



Hochschule Wismar
Fakultät für Ingenieurwissenschaften
Bereich Elektrotechnik und Informatik

Übungsaufgaben
zur Vorlesung
Bauelemente und Schaltungen

Prof. Dr.-Ing. Ingo A. R. Müller

Dipl.-Ing. Ullrich Eismann
Dipl.-Ing. Benno Mossau

© 2004
Version 01.03.2019

Vorwort

Die vorliegende Aufgabensammlung enthält Übungsaufgaben zur Vorlesung Bauelementen und Schaltungen I und II im Studiengang Elektrotechnik, die ich an der Hochschule Wismar im 3. und 4. Semester halte.

Die Aufgaben sollen einerseits zur Vertiefung des in der Vorlesung behandelten Stoffes dienen und andererseits Anregungen zum Selbststudium bieten.

Die Studierende sollen zu den Seminaren und Übungen die zu behandelnden Aufgaben selbständig vorbereiten und in den Seminaren und Übungen die Rechenwege und aufgetretenen Probleme und Schwierigkeiten diskutieren, um dann zu einer gemeinsamen Lösung zu finden.

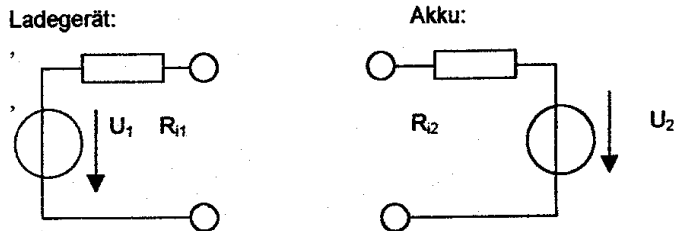
Ich danke meinen Mitarbeitern Herrn Dipl.-Ing. Eismann und Herrn Dipl.-Ing. Mossau sehr herzlich für die Unterstützung sowie für die vielen konstruktiven Hinweise, die in diese Aufgabensammlung eingeflossen sind.

1 Inhalt

1	Inhalt	5
2	Einführung	Fehler! Textmarke nicht definiert. 7
3	Halbleiterphysik.....	10
4	Dioden.....	12
5	Bipolartransistorschaltungen	19
6	Unipolartransistorschaltungen	31
7	Spezialschaltungen.....	35
8	Leistungselektronik.....	39
9	Optoelektronik	40
10	Operationsverstärker	41
11	Schaltalgebra.....	50
12	IC Familien	51
13	Schaltungen der Digitaltechnik.....	52
14	Speicher- und Prozessorschaltungen	55

2 Einführung

2.1 Zweipoltheorie



Ein Ladegerät für Blei-Gel-Akkus (6V, 4Ah) besitzt einen umschaltbaren Innenwiderstand für den normalen Ladevorgang mit $R_{i1} = 4\Omega$ die Erhaltungsladung mit $R_{i2} = 200\Omega$

Die Leerlaufspannung beträgt $U_1 = 9V$.

Über den Akku sind folgende Werte bekannt:

Leerlaufspannung im geladenen Zustand (danach Gasung)-	$U_{2max} = 7,0V$ (6,9V)
Leerlaufspannung im entladenen Zustand -	$U_{2min} = 5,0V$
Innenwiderstand -	$R_i = 1\Omega$

Berechnen Sie:

- den Kurzschlussstrom des Ladegerätes bei Normal- und Erhaltungsladung
- den Kurzschlussstrom des Akkus im geladener und entladenen Zustand
- die Ladeströme bei entladener und geladener Batterie
- die Erhaltungsladeströme bei geladener und entladener Batterie
- den max. Kurzschlussstrom bei Falschpolung
- die Ladezeit bei Normal- und Erhaltungsladung
- die max. Betriebsdauer einer Fahrradlichtanlage 6V / 350mA Frontlicht, 150 mA Rücklicht
- den Leistungsumsatz im Akku bei Erreichen der Ladeendspannung im Normal- und Erhaltungsbetrieb
- Sie schließen einen leeren Akku und einen halbvollen Akku ($U = 6V$) gleichzeitig an das Ladegerät im Normalladungsmodus an. Mit welchen Strömen werden die Akkus anfänglich geladen bzw. entladen.
- Sie betreiben gleichzeitig die Beleuchtung an einem vollen Akku und dem Ladegerät im Normalmodus.

Welche Spannung messen Sie an den Klemmen der Beleuchtung?

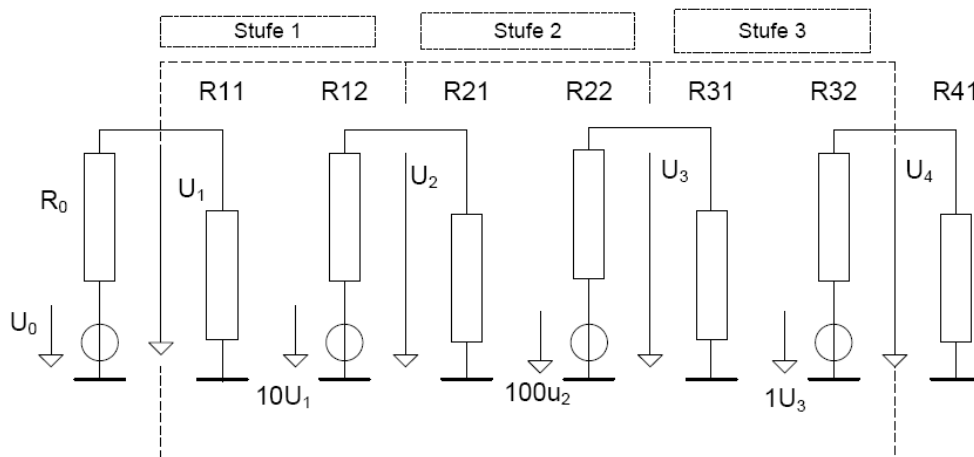
2.2 Verstärker

Ein Verstärker wird an einer Spannungsquelle $\pm 10\text{V}$ betrieben. Er wird mit einem Sinussignal mit einer Amplitude von 1V gespeist. An einem Lastwiderstand von $1\text{k}\Omega$ wird eine Amplitude von 9V gemessen. Aus jeder Spannungsquelle zieht der Verstärker einen mittleren Strom von $9,5\text{mA}$. Die Amplitude des Eingangsstroms beträgt $0,1\text{mA}$. Berechnen Sie:

- Spannungs-, Strom- und Leistungsverstärkung
- Die von den DC-Spannungsquellen bezogenen Leistung

2.3 Mehrstufiger Verstärker

Ein dreistufiger Verstärker wird von einer Signalquelle mit einer Quellimpedanz von $100\text{k}\Omega$ gespeist und treibt am Ausgang einen Lastwiderstand von 100Ω .



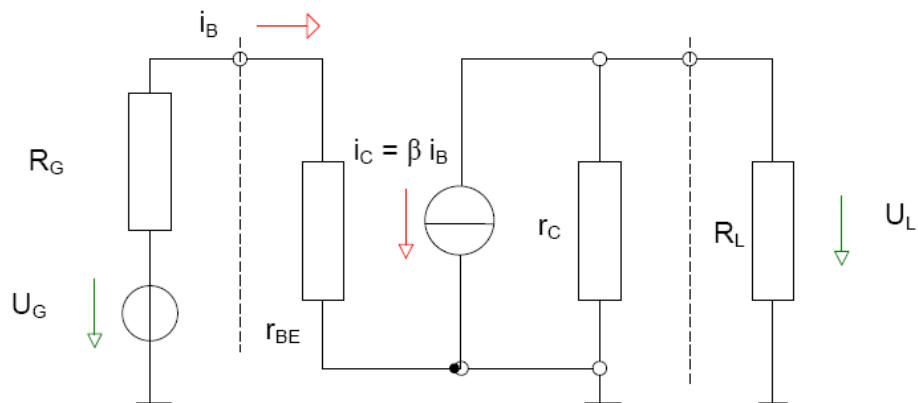
$$R_{11} = 1\text{M}\Omega \quad R_{21} = 100\text{k}\Omega \quad R_{31} = 10\text{k}\Omega \quad R_{41} = 100\Omega$$

$$R_0 = 100\text{k}\Omega \quad R_{12} = 1\text{k}\Omega \quad R_{22} = 1\text{k}\Omega \quad R_{32} = 10\Omega$$

Bestimmen Sie für diesen Verstärker:

- die Gesamtspannungsverstärkung
- die Gesamtstromverstärkung
- die Leistungsverstärkung

2.4 Bipolartransistor als Verstärker



Gegeben ist eine Emitterstufe an einem Generator mit $1\text{k}\Omega$ Ausgangswiderstand. Sie treibt einen Lastwiderstand von $1\text{k}\Omega$. Die Stromverstärkung des Transistors beträgt $\beta_N = 90$, der differentielle Eingangswiderstand beträgt $r_{BE} = 2\text{k}\Omega$ und der differentielle Ausgangswiderstand beträgt $r_C = 200\text{k}\Omega$.

Bestimmen Sie:

- die Spannungsverstärkung bezogen auf die Generatorspannung U_G
- die Stromverstärkung
- die Leistungsverstärkung

3 Halbleiterphysik

- 3.1** Erläutern Sie folgende Begriffe: Eigenhalbleiter, Paarbildung, Rekombination, Generation.
- 3.2** Stellen Sie einen Störstellenhalbleiter n-leitend und p-leitend im Bändermodell dar. Kennzeichnen Sie die entsprechenden Energieniveaus.

3.3 Konzentrationsverlauf

Ein Si-Halbleiter ist mit Akzeptoratomen $N_A = 3 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ dotiert. Berechnen Sie die Elektronen- und Defektelektronendichte bei Raumtemperatur.
Um welchen Leitungstyp handelt es sich?
Stellen Sie den Konzentrationsverlauf grafisch einem Eigenhalbleiter gegenüber.
(logarithmisch Darstellung!) $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$

3.4 Spezifischer elektrischer Widerstand, elektrische Leitfähigkeit

Berechnen Sie den spezifischen elektrischen Widerstand und die elektrische Leitfähigkeit von reinem Silizium bei den Temperaturen $T = 300\text{K}$ und $T = 310\text{K}$.

$$n_i(T = 300\text{K}) = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$$

$$\mu_n = 1350 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$$

$$\mu_p = 489 \cdot \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$$

$$k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Ws}}{\text{K}}$$

3.5 Dotierung, Nachdotierung

In einem mit Bor dotierten Si – Halbleiter (Dotierungsdichte 10^{15} cm^{-3}) wird Phosphor mit einer Konzentration von 10^{17} cm^{-3} nachdotiert.
Berechnen Sie die Elektronen- und Defektelektronendichte vor und nach der Phosphordotierung.

3.6 Hall Effekt

Wie kann man mit Hilfe des Hall – Effekts folgendes bestimmen?

- a) den Leitungstyp eines Halbleiters
- b) die Konzentration der Ladungsträger
- c) die Beweglichkeit der Ladungsträger

3.7 Bandabstand und Material

An einem Thermistor wird folgende Temperaturabhängigkeit des Widerstandes gemessen:

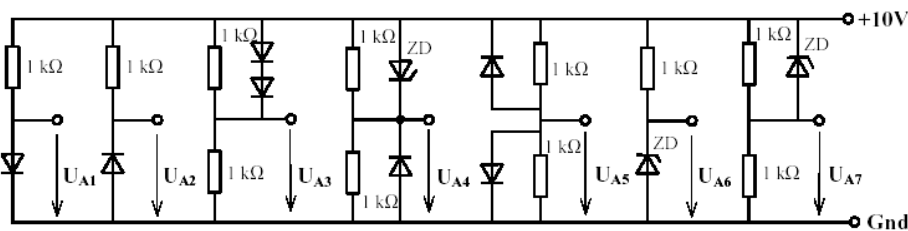
T[K]	294	308	329	350	370	403	430	460
R[kΩ]	100	50	20	10	5	2	1	0,5

Wie groß ist der Bandabstand des Halbleiters und um welches Material handelt es sich?

4 Dioden

- 4.1** Erläutern Sie den Aufbau und die Wirkungsweise eines pn – Übergangs am Bändermodell
- ohne äußere Spannung
 - bei Sperrpolung
 - bei Flusspolung
- 4.2** Berechnen Sie die Diffusionsspannung in einem Silizium pn – Übergang mit einer Akzeptorendichte von 10^{16} cm^{-3} und einer Donatorendichte von 10^{14} cm^{-3} bei einer Temperatur von 300K.
- 4.3** Für einen Silizium pn – Übergang mit einer Akzeptorendichte von 10^{17} cm^{-3} und einer Donatorendichte von 10^{15} cm^{-3} ist folgendes zu berechnen.
- die Breite der Sperrschicht bei den Spannungen 0V, -10V, -30V, -100V, -1000V
 - die bei den Sperrspannungen aus a) auftretenden Feldstärken in der Sperrschicht.
- 4.4** Berechnen Sie die zulässigen Sperrspannungen an einem Si pn – Übergang für folgenden Dotierungen:
- $n_A = 10^{17} \text{ cm}^{-3}$; $n_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$
 - $n_A = 10^{18} \text{ cm}^{-3}$; $n_D = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$
- bei einer Temperatur von $T = 300\text{K}$ und einer zulässigen Feldstärke (Durchschlagsfeldstärke) von 10kV/mm .
- 4.5** Berechnen Sie die Sperrschichtkapazität eines Si pn – Übergangs mit einem Querschnitt von $0,5\text{mm}^2$ Akzeptorendichte von 10^{17} cm^{-3} , einer Donatorendichte von 10^{15} cm^{-3} für die Sperrspannungen 0V, -5V, -10V, -30V.
Wofür kann man diese Eigenschaft nutzen?
- 4.6** Berechnen Sie die Kennlinie einer Si-Diode und stellen Sie sie grafisch dar.
- $$I_s = 10^{-13} \text{ A}$$
- $$P_{V_{\max}} = 100\text{mW}$$
- $$T = 25^\circ\text{C}$$
- Zeichnen Sie die Verlustleistungshyperbel ein und bestimmen Sie den maximal zulässigen Diodenstrom.
Bestimmen Sie die Flussspannung der Diode.

- 4.7** Berechnen Sie Temperaturabhängigkeit des Sperrstromes einer Silizium Diode für die Temperaturen 0°C, 10°C, 20°C, 25°C, 30°C, 35°C, 60°C. Der Sperrstrom bei 25°C betrage 1pA. Stellen Sie die Kennlinien für die Temperaturen 0°C, 10°C, 20°C und 30°C grafisch dar.
- 4.8** Berechnen Sie die Durchlasskennlinie einer Si-Diode bei den Temperaturen 0°C, 25°C, 50°C und stellen Sie sie grafisch dar. Wie kann ein pn-Übergang als Temperatursensor benutzt werden?
Berechnen Sie den Temperaturkoeffizienten.
- $$I_s (T = 298\text{K}) = 10^{-13} \text{ A}$$
- 4.9** Zeichnen Sie die Schaltung zur Zweiweggleichrichtung nach Graetz.
Zeichnen Sie die Ausgangsspannung bei sinusförmiger Eingangsspannung, und kennzeichnen Sie den Zustand (gesperrt, leitend) der jeweiligen Dioden.
Berechnen Sie den Mittelwert und den Effektivwert der zweiweggleichgerichteten Spannung.
- 4.10** Gegeben ist folgende Diodenschaltung:



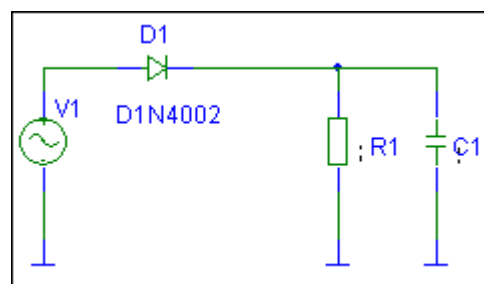
Bestimmen Sie für die angegebene Schaltung die Ausgangsspannung U_{AX} .

Beachte: Für jede in Durchlassrichtung betriebene Diode gilt $U_F = 0,7\text{V}$

Für die Z-Spannung gilt $U_Z = 6,2\text{V}$

- 4.11** Einweg – Gleichrichtung mit Diode (ideale Diode; Flussspannung = 0V),

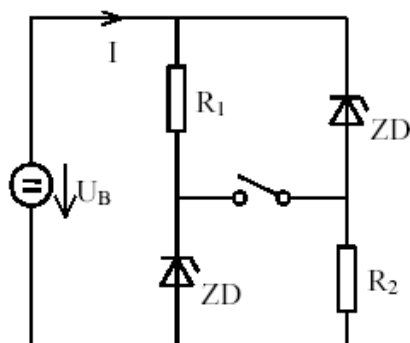
$$u_1(t) = \hat{U} \cdot \cos \omega t$$



- Zeichnen Sie den zeitlichen Verlauf der Kondensatorspannung bei cosinusförmiger Eingangsspannung. Kennzeichnen Sie die Stromflussdauer.
- Berechnen Sie den Diodenstrom innerhalb der Stromflusszeit.
- Mit welcher Zeitverzögerungszeit nach dem Spannungsmaximum sperrt die Diode? (allgemein und für $\frac{\tau}{T} = 1$)
- Bestimmen den Zusammenhang zwischen der Zeitkonstanten ($\frac{\tau}{T}$) und der Stromflussdauer ($\frac{\Delta T}{T}$). (Vernachlässigen Sie die Zeitverzögerung) Zeichnen Sie die Funktion $\frac{\Delta T}{T} = f\left(\frac{\tau}{T}\right)$

4.12 a) Zeichnen und erläutern Sie die Kennlinie einer Z – Diode.

- Berechnen Sie den Gesamtstrom bei offenem Schalter und bei geschlossenem Schalter.

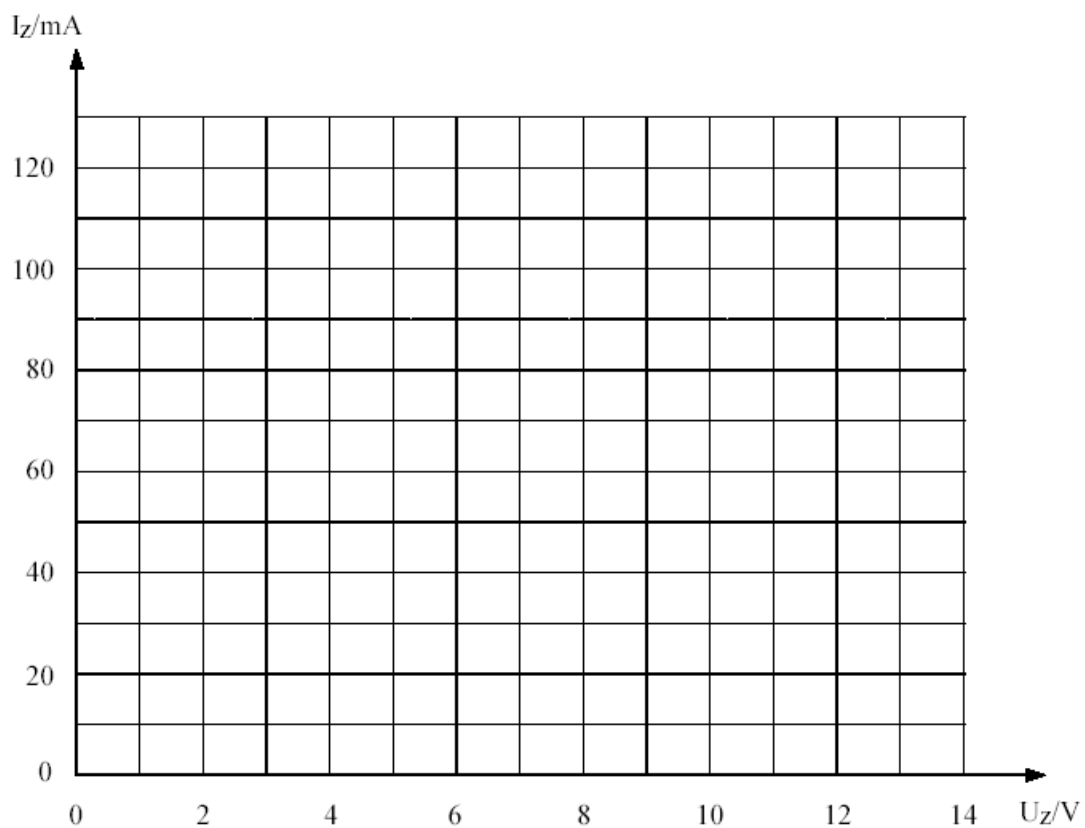


$$\begin{array}{l}
 U_S = +20 \text{ V} \\
 U_Z = 12 \text{ V} \\
 r_z = 0 \, \Omega \\
 R_1 = R_2 = 1 \text{ k}\Omega
 \end{array}
 \left. \vphantom{\begin{array}{l} U_S \\ U_Z \\ r_z \\ R_1 \end{array}} \right\} \text{ZD}_1 \text{ und}$$

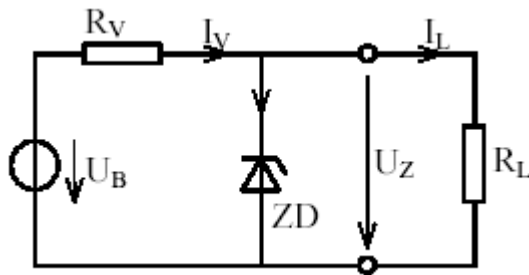
4.13 Bei der Ermittlung der Kennlinie einer Z – Diode wurden folgende Werte aufgenommen:

U_Z / V	0	1	2	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5
I_Z / mA	0	0	0	0,1	0,8	2	5	16	43	71	99

- a) Geben Sie für die linearisierte Kennlinie die Werte für U_{Z0} und r_Z an.
- b) Welchen Wert für I_{Zmin} würden Sie festlegen und warum?
- c) Ermitteln Sie den größten Strom I_{Zmax} für eine maximale Verlustleistung von $P_{tot} = 350mW$.



4.14 Gegeben ist folgende Schaltung:



$$U_B = 24V \pm 2V$$

$$U_Z = 15V$$

$$I_{Z\min} = 10mA$$

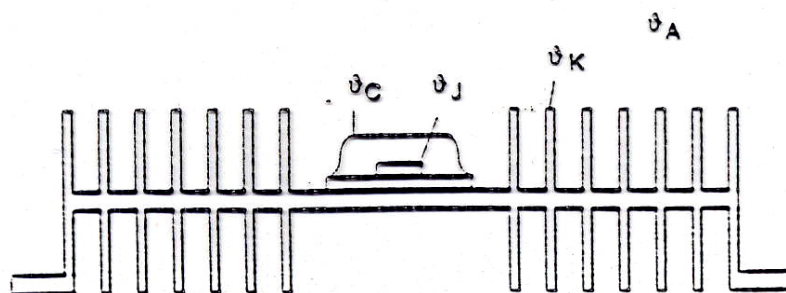
$$I_{Z\max} = 80mA$$

$$R_L = 500\Omega \dots \infty$$

$$r_Z = 0\Omega (\text{Annahme})$$

- Erläutern Sie die Funktion der Schaltung
- Bestimmen Sie den minimalen und maximalen Vorwiderstand R_V .
- Wählen Sie einen geeigneten Widerstand aus der E24 Reihe und berechnen Sie die maximale Verlustleistung des Vorwiderstands und der Z-Diode.

4.15 Berechnen Sie für einen Leistungstransistor im TO-3 Gehäuse den notwendigen thermischen Übergangswiderstand eines geeigneten Kühlkörpers.



- a) Geben Sie das thermische Ersatzschaltbild an.
- b) Berechnen Sie den notwendigen thermischen Übergangswiderstand des Kühlkörpers.
- c) Wählen Sie einen möglichen Kühlkörper aus. (Datenblatt)

Gegeben sind folgende Werte:

Max. Verlustleistung 10W

Grundfläche des Transistors $1,5\text{cm}^2$

Wärmekontaktwiderstand Metall / Metall $1\text{ cm}^2\text{ K/W}$

Max. Sperrschichttemperatur 120°C

Max. Umgebungstemperatur 70°C

Thermischer Widerstand $R_{\text{th,JC}} = 2\text{ K/W}$

Federkühlkörper

Spezial für den Einsatz auf gedruckten Schaltungen im Europa-Format.

Bestellnummer	0,43	60 kW	für TO-18
V 4508	0,39	60 kW	für TO-18
V 4415			für TO-39

Fingerkühlkörper mit Kombilothing

V 4527D	1,40	7 kW	46 x 46 x 13 mm
V 4554D	1,15	6 kW	46 x 46 x 25 mm

U-Kühlkörper

V 5074A	0,63	29 kW	25 x 14 x 15 mm
V 5616X	0,49	25 kW	35 x 17 x 13 mm

IC-Kühlkörper

V 5619A	0,35	48 kW	für 14/16pol
V 5619B	0,53	13 kW	für 24pol
V 5619C	0,79	11 kW	für 28pol
V 5619E	0,54	9 kW	für 40pol
V ICK E29	3,00		SMD-Kühlkörper

Rippen-Kühlkörper

V 4330F	2,25	10 kW	Länge: 50 mm
V 4330K	1,35	10 kW	Länge: 37,5 mm
V 4330N	0,79	12 kW	Länge: 20 mm

Spezial-Kühlkörper

V 5640A	0,68	20 kW	schwarz
V 5640B	1,00	20 kW	verzinkt/bleib
V 5641B	0,82	25 kW	verzinkt/bleib
V 5642B	0,88	14 kW	
V 5801B	0,65	25 kW	SE TO-220

Profilkühlkörper für TO-220 – TOP-3

V 5224C	3,75	3,5 kW	Länge: 37,5 mm
V 5224E	3,65	2,9 kW	Länge: 50 mm
V 5224G	7,75	2,4 kW	Länge: 75 mm

Profilkühlkörper mit Kombilothing

V 5512W	3,85	5,0 kW	Länge: 15 mm
V 5512C	4,65	2,7 kW	Länge: 37,5 mm
V 5512E	6,45	2,2 kW	Länge: 50 mm
V 5512G	7,60	1,9 kW	Länge: 75 mm

Profilkühlkörper für Leistungstransistoren

V 4511D	4,15	2,5 kW	Länge: 37,5 mm
V 4511F	4,45	2,2 kW	Länge: 50 mm
V 4511H	6,75	1,8 kW	Länge: 75 mm

Profilkühlkörper geeignet als Gehäuserückwand

V 7331E	9,60	2,2 kW	Länge: 50 mm
V 7331G	11,20	1,8 kW	Länge: 75 mm

Profilkühlkörper

V 6506E	14,85	1,2 kW	Länge: 50 mm
V 6506G	19,45	0,9 kW	Länge: 75 mm
V 6506K	23,45	0,7 kW	Länge: 100 mm

Profilkühlkörper

V 7494E	23,90	1,3 kW	Länge: 50 mm
---------	-------	--------	--------------

Profilkühlkörper

V 7495E	13,35	1,2 kW	Länge: 50 mm
---------	-------	--------	--------------

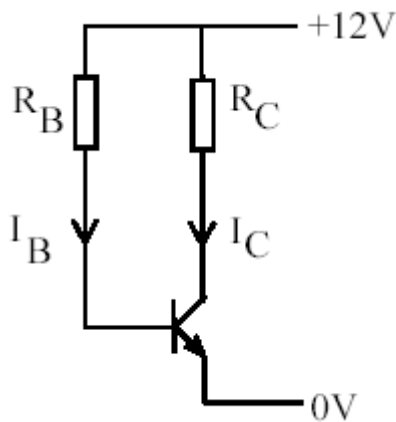
ONLINESHOPPING
www.reicht.de

5 Bipolartransistorschaltungen

5.1 Transistoreffekt

- Erklären Sie die Wirkungsweise des Bipolartransistors.
- Warum sind die Durchbruchspannungen der beiden pn - Übergänge unterschiedlich groß?
- Welcher der beiden pn - Übergänge hat die kleinere Durchbruchspannung?
- Geben Sie prinzipiell das Vierquadranten – Kennliniefeld des Bipolartransistors an.
Warum verlaufen die Ausgangskennlinien des Transistors nicht parallel zur Spannungsachse? Wie nennt man diesen Effekt.

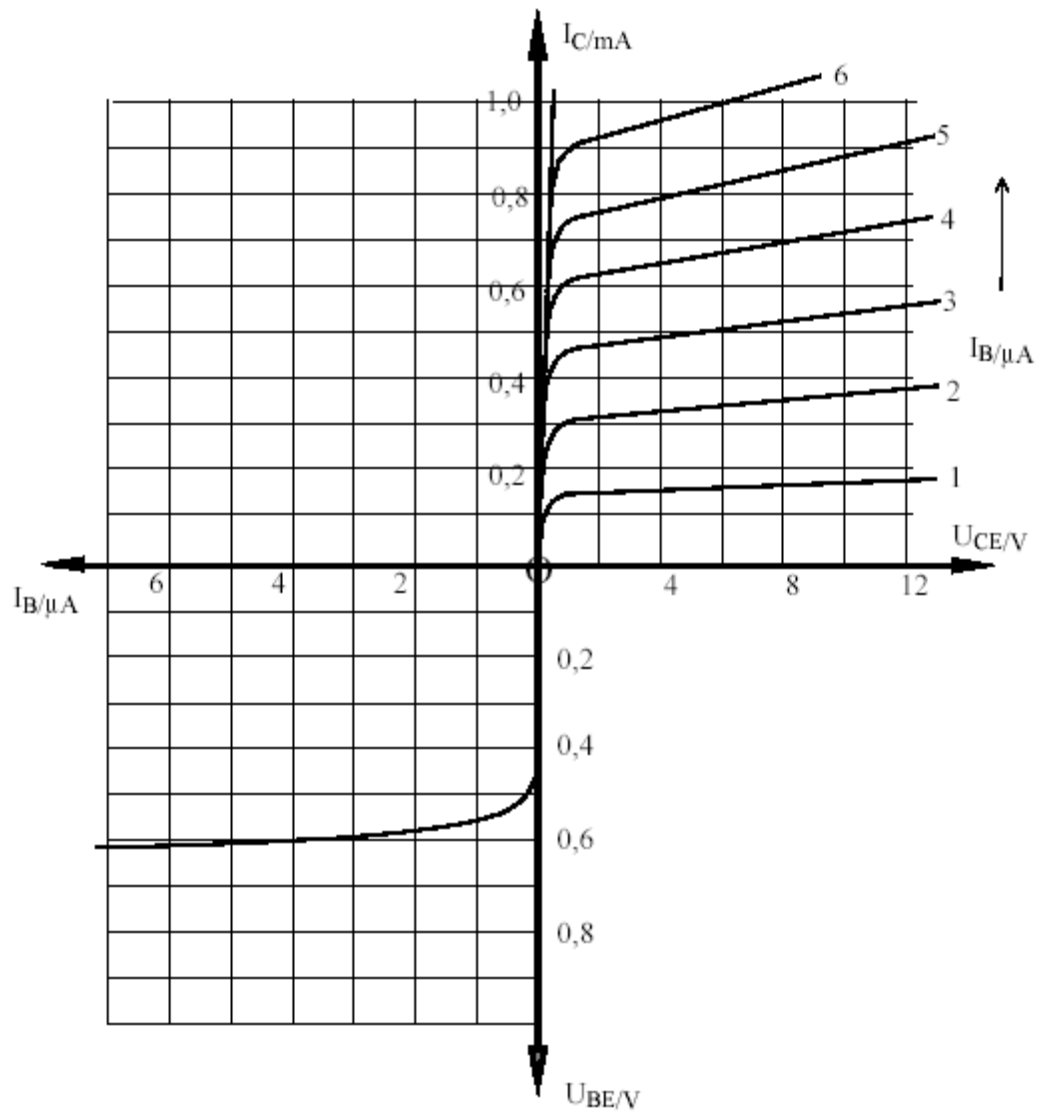
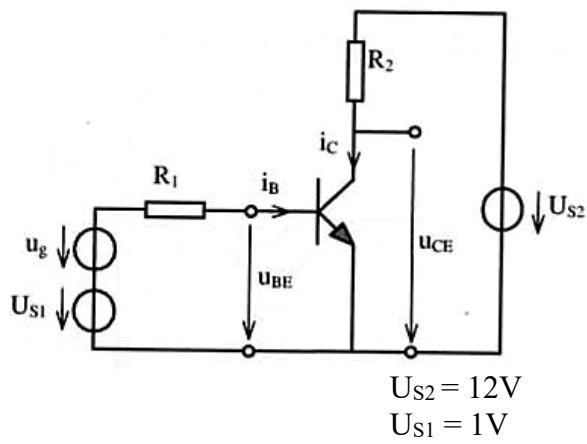
5.2 Einstellung eines Arbeitspunktes



Stromverstärkung $B_N = 163$ (ausgemessen); $U_{BE} = 0,6V$

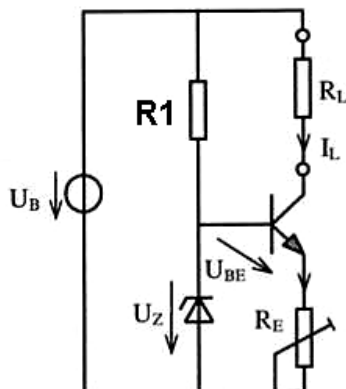
- Berechnen Sie den Basiswiderstand R_B damit ein Kollektorstrom von $I_C = 0,65mA$ fließt.
- Berechnen Sie den Kollektorwiderstand R_C , damit sich bei einem Kollektorstrom von $I_C = 0,65mA$ eine Kollektor-Emitter-Spannung $U_{CE} = 6V$ einstellt.

5.3 Kennlinienfeld des Bipolartransistors



- Legen Sie den Arbeitspunkt $U_{BE} = 0,6V$ $I_B = 4\mu A$ im Eingangskennlinienfeld fest. Berechnen Sie den erforderlichen Basiswiderstand R_1 . Zeichnen Sie die Widerstandsgerade in das Kennlinienfeld.
- Zeichnen Sie die Stromübertragungskurve für bei $U_{CE} = 6V$ ein und bestimmen Sie den Stromübertragungsfaktor B_N .
- Welcher Arbeitspunkt stellt sich im Ausgangskennlinienfeld mit einem Kollektorwiderstand von $R_C = 9,2k\Omega$ ein?
- Bestimmen Sie grafisch den dynamischen Eingangswiderstand des Transistors im angegebenen Arbeitspunkt. Welchem h-Parameter entspricht dieser Wert?
- Bestimmen Sie grafisch den dynamischen Ausgangswiderstand des Transistors im angegebenen Arbeitspunkt. Welchem h-Parameter entspricht dieser Wert?

5.4 Gleichstromanwendung des Bipolartransistors

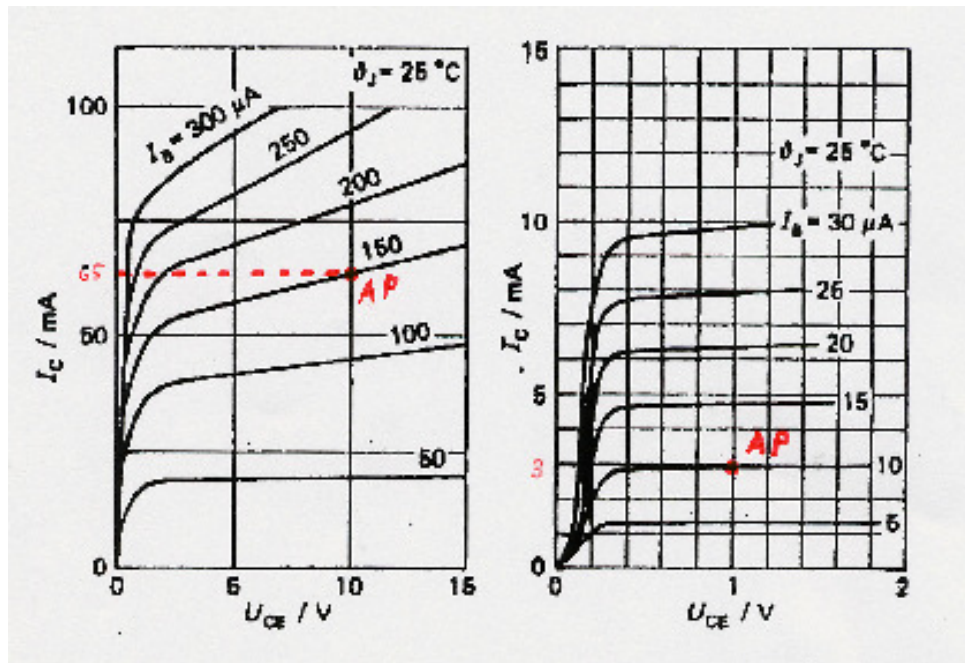


$$\begin{aligned}
 U_B &= 12V \\
 U_Z &= 7,2V \\
 I_{Zmin} &= 5mA \\
 U_{BE} &= 0,6V
 \end{aligned}$$

- Welche Funktion hat die Schaltung?
- Dimensionieren Sie die Widerstände, so dass sich ein Laststrom von 50mA einstellt.
- Wie groß ist die auftretende Verlustleistung des Transistors bei $R_L = 0$?
- Bestimmen Sie den maximalen Lastwiderstand, bei dessen Überschreitung die Schaltung ihre Eigenschaften verliert.

5.5 Statische und dynamische Innenwiderstände aus der Kennlinie

Entnehmen Sie dem 1. Quadranten des Kennlinienfeldes für den Transistor BCY 58 den statischen und dynamischen Innenwiderstand für die Arbeitspunkte: ($U_{CE} = 10V$, $I_B = 150\mu A$) und ($U_{CE} = 1V$, $I_B = 10\mu A$)



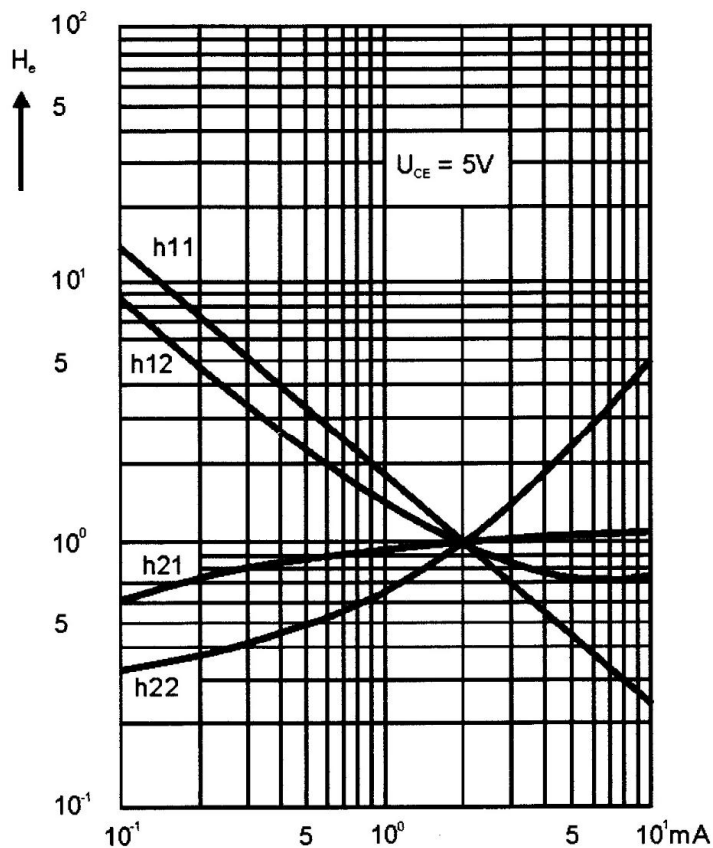
5.6 h – Parameter des Transistors BCY 58

Bestimmen Sie für den Transistor BCY 58 die h-Parameter für $I_C = 0,1mA$ und $I_C = 10mA$, und berechnen Sie die Spannungsverstärkung in Emitterschaltung mit einem Kollektorwiderstand von $2k\Omega$

- mit der exakten Vierpolgleichung
- mit einer Näherungsgleichung für die Vierpolgleichung
- mit dem physikalischen Ersatzschaltbild

Kennwerte bei $\vartheta_j = 25^\circ\text{C}$

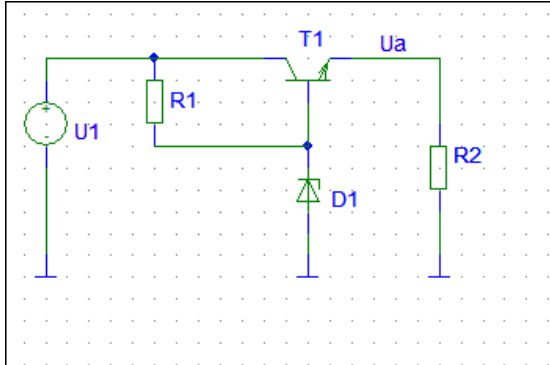
Gleichstromverstärkung	BCY58 VII	...VIII	...IXX
bei $U_{CE} = 5V, I_C = 10\mu A$ B	=20	95(> 20)	100(>40)	300(>100)
bei $U_{CE} = 5V, I_C = 2mA$ B	=170 (120-220)	250 (180-310)	350 (250-450)	500 (350-630)
bei $U_{CE} = 1V, I_C = 10mA$ B	=250(>80)	300 (190-400)	300 (160-550)	550 (345-1000)
bei $U_{CE} = 1V, I_C = 100mA$ B	>40	45	50	60
Vierpolkoeff. bei $U_{CE} = 5V; I_C = 2mA; f = 1kHz$				
h_{11e}	2,7 k	3,5 k	4,5 k	7,5 k
h_{12e}	$1,5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$
h_{21e}	200	250	330	520
h_{22e}	$10 \mu S$	$24 \mu S$	$30 \mu S$	$50 \mu S$



Normierte h - Parameter

5.7 Spannungsstabilisierung mit Bipolartransistor

Gegeben ist folgende Schaltung:



$$U_1 = 8V \dots 24V \quad U_a = 5,7V$$

$$I_{a \max} = 500mA$$

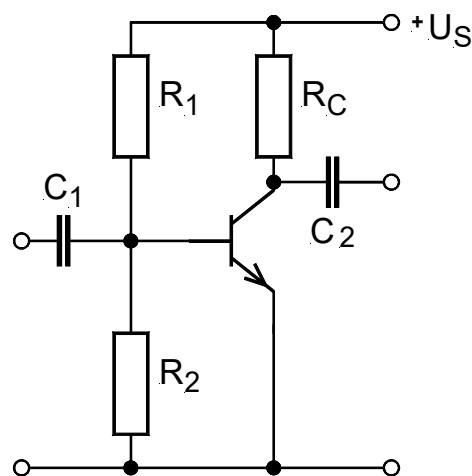
$$U_{BE} = 0,7V \quad B_N = 100$$

$$I_{Z \min} = 10mA \quad I_{Z \max} = 400mA$$

1. Bestimmen Sie die erforderliche Z-Spannung.
2. Dimensionieren Sie den Widerstand R1.
3. Bestimmen Sie den Z-Strom bei Leerlauf und bei maximalem Ausgangsstrom für $U_1 = 8V$ und $24V$.
4. Bestimmen Sie max. Verlustleistung des Transistors, der Z-Diode und des Widerstandes R1.

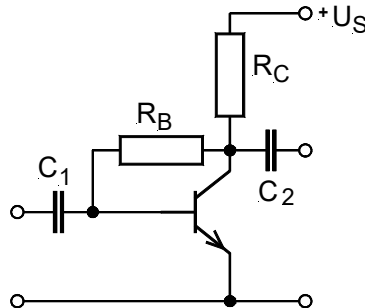
5.8 Dimensionierung einer Verstärkerschaltung

Dimensionieren Sie die Widerstände folgender Verstärkerschaltung für einen Arbeitspunkt von $I_B = 3\mu A$ und $U_{CE} = 6V$ bei einer Betriebsspannung von $U_S = 12V$. Zeichnen Sie die Widerstandsgerade ins Ausgangskennlinienfeld ein.



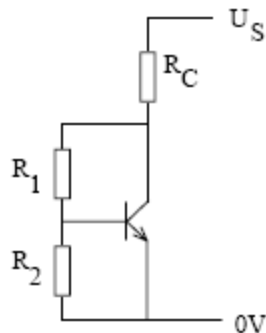
5.9 Dimensionierung einer Verstärkerschaltung mit GK

Dimensionieren Sie folgende Schaltung für einen Arbeitspunkt von $I_B = 3\mu A$ und $U_{CE} = 6V$ bei einer Betriebsspannung von $U_S = 12V$. Erläutern Sie die Wirkungsweise der Schaltung.



AP: $I_B = 3\mu A$, $U_{CE} = 6V$, $U_S = 12V$, $U_{BE} = 0,58V$, $I_C = 0,5mA$

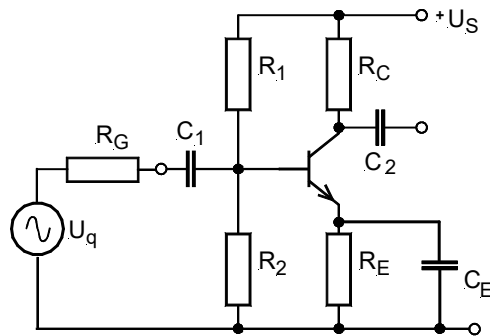
5.10 Dimensionierung einer Verstärkerstufe



$I_C = 2,5mA$; $U_{CE} = 12V$; $k = 3$; $U_S = 20V$

- Dimensionieren Sie alle Widerstände für einen Arbeitspunkt $I_C = 2,5mA$ und $U_{CE} = 12V$ bei $U_S = 20V$.
Der Querstrom soll das Dreifache des Basisstromes betragen.
- Berechnen Sie den Kollektorstrom in Abhängigkeit von U_{BE} , I_{CB0} und B_N .
- Berechnen Sie die Änderung des Kollektorstroms für den Temperaturbereich - $25^\circ C$ bis $85^\circ C$.
 $I_{CB0}(T=25^\circ C) = 20nA$
 $U_{BE}(T=25^\circ C) = 0,65V$

5.11 Emitterstufe mit Stromgegenkopplung



Arbeitspunkt :

$$\begin{array}{lll}
 I_C = 4,3\text{mA} & U_{CE} = 6\text{V} & U_S = 12\text{V} \\
 U_Y = 130\text{V} & B_N = 158 & \frac{\Delta I_C}{I_C} \leq 10\% \\
 k = 8 & I_{CB0}(20^\circ\text{C}) = 3\text{nA} &
 \end{array}$$

- Dimensionieren Sie die Widerstände R_E , R_C , R_1 , R_2 .
- Kontrollieren Sie die Dimensionierung bezüglich der Kollektorstromänderung infolge eines streuenden Stromverstärkungsfaktors B_N . Bestimmen Sie die Schwankungsbreite des Stromverstärkungsfaktors B_N . Wie müssen Sie die Schaltung verändern, wenn größerer Schwankungen von B_N zugelassen werden müssen?
- Berechnen Sie die Spannungsverstärkung V_U mit und ohne C_E .
- Erläutern Sie die Aufgabe des Emitterkondensators C_E . Dimensionieren Sie C_E , so dass Eingangsspannungen mit einer Frequenz $> 160\text{Hz}$ mit der vollen Spannungsverstärkung verstärkt werden.
- Berechnen Sie die Eingangswiderstände der Schaltung mit und ohne C_E .
- Berechnen Sie die Ausgangswiderstände der Schaltung mit und ohne C_E . Berücksichtigen Sie einen Generatorwiderstand von $0,1\Omega$ und einen Lastwiderstand von $1\text{M}\Omega$.
- Bestimmen Sie die wirksame Spannungsverstärkung unter Berücksichtigung eines nicht zu vernachlässigenden Generatorinnenwiderstands.
- Dimensionieren Sie die Koppelkondensatoren C_1 und C_2 so, dass der Frequenzgang der Schaltung nur unwesentlich beeinflusst wird. Skizzieren Sie überschlägig den logarithmischen Amplituden – Frequenzgang.
- Bestimmen Sie das Frequenzverhalten der Schaltung indem Sie die komplexe Spannungsverstärkung $V_U = f(\omega)$ berechnen. Skizzieren Sie den logarithmischen Amplituden – Frequenzgang.

5.12 DC-Analyse Bipolartransistor

Simulieren Sie mit PSPICE des Ausgangskennlinienfeldes eines npn - Bipolartransistors.

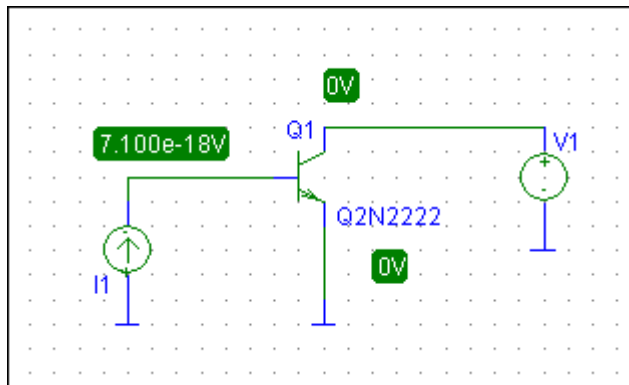
Die Kollektor – Emitterspannung V1 soll im Bereich von 0...10V liegen mit Stützstellen von 100mV.

Der Basisstrom I1 soll zwischen 1μA...10μA liegen und jeweils um 1μA erhöht werden.

Zeichnen Sie die Verlustleistungshyperbel für eine zulässige Verlustleistung von 100mW.

Fügen Sie die Arbeitsgerade für einen Kollektorwiderstand von 330Ω ein.

Ermitteln Sie die Stromübertragungskennlinie und die Eingangskennlinie und bestimmen Sie den Stromverstärkungsfaktor.



5.13 Wechselspannungsverstärker

Simulieren Sie eine Verstärkerstufe in Emitterschaltung mit Stromgegenkopplung und Basisspannungsteiler.

Kollektorwiderstand: $R_C = 1,3k\Omega$

Emitterwiderstand: $R_E = 100\Omega$

Basisspannungsteiler: $R_1 / R_2 = 43k\Omega / 5,1k\Omega$

Koppelkapazitäten: $C_1 = C_2 = 10\mu F$

Emitterkapazität: $C_E = 100\mu F$

Innenwiderstand der Quelle: $R_i = 1k\Omega$

Wechselspannungsquelle: $1kHz, 1mV$

Lastwiderstand variabel: $1k\Omega, 50k\Omega$

Betriebsspannung: $U_S = 12V$

Führen Sie eine AC Sweep and Noise Analysis durch.

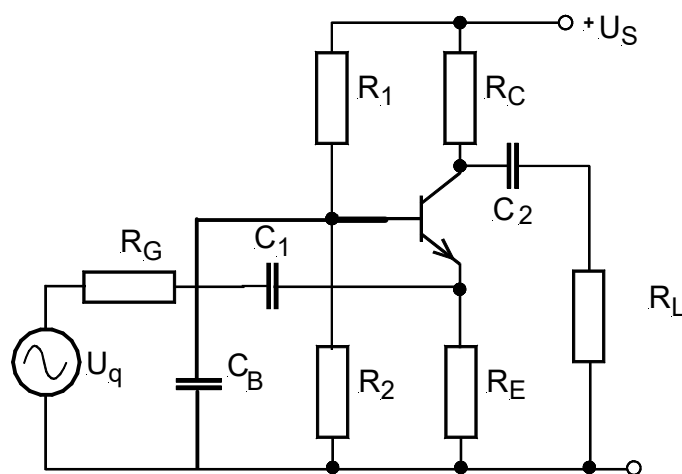
Frequenzbereich 10 Hz...100MHz mit einem veränderlichen Lastwiderstand von 1k...150k .

Bestimmen Sie Verstärkung in Abhängigkeit vom Lastwiderstand.

Führen Sie eine Transienten – Analyse für Eingangsspannungen 1mV und 50mV bei einer Frequenz von 1kHz durch und stellen Sie die Eingangsspannung und die Ausgangsspannung in unterschiedlichen Diagrammen dar.

Bestimmen Sie den Klirrfaktor bei Eingangsspannungen von 1mV und 50mV.

5.14 Basisschaltung

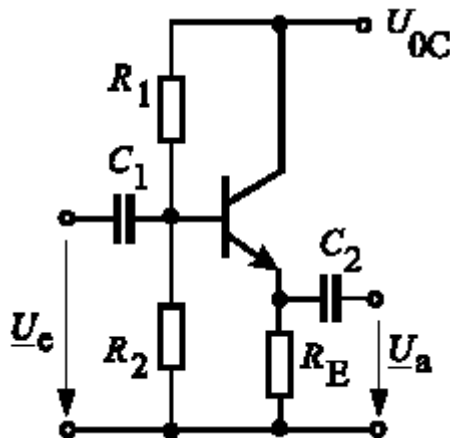


$$\begin{aligned}
 U_S &= 10\text{V} & U_y &= 100\text{V} & B_N &= 50 & U_{BE} &= 0,7\text{V} \\
 R_1 &= 20\text{k}\Omega & R_2 &= 5\text{k}\Omega & R_C &= 3,3\text{k}\Omega & R_E &= 1,3\text{k}\Omega \\
 R_L &= 200\text{k}\Omega & R_G &= 100\Omega
 \end{aligned}$$

- Berechnen Sie den fließenden Kollektorstrom.
Bestimmen Sie die differentiellen Kenngrößen r_{BE} , S , r_{CE} .
- Geben Sie das Kleinsignalersatzschaltbild an, und bestimmen Sie hieraus die Spannungsverstärkung der Stufe bei einem Lastwiderstand von $R_L = 200\text{k}\Omega$ und einem Generatorinnenwiderstand von 100Ω . Für die Berechnung der Verstärkung wird für alle Kondensatoren Kurzschluss angenommen.
- Berechnen Sie den Eingangswiderstand der Stufe.
- Dimensionieren Sie C_B , C_1 und C_2 so, dass Eingangsspannungen mit einer Frequenz $> 100\text{Hz}$ übertragen werden können.

- e) Geben Sie eine Hochfrequenzersatzschaltung an, wenn die Transistfrequenz $f_T = 100\text{MHz}$ und $C_{BC} = 12\text{pF}$ bekannt sind. Geben Sie die obere Grenzfrequenz der Schaltung in Bezug auf die Spannungsverstärkung an.

5.15 Kollektorschaltung

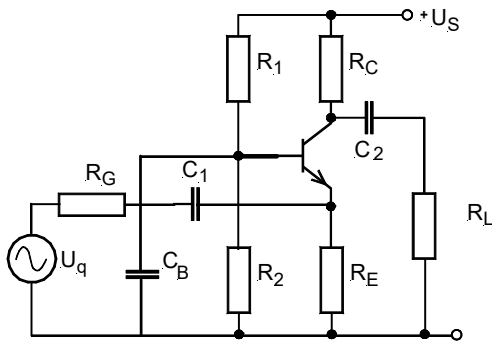


- Zeichnen Sie das vollständige NF – Kleinsignalersatzschaltbild des Verstärkers.
- Leiten Sie die Spannungsverstärkung ab.
- Dimensionieren Sie die Schaltung und bestimmen Sie zahlenmäßig den Wert der Spannungsverstärkung für den Arbeitspunkt
 $I_C = 3\text{mA}$ und $U_{RE} = U_{CE} = U_S/2 = 5\text{V}$; $U_{BE} = 0,65\text{V}$.
 $(r_{CE} \gg R_E ; U_T = 30\text{mV}; \beta_N = 150)$

5.16 Wechselspannungsverstärker in Basisschaltung

Simulieren Sie mit PSPICE eine Verstärkerstufe in Basisschaltung. Verwenden Sie hierzu die Schaltung und die Dimensionierung der Aufgabe 5.14. Führen Sie eine AC Sweep and Noise Analyse durch und bestimmen Sie die obere Grenzfrequenz der Schaltung. Vergleichen Sie die Ergebnisse mit der Emitterschaltung.

5.17 Dimensionierung Basisschaltung



C_1, C_2, C_B bilden stellen einen wechselstrommäßigen Kurzschluss dar ($\omega C \rightarrow \infty$).

Arbeitspunkt: $I_C = 2\text{mA}$, $U_{CE} = 6\text{V}$

Der Querstrom durch den Spannungsteiler R_1/R_2 soll das 10-fache des Basisstroms betragen.

Weitere gegebene Größen:

$$U_E = 1\text{V}$$

$$U_S = 12\text{V}$$

$$B_N = \beta_N = 175$$

$$U_{BE0} = 0,6\text{V}$$

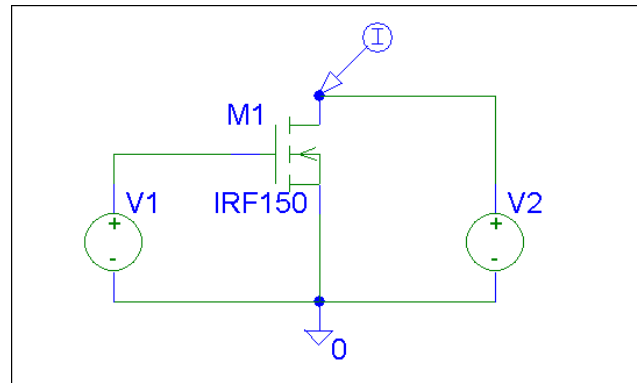
$$r_{CE} = \infty$$

$$U_T = 26\text{mV}$$

- Dimensionieren Sie alle Widerstände
- Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild
- Leiten Sie die Gleichung für die Spannungsverstärkung her.
- Berechnen Sie die Spannungsverstärkung

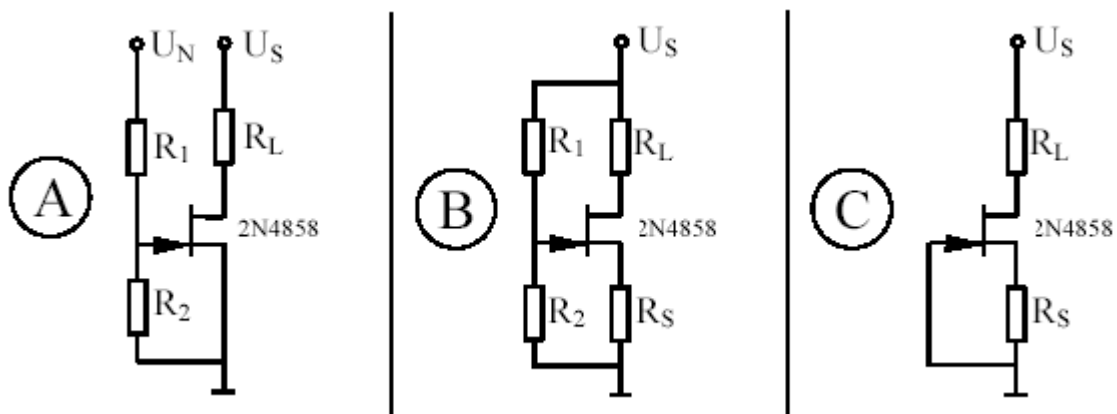
6 Unipolartransistorschaltungen

6.1 Kennlinien eines n – Kanal MOSFET's



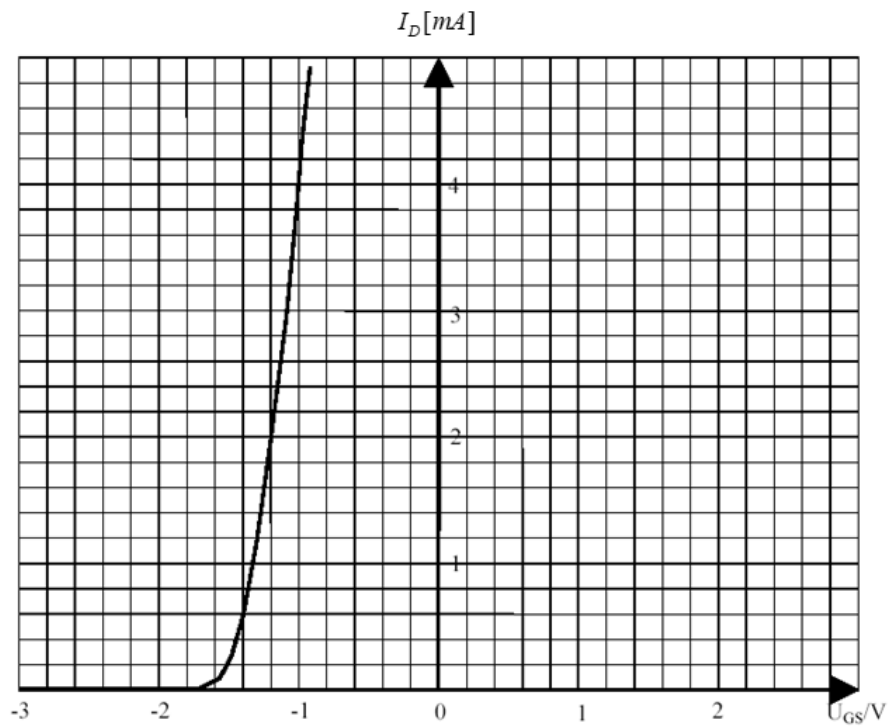
- Simulieren Sie unter PSPICE das Ausgangskennlinienfeld des MOSFET IRF 150 (Power MOSFET) für den Bereich $0V < U_{DS} < 20V$ und $0V < U_{GS} < 4V$.
- Wählen Sie bei einer Betriebsspannung von $U_B = 15V$ einen entsprechenden Drainwiderstand R_D , so dass eine optimale Aussteuerung ermöglicht wird und stellen Sie die Arbeitsgerade im Diagramm dar. Stellen Sie die Verlustleistungshyperbel für $P_{tot} = 20W$ dar.
- Simulieren Sie die Übertragungskennlinie für $0V < U_{GS} < 4V$ bei den Temperaturen $0^\circ C \dots 100^\circ C$. Bestimmen Sie die Schwellspannung des Transistors.
In welchen Punkt würden Sie den Arbeitspunkt legen, um eine Temperaturunabhängigkeit des Arbeitspunktes zu erzielen. Erläutern Sie diesen Effekt.

6.2 Berechnen Sie den Drainstrom in den folgenden Schaltungen

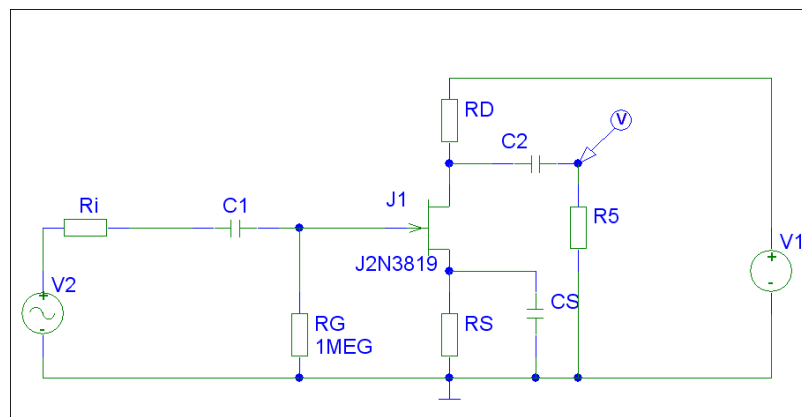


$$U_S = 20V; U_N = -10V; R_1 = 18k\Omega; R_2 = 2k\Omega; R_S = 680\Omega; R_L \leq 3k\Omega$$

Steuerkennlinie des FET 2N4858



6.3 Sourcestufe mit JFET



$$U_S = 12V; R_G = 1M\Omega; I_D = 5mA; R_i = 50\Omega$$

Realisieren Sie mit einem n-Kanal JFET mit den Daten $I_{DS} = 13mA$ und $U_p = -3V$, dessen Kennlinie im abgeschnürten Bereich näherungsweise durch

$$I_D = I_{DS} \left(\frac{U_{GS}}{U_p} - 1 \right)^2$$

beschrieben wird, eine Sourcestufe. Als Drainstrom wird $I_D = 5\text{mA}$ vorgegeben.

1. Welchen Wert muss U_{GS} annehmen, und wie groß ist folglich der Sourcewiderstand R_S zu wählen?
2. Bestimmen Sie die Steilheit im angegebenen Arbeitspunkt. Zeichnen Sie ein Kleinsignalersatzschaltbild der Stufe mit den Transistorkapazitäten C_{GD} und C_{DS} .
3. Dimensionieren Sie C_1 und C_S , wenn als untere Grenzfrequenz $f_g = 10\text{Hz}$ vorgegeben wird.
4. Dimensionieren Sie den Drainwiderstand, so dass der Arbeitspunkt bei $U_S/2$ eingestellt wird. Dimensionieren Sie den Ausgangskoppelkondensator.
5. Bestimmen Sie die Gesamtverstärkung V_u der Sourcestufe für mittlere Frequenzen (ca. $100\text{Hz} \dots 10\text{kHz}$).
6. Ermitteln Sie näherungsweise die obere Grenzfrequenz der Stufe, wenn $C_{GD} = 5\text{pF}$ und $C_{GS} = 10\text{pF}$ betragen. (Generator - Innenwiderstand 50Ω)
7. Simulieren Sie eine Schaltung mit dem JFET J2N3819 unter PSICE.
 - a) Simulieren Sie das Steuerkennlinienfeld im Bereich $-3\text{V} < U_{GS} < 0\text{V}$ bei Temperaturen 0°C , 20°C , 100°C und entnehmen Sie die Werte für I_{DSS} und U_{GSO} .
 - b) Legen Sie einen Arbeitspunkt fest, der möglichst unabhängig von Temperatureinflüssen sein soll.
 - c) Dimensionieren Sie die Schaltung.
 - d) Simulieren Sie das Übertragungsverhalten der Schaltung.

6.4 MOSFET

- a) Zeichnen Sie den prinzipiellen Aufbau eines n – Kanal Anreicherungs-MOS-Feldeffekttransistors.
- b) Zeichnen Sie die Steuerkennlinie und das Ausgangs – Kennlinienfeld, kennzeichnen und bezeichnen Sie die unterschiedlichen Arbeitsbereiche.
- c) Leiten Sie aus der Gleichung für den ohmschen

$$\text{Bereich } I_D = k \left[(U_{GS} - U_p) U_{DS} - \frac{U_{DS}^2}{2} \right]$$

die Kennliniengleichung für den Sättigungsbereich her.

Geben Sie den Drain-Sättigungsstrom an und leiten Sie Gleichung für die Steuerkennlinie her.

- d) Leiten Sie die Gleichung zur Berechnung des differentiellen Drain–Source–Widerstand r_{DS} eines MOSFET für den Bereich $U_{DS} \ll U_{GS} - U_p$ her.

$$I_D = k \left[(U_{DS} - U_p) U_{DS} - \frac{U_{DS}^2}{2} \right]$$

Wie nennt man diesen Bereich?

Berechnen Sie den differentiellen Drain-Source-Widerstand mit den Werten:

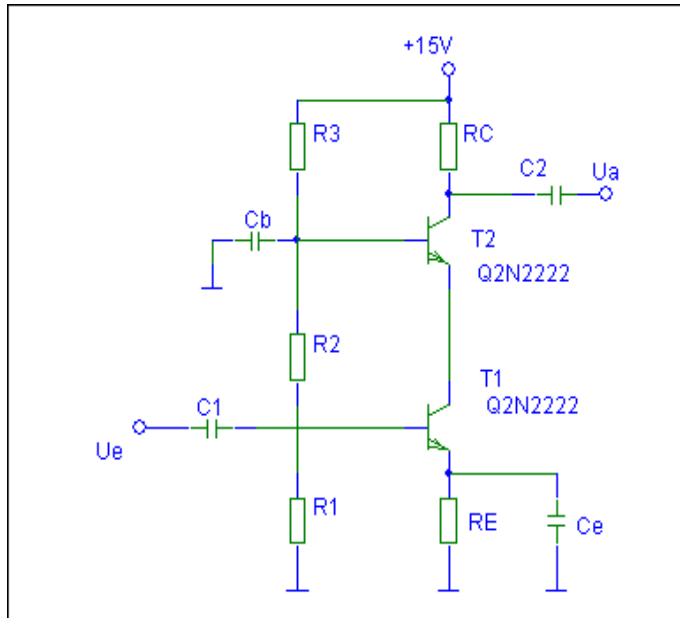
$$I_{DSS} = 100 \text{ mA}$$

$$U_{GS} = 8 \text{ V}$$

$$U_p = 4 \text{ V}$$

7 Spezialschaltungen

7.1 Kaskodeschaltung



Transistordaten (T1 u. T2):

$$U_{BE} = 0,7V; \beta_{N1} \approx \beta_N = 178$$

$$C_{BE} = 50pF; C_{BC} = 3pF$$

AP (T1 und T2):

$$U_{CE} = 4,2V; I_C = 4,3mA$$

$$R_G = 50\Omega$$

(Generatorinnenwiderstand)

$$R_L = 100k \text{ (Lastwiderstand)}$$

$$k = 9 \quad (I_q = k \cdot I_B) \text{ Querstrom}$$

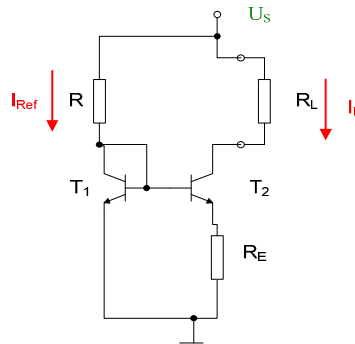
$$U_T = 26mV;$$

$$\frac{\Delta I_C}{I_C} \leq 10\%; \Delta \vartheta = 20K$$

1. Dimensionieren Sie alle Widerstände dieser Schaltung.
2. Berechnen Sie die differentiellen Kenngrößen r_{BE} und S für beide Transistoren.
3. Dimensionieren Sie die Kondensatoren C_E und C_B für Signalfrequenzen $> 100Hz$.
4. Geben Sie das Kleinsignalersatzschaltbild unter Vernachlässigung von r_{CE} bei mittleren Frequenzen an.
5. Berechnen Sie die Spannungsverstärkung der Stufe unter Vernachlässigung von r_{CE} .
6. Wie groß ist näherungsweise die obere Grenzfrequenz dieser Stufe?
7. Wie groß wäre die obere Grenzfrequenz unter Verzicht des zweiten Transistors? (einfache Emitterstufe)
8. Simulieren Sie die Schaltung in PSPICE und stellen Sie den Frequenzgang dar.

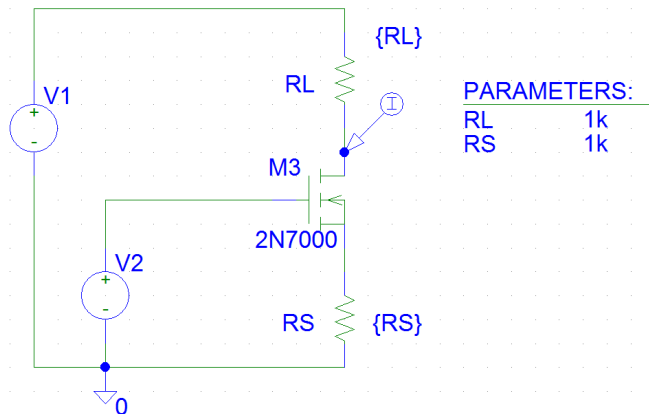
7.3 Stromspiegelschaltung

1. Zeichnen Sie einen Stromspiegel mit einem Übersetzungsverhältnis von Eins.
Erläutern Sie die Funktion der Schaltung und berechnen Sie den Fehler des Übersetzungsverhältnisses.
2. Berechnen Sie das Übersetzungsverhältnis $\frac{I_L}{I_{Ref}}$ der unten gezeichneten Schaltung unter der Voraussetzung, dass $B_{N1} \neq B_{N2}$ ist. Wie groß ist das Übersetzungsverhältnis? Wovon hängt der Fehler des Übersetzungsverhältnisses ab?



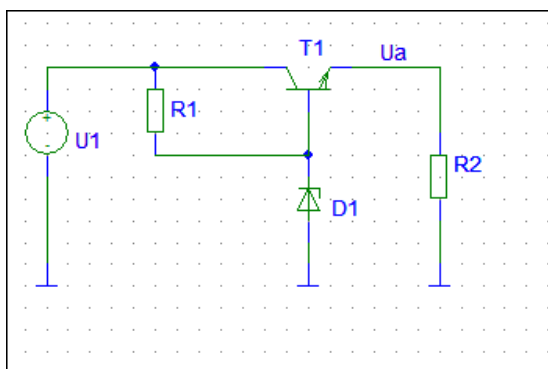
3. Leiten Sie die Dimensionierungsgleichung für R_E her.
Hinweis: Beide Transistoren sind gleich. $U_{BE1} = U_{BE2}$; $B_{N1} = B_{N2}$)
4. Dimensionieren Sie die Schaltung für ein Übersetzungsverhältnis von 100 und einem Laststrom von $1\mu A$.
5. Simulieren Sie die Abhängigkeit des Laststroms vom Lastwiderstand unter PSPICE.

7.4 MOSFET - Konstantstromquelle



- Leiten Sie die Gleichung zur Dimensionierung des Sourcewiderstandes R_S her.
- Bestimmen Sie den minimalen und maximalen Wert für den Lastwiderstand (Drainwiderstand) R_L .
- Bestimmen Sie die maximale Verlustleistung am MOSFET.
- Bestimmen Sie die maximale Verlustleistung am Source Widerstand R_S .
- Simulieren Sie die Schaltung in PSPICE.

7.5 Spannungsstabilisierung



$$U_1 = 15V \dots 24,6V$$

$$U_{BE} = 0,6V$$

$$B_N = 100$$

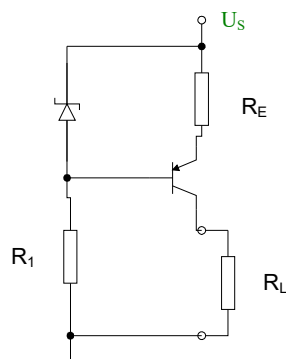
$$I_{Zmin} = 10mA$$

$$I_{Zmax} = 400mA$$

$$I_{a max} = 1A$$

- Bestimmen Sie die erforderliche Z-Spannung der Z-Diode D1, damit die Ausgangsspannung $U_a = 12V$ beträgt.
- Dimensionieren Sie den Widerstand R_1 für einen maximalen Laststrom $I_{a\max} = 1A$. Beziehen Sie den Basisstrom des Transistors in Ihre Rechnung mit ein.
- Berechnen Sie die maximale Verlustleistung für den Transistor T1, die Z-Diode D1 und den Widerstand R_1 .

7.6 Stromquelle mit geerdeter Last



$$U_s = 12V$$

$$U_{Z0} = 5,6V$$

$$r_Z \approx 0\Omega$$

$$U_{BE} = 0,6V$$

$$I_{Z\min} = 10mA$$

$$U_{CEsat} = 0,2V$$

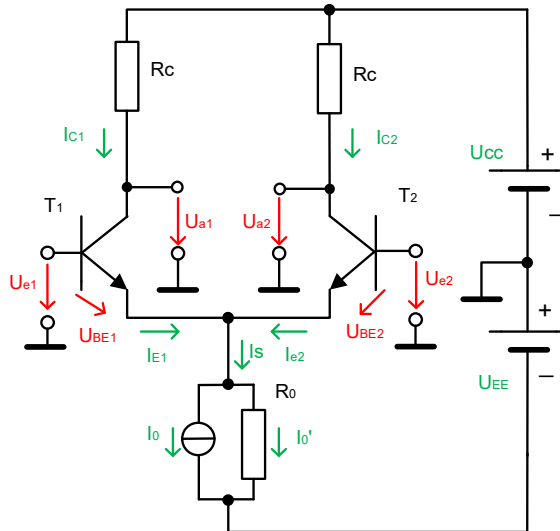
- Dimensionieren Sie die Widerstände R_1 und R_E damit ein konstanter Strom von 10mA durch R_L fließt.
- Berechnen Sie den minimalen und maximalen Wert für den Widerstand R_L , bei dem die Schaltung ihre Eigenschaften verliert.
- Berechnen Sie die maximale Verlustleistung für den Transistor.

8 Leistungselektronik

9 Optoelektronik

10 Operationsverstärker

10.1 Differenzverstärker



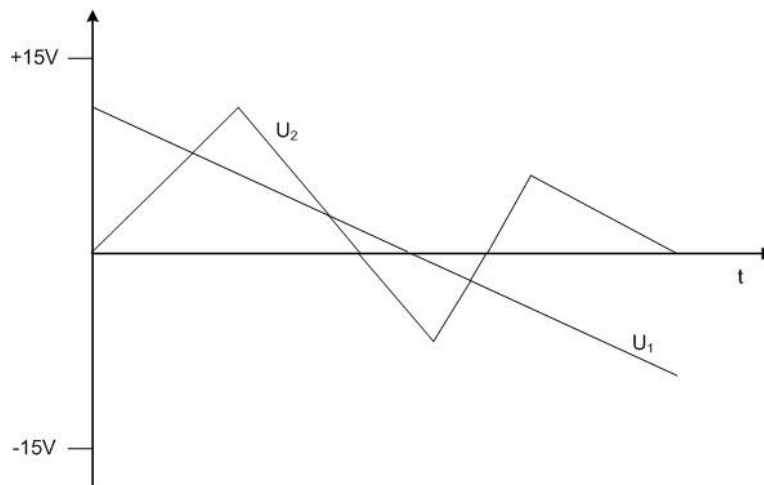
$R_C = 15k$
 $R_0 = 100k$
 $I_0 = 1mA$
 $U_{CC} = +15V$
 $U_{EE} = -15V$
 $B_N = 100$
 $U_{BE} = 0,7V$

1. Berechnen Sie den Arbeitspunkt der Schaltung für $U_{e1} = U_{e2} = 0V$ (Masse).
2. Berechnen Sie die Differenzverstärkung für $U_{e1} = -U_{e2} = \frac{\Delta U_{e1}}{2}$.
3. Berechnen Sie die Gleichtaktverstärkung.
4. Berechnen Sie die Gleichtaktunterdrückung und geben Sie diese in dB an (CMR, CMRR).

10.2 Invertierender Verstärker mit endlicher Leerlaufspannungsverstärkung

1. Geben Sie die Operationsverstärkerschaltung für den invertierenden Verstärker an.
2. Berechnen Sie mit der Knotenspannungsanalyse die resultierende Verstärkung der Schaltung bei endlicher Leerlaufverstärkung.
3. Dimensionieren Sie die Schaltung für eine Verstärkung von 40dB mit einem Eingangswiderstand von $10k\Omega$ bei unendlich angenommener Leerlaufverstärkung.
4. Auf welchen Wert darf die Leerlaufverstärkung sinken, damit der Fehler der Verstärkung der Schaltung kleiner als 1% bleibt?

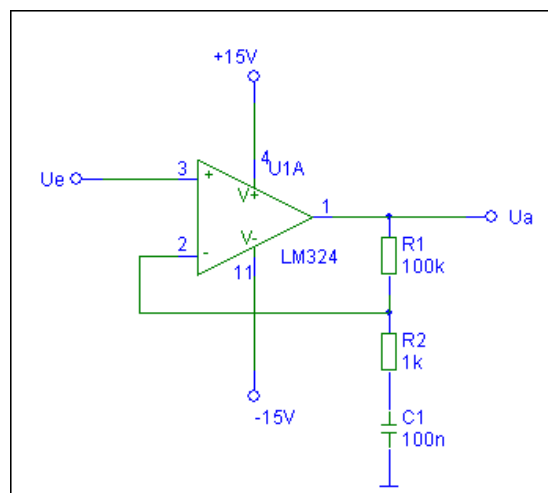
10.3 Operationsverstärker (Komparator)



Zeichnen Sie die Ausgangsspannung U_a für einen nichtgegengekoppelten Operationsverstärkers mit unendlich großer Leerlaufverstärkung, wenn $U_N = U_1$ und $U_P = U_2$ ist.

10.4 OPV-Grundsaltungen OPVA2 Nichtinvertierender Wechselspannungsverstärker

Aufgabe: Gegeben ist folgende Schaltung:

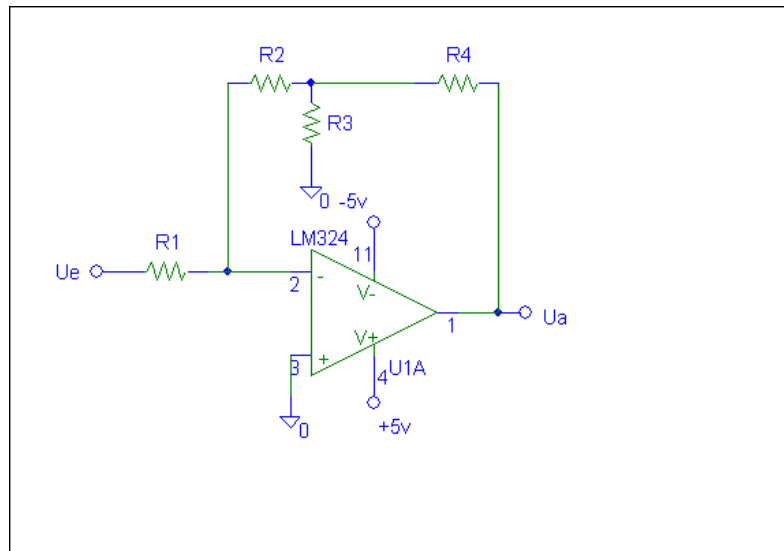


1. Berechnen Sie die Verstärkung $U_a = f(U_e)$ für einen als ideal angenommenen OV.
2. Geben Sie das Bode-Diagramm im Frequenzbereich 1Hz bis 5MHz an.
3. Die Leerlaufverstärkung V_0 des intern frequenzkompensierten Operationsverstärkers beträgt 100dB. Die erste Grenzfrequenz beträgt 10Hz.

4. Wie groß ist die Ausgangsspannung U_a , wenn der Eingang auf Masse gelegt wird und beide Biasströme $I_p = I_N = 1 \mu A$ betragen?

10.5 Invertierender Verstärker mit großer Verstärkung und hohem Eingangswiderstand

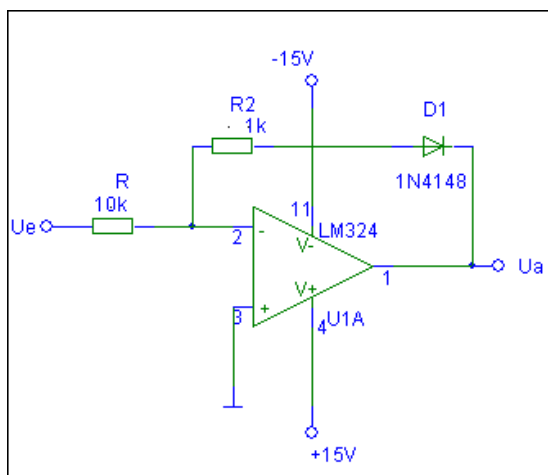
Gegeben ist folgende Schaltung:



Dimensionieren Sie die Schaltung für einen Eingangswiderstand von $1 M\Omega$ und einer Verstärkung von $v = -100$. Verwenden Sie nur Widerstände $\leq 1 M\Omega$. Der OPV wird als ideal angenommen.

10.6 Logarithmierer

Aufgabe: Gegeben ist folgende Schaltung:

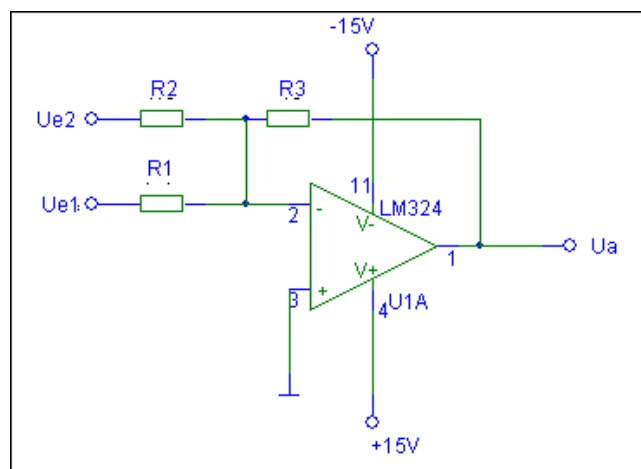


1. Berechnen Sie die Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung. (Annahme: idealer OPV)
 $R_1 = 10\text{k}\Omega$ $R_2 = 1\text{k}\Omega$ $I_S = 1\mu\text{A}$ $A_N = 1$ (Transistor) $U_T = 26\text{mV}$
2. Vervollständigen Sie die folgende Tabelle.

U_e	-10V	-1V	0V	1V	2V	10V
U_a						
3. Wie ist die Schaltung zu vervollständigen, damit beide Halbwellen logarithmiert werden?
4. Ersetzen Sie die Diode durch einen Transistor (C – R₂, B – Masse, E – Ausgang) und erläutern Sie die Funktion der Schaltung.

10.7 Summationsverstärker OPV-Grundsaltungen

Gegeben ist folgende Schaltung:



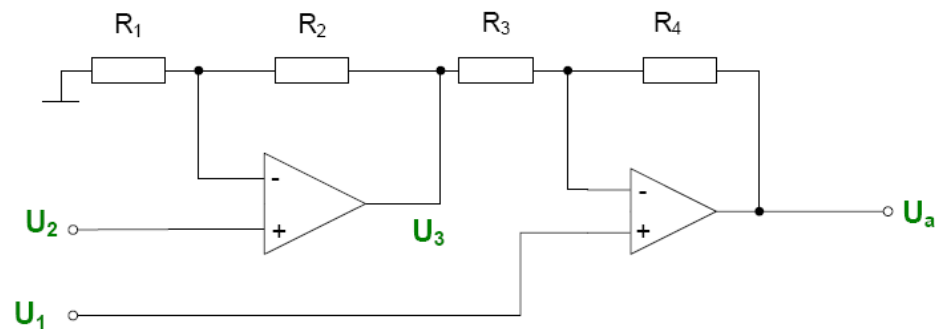
1. Berechnen Sie die Ausgangsspannung als Funktion der Eingangsspannung.
2. Vervollständigen Sie die folgende Tabelle. $R_1 = 10\text{k}\Omega$, $R_2 = 20\text{k}\Omega$,
 $R_3 = 5\text{k}\Omega$.

U_{e1}	1V	10V	-2V	-8V
U_{e2}	1V	-10V	-8V	1,6V
U_a				

3. Dimensionieren Sie die Schaltung für $U_a = -2U_{e1} - 3U_{e2}$.
Die Widerstände sollen zwischen 2k und 20 k liegen.
4. Legen Sie beide Eingänge auf Masse und berechnen Sie die Ausgangsspannung U_a , wenn ein Eingangsruhestrom $I_P = I_N = 1\mu A$ fließt und die Eingangsoffsetspannung 10mV beträgt.
5. Wie lässt sich der Eingangsbiasstrom kompensieren?

10.8 Subtrahierschaltung

Gegeben ist folgende Schaltung mit als ideal angenommenen Operationsverstärkern.



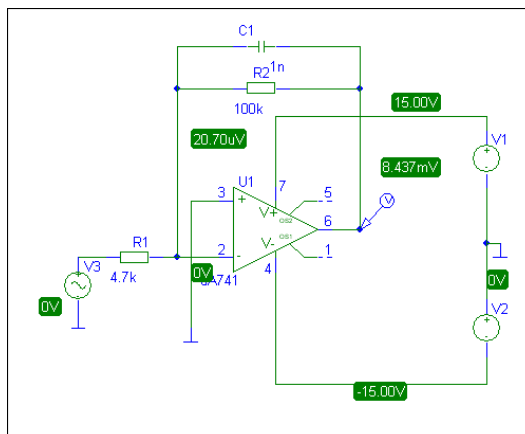
1. Berechnen Sie die Spannung U_3 und U_a .
2. Bei welcher Bedingung, d. h. bei welchem Widerstandsverhältnis verhält sich die Schaltung als Subtrahierer mit einer über das Widerstandsverhältnis $\frac{R_1}{R_2}$ einstellbaren Verstärkung?
Leiten Sie die Gleichung für die Ausgangsspannung her.
3. Dimensionieren Sie die Widerstände damit $U_a = 5 \cdot (U_1 - U_2)$ ist.

10.9 Aktiver Tiefpass 1. Ordnung

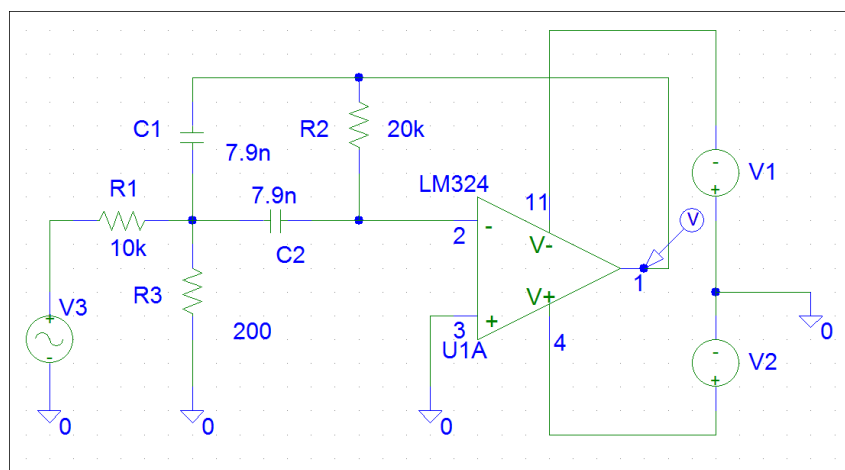
Realisieren Sie mit einem rückgekoppelten Operationsverstärker einen aktiven RC -Tiefpass mit einer Grenzfrequenz von $f_{gr} \approx 1,6 \text{ kHz}$ und einer Spannungsverstärkung von $V_u = -21,3$ für $f \ll f_{gr}$.

Skizzieren Sie die Schaltung und dimensionieren Sie die Bauelemente. Geben Sie die Gleichungen für die Spannungsverstärkung V_u und den Phasengang an.

Skizzieren Sie den logarithmischen Amplitudenfrequenzgang und den Phasengang.



10.10 Bandpass 2. Ordnung mit Mehrfachgegenkopplung



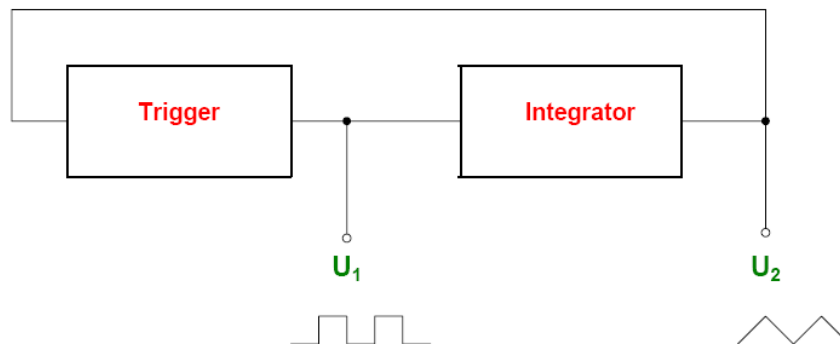
Gegeben ist die Schaltung eines Tiefpasses 2. Ordnung mit Mehrfachgegenkopplung.

1. Leiten Sie die Gleichung für die komplexe Verstärkung her.
(Nutzen Sie die Knotenspannungsanalyse)
2. Leiten Sie die Gleichung für die Resonanzfrequenz her.

Wie groß ist die Verstärkung bei Resonanzfrequenz?

3. Normieren Sie die Gleichung für die Verstärkung auf $\frac{\omega}{\omega_0}$
und berechnen Sie die Bandbreite und die Güte.

10.11 Dimensionierung eines Dreieck- Rechteck- Generators



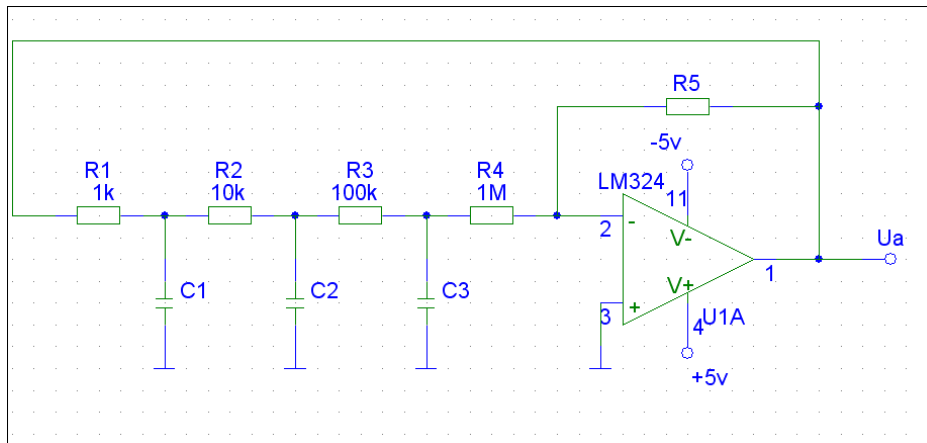
Vorgaben:

$$\hat{U}_2 = 10V \quad f_0 = 1kHz \quad U_s = \pm 15V$$

- Die Ausgangsspannungen sollen keine Gleichspannungskomponente besitzen.
- Der Ausgangsstrom der verwendeten Operationsverstärker soll $\leq 2mA$ sein.
- Der Ladestrom des Integrators ist auf 1mA zu begrenzen.
- Die Rechteckspannung soll durch zwei Z-Dioden ($U_Z=6V$, $U_F=0,6V$, $I_D=0,5mA$) begrenzt werden und unabhängig von U_s sein.

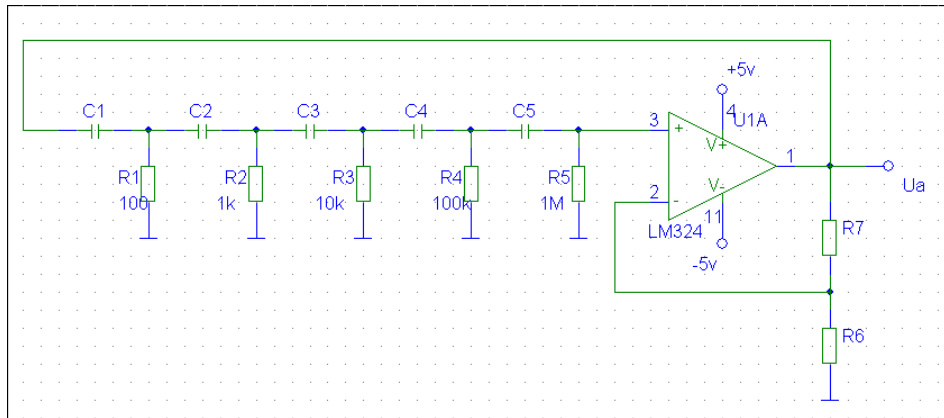
- a) Entwickeln Sie die Schaltung.
- b) Dimensionieren Sie die Schaltung.
- c) Wie kann man die Frequenz möglichst einfach ändern?

10.12 Operationsverstärker (Generator)



1. Geben Sie die Übertragungsfunktion der Rückkopplung an, wenn die drei RC Glieder als voneinander entkoppelt angesehen werden können.
2. Die Zeitkonstante der drei einzelnen RC – Glieder soll gleich sein.
Welche Phasendrehung muss dann jedes einzelne RC – Glied aufweisen, damit die Schaltung als Oszillator arbeitet?
3. Dimensionieren Sie die Kondensatoren C_1 bis C_3 für eine Resonanzfrequenz von 1kHz.
4. Wie groß ist R_5 zu wählen?

10.13 Oszillatorschaltung 2



1. Geben Sie die Übertragungsfunktion der Rückkopplung an, wenn die vier RC – Glieder als voneinander entkoppelt angesehen werden können.
2. Die Zeitkonstante der drei einzelnen RC – Glieder soll gleich sein. Welche Phasendrehung muss dann jedes einzelne RC – Glied aufweisen, damit die Schaltung als Oszillator arbeitet?
3. Dimensionieren Sie die Kondensatoren C_1 bis C_5 für eine Resonanzfrequenz von 5kHz.
4. Welche Verstärkung muss der OV aufweisen?

10.14 Wien-Brücken-Oszillator

1. Entwerfen und dimensionieren Sie einen Wien - Brücken - Oszillator für eine Schwingfrequenz von 5kHz.
2. Realisieren Sie eine Amplitudenstabilisierung mit einem JFET als steuerbaren Widerstand.

Gegeben ist ein JFET J2N493 mit $U_{GSoff} = -1,4V$;
 $K = 18mA/V^2$ - Steilheitskonstante (Transkonduktanzkonstante)

Leiten Sie hierzu die Gleichung für den Kanalwiderstand her und linearisieren Sie diesen für kleine U_{DS} .

Entwerfen Sie die Schaltung und dimensionieren Sie diese für eine Ausgangsamplitude von 3,7V

11 Schaltalgebra

11.1 Normalformen

Gegeben ist eine digitale Schaltung mit drei Eingangssignalen $y = f(x_2, x_1, x_0)$.

Der Ausgang y soll nur für die Eingangszustände 3, 6, 7 den Pegel High führen, sonst Low.

- a) Stellen Sie die Schaltbelegungstabelle auf.
- b) Stellen Sie die Kanonische Disjunktive Normalform (KDNF) auf und vereinfachen Sie die Gleichung.
- c) Stellen Sie die Kanonische Konjunktive Normalform (KKNF) auf und vereinfachen Sie diese zu einer disjunktiven Normalform.
- d) Realisieren Sie diese Schaltung nur unter Verwendung von NAND Gattern.

11.2 Karnaugh - Verfahren

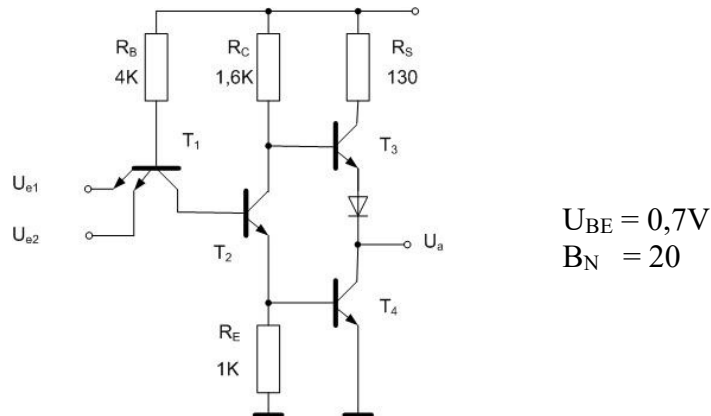
Gegeben ist eine digitale Schaltung mit vier Eingangssignalen $y = f(x_3, x_2, x_1, x_0)$

Der Ausgang y soll nur für die Eingangszustände 0,1,2, 3, 6, 7,8,11,12 den Pegel High führen und für die Eingangszustände 5,14,15 den Pegel Low.

- a) Bestimmen Sie mit Hilfe des Karnaugh – Verfahrens die Schaltfunktion als disjunktive Normalform.
- b) Bestimmen Sie mit Hilfe des Karnaugh – Verfahrens die Schaltfunktion als konjunktive Normalform und rechnen Sie diese in die disjunktive Normalform um.

12 IC Familien

12.1 TTL – Grundsaltung (statisch)



1. Berechnen Sie die Eingangsströme und die Ausgangsspannungen eines Standard- TTL – Gatters für folgende Eingangsspannungsbereiche:

$$U_e < U_{BE}$$

$$U_{BE} \leq U_e < 2 \cdot U_{BE}$$

$$U_e > 2 \cdot U_{BE}$$

$$2 \cdot U_{BE} \leq U_e < U_S$$

2. Zeichnen Sie die Eingangskennlinie $I_e = f(U_e)$ und die Übertragungskennlinie $U_a = f(U_e)$
3. Berechnen Sie die Ausgangskennlinie $I_a = f(U_a)$ beim Ausgangspegel High und zeichnen Sie die Kennlinie.
Berechnen Sie den maximalen Ausgangsstrom des Gatters.
4. Erläutern Sie die Funktion der Diode in der Ausgangsstufe.

12.2 CMOS - NAND Stufe mit zwei Eingängen

Skizzieren Sie eine CMOS - NAND Stufe mit zwei Eingängen. Geben Sie die Zustandstabelle mit den Eingängen E_1 , E_2 und dem Ausgang Y an und kennzeichnen Sie für jeden Zustand die Arbeitsweise aller Transistoren. Ergänzen Sie das Gatter mit einem Tristate - Ausgang.

13 Schaltungen der Digitaltechnik

13.1 Logikpegel an Schaltkreisausgängen

Entwerfen und dimensionieren Sie je eine Schaltung zur Anzeige des Logikpegels LOW und HIGH mit einer LED.

Die Flussspannung der LED beträgt 1,8V, der Diodenstrom soll 10mA betragen.

	I_{IHmax}	I_{ILmax}	I_{OHmax}	I_{OLmax}
7400 (TTL)	40 μ A	-1,1mA	-0,4mA	16mA
74LS00(LS-TTL)	20 μ A	-0,4mA	-0,4mA	8mA
74LS40(Buffer)	20 μ A	-0,4mA	1,2mA	40mA

- Entwerfen und dimensionieren Sie eine Schaltung zur Anzeige des Pegels LOW am Ausgang eines Standard TTL Gatters.
- Entwerfen und dimensionieren Sie eine Schaltung zur Anzeige des Pegels HIGH am Ausgang eines Standard TTL Gatters.
(Geben Sie die von Ihnen als wichtig anzusehenden Kennwerte der von Ihnen verwendeten Bauelemente an.)

13.2 Schaltung mit offenem Kollektor

Entwerfen Sie eine Schaltung aus Logikbausteinen mit offenem Kollektorausgang, in der vier Ausgänge und 4 Eingänge (TTL-Last) parallel geschaltet sind. Berechnen Sie den entsprechenden Widerstand zur Ankopplung allgemein und mit folgenden Zahlenwerten:

U_{OH}	= 2,4V
U_{OL}	= 0,4V
I_{OH}	= 250 μ A
I_{OL}	= 16mA
I_{IH}	= 40 μ A
I_{IL}	= 1,1mA
U_S	= 5V

13.3 Taktgenerator

Entwerfen Sie einen Taktgenerator mit Schmitt-Trigger 74HCT14.
Berechnen Sie die Taktfrequenz allgemein. (Vernachlässigung der Ein- und Ausgangswiderstände des Schaltkreises)
Dimensionieren Sie die Schaltung für eine Taktfrequenz von 10kHz.

13.4 Prellfreier Schalter

Entwerfen Sie eine Schaltung zum „prellfreien“ Schalten.
Benutzen Sie einen RS – Flipflop aus NAND-Gattern.
Geben Sie zunächst die Zustandstabelle eines RS - Flipflop an.
Zeichnen Sie die Zeitverläufe der Schaltzustände.

13.5 Monostabile Kippstufe (CMOS)

Entwerfen Sie eine monostabile Kippstufe mit zwei CMOS-NAND Gattern.
Zeichnen Sie die Spannungsverläufe über dem Widerstand und dem Kondensator und am Ausgang bei einem Low - aktiven Startimpuls.
Berechnen Sie die Haltezeit. Was müssen Sie gegen negative Eingangsspannungen an den betreffenden Gattereingängen tun?

13.6 Timerschaltkreis NE555

Gegeben ist ein Timer–Schaltkreis NE555 (CMOS Version TLC555)

- a) Zeichnen Sie die Innenschaltung des IC's. Erläutern Sie deren Funktion.
- b) Entwerfen Sie mit dem Schaltkreis eine monostabile Kippstufe.
Zeichnen Sie die zeitlichen Spannungsverläufe für die Ausgangsspannung, die Triggerschwelle und für den Setz- bzw. Rücksetzeingang des integrierten Flipflops.
Berechnen Sie die Haltezeit.
Dimensionieren Sie die Schaltung für eine Haltezeit von 100ms mit einem Kondensator $C=100\text{nF}$.
- c) Entwerfen Sie mit dem Timerschaltkreis eine astabile Kippstufe.
Zeichnen Sie die zeitlichen Spannungsverläufe für die Ausgangsspannung, die Triggerschwellen und für den Setz- bzw. Rücksetzeingang des integrierten Flipflops.
Berechnen Sie Frequenz der Ausgangsspannung und das Tastverhältnis.
Dimensionieren Sie die Schaltung für eine Frequenz von $f=1\text{kHz}$ mit einem Tastverhältnis von 3:4 mit einem Kondensator $C=10\text{nF}$.

13.7 Asynchroner MODULO 6 – Zähler

Entwerfen Sie einen asynchronen Modulo - 6 - Zähler mit JK-MS-FF. Die Flipflops besitzen low - aktive Set- und Reset-Eingänge. Zeichnen Sie die Schaltung und das Taktdiagramm. Bestimmen Sie die maximale Zählfrequenz.

13.8 Synchronzähler

Entwerfen Sie einen synchronen Modulo - 6 - Zähler mit JK-MS-FF. Leiten Sie für jeden Ausgang die Schaltfunktion mit dem Karnaugh - Verfahren her. Zeichnen Sie die Schaltung und das Taktdiagramm. Bestimmen Sie die maximale Zählfrequenz. Simulieren Sie die Schaltung in PSPICE.

13.9 CMOS IC

Entwerfen und skizzieren Sie die innere Schaltung einer einfachen Dekodierschaltung in CMOS – Technologie mit zwei Eingängen A0 und A1 und einem Ausgang EN2. Nur wenn $A0 = 1$ UND $A1 = 1$ soll der Ausgang EN2 High sein, sonst Low.

13.10 Kombinatorische Schaltung (Dekodierung)

In einer Klimaanlage sind drei Lüfter eingebaut. Diese Lüfter besitzen einen High aktiven Einschaltkontakt und einen Öffnerkontakt, der bei vorhandenem Luftstrom öffnet. Zur ordnungsgemäßen Funktion sollen zwei Lüfter arbeiten.

- a) Entwerfen Sie eine Schaltung aus NAND Gattern, die den Fehlerfall anzeigt.
- b) (Decodierschaltung)
- c) Entwerfen Sie eine Schaltung aus NAND Gattern, die automatisch zwei Lüfter einschaltet. (Decodierschaltung)

13.11 Erkennung von Pseudotetraden

Entwerfen Sie eine Erkennungslogik für Pseudotetraden bei 4 Bit BCD Zahlen. Bei Auftreten der Pseudotetraden im BCD - Code soll der Ausgang auf H gesetzt werden. Realisieren Sie die Schaltung sowohl mit NAND als auch mit NOR Gattern.

13.12 Rechenschaltung (Addierer/Subtrahierer)

Entwerfen Sie eine kombinierte Additions - Subtraktionsschaltung für 4 Bit Datenbreite mit serielltem Übertrag (Ripple Carry). Ein Eingang X setzt die Schaltung auf ADD bzw. Sub. ($X=0 \Rightarrow$ ADD, $X=1 \Rightarrow$ SUB)
Erläutern Sie zunächst die Funktionsweise eines Halbaddierers und eines Volladdierers, leiten Sie die Schaltfunktionen her und entwerfen Sie danach die zusätzliche kombinatorische Schaltung für einen Subtrahierer.

14 Speicher- und Prozessorschaltungen

14.1 Speicheranbindung

Realisieren Sie die Einbindung von zwei RAM Schaltkreisen mit der Speicherkapazität 128K x 8, die linear adressierbar sein sollen ab Adresse 0x40000 in eine Mikrocontrollerschaltung.

Der RAM Schaltkreis besitzt neben R/W, Daten- und Adressbus, zwei low-aktive CS-Eingänge und einen high-aktiven CS-Eingang, die untereinander UND – verknüpft sind.

Nennen, bzw. zeichnen Sie ebenfalls die notwendigen Maßnahmen zur störsicheren Stromversorgung.