

Elektronik I - Formelsammlung

Matthias Jung

7. August 2008

1 Bipolar Transistor

1.1 Allgemeines

Naturkonstanten:

$$\begin{aligned}k &= 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K} \approx 8,6112 \cdot 10^{-5} \frac{eV}{K} \\T &= 300K \\q &= 1,6 \cdot 10^{-19} \frac{A}{s}\end{aligned}$$

Thermische Spannung:

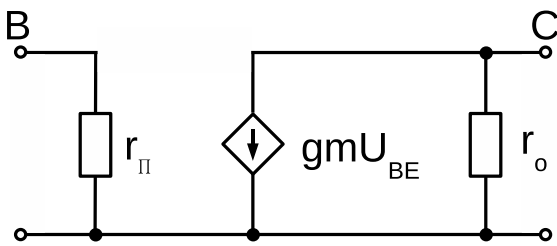
$$U_T = \frac{k \cdot T}{q} \approx 25,84mV$$

Temperatur:

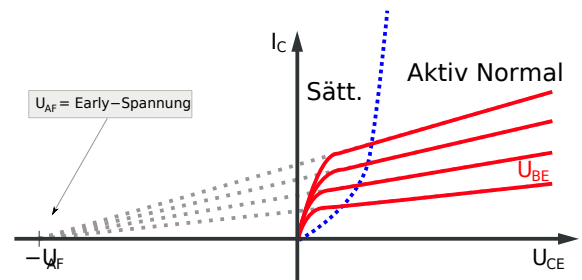
$$0 K = -273 ^\circ C$$

1.2 Kleinsignalparameter

Kleinsignalersatzschaltbild:



Kennlinie:



Differentieller Ausgangswiderstand:

$$r_O = \frac{U_{AF} + U_{CE}}{I_C} = r_{CE} = \left. \frac{\partial U_{CE}}{\partial I_C} \right|_{U_{BE}=const}$$

Differentieller Eingangswiderstand:

$$r_\pi = \frac{\beta_0}{g_m} = r_{BE} = \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_B} = \beta_0 \cdot \frac{\partial U_{BE}}{\partial I_C} = \frac{\beta_0 \cdot U_T}{I_C}$$

Steilheit: g_m, S, y_{21}

$$g_m = \frac{I_C}{U_T} = \frac{I_S}{U_T} e^{U_{BE}/U_T}$$

Differentielle Stromverstärkung:

$$\beta = \left. \frac{\partial I_C}{\partial I_B} \right|_{U_{CE}=const}$$

1.3 Weitere Größen

Stromverstärkung:

$$\beta_N = \frac{I_C}{I_B} = \beta_0 \cdot \left(1 + \frac{U_{CE}}{U_{AF}}\right)$$

Basisstrom

$$I_B = \frac{I_C}{\beta_N} = \frac{I_C}{\beta_0 \cdot \left(1 + \frac{U_{CE}}{U_{AF}}\right)}$$

Basis-Emitter-Spannung:

$$U_{BE} = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_C}{I_S}\right) = U_T \cdot \ln\left(\frac{I_C}{I_{S0} \cdot \left(1 + \frac{|U_{CE}|}{|U_{AF}|}\right)}\right)$$

Kollektorstrom:

$$I_C = I_S \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} = I_{S0} \cdot \left(1 + \frac{|U_{CE}|}{|U_{AF}|}\right) \cdot e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$$

Sperrstrom:

$$I_S = I_{S0} \cdot \frac{|U_A| + |U_{BE}|}{|U_A|} \approx I_{S0} \cdot \left(1 + \frac{|U_{CE}|}{|U_{AF}|}\right)$$

2 MOSFET

2.1 Wirkungsprinzip

In allen Bereichen gilt:

$$I_G = 0 \quad \text{und} \quad I_B = 0$$

Sperrbereich $U_{GS} \leq U_{THN}$

$$I_D = 0$$

Triodenbereich: $U_{GS} - U_{THN} \geq U_{DS} \geq 0$

$$I_D = K_n \cdot \left(U_{GS} - U_{THN} - \frac{U_{DS}}{2}\right) \cdot U_{DS}$$

Sättigungsbereich: $U_{DS} \geq U_{GS} - U_{THN} \geq 0$

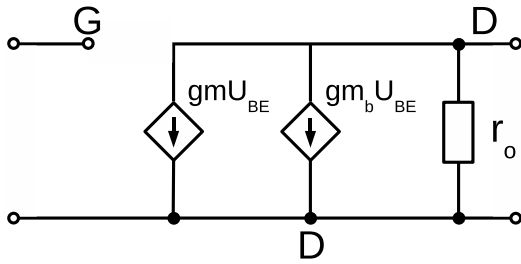
$$I_D = \frac{K_n}{2} \cdot (U_{GS} - U_{THN})^2 \cdot (1 + \lambda_n \cdot U_{DS})$$

Schwellenspannung:

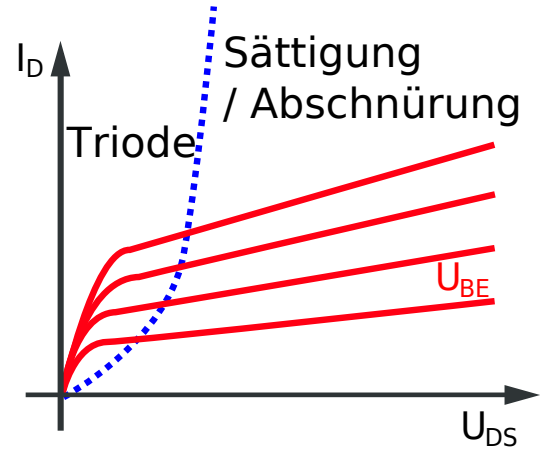
$$U_{THN} = U_{THN0} + \left(\gamma \cdot \sqrt{U_{SB} + 2\phi_F} - \gamma \cdot \sqrt{2\phi_F}\right)$$

2.2 Kleinsignalparameter

Kleinsignalersatzschaltbild:



Kennlinie:



Steilheit: g_m, S, y_{21}

$$g_m = \left. \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} \right|_{AP} = K_n \cdot (U_{GS} - U_{THN}) (1 + \lambda U_{DS})$$

Ausgangsleitwert:

$$y_{22} = \left. \frac{\partial I_D}{\partial U_{DS}} \right|_{AP} = \lambda \frac{K_n}{2} (U_{GS} - U_{THN})^2 = \frac{\lambda I_D}{1 + \lambda U_{DS}}$$

Ausgangswiderstand:

$$r_O = \frac{1 + \lambda \cdot U_{DS}}{\lambda \cdot I_D} = \frac{\frac{1}{\lambda} + U_{DS}}{I_D}$$

Steilheit falls Bulk nicht auf Source

$$g_{mb} = - \frac{\partial I_D}{\partial U_{THN}} \cdot \frac{\partial U_{THN}}{\partial U_{SB}}$$

$$g_{mb} = -(-g_m) \cdot \left(\frac{\gamma}{2 \cdot \sqrt{U_{SB} + 2\Phi_F}} \right)$$

2.3 J-Fet

2.3.1 Wirkungsprinzip

Sättigungsbereich: $U_{DS} \geq U_{GS} - U_P \geq 0$

$$I_D = I_{DSS} \cdot \left(1 - \frac{U_{GS}}{U_P} \right)^2 \cdot (1 + \lambda \cdot U_{DS})$$

Triodenbereich: $U_{GS} - U_P \geq U_{DS} \geq 0$

$$I_D = \frac{I_{DSS}}{U_P^2} \cdot \left(U_{GS} - U_P \frac{U_{DS}}{2} \right) \cdot U_{DS}$$

Sperrbereich: $U_{GS} \leq U_P$

$$I_D = 0$$

$$I_{DSS} \frac{K_N}{2} \cdot U_p^2$$

2.3.2 Kleinsignalparameter

Steilheit:

$$g_m = \frac{2 \cdot I_D}{U_{GS} - U_P} = \frac{2}{|U_P|} \cdot \sqrt{I_{DSS} \cdot I_D \cdot (1 + \lambda \cdot U_{DS})}$$

Ausgangswiderstand:

$$r_O = \frac{\frac{1}{\lambda} + U_{DS}}{I_D}$$

3 Sonstiges

Darlington Schaltung:

$$\begin{aligned}\beta_{DARL} &\approx \beta_1 \cdot \beta_2 \\ r_{\pi_{DARL}} &\approx r_{pi_1} + \beta_1 \cdot r_{pi_2} \\ r_{O_{DARL}} &\approx r_{o_2} \parallel \frac{r_{o_1}}{\beta_2}\end{aligned}$$

CMOS:

- nMOS Transistor: Schaltet bei '1' am Gate und ist geeignet um '0' zu schalten
- pMOS Transistor: Schaltet bei '0' am Gate und ist geeignet um '1' zu schalten
- CMOS Schaltungen bestehen aus Pullup und Pulldown Netzwerken

Eingangs und Ausgangswiderstand bestimmen:

- R_{EIN} bei Ausgang Leerlauf
- R_{AUS} bei Eingang Kurzschluss, (Hilfsstrom I_X)

Hybridform:

$$\begin{pmatrix} u_1 \\ i_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} h_{11} & h_{12} \\ h_{21} & h_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} i_1 \\ u_2 \end{pmatrix}$$

Alle Formeln sind ohne Gewähr