

## Formelsammlung zur Klausur "Elektronische Schaltungen"

**E 24 – Reihe:** |1,0 | 1,1 | 1,2 | 1,3 | 1,5 | 1,6 | 1,8 | 2,0 | 2,2 | 2,4 | 2,7 | 3,0 | 3,3 | 3,6 | 3,9 | 4,3  
| 4,7 | 5,1 | 5,6 | 6,2 | 6,8 | 7,5 | 8,2 | 9,1|

**Diode:**

$$I = I_S \cdot \left( e^{\frac{U}{n \cdot U_T}} - 1 \right) \quad \text{mit} \quad U_T = \frac{k_B \cdot T}{e}$$

**Spannungsverstärkung und Ausgangswiderstand gelten bei Leerlauf am Ausgang****Bipolarer Transistor:**

$$\text{Steilheit : } S = \frac{\partial I_C}{\partial U_{BE}} = \frac{I_{C,A}}{U_T}$$

$$\text{Kleinsignal-Eingangs-Widerstand: } r_{BE} = \frac{\beta}{S}$$

**a) Emitterschaltung**

$$\text{Kleinsignal-Spannungsverstärkung: } A = -S \cdot R_C$$

$$\text{Kleinsignal-Eingangswiderstand: } r_e = r_{BE}$$

$$\text{Kleinsignal-Ausgangswiderstand: } r_a = \left. \frac{\partial u_a}{\partial i_a} \right|_A = R_C$$

**b) Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung**

$$\text{Kleinsignal-Spannungsverstärkung: } A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} \approx -\frac{SR_C}{1 + SR_E} \stackrel{SR_E \gg 1}{\approx} -\frac{R_C}{R_E}$$

$$\text{Kleinsignal-Eingangswiderstand: } r_e = \frac{u_e}{i_e} \approx r_{BE} + \beta R_E = r_{BE} (1 + SR_E)$$

$$\text{Kleinsignal-Ausgangswiderstand: } r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_C$$

**c) Kollektorschaltung**

$$\text{Kleinsignal-Spannungsverstärkung: } A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} \approx \frac{SR_E}{1 + SR_E} \stackrel{SR_E \gg 1}{\approx} 1$$

$$\text{Kleinsignal-Eingangswiderstand: } r_e = \left. \frac{u_e}{i_e} \right|_{i_a=0} \approx r_{BE} + \beta \cdot R_E \stackrel{SR_E \gg 1}{\approx} \beta \cdot R_E$$

$$\text{Kleinsignal-Ausgangswiderstand: } r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_E \parallel \left( \frac{R_g}{\beta} + \frac{1}{S} \right)$$

**d) Basisschaltung**

Kleinsignal-Spannungsverstärkung:  $A = \frac{u_a}{u_e} \Big|_{i_a=0} \approx \frac{\beta \cdot R_C}{r_{BE} + R_{BV}} \stackrel{r_{BE} \gg R_{BV}}{\approx} SR_C$

Kleinsignal-Eingangswiderstand:  $r_e = \frac{u_e}{i_e} \approx R_E \parallel \left( \frac{1}{S} + \frac{R_{BV}}{\beta} \right) \stackrel{r_{BE} \gg R_{BV}}{\approx} R_E \parallel \frac{1}{S} \stackrel{R_E \rightarrow \infty}{\approx} \frac{1}{S}$

Kleinsignal-Ausgangswiderstand:  $r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_C$

**Sperrschicht-Feldeffekttransistoren, selbstleitende Isolierschicht- Feldeffekttransistoren:**

Eingangskennlinie:  $I_D = I_{D0} \left( 1 - \frac{U_{GS}}{U_{th}} \right)^2 \Rightarrow I_D = \frac{I_{D0}}{U_{th}^2} (U_{GS} - U_{th})^2$

Steilheitskoeffizient:  $\beta = 2 \cdot \frac{I_{D0}}{U_{th}^2}$

**Ohne Early-Effekt:  
Drainstrom**

Linearer Bereich:  $I_D = \beta \left[ (U_{GS} - U_{th}) \cdot U_{DS} - \frac{(U_{DS})^2}{2} \right]$

(ohmscher Bereich)

Sättigungsbereich:  $I_D = \frac{1}{2} \beta \cdot (U_{GS} - U_{th})^2$

(Arbeitsbereich)

Steilheit:  $S = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = \beta (U_{GS} - U_{th})$

**Mit Early-Effekt:  
Drainstrom:**

Linearer Bereich:  $I_D = \beta \left[ (U_{GS} - U_{th}) \cdot U_{DS} - \frac{(U_{DS})^2}{2} \right] \cdot \left( 1 + \frac{U_{DS}}{U_A} \right)$

(ohmscher Bereich)

Sättigungsbereich:  $I_D = \frac{1}{2} \beta \cdot (U_{GS} - U_{th})^2 \cdot \left( 1 + \frac{U_{DS}}{U_A} \right)$

(Arbeitsbereich)

Steilheit:  $S = \frac{\partial I_D}{\partial U_{GS}} = \beta (U_{GS} - U_{th}) \cdot \left( 1 + \frac{U_{DS}}{U_A} \right)$

**Selbstsperrende Isolierschicht- Feldeffekttransistoren:**

$$\text{Steilheitskoeffizient: } \beta = \mu_n C'_{ox} \frac{W}{l} = \mu_n \cdot \frac{\epsilon_0 \cdot \epsilon_{ox}}{t_{ox}} \cdot \frac{W}{l}$$

**Alle Feldeffekttransistoren:****Source-Schaltung:**

$$\text{Kleinsignal-Spannungsverstärkung: } A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} = -S(R_D \parallel r_{DS}) \stackrel{r_{DS} \gg R_D}{\approx} -SR_D$$

$$\text{Kleinsignal-Eingangswiderstand: } r_e = \frac{u_e}{i_e} = \infty$$

$$\text{Kleinsignal-Ausgangswiderstand: } r_a = \frac{u_a}{i_a} = R_D \parallel r_{DS} \stackrel{r_{DS} \gg R_D}{\approx} R_D$$

**Source-Schaltung mit Stromgegenkopplung:**

$$\text{Kleinsignal-Spannungsverstärkung: } A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} = -\frac{SR_D}{1 + SR_S} \stackrel{SR_S \gg 1}{\approx} -\frac{R_D}{R_S}$$

$$\text{Kleinsignal-Eingangswiderstand: } r_e = \infty$$

$$\text{Kleinsignal-Ausgangswiderstand: } r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_D$$

**Drain-Schaltung:**

$$\text{Kleinsignal-Spannungsverstärkung: } A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} \approx \frac{SR_S}{1 + (S + S_B)R_S} \stackrel{u_{BS}=0}{=} \frac{SR_S}{1 + SR_S}$$

$$\text{Kleinsignal-Eingangswiderstand: } r_e = \left. \frac{u_e}{i_e} \right|_{i_a=0} = \infty$$

$$\text{Kleinsignal-Ausgangswiderstand: } r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx \frac{1}{S} \parallel \frac{1}{S_B} \parallel R_S \stackrel{u_{BS}=0}{=} \frac{1}{S} \parallel R_S$$

**Gate-Schaltung:**

$$\text{Kleinsignal-Spannungsverstärkung: } A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} \approx (S + S_B)R_D \stackrel{u_{BS}=0}{=} SR_D$$

$$\text{Kleinsignal-Eingangswiderstand: } r_e = \left. \frac{u_e}{i_e} \right|_{i_a=0} \approx \frac{1}{S + S_B} \stackrel{u_{BS}=0}{=} \frac{1}{S}$$

$$\text{Kleinsignal-Ausgangswiderstand: } r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_D$$

**Differenzverstärker**

$$A_G \approx -\frac{R_C}{2R_E}$$

$$A_D \approx +\frac{1}{2}SR_C$$

**Operationsverstärker**

e-Funktionsgenerator:  $u_a = R_N I_{CS} e^{-\frac{u_e}{U_T}}, u_e < 0$

Logarithmierer:  $u_a = -U_T \ln 10 \cdot \log \frac{u_e}{I_{CS} R_1}, u_e > 0$

Instrumentationsverstärker:  $u_a = \left(1 + \frac{2R_2}{R_1}\right) \cdot (u_{e2} - u_{e1})$

**Kondensator**

Ladevorgang eines Kondensators:

Halbwertszeit:  $t = \ln(2) \cdot \tau$

Gesamtladezeit:  $t = 5 \cdot \tau$