

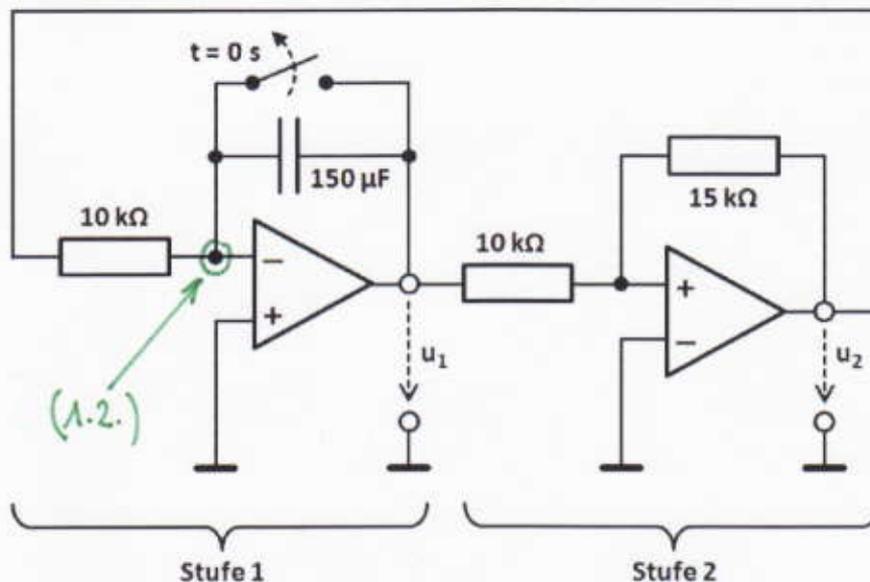
Hochschule München FK 03 Maschinenbau	Diplomprüfung SS 2012 Elektronik/Mikroprozessortechnik		J. Gebert, P. Klein, M. Krug, T. Küpper, W. Stadler	
Dauer: 90 Minuten	Matr.-Nr.:	Name, Vorname:		
Zugelassene Hilfsmittel: alle eigenen	Hörsaal:	Unterschrift:		

Aufgabe 1 (ca. 15 Punkte)

Die abgebildete Schaltung besteht aus zwei Stufen. Die Ausgangsspannung der ersten Stufe (u_1) ist zugleich die Eingangsspannung der zweiten Stufe. Die Ausgangsspannung der zweiten Stufe (u_2) ist zugleich die Eingangsspannung der ersten Stufe.

A	1	2	3	4	Σ	N
P						

Bei den Operationsverstärkern handelt es sich um ideale Operationsverstärker mit einer maximalen Ausgangsspannung von ± 15 Volt. Der Schalter wird zum Zeitpunkt $t = 0$ s geöffnet (vorher ist er geschlossen und daher der Kondensator nicht geladen).



- 1.1. Nennen Sie drei Eigenschaften, in denen sich ideale Operationsverstärker von realen Operationsverstärkern unterscheiden.

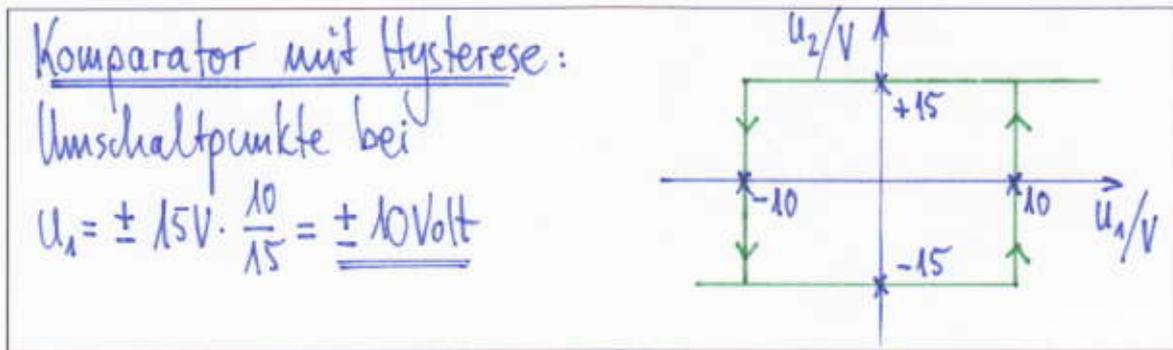
- Eingangswiderstand $\rightarrow \infty$
 - Ausgangswiderstand $= 0$
 - Verstärkungsfaktor $\rightarrow \infty$

- 1.2. Markieren Sie den „virtuellen Massepunkt“, der sich in der abgebildeten Schaltung befindet.

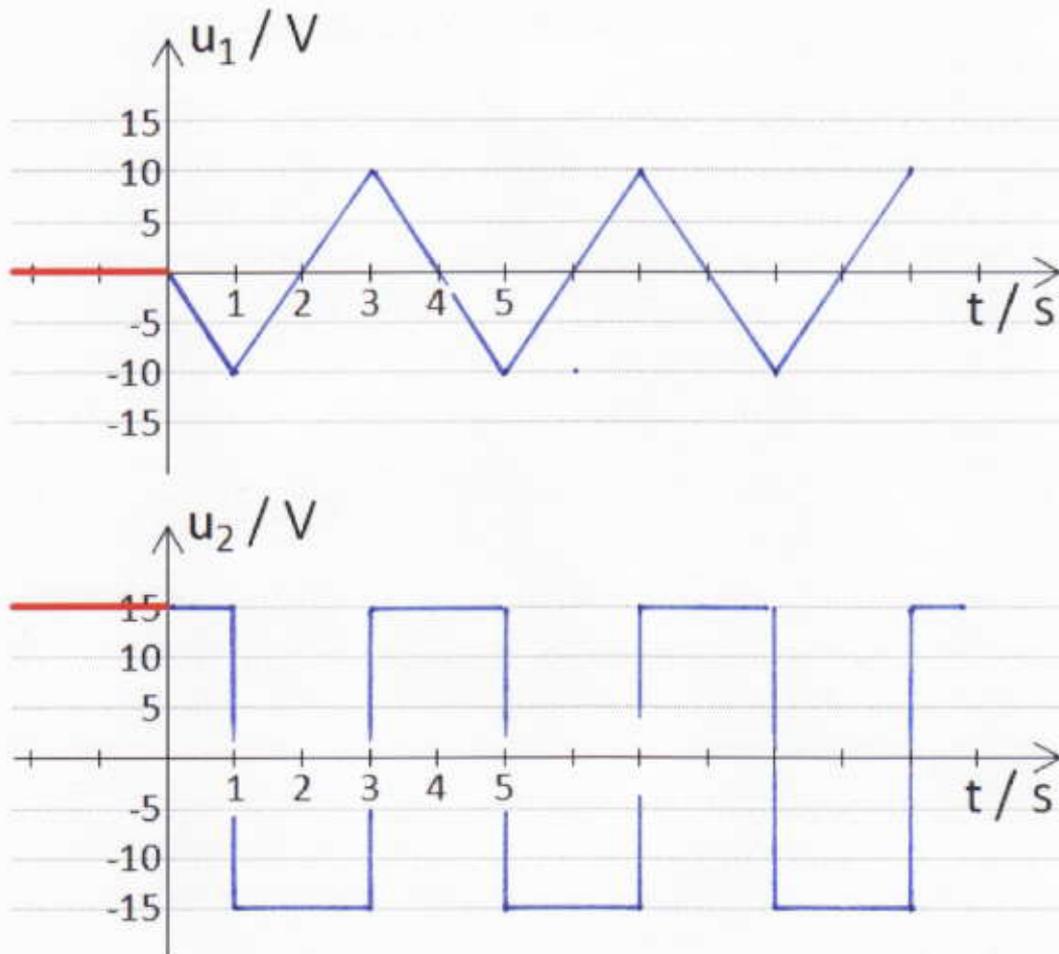
- 1.3. Um welche Grundschaltung handelt es sich bei der ersten Stufe? Berechnen Sie die Ausgangsspannung u_1 als Funktion der Eingangsspannung u_2 .

(Invertierender) Integrator: $u_1 = -\frac{1}{10\text{k}\Omega \cdot 150\mu\text{F}} \int u_2 dt$
 $\rightarrow u_1 = -\frac{1}{1,5\text{s}} \int u_2 dt$
 $u_1(1\text{s}) = -\frac{1}{1,5\text{s}} \cdot (15\text{V} \cdot 1\text{s}) = -10\text{Volt}$
 Keine „Integrationskonstante“ weil Kondensator bei $t = 0\text{s}$ nicht geladen ist.

- 1.4. Um welche Grundschaltung handelt es sich bei der zweiten Stufe? Zeigen Sie die Abhängigkeit der Ausgangsspannung u_2 von der Eingangsspannung u_1 in einem Diagramm. (Hinweis: Korrekte Achsenbeschriftungen und Spannungswerte einzeichnen!)



- 1.5. Zeichnen Sie den Verlauf der Spannungen u_1 und u_2 in das folgende Diagramm.

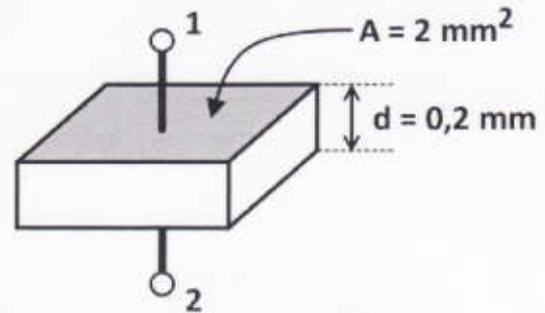


- 1.6. Der stabile Zustand $u_1 = u_2 = 0$ Volt (bei geöffnetem Schalter) ist zwar theoretisch möglich, allerdings praktisch nicht realisierbar. Erläutern Sie, warum dieser stabile Zustand in der Praxis nicht beobachtet wird.

Schon eine minimale Rauschspannung (die immer vorhanden ist – z.B. durch Einstreuungen aus der Umgebung) wird sofort dazu führen, dass der Komparator umschlägt (Mittkopplung!), die Schaltung beginnt zu schwingen.

Aufgabe 2 (ca. 15 Punkte)

- 2.1. Das in der Abbildung skizzierte Halbleiterplättchen hat bei $T = 300\text{ K}$ eine Eigenleitungsdichte $n_i = 2,33 \cdot 10^{13}\text{ cm}^{-3}$. Berechnen Sie den aus der Eigenleitungsdichte folgenden spezifischen Widerstand ρ sowie den ohmschen Widerstand R des Plättchens. ($\mu_n = 3900\text{ cm}^2/\text{Vs}$, $\mu_p = 1900\text{ cm}^2/\text{Vs}$, $e = 1,602 \cdot 10^{-19}\text{ C}$).



$$\rho = \frac{1}{e \cdot n_i (\mu_n + \mu_p)} = \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 2,33 \cdot 10^{13} \text{ cm}^{-3} (0,39 + 0,19) \text{ m}^2/\text{Vs}}$$

$$= \underline{\underline{0,462 \text{ } \Omega\text{m}}}$$

$$R = \rho \cdot \frac{d}{A} = 0,462 \text{ } \Omega\text{m} \cdot \frac{0,0002 \text{ m}}{2 (0,001 \text{ m})^2} = \underline{\underline{46,2 \text{ } \Omega}}$$

- 2.2. Zwischen den Anschlüssen 1 und 2 wird eine konstante Spannung von 10 Volt angelegt und der Strom gemessen, der durch das Halbleiterplättchen fließt. Wie ändert sich der Stromfluss, falls das Plättchen...

- ...erwärmt wird: mehr Strom weniger Strom unverändert
 ...mit einem Donator dotiert wird: mehr Strom weniger Strom unverändert
 ...mit einem Akzeptor dotiert wird: mehr Strom weniger Strom unverändert
 ...mit einem Laser beleuchtet wird: mehr Strom weniger Strom unverändert

- 2.3. Das Halbleiterplättchen wird mit einem Donator der Dichte $N_D = 1 \cdot 10^{16}\text{ cm}^{-3}$ dotiert. Wie groß ist nun der spezifische Widerstand ρ und der ohmsche Widerstand R des dotierten Halbleiterplättchens bei Zimmertemperatur ($T = 300\text{ K}$)?

$$N_D \gg n_i \rightarrow \text{Näherung zulässig: } n_o \approx N_D = 10^{16}\text{ cm}^{-3}$$

$$\rightarrow p_o = \frac{n_i^2}{n_o} = 5,43 \cdot 10^{10} \ll n_o$$

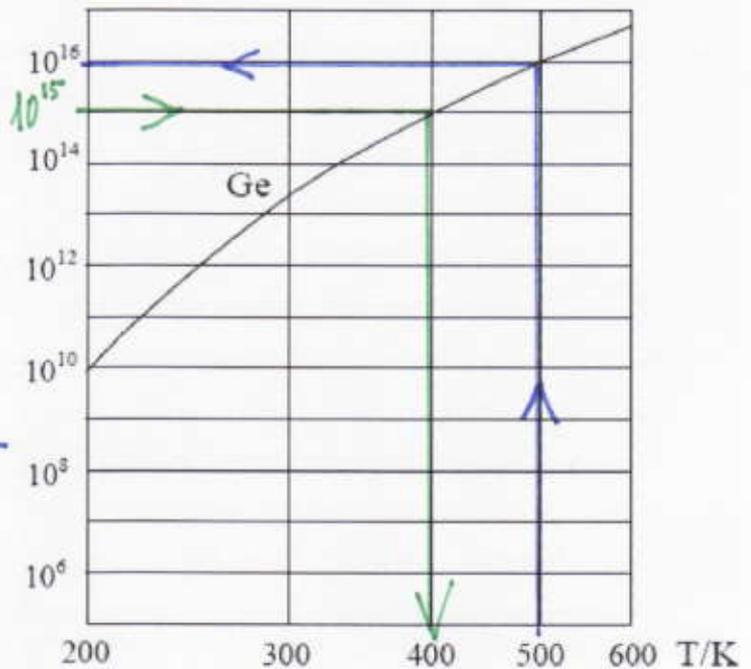
$$\rightarrow \text{Löcher tragen nicht messbar zum Stromfluss bei!}$$

$$\rightarrow \rho \approx \frac{1}{e n_o \mu_n} = \frac{1}{1,602 \cdot 10^{-19} \text{ As} \cdot 10^{16} \cdot 0,39 \text{ m}^2/\text{Vs}} = \underline{\underline{1,6 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega\text{m}}}$$

$$R = \rho \cdot \frac{d}{A} = 1,6 \cdot 10^{-3} \text{ } \Omega\text{m} \cdot \frac{0,0002 \text{ m}}{2 (0,001 \text{ m})^2} = \underline{\underline{0,16 \text{ } \Omega}}$$

- 2.4. Das nebenstehende Diagramm zeigt den Zusammenhang zwischen Temperatur T und Eigenleitendichte n_i des verwendeten Halbleiters. Warum steigt die Eigenleitendichte bei einer Erhöhung der Temperatur (kurze Begründung)?

Thermische Generation von Ladungsträgerpaaren (Elektronen, Löcher)



- 2.5. Für die korrekte Funktion von Halbleiterbauelementen (Dioden, Transistoren...) ist es notwendig, dass die Eigenleitendichte klein im Vergleich zur Akzeptor- bzw. Donatordichte bleibt. Bei welcher Temperatur T erreicht die Eigenleitendichte des dotierten Halbleiterplättchens 10% der Donatordichte?

$$0,1 \cdot N_D = 10^{15} \text{ cm}^{-3}$$

abgelesen aus Diagramm: 400 K

- 2.6. Das dotierte Halbleiterplättchen aus Unterpunkt 2.3 ($N_D = 1 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}$) wird auf $T = 500 \text{ K}$ erhitzt. Wie groß ist nun die Eigenleitendichte? Wie groß ist die Dichte der freien Elektronen n_0 und der Löcher p_0 ?

Abgelesen aus Diagramm: $n_i = 10^{16} \text{ cm}^{-3}$

$$n_0 = \frac{N_D - N_A}{2} + \sqrt{\left(\frac{N_D - N_A}{2}\right)^2 + n_i^2} \quad (\text{hier: } N_A = 0)$$

$$= \left(\frac{10^{16}}{2} + \sqrt{\frac{(10^{16})^2}{4} + (10^{16})^2} \right) \text{ cm}^{-3} = \underline{1,618 \cdot 10^{16} \text{ cm}^{-3}}$$

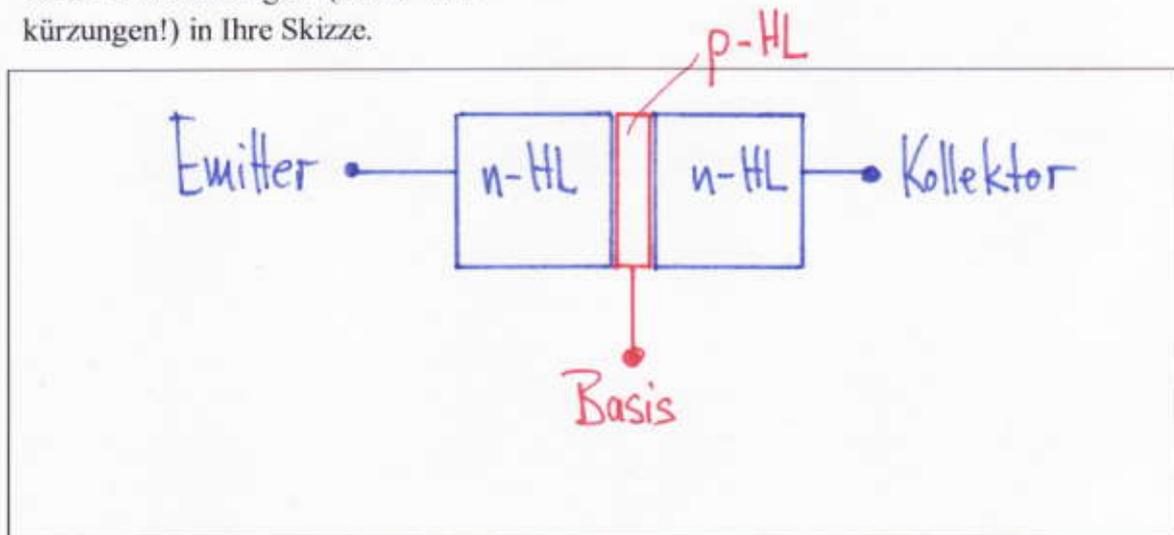
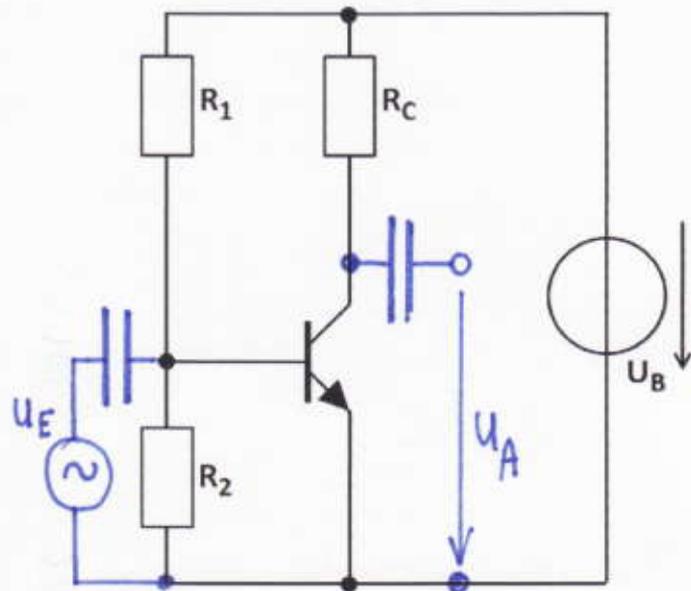
$$p_0 = \frac{n_i^2}{n_0} = \frac{(10^{16})^2}{1,618 \cdot 10^{16}} \text{ cm}^{-3} = \underline{6,18 \cdot 10^{15} \text{ cm}^{-3}}$$

Aufgabe 3 (ca. 15 Punkte)

Ein Transistor soll bei einer Betriebsspannung von $U_B = 12.0V$ als Wechselspannungsverstärker betrieben werden. Folgende Werte sind bekannt:

- Max. Verlustleistung $P_{\max} = 6,0W$
- $B = 120$, $\beta = 80$
- Diff. Basiswiderstand $r_{BE} = 2,5\Omega$
- Basis-Emitter-Schwellenspannung $U_S = 0,64V$

- 3.1. Skizzieren Sie den inneren Aufbau (die unterschiedlichen Halbleiterbereiche) des hier verwendeten Transistortyps. Zeichnen Sie auch die Anschlüsse des Transistors und deren Bezeichnungen (keine Abkürzungen!) in Ihre Skizze.



- 3.2. Ergänzen Sie die abgebildete Schaltung entsprechend mit Wechselspannungsquelle u_E und ggf. weiteren Komponenten so, dass der Arbeitspunkt der Schaltung erhalten bleibt und am Ausgang eine reine Wechselspannung anliegt. Markieren Sie auch die Punkte, zwischen denen die Ausgangsspannung u_A anliegt.
- 3.3. Dimensionieren Sie den Widerstand R_C so, dass er im Arbeitspunkt (bei $U_B/2$) eine Leistung von $P = 4.8 W$ aufnimmt.

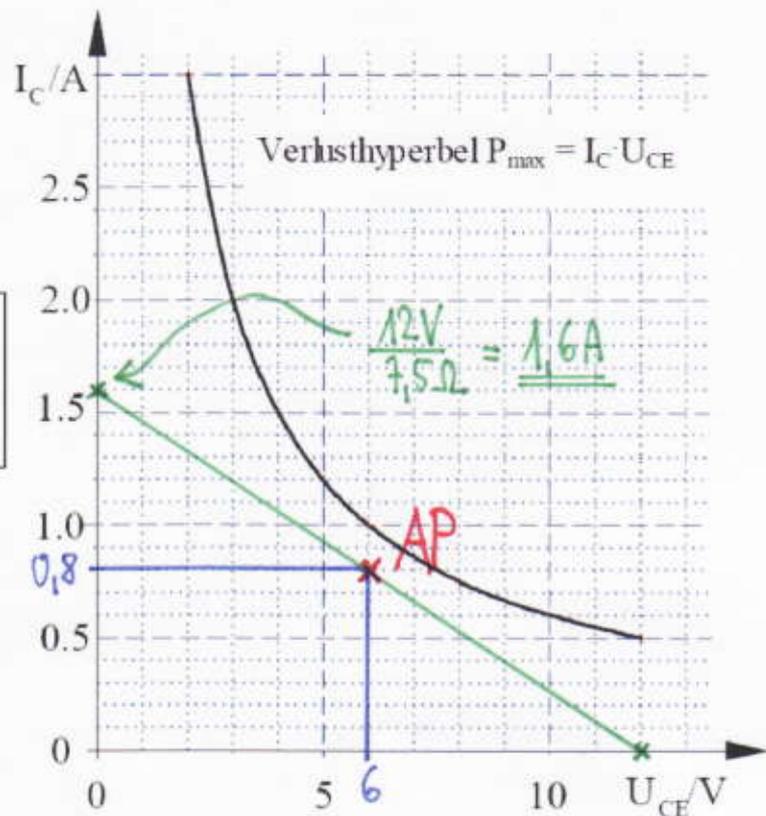
$$P = 4,8W = \frac{[U_B/2]^2}{R_c} = \frac{(6V)^2}{R_c}$$

$$\rightarrow R_c = \underline{\underline{7,5\Omega}}$$

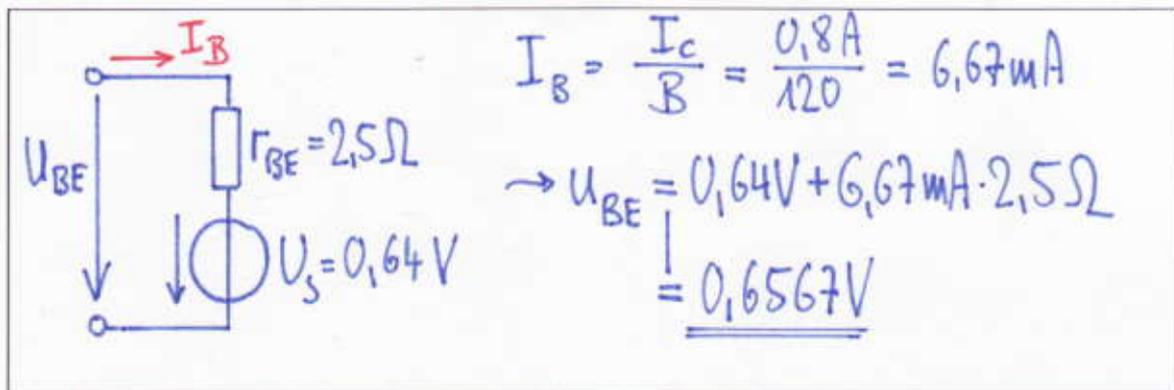
- 3.4. Zeichnen Sie in das nebenstehende Diagramm die Arbeitsgerade ein. Markieren Sie den Arbeitspunkt. Welche Werte nehmen U_{CE} und I_C im Arbeitspunkt an?

$$U_{CE} = 6V$$

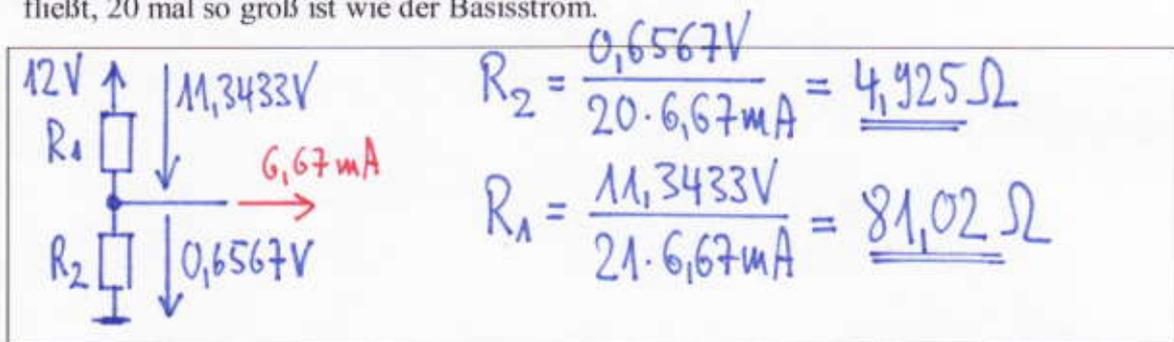
$$I_C = 0,8A$$



- 3.5. Zeichnen Sie das lineare Ersatzschaltbild der Basis-Emitterdiode und tragen Sie alle Größen ein. Berechnen Sie die nötige Basis-Emitterspannung U_{BE} zur Einstellung des gewählten Arbeitspunktes.



- 3.6. Dimensionieren Sie den Spannungsteiler aus R_1 und R_2 so, dass der Strom, der durch R_2 fließt, 20 mal so groß ist wie der Basisstrom.



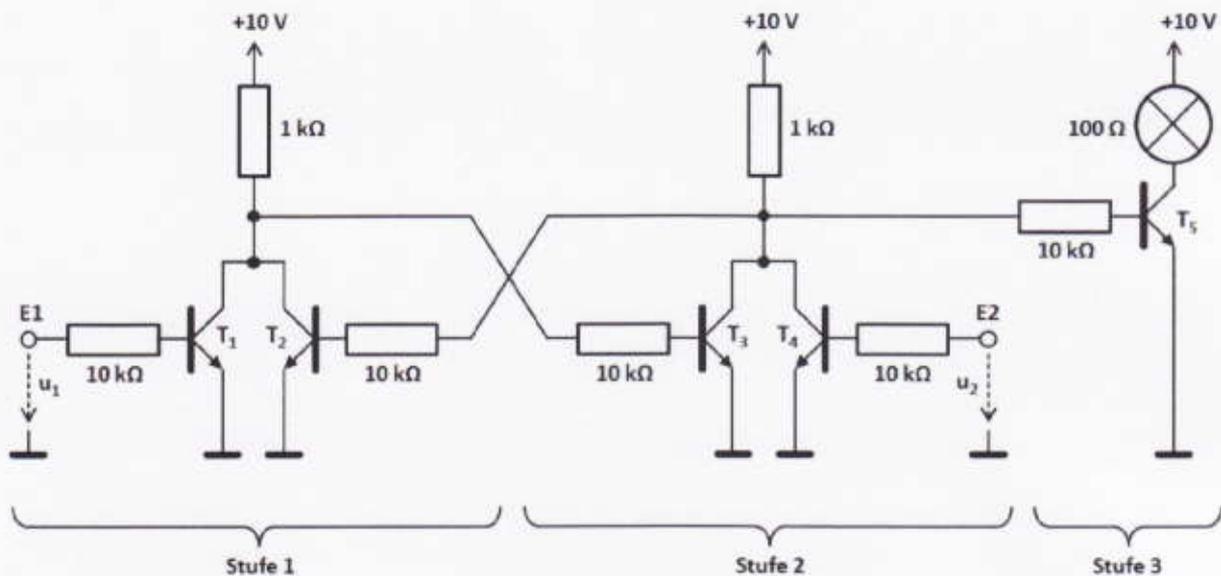
- 3.7. Berechnen Sie den Verstärkungsfaktor dieses Wechselspannungsverstärkers.

$$v = -S \cdot R_c = -\frac{\beta}{r_{BE}} \cdot R_c = -\frac{80}{2,5\Omega} \cdot 7,5\Omega = \underline{\underline{-240}}$$

Aufgabe 4 (ca. 15 Punkte)

Hinweis: Der Unterpunkt 4.6 kann unabhängig vom Rest dieser Aufgabe gelöst werden!

Die folgende Digitaltechnik-Schaltung ist aus einzelnen Transistoren und Widerständen aufgebaut. Je nach Zustand der Schaltung wird ein Lämpchen ein- oder ausgeschaltet. Die Spannungs- und Widerstandswerte sind so gewählt, dass die Transistoren entweder vollkommen aus- oder eingeschaltet (gesättigt) sind.



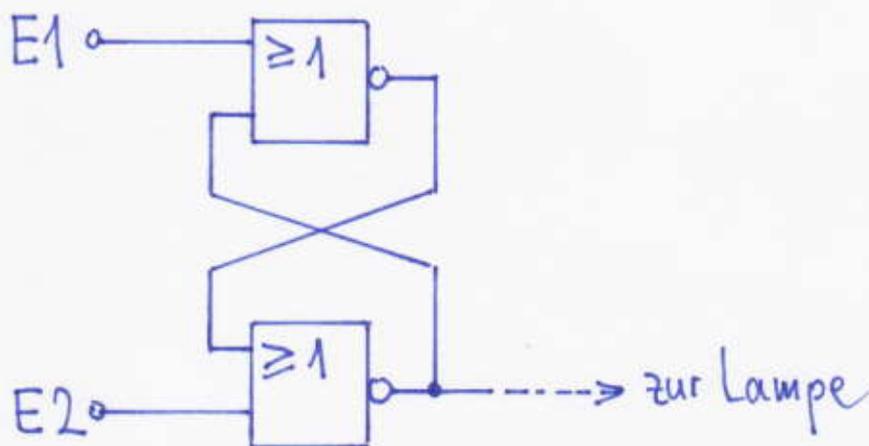
- 4.1. Welche logische Funktion wird durch die Transistoren T_1 und T_2 (Stufe 1) gebildet?

NOR-Gatter mit 2 Eingängen

- 4.2. Welche logische Funktion wird durch die Transistoren T_3 und T_4 (Stufe 2) gebildet?

Ebenfalls ein NOR-Gatter mit 2 Eingängen

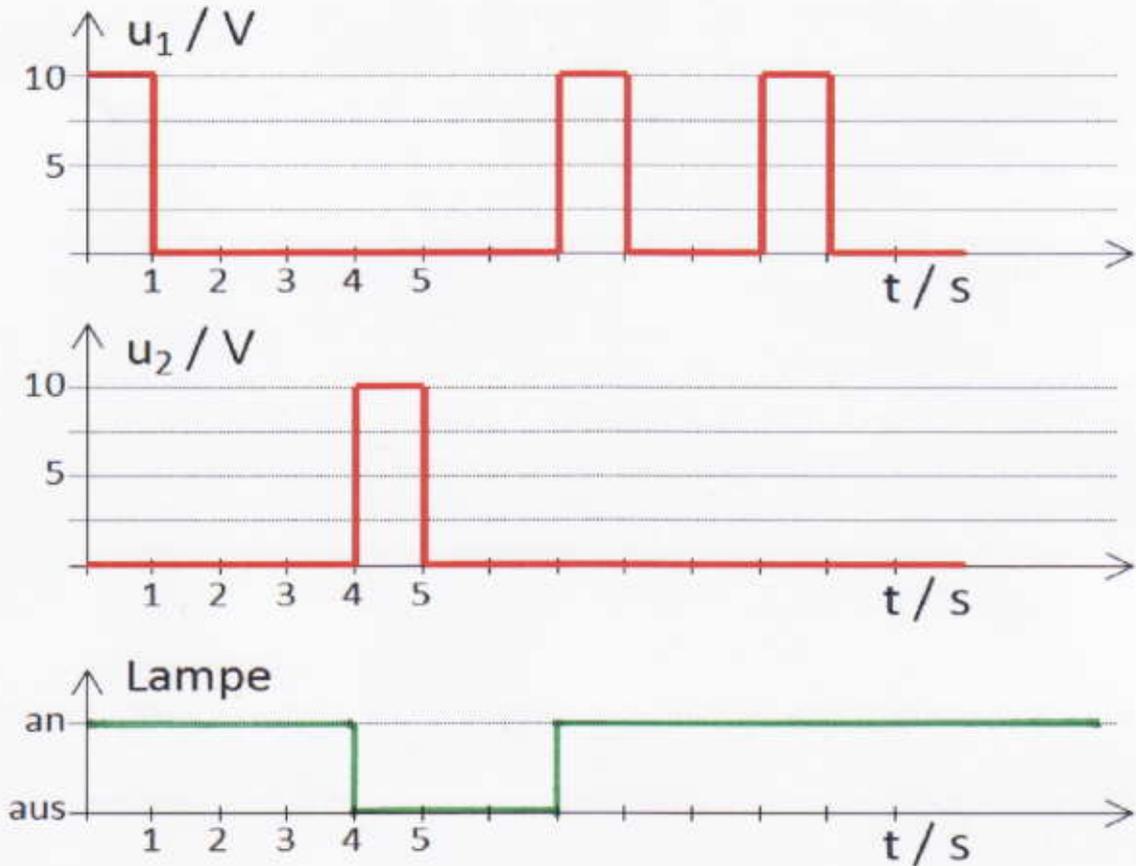
- 4.3. Zeichnen Sie die Stufen 1 und 2 mit Logikgattern (anstatt mit einzelnen Transistoren und Widerständen). Zeichnen Sie alle erforderlichen Verbindungen zwischen den Gattern und auch die Eingänge E1 und E2. **Stufe 3 soll nicht gezeichnet werden!**



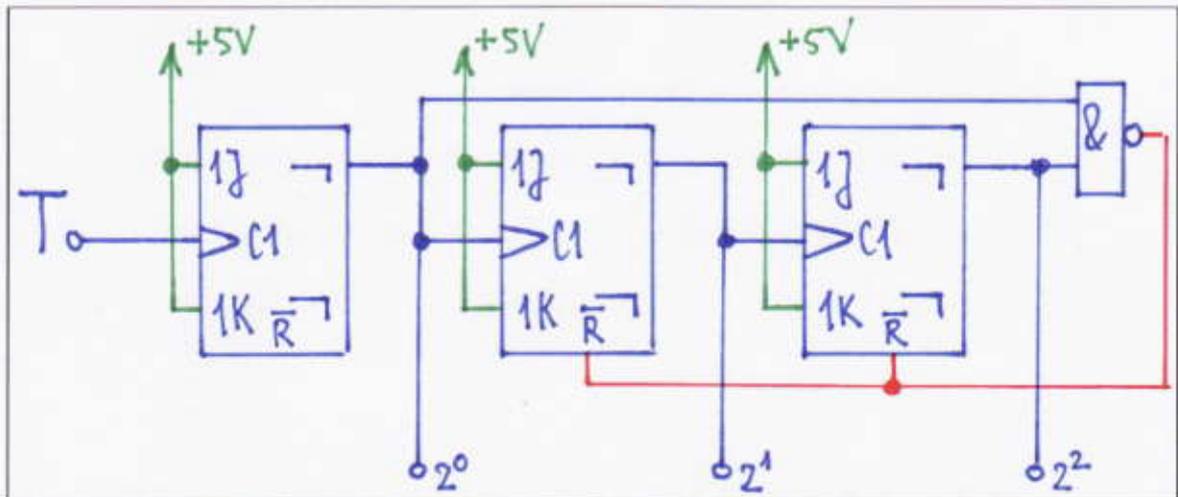
4.4. Wozu dient der Transistor T₅ (Stufe 3)?

Es handelt sich um eine einfache (Strom-)Verstärkungsstufe, ohne die das Lämpchen nicht leuchten würde.

4.5. Im folgenden Diagramm ist der zeitliche Verlauf der Spannungen u_1 und u_2 dargestellt. Zeichnen Sie in das Diagramm, wann das Lämpchen leuchtet bzw. nicht leuchtet.



4.6. Zeichnen Sie eine Zählerschaltung aus positiv flankengesteuerten JK-Master-Slave-Flipflops, die von 1 bis einschließlich 4 zählt. (Der Zähler wird durch ein Taktsignal gesteuert. Nachdem der Zähler den Zählerstand 4 angenommen hat, springt er beim folgenden Taktsignal wie der auf den Zählerstand 1 zurück.)



***** Viel Erfolg! *****