Hochschule München Fakultät 03	Sommersemester 2015 **Elektronik**	Prüfer: Prof. Tilman Küpper
Zugelassene Hilfsmittel: alle eigenen, Taschenrechner	**Matr.-Nr.:** **Name, Vorname:** **Hörsaal:** **Unterschrift:**	

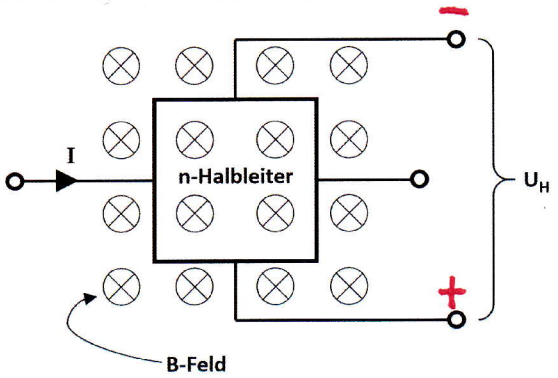
Viel Erfolg!!

A	1	2	3	4	Σ	N
P	12	18	15	15	60	1,0

Aufgabe 1, Halbleiter (ca. 12 Punkte)

Die Unterpunkte 1.1 und 1.2 können unabhängig voneinander bearbeitet werden!

Ein n-Typ Hall-Element aus Indiumarsenid (InAs, Hallkonstante R_H = 120 cm³/As) mit einer Dicke von d = 0,05 mm wird von einem Strom I = 0,1 A durchflossen („technische" Stromrichtung: siehe Skizze).



1.1a. Zeichnen Sie die Polarität der Hallspannung U_H in die nebenstehende Skizze ein. 1

1.1b. Welche Hallspannung U_H ergibt sich, wenn die magnetische Flussdichte B = 20 mT beträgt?

$$U_H = \frac{B \cdot I}{d} \cdot R_H = \frac{0{,}02\,T \cdot 0{,}1\,A}{0{,}00005\,m} \cdot 120\,\frac{(0{,}01\,m)^3}{As}$$

$$= 4{,}8\,mV$$

1

1.1c. Nennen Sie zwei typische Anwendungen für Hall-Elemente.

- Zum Bestimmen der B-Feldstärke
- Zum Bestimmen der Halbleitereigenschaften (bei bekannter B-Feldstärke)
- Als Positions-Sensor für Drehzahlmessung usw...

2

1.2a. Ein Germanium-Halbleiter ist mit einer Phosphor-Dichte von $1 \cdot 10^{15}$ Atomen/cm³, einer Bor-Dichte von $5 \cdot 10^{15}$ Atomen/cm³ und einer Arsen-Dichte von $1 \cdot 10^{16}$ Atomen/cm³ dotiert. Berechnen Sie die Dichte der freien Elektronen n_0, die Löcherdichte p_0 sowie den spezifischen Widerstand ρ des Halbleiters bei Raumtemperatur.

($n_i = 2{,}3 \cdot 10^{13}\,cm^{-3}$, $\mu_n = 3900\,cm^2/Vs$, $\mu_p = 1900\,cm^2/Vs$, $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}\,As$,
Bor hat 3 Valenzelektronen, Arsen- und Phosphor haben 5 Valenzelektronen)

$N_D = (1 \cdot 10^{16} + 1 \cdot 10^{15})\,cm^{-3} = 1{,}1 \cdot 10^{16}\,cm^{-3}$

$N_A = 0{,}5 \cdot 10^{16}\,cm^{-3}$ ⇝ n-Halbleiter

$n_0 = N_D - N_A = 0{,}6 \cdot 10^{16}\,cm^{-3}$ (Näherung zulässig!)

$\rightarrow p_0 = n_i^2 / n_0 = (2{,}3 \cdot 10^{13}\,cm^{-3})^2 / n_0 = 8{,}82 \cdot 10^{10}\,cm^{-3}$

Nur Majoritätsträger für spez. Wid. relevant:

$\rho \approx \frac{1}{e \cdot \mu_n \cdot n_0} = \frac{1}{1{,}6 \cdot 10^{-19}\,As \cdot 0{,}39\,m^2 \cdot 0{,}6 \cdot 10^{22}}$

$= 2{,}67 \cdot 10^{-3}\,\Omega m = 0{,}267\,\Omega cm$

4

1.2b. Der Halbleiter aus Aufgabe 1.2a. wird nun erwärmt, wodurch der spezifische Widerstand auf $\rho = 0{,}2\,\Omega cm$ sinkt. Berechnen Sie die Dichte der freien Elektronen n_0, die Löcherdichte p_0 sowie die Eigenleitungsträgerdichte n_i für diesen Fall. Es darf angenommen werden, dass sich die Ladungsträgerbeweglichkeiten trotz Erwärmung nicht verändert haben.

$\rho \cdot e = \frac{1}{p_0 \mu_p + n_0 \mu_n}$ und $p_0 = n_0 + N_A - N_D$ einsetzen...

$\rightarrow \frac{1}{\rho \cdot e} = n_0 \mu_p + (N_A - N_D)\mu_p + n_0 \mu_n = n_0(\mu_p + \mu_n) + (N_A - N_D)\mu_p$

$\rightarrow n_0 = \frac{\frac{1}{\rho \cdot e} - (N_A - N_D)\mu_p}{\mu_p + \mu_n} = 7{,}35 \cdot 10^{15}\,cm^{-3}$

$\rightarrow p_0 = n_0 + N_A - N_D = 1{,}35 \cdot 10^{15}\,cm^{-3}$

$\rightarrow n_i = \sqrt{n_0 p_0} = 3{,}15 \cdot 10^{15}\,cm^{-3}$

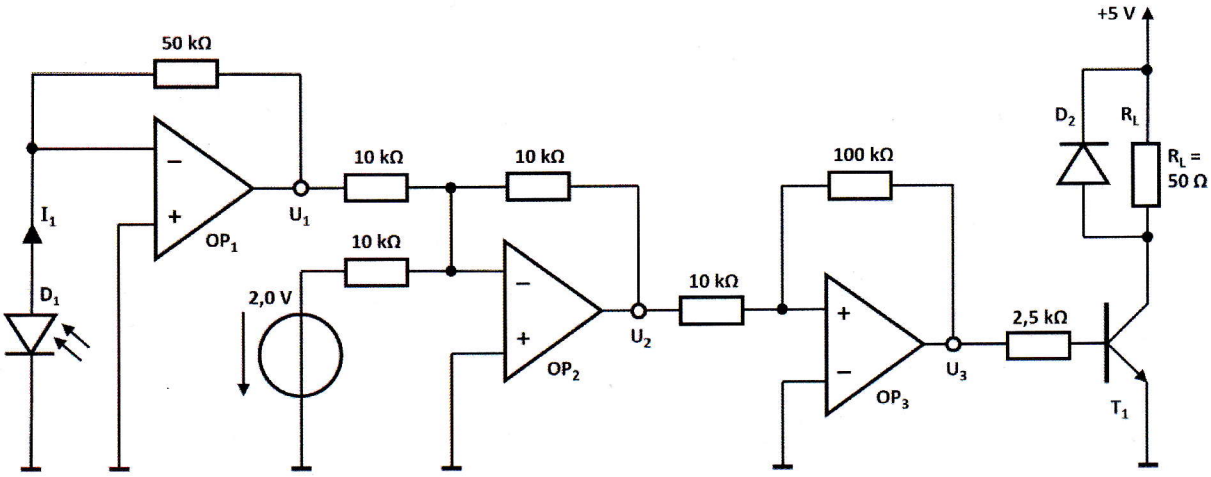
4

Aufgabe 2, Operationsverstärker, Diode, Transistor (ca. 18 Punkte)

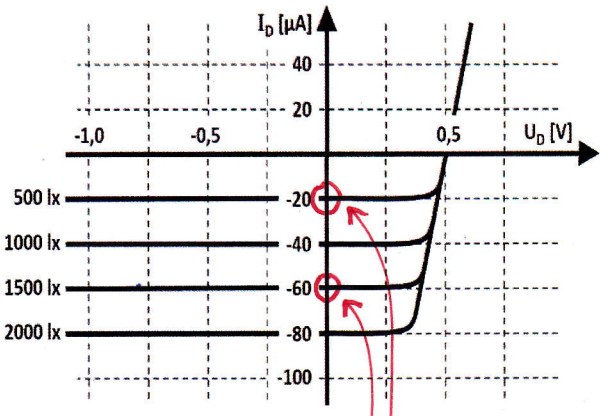
Die abgebildete Schaltung nutzt eine Fotodiode, um Beleuchtungsstärken zu messen. Der von der Fotodiode abgegebene Strom wird mit einer Schaltung aus idealen Operationsverstärkern ausgewertet. Am Ausgang der Schaltung wird ein Verbraucher R_L vom Transistor T_1 ein- bzw. ausgeschaltet.

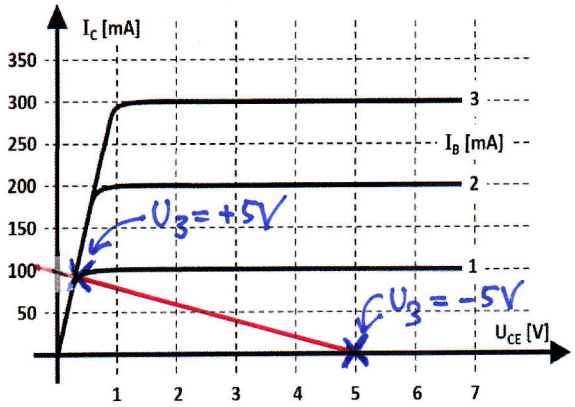
Die maximale/minimale Ausgangsspannung der Operationsverstärker beträgt ±5 Volt. Alle Spannungsangaben beziehen sich auf Masse.

Die Unterpunkte 2.1, 2.2, 2.3 und 2.4 können unabhängig voneinander bearbeitet werden!



Die Diodenkennlinie von D_1 und das Ausgangskennlinienfeld von T_1 sehen wie folgt aus:





2.1. Wie groß sind der Strom I_1 und die Spannung U_1 bei Beleuchtungsstärken von E = 500 lx und von E = 1500 lx?

$I_1(500\,lx) = +20\,\mu A$, $I_1(1500\,lx) = +60\,\mu A$

$U_1 = -50k\Omega \cdot I_1$

$\rightarrow U_1(500\,lx) = -1V$, $U_1(1500\,lx) = -3V$

4

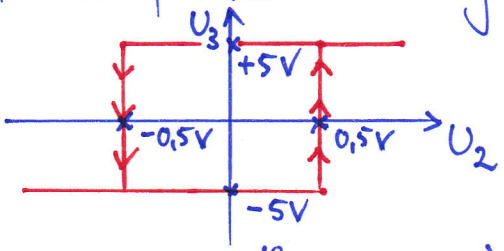
4

2.2a. Um welche Grundschaltungen handelt es sich bei den Operationsverstärkerstufen OP_2 und OP_3? Geben Sie für diese beiden Stufen den Zusammenhang zwischen Ein- und Ausgangsspannung durch eine Formel oder durch eine passende Skizze an.

OP2: Addierer

$U_2 = -(U_1 + 2V)$

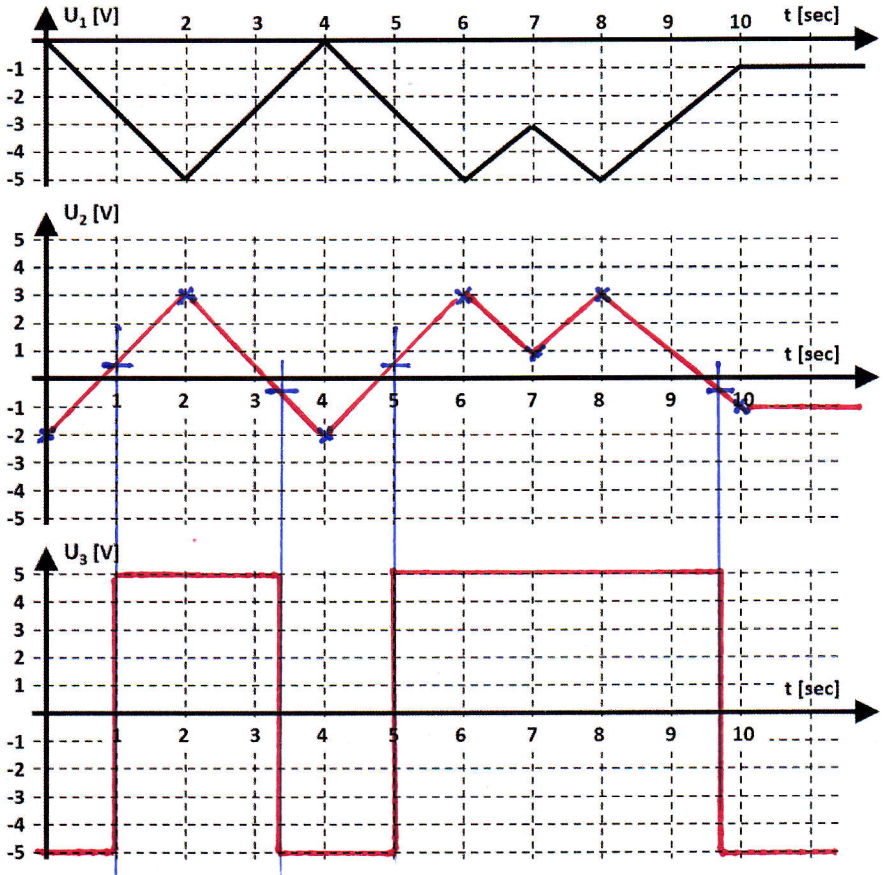
OP3: Komparator mit Hysterese



(Schwellenwerte: $\pm 5V \cdot \frac{10}{100} = \pm 0,5$ Volt)

4

2.2b. Zeichnen Sie die zeitlichen Verläufe von U_2 und U_3 in das folgende Diagramm ein.



4

s.o...!

(2 Pkt.) 2.3a. Zeichnen Sie die Arbeitsgrade der Transistorstufe T_1 in das Ausgangskennlinienfeld von T_1 ein.

$\frac{5V}{50\Omega} = 0,1A$

(2 Pkt.) 2.3b. Zeichnen Sie die beiden Arbeitspunkte in das Ausgangskennlinienfeld von T_1 ein, die sich bei Spannungen von U_3 = -5 V und U_3 = +5 V ergeben.

$I_B = \frac{(5-0,7)V}{2,5\,k\Omega} = 1,72\,mA$

2.4. Begründen Sie in einigen Stichworten, warum die Diode D_1 bei Verbrauchern R_L mit induktivem Anteil (Gleichstrommotor, Relais o. ä.) unbedingt eingebaut werden sollte.

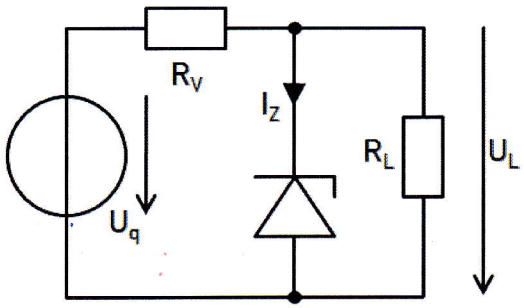
„Freilaufdiode", weil T_1 den Strom durch einen ind. Verbraucher nicht schlagartig abschalten kann!

(→ zum Schutz von T_1 notwendig)

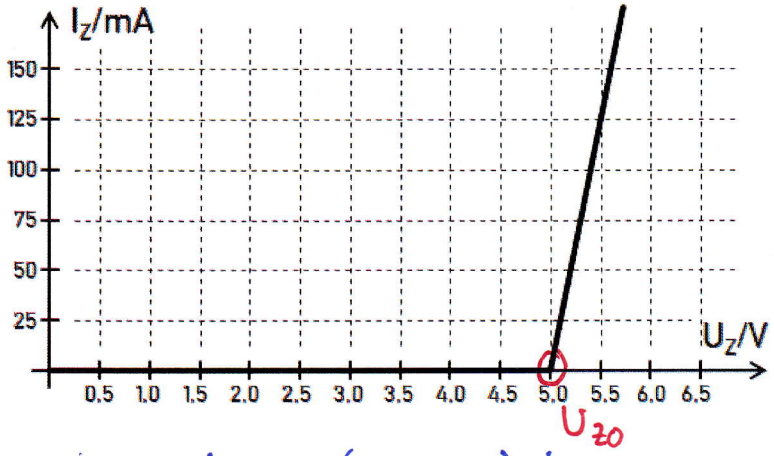
2

Aufgabe 3 (ca. 15 Punkte)

Ein Verbraucher (R_L = 2 kΩ) wird von einem Gleichspannungsnetzteil (U_q) mit Strom versorgt. Die zulässige Betriebsspannung des Verbrauchers liegt im Bereich 4,5 V < U_L < 5,5 V. Eine Zenerdiode (U_{Z0}, r_Z) mit Vorwiderstand (R_V = 100 Ω) schützt den Verbraucher vor einer Beschädigung durch Überspannung.



3.1. Ermitteln Sie aus der Diodenkennlinie die Parameter U_{Z0} und r_Z der eingesetzten Zenerdiode. *(Ersatzwerte: U_{Z0} = 5 V, r_Z = 2 Ω)*



$U_{Z0} = 5{,}0\,V$ $\quad r_Z = \frac{\Delta U_Z}{\Delta I_Z} = \frac{(5{,}5 - 5{,}0)\,V}{(125 - 0)\,mA} = 4\,\Omega$ 2

3.2. Zunächst hat die Versorgungsspannung den Wert U_q = 5 V. Begründen Sie in Stichworten, ob die Diode noch sperrt, sich im Flussbetrieb oder im Durchbruch befindet.

Spannungsteiler aus R_V und R_L:
$\rightarrow U_L = 5\,V \cdot \frac{2\,k\Omega}{2\,k\Omega + 100\,\Omega} = 4{,}76\,V < U_{Z0} \rightarrow$ Diode sperrt! 1

3.3. Wie groß sind für U_q = 5 V die Spannung am Verbraucher (U_L), der Diodenstrom (I_Z) und die an der Zenerdiode in Wärme umgesetzte Leistung (P_Z)?

$U_L = 4{,}76\,V$ (s.o.)

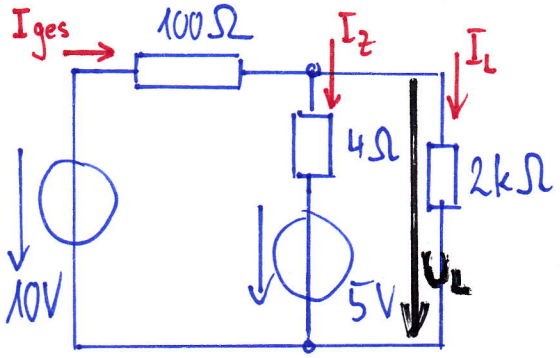
Diode sperrt $\rightarrow I_Z = 0\,A \rightarrow P_Z = 0\,W$ 3

3.4. Aufgrund einer Fehlfunktion des Gleichspannungsnetzteils verdoppelt sich die Spannung U_q auf den Wert U_q = 10 V. Begründen Sie in Stichworten, ob die Diode bei dieser höheren Versorgungsspannung noch sperrt, sich im Flussbetrieb oder im Durchbruch befindet.

Ohne Z-Diode würde sich U_L verdoppeln und wäre dann deutlich größer als U_{Z0}:
→ Diode ist im Durchbruch!

1

3.5. Wie groß sind für U_q = 10 V die Spannung am Verbraucher (U_L), der Diodenstrom (I_Z) und die an der Zenerdiode in Wärme umgesetzte Leistung (P_Z)?



$$I_{ges} = I_Z + I_L$$

$$\rightarrow \frac{10V - U_L}{100\Omega} = \frac{U_L - 5V}{4\Omega} + \frac{U_L}{2000\Omega}$$

$$\rightarrow \frac{10V}{100\Omega} + \frac{5V}{4\Omega} = U_L\left(\frac{1}{100\Omega} + \frac{1}{4\Omega} + \frac{1}{2000\Omega}\right)$$

$$\rightarrow U_L = 5{,}182V \rightarrow I_Z = (U_L - 5V)/4\Omega = 45{,}6\,mA$$

$$\rightarrow P_Z = U_L \cdot I_Z = 0{,}23\,W$$

5

3.6. Welchen Wert U_{qmax} darf die Versorgungsspannung maximal annehmen, damit der Verbraucher gerade noch nicht beschädigt wird (U_{Lmax} = 5,5 V)?

$$I_{Lmax} = \frac{5{,}5V}{2k\Omega} = 2{,}75\,mA$$

$$I_{Zmax} = (5{,}5V - 5V)/4\Omega = 125\,mA$$

$$\Big\} I_{ges,max} = 127{,}75\,mA$$

Spg.-Abfall an R_V: $U_{RV} = I_{ges,max} \cdot R_V = 12{,}775\,V$

$$\rightarrow U_{q,max} = U_{L,max} + U_{RV} = 18{,}3\,V$$

3

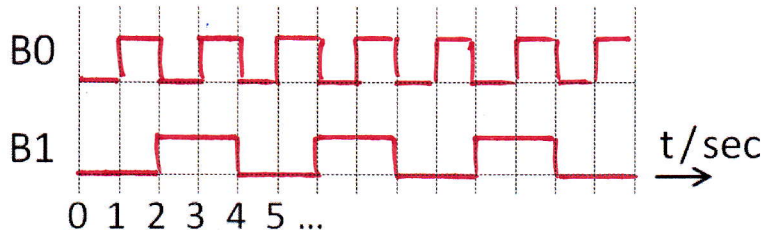
Aufgabe 4 (ca. 15 Punkte)

Das folgende C-Programm wird in Maschinensprache übersetzt und auf einem Mikrocontroller des Typs ATmega8515 ausgeführt.

```
/* Taktfrequenz des Controllers */
#define F_CPU 1843200UL

/* AVR-spezifische Include-Dateien */
#include <compat/deprecated.h>
#include <avr/sfr_defs.h>
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

/* Hauptprogramm */
int main(void)
{
	/* Aktueller Zustand des Programms */
	int state = 1;

	/* PB0...PB3 sind Ausgänge, PB4...PB7 sind Eingänge */
	DDRB = 15;

	while(1 == 1)
	{
		if     (state == 1) { cbi(PORTB, 1); cbi(PORTB, 0); state = 2; }
		else if(state == 2) { cbi(PORTB, 1); sbi(PORTB, 0); state = 3; }
		else if(state == 3) { sbi(PORTB, 1); cbi(PORTB, 0); state = 4; }
		else if(state == 4) { sbi(PORTB, 1); sbi(PORTB, 0); state = 1; }

		_delay_ms(1000);
	}

	return 0;
}
```

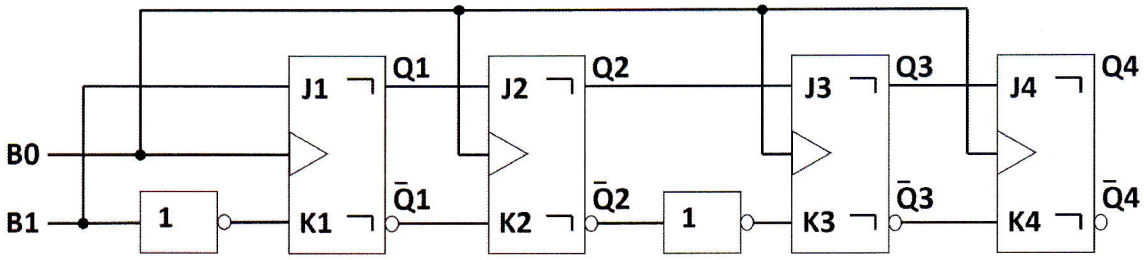
4.1. Zeichnen Sie die Signalverläufe, die an den Anschlüssen B0 und B1 des Mikrocontrollers ausgegeben werden, in das folgende Diagramm.

(Hinweis: Die Programmausführung beginnt zum Zeitpunkt t = 0s.)

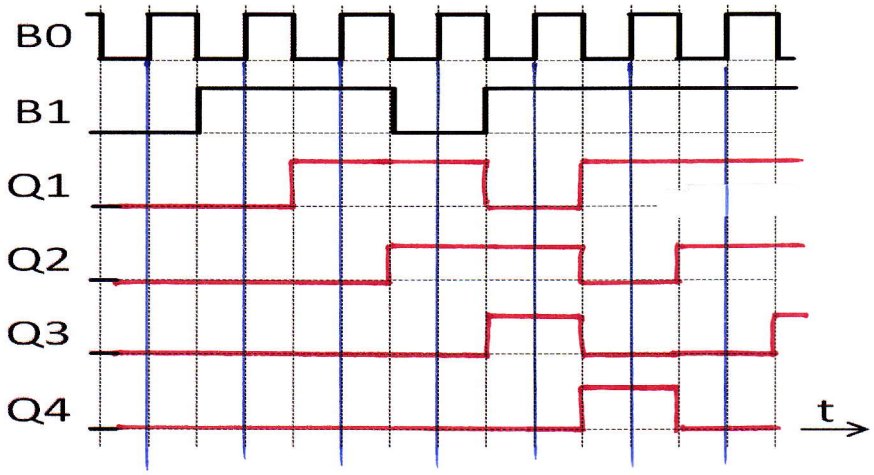


4

4.2. An die Anschlüsse B0 und B1 des Mikrocontrollers wird die abgebildete Schaltung aus vier positiv flankengesteuerten JK-Master/Slave-Flipflops angeschlossen.



Zeichnen Sie Signalverläufe an den Ausgängen Q1, Q2, Q3 und Q4 in das folgende Diagramm. (Hinweis: Auf dem Mikrocontroller läuft nun ein anderes Programm als in Aufgabe 4.1.)

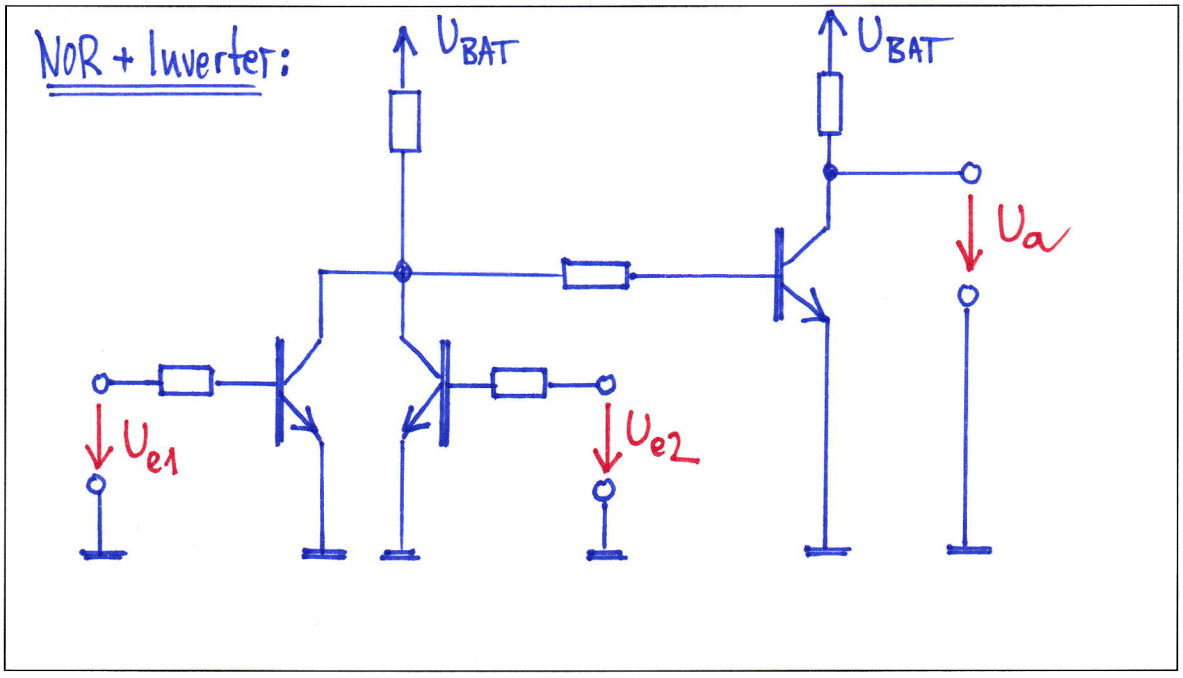


8

4.3. Eine ODER-Verknüpfung (auch OR-Gatter genannt) soll aus einzelnen Transistoren und Widerständen aufgebaut werden - also ohne Verwendung von integrierten Schaltkreisen.

Zeichnen Sie eine dazu geeignete Schaltung aus Transistoren und Widerständen in das folgende Feld. Kennzeichnen Sie die beiden Eingänge und auch den Ausgang der ODER-Verknüpfung!

Hinweis: Konkrete Bauteildaten (z. B. Widerstandswerte) müssen nicht angegeben werden!



3