

Tranzistor jako dvojbran

$$\mathbf{u}_1 = \mathbf{h}_{11}\mathbf{i}_1 + \mathbf{h}_{12}\mathbf{u}_2$$

$$\mathbf{i}_2 = \mathbf{h}_{21}\mathbf{i}_1 + \mathbf{h}_{22}\mathbf{u}_2$$

h_{11} – vst. odpor při výst. nakrátko

h_{22} – výst. vodivost při vst. naprázdno

h_{12} – zp. U zesil. činitel při vst. naprázdno

h_{21} - I zesilovací činitel při výst. nakrátko

$$h_{11} = \frac{u_1}{i_1} \quad \text{při } u_2 = 0 = \frac{\Delta U_1}{\Delta I_1} \text{ při } U_2 = \text{konst.}$$

$$h_{22} = \frac{i_2}{u_2} \quad \text{při } i_1 = 0$$

$$h_{12} = \frac{u_1}{u_2} \quad \text{při } i_1 = 0 = \frac{\Delta U_1}{\Delta U_2} \text{ při } I_1 = \text{konst.}$$

$$h_{21} = \frac{i_2}{i_1} \quad \text{při } u_2 = 0 = \frac{\Delta I_2}{\Delta I_1} \text{ při } U_2 = \text{konst.}$$

a) společný emitor

$$\mathbf{u}_{be} = \mathbf{h}_{11e}\mathbf{i}_b + \mathbf{h}_{12e}\mathbf{u}_{ce}$$

$$\mathbf{i}_c = \mathbf{h}_{21e}\mathbf{i}_b + \mathbf{h}_{22e}\mathbf{u}_{ce}$$

b) společná báze

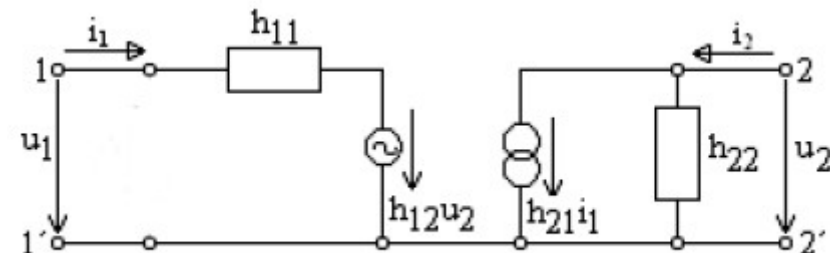
$$\mathbf{u}_{eb} = \mathbf{h}_{11b}\mathbf{i}_e + \mathbf{h}_{12b}\mathbf{u}_{cb}$$

$$\mathbf{i}_1 = \mathbf{h}_{21b}\mathbf{i}_e + \mathbf{h}_{22b}\mathbf{u}_{cb}$$

c) společný kolektor

$$\mathbf{u}_{bc} = \mathbf{h}_{11c}\mathbf{i}_b + \mathbf{h}_{12c}\mathbf{u}_{ec}$$

$$\mathbf{i}_{bc} = \mathbf{h}_{21c}\mathbf{i}_b + \mathbf{h}_{22c}\mathbf{u}_{ec}$$



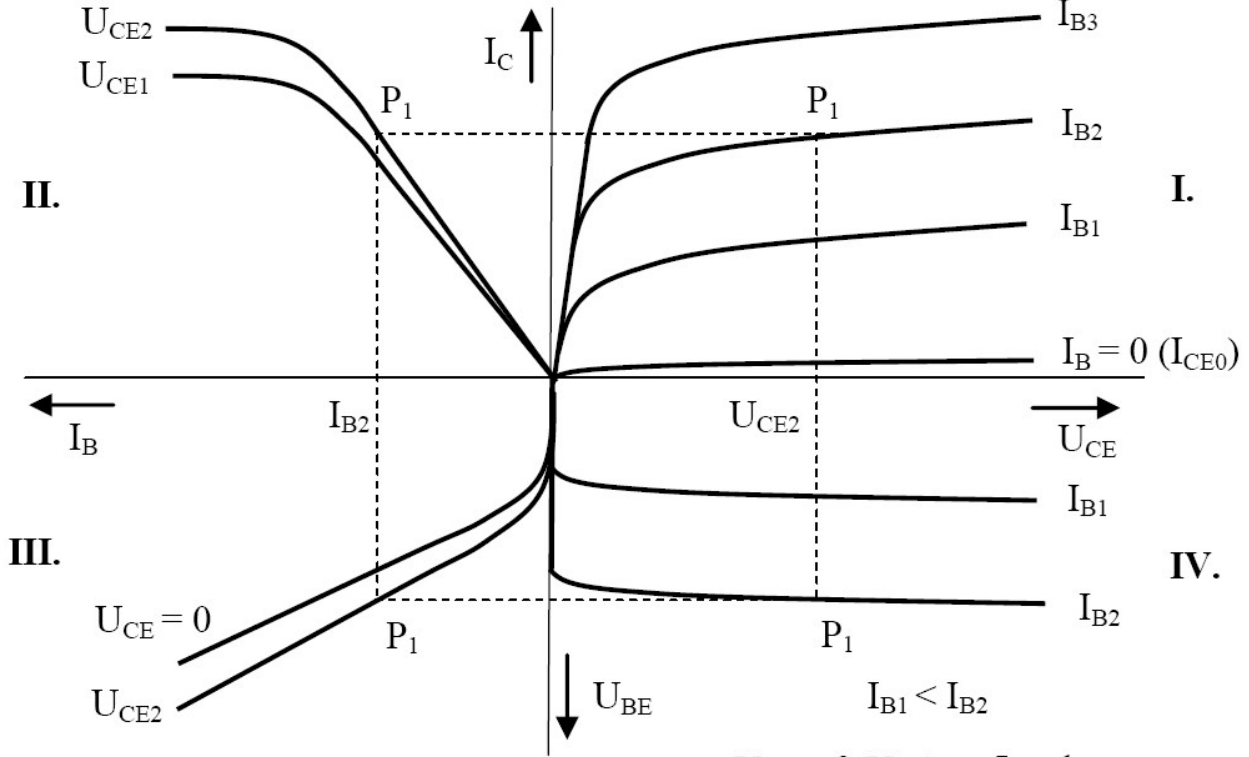
Charakteristika tranzistoru v zapojení SE

Parametrická soustava charakteristik

$$I_C = f(I_B) \quad U_{CE} = \text{konst}$$

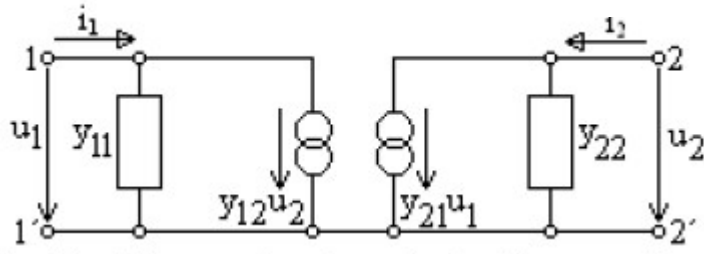
$$I_C = f(U_{CE}) \quad I_B = \text{konst}$$

$$I_{B1} < I_{B2} < I_{B3}$$

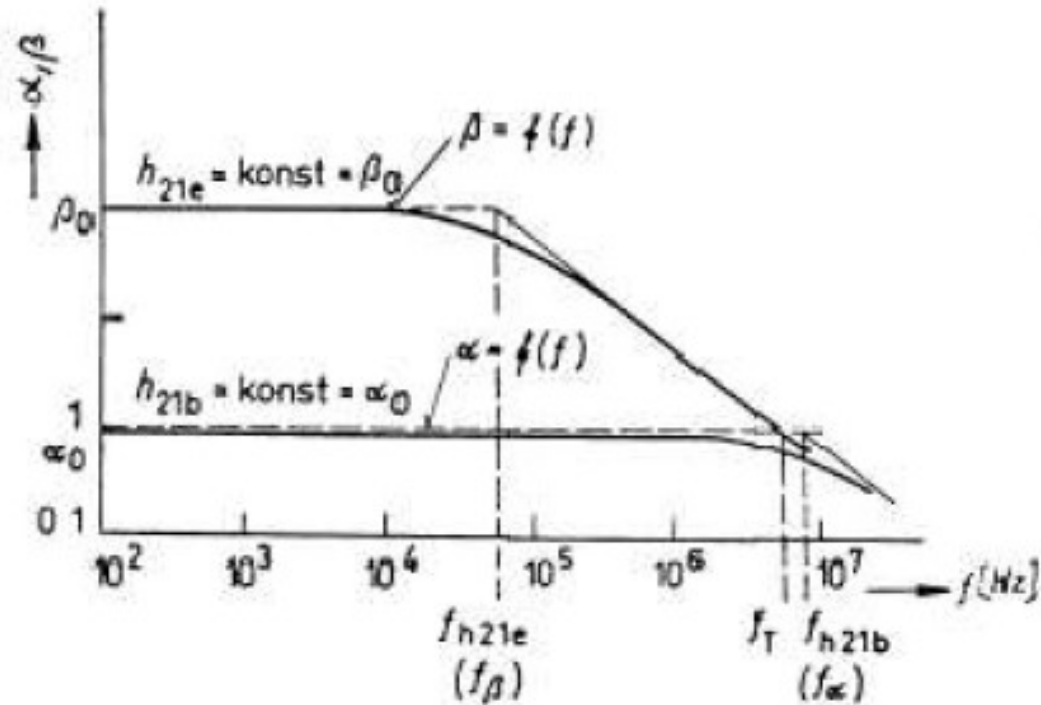


$$U_{BE} = f(I_B) \quad U_{CE} = \text{konst}$$

$$U_{BE} = f(U_{CE}) \quad I_B = \text{konst}$$



Kmitočtová závislost



α je proudový zesilovací činitel v zapojení SB

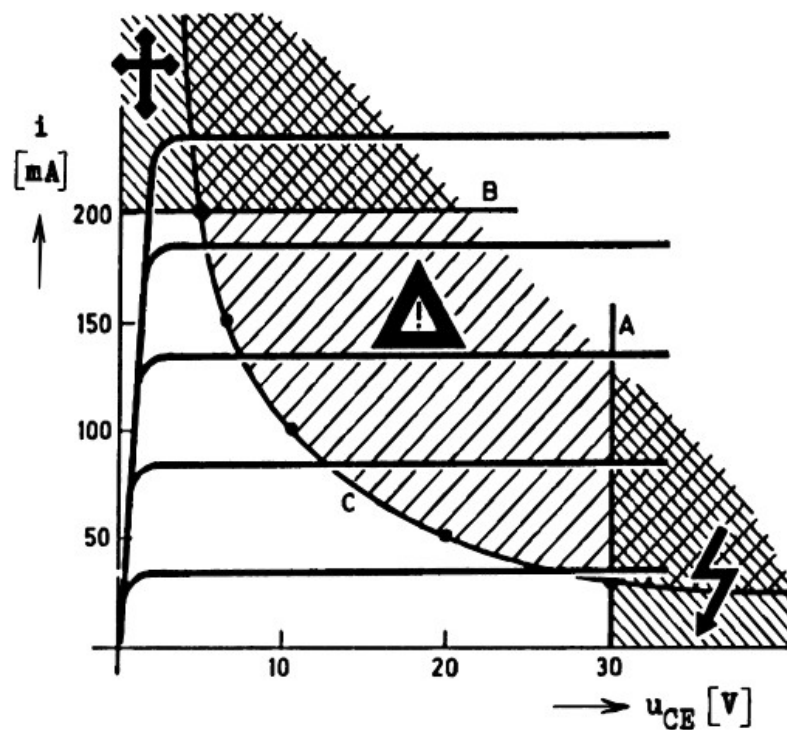
β je proudový zesilovací činitel v zapojení SE

f_α je kmitočet, při němž klesl α z nezávislé hodnoty právě na $\alpha \frac{1}{\sqrt{2}}$

f_β je kmitočet, při němž klesl β z nezávislé hodnoty právě na $\beta \frac{1}{\sqrt{2}}$

f_T je kmitočet, při němž klesl β právě na hodnotu 1

Pracovní bod tranzistorového zesilovače



Omezující parametry tranzistoru:

A – maximální napětí U_{CE}

B – maximální proud I_C

C – maximální výkonová ztráta P_{Dmax}

$$P_{Dmax} = U_{CE} \cdot I_C$$

$$\Delta T = T_P - T_O = R_T \cdot P_O$$

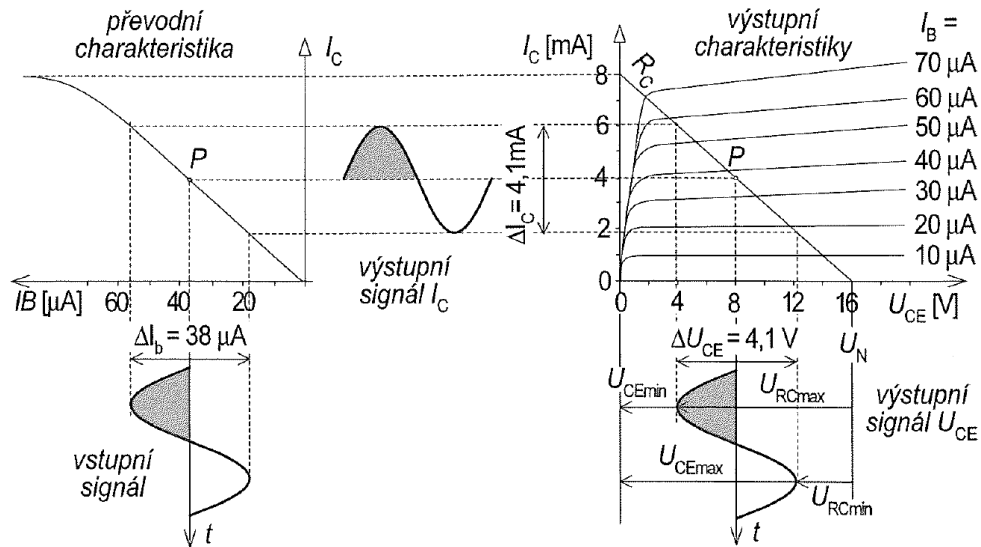
T_P = max. povolená teplota tranzistoru

T_O = teplota okolí

R_T = tepelný odpor tranzistoru

P_O = ztrátový výkon v prac. bodě

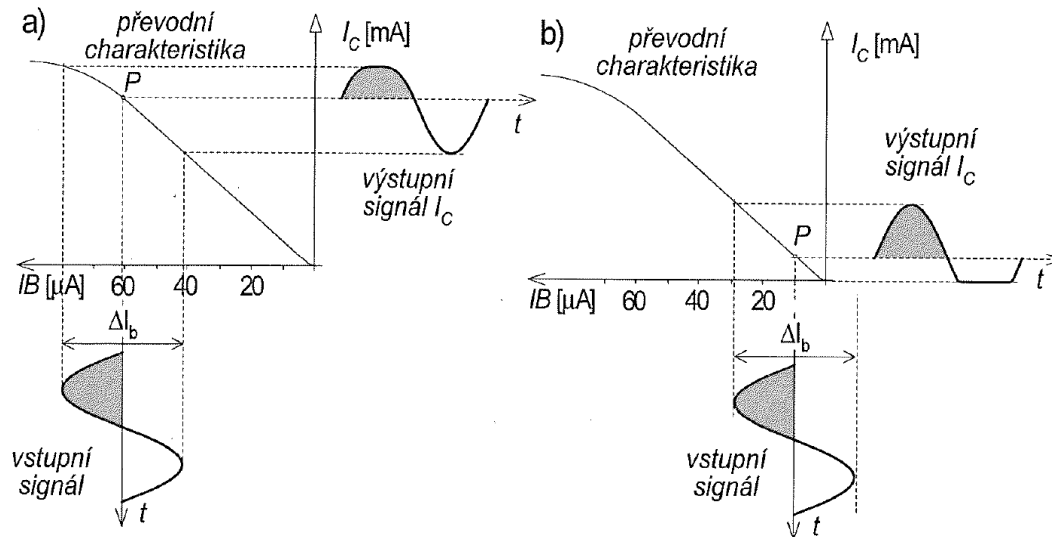
Nastavení pracovního bodu



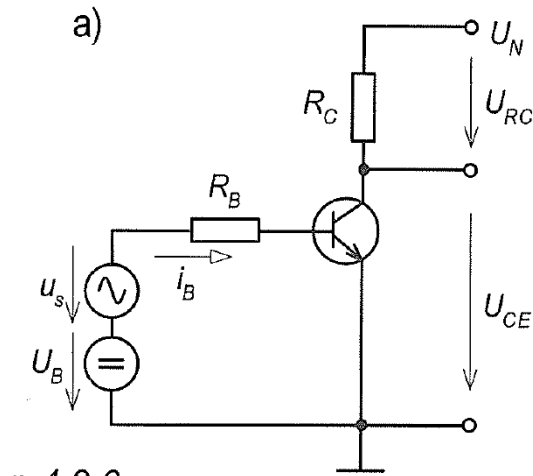
Zapojení SE

Proudové zesílení

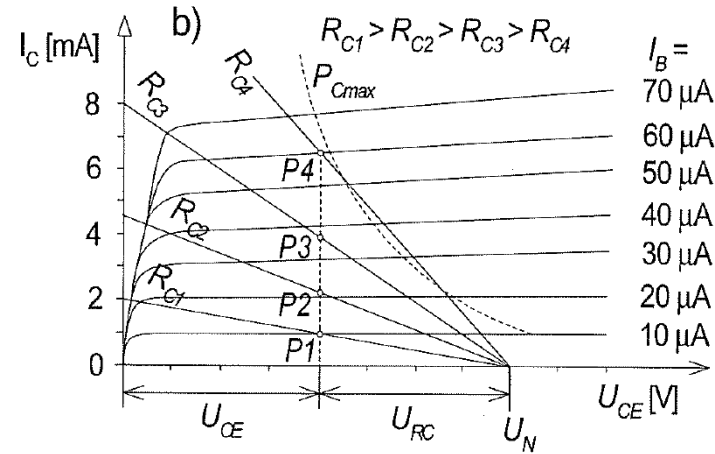
$$A_i = \frac{\Delta i_C}{\Delta i_B} = \frac{4,1 \cdot 10^{-3}}{38 \cdot 10^{-6}} = 108$$



Nastavení pracovního bodu

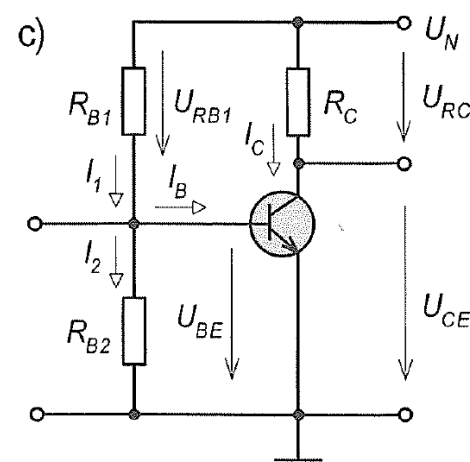
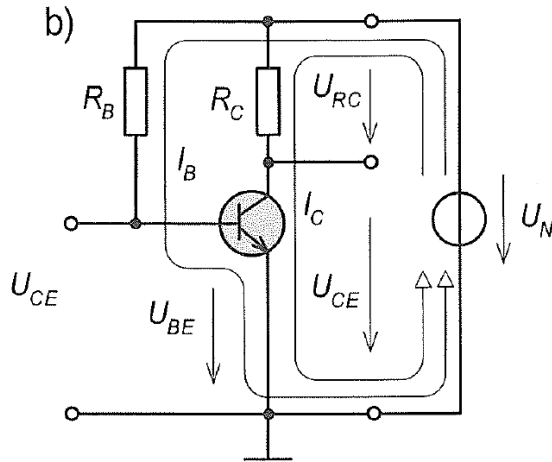
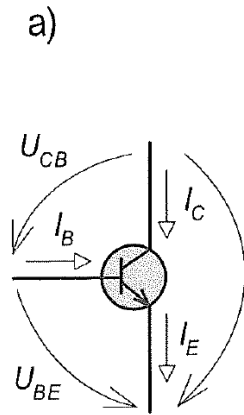


$$R_B = \frac{U_N - U_{BE}}{I_B}$$



$$R_{B1} = \frac{U_{RB1}}{I_1} = \frac{U_N - U_{BE}}{I_B + I_2}$$

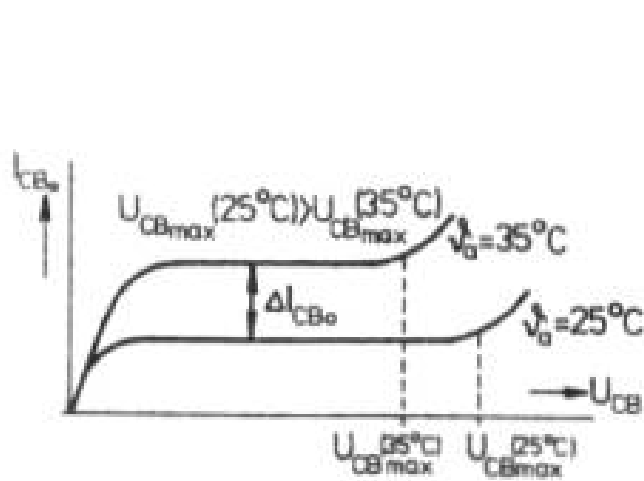
$$R_{B2} = \frac{U_{RB2}}{I_2} = \frac{U_{BE}}{I_2}$$



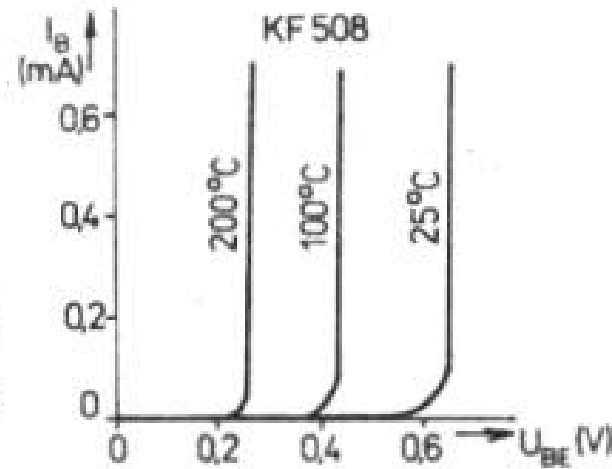
$$I_2 \approx 10 \cdot I_B$$

Obr. 4.3.7

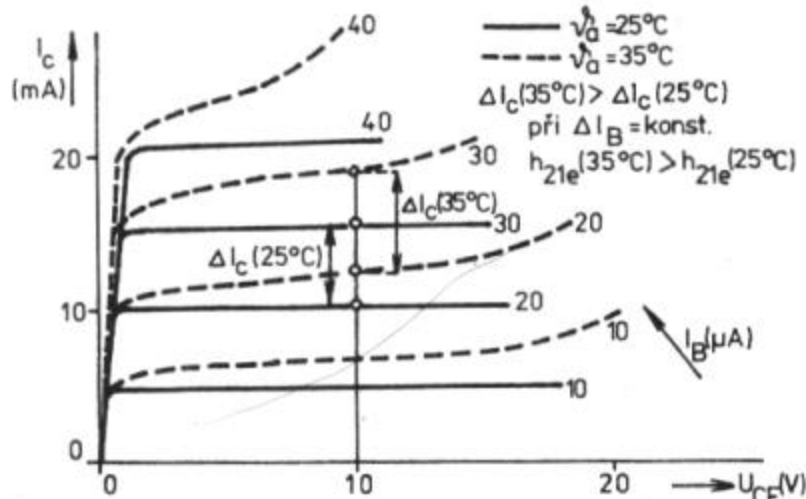
Vliv teploty na vlastnosti tranzistoru



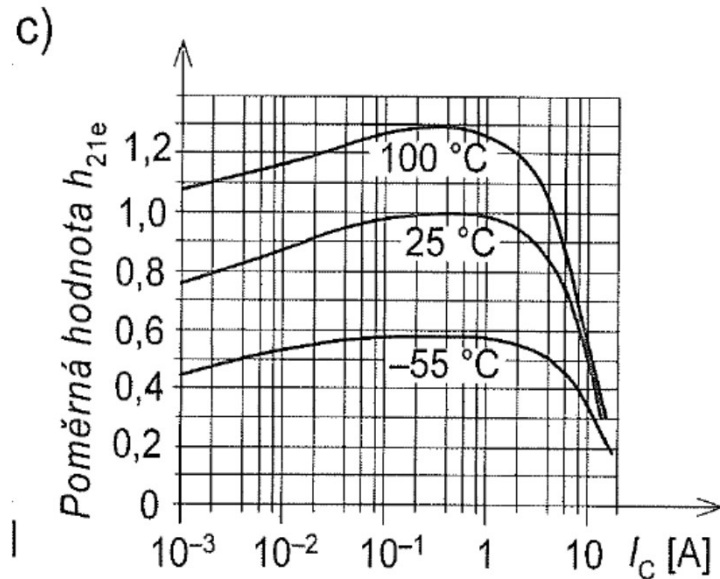
Obr. 107. Vliv teploty na zbytkový proud diody báze-kolektor



Obr. 108. Vliv teploty na napětí báze-emitor tranzistoru



Obr. 109. Výstupní charakteristiky tranzistoru při teplotě 25 °C plně, 35 °C čárkovaně



Teplotní závislost pracovního bodu

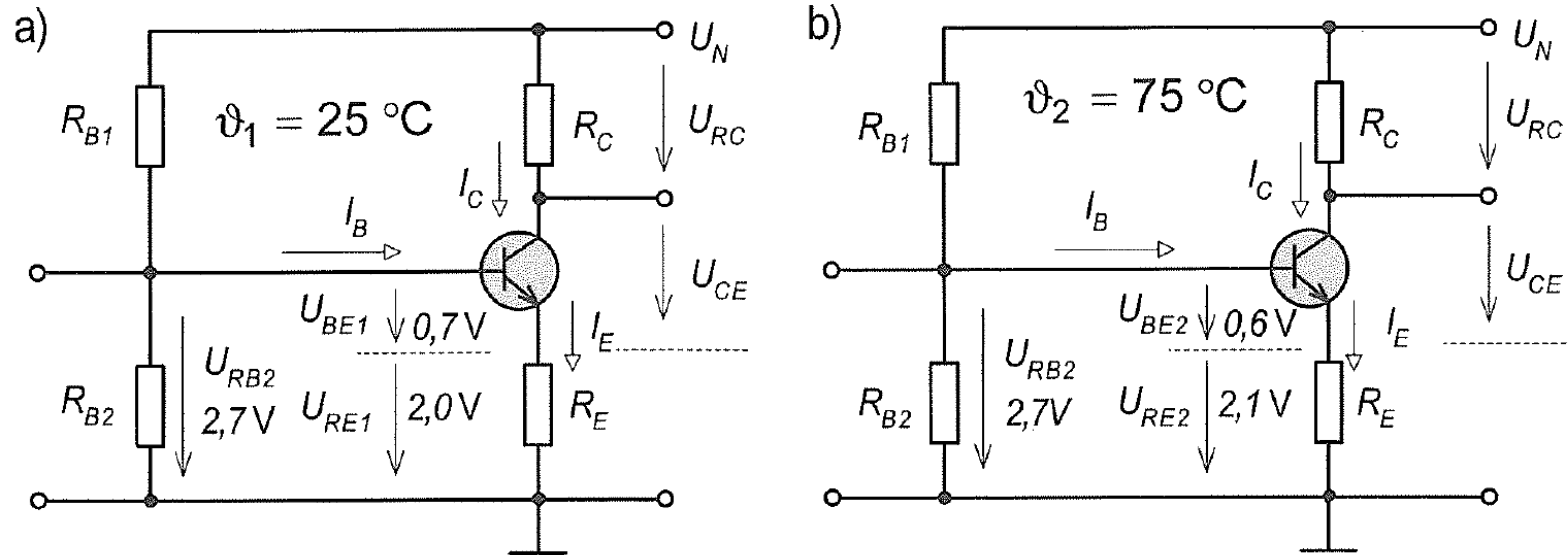
Účinnost stabilizace je určena pomocí činitelů stabilizace

$$S_I = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_{CB0}}$$

$$S_\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta h_{21E}}$$

$$S_U = \frac{\Delta I_C}{\Delta U_{BE}}$$

Teplotní kompenzace

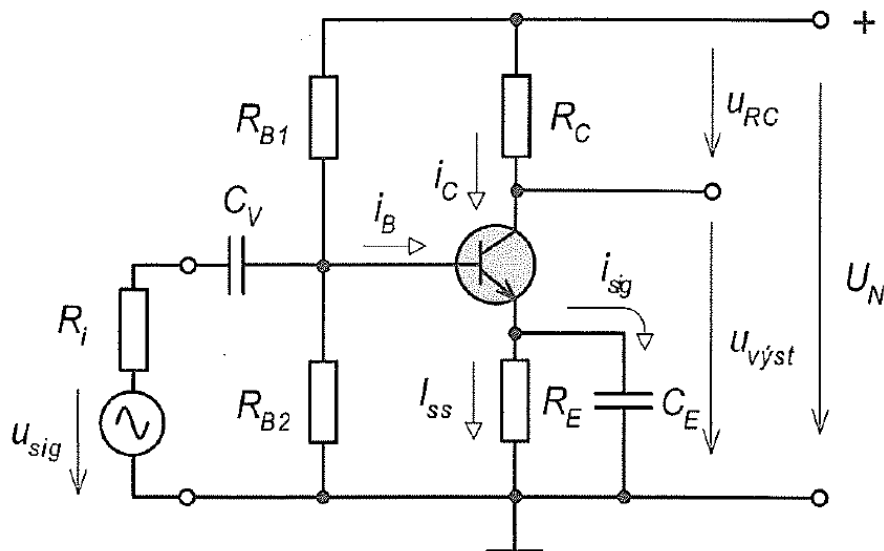


$$U_{RB2} = U_{RE} + U_{BE} = R_E \cdot I_E + U_{BE}$$

jelikož $U_{RB2} \approx konst.$, platí

$$U_{RB2} = U_{BE1} + U_{RE1} = U_{BE1} - \Delta U_{BE} + U_{RE1} + \Delta U_{RE} = U_{BE2} + U_{RE2}$$

Teplotní kompenzace – zapojení SE



$$Z_E(j\omega) = R_E \parallel Z_{CE} = \frac{R_E}{1 + j\omega R_E C_E}$$

$$Z_E(\omega) = \frac{R_E}{\sqrt{1 + (\omega R_E C_E)^2}}$$

$$C_E \geq \frac{h_{21e}}{2 \cdot \pi \cdot f_{0d} \cdot (h_{11e} + R_i)}$$

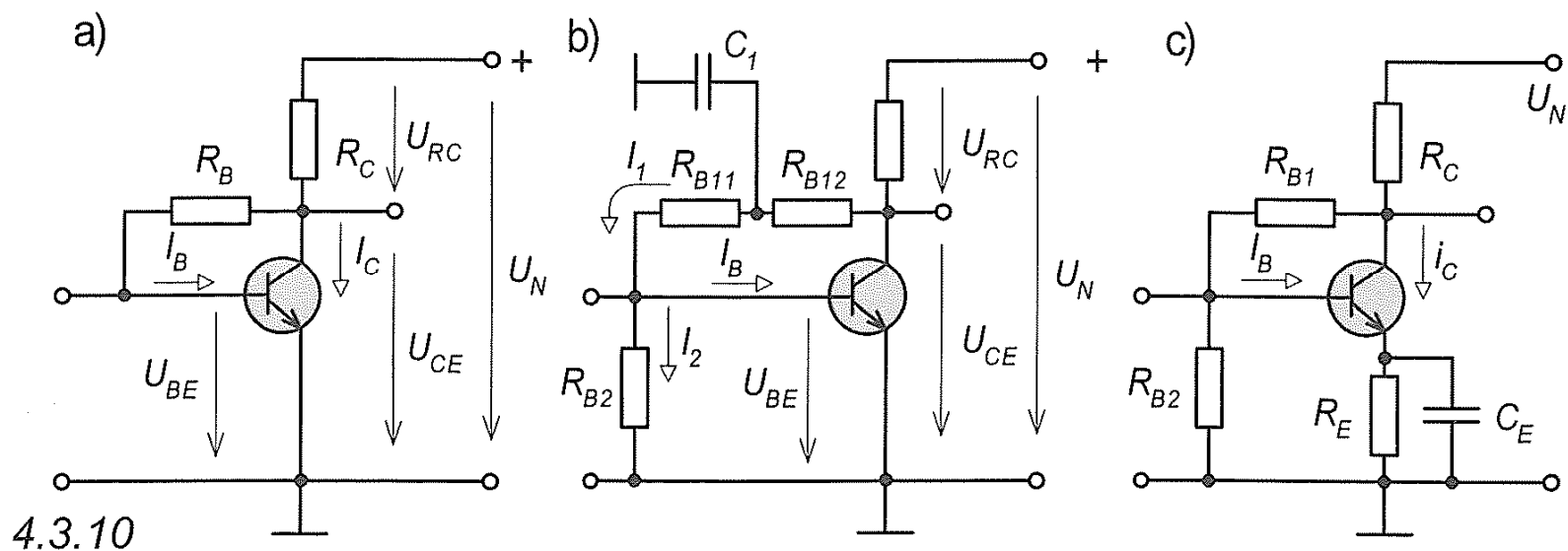
h_{21e} proudový zesil. činitel v daném pracovním bodě

h_{11e} vstupní odpor tranzistoru, $h_{11e} = \left. \frac{U_{BE}}{i_B} \right|_{\Delta U_{CE}=0}$

R_i vnitřní odpor zdroje signálu

f_{0d} dolní mezní kmitočet tranzistoru

Stabilizace pracovního bodu pomocí záporné zpětné vazby z kolektoru

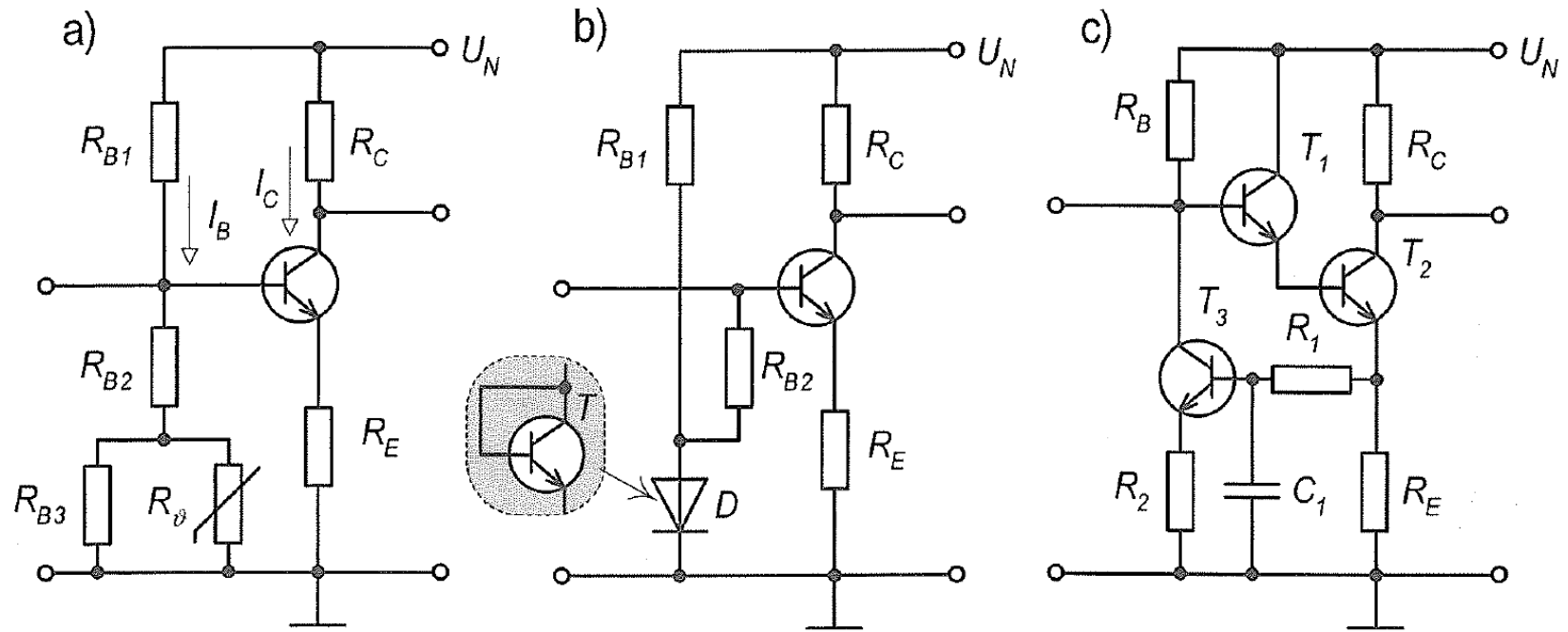


$$R_{B1} = R_{B11} + R_{B12}$$

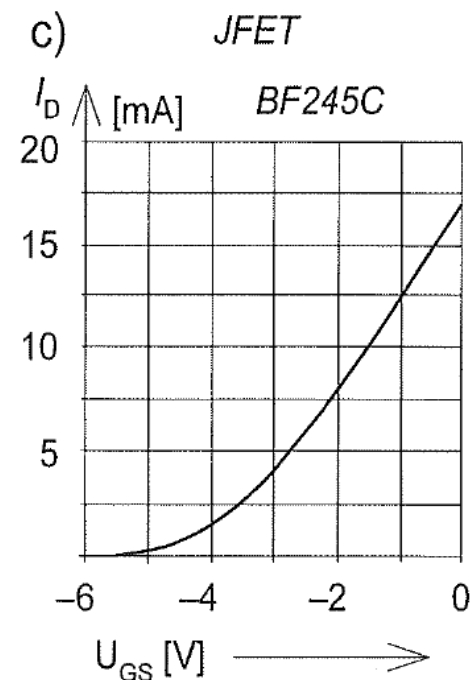
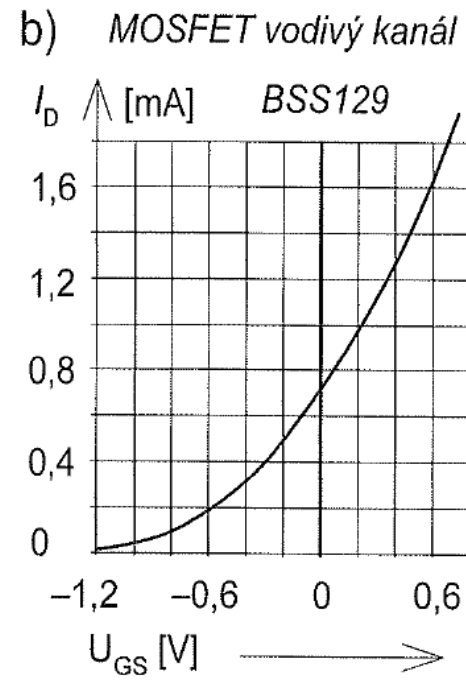
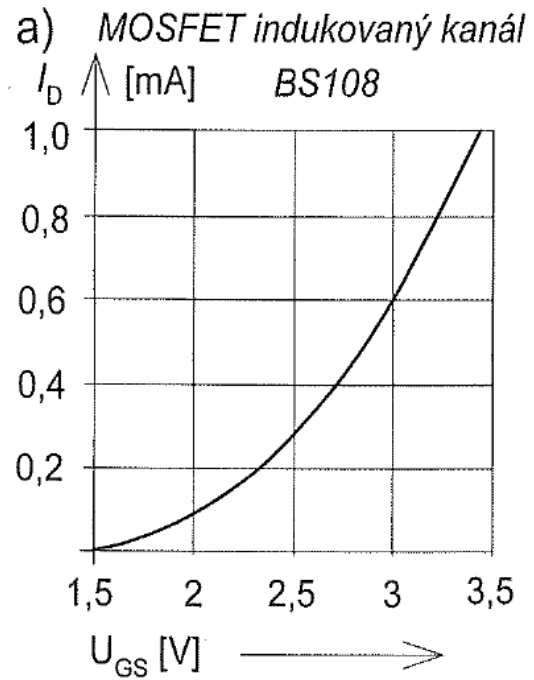
$$R_{B1} = \frac{U_{RB1}}{I_1} = \frac{U_{CE} - U_{BE}}{I_{R2} + I_B}$$

$$R_{B2} = \frac{U_{RB2}}{I_2} = \frac{U_{BE}}{I_{R2}} \quad I_2 = (2 \text{ až } 10) \cdot I_B$$

Kompenzační metody stabilizace

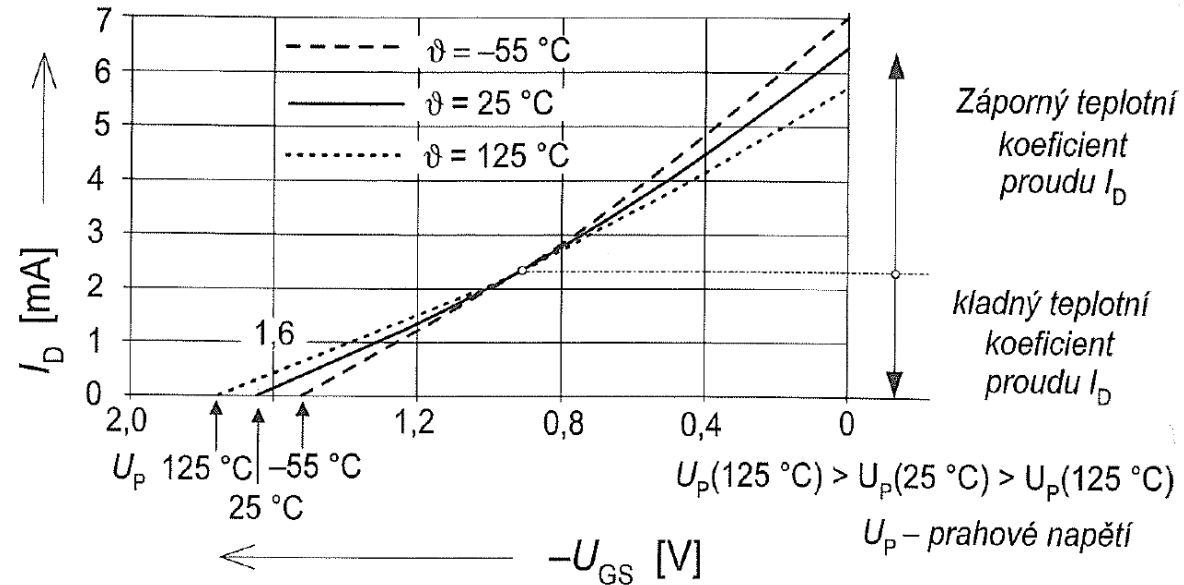


Unipolární tranzistory

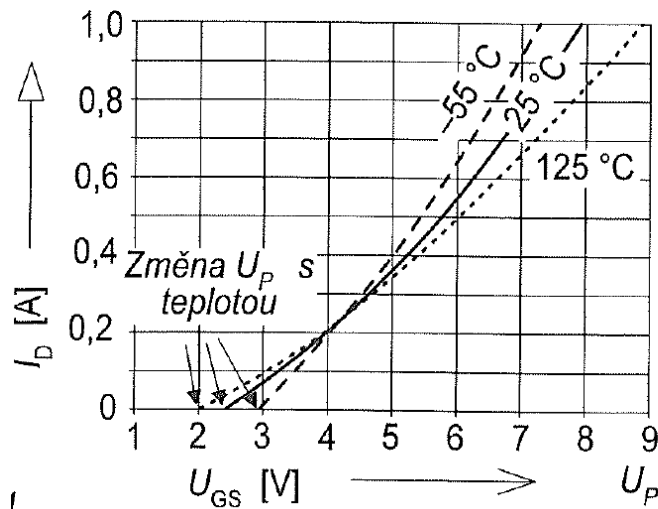


Vliv teploty na vlastnosti tranzistoru

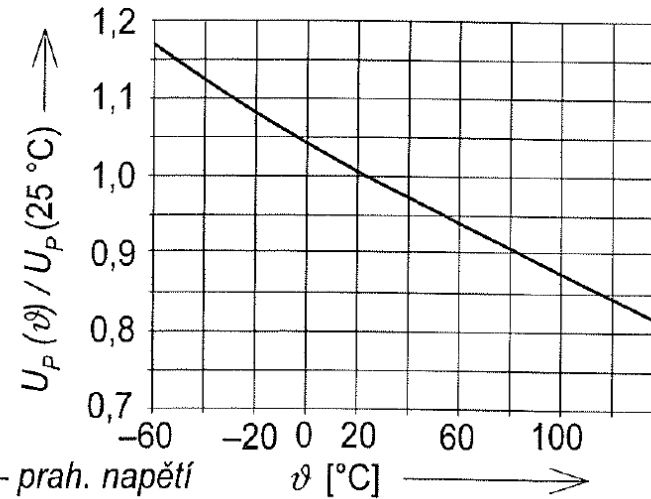
Obr. 4.4.3
Teplotní závislosti
převodní
charakteristiky
tranzistoru JFET
2N5484



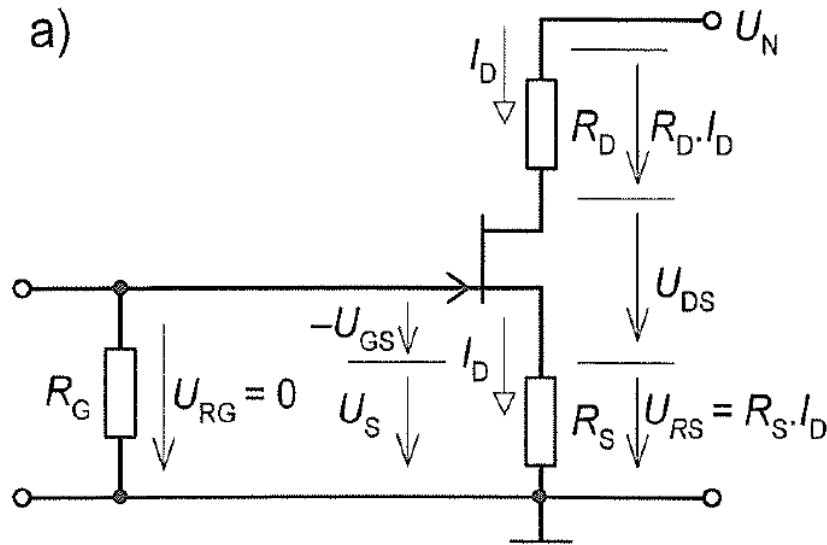
a) Převodní charakteristiky



b) Závislost poměrné hodnoty prahového napětí na teplotě

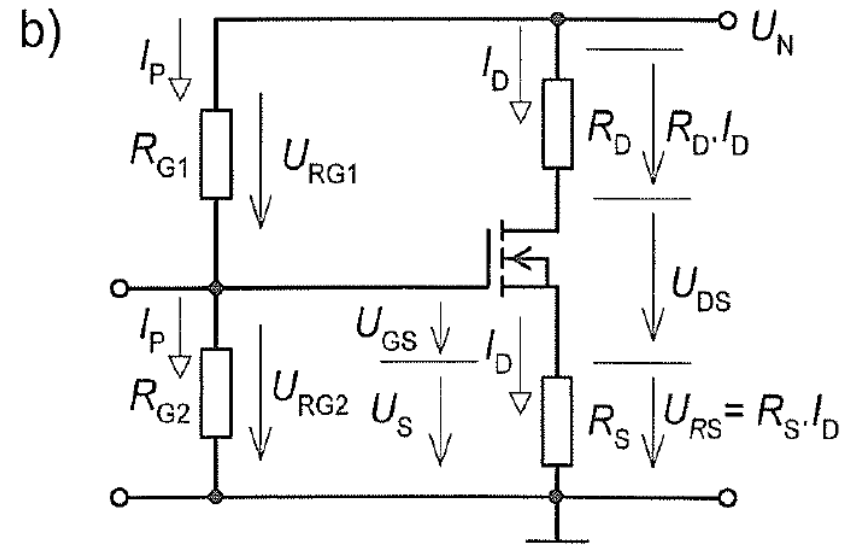


Nastavení pracovního bodu



tranzistor JFET s N kanálem

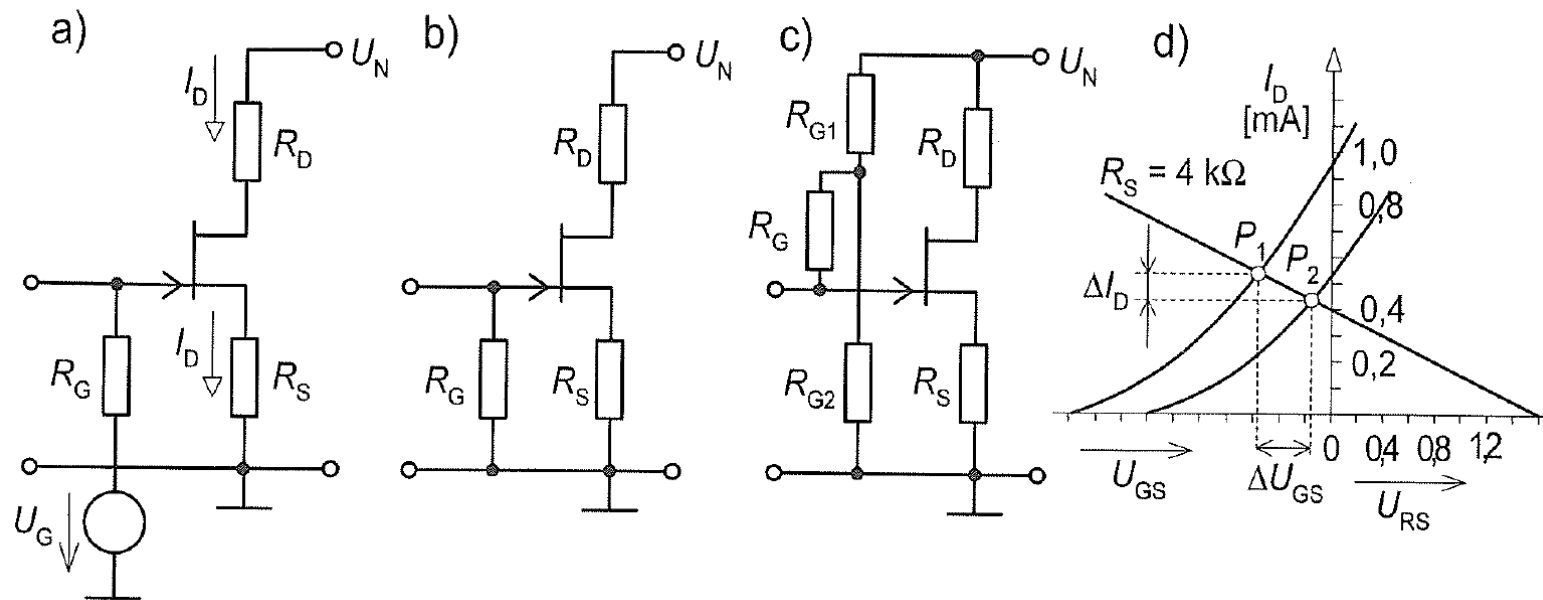
$$U_{RG} = U_{GS} + U_{RS} = 0 \Rightarrow U_{GS} = -U_{RS}$$



tranzistor MOSFET s N kanálem

$$U_{RG2} = \frac{R_{G2}}{R_{G1} + R_{G2}} \cdot U_N = U_{GS} + U_S$$

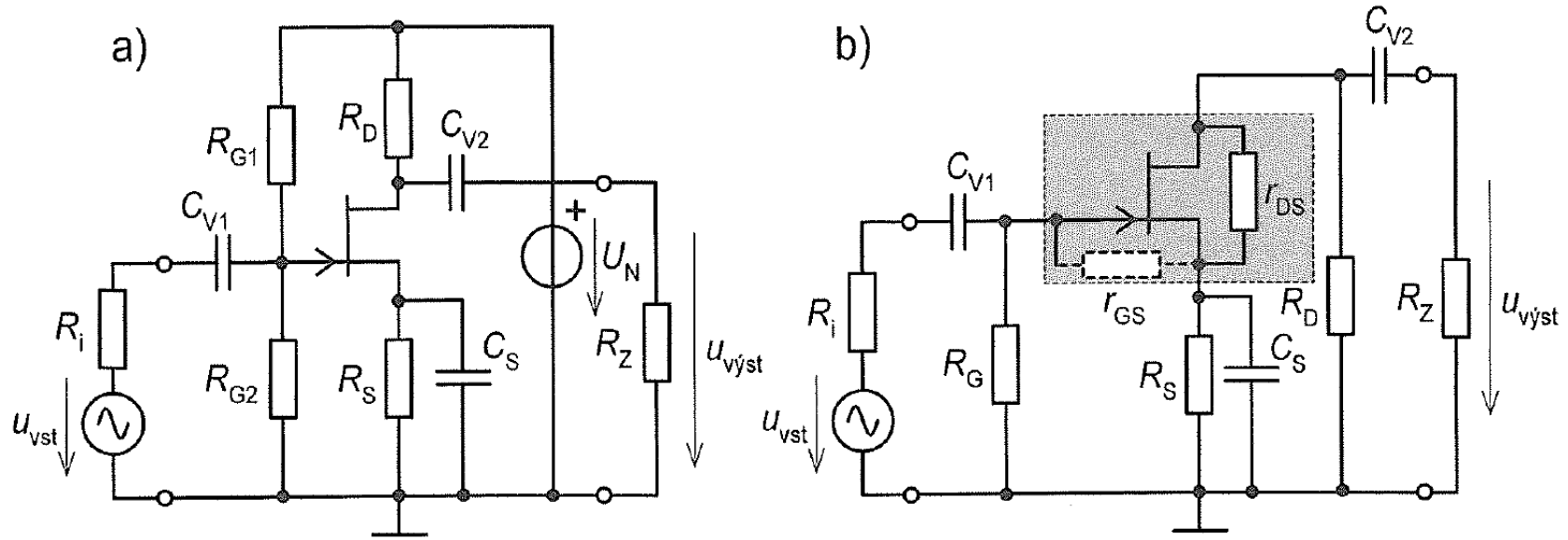
Různé způsoby nastavení pracovního bodu



ad d) stanovení R_S při uvážení rozptylů parametrů tranzistoru s cílem zachovat přenosové vlastnosti zesilovače

$$R_S = \frac{\Delta U_{GS}}{\Delta I_D}$$

Zapojení zesilovače (SS)



obvodové zapojení

zapojení z hlediska signálu

$$C_S \geq 0,2 \frac{g_m}{f_{odol}} \quad r_{vst} = R_G \parallel r_{GS} = \frac{R_G \cdot r_{GS}}{R_G + r_{GS}} \approx R_G \quad r_{výst} = R_D \parallel r_{DS} = \frac{R_D \cdot r_{DS}}{R_D + r_{DS}}$$

$$A_U = \frac{u_{výst}}{u_{sig}} = \frac{\overset{\sim 1}{r_{vst}}}{R_i + r_{vst}} \cdot g_m \cdot \frac{r_{výst} \cdot R_Z}{r_{výst} + R_Z} \approx g_m \cdot \frac{r_{výst} \cdot R_Z}{r_{výst} + R_Z}$$