на работната точка **Q**:
 $U_{CE,Q} = U_{CC}$ и $I_{C,Q} = 0A$

Средна стойност на колекторния ток:

$$I_o = \frac{1}{2\pi} \int_0^\pi I_{cm} \sin \omega t \cdot d\omega t = \frac{I_{cm}}{\pi}$$

Мощност, консумирана от двата транзистора

$$P_{CC} = 2I_o U_{CC} = \frac{2}{\pi} I_{cm} U_{CC} = 0,636 U_{CC} \frac{U_{cm}}{R_L}; \quad I_{cm} = \frac{U_{cm}}{R_L}$$

$$P_{CCmax} = 2U_{CC} \frac{U_{CC}}{\pi R_L} = \frac{2}{\pi} \cdot \frac{U_{CC}^2}{R_L} = 0,636 \frac{U_{CC}^2}{R_L},$$

където $I_{cm} \approx \frac{U_{CC}}{R_L}$ при $U_{cm} = U_{CC} - U_{CEsat} \approx U_{CC}$

Енергиен анализ за режим на работа клас В

Максималната мощност, която се отдава в товара

$$P_L = \frac{1}{2} U_{cm} I_{cm} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{cm}^2}{R_L}; \quad \boxed{P_{Lmax} = \frac{1}{2} \cdot \frac{U_{CC}^2}{R_L}}$$

където $U_{cm} = U_{CC} - U_{CEsat} \approx U_{CC}$ при $U_{CC} \gg U_{CEsat}$

Коефициент на полезно действие на стъпалото

$$\eta = \frac{P_L}{P_{CC}} = \frac{\pi}{4} \cdot \frac{U_{cm}}{U_{CC}} = 0,785 \frac{U_{cm}}{U_{CC}}$$

$$\boxed{\eta_{max} = \frac{\pi}{4} = 0,785 (78,5\%)}, \quad \text{за } -U_{cm} = U_{CC}$$

Разсейвана (загубна) мощност във всеки от транзисторите

$$P_C = \frac{P_{CC} - P_L}{2} = \frac{\frac{2}{\pi} I_{cm} U_{CC} - \frac{1}{2} \frac{U_{cm}^2}{R_L}}{2} = \left(\frac{1}{\pi} \frac{U_{cm}}{R_L} U_{CC} - \frac{1}{4} \frac{U_{cm}^2}{R_L} \right)$$

$$(P_C)_{max} \rightarrow \frac{dP_C}{dU_{cm}} = 0;$$

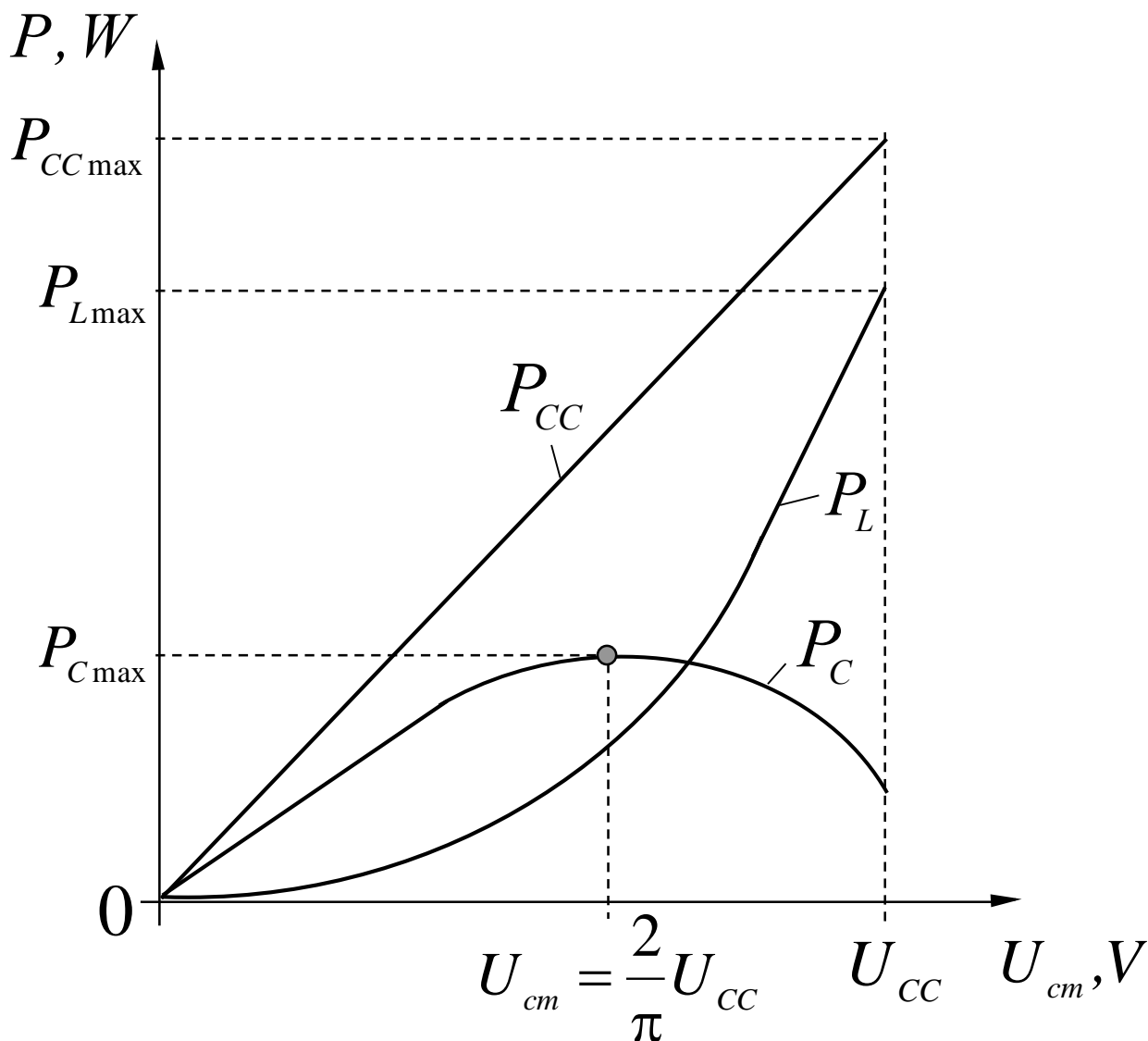
$$\frac{dP_C}{dU_{cm}} = \frac{1}{R_L} \left(\frac{1}{\pi} U_{CC} - \frac{1}{2} U_{cm} \right) = 0; \quad \boxed{U_{cm} = \frac{2}{\pi} U_{CC}}$$

$$\boxed{P_{Cmax} = \frac{U_{CC}^2}{\pi^2 R_L} \approx 0,1 \frac{U_{CC}^2}{R_L}}$$

$$\frac{P_{Lmax}}{P_{Cmax}} = \frac{\frac{1}{2} \frac{U_{CC}^2}{R_L}}{\frac{U_{CC}^2}{\pi^2 R_L}} = \frac{\pi^2}{2} \approx 5$$

Енергиен анализ за режим на работа клас В

Графични зависимости на мощностите P_{CC} , P_L и P_C от амплитудата на изходното напрежение U_{cm}



Избор на захранващо напрежение и определяне на максимално допустимото напрежение върху всеки от транзисторите:

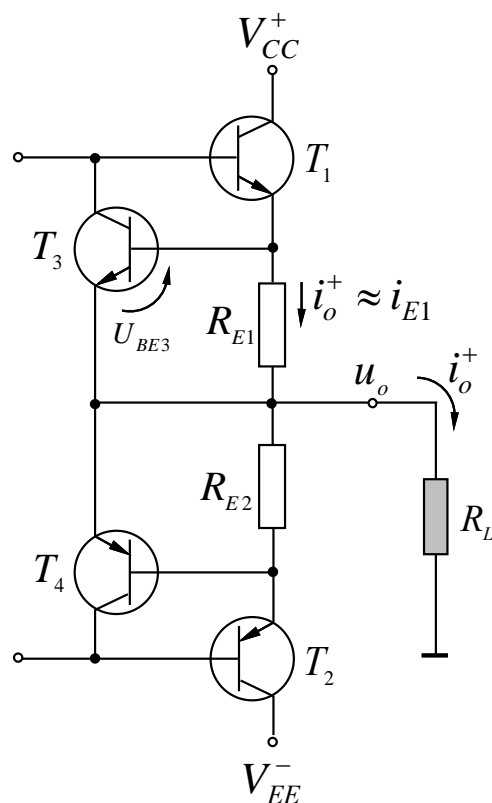
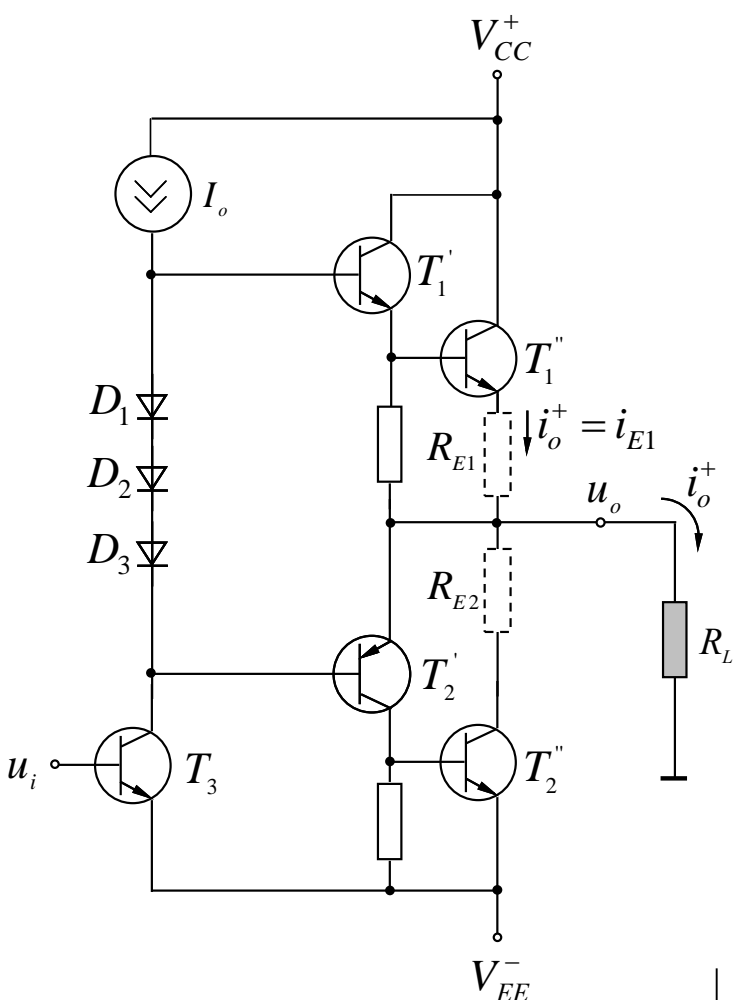
$$P_{Lmax} = \frac{1}{2} \cdot \frac{(U_{CC} - U_{CEsat})^2}{R_L};$$

$$U_{CC} \geq \sqrt{2P_{Lmax} R_L} + U_{CEsat} \Rightarrow U_{CEmax} \geq 2U_{CC}$$

Схеми на крайни стъпала, работещи в режим клас АВ

Изходно стъпало с Дарлингтон транзистори

Изходно стъпало с активна защита по ток



Максимален изходен ток:

$$\text{За } U_{BE3} = i_o^+ R_{E1} \approx 0,6V$$

транзисторът T_3 се отпушва.

Максимален изходен ток:

$$I_{o\max}^+ \approx \frac{0,6V}{R_{E1}}$$

Пример 1.1:

За $V_{CC} = 30V$ и $I_{o\max}^+ = 1A$

$$R_{E1} = \frac{V_{CC}^+}{I_{o\max}^+} = \frac{30V}{1A} = \underline{\underline{30\Omega}}$$

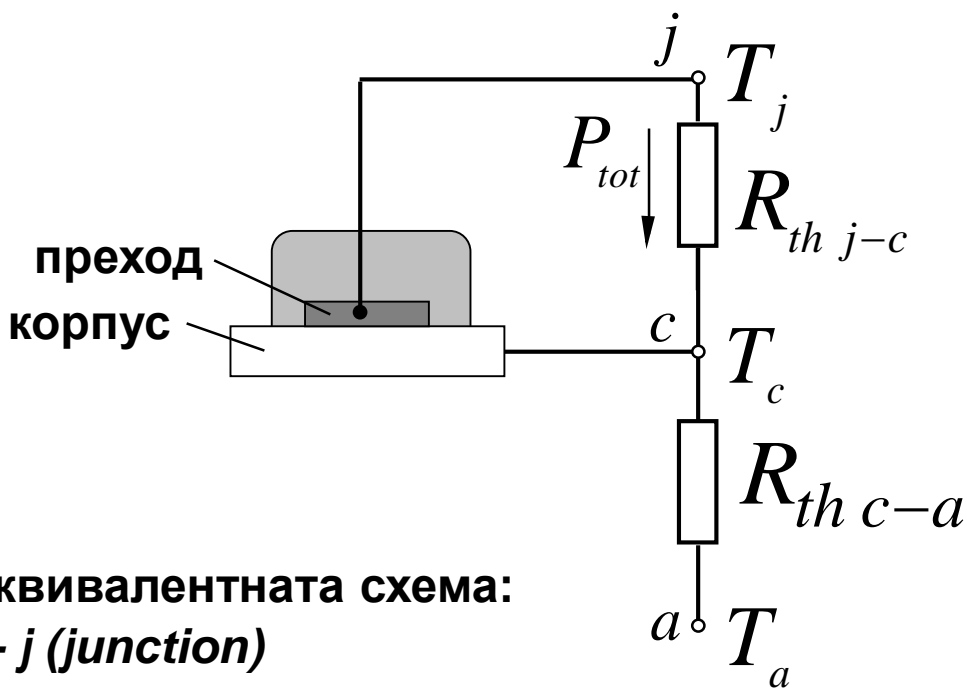
Пример 1.2:

За $V_{CC} = 30V$ и $I_{o\max}^+ = 1A$

$$R_{E1} \approx \frac{U_{BE3}}{I_{o\max}^+} = \frac{0,6V}{1A} = \underline{\underline{0,6\Omega}}$$

Топлинен режим на крайните транзистори. Радиатори

Еквивалентната схема, илюстрираща преминаването на топлинния поток от колекторния преход на транзистора



Полюси в еквивалентната схема:

Преход - *j* (*junction*)

Корпус - *c* (*corpus*)

Околна среда - *a* (*ambient*)

Разсеяна мощност:

$$P_{tot} = \frac{T_j - T_a}{R_{th\ j-a}} = \frac{T_j - T_a}{R_{th\ j-c} + R_{th\ c-a}}$$

$$R_{th\ j-a} = R_{th\ j-c} + R_{th\ c-a}$$

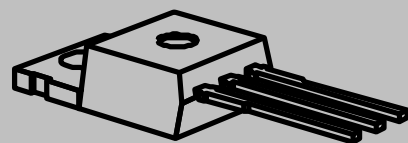
топлинно съпротивление
между колекторния преход и
околната среда

TO220

$$R_{th\ j-c} = 2,5^\circ C / W$$

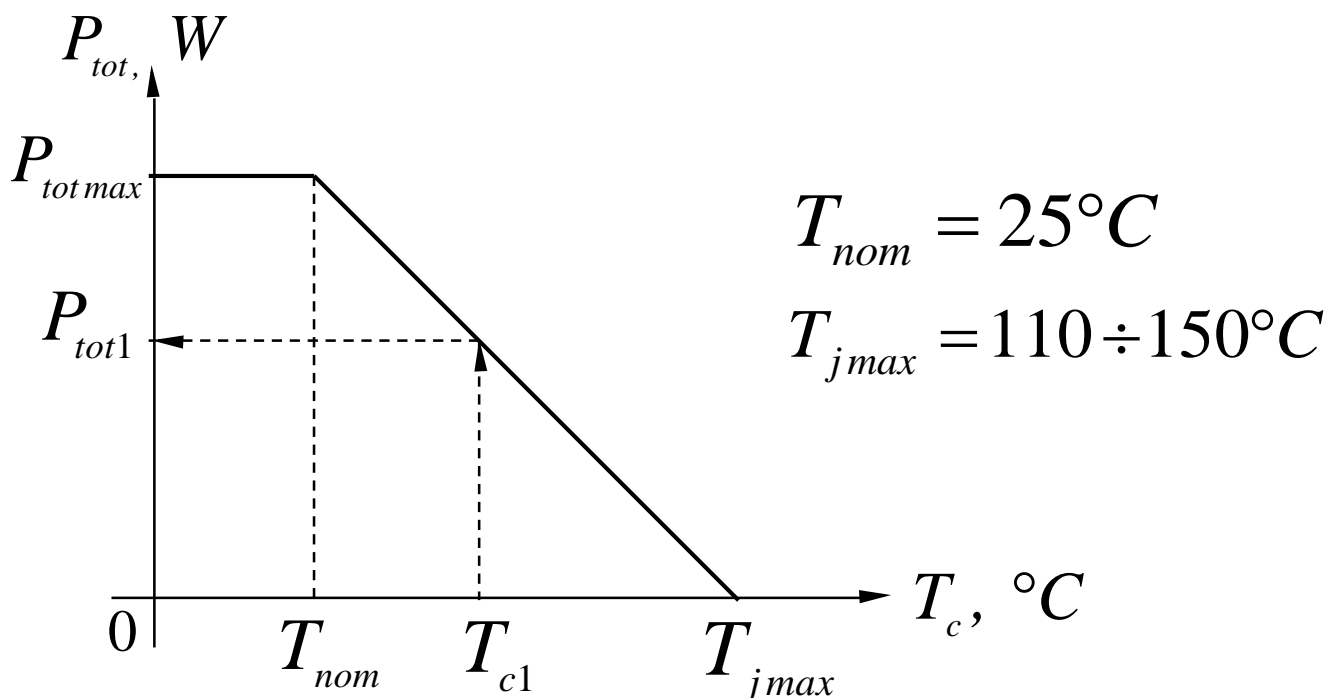
$$R_{th\ c-a} = 60^\circ C / W$$

$$R_{th\ j-a} = 62,5^\circ C / W$$

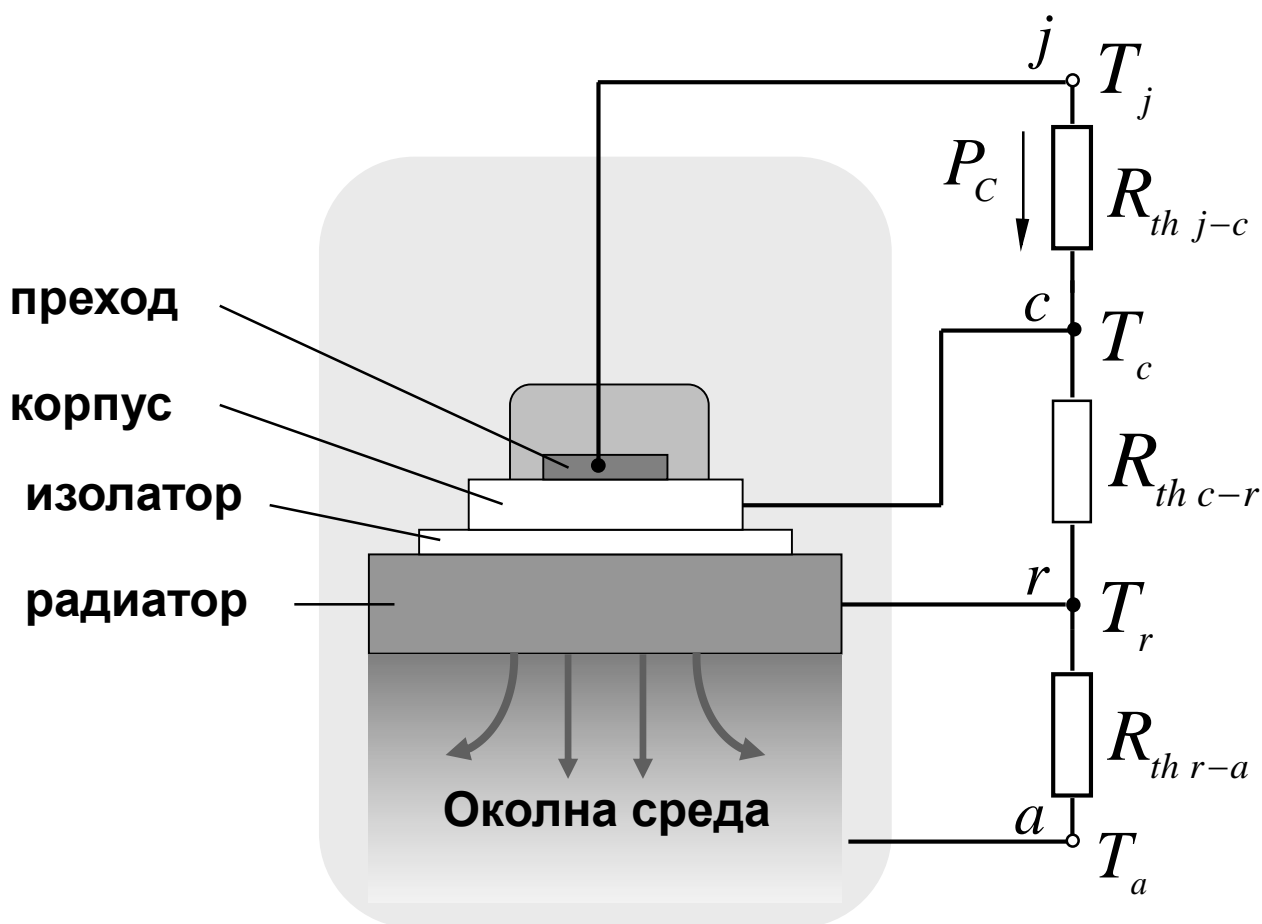


Топлинен режим на крайните транзистори. Радиатори

Зависимост на допустимата загубна мощност от температурата на корпуса



Еквивалентната схема, илюстрираща преминаването на топлинния поток от колекторния преход на транзистора с радиатор



Топлинен режим на крайните транзистори. Радиатори

Общо топлинно съпротивление

$$R_{th\ j-a} = R_{th\ j-c} + R_{th\ c-r} + R_{th\ r-a},$$

$R_{th\ j-c}$ - Топлинно съпротивление между прехода и корпуса

$R_{th\ c-r}$ - Топлинно съпротивление между корпуса и радиатора

$R_{th\ r-a}$ - Топлинно съпротивление между радиатора и околната среда

$$T_j - T_a = P_c (R_{th\ j-c} + R_{th\ c-r} + R_{th\ r-a}) = P_c R_{th\ j-a}$$

Максимално допустима загубна мощност при $T_{j\ max}$

$$P_{C\ max} = \frac{T_{j\ max} - T_a}{\underbrace{R_{th\ j-c} + R_{th\ c-r} + R_{th\ r-a}}_{R_{th\ j-a}}}$$

Охлаждащи радиатори (*Heat Sink – HS*) използвани с корпуси за мощни транзистори TO3, TO218 и TO220



Web – адреси на фирми, произвеждащи охлаждащи радиатори

Fischer Elektronik – www.fischer-elektronik-hf.de

Aavid Thermalloy – www.aavidthermalloy.com

Infineon Technologies – www.infineon.com