

42-110: 1

# Aufgabenbogen

## Klausur zur Vorlesung „Einführung in die Elektrotechnik II“ Sommersemester 2024

### Fachbereich und Dozent

Fachbereich Maschinenbau und Verfahrenstechnik  
Professur Messtechnik und Sensorik  
Prof. Dr.-Ing. Jörg Seewig

### Allgemeiner Hinweis

Nur dokumentenechte Stifte verwenden.  
Schreiben Sie nicht mit der Farbe Rot.  
Der Lösungsweg muss nachvollziehbar sein.

### Prüfungstermin

17.09.2024

Name	Musterfrau,Matilda
Sitzplatznummer	42-110: 1
Matrikelnummer	123456
Prüfungsnummer	10605
Studiengang	Maschinenbau
Abschluss	Master
Art der Klausur	Veranstaltung

A1 (23,5 Punkte)	A2 (30 Punkte)	A3 (15,5 Punkte)	A4 (11 Punkte)	$\Sigma$ 80 Punkte
------------------	----------------	------------------	----------------	--------------------

## Aufgabe 1 - Dioden (23,5 P)

### 1.1 Diodenschaltung (5,5 P)

Zwei nach Abb. 1.1 parallel liegende Germaniumdioden ( $D_1$  und  $D_2$ ) mit den in angegebenen Kennlinien (Kennlinien  $D_1$  und  $D_2$ ) werden zusammen von dem Strom  $I = 100 \text{ mA}$  durchflossen.

- a) Wie groß sind die in den einzelnen Dioden fließenden Teilströme  $I_1$  und  $I_2$  für die Schaltung a)?  
(Kurzlösung:  $I_1 = 40 \text{ mA}$ ,  $I_2 = 60 \text{ mA}$ )
- b) Welcher Widerstand  $R$  ist nach Schaltung b) in Reihe mit der Diode 2 zu schalten, damit der Gesamtstrom  $I = 100 \text{ mA}$  sich gleichmäßig auf beide Dioden verteilt? (Kurzlösung:  $R = 1,2 \Omega$ )

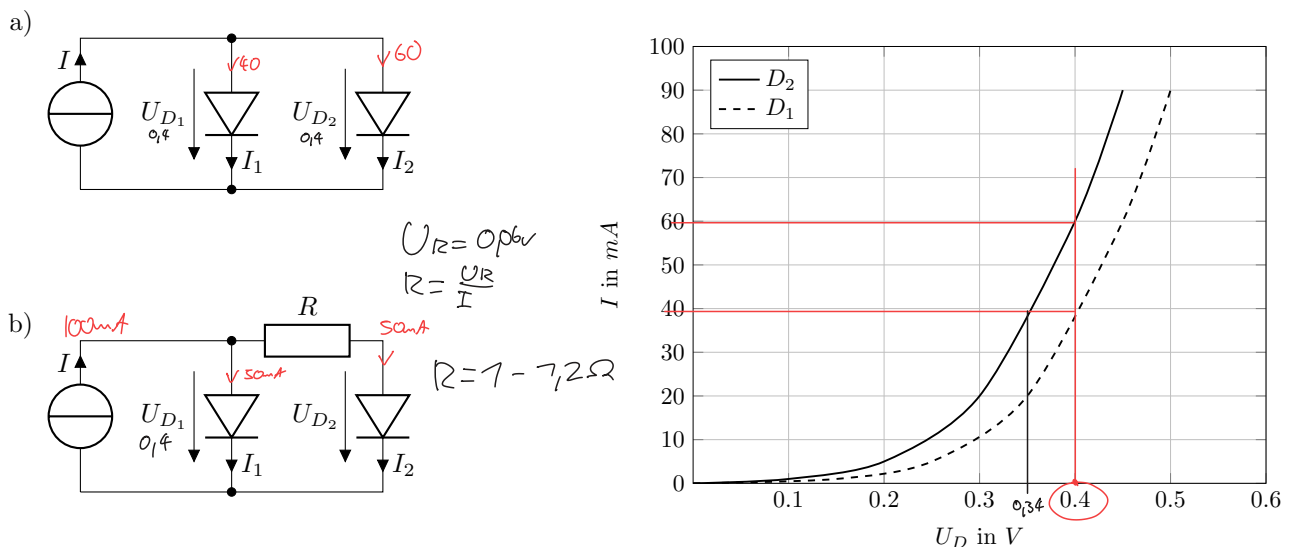


Abbildung 1.1: Schaltungen mit zwei Dioden (links) und die Kennlinien der beiden Dioden (rechts).

### 1.2 Fotoelement (5 P)

Gegeben sei die Schaltung mit Solarzelle (Fotodiode im Fotoelementbetrieb) in Abb. 1.2 links und die Kennlinie der Solarzelle in Abb. 1.2 rechts.

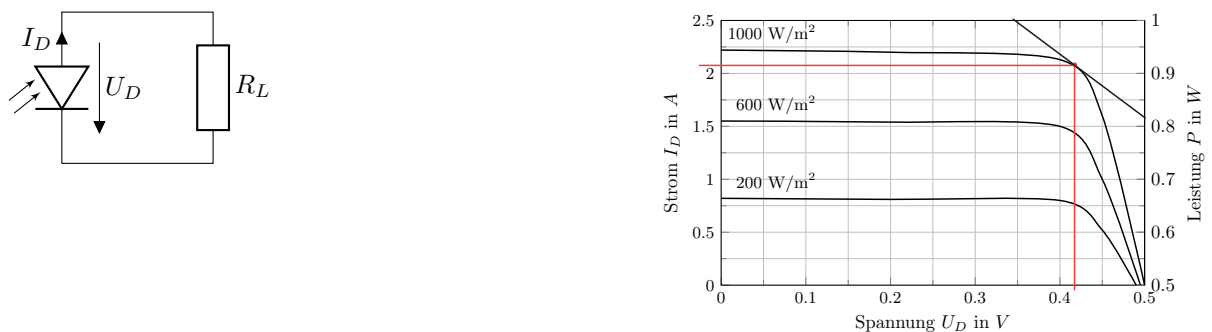


Abbildung 1.2: Schaltung mit Solarzelle und deren Kennlinie

- a) Bestimmen Sie den Verlauf der abgegebenen Leistung der Solarzelle für eine Bestrahlung von  $1000 \text{ W/m}^2$  und tragen Sie diese mit Hilfe der rechten y-Achse in das Diagramm auf dem Bearbeitungsbogen ein. Beachten Sie, dass der Wertebereich dieser Achse von  $0,5 \text{ W}$  bis  $1 \text{ W}$  reicht. Wählen Sie mindestens vier Punkte.
- b) Berechnen Sie den Widerstand  $R_L$  bei dem die Solarzelle die maximale Leistung abgibt. (Kurzlösung:  $R \approx 0,2 \Omega$ )

### 1.3 Spannungsstabilisierung mit Z-Diode (13 P)

Mit Hilfe einer Spannungsquelle  $U_e(t)$  soll eine Glühlampe betrieben werden. Der Spannungsverlauf entspricht einer Sägezahnspannung und kann Abb. 1.3 rechts entnommen werden. Die Glühlampe kann durch den Widerstand  $R_L = 80 \Omega$  beschrieben werden. Die maximal zulässige Betriebsspannung  $U_{L,max}$  der Glühlampe beträgt  $6 V$ , weshalb eine Z-Diode parallelgeschaltet wurde (s. Abb. 1.3 links). Aus dem Datenblatt der verbauten Z-Diode haben Sie folgende Informationen:

$$r_Z = 5 \Omega \quad U_{z,0} = 5 V \quad I_{z,min} = 25 mA$$

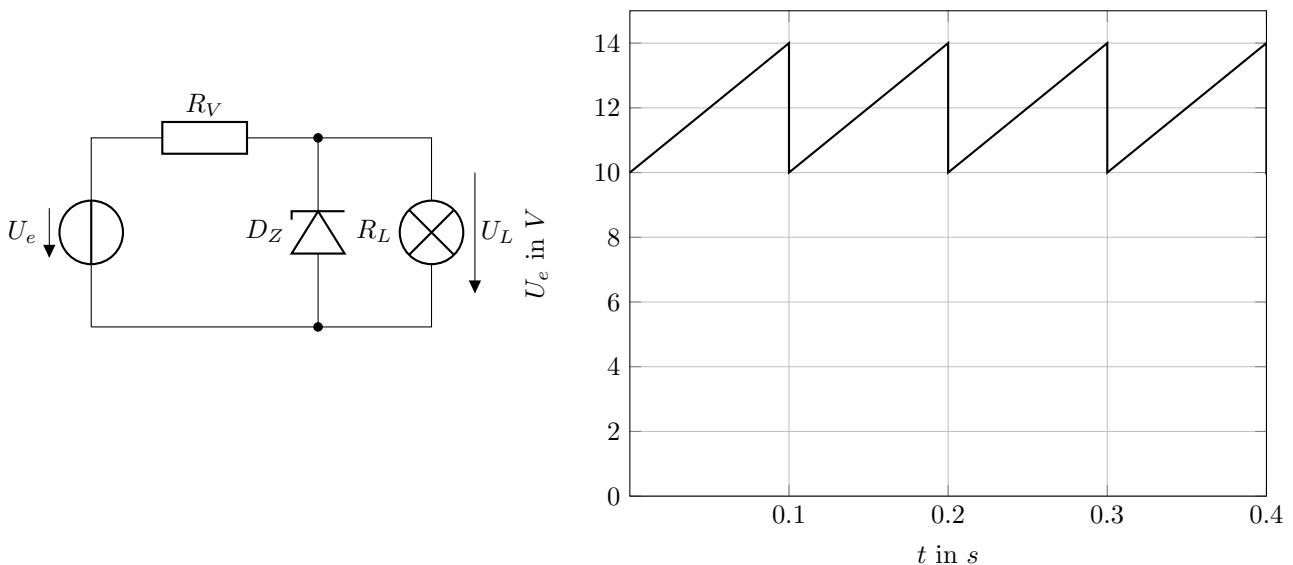
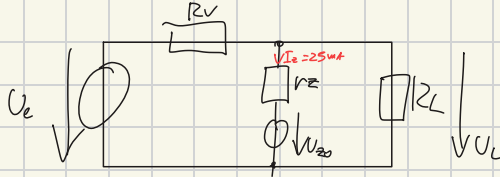


Abbildung 1.3: Schaltung mit Z-Diode und Eingangsspannungsverlauf

- Ersetzen Sie die Z-Diode mit ihrem Ersatzschaltbild. Zeichnen Sie die vollständige Schaltung aus Abb. 1.3.
- Berechnen Sie den Vorwiderstand  $R_{V,max}$ , sodass  $I_{z,min}$  nicht unterschritten wird. (**Kurzlösung:**  $R_{V,max} = 54,74 \Omega$ )
- Dimensionieren Sie den Vorwiderstand  $R_V$ , sodass  $U_{L,max} = 6 V$  für den gegebenen Eingangsspannungsverlauf auf keinen Fall überschritten wird. Gehen Sie für diesen Aufgabenteil von einer unbelasteter Schaltung aus ( $R_L \rightarrow \infty$ ). (**Kurzlösung:**  $R_V = 40 \Omega$ )
- Berechnen Sie die Ausgangsspannung  $U_L$  und zeichnen Sie deren Verlauf in das Diagramm zur Eingangsspannung auf dem Bearbeitungsbogen ein. Welcher Glättungsfaktor  $G = \frac{\Delta U_e}{\Delta U_L}$  ergibt sich hieraus? Nehmen Sie  $R_V = 45 \Omega$  an. (**Kurzlösung:**  $G \approx 10$ )

2

$$I_{Z \min} = 25 \text{ mA}$$



$$U_{R2} = 5 \Omega \cdot 25 \text{ mA} = 0,125 \text{ V}$$

$$U_Z = 5,125 \text{ V}$$

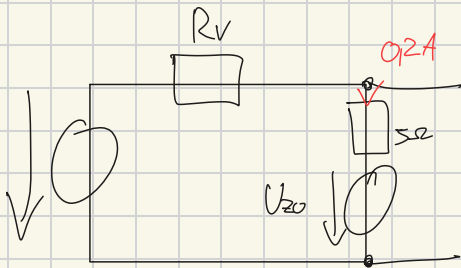
$$I_L = \frac{U_Z}{R_L} = \frac{5,125 \text{ V}}{80 \Omega} = 0,064 \text{ A} = 64 \text{ mA}$$

$$I_S = I_Z + I_L = 85 \text{ mA}$$

$$R_L = \frac{U_e - U_Z}{85 \text{ mA}} = \frac{14 \text{ V} - 5,125 \text{ V}}{85 \text{ mA}} = 55,72 \Omega$$

$$\frac{10 \text{ V} - 5,125 \text{ V}}{85 \text{ mA}} = 54,78 \Omega$$

Warum für 10V anstatt 14V

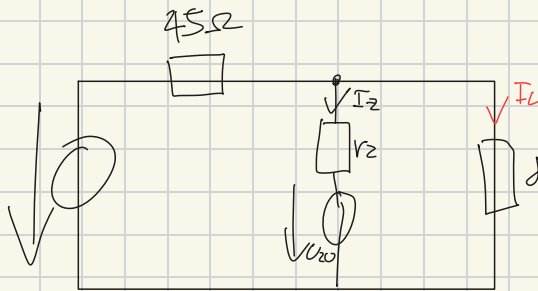


$$U_{R2} = U_L - U_{Z0} = 6 \text{ V} - 5 \text{ V} = 1 \text{ V}$$

$$I_Z = \frac{1 \text{ V}}{5 \Omega} = 0,2 \text{ A}$$

$$U_L = U_Z = 6 \text{ V} \quad U_e = 14 - 6 = 8 \text{ V}$$

$$R_V = \frac{U_e - U_Z}{I_{ges}} = \frac{8 \text{ V}}{0,2 \text{ A}} = 40 \Omega$$



$$I_{Z \max} = 10 \cdot I_{Z \min} = 250 \text{ mA}$$

$$I_L = \frac{6 \text{ V}}{80 \Omega} = 75 \text{ mA}$$

$$I_Z = 200 \text{ mA}$$

$$I_S = 275 \text{ mA} \rightarrow \max 325 \text{ mA}$$

$$U_e = 4 - 8 \text{ V}$$

2

## Aufgabe 2 - Transistoren (30 P)

### 2.1 Bipolartransistoren als Schalter (8 P)

Gegeben sei die elektrische Schaltung mit einem Bipolartransistor, welcher als Schalter betrieben wird (siehe Abbildung 2.1). Folgende Größen seien bekannt:

$$U_0 = 22,5 \text{ V} \quad R_L = 900 \, \Omega$$

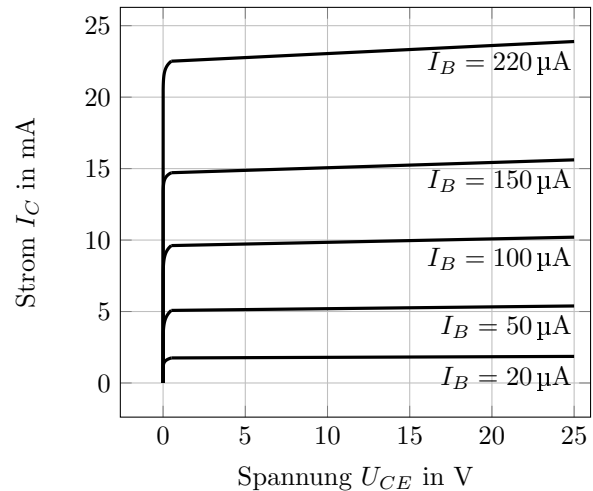
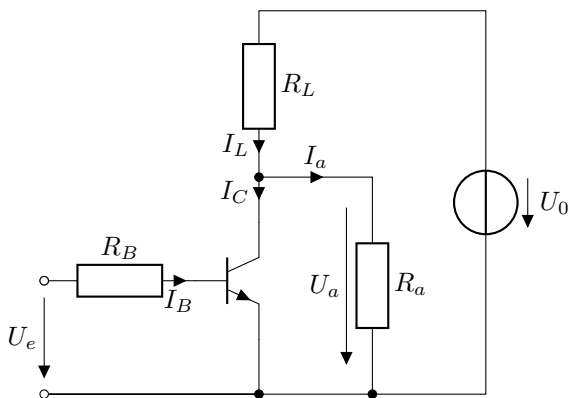


Abbildung 2.1: Schaltung mit Bipolartransistor

- Zunächst ist die Eingangsspannung  $U_e = 0 \text{ V}$ . Wie groß ist der Strom  $I_C$  für diesen Zustand? Bestimmen Sie den Widerstandswert von  $R_a$  so, dass  $U_a = 20 \text{ V}$  beträgt. (**Kurzlösung:**  $R_a = 7,2 \text{ k}\Omega$ )
- Berechnen Sie  $I_C$  in Abhängigkeit von  $U_{CE}$ ,  $U_0$ ,  $R_a$  und  $R_L$ . Zeichnen Sie diese Funktion mit berechneten bzw. gegebenen Zahlenwerten als Arbeitsgerade in das Ausgangskennlinienfeld ein.
- Die Eingangsspannung wird nun auf  $U_e = 2,5 \text{ V}$  eingestellt. Dimensionieren Sie  $R_B$  damit der Arbeitspunkt bei  $U_{BE} = 0,7 \text{ V}$  liegt. Der entsprechende Basisstrom beträgt  $I_B = 220 \mu A$ . Welche Spannung  $U_a$  liegt nun am Ausgang an? (**Kurzlösung:**  $R_B \approx 8,2 \text{ k}\Omega$ ,  $U_a \approx 2 \text{ V}$ )

**Hinweis:** Konnten Sie Aufgabenteil a) nicht lösen, verwenden Sie  $R_a = 1,8 \text{ k}\Omega$  für b).

## 2.2 Bipolartransistor (8,5 P)

Gegeben sei die elektrische Schaltung mit einem Bipolartransistor gemäß Abbildung 2.2.

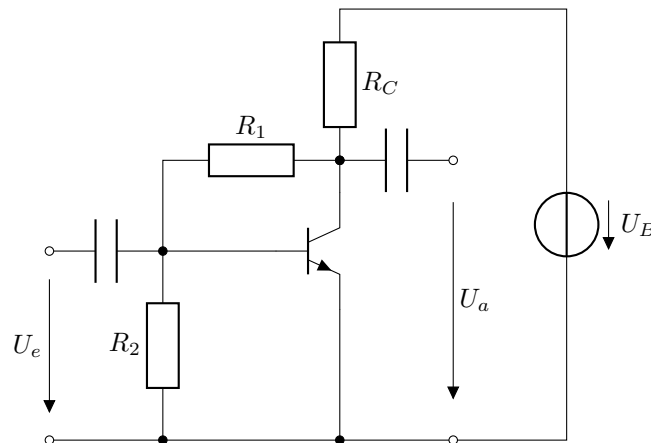


Abbildung 2.2: Elektrische Schaltung mit Bipolartransistor

- a) Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild. Die Schaltung wird in einem Frequenzbereich betrieben, bei dem die Kondensatoren einen Kurzschluss darstellen. Verwenden Sie das Kleinsignalersatzschaltbild eines Bipolartransistors aus der Formelsammlung.
- b) Ermitteln Sie die Kleinsignalverstärkung  $V$  in Abhängigkeit von  $S$ ,  $R_1$  und  $R_C$ . Folgende Annahmen zur Vereinfachung sind erlaubt:  $r_{CE} \rightarrow \infty$ . (**Kurzlösung:**  $V = \frac{1 - S \cdot R_1}{R_1/R_C + 1}$ )

## 2.3 MOSFET (13,5 P)

Gegeben sei eine Verstärkerschaltung mit einem Feldeffekttransistors in Abb. 2.3 links und das Ausgangskennlinienfeld des verbauten Feldeffekttransistors rechts. Es seien folgende Größen bekannt:

$$U_0 = 30 \text{ V} \quad R_S = 200 \Omega \quad R_D = 1,8 \text{ k}\Omega \quad R_{G,2} = 360 \text{ k}\Omega$$

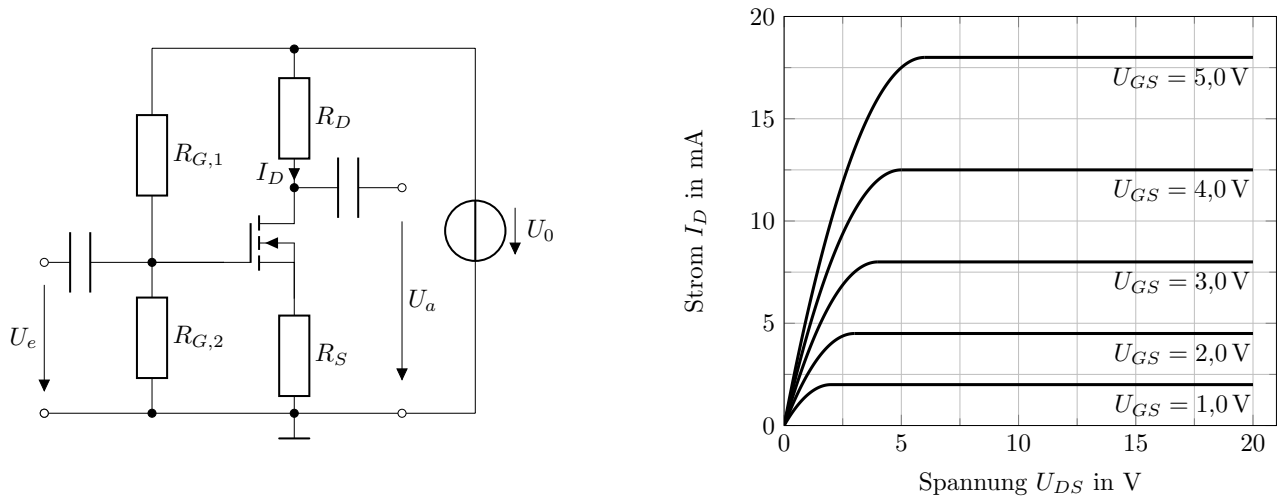


Abbildung 2.3: Verstärkerschaltung und Ausgangskennlinienfeld des Feldeffekttransistors

- Welche Grundschialtung liegt in Abb. 2.3 vor?
- Zeichnen Sie die Arbeitsgerade in das Ausgangskennlinienfeld **auf dem Bearbeitungsbogen**. Die Gate-Source-Spannung im Arbeitspunkt sei  $U_{GS,AP} = 3 \text{ V}$ . Ermitteln Sie den Drainstrom im Arbeitspunkt  $I_{D,AP}$  und die Drain-Source-Spannung im Arbeitspunkt  $U_{DS,AP}$ . Bestimmen Sie außerdem  $R_{G,1}$  für den eingestellten Arbeitspunkt. (**Kurzlösung:**  $I_{D,AP} \approx 8 \text{ mA}$ ,  $U_{DS,AP} \approx 9 \text{ V}$ ,  $R_{G,1} \approx 1,6 \text{ M}\Omega$ )
- Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild für die elektrische Schaltung aus Abb. 2.3. Die Kondensatoren können hierbei kurzgeschlossen werden. Verwenden Sie hierzu das Kleinsignalersatzschaltbild eines Feldeffekttransistors aus der Formelsammlung.
- Bestimmen Sie die Spannungsverstärkung  $V$  in Abhängigkeit von  $R_D$ ,  $R_S$  und der Steilheit  $S$ . Geben Sie dabei von  $r_{GS} \rightarrow \infty$  und  $r_{DS} \rightarrow \infty$  aus. (**Kurzlösung:**  $V = -\frac{S \cdot R_D}{1 + S \cdot R_S}$ )

## Aufgabe 3 - Operationsverstärker (15,5 P)

### 3.1 Integro-Differentialgleichung mit Operationsverstärker (6 P)

Gegeben ist die folgende Gleichung, die sowohl einen Differenzial- als auch einen Integralanteil enthält:

$$U_a(t) = k_1 \int U_e(t) dt - k_2 \frac{dU_e(t)}{dt} - k_3 U_e(t) \text{ mit } k_1 > 0, k_2 > 0 \text{ und } k_3 > 0$$

- Realisieren Sie diese Differentialgleichung mit idealen Operationsverstärkern, indem Sie eine entsprechende Schaltung zeichnen.
- Geben Sie die Koeffizienten  $k_1$ ,  $k_2$  und  $k_3$  in Abhängigkeit der von Ihnen gewählten elektrischen Bauteile an.

### 3.2 Operationsverstärkerschaltung (5 P)

Gegeben sei die Schaltung aus Abb. 3.1 mit einem idealen Operationsverstärker.

$$R_2 = R_3 \quad R_1 = R_4 = 100 \, \Omega$$

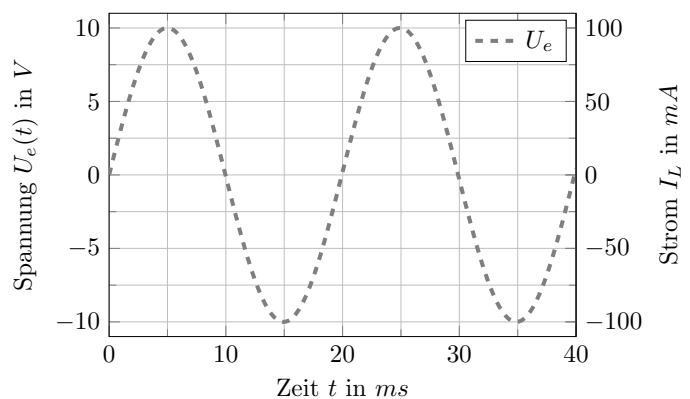
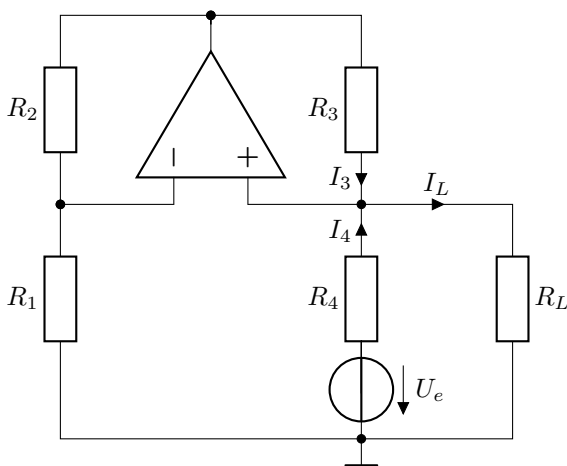


Abbildung 3.1: Elektrische Schaltung mit OPV und der Eingangsspannungsverlauf  $U_e(t)$

Berechnen Sie den Strom  $I_L$ . Zeichnen Sie den Verlauf von  $I_L$  in das Diagramm auf den Bearbeitungsbogen und nutzen Sie hierbei die rechte y-Achse. (**Kurzlösung:**  $I_L = \frac{U_e}{R_4}$ )

**Hinweis:** Es handelt sich hierbei um eine Gegenkopplung.

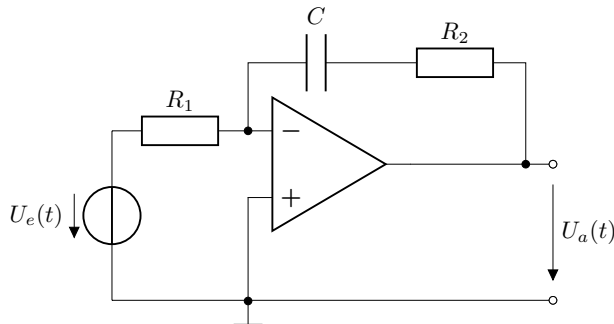


### 3.3 Übertragungsfunktion (4,5 P)

Gegeben sind die Schaltungen aus Abb. 3.2 mit idealen Operationsverstärkern. Geben Sie die Übertragungsfunktion  $\nu_1(\omega, C, R_2, R_1)$  für Abb. 3.2a) und  $\nu_2(\omega, L, R_1, R_2, R_3)$  für Abb. 3.2b) an.

(Kurzlösung:  $\nu_1 = -\frac{R_2 + \frac{1}{j\omega C}}{R_1}$ ,  $\nu_2 = 1 + \frac{(R_1 + j\omega L) \cdot R_2}{(R_1 + j\omega L + R_2) \cdot R_3}$ )

a)



b)

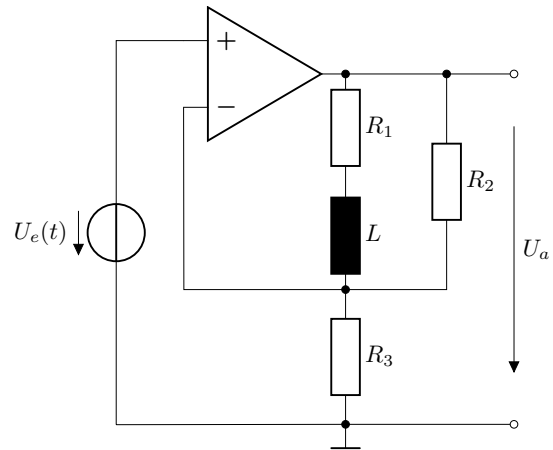


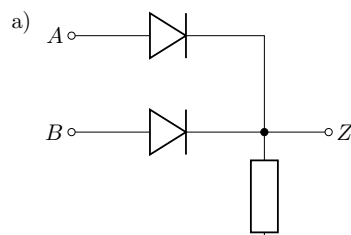
Abbildung 3.2: Elektrische Schaltung mit idealen Operationsverstärkern

**Hinweis:** Die Impedanz eines Kondensators wird durch  $Z_C = \frac{1}{j\omega C}$  und die einer Spule durch  $Z_L = j\omega L$  beschrieben.

## Aufgabe 4 - Digitaltechnik (11 P)

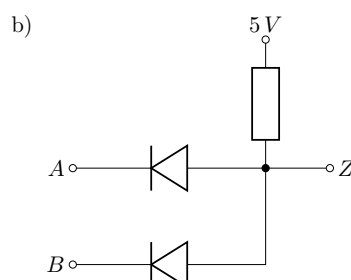
### 4.1 Technische Realisierung von Grund-Gattern (3 P)

In Abb. 4.1 sind zwei Logik-Gatter mit Dioden technisch umgesetzt worden. Die Dioden seien ideal. Eingang A und B können entweder die Spannung 5 V oder 0 V annehmen. In der nebenstehenden Tabelle sind alle möglichen Kombinationen aufgeführt. Ergänzen Sie die Spannungen die jeweils an Z anliegt **auf dem Bearbeitungsbogen**. Welches Logik-Gatter ist dementsprechend in a) und b) umgesetzt?



A	B	Z
0 V	0 V	0 V
0 V	5 V	5 V
5 V	0 V	5 V
5 V	5 V	5 V

Oder



A	B	Z
0 V	0 V	0 V
0 V	5 V	0 V
5 V	0 V	0 V
5 V	5 V	5 V

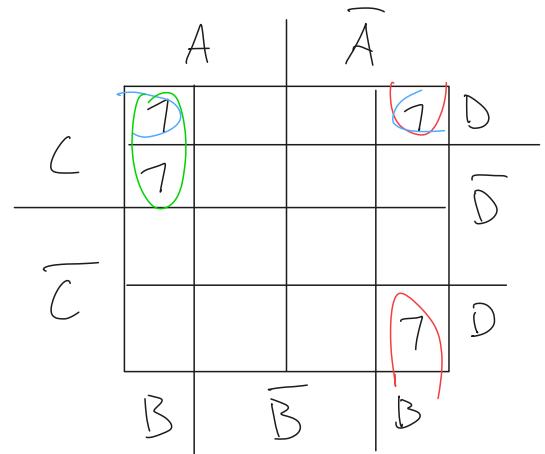
Und

Abbildung 4.1: Technische Realisierung von Logikgattern

## 4.2 Wahrheitstabelle (8 P)

Gegeben sei die Wahrheitstabelle gemäß Abb. 4.2.

A	B	C	D	Z
0	0	0	0	0
0	0	0	1	0
0	0	1	0	0
0	0	1	1	0
0	1	0	0	0
0	1	0	1	1
0	1	1	0	0
0	1	1	1	1
1	0	0	0	0
1	0	0	1	0
1	0	1	0	0
1	0	1	1	0
1	1	0	0	0
1	1	0	1	0
1	1	1	0	1
1	1	1	1	1



$$Z = (\bar{A} \wedge D \wedge B) \vee (B \wedge C \wedge D) \vee (A \wedge B \wedge C) \vee (B \wedge \bar{A} \wedge D) \vee (C \wedge D) \vee (A \wedge C)$$

Abbildung 4.2: Wahrheitstabelle

- Bestimmen Sie mit Hilfe des KV-Diagramms **auf dem Bearbeitungsbogen** die optimale Funktionsgleichung. (**Kurzlösung:**  $Z = A \wedge B \wedge C \vee \bar{A} \wedge B \wedge D$ )
- Realisieren Sie ein Schaltnetz zur Funktionsgleichung aus Aufgabenteil a) nur mit NOR-Gattern.

**Hinweis:** Konnten Sie Aufgabenteil a) nicht lösen, fahren Sie mit folgender (falschen) Funktionsgleichung fort:  $Z = B \wedge \bar{D} \vee \bar{A} \wedge \bar{C} \wedge \bar{D} \vee A \wedge B \wedge \bar{D}$ .

$$Z = (\bar{A} \wedge D \wedge B) \vee (B \wedge C \wedge D) \vee (A \wedge B \wedge C)$$

