

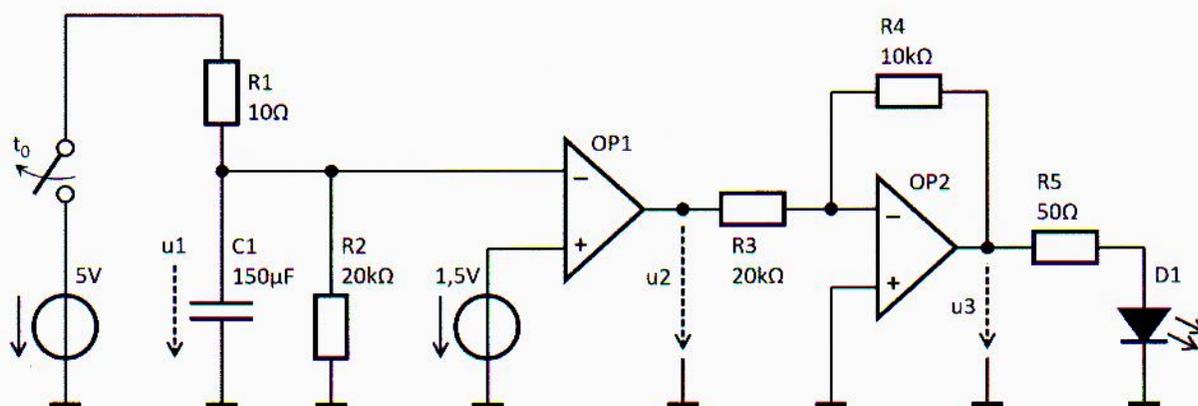
Hochschule München Fakultät 03	Wintersemester 2016/17 Aufgabenteil Elektronik		Prof. Dr.-Ing. Tilman Küpper
Zugelassene Hilfsmittel: eigene Formelsammlung, Taschenrechner	Matr.-Nr.:	Name, Vorname:	
	Hörsaal:	Unterschrift:	

Viel Erfolg!!

A	1	2	3	4	Σ	N
P	10	10	10	10	30	10

Aufgabe 1: Operationsverstärker (ca. 10 Punkte)

Eine Leuchtdiode wird durch kurzes Schließen eines Schalters eingeschaltet. Nach dem Loslassen (Öffnen) des Schalters leuchtet sie zunächst weiter, bevor sie nach einer bestimmten Zeit automatisch wieder ausgeht. Die Verzögerungsschaltung ist in der folgenden Abbildung dargestellt:



Alle Operationsverstärker haben eine maximale Ausgangsspannung von ± 5 V.

Bei geschlossenem Schalter wird C1 in sehr kurzer Zeit auf eine Spannung von $u_1 \approx 5$ V aufgeladen. Wird der Schalter zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ s geöffnet, entlädt sich der Kondensator C1 über den Widerstand R2, die Spannung u_1 sinkt exponentiell ab. (Zum Zeitpunkt $t_1 = 4,8$ s beträgt u_1 nur noch 1V.)

- 1.1. Geben Sie die prinzipielle Funktion der beiden Operationsverstärkerstufen OP1 und OP2 an. Beschreiben die Zusammenhänge zwischen den Ein- und Ausgangsspannungen der beiden Stufen jeweils durch eine Formel oder eine passende Skizze.

OP1: Komparator ohne Hysterese

$$u_1 > 1,5 \text{ V} \rightarrow u_2 = -5 \text{ V}$$

$$u_1 < 1,5 \text{ V} \rightarrow u_2 = +5 \text{ V}$$

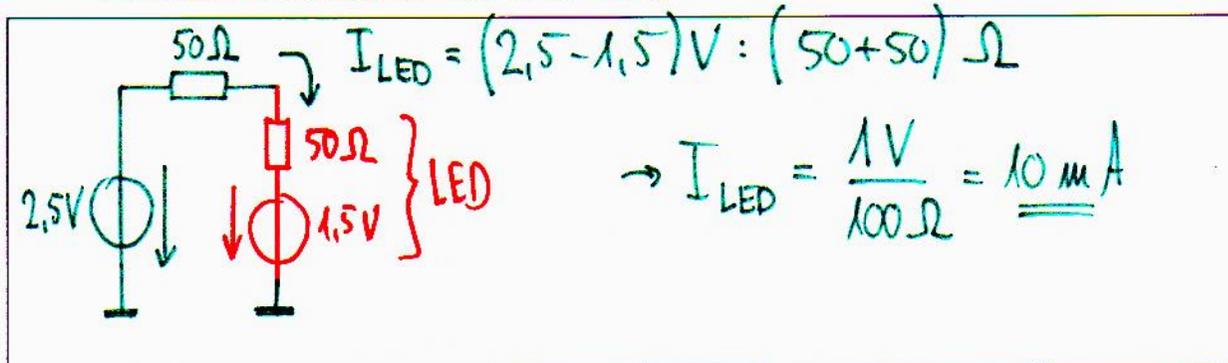
2

OP2: Invertierender Verstärker

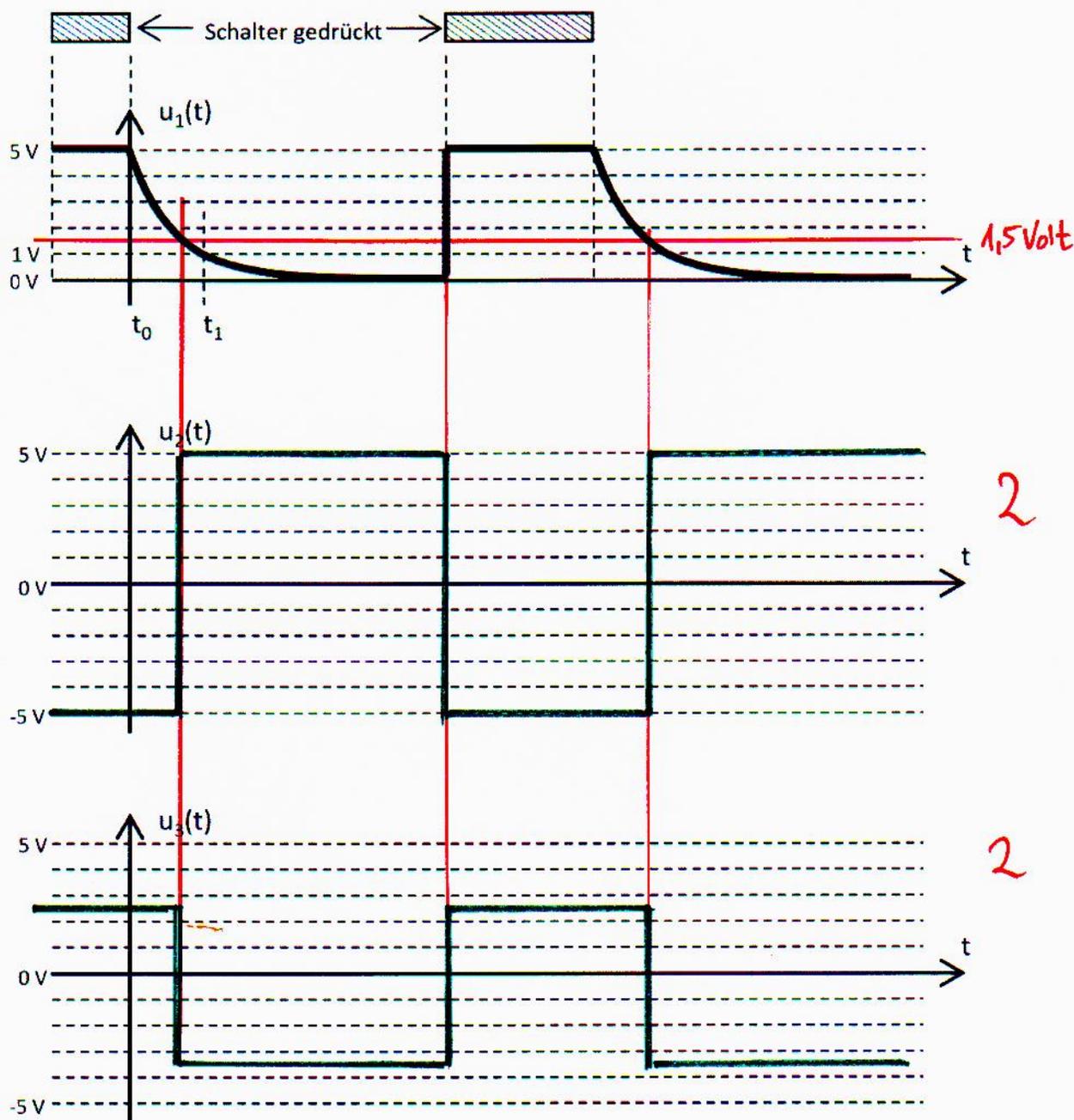
$$u_3 = -\frac{10}{20} \cdot u_2 = -0,5 \cdot u_2$$

2

- 1.2. Nehmen Sie an, dass die Spannung u_3 am Ausgang des rechten Operationsverstärkers 2,5 Volt beträgt. Berechnen Sie den Strom, der in diesem Fall durch die Leuchtdiode D1 fließt. (Daten der Leuchtdiode: $U_S = 1,5V$ und $r_f = 50\Omega$).



- 1.3. Zeichnen Sie den Verlauf der Spannungen u_2 und u_3 in das vorbereitete Diagramm:

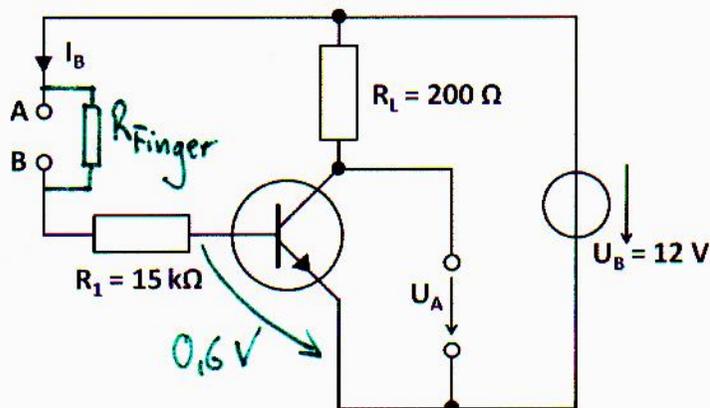


Transistor

Aufgabe 2: Halbleiterphysik, Diode (ca. 10 Punkte)

Die nebenstehende Abbildung zeigt die Schaltung einer einfachen Sensortaste: Wenn die Kontakte AB mit dem Finger überbrückt werden, ändert sich die Ausgangsspannung U_A .

Das Ausgangskennlinienfeld des Transistors ist unten auf dieser Seite abgebildet. Die Eingangskennlinie des Transistors ist nicht abgebildet, gehen Sie stattdessen vereinfachend von $U_{BE} = 0,6 \text{ V}$ aus.



2

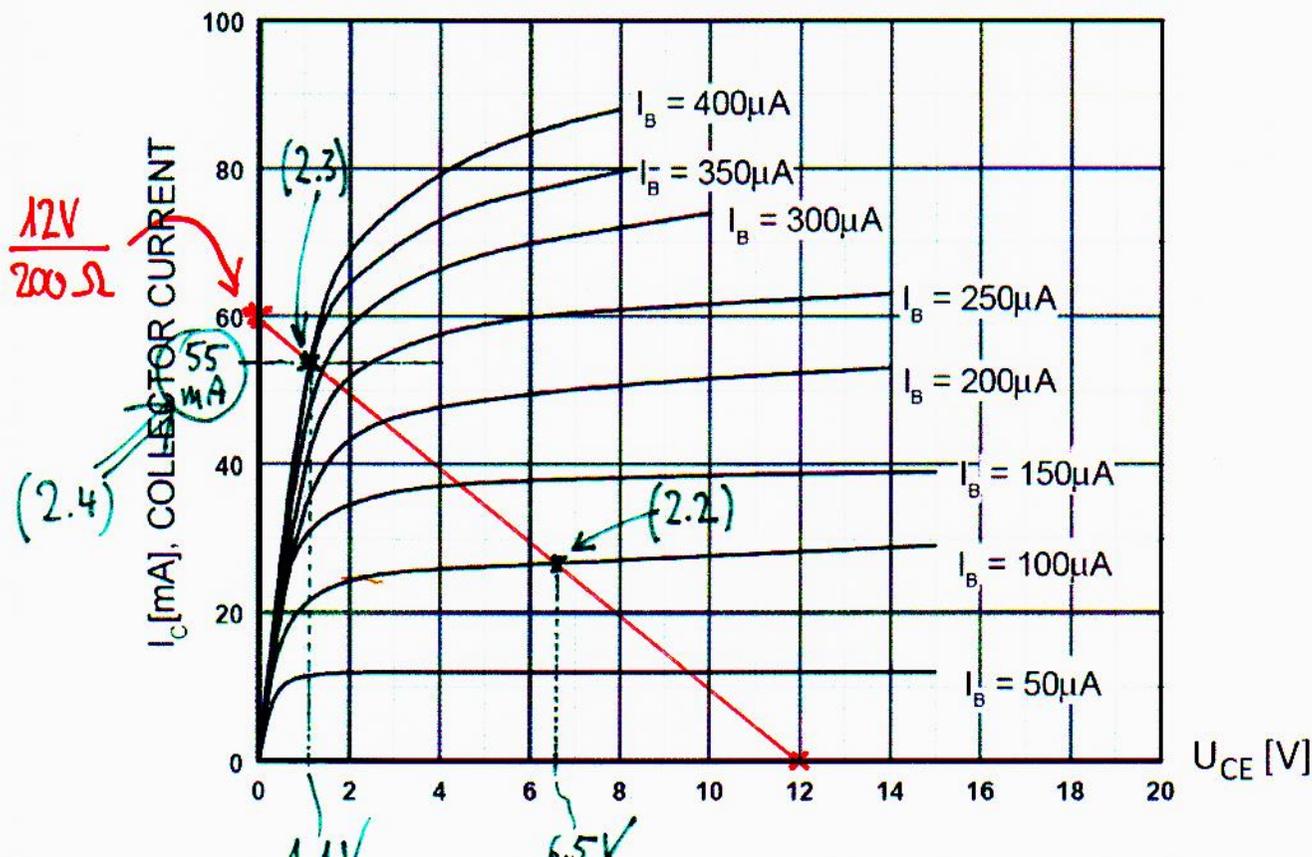
- 2.1. Zeichnen Sie die Arbeitsgerade des Lastwiderstands R_L in das Ausgangskennlinienfeld ein.
- 2.2. Herr K. überbrückt die Kontakte AB mit seiner Fingerspitze (Widerstand: $R_{\text{Finger}} = 100 \text{ k}\Omega$). Wie groß ist der Strom I_B ? Wie groß ist die Spannung U_A ? Markieren Sie diesen ersten Arbeitspunkt im Ausgangskennlinienfeld.

$$I_B = (12\text{V} - 0,6\text{V}) : (100\text{k}\Omega + 15\text{k}\Omega) = \underline{\underline{99,13 \mu\text{A}}}$$

→ $U_{CE} = 6,5\text{V}$ (abgelesen)

→ $U_A = U_{CE} = \underline{\underline{6,5\text{V}}}$

2



- 2.3. Frau B. überbrückt die Kontakte AB mit ihrem Ring (Widerstand $R_{\text{Ring}} = 0,1 \Omega$). Wie groß sind I_B und U_A nun? Markieren Sie auch diesen zweiten Arbeitspunkt im Ausgangskennlinienfeld.

$$I_B = (12V - 0,6V) : (0,1 \Omega + 15 k\Omega) = \underline{\underline{760 \mu A}}$$

$$\rightarrow U_{CE} = 1,1 V \text{ (abgelesen)}$$

$$\rightarrow U_A = U_{CE} = \underline{\underline{1,1 V}}$$

- 2.4. Wie groß ist die Leistung, die in Unterpunkt 2.3 am Transistor in Wärme umgesetzt wird?

$$I_c = 55 mA \text{ (abgelesen)}$$

$$U_{CE} = 1,1 V$$

$$\rightarrow P_{\text{Verl}} = 1,1 V \cdot 0,055 A = \underline{\underline{60,5 mW}}$$

- 2.5. Wozu dient der Widerstand R_1 ?

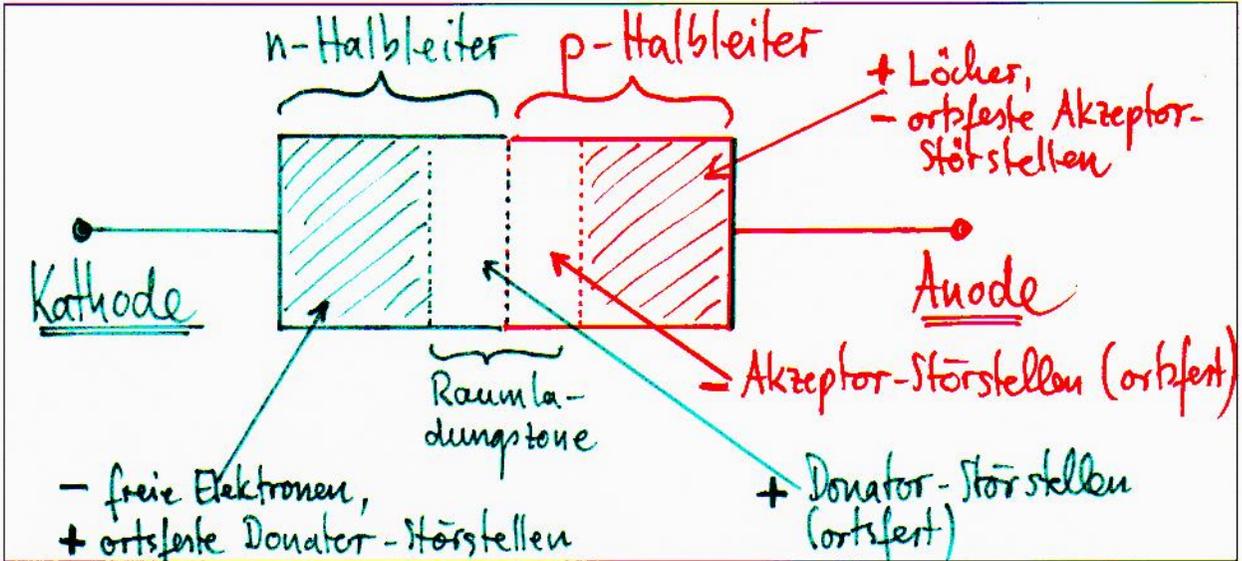
Zur Begrenzung des Basisstroms, falls der Kontakt AB kurzgeschlossen wird.

Ansonsten würde in diesem Fall der Transistor zerstört werden – die Basis ist recht empfindlich...!

Aufgabe 3: Halbleiterphysik, Diode (ca. 10 Punkte)

2

3.1. Skizzieren Sie den inneren Aufbau einer Gleichrichterdiode. Hinweis: Die Diode ist nicht an eine Spannungsquelle angeschlossen, alle Anschlüsse der Diode sind offen. Die unterschiedlichen Halbleiterbereiche inkl. Raumladungszone und die Namen der Anschlüsse sollen erkennbar sein.



2

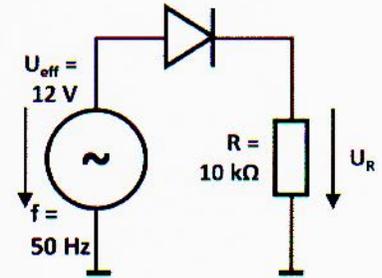
3.2. Schreiben Sie an alle Halbleiterbereiche aus Unterpunkt 3.1., welche Arten von Ladungsträgern (freie Elektronen oder Löcher, ortsfeste positiv oder negativ geladene Störstellen?) sich dort befinden. Tipp: Ortsfeste geladene Störstellen befinden sich in allen Bereichen der Diode.

3.3. Eine Reihenschaltung aus einer Diode und einem Widerstand wird an eine sinusförmige Wechselspannung mit einer Frequenz von 50 Hz angeschlossen. $\hat{U} = \sqrt{2} \cdot 12V = 17V$

1

U_{eff}

Zeichnen Sie in schwarzer Farbe den zeitlichen Verlauf der Eingangsspannung ($U_{eff} = 12V$) in das vorbereitete Diagramm.



2

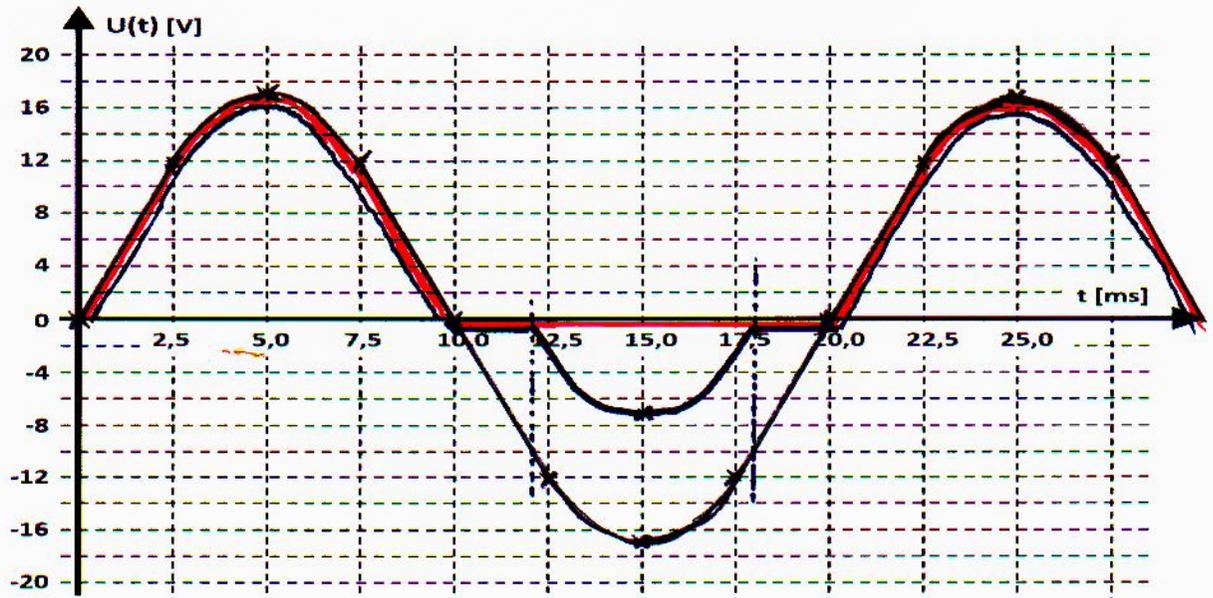
U_R

Als Diode wird zunächst eine „ideale“ Gleichrichterdiode eingesetzt ($U_S = 0V$ und $r_f = 0\Omega$). Zeichnen Sie in roter Farbe den zeitlichen Verlauf der Spannung U_R .

3

U_Z

Als Diode wird nun eine „ideale“ Zenerdiode mit folgenden Daten eingesetzt: $U_Z = 10V$, $r_Z = 0\Omega$, $U_S = 0V$, $r_f = 0\Omega$. Zeichnen Sie in blauer Farbe den neuen zeitlichen Verlauf der Spannung U_R .



Aufgabe 4: Halbleiter (ca. 15 Punkte)Hinweis: Der Unterpunkt 4.5 kann unabhängig vom Rest dieser Aufgabe gelöst werden!

Ein Halbleiterplättchen aus Silizium mit einer Fläche $A = 0,1 \text{ cm}^2$ und einer Dicke $d = 1 \text{ mm}$ soll bei einer Stromstärke $I = 50 \text{ A}$ höchstens eine Verlustleistung $P = 2 \text{ W}$ aufweisen.

Eigenschaften von Silizium bei Zimmertemperatur ($T = 300 \text{ K}$): Bandabstand $E_G = 1,1 \text{ eV}$; Eigenleitungsdichte $n_i = 1,5 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$; Beweglichkeit der freien Elektronen $\mu_n = 1350 \text{ cm}^2/\text{Vs}$; Löcherbeweglichkeit $\mu_p = 480 \text{ cm}^2/\text{Vs}$; Durchbruchfeldstärke $E_{Br} = 105 \text{ V/cm}$; Elementarladung $e = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As}$; Boltzmannkonstante $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J/K}$

4.1. Welchen Widerstand R darf das Plättchen höchstens haben? (Ersatzwert: $1 \text{ m}\Omega$)

$$P = 2 \text{ W} = I^2 \cdot R \rightarrow R = \frac{2 \text{ W}}{(50 \text{ A})^2} = \underline{\underline{0,8 \text{ m}\Omega}}$$

2

4.2. Welche elektrische Leitfähigkeit κ muss es mindestens aufweisen? (Ersatzwert: $10^5 \frac{1}{\Omega\text{m}}$)

$$R = \rho \cdot \frac{d}{A} = \frac{1}{\kappa} \cdot \frac{d}{A} \rightarrow \kappa = \frac{d}{R \cdot A} = \frac{0,001 \text{ m}}{0,0008 \Omega \cdot 0,1 \cdot (0,01 \text{ m})^2} = \underline{\underline{1,25 \cdot 10^5 \frac{1}{\Omega\text{m}}}}$$

2

4.3. Mit welcher Akzeptordichte N_A muss es dotiert werden, damit die geforderte elektrische Leitfähigkeit bei Zimmertemperatur ($T = 300 \text{ K}$) erreicht wird?

„Kräftig“ dotierter p-Halbleiter: $N_D = \emptyset$, $p_0 \approx N_A$

$\kappa = e (\mu_p \cdot p_0 + \mu_n \cdot n_0) \approx e \cdot \mu_p \cdot N_A$ *vernachlässigbar!*

$$\rightarrow N_A = \frac{\kappa}{e \cdot \mu_p} = \frac{1,25 \cdot 10^5 \frac{1}{\Omega\text{m}}}{1 \text{ m} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 480 (0,01 \text{ m})^2} = \underline{\underline{1,63 \cdot 10^{19} \text{ cm}^{-3}}}$$

3

4.4. Bei Zimmertemperatur ($T = 300 \text{ K}$) kann davon ausgegangen werden, dass alle Akzeptorstörstellen ionisiert sind. Wie verändert sich der Widerstand des Halbleiterplättchens qualitativ, wenn die Temperatur darüber hinaus (a) etwas bzw. (b) stark erhöht wird? (Kurze Begründung!)

a) fast gar nicht (n_i kann weiterhin vernachlässigt werden).

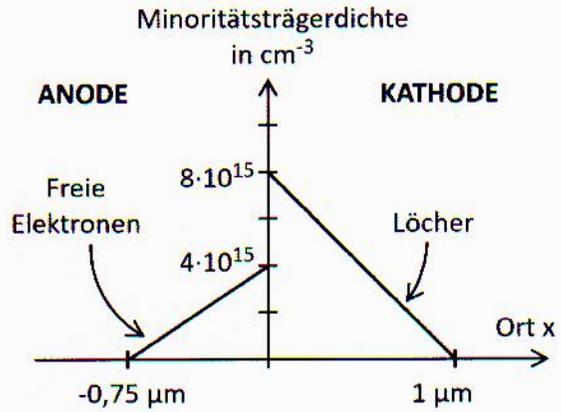
b) Wenn durch die Erwärmung n_i so stark ansteigt, dass n_i in den Bereich von N_A gelangt – oder sogar darüber hinaus steigt – dann sinkt R noch weiter ab.

2

4.5. Die nebenstehende Abbildung zeigt die Minoritätsträgerdichten einer in Flussrichtung gepolten Siliziumdiode. Die aktive Fläche der Diode sei $A = 25 \mu\text{m}^2$.

Wie groß sind die Diffusionsströme $I_{p,diff}$ und $I_{n,diff}$ bei Zimmertemperatur ($T = 300 \text{ K}$) aufgrund der Veränderung der Minoritätsträgerkonzentration in den jeweiligen Gebieten?

Wie groß ist der Gesamtdiffusionsstrom I_{diff} der Minoritätsträger?



5

$$I_{n,diff} = +A \cdot k \cdot T \cdot \mu_n \cdot \frac{dn}{dx} = 25 \cdot (10^{-6} \text{ m})^2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{VA}}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K} \cdot 0,135 \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}} \cdot \frac{4 \cdot 10^{15}}{0,75 \cdot 10^{-6} \text{ m}} = 74,52 \mu\text{A} \quad (2)$$

(Minus!)

$$I_{p,diff} = -25 \cdot (10^{-6} \text{ m})^2 \cdot 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{VA}}{\text{K}} \cdot 300 \text{ K} \cdot 0,048 \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}} \cdot \frac{8 \cdot 10^{15}}{(10^{-6} \text{ m}) \cdot (0,01 \text{ m})^3} = +39,74 \mu\text{A} \quad (2)$$

→ $I_{diff} = I_{n,diff} + I_{p,diff} = 14,26 \mu\text{A} \quad (1)$

Aufgabe 5: Digitaltechnik, Mikrocontroller (ca. 15 Punkte)

Hinweis: Die Unterpunkte 5.1.-5.3. und 5.4.-5.5. können unabhängig voneinander bearbeitet werden!

An die Ausgänge B4, B5, B6 und B7 des Mikrocontrollers ATmega8515 sind vier Leuchtdioden mit passenden Vorwiderständen angeschlossen. Die Leuchtdioden leuchten, falls am jeweiligen Ausgang eine „logische Eins“ ausgegeben wird. Auf dem Mikrocontroller wird das folgende Programm ausgeführt:

```
#define F_CPU 1843200UL
#include <compat/deprecated.h>
#include <avr/sfr_defs.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>
```

```
int main(void)
{
    DDRB = 240;
    while(1 == 1)
    {
        sbi(PORTB, 7); _delay_ms(1000);
        cbi(PORTB, 7); _delay_ms(1000);
    }
    return 0;
}
```

PB7 PB0
1 1 1 1 0 0 0 0

(Aufgabe 5.1)

$$1 \cdot 16 + 1 \cdot 32 + 1 \cdot 64 + 1 \cdot 128 = 240$$

5.1. Welcher Wert muss in das Register DDRB geschrieben werden, damit die Anschlüsse B4, B5, B6 und B7 des Mikrocontrollers als Ausgänge verwendet werden können? Schreiben Sie den korrekten Wert an die vorbereitete Stelle im Quelltext!

5.2. Wie verhalten sich die Leuchtdioden, wenn das C-Programm ausgeführt wird?

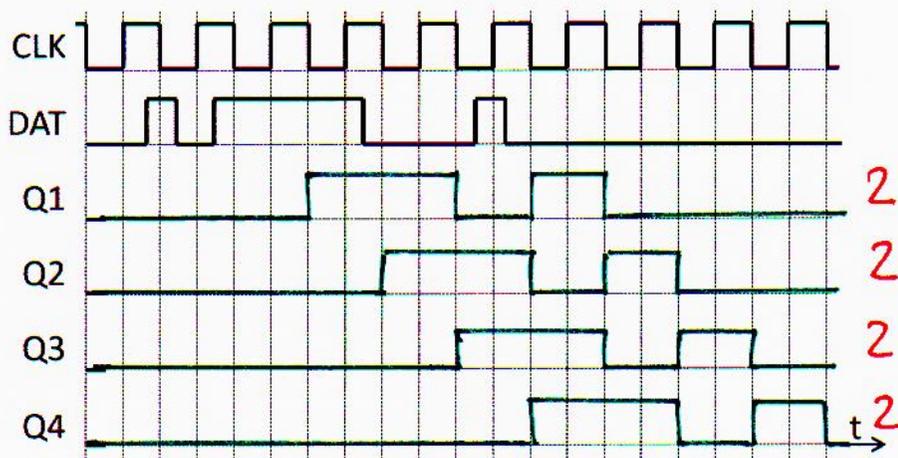
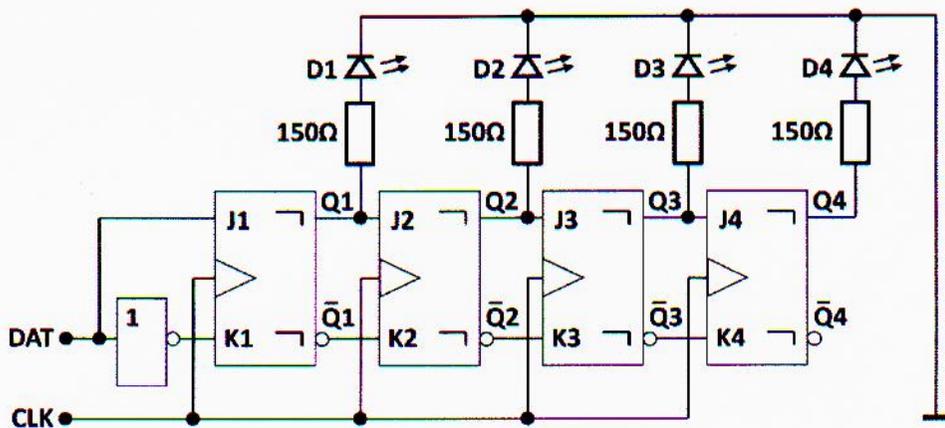
- 2
- LED am PB7 blinkt mit $f = 0,5 \text{ Hz}$ ($\hat{=} 1 \text{ s an, } 1 \text{ s aus, } \dots$)
 - Alle anderen LEDs bleiben ausgeschaltet.

5.3. Mit welchen Befehlen können alle vier Leuchtdioden gleichzeitig eingeschaltet werden?

2

```
sbi(PORTB, 4);  sbi(PORTB, 5);
sbi(PORTB, 6);  sbi(PORTB, 7);
```

5.4. Die abgebildete Schaltung aus positiv flankengetriggerten JK-Master/Slave-Flipflops besitzt zwei Eingänge DAT und CLK sowie vier Ausgänge Q1...Q4. Die Leuchtdioden leuchten, falls am jeweiligen Ausgang eine „logische Eins“ ausgegeben wird. Zeichnen Sie den Verlauf der Signale Q1, Q2, Q3, Q4 in das vorbereitete Diagramm!



2
2
2
2
8

5.5. Nennen Sie zwei Beispiele, wozu Schieberegister in der Praxis verwendet werden können.

- 2
- Mit wenigen Anschlüssen eines μC viele Digitalausgänge schalten (siehe 5.4.: 2 Anschlüsse \rightarrow 4 LEDs ...)
 - Verzögerung von dig. Signalfolgen um einen oder mehrere Taktschritte.