

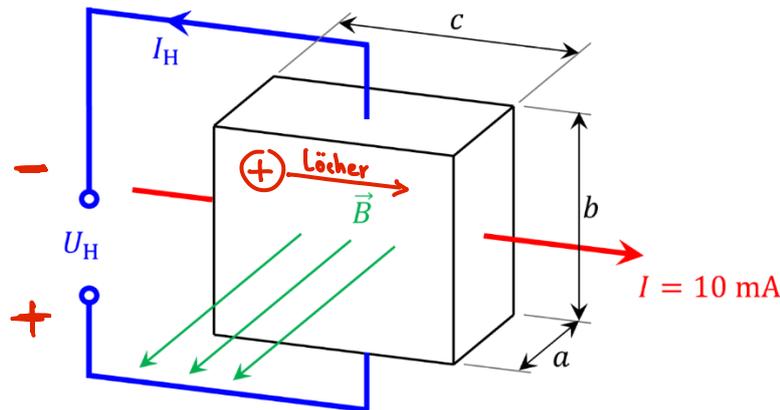
A1

14 Pkt.

Aufgabe: Halbleiter, Hall-Effekt (ca. 14 Punkte)

Durch ein Hall-Element aus Silizium mit den Abmessungen $a = 1 \text{ mm}$, $b = 2 \text{ mm}$, $c = 3 \text{ mm}$ fließt der Strom $I = 10 \text{ mA}$ (der Pfeil zeigt die technische Stromrichtung). Ein homogenes Magnetfeld der Stärke $B = 0,1 \text{ T}$ tritt senkrecht aus der vorderen Seite des Hall-Elements heraus.

Technische Daten: $n_i = 1,6 \cdot 10^{10} \text{ cm}^{-3}$, $N_A = 1 \cdot 10^{14} \text{ cm}^{-3}$, $N_D = 0$, $T = 300 \text{ K}$
 $e = 1,602\,177 \cdot 10^{-19} \text{ As}$, $\mu_n = 1500 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$, $\mu_p = 600 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$



3.1. Zeichnen Sie die Polarität der Hall-Spannung U_H in die Abbildung auf dieser Seite.

$$N_A > N_D \rightarrow \text{p-Halbleiter!}$$

3.2. Berechnen Sie die Größe der Hall-Spannung U_H .

$$U_H = \frac{B \cdot I}{a \cdot e \cdot N_A} = \frac{0,1 \text{ T} \cdot 0,01 \text{ A}}{0,001 \text{ m} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3}}$$

$$= 62,42 \text{ mV}$$

3.3. Zeichnen Sie die Bewegungsrichtung der Majoritätsträger in die Abbildung auf dieser Seite. Um welche Art von Ladungsträgern (freie Elektronen oder Löcher) handelt es sich dabei?

$$\text{p-HL} \rightarrow \text{Löcher}$$

3.4. Der Strom $I = 10 \text{ mA}$ führt zu einer (leichten) Erwärmung des Hall-Elements. Berechnen Sie die Leistung P_I , die dabei als Wärme abgegeben wird. (Hinweis: $I_H = 0$ annehmen!)

$$\rho \approx \frac{1}{e \cdot N_A \cdot \mu_p} = \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 10^{20} \text{ m}^{-3} \cdot 0,06 \text{ m}^2/\text{Vs}} = 1,04 \text{ } \Omega \text{ m}$$

$$R = \rho \cdot \frac{c}{a \cdot b} = 1,04 \text{ } \Omega \text{ m} \cdot \frac{0,003 \text{ m}}{0,001 \text{ m} \cdot 0,002 \text{ m}} = 1560,55 \text{ } \Omega$$

$$P = I^2 \cdot R = (0,01 \text{ A})^2 \cdot 1560,55 \text{ } \Omega = 0,156 \text{ W}$$

3.5. Berechnen Sie die Geschwindigkeit, mit der sich die Majoritätsträger im Hall-Element bewegen (es ist weiterhin $I = 10 \text{ mA}$).

$$|v_{dpl}| = \frac{I}{\rho_0 \cdot e \cdot b \cdot a} = \frac{0,01 \text{ A}}{10^{20} \text{ m}^{-3} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 0,001 \text{ m} \cdot 0,002 \text{ m}}$$

$$= 312,1 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

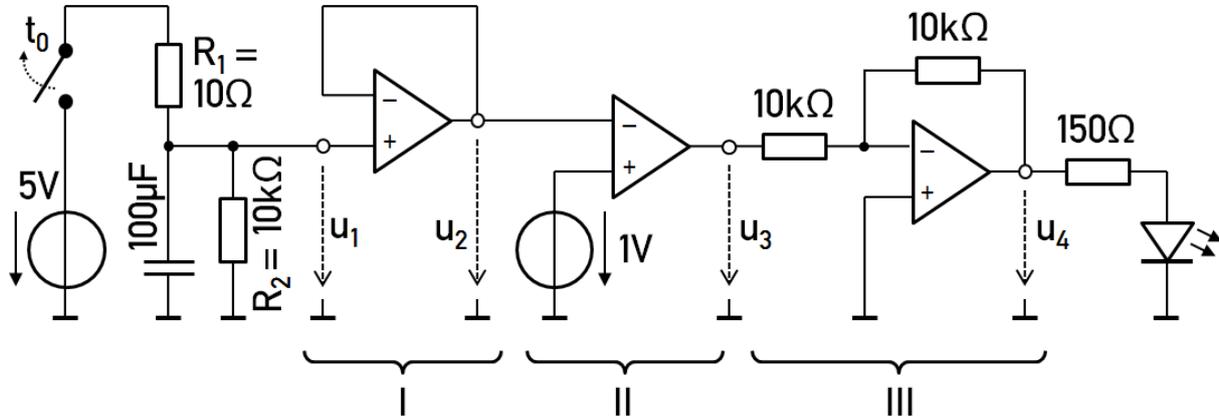
3.6. Nennen Sie zwei typische Anwendungen, bei denen Hall-Elemente zum Einsatz kommen.

- Magnetfeldmessung
- Drehzahlsensoren
- ...

16 Pkt.

Aufgabe 2: Operationsverstärker (ca. 16 Punkte)

Eine Leuchtdiode wird durch kurzes Schließen eines (Tast-)Schalters eingeschaltet. Nach dem Loslassen (Öffnen) des Schalters leuchtet sie für eine gewisse Zeit weiter, bevor sie wieder ausgeht. Die Abbildung zeigt die dazu verwendete Verzögerungsschaltung:



Alle (idealen) Operationsverstärker haben eine maximale Ausgangsspannung von ± 5 V.

Beim Schließen des Schalters wird der Kondensator auf eine Spannung von $u_1 \approx 5$ V aufgeladen. Wird der Schalter zum Zeitpunkt t_0 wieder geöffnet, entlädt sich der Kondensator über den Widerstand R_2 . Während dieses Entladevorgangs verändert sich die Spannung u_1 :

$$u_1(t) = 5 \text{ V} \cdot e^{-\frac{t-t_0}{\tau}} \quad \text{mit } \tau = 100 \mu\text{F} \cdot 10 \text{ k}\Omega$$

2.1. Geben Sie die genaue Funktion der Teilschaltungen I, II und III an.

- Welcher Zusammenhang besteht jeweils zwischen Eingangs- und Ausgangsspannung bei jeder der drei Teilschaltungen? (Formel oder Skizze angeben!)

I) Impedanzwandler: $U_2 = U_1$

II) Komparator: $U_2 < 1 \text{ V} \rightarrow U_3 = +5 \text{ V}$
 $U_2 > 1 \text{ V} \rightarrow U_3 = -5 \text{ V}$

III) inv. Verstärker: $U_4 = -\frac{10}{10} \cdot U_3 = -U_3$

2.2. Bei vielen Operationsverstärker-Schaltungen zeigt sich, dass die Spannungsdifferenz zwischen den beiden Operationsverstärker-Eingängen praktisch verschwindet ($U_{\text{dif}} \approx 0$). Nennen Sie zwei Bedingungen, die erfüllt sein müssen, damit $U_{\text{dif}} \approx 0$ gilt.

- 1) Rückkopplung auf neg. OPV-Eingang,
- 2) OPV-Ausgang darf nicht übersteuert sein.

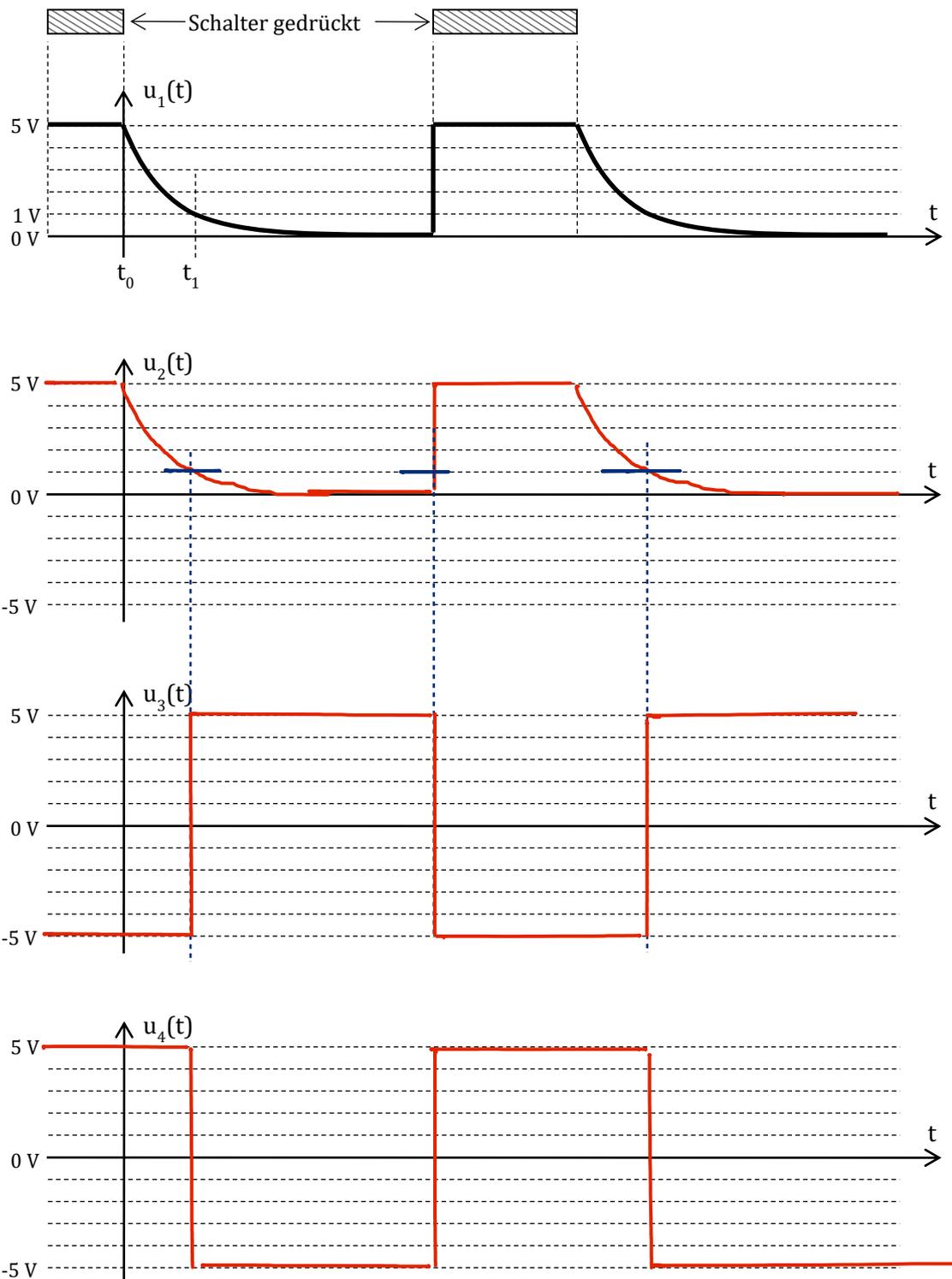
- 2.3. Der Kondensator ist voll aufgeladen. Zum Zeitpunkt $t_0 = 0$ s wird der Schalter geöffnet. Zu welchem Zeitpunkt t_1 ist u_1 auf 1 Volt gesunken?

$$u_1(t_1) = 1V = 5V \cdot e^{-t/1s} \quad \tau = 100\mu F \cdot 10k\Omega = 1s$$

$$0,2 = e^{-t/1s}$$

$$\rightarrow -1,61 \approx -t/1s \rightarrow t \approx 1,61s$$

- 2.4. Zeichnen Sie die Verläufe von u_2 , u_3 und u_4 in das folgende Diagramm.



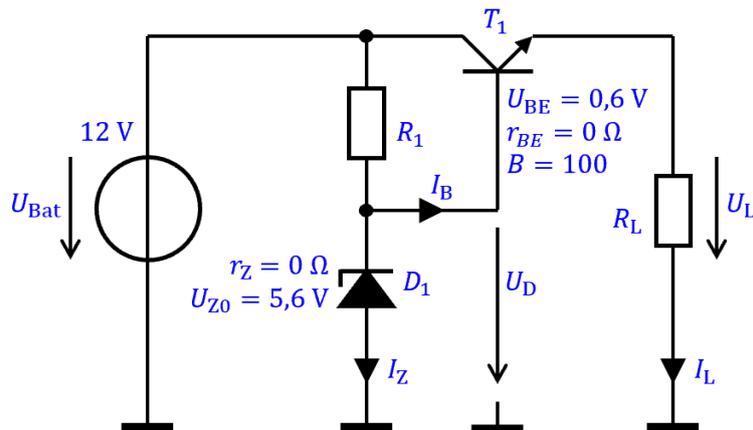
Hochschule München Fakultät 03	Sommersemester 2024 Angewandte Elektronik		Prof. Küpper	
Zugelassene Hilfsmittel: alle eigenen, Taschenrechner	Matr.-Nr.:	Name, Vorname:		
	Hörsaal:	Unterschrift:		

A	1	2	3	4	Σ	N
P						

A3

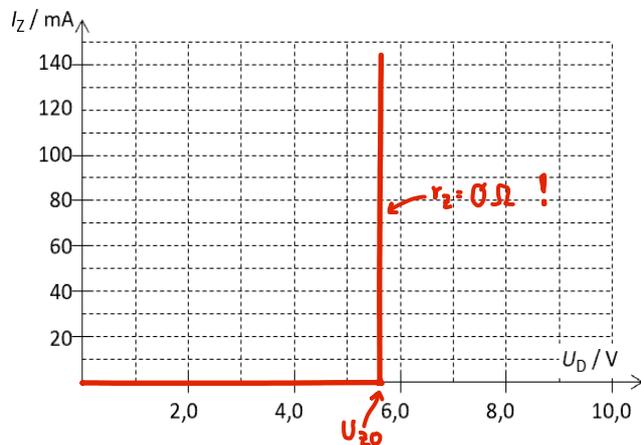
Aufgabe 1. Transistor, Diode (ca. 15 Punkte)

An die abgebildete Stabilisierung-Schaltung ist der Verbraucher R_L angeschlossen.



1.1. Zeichnen Sie die linearisierte Kennlinie, die das Durchbruchverhalten der Diode D_1 beschreibt, in das vorbereitete Diagramm (rechts)

I_L	1 mA	100 mA
I_B	10 μA	1 mA
U_L	5 V	5 V
R_L	5 k Ω	50 Ω



1.2. Durch den Verbraucher R_L fließt zunächst ein Strom von $I_L = 1 \text{ mA}$. Nun verändert sich der Widerstandswert von R_L , die Stromaufnahme steigt dadurch auf $I_L = 100 \text{ mA}$. Berechnen Sie die fehlenden Werte in der Tabelle (links). Aufgrund des sehr kleinen Basisstroms ist die folgende Näherung zulässig: Kollektorstrom \approx Emitterstrom.

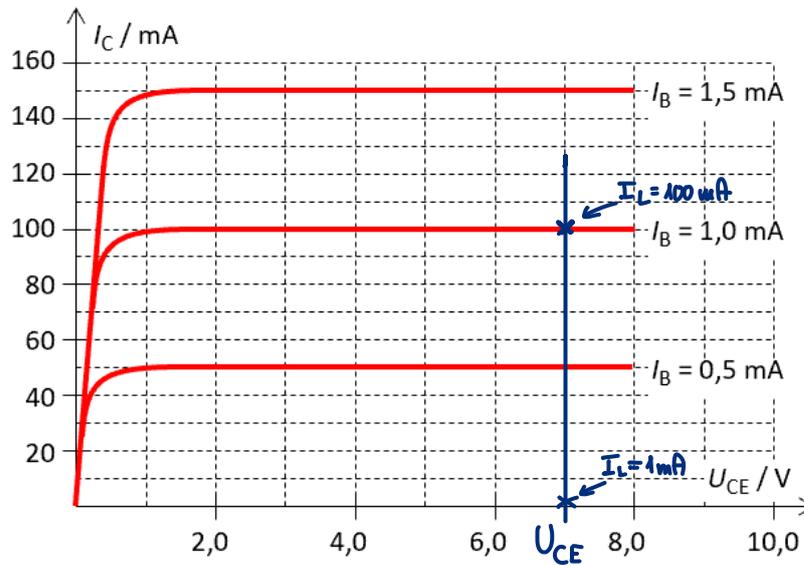
$U_L = U_D - U_{BE} = (5,6 - 0,6) \text{ V} = 5 \text{ V}$, unabhängig vom Betriebspunkt!

a) $1 \text{ mA} = I_L = I_E \approx I_C \approx B \cdot I_B \rightarrow I_B = 10 \mu\text{A} \rightarrow R_L = 5 \text{ V} / 1 \text{ mA} = 5 \text{ k}\Omega$

b) $100 \text{ mA} = I_L = I_E \approx I_C \approx B \cdot I_B \rightarrow I_B = 1 \text{ mA} \rightarrow R_L = 5 \text{ V} / 100 \text{ mA} = 50 \Omega$

(Platz für Nebenrechnungen) In beiden Fällen gilt: $U_{CE} = U_{BAT} - U_L = (12 - 5) \text{ V} = 7 \text{ V}$

- 1.3. Markieren Sie die Betriebspunkte, die sich bei $I_L = 1 \text{ mA}$ und bei $I_L = 100 \text{ mA}$ ergeben, im Ausgangskennlinienfeld des Transistors T_1 .

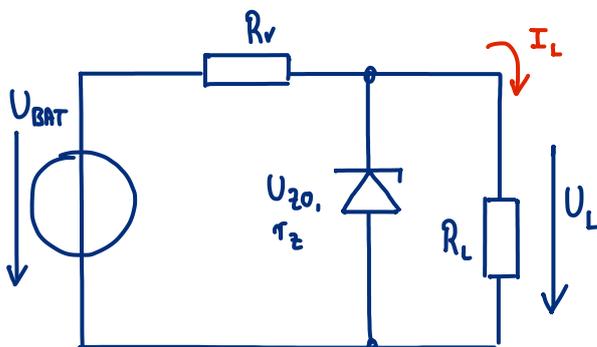


- 1.4. Wie groß ist die Verlustleistung am Transistor, wenn ein Strom von $I_L = 100 \text{ mA}$ fließt?

$$P_{V,Tr} \approx I_C \cdot U_{CE} = 100 \text{ mA} \cdot 7 \text{ V} = 0.7 \text{ W}$$

- 1.5. Verbraucher mit einem geringen Strombedarf von nur wenigen Milliampere können auch über eine einfache Z-Diodenschaltung (ohne Transistor!) mit einer stabilisierten Betriebsspannung versorgt werden. Skizzieren Sie eine solche Z-Diodenschaltung, wie sie in der Lehrveranstaltung behandelt wurde.

- Zeichnen Sie die Spannungen U_{Bat} und U_L sowie den Strom I_L in Ihre Skizze ein.
- Die Daten (z. B. Widerstandswerte) der Bauelemente müssen nicht angegeben werden.



Aufgabe 4: Mikrocontroller, Digitaltechnik (ca. 15 Punkte)

4.1. Es soll ein einfacher Signalgenerator zum Einsatz im Elektroniklabor programmiert werden, der auf einem ATmega8515-Mikrocontroller basiert. Der Ausgang des Signalgenerators befindet sich am Ausgang PB1. Am Ausgang PB2 ist eine Leuchtdiode (LED) angeschlossen.

An PBO ist ein Taster angeschlossen. Er sendet (wie im Praktikum) im gedrückten Zustand ein Low-Signal (= 0) zum Mikrocontroller bzw. ein High-Signal (= 1) im nicht gedrückten Zustand.

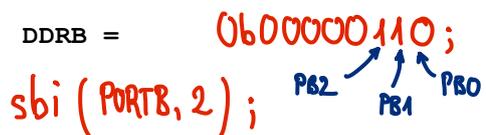
- Direkt nach dem Start des Programms wird die Leuchtdiode (PB2) eingeschaltet, damit der Anwender sieht, dass der Signalgenerator in Betrieb ist.
- Am Ausgang (PB1) wird bei nicht gedrücktem Taster ein Rechtecksignal mit einer Frequenz von 10 Hz ausgegeben (also: 50 ms ein, 50 ms aus, 50 ms ein, 50 ms aus usw.).
- Während der Taster (am Eingang PBO) gedrückt ist, wird am Ausgang PB1 eine Frequenz von 100 Hz ausgegeben. Wenn der Taster losgelassen wird, beträgt die Frequenz wieder 10 Hz.

Vervollständigen Sie den vorbereiteten Programmquelltext. Verwenden Sie zur Erzeugung des Ausgangssignals eine einfache Schleife mit geeigneten `_delay_ms()`-Aufrufen. (Die Verwendung des Timers, des PWM-Moduls und/oder von Interrupts ist nicht erforderlich!!!)

```
#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 = 0b00000110; /* Ausgänge definieren */
    sbi(PORTB, 2);      /* LED an PB2 einschalten */
    while (1 == 1)
    {
```

oder: `DDRB = 6;`



```
sbi(PORTB, 1);
if (bit_is_set(PINB, 0))
    _delay_ms(50);
else
    _delay_ms(5);
```

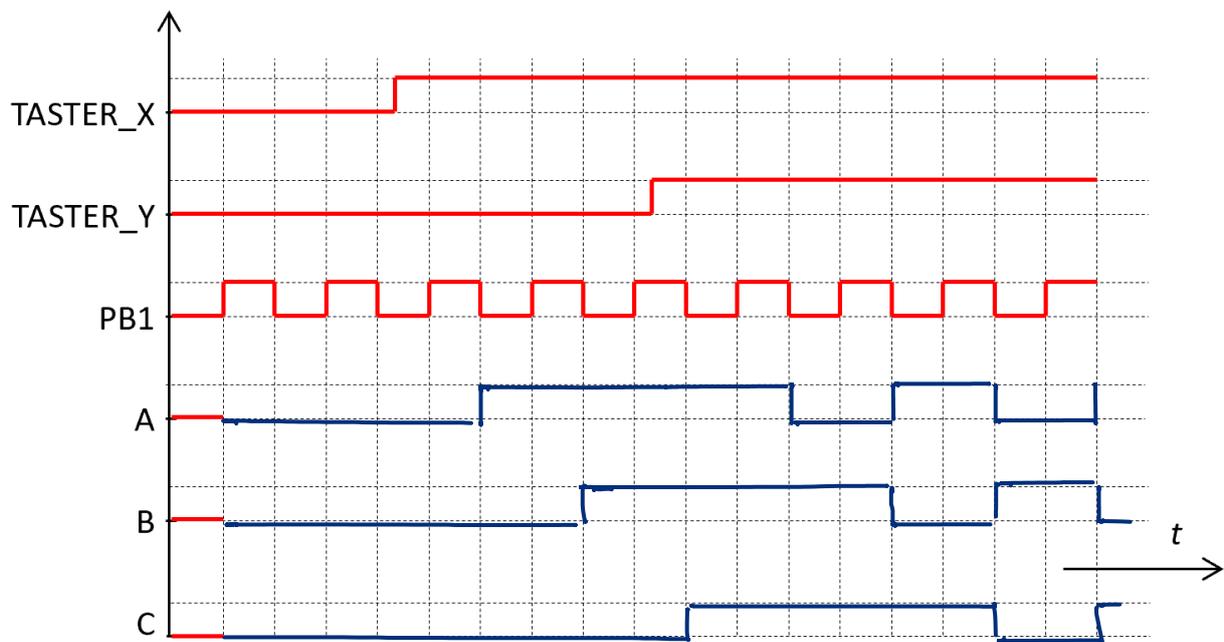
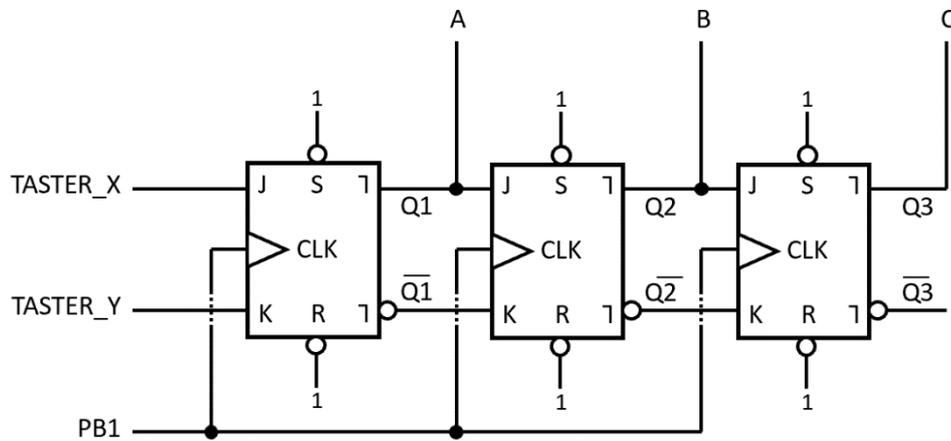
```
cbi(PORTB, 1);
if (bit_is_set(PINB, 0))
    _delay_ms(50);
else
    _delay_ms(5);
```

```
if (bit_is_set(PINB, 0))
{
    sbi(PORTB, 1); _delay_ms(50);
    cbi(PORTB, 1); _delay_ms(50);
}
```

```
else
{
    sbi(PORTB, 1); _delay_ms(5);
    cbi(PORTB, 1); _delay_ms(5);
}
```

unterschiedliche Varianten...

- 4.2. Die nachfolgende Schaltung aus positiv flankengetriggerten JK-Master-Slave-Flipflops und zwei Tastern wird an den Ausgang PB1 des Signalgenerators aus 4.1. angeschlossen. Zeichnen Sie die zeitlichen Verläufe der Signale A, B und C in das vorbereitete Diagramm.



Viel Erfolg!!