

Elektronische Schaltungen (ES)

Sommersemester 2020

Hinweise zur Klausur

INSTITUT FÜR HOCHFREQUENZTECHNIK UND ELEKTRONIK



ES Klausur

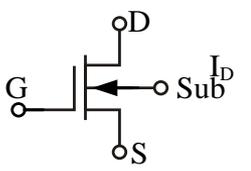
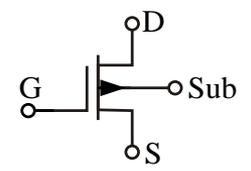
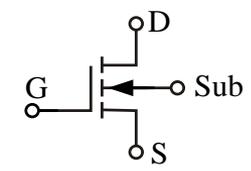
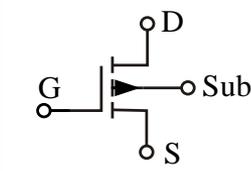
- Wann: Mittwoch, 30.09.20 von 9-11 Uhr
- Wo:
 - Zelt auf dem Forum, Geb. 40.22 Halle 2
 - Hörsaalverteilung wird über Ilias bekannt gegeben
- Hilfsmittel:
 - Nicht programmierbarer Taschenrechner
 - Formelsammlung, wird mit der Klausur ausgeteilt
- Bitte frühzeitig für die Klausur anmelden
 - Kontakt bei Problemen: Simone Gorré (simone.gorre@kit.edu)

1. Teil: Analoge Schaltungstechnik

- Dioden:
 - Ideal → exponentielle Kennlinie
 - Mit Bahnwiderstand → flachere exponentielle Kennlinie
 - Schaltungen aus Dioden → vereinfachte Kennlinie erlaubt
- Bipolartransistoren:
 - Emitterschaltung mit Spannungsgegenkopplung nicht klausurrelevant
- Ersatzschaltbilder:
 - Jedes Bauteil mit Bezeichnung
 - Kleinsignal ESB: Kollektor-Emitter Widerstand einzeichnen r_{DS} , kann bei der Rechnung aber vernachlässigt werden (kenntlich machen)

1. Teil: Analoge Schaltungstechnik

■ MOSFET Symbol:

selbstleitend (Verarmungstyp)		selbstsperrend (Anreicherungstyp)	
n-Kanal	p-Kanal	n-Kanal	p-Kanal
			

- Anschluss von Gate kann auch in der Mitte sein
- Substratanschluss kann offen gelassen werden oder mit Source verbunden werden
- OpAmp Schaltungen erkennen und Übertragungsfunktion aufstellen

2. Teil: Digitale Schaltungstechnik

- Wahrheitstabelle von digitalen Schaltungen erstellen können
- Logische Funktion benennen können
- Logische Schaltzeichen: Inverter, NOR, NAND, OR, AND, Tristate Inverter, elektronischer Schalter
- Zählerschaltungen sind nicht klausurrelevant

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

Diodenstrom:

$$I = I_s \cdot \left[e^{\left(\frac{U_D}{U_T}\right)} - 1 \right] \text{ mit } U_T = \frac{k_B \cdot T}{e}$$

Bipolartransistor

Hinweis: Spannungsverstärkung und Ausgangswiderstand gelten bei Leerlauf am Ausgang!

Steilheit:

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

Kleinsignal-Eingangswiderstand:

$$r_{BE} = \frac{\beta}{S}$$

a) Emitterschaltung

Kleinsignal-Spannungsverstärkung:

$$A = -S \cdot R_C$$

Kleinsignal-Eingangswiderstand:

$$r_e = \left. \frac{\partial u_e}{\partial i_e} \right|_A = r_{BE}$$

Kleinsignal-Ausgangswiderstand:

$$r_a = \left. \frac{\partial u_a}{\partial i_a} \right|_A = R_C$$

b) Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung

Kleinsignal-Spannungsverstärkung:

$$A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} \approx -\frac{S R_C}{1 + S R_E} \stackrel{S R_E \gg 1}{\approx} -\frac{R_C}{R_E}$$

Kleinsignal-Eingangswiderstand:

$$r_e = \frac{u_e}{i_e} \approx r_{BE} + \beta R_E = r_{BE}(1 + S R_E)$$

Kleinsignal-Ausgangswiderstand:

$$r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_C$$

c) Kollektorschaltung

Kleinsignal-Spannungsverstärkung:

$$A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} \approx \frac{S R_E}{1 + S R_E} \stackrel{S R_E \gg 1}{\approx} 1$$

Kleinsignal-Eingangswiderstand:

$$r_e = \frac{u_e}{i_e} \approx r_{BE} + \beta R_E \stackrel{S R_E \gg 1}{\approx} \beta R_E$$

Kleinsignal-Ausgangswiderstand:

$$r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_E \parallel \left(\frac{R_E}{\beta} + \frac{1}{S} \right)$$

d) Basisschaltung

Kleinsignal-Spannungsverstärkung:

$$A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} \approx \frac{\beta \cdot R_C}{r_{BE} + R_{BV}} \stackrel{r_{BE} \gg R_{BV}}{\approx} S R_C$$

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:

$$r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_C$$

Feldeffekttransistor

1) Alle Feldeffekttransistoren

a) Source-Schaltung

Kleinsignal-Spannungsverstärkung:

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

Kleinsignal-Eingangswiderstand:

$$r_e = \frac{u_e}{i_e} = \infty$$

Kleinsignal-Ausgangswiderstand:

$$r_a = \frac{u_a}{i_a} = R_D \parallel r_{DS} \stackrel{r_{DS} \gg R_D}{\approx} R_D$$

b) Source-Schaltung mit Stromgegenkopplung

Kleinsignal-Spannungsverstärkung:

$$A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} = -\frac{S R_D}{1 + S R_S} \stackrel{S R_S \gg 1}{\approx} -\frac{R_D}{R_S}$$

Kleinsignal-Eingangswiderstand:

$$r_e = \infty$$

Kleinsignal-Ausgangswiderstand:

$$r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_D$$

c) Drain-Schaltung

Kleinsignal-Spannungsverstärkung:

$$A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} \approx \frac{SR_S}{1 + (S + S_B)R_S} \stackrel{u_{DS}=0}{=} \frac{SR_S}{1 + SR_S}$$

Kleinsignal-Eingangswiderstand:

$$r_e = \left. \frac{u_e}{i_e} \right|_{i_a=0} = \infty$$

Kleinsignal-Ausgangswiderstand:

$$r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx \frac{1}{S} \parallel \frac{1}{S_B} \parallel R_S \stackrel{u_{DS}=0}{=} \frac{1}{S} \parallel R_S$$

d) Gate-Schaltung

Kleinsignal-Spannungsverstärkung:

$$A = \left. \frac{u_a}{u_e} \right|_{i_a=0} \approx (S + S_B)R_D \stackrel{u_{DS}=0}{=} SR_D$$

Kleinsignal-Eingangswiderstand:

$$r_e = \left. \frac{u_e}{i_e} \right|_{i_a=0} \approx \frac{1}{S + S_B} \stackrel{u_{DS}=0}{=} \frac{1}{S}$$

Kleinsignal-Ausgangswiderstand:

$$r_a = \frac{u_a}{i_a} \approx R_D$$

2) 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:

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

a) Ohne Kanallängenmodulation

Drainstrom:

Linearer Bereich (Ohmscher Bereich):

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

Sättigungsbereich (Arbeitsbereich):

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

Steilheit:

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

b) Mit Kanallängenmodulation

Hinweis: Die Formeln gelten für n-Kanal FETs und die Early-Spannung ist positiv!

Drainstrom:

Linearer Bereich (Ohmscher Bereich):

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

Sättigungsbereich (Arbeitsbereich):

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

Steilheit:

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

c) Selbstsperrende

Isolierschicht-Feldeffekttransistoren:

Steilheitskoeffizient:

$$\beta = \mu_n \cdot C'_{ox} \cdot \frac{w}{l} = \mu_n \cdot \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_{ox}}{t_{ox}} \cdot \frac{w}{l}$$

Differenzverstärker

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

$$A_D \approx \frac{1}{2} S R_C$$

Operationsverstärker

e-Funktionsgenerator:

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

Logarithmierer:

$$u_a = -U_T \cdot \ln 10 \cdot \log \left(\frac{u_e}{I_{CS} R_1} \right), u_e > 0$$

Instrumentationsverstärker:

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

Kondensator

Ladevorgang eines Kondensators:

Halbwertszeit:

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

Gesamtladezeit:

$$t = 5 \cdot \tau$$