

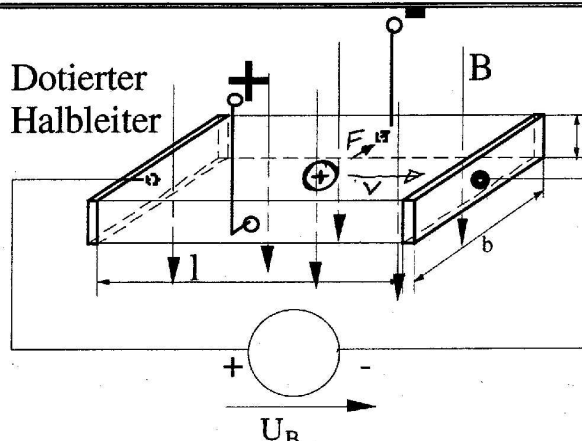


FH München FK 03 Maschinenbau	Diplomprüfung Elektronik SS 2007 Freitag, 20.7.2007	Prof. Dr. Höcht (Prof. Dr. Kortstock)
Zugelassene Hilfsmittel: Alle eigenen	Name: _____ Vorname: _____ Sem.: _____	
Dauer der Prüfung: 90 Minuten	Unterschrift: _____ Hörsaal: _____ Platz-Nr.: _____	

1 Homogene Halbleiter

(1.1 und 1.2 sind unabhängig voneinander lösbar)

An ein Hallelement (**dotierter** Gallium-Arsenid-Halbleiterkristall) wird die Spannung U_B gelegt. Zudem wird es einer magnetischen Flußdichte B ausgesetzt (siehe Abbildung). An den beiden senkrecht zum Stromfluß angebrachten Elektroden ist eine Hallspannung in der angegebenen Polarität meßbar.



- 1.1** Begründen Sie, ob es sich um einen p-Typ oder einen n-Typ-Halbleiter handelt, indem Sie einen geeigneten Ladungsträger (Loch bzw. Elektron) in das Bild oben rechts zeichnen und den Vektor der Ladungsträgergeschwindigkeit sowie die Lorentzkraft auf den Ladungsträger eintragen. (3P)

Halbleitertyp: *n-dotiert, da p auf andere Polarität führt*

1.2 Zusammenhang zwischen Ladungsträgergeschwindigkeit v und angelegter Spannung U_B

- 1.2.1** Wie hängen allgemein die angelegte Spannung U_B , die Beweglichkeit μ der Ladungsträger, die Ladungsträgergeschwindigkeit v im Kristall und die Abmessungen des Kristalls zusammen? (1P)

$$v = \mu \cdot \frac{U_B}{l}$$

- 1.2.2** Die gemessene Hallspannung ergibt sich mit Hilfe

der Lorentzkraft zu $U_H = B \cdot U_B \cdot \mu \cdot \frac{b}{l}$. Das

Halbleiterplättchen habe die Abmessungen $l = 1.0\text{cm}$, $b = 1.0\text{cm}$, $d = 0.1\text{mm}$. Es wird mit einer Spannung von $U_B = 10.0\text{V}$ betrieben und liefert bei einem Magnetfeld mit $5 \cdot 10^{-3} \text{Vs/m}^2$

eine Hallspannung von 42.5mV . Wie groß ist die Ladungsträgerbeweglichkeit? Ist dieses Hallplättchen n- oder p-dotiert? (3P)

	Gallium-Arsenid
Eigenleitungsträgerdichte	$1.3 \cdot 10^6 / \text{cm}^3$
Elektronenbeweglichkeit	$8500 \text{cm}^2 / \text{Vs}$
Löcherbeweglichkeit	$450 \text{cm}^2 / \text{Vs}$
Elementarladung	$1.6 \cdot 10^{-19} \text{As}$

$$\mu = \frac{U_H}{U_B} \cdot \frac{l}{b} \cdot \frac{1}{B} = \frac{42.5 \cdot 10^{-3}}{10.0} \cdot \frac{1.0 \text{cm}}{1.0 \text{cm}} \cdot \frac{1 \text{m}^2}{5 \cdot 10^{-3} \text{Vs}} =$$

$$= 0.85 \frac{\text{m}^2}{\text{Vs}} = \frac{10^4 \text{cm}^2 \cdot 0.85}{\text{Vs}} = 8500 \frac{\text{cm}^2}{\text{Vs}}$$

$\Rightarrow$ Löcher $\Rightarrow$ n-dotiert

2 Transistor als Schalter

(2.1 und 2.2 sind unabhängig voneinander lösbar)

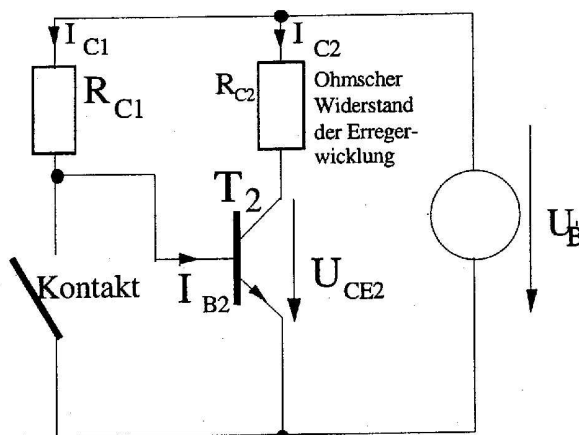
2.1 Ansteuerung einer Generatorspule

Die Erregerspule eines Generators (ohmscher Widerstand R_{C2}) wird über einen Leistungstransistor T_2 ein- und ausgeschaltet, je nach Stellung des Kontakts.

Folgende Daten des Transistors T_2 sind gegeben:

Stromverstärkung: $B = 30$
 $U_{CE\text{ Sat}} = 0.5\text{V}$
 $U_{BE0} = 0.8\text{V}$
 $r_{BE} = 0.2\ \Omega$

Die Versorgungsspannung sei konstant $U_B = 14.0\text{V}$. Die Erregerspule durchfließt ein Strom $I_{C2} = 3.0\text{A}$, wenn Transistor T_2 durchgeschaltet hat.



2.1.1 Berechnen Sie den ohmschen Widerstand R_{C2} der Erregerspule.

(2P)

$$R_{C2} = \frac{U_B - U_{CE\text{ sat}}}{I_C} = \frac{14.0\text{V} - 0.5\text{V}}{3.0\text{A}} = 4.5\ \Omega$$

g²

2.1.2 Berechnen Sie den erforderlichen Basisstrom I_{B2} , wenn der Transistor T_2 vierfach übersteuert werden soll.

(1P)

$$I_B = 4 \cdot \frac{I_C}{B} = 4 \cdot \frac{3.0\text{A}}{30} = 400\text{mA}$$

2.1.3 Berechnen Sie den Widerstand R_{C1} oberhalb des Kontakts.

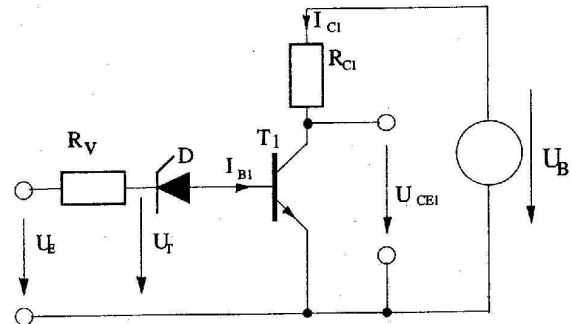
(3P)

$$R_{C1} = \frac{U_B - U_{BE0} - I_B \cdot r_{BE}}{I_B} = \frac{14.0\text{V} - 0.8\text{V} - 0.2\ \Omega \cdot 0.4\text{A}}{0.4\text{A}} = 32.8\ \Omega$$

g²⁷

2.2 Schwellwertschalter (Komparator) aus Z-Diode und Transistor

Mit der nebenstehenden Schaltung soll die Größe einer Spannung am Eingang der Schaltung überwacht werden. Sobald die Eingangsspannung U_E einen bestimmten Wert überschreitet, schaltet der Transistor T_1 durch und am Kollektor liegt nur mehr die Sättigungsspannung $U_{CE1\text{sat}}$.

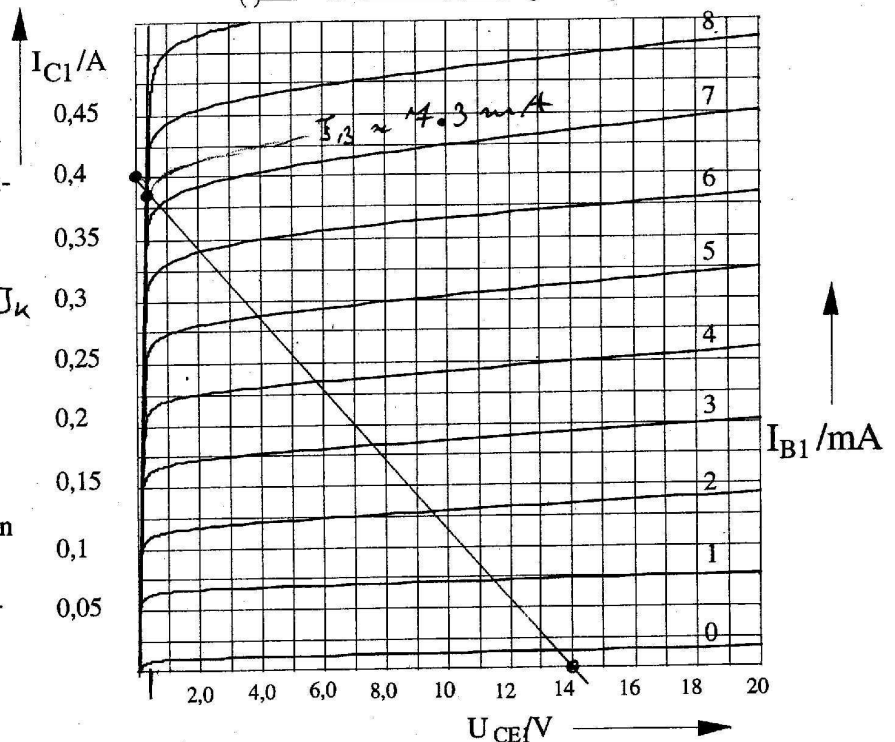


2.2.1 Ausgangskreis

Die Schaltelemente des Ausgangskreises haben folgende Daten: $U_B = 14.0\text{V}$, $R_{C1} = 35\Omega$. Zusätzlich ist das Ausgangskennlinienfeld des Transistors gegeben.

$$\frac{14.0\text{V}}{35\Omega} = 400\text{mA} = I_K$$

- 2.2.1.1 Ermitteln Sie allgemein die Gleichung der Arbeitsgeraden $I_{C1} = f(U_{CE1}, R_{C1}, U_B)$ und tragen Sie diese in das Kennlinienfeld ein. (3P)



$$I_C = -\frac{1}{R_C} U_{CE} + \frac{1}{R_C} U_B$$

- 2.2.1.2 Entnehmen Sie dem Kennlinienfeld den nötigen Basisstrom I_{B1} nötig, wenn der Transistor durchgeschaltet hat, sowie die am Transistor und am Kollektorwiderstand liegenden Spannungen. Berechnen Sie den Basisstrom I_{B1} , wenn 10-fache Übersteuerung gefordert ist. (2P)

$$I_{B1 \text{ nötig}} = 7.3 \text{ mA}$$

$$I_{B1} = 73 \text{ mA}$$

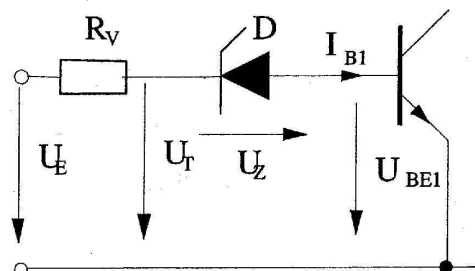
$$U_{CE} = 0.3 \text{ V}$$

$$\text{Spannung an } R_{C1}: U_{RC1} = 14.0\text{V} - 0.3\text{V} = 13.7 \text{ V}$$

2.2.2 Eingangskreis : Z-Diode D und Transistor T₁

Nun wird die Schaltung aus Z-Diode D und die Basis-Emitterstrecke des Transistors T₁ untersucht. Die Z-Diode und die Basis-Emitterstrecke haben folgende Daten:

$$\begin{aligned} U_{Z0} &= 6.4 \text{ V} & r_Z &= 8 \Omega \\ U_{BE0} &= 0.6 \text{ V} & r_{BE} &= 3 \Omega \end{aligned}$$



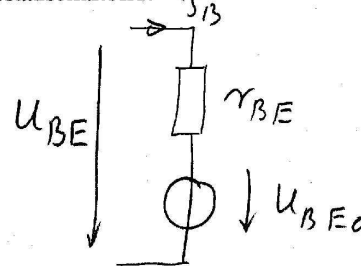
2.2.2.1 Zeichnen Sie das Ersatzschaltbild der Basis-Emitterdiode mit vollständiger Beschriftung (Spannungen, Ströme, Zählpfeile) (2P)

Ab welcher Spannung U gilt dieses Ersatzschaltbild? (1P)

Antwort:

$$U = U_{BE0} = 0.6 \text{ V}$$

Ersatzschaltbild:



2.2.2.2 Tragen Sie in das nebenstehende Diagramm die idealisierte Kennlinie der Basis-Emitterdiode ein. (2P)

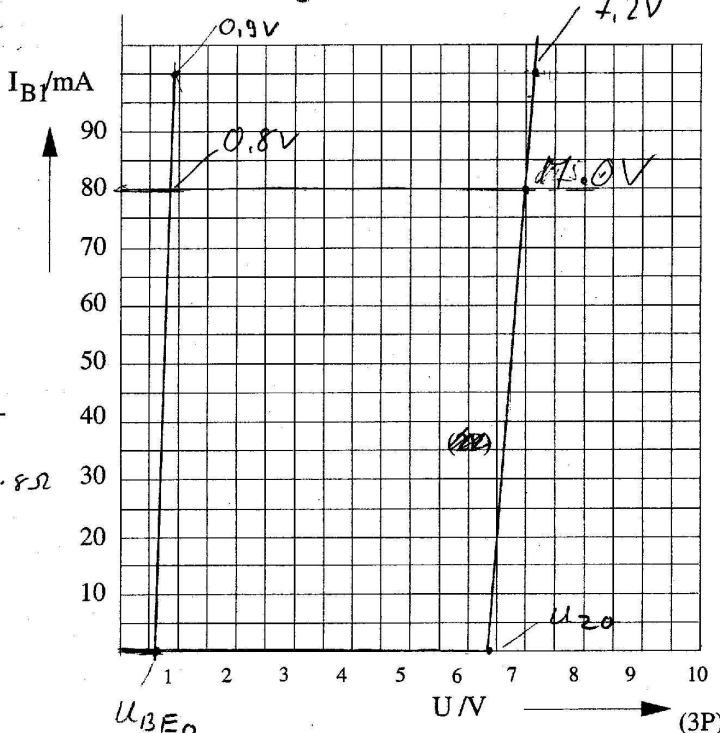
$$\begin{aligned} 100 \text{ mA} &\rightarrow \Delta U = \\ &= 3 \Omega \cdot 0.1 \text{ A} = 0.3 \text{ V} \end{aligned}$$

2.2.2.3 Das Ersatzschaltbild der Z-Diode ist genauso aufgebaut, wie das der Basis-Emitterdiode. Zeichnen Sie in das nebenstehende Diagramm auch die Kennlinie der Z-Diode. (2P)

$$100 \text{ mA} \rightarrow \Delta U = 0.1 \text{ A} \cdot 8 \Omega = 0.8 \text{ V}$$

$$(6.4 + 0.8) \text{ V} = 7.2 \text{ V}$$

2.2.2.4 Ermitteln Sie mit Hilfe der beiden Kennlinien, welche Spannung U_T nötig ist, um den Basisstrom I_{B1} = 80 mA fließen zu lassen. (3P)



$$U_T = 0.8 \text{ V} + 7.0 \text{ V} = 7.8 \text{ V}$$

Oder Benders:

$$U_T = I_{B1} (r_{BE} + r_Z) + U_{BE0} + U_{Z0} = 7.88 \text{ V}$$

- 2.2.2.5 Kann bei diesem Strom eine Z-Diode mit maximaler Verlustleistung $P_{V \max} = 500 \text{ mW}$ verwendet werden? Begründen Sie Ihre Antwort durch Rechnung. (1P)

$$6.5 \text{ V} \cdot 0.08 \text{ A} = 520 \text{ mW} \quad \text{NEIN}$$

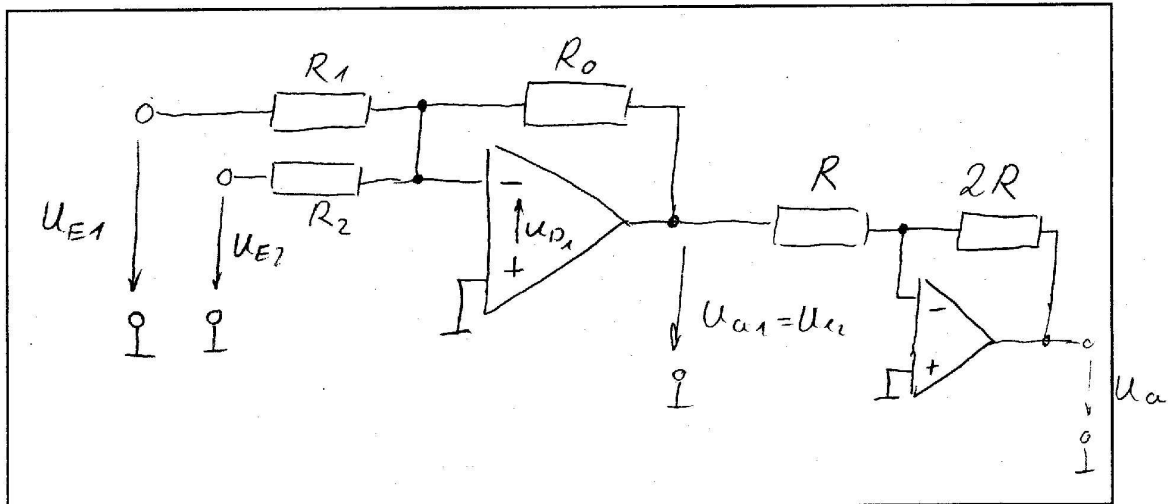
- 2.2.2.6 Wie groß muß der Vorwiderstand R_V gewählt werden, wenn dieser Strom bei $U_E = 10 \text{ V}$ fließen soll? (1P)

$$\frac{10.0 \text{ V} - 7.3 \text{ V}}{80 \text{ mA}} = 33.75 \Omega$$

3 Schaltung mit Operationsverstärkern

Eine Schaltung mit Operationsverstärkern soll so ausgelegt werden, daß die beiden Eingangsspannungen u_{E1} und u_{E2} addiert und mit dem Faktor 2 multipliziert werden, so daß gilt: $u_a = +2 \cdot (u_{E1} + u_{E2})$. Dazu ist wegen des Pluszeichens vor dem Faktor die Hintereinanderschaltung zweier Operationsverstärkerschaltungen nötig. Die erste Schaltung bildet die Zwischenspannung $u_{a1} = -(u_{E1} + u_{E2})$, die zweite bildet das Produkt $u_a = -2 \cdot u_{a1}$.

Zeichnen Sie die gesamte Schaltung einschließlich der Beschriftung sämtlicher Widerstände und der Spannungen u_{E1} , u_{E2} , u_{a1} und u_a . (3P)



- 3.1 Dimensionieren Sie die Schaltung so, daß jedes der beiden Rückkopplungsnetzwerke den eigenen Operationsverstärker maximal mit 0.5 mA belastet, wenn **keiner der beiden** Operationsverstärker **übersteuert** ist. (Hinweis: Kann bei allen Verstärkern unter dieser Bedingung überhaupt die Ausgangsspannung bis zur Betriebsspannung $\pm U_B$ voll angesteuert werden?).

Lassen Sie zur Berechnung der Einfachheit halber die Belastung jeder Schaltung durch die nachfolgende unberücksichtigt. Die Versorgungsspannung der Operationsverstärker beträgt $U_B = \pm 10 \text{ V}$. (6P)

Rechter Verstärker: $|U_a| \leq 10V$

$$\frac{U_a}{2R} = 0.5mA \Rightarrow R = \frac{U_a}{1.0mA} = 10k\Omega$$

$|U_{e2max}| = 5V$ da $v = -2$ und $|U_a| \leq 10V$

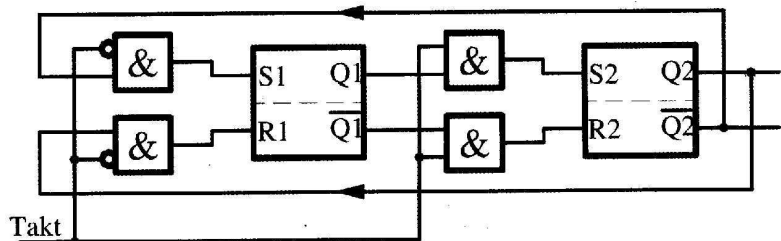
Linker Verstärker:

$$R_o = \frac{U_{a1max}}{I_{a1max}} = \frac{5V}{0.5mA} = 10k\Omega$$

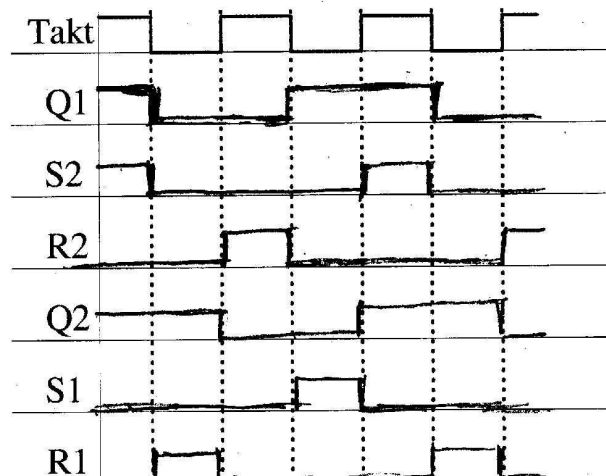
$$R_1 = R_2 = 10k\Omega$$

4 Digitalschaltung mit einfachen RS-Flipflops

Gegeben ist die folgende Schaltung mit zwei einfachen RS-Flipflops, die von einem Taktsignal angesteuert werden.



4.1 Ergänzen Sie im nebenstehenden Impulsdiagramm die Signale Q1, S2, R2, Q2, S1 und R1. (6P)



4.2 Welche Funktion erfüllt der Ausgang Q2 dieser Schaltung im Hinblick auf den Takt? (1P)

Binäruntersetzer

Viel Erfolg