

SEMINAR IM FACH SCHALTUNGSTECHNIK I, WS 2020/21

Blatt 5

Aufgaben 11–13; 6 Seiten

Abgabe: Mittwoch 09.12.2020, 22:00 Uhr, PDF-Dokument auf ILIAS hochladen

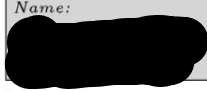
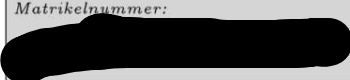
Ansprechpartner: M. Sc. Raphael Nägele, raphael.naegele@int.uni-stuttgart.de, 2.408 ETI II

Sprechzeiten: Nach Vereinbarung, Fragen über ILIAS-Diskussionsforum

Hinweise: Es sind alle Aufgaben auf diesem Arbeitsblatt zu bearbeiten. Vergessen Sie nicht, auf jedes Blatt Ihren Namen, Vornamen und Matrikelnummer zu schreiben. Auf der ersten Seite bitte zusätzlich den Anfangsbuchstaben Ihres Nachnamens markieren und die Blätter mit dem Tacker geheftet abgeben.

Bei allen Berechnungen sind Zwischenschritte anzugeben. Geben Sie ausschließlich das richtige Endergebnis an, bringt dies keine Punkte.

Auf der Ilias-Plattform, in der Vorlesung und im Seminar werden Fehler oder weitere Hinweise bekannt gegeben. Haben Sie einen Fehler gefunden, bitten wir Sie um Rückmeldung. Viel Erfolg bei der Bearbeitung.

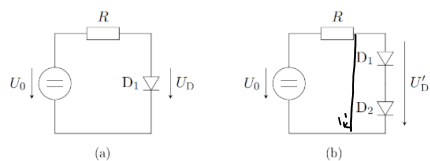
Name: 	Vorname: 	Anfangsbuchstabe: 	Nummer: <table border="1"><tr><td></td><td></td><td></td></tr></table>			
Matrikelnummer: 						

Bewertung – wird vom Institut ausgefüllt

(8)	(5)	(3)	(5)	(+2)	(21 + 2)
(4)	(7)	(10)			(21)
(4)	(3)	(2)	(3)	(+3)	(12 + 3)
(54 + 5)		+ / 0 / -			

Aufgabe 11

geg: $R = 10 \text{ k}\Omega$
 $U_0 = 5 \text{ V}$



a) $T = 40^\circ\text{C} = 313,15 \text{ K} \rightarrow U_T = \frac{k_B \cdot T}{e} = \frac{1,381 \cdot 10^{-23} \frac{\text{J}}{\text{K}} \cdot 313,15 \text{ K}}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ C}} \approx 0,027 \text{ V}$

$$I_D = I_S \cdot (e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1) = I = \frac{U_R}{R} = \frac{U_0 - U_D}{R}$$

$$U_0 = U_R + U_D = I \cdot R + U_D = I_S (e^{\frac{U_D}{U_T}} - 1) R + U_D$$

Newton-Raphson-Methode: $x^{(n+1)} = x^{(n)} - \frac{f(x^{(n)})}{f'(x^{(n)})}$

$$f(x) = R I_S (e^{\frac{x}{U_T}} - 1) + x - U_0 \stackrel{!}{=} 0$$

Endbed.: $|x^{(n+1)} - x^{(n)}| < 50 \mu\text{V} = 0,00005 \text{ V}$

$$f'(x) = \frac{R I_S}{U_T} e^{\frac{x}{U_T}} + 1$$

Startval: $x^{(0)} = 0,8 \text{ V}$

$$x^{(1)} = x^{(0)} - \frac{R I_S (e^{\frac{x^{(0)}}{U_T}} - 1) + x^{(0)} - U_0}{\frac{R I_S}{U_T} e^{\frac{x^{(0)}}{U_T}} + 1} = 0,78841 \text{ V}$$

$$|x^{(1)} - x^{(0)}| = 0,01160 \text{ V}$$

$$x^{(2)} = 0,78510 \text{ V}$$

$$|x^{(2)} - x^{(1)}| = 0,00331 \text{ V}$$

$$x^{(3)} = 0,78488 \text{ V}$$

$$|x^{(3)} - x^{(2)}| = 0,00022 \text{ V}$$

$$U_D = x^{(4)} = 0,78488 \text{ V}$$

$$|x^{(4)} - x^{(3)}| = 0,00000 \text{ V} \rightarrow \text{Abbruchkrit. erfüllt}$$

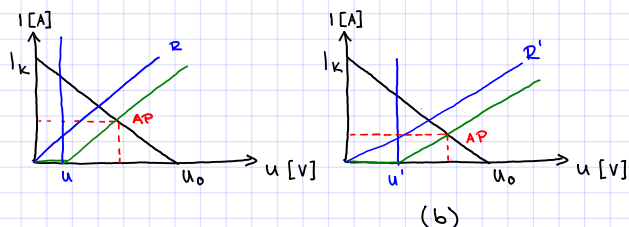
b) $U_D' = U_{D1}' + U_{D2}' = 2U_D$

$$R_D' = R_{D1}' + R_{D2}' = 2R_0$$

$$I_K' = I_K = \frac{U_0}{R_0}$$

Erwartung:

$$U' = 2 \cdot 0,78488 \text{ V} = 1,56977 \text{ V}$$



Berechnung:

$$I_D = \frac{U_0 - U_D'}{R} = I_S (e^{\frac{U_D'}{2U_T}} - 1) = I_S (e^{\frac{U_D'}{2U_T}} - 1)$$

$$f(x') = R I_S (e^{\frac{x'}{2U_T}} - 1) + x' - U_0$$

$$f'(x') = \frac{R I_S}{2U_T} e^{\frac{x'}{2U_T}} + 1$$

Startwert $x^{(0)} = 2 \cdot x^{(0)} = 1,6 \text{ V}$

$$x^{(1)} = 1,57109 \text{ V}$$

$$x^{(2)} = 1,56009 \text{ V}$$

$$x^{(3)} = 1,55882 \text{ V}$$

$$U_D' = x^{(4)} = 1,55881 \text{ V}$$

$$|x^{(1)} - x^{(0)}| = 0,02891 \text{ V}$$

$$|x^{(2)} - x^{(1)}| = 0,01100 \text{ V}$$

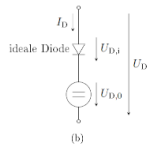
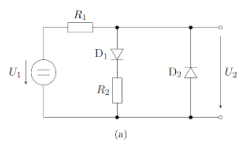
$$|x^{(3)} - x^{(2)}| = 0,00127 \text{ V}$$

$$|x^{(4)} - x^{(3)}| = 0,00001 \text{ V}$$

$\rightarrow$ Abbruchkrit. erfüllt

Abweichung: $|1,56977 \text{ V} - 1,55881 \text{ V}| = 0,01096 \text{ V}$

$$\rightarrow 0,7 \%$$



c)



- Strombegrenzung $I_{\max}$ durch Widerstand
- Durchbruchbereich: $U_{D2} < 0$

d) - $10 \text{ V} \leq U_1 \leq 10 \text{ V}$ $R_1 = 8 \text{ k}\Omega$ $R_2 = 2 \text{ k}\Omega$

D_1 : Kurzschluss $U_{D1} = 0.7 \text{ V}$ D_2 : Leerlauf

$$I_{D1} = \frac{U_{\text{ges}}}{R_{\text{ges}}} = \frac{U_1 - U_{D1}}{R_1 + R_2}$$

$$U_2 = U_{D1} + U_{R2} = I_{D1} \cdot R_2 + U_{D1} = \frac{U_1 - U_{D1}}{R_1 + R_2} \cdot R_2 + U_{D1} = \frac{U_1 - 0.7 \text{ V}}{5 \Omega} + 0.7 \text{ V}$$

$$U_2(10 \text{ V}) = 2.56 \text{ V}$$

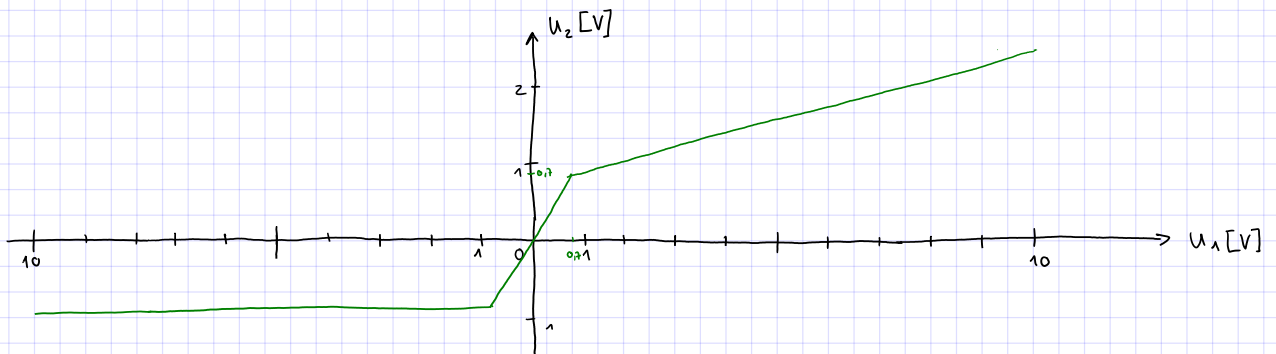
$$U_2(0.7 \text{ V}) = 0.7 \text{ V}$$

D_2 : Kurzschluss $U_{D2} = 0.7 \text{ V}$ D_1 : Leerlauf

$$U_2 = -U_{D2} = -0.7 \text{ V}$$

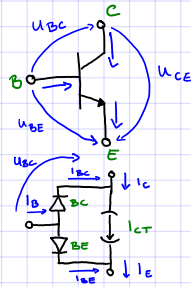
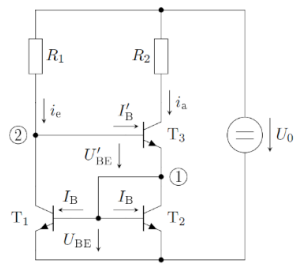
$D_1 \& D_2$: Leerlauf $-0.7 \text{ V} \leq U_1 \leq 0.7 \text{ V}$ $I = 0 \text{ A}$

$$U_2 = U_1 + U_{R1} = U_1 \cdot 1 \cdot R_1 = U_1$$



Aufgabe 12

geg: $U_{BC} < 0V$



a) Transportstrom:

$$I_B = \frac{I_S}{\beta_N} \left(e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1 \right) + \frac{I_S}{\beta_I} \left(e^{\frac{U_{BC}}{U_T}} - 1 \right) = I_{BE} + I_{BC}$$

$$I_{CT} = I_S \left(e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - e^{\frac{U_{BC}}{U_T}} \right)$$

$$I_C = I_{CT} - I_{BC}$$

$$I_{BC} \approx 0A \rightarrow U_{BC} = 0V$$

$$I_C = I_S \left(e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1 \right) = \beta_N I_B = \beta_N \frac{I_S}{\beta_N} \left(e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} - 1 \right)$$

$$e^x - 1 \approx e^x \quad x \gg 10$$

$$I_C = I_S e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} = \beta_N I_B \quad \left. \begin{array}{l} I_C = \beta_N I_B \\ I_B = \frac{I_C}{\beta_N} e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \end{array} \right\}$$

β_N : Stromverstärkung

Normalbetrieb

β_I : " "

Inversbetrieb

analog für $I_{BC} = 0A \rightarrow U_{BC} = 0V$

$$\begin{aligned} I_C &= \beta_N I_B \\ I_B &= \frac{I_C}{\beta_N} e^{\frac{U_{BE}}{U_T}} \end{aligned}$$

b) Stromspiegel: $i_a - i_e$ - Verhalten

$$\textcircled{1} \quad i_e' = I_C + 2I_B = \beta I_B + 2I_B = I_B (\beta + 2)$$

$$I_{BC} = I_{BC}' = 0A$$

$$i_e' = I_B' + I_C' = I_B' (\beta + 1) = I_B (\beta + 2)$$

$$i_a = I_C' = \beta I_B' = \frac{I_B' \beta - I_B'}{\beta \gg 1} = I_B \beta - I_B'$$

$$\underline{I_B = I_B'}$$

$$\underline{i_a = \beta I_B'}$$

$$\textcircled{2} \quad i_e = I_C + I_B' = \beta I_B + I_B' = \beta I_B + \frac{1}{\beta} I_C' = \beta I_B \quad \beta \gg 1$$

$$\underline{i_e = \beta I_B}$$

$$i_e = i_a = \beta I_B' = \beta I_B$$

Stromspiegel, da $i_a = i_e$ gilt

$$\text{c) } U_0 = U_{R1} + U_{BE}' + U_{BE} = R_1 i_C + U_{BE}' + U_{BE} = R_1 \beta I_B' + U_{BE}' + U_{BE}$$

$$I_B' = I_B = \frac{I_S}{\beta} e^{\frac{U_{BE}}{U_T}}$$

$$U_{BE} = U_{BE}'$$

$$|x^{(n)} - x^{(n+1)}| = 0,001V \quad x^{(n+1)} = x^{(n)} - \frac{f(x^{(n)})}{f'(x^{(n)})}$$

$$f(x) = R_1 \beta \frac{I_S}{\beta} e^{\frac{x}{U_T}} + 2x - U_0$$

$$f'(x) = \frac{R_1 I_S}{U_T} e^{\frac{x}{U_T}} + 2$$

$$U_0 = 10V$$

$$U_T = 0,025V$$

$$I_S = 10^{-15}A$$

$$R_1 = 10 \cdot 10^3 \Omega$$

$$\beta = 100$$

$$\begin{aligned} x &= U_{BE} \\ &= U_{BE}' \end{aligned}$$

$$x^{(0)} = 0,7V$$

$$x^{(2)} = 0,6899V$$

$$x^{(3)} = 0,687V$$

$$U_{BE} = U_{BE}' = \underline{\underline{x^{(4)} = 0,687V}}$$

$$|x^{(2)} - x^{(1)}| = 0,0101$$

$$|x^{(3)} - x^{(2)}| = 0,0029$$

$$|x^{(4)} - x^{(3)}| = 0,0000$$

→ Abbruchkriterium erfüllt

Aufgabe 13

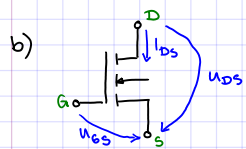
a) $i = I_S \left(e^{\frac{u_0}{U_T}} - 1 \right) \left(\frac{1}{\beta_v} + 1 \right)$

$U_{BC} = 0 \rightarrow I_{BC} = 0A$

$U_0 = U_{BC} + U_{BE} = U_{BE}$

$i = I_B + I_C = \frac{I_C}{\beta} + I_C = I_C \left(\frac{1}{\beta} + 1 \right) = I_S \left(e^{\frac{U_0}{U_T}} - 1 \right) \left(1 + \frac{1}{\beta} \right)$

Bauteil $\hat{=}$ einer Diode



$U_{GD} = 0V \rightarrow I_{GD} = 0A$

$U_0 = U_{DS} = U_{GD} + U_{GS} = U_{GS}$

$i = I_D + I_G$

$U_{DS} > U_{GS} - U_{th} = U_{GS} - U_{th}$

$U_{th} > 0V$

Arbeitsbereich: $I_G = 0A$

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

$i = \frac{1}{2} \beta (U_0 - U_{th})^2$

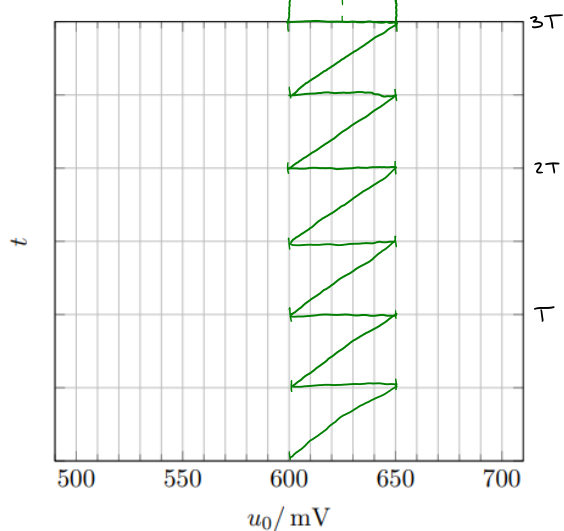
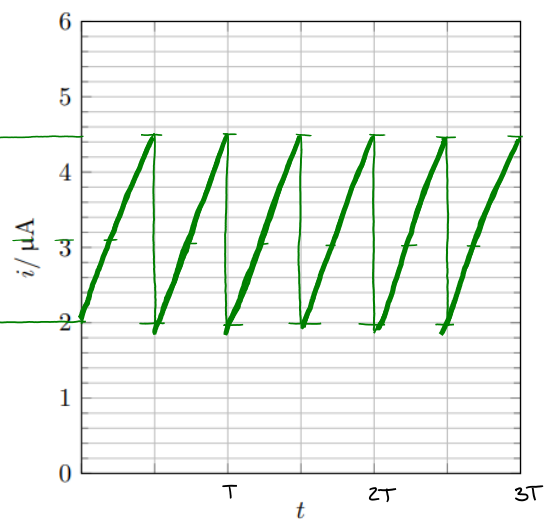
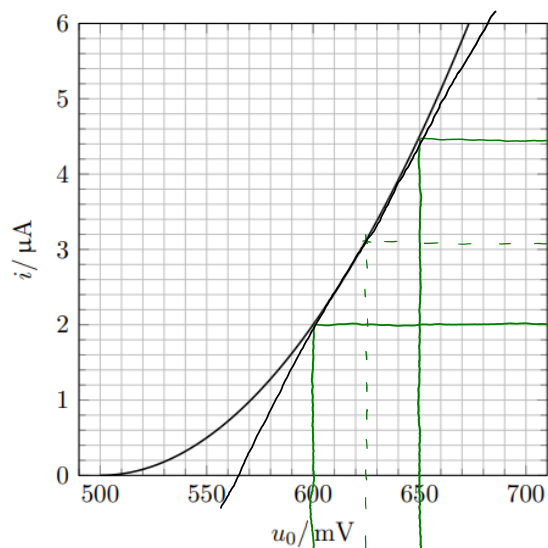
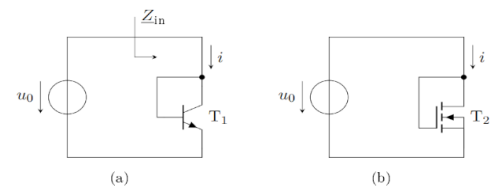
Verhalten:

a) e-Fkt : $\frac{1}{\beta} \propto$ Verstärkung

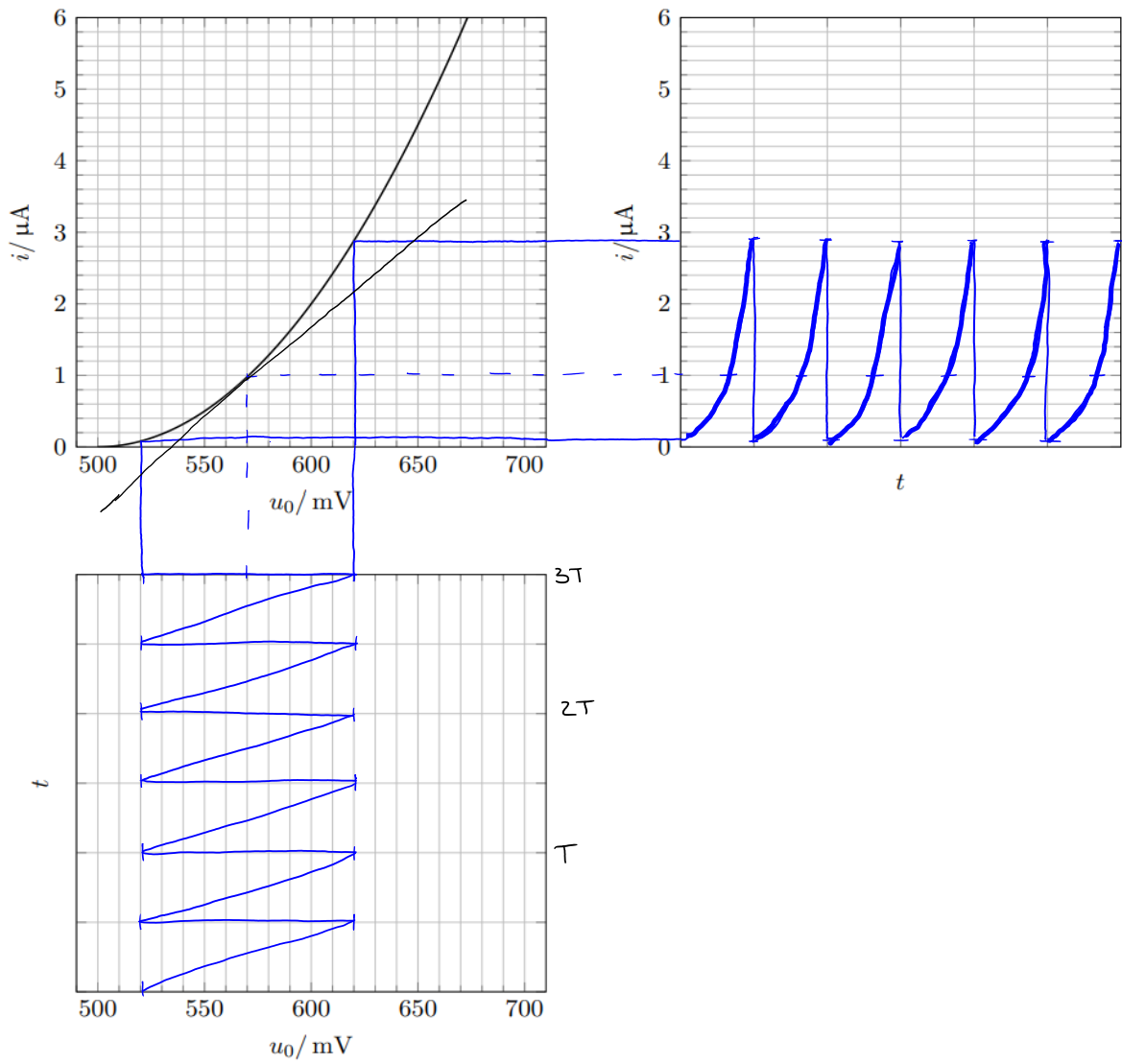
b) q²-Fkt : $\beta \propto$ Verstärkung

c) $U_{max} = U_0 + \hat{U} = 600mV + 50mV = 650mV$

$U_{min} = U_0 = 600mV$



d) $u_{\max} = u_0 + \hat{u} = 520 \text{ mV} + 100 \text{ mV} = 620 \text{ mV}$
 $u_{\min} = u_0 = 520 \text{ mV}$



→ Tangenten - Abweichung zu significant : KEINE LINEARISIERUNG