

Probeklausur im Fach

Elektronische Schaltungen

- Bitte beachten Sie die Hinweise auf der folgenden Seite.
- Beginnen Sie mit den Aufgaben, die Ihnen am leichtesten fallen.

Einzelresultate

Aufgabe	1	2	3	4	5	6	7	8
erreichbare Punkte	12	15	16	25	15	11	13	13
erzielte Punkte								

Gesamtbewertung

Punkte maximal:	Gesamtpunkte:	Bonuspunkte:	Note:
120			



1. Die Prüfungsdauer beträgt 2 Stunden.
2. Zur Bearbeitung der Klausur sind **keine Hilfsmittel** zugelassen, außer Schreibzeug, Zirkel, Lineal, ein **nicht-programmierbarer, komplexer** Taschenrechner und ein handschriftliches, beidseitig beschriebenes Blatt als Formelsammlung.
3. Die Lösungen müssen auf den ausgegebenen Blättern in den dafür vorgesehenen **Lösungskästen** niedergeschrieben werden. Geben Sie zu den Zahlenwerten auch immer die zugehörigen **Einheiten** an. Achten Sie auch auf die korrekte **Beschriftung der Diagramme**. Falls der Platz nicht ausreicht, muss auf dem Lösungsblatt ein Hinweis auf die Fortsetzung gegeben werden und von der Aufsicht ein gestempeltes Zusatzblatt angefordert werden. Bei zweifelhafter Zuordnung kann die Lösung nicht gewertet werden. Benutzen Sie **kein eigenes Papier**.
4. **Bei allen Aufgaben muss der Lösungsweg klar erkennbar und eindeutig dargestellt werden.** In einigen Aufgaben ist dies die wesentliche Prüfungsleistung. Lösungen ohne ausreichende Begründung werden nicht gewertet. Das Gleiche gilt für mehrdeutige Lösungen oder Formulierungen.
5. Verwenden Sie bei der Lösung der Aufgaben **weder rote oder grüne Farbe noch Bleistift** und kennzeichnen Sie Ihre Ergebnisse deutlich. Lösungen in roter Farbe oder Bleistift können nicht gewertet werden. Zeichnungen in Diagrammen dürfen mit Bleistift gemacht werden.
6. Tragen Sie vor Beginn der Klausur Nachname, Vorname und Matrikelnummer auf dem Deckblatt ein und **beschriften Sie jedes Lösungsblatt** mit Ihrer Matrikelnummer. **Alle** Blätter, auch die Zusatzblätter, müssen die Matrikelnummer des/der Kandidat:in tragen. Wer diese Regeln, die einer raschen Bearbeitung dienen, nicht einhält, kann nicht erwarten, dass er kurzfristig über das Ergebnis seiner Prüfung informiert wird. Die Lösungsblätter müssen **vollständig**, d.h. zusammen mit allen zusätzlich ausgeteilten Blättern, abgegeben werden. Heften Sie alle Blätter mit der beiliegenden Faltklammer zusammen.
7. Legen Sie Ihren Studentenausweis und ggfs. den Zulassungsschein bereit.
8. Der Umfang der gesamten Klausur beträgt 46 Seiten und besteht aus 8 Aufgaben. **Prüfen Sie** diese direkt nach Erhalt **auf Vollständigkeit**.
9. Die Ergebnisse der Klausur werden nach der Korrektur im Campus System veröffentlicht. Der Zeitpunkt der Veröffentlichung wird im Internet bekannt gegeben.

Aufgabe 1

(gesamt 12 Punkte)

Netzwerkanalyse

Im Folgenden sollen verschiedene passive Netzwerke untersucht werden. Die Widerstände haben folgende Werte: $R_1 = 1 \text{ k}\Omega$ und $R_2 = 330 \Omega$.

- a) Gegeben ist die Schaltung in Abbildung 1. Berechnen Sie die Spannungen U_1 und U_2 , wenn die beiden Gleichspannungsquellen mit jeweils $U_0 = 5 \text{ V}$ verwendet werden.

(2 P.)

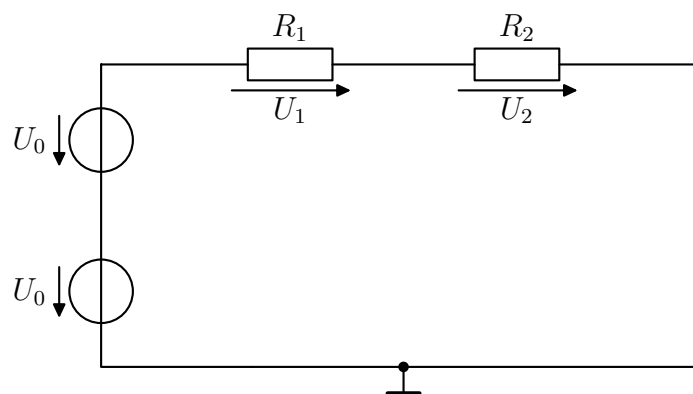


Abbildung 1

- b) Die Schaltung wird mit einem dritten Widerstand $R_3 = 1\text{ k}\Omega$ nach Abbildung 2 erweitert. Berechnen Sie U_3 und I_3 .

(2 P.)

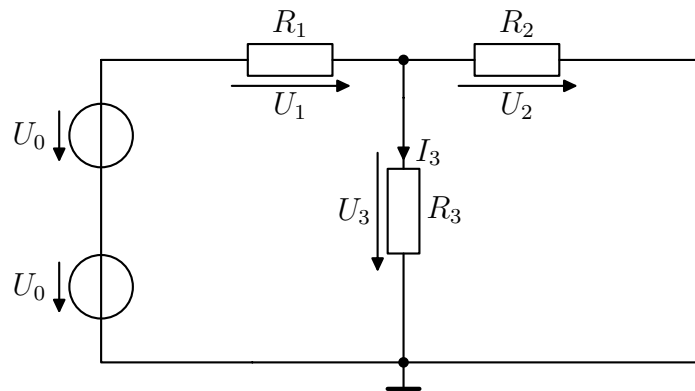


Abbildung 2

- c) Der Widerstand R_1 wird nun mit einer Spule $L = 100 \text{ nH}$ ausgetauscht und die Gleichspannungsquellen werden durch eine einzelne Wechselspannungsquelle mit $u_e = 10 \text{ V} \cdot \sin(\omega t + 40^\circ)$ ersetzt, wobei $\omega = 2 \times 10^9 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$ (Abbildung 3). Berechnen Sie den Betrag der Wechselspannung u_1 und des Wechselstroms i_1 .

(3 P.)

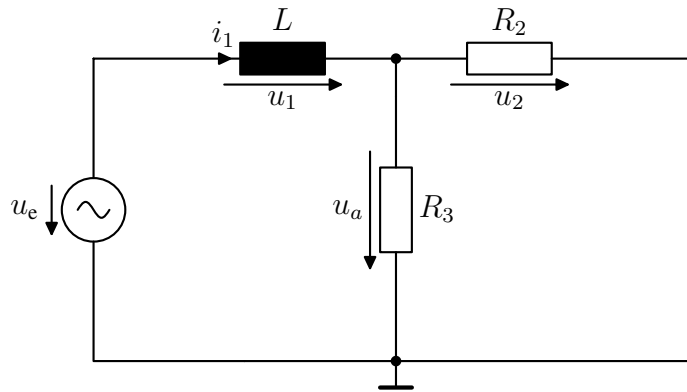


Abbildung 3

- d) Geben Sie die Übertragungsfunktion $H(\omega) = \frac{u_a}{u_e}$ der Schaltung sowie deren Betrag $|H(\omega)|$ als Funktion von ω , L , R_2 und R_3 an.

(2 P.)



- e) Skizzieren Sie den Frequenzverlauf von $|H(\omega)|$ im Bode-Diagramm und markieren Sie die 3 dB-Grenzfrequenz $f_{3\text{dB}}$ und die Steigung. Achten Sie auf korrekte Beschriftung der Achsen.

(3 P.)



Aufgabe 2

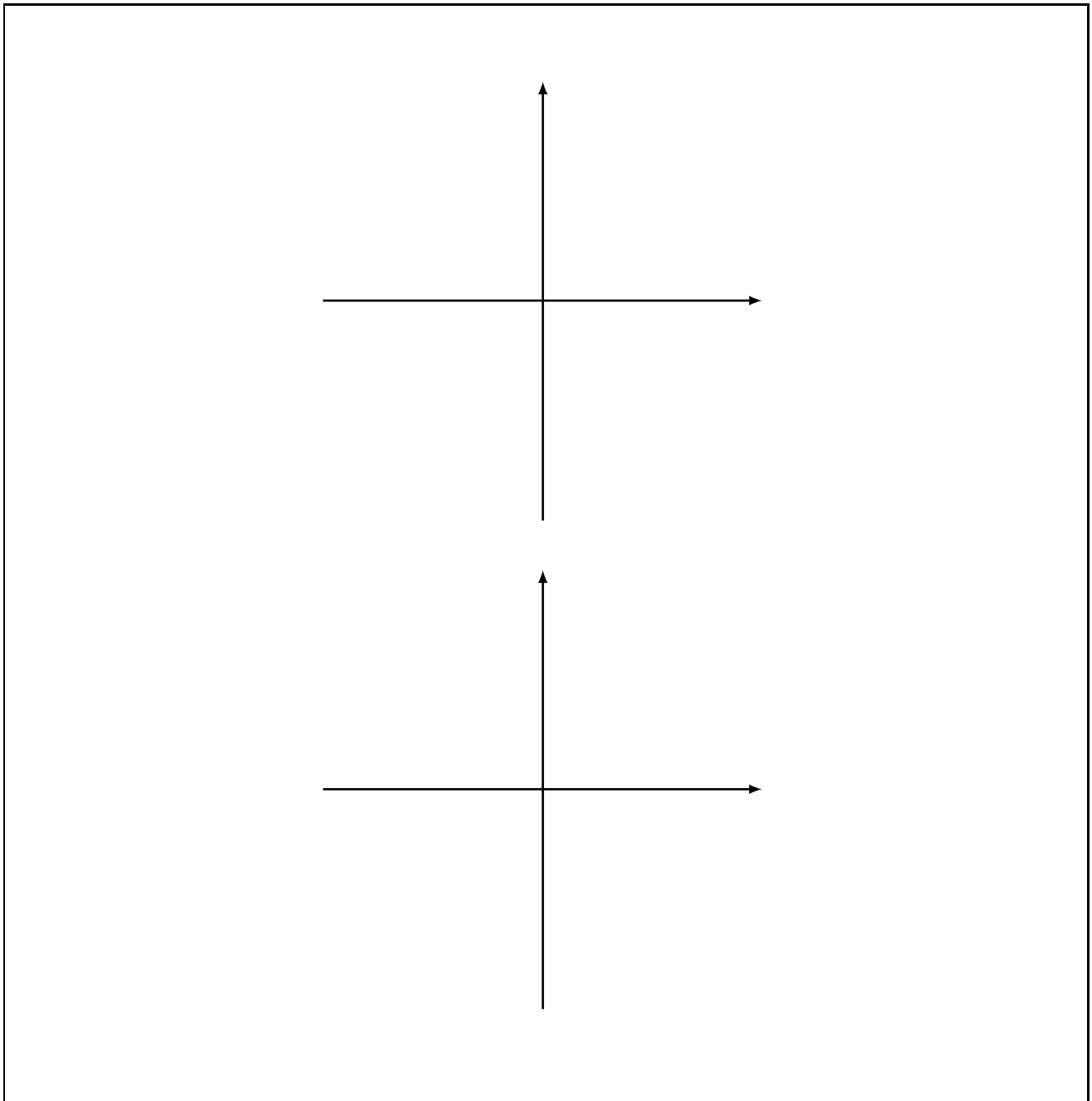
(gesamt 15 Punkte)

Dioden

Teil 1: Großsignalverhalten

Im Folgenden sollen verschiedene Diodenschaltungen analysiert werden. Es werden eine Si-Diode mit $U_{Br} = -30 \text{ V}$ und $U_F = 0,3 \text{ V}$, sowie eine Zener-Diode mit $U_Z = -5 \text{ V}$ und $U_F = 0,7 \text{ V}$ verwendet. **Achten Sie auf korrekte Beschriftung der Diagramme.**

- a) Skizzieren Sie die I/U Kennlinien von den beiden genannten Diodentypen im Durchlass- und Sperrbereich.

(2 P.)

- b) Skizzieren Sie die I/U Kennlinien der beiden Diodenschaltungen aus Abbildung 4. Es werden die gleichen Diodentypen wie in Teilaufgabe a) verwendet.

(2 P.)

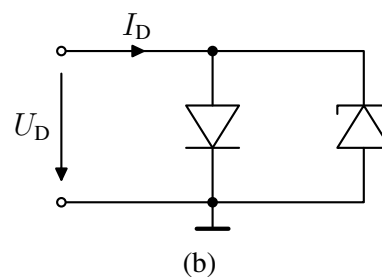
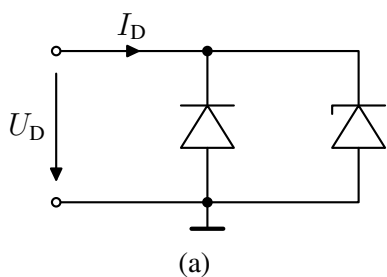
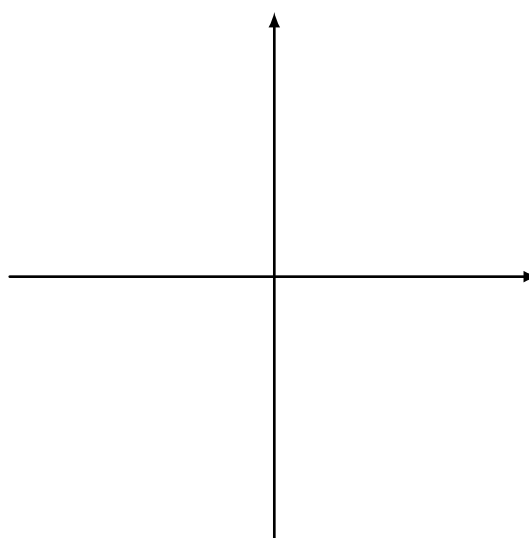
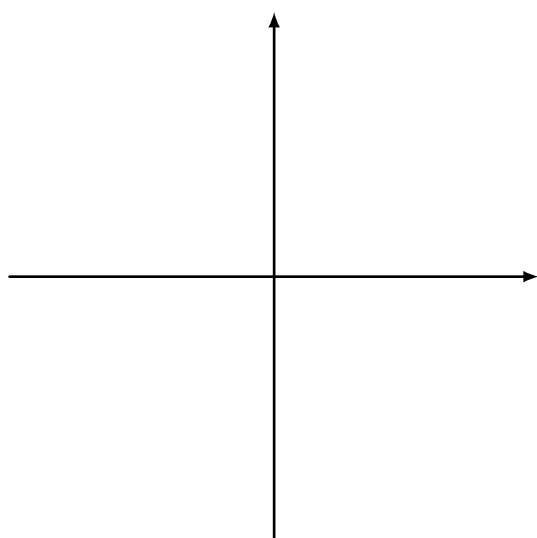


Abbildung 4



Teil 2: Kleinsignalverhalten

Es ist die Diodenschaltung aus Abbildung 5 gegeben. Es gilt für die Gleichspannungsquelle $U_0 = 1\text{ V}$ und für die Wechselspannungsquelle $u_e = 1\text{ mV} \cdot \sin(\omega t)$, wobei die Frequenz $f = 1\text{ kHz}$ beträgt. Über den Widerstand R fällt eine Spannung von $U_R = 0,2\text{ V}$ ab. Für die Diode gilt für den Sperrstrom $I_S = 10\text{ fA}$, die Flussspannung $U_F = 0,7\text{ V}$ und die Temperaturspannung $U_T = 26\text{ mV}$. Die Kleinsignalnäherungen können angenommen werden und die parasitären Kapazitäten und der Bahnwiderstand der Diode können vernachlässigt werden.

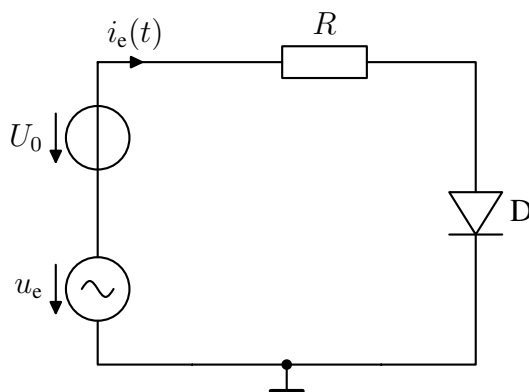


Abbildung 5

c) Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung.

(2 P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 2

ES S'21

Probeklausur

Seite 10 von 46

- d) Berechnen Sie den zeitlichen Verlauf des Eingangsstroms $i_e(t) = I_0 + i_e$ und skizzieren Sie zwei Perioden des Stroms. Achten Sie auf korrekte Beschriftung der Achsen.

(5 P.)



Teil 3: Anwendung der Diode

Gegeben ist die Schaltung aus Abb. 6. Nutzen Sie für die Diode das Modell mit konstantem Spannungsabfall. Die Flussspannung der Diode beträgt $U_F = 0 \text{ V}$. Für den Widerstand gilt $R = 12,5 \text{ M}\Omega$ und für die Kapazität $C = 10 \text{ nF}$. Die Eingangsspannung beträgt $u_e = 1,5 \text{ V} \cdot \sin(\omega t)$ mit $\omega = 120\pi \text{ 1/s}$.

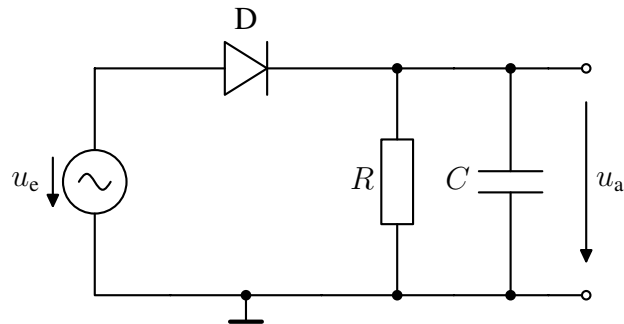


Abbildung 6

e) Um welche Schaltung handelt es sich in Abb. 6?

(1 P.)

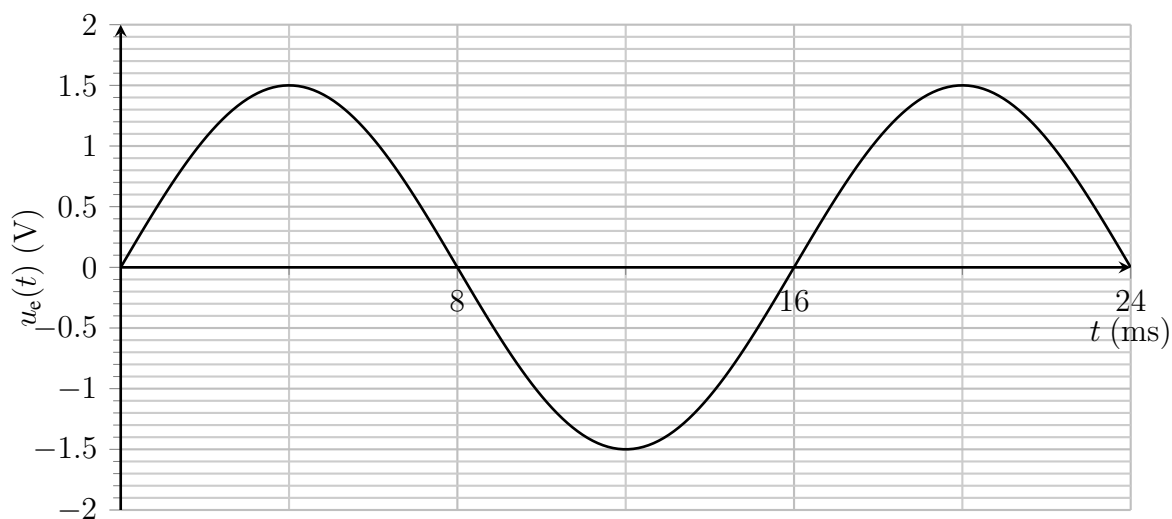


f) Berechnen Sie die Restwelligkeit $U_{\sim}$ der Ausgangsspannung $u_a(t)$.

(1 P.)



- g) Im Folgenden ist der Verlauf der Eingangsspannung $u_e(t)$ gegeben. Zeichnen Sie den Verlauf der Ausgangsspannung $u_a(t)$ in das gleiche Diagramm. Der Kondensator ist zum Zeitpunkt $t = 0$ entladen. (2 P.)



Aufgabe 3

(gesamt 16 Punkte)

Bipolartransistor

Gegeben ist die Schaltung in Abbildung 7. Der Transistor besitzt die folgenden Charakteristiken: $B = \beta = 250$, $|U_A| = 100 \text{ V}$. Im Arbeitspunkt fließt ein Strom von $I_C = 25 \text{ mA}$ und es gilt $U_{BE} = 0,9 \text{ V}$. Die Vorspannung beträgt $U_b = 5 \text{ V}$ und der Lastwiderstand beträgt $R_L = 50 \Omega$. Der Transistor hat das Ausgangskennlinienfeld aus Abbildung 8. Für die Kondensatoren am Ein- und Ausgang gilt $C \rightarrow \infty$.

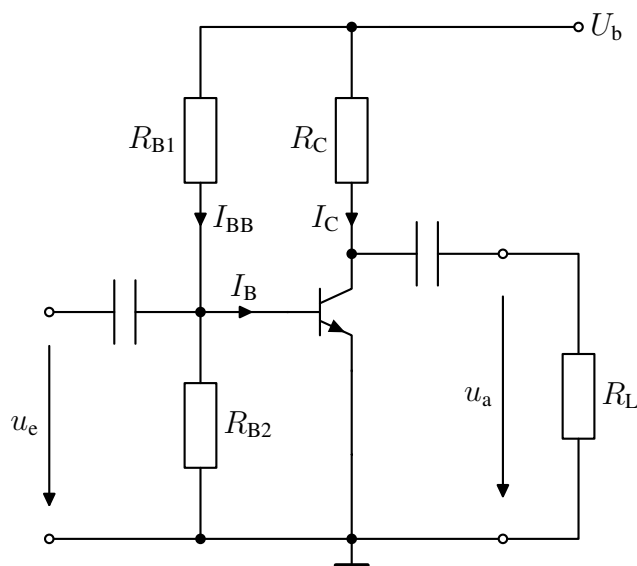


Abbildung 7

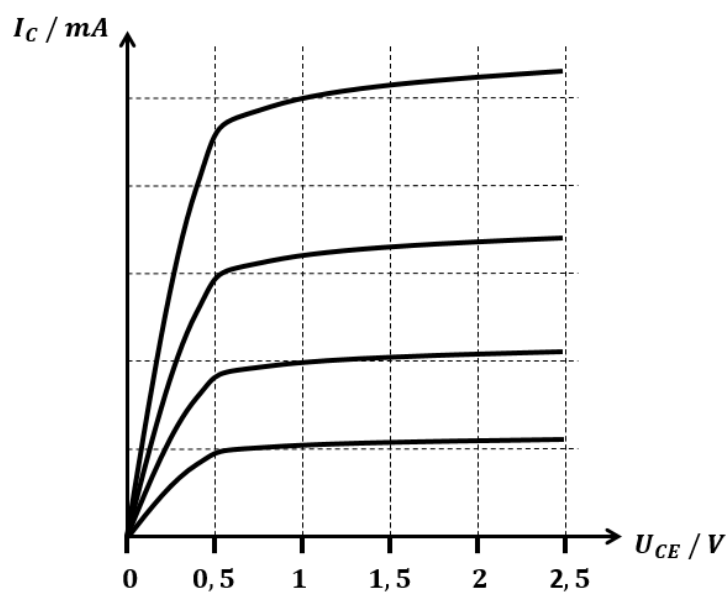


Abbildung 8

Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 3

ES S'21
Probeklausur
Seite 14 von 46

a) In welcher Grundschialtung wird der Transistor betrieben?

(1 P.)



b) Welche Aufgabe haben die Kondensatoren?

(1 P.)



- c) Berechnen Sie R_{B1} und R_{B2} damit der Transistor im Arbeitspunkt betrieben wird. Benutzen Sie die Faustformel $I_{BB} = 10 \cdot I_B$.

(3 P.)

- d) Bestimmen Sie in welchem Arbeitsbereich sich der Transistor für 1) $R_C = 190 \Omega$ und 2) $R_C = 100 \Omega$ befindet.

(2 P.)

Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 3

ES S'21

Probeklausur

Seite 16 von 46

e) Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der gesamten Schaltung.

(4P.)

A large, empty rectangular box is provided for the student to draw the small-signal equivalent circuit of the entire circuit.

- f) Berechnen Sie den Kleinsignal-Ein- und Ausgangswiderstand (r_e, r_a) und die Kleinsignalspannungsverstärkung A , wenn für $R_C = 100\,\Omega$ gilt. Der Early-Effekt darf **nicht** vernachlässigt werden.

(5 P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

ES S'21

Probeklausur

Seite 18 von 46

Aufgabe 4

(gesamt 25 Punkte)

Teil 1

Gegeben ist die Schaltung in Abbildung 9.

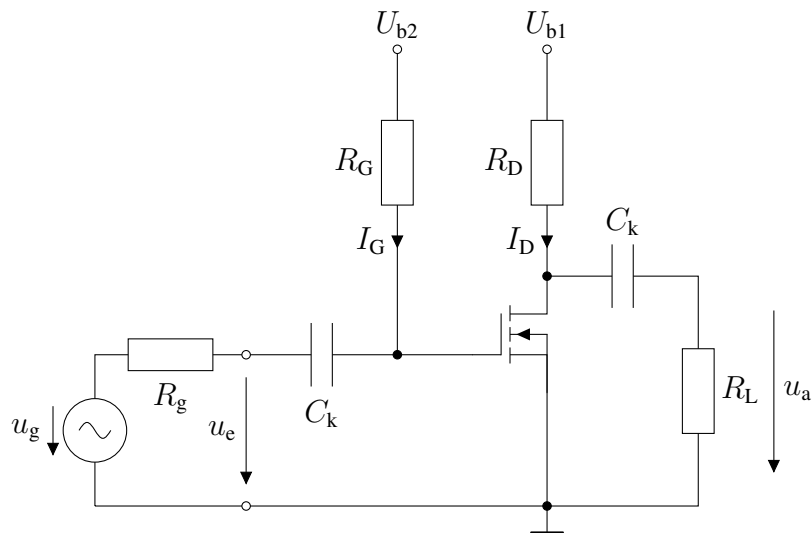


Abbildung 9

Die Werte in Tab. 1 sind bekannt.

Parameter	Wert
β_n	$40 \frac{\text{mA}}{\text{V}^2}$
U_{th}	1 V
R_G	450Ω
U_{b1}	16 V
U_{b2}	3 V
R_D	150Ω
R_g	50Ω
R_L	500Ω

Tabelle 1

Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 4

ES S'21
Probeklausur
Seite 20 von 46

a) Ermitteln Sie den Arbeitspunkt des Transistors (U_{GS} , I_D und U_{DS}).

(3 P.)



- b) Ermitteln Sie die Niederfrequenz-Betriebsspannungsverstärkung $A_{B0} = \frac{u_a}{u_g}$ der Schaltung. Die Kanallängenmodulation kann vernachlässigt werden. Nehmen Sie vorerst an, dass die Kapazität C_k Koppelkondensatoren sehr groß ist, so dass sie als Kurzschluss angenommen werden können.

(4P.)



Teil 2

Das Frequenzverhalten der Schaltung soll nun untersucht werden. Die parasitären Kapazitäten des Transistors betragen $C_{GD} = 1 \text{ pF}$ und $C_{GS} = 2 \text{ pF}$. Außerdem sollen die realen Koppelkondensatoren betrachtet werden. Ihre Kapazität beträgt $C_k = 5 \text{ nF}$. Die Kanallängenmodulation kann vernachlässigt werden.

- c) Zerlegen Sie die parasitäre Kapazität C_{GD} mithilfe des Miller-Theorems. Ermitteln Sie jeweils den Wert der äquivalenten Eingangs- und Ausgangskapazität. ($C_{GD,e}$ und $C_{GD,a}$).

(3 P.)

- d) Zeichnen Sie das vollständige Kleinsignal-Ersatzschaltbild unter Berücksichtigung der realen Koppelkondensatoren und der parasitären Kapazitäten nach Anwendung des Miller-Theorems.

(5 P.)

- e) Zeigen Sie, dass der Eingangskoppelkondensator ein Hochpassverhalten verursacht und finden Sie die entsprechende 3-dB-Grenzfrequenz für niedrige Frequenzen f_L . (**Hinweis:** Da die parasitären Kapazitäten des Transistors deutlich kleiner als die Koppelkondensatoren sind, können sie für diese Berechnung vernachlässigt werden)

(4P.)



- f) Finden Sie die 3-dB-Grenzfrequenz für hohe Frequenzen f_H der Schaltung. Die Dominante-Pol-Approximation kann angenommen werden. Außerdem können die Koppelkondensatoren bei hohen Frequenzen durch Kurzschlüsse ersetzt werden.

(3 P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 4

ES S'21
Probeklausur
Seite 25 von 46

- g) Skizzieren Sie das Bodediagramm der Betriebsspannungsverstärkung A_{B0} anhand der Grenzfrequenzen aus Teilaufgaben (e) und (f).

(3 P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

ES S'21

Probeklausur

Seite 26 von 46

Aufgabe 5

(gesamt 15 Punkte)

Mehrstufige Verstärkerschaltung

Gegeben ist eine zweistufige Verstärkerschaltung, siehe Abbildung 11. Für beide Transistoren gilt $B = \beta = 100$. Im Arbeitspunkt beträgt $U_{BE1} = U_{BE2} = 0,7 \text{ V}$. Die Widerstände haben die folgenden Werte: $R_{B1} = 28 \text{ k}\Omega$, $R_{C1} = 200 \Omega$, $R_{C2} = 120 \Omega$, $R_{E2} = 80 \Omega$, $R_L = 50 \Omega$. Die Vorspannung beträgt $U_b = 15 \text{ V}$. Außerdem kann angenommen werden, dass $I_{B2} \ll I_{C1}$. Der Early-Effekt kann vernachlässigt werden und alle Transistoren befinden sich im Normalbetrieb. Für Wechselspannungen können die Kondensatoren als Kurzschluss betrachtet werden.

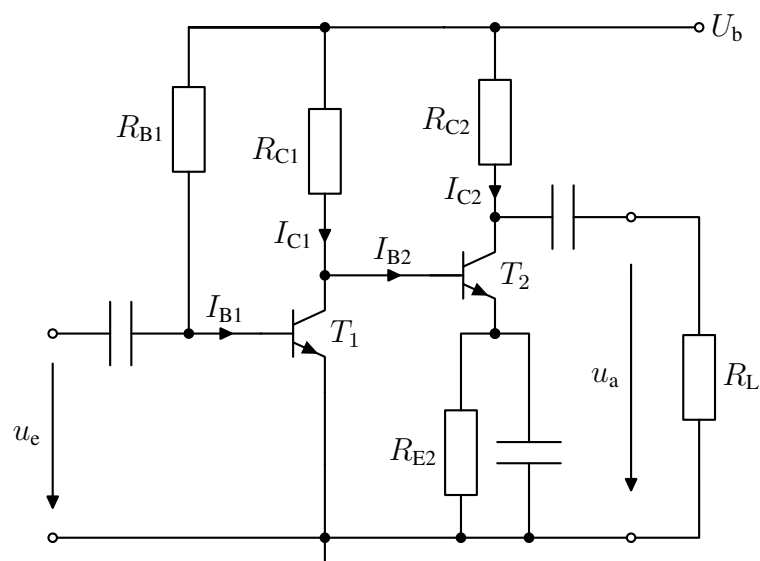


Abbildung 11

- a) Bestimmen Sie den Arbeitspunkt von T_1 (I_{B1} , I_{C1} , U_{CE1}). Geben Sie I_B in μA an.

(3 P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 5

ES S'21
Probeklausur
Seite 28 von 46

b) Skizzieren Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der gesamten Schaltung.

(4P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 5

ES S'21

Probeklausur

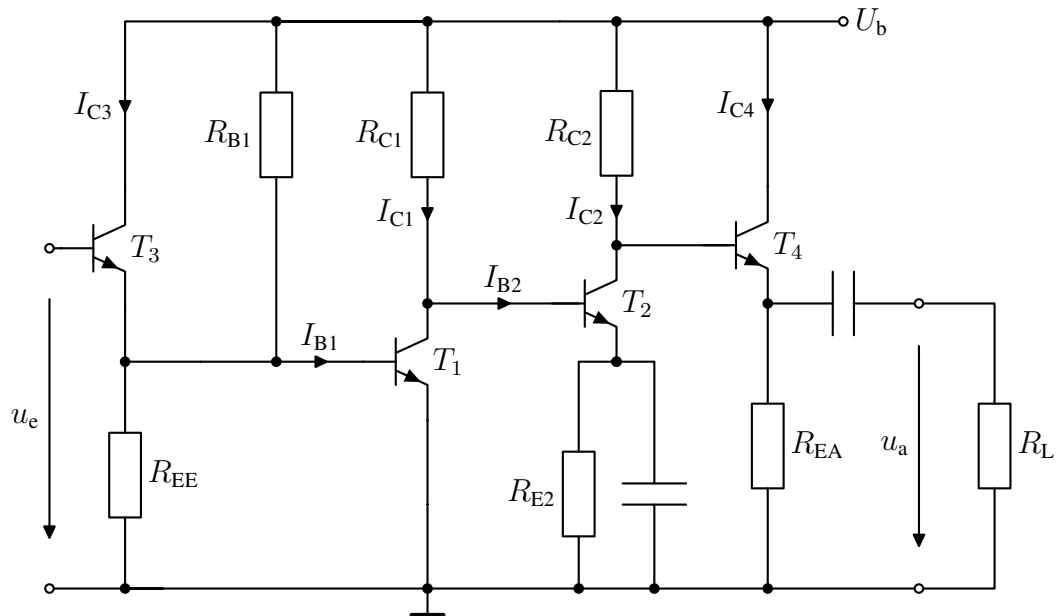
Seite 29 von 46

- c) Berechnen Sie die Kleinsignalspannungsverstärkung A der gesamten Schaltung. Der Transistor T_2 wird im gleichen Arbeitspunkt wie T_1 betrieben.

(4P.)



Der mehrstufige Verstärker wird am Eingang und am Ausgang wie folgt erweitert. Es gilt $I_{C3} = I_{C4} = 10 \text{ mA}$, $U_{BE3} = U_{BE4} = 0,7 \text{ V}$ und $B = \beta = 100$. Für die beiden Widerstände gilt $R_{EE} = 70 \Omega$ und $R_{EA} = 820 \Omega$



d) In welcher Grundsaltung werden die neuen Transistoren T_3 und T_4 betrieben?

(1P)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 5

ES S'21
Probeklausur
Seite 31 von 46

- e) Berechnen Sie erneut die Kleinsignal-Spannungsverstärkung A . Es kann angenommen werden, dass R_{C2} viel kleiner ist als der Eingangswiderstand der 4. Stufen.

(3 P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

ES S'21

Probeklausur

Seite 32 von 46

Aufgabe 6

(gesamt 11 Punkte)

Differenzverstärker

Gegeben ist der Differenzverstärker mit den beiden selbstsperrenden n-MOSFETs T_1 und T_2 in Abbildung 12. Die beiden Transistoren T_1 und T_2 sind identisch aufgebaut und deren Arbeitspunkt soll bei $U_{GS} = 0,75 \text{ V}$, $I_D = 250 \mu\text{A}$ und $U_{DS} = 2 \text{ V}$ liegen. Außerdem gilt $r_{DS1} = r_{DS2} = 1 \text{ M}\Omega$ und $U_{th1} = U_{th2} = 0,5 \text{ V}$. Die Vorspannungen betragen $U_{b+} = 3 \text{ V}$ und $U_{b-} = -3 \text{ V}$. Der Widerstand R_S besitzt den Wert $2 \text{ k}\Omega$. Falls Sie Vereinfachungen vornehmen, geben Sie diese an.

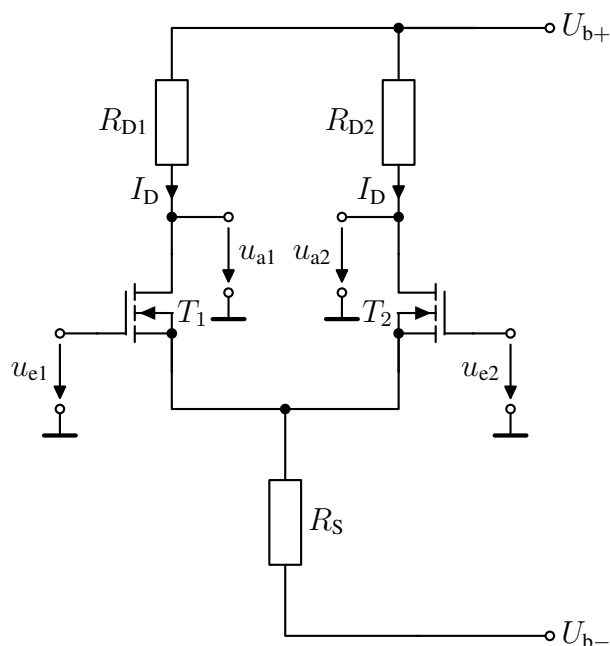


Abbildung 12

- a) Berechnen Sie R_{D1} und R_{D2} , sodass beide Transistoren im Arbeitspunkt betrieben werden.

(1P.)



b) Berechnen Sie die Gleichtakt-Spannungsverstärkung $A_G = u_{a1,2}/u_G$ der Schaltung.

(2 P.)



c) Berechnen Sie die Gegentakt-Spannungsverstärkung $A_D = u_a/u_D = (u_{a2} - u_{a1})/(u_{e2} - u_{e1})$ der Schaltung.

(3 P.)



d) Berechnen Sie den Gleichtaktunterdrückungsfaktor CMRR.

(1 P.)



Der Source Widerstand wird mit einer Stromquelle, bestehend aus T_3 und T_4 , wie in Abbildung 13 ersetzt. Der Arbeitspunkt von T_1 und T_2 soll weiterhin so wie in den vorherigen Aufgabenteilen beibehalten werden. Der Arbeitspunkt von T_3 soll bei $U_{DS} = 1\text{ V}$ und $U_{GS} = 0,6\text{ V}$ liegen. Es gilt: $|U_{A,T3}| = 100\text{ V}$. Für die Gatebreiten gilt: $W_{T3} = 200\text{ }\mu\text{m}$, $W_{T4} = 50\text{ }\mu\text{m}$.

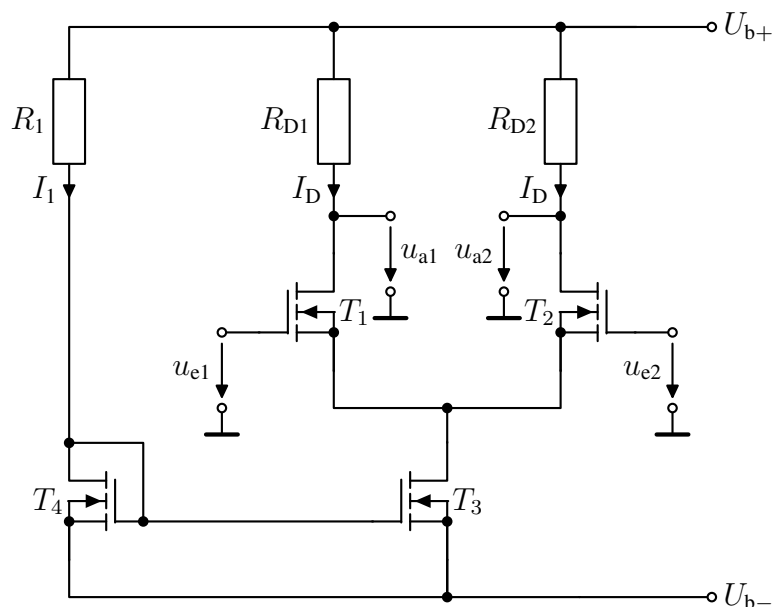


Abbildung 13

e) Berechnen Sie den neuen Gleichtaktunterdrückungsfaktor CMRR.

(2 P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 6

ES S'21

Probeklausur

Seite 36 von 46

f) Berechnen Sie R_1 .

(2 P.)



Aufgabe 7

(gesamt 13 Punkte)

Grundlagen Digitaltechnik

Teil 1: CMOS-Inverter

- a) Das statische Verhalten eines CMOS-Inverters soll untersucht werden. Hierfür ist die Übertragungskennlinie in Abbildung 14 gegeben. Bestimmen Sie daraus die absoluten und relativen Störabstände des Inverters.

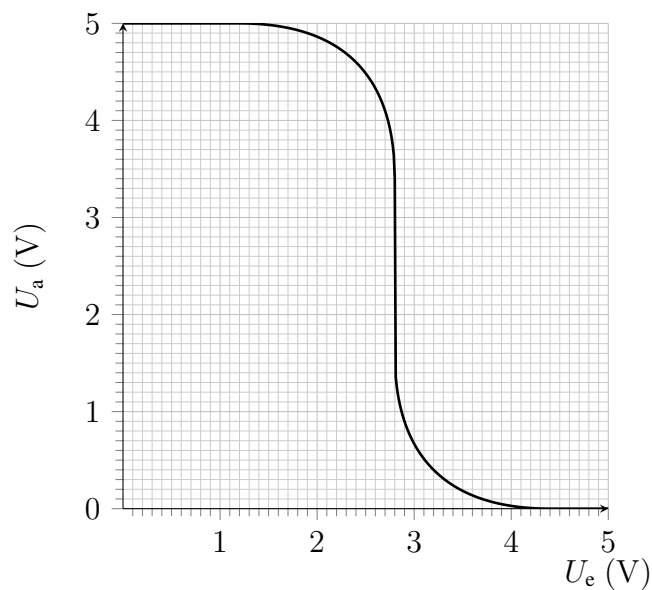
(3 P.)

Abbildung 14

Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 7

ES S'21

Probeklausur

Seite 38 von 46

- b) Die Threshold-Spannung U_{th} der beiden Transistoren ist betragsmäßig gleich. Sind die NMOS- und PMOS- Transistoren so dimensioniert, dass $\beta_n = \beta_p$? Begründen Sie kurz ihre Antwort.

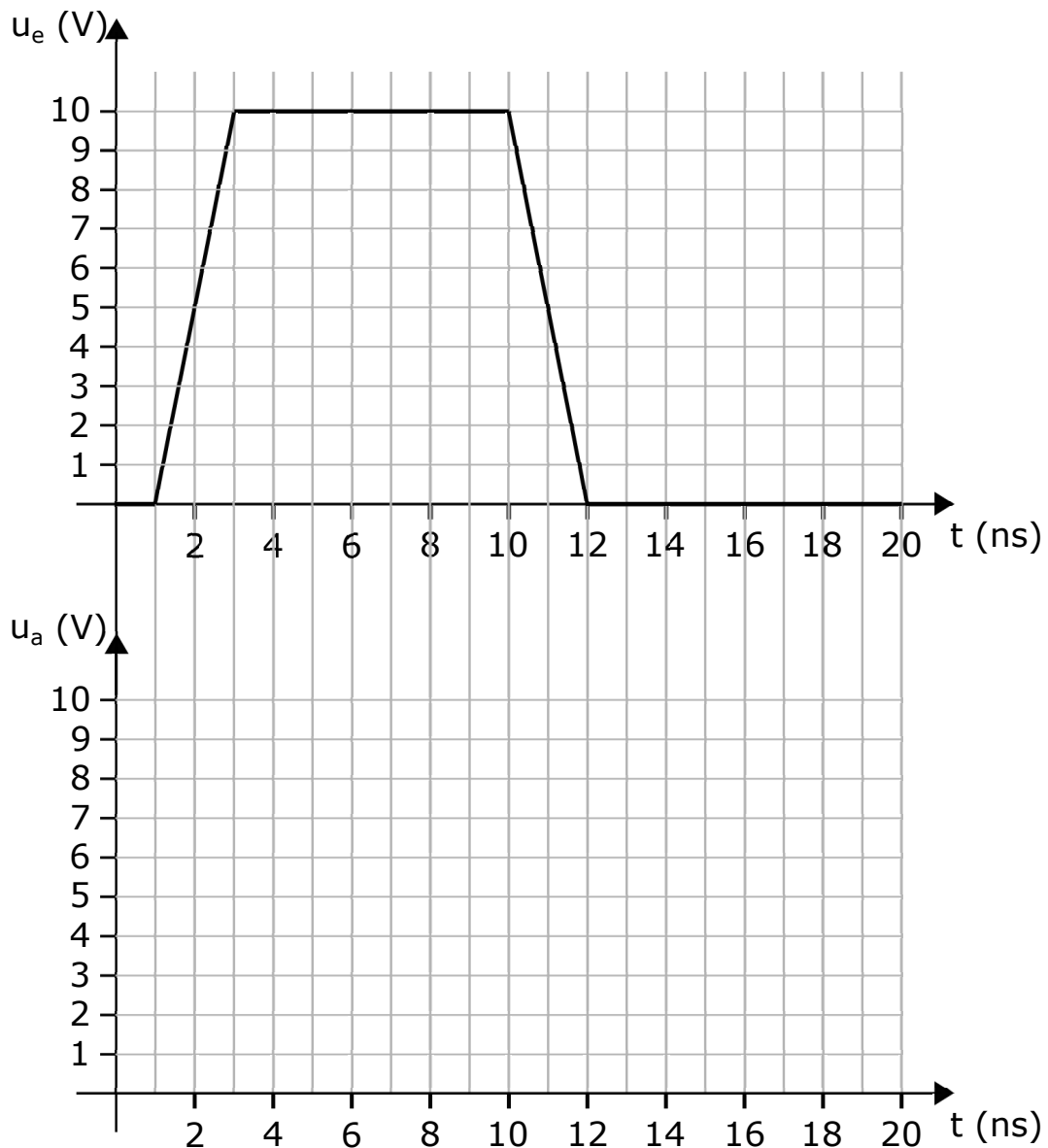
(2 P.)



Aufgabe 7

- c) Bei einem weiteren Inverter soll nun das dynamische Verhalten untersucht werden. Die Anstiegs- und Fallzeit des Inverters beträgt $t_r = t_f = 2 \text{ ns}$. Außerdem gilt $t_{\text{pdHL}} = t_{\text{pdLH}} = 3 \text{ ns}$, sodass sich die Gatterlaufzeit ebenfalls zu $t_{\text{pd}} = 3 \text{ ns}$ ergibt. Es wird das folgende zeitliche Eingangssignal u_e angelegt. Zeichnen Sie das zugehörige Ausgangssignal u_a . Nehmen Sie hierfür an, dass der zeitliche Verlauf beim Auf- oder Entladen näherungsweise linear ist.

(3 P.)



Teil 2: logisches Gatter Die schaltungstechnische Auslegung einer logischen Schaltung ist in Abbildung 15 dargestellt.

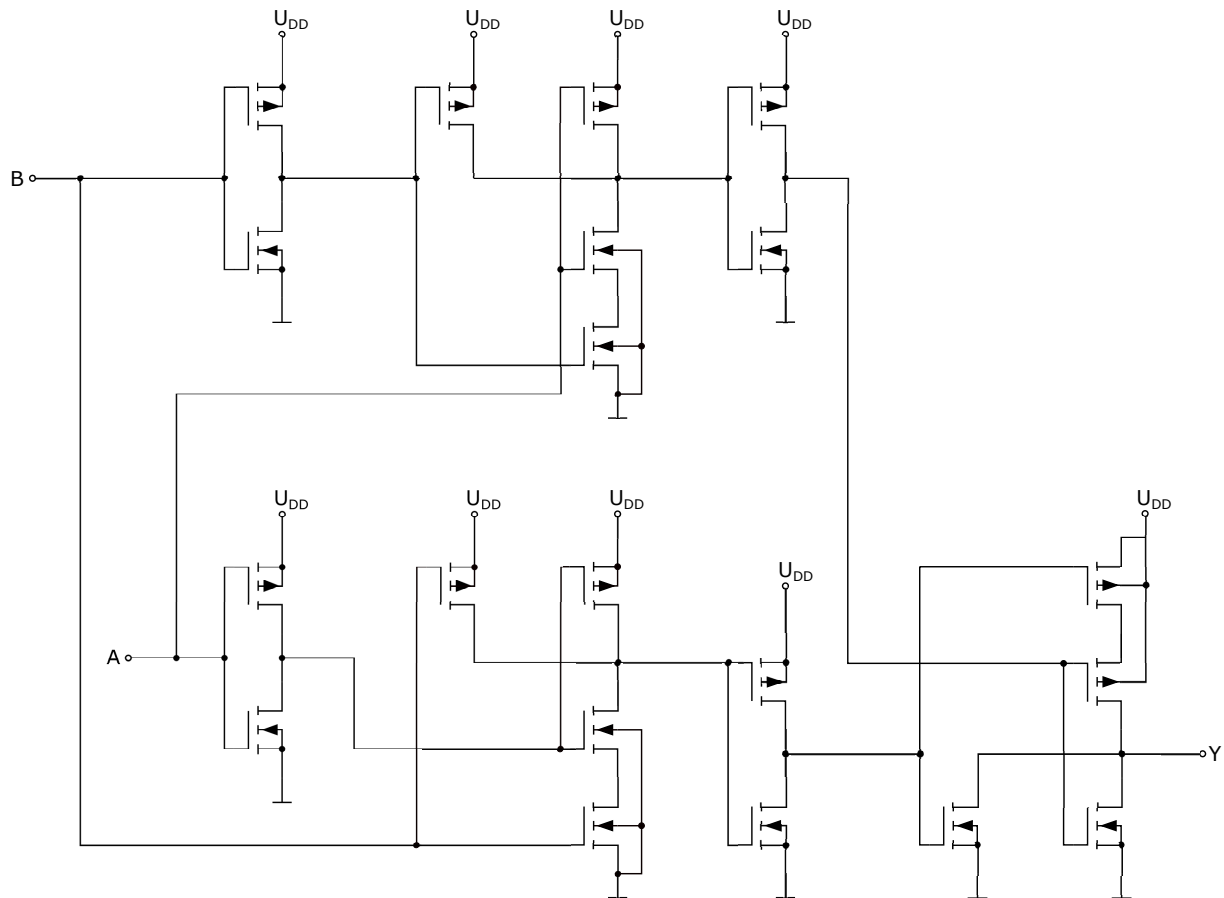


Abbildung 15

- d) Erstellen Sie die Wahrheitstabelle für die Schaltung. Verwenden Sie dazu bitte folgende Bezeichnungen: LOW: 0, HIGH:1, hochohmig: HiZ, logischer Zustand beliebig: X.

(4P.)



A	B	Y

Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 7

ES S'21

Probeklausur

Seite 41 von 46

e) Welche Funktion ist mit der Schaltung aus Abbildung 15 realisiert?

(1P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

ES S'21

Probeklausur

Seite 42 von 46

Aufgabe 8

Aufgabe 8

(gesamt 13 Punkte)

Gegeben ist die Schaltung in Abb. 16. Die Widerstände haben folgende Werte: $R_{C1} = 10 \text{ k}\Omega$, $R_{C2} = 3 \text{ k}\Omega$, $R_E = 1 \text{ k}\Omega$, $R_1 = 50 \text{ k}\Omega$, $R_2 = 100 \text{ k}\Omega$. Die Vorspannung beträgt $U_b = 10 \text{ V}$.

Zur Analyse der Schaltung kann für beide Transistoren angenommen werden:

- Wenn der Transistor leitet, stellt sich eine Kollektor-Emitter-Spannung von $U_{CE} = 0,1 \text{ V}$ ein.
- Wenn der Transistor sperrt, beträgt der Kollektorstrom $I_C = 0 \text{ mA}$.
- Der Basisstrom ist immer vernachlässigbar klein.
- Die Schaltschwelle zwischen dem leitenden und sperrenden Zustand ist bei $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$.
- Der Strom durch den Spannungsteiler mit R_1 und R_2 ist wesentlich kleiner als der Kollektorstrom von T_1 , wenn dieser leitet.

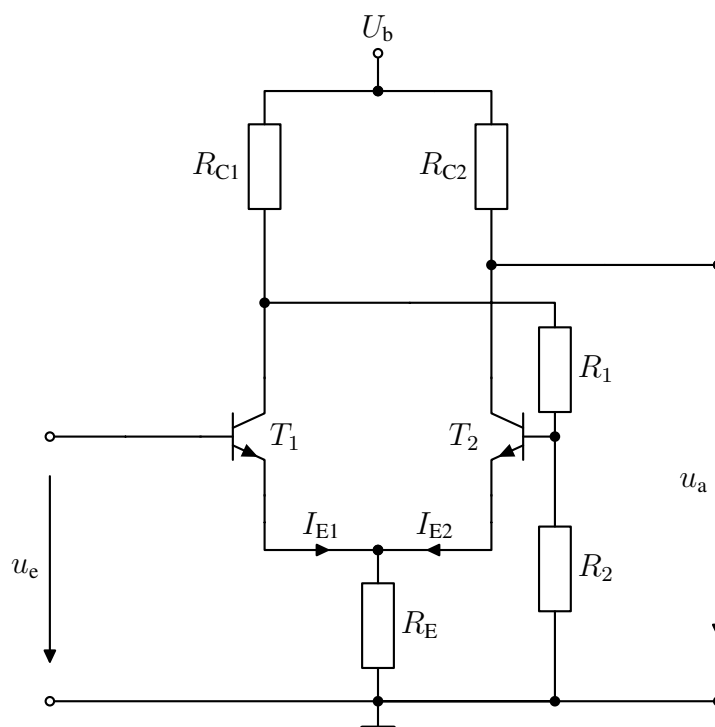


Abbildung 16

a) Ermitteln Sie die Schaltschwellen $u_{e,\text{ein}}$ und $u_{e,\text{aus}}$ der Schaltung.

(4P.)



b) Ermitteln Sie die Ausgangsspannung für alle möglichen Zustände der Schaltung.

(2P.)



Matrikel-Nr.:

.....

Elektronische Schaltungen

Aufgabe 8

ES S'21
Probeklausur
Seite 45 von 46

- c) Skizzieren Sie die u_a gegen u_e Kennlinie der Schaltung. (Eine maßstabsgetreue Zeichnung ist nicht notwendig. Achten Sie jedoch auf eine passende Achsenbeschriftung und eine klare Bezeichnung der wichtigsten Kennwerte.)

(2 P.)



Aufgabe 8

- d) Zum Zeitpunkt $t = 0$ ms entspricht die Ausgangsspannung $u_a(0 \text{ ms})$ einem *High*-Signal. Ein Eingangssignal $u_e(t)$ wird gemäß Abb. 18 angelegt. Zeichnen Sie den Spannungsverlauf der Ausgangsspannung $u_a(t)$ in das dafür vorgesehene Diagramm ein.

(4P.)

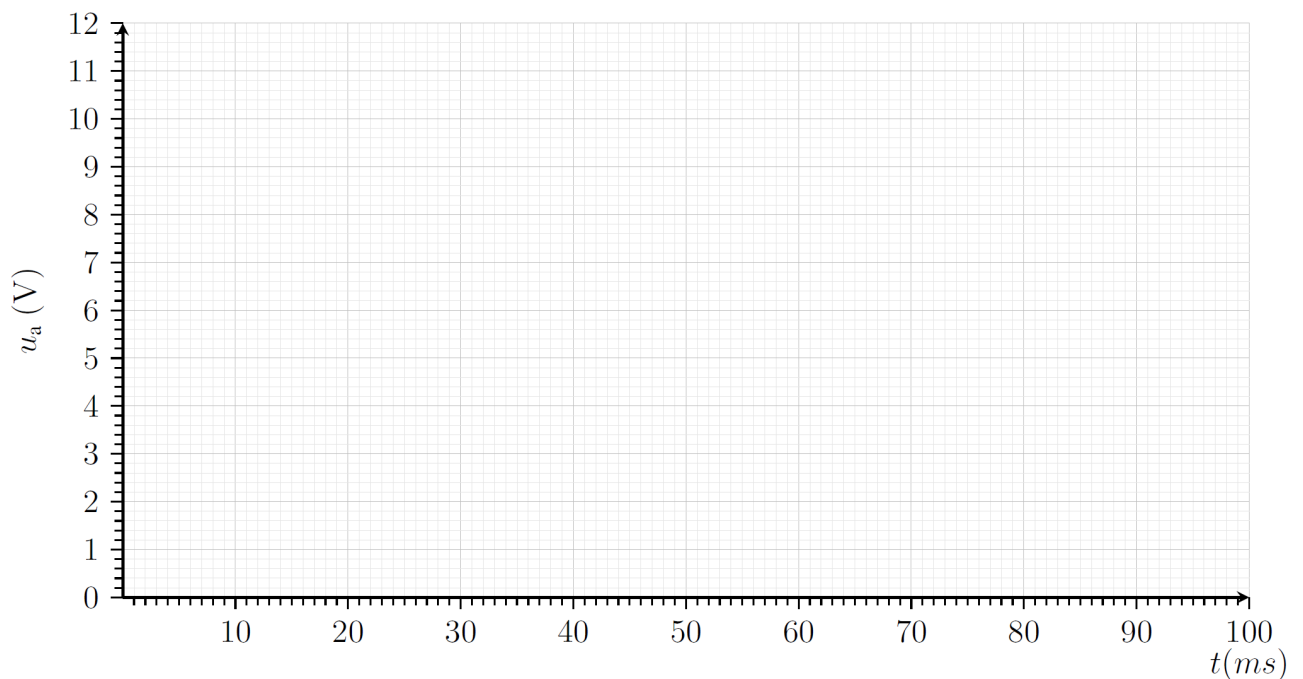
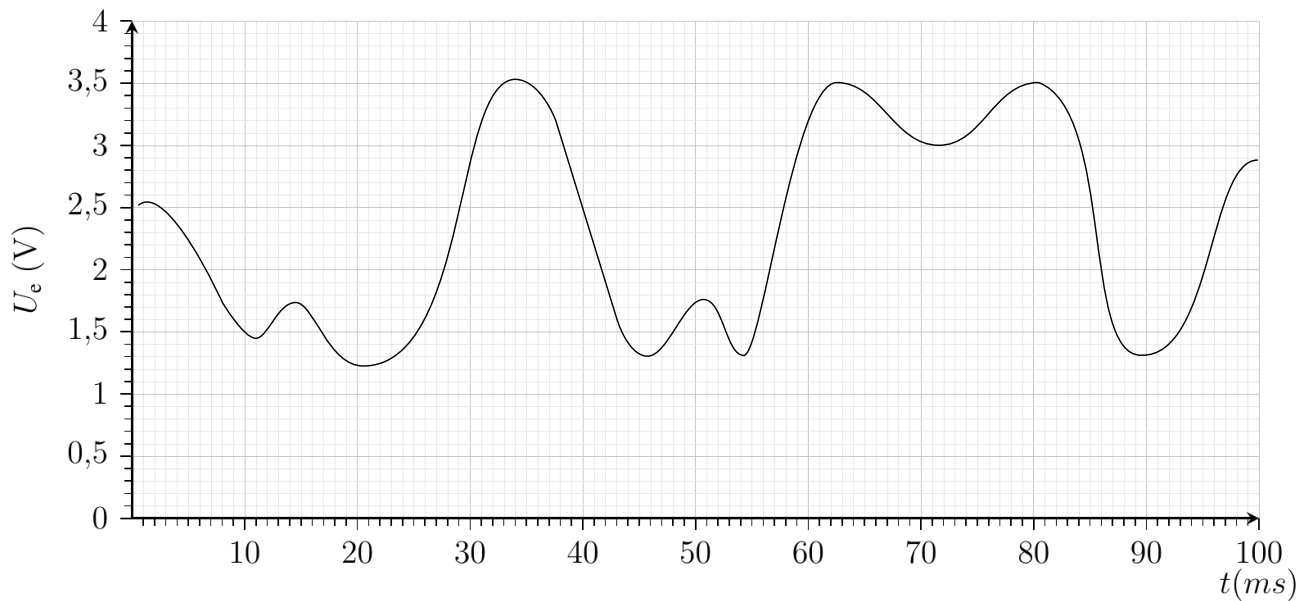


Abbildung 18