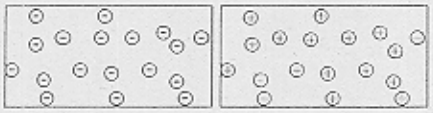
Hochschule München FK 03 M Maschinenbau	**Diplomprüfung Elektronik** **SS 2009**	Prof. Dr. J. Höcht Prof. Dr. G. Buch Prof. Dr. Küpper
Zugelassene Hilfsmittel: Alle eigenen	**Name:** **Vorname:**	**Sem.:**
Dauer der Prüfung: **90 Minuten**	**Unterschrift:** **Hörsaal:**	**Platz-Nr.:**

1 Halbleiterphysik – pn-Übergang



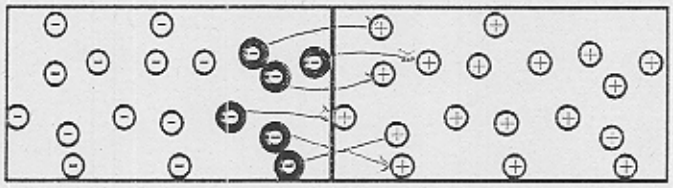
In einem Silizium-Kristall geht ein n-dotierter Bereich unmittelbar in einen p-dotierten Bereich über. Das nebenstehende Bild zeigt die beiden Bereiche mit den frei beweglichen Ladungsträgern Elektronen (Kreise mit Minuszeichen) und Löcher (Kreise mit Pluszeichen) unmittelbar, bevor die beiden Bereiche sich ideal berühren.

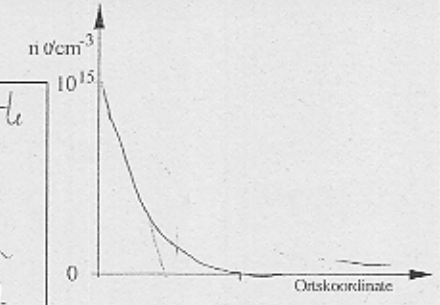
Bei den folgenden Betrachtungen beschränken wir uns auf das Verhalten der Elektronen, die nach der Berührung in den p-Bereich wandern.

1.1 Was ist die Ursache dafür, daß Elektronen in den p-Bereich wandern und welche physikalische Größe ist dafür verantwortlich? (1P)

Diffusion durch Wärmebewegung
Temperatur

1.2 Im n-Typ-Halbleiter ist die Elektronendichte $10^{15}/cm^3$. Zeichnen Sie in das nebenstehende Diagramm unter dem Kristall qualitativ den Verlauf der Elektronendichte über der Ortskoordinate ein und skizzieren Sie im Kristall darüber, welchen Weg die dick gezeichneten Elektronen nehmen und wo ihr Weg endet. (3P)

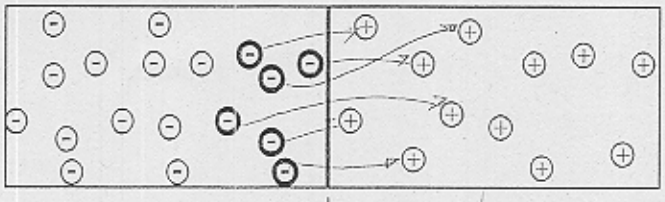


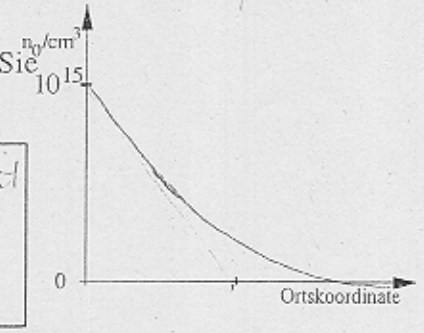


1.3 Welcher Effekt ist dafür verantwortlich, daß nach einiger Zeit das Wandern von Elektronen in den p-Bereich nicht weiter anwächst? (1P)

Zurückbleibende ortsfeste Ionen erzeugen ein el. Feld, das der weiteren Diffusion entgegenwirkt

1.4 Nun sei der p-Bereich nur halb so stark dotiert, wie der n-Bereich. Welche Folge hat das für den örtlichen Verlauf der Dichte der in den p-Bereich gewanderten Elektronen? Zeichnen Sie in das untere Diagramm qualitativ den Verlauf der Elektronenkonzentration ein, so daß der Unterschied zum obigen Diagramm unter 1.2 deutlich wird und erläutern Sie stichpunktartig die Vorgänge im p-Kristall. Zeichnen Sie auch hier wieder den Weg der 6 dick gezeichneten Elektronen ein (2P)

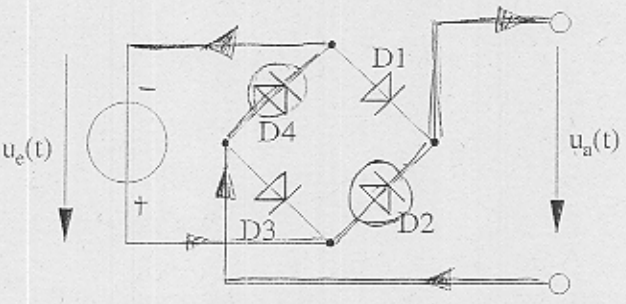




Die Dichte der Elektronen nimmt über eine größere Strecke ab, weil die Elektronen weiter diffundieren, bis sie auf ein (seltenes) Loch treffen und rekombinieren

2 Brückengleichrichterschaltung

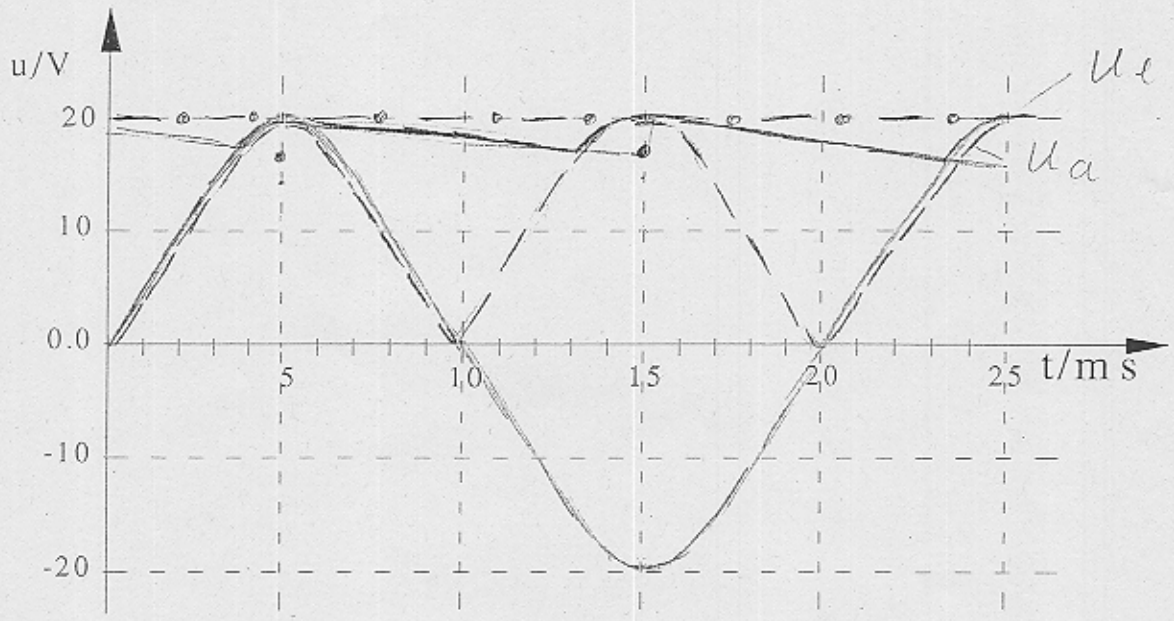
Gegeben ist die nebenstehende Zweipuls-Brückenschaltung (B2, „Graetz-Brücke"). Diese Brücke wird aus einem Transformator gespeist durch die sinusförmige Wechselspannung mit der Amplitude $\hat{U}_e = 20.0\,V$ und der Frequenz $f = 50$ Hz. Die Dioden sind als ideal angenommen, also Schleusenspannung $U_s = 0$ V, differenzieller Widerstand $r_D = 0$.



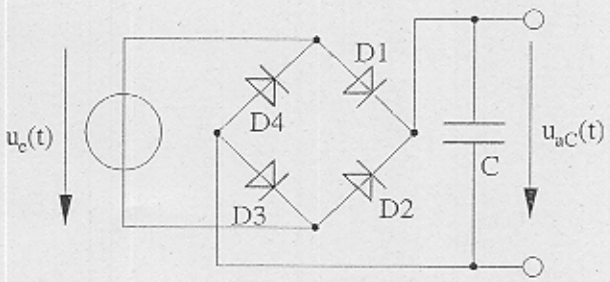
2.1 Welche der 4 Dioden leiten bei der **negativen** Halbwelle von $u_e(t)$? Markieren Sie auch den Weg des Stroms i im obigen Schaltbild. (2P)

D4 und D2

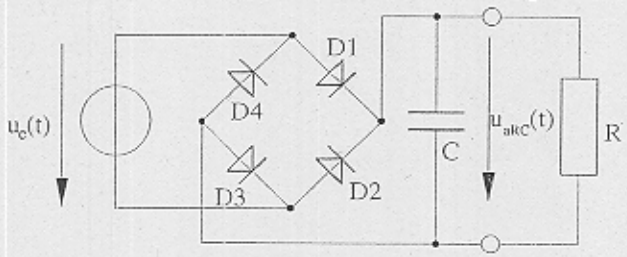
2.2 Tragen Sie in das folgende Diagramm die Spannung $u_e(t)$ (ausgezogener Strich) und $u_a(t)$ (gestrichelt) ein. (2P)



2.3 Nun werde zur Glättung ein Kondensator mit der Kapazität $C = 4000\,\mu F$ parallel zu den Ausgangsklemmen geschaltet. Tragen Sie strichpunktiert auch diesen Spannungsverlauf $u_{aC}(t)$ in das obige Diagramm ein. (1P)



2.4 An diese Gleichrichterschaltung mit Siebkondensator C wird ein Verbraucherwiderstand $R = 20\,\Omega$ angeschlossen. Im folgenden soll der Verlauf der Spannung $u_{aRC}(t)$ näherungsweise ermittelt und in das obige Diagramm eingetragen werden. Dazu werde zur **Berechnung** (**nicht** zur späteren Zeichnung!) vereinfachend angenommen, daß der Kondensator während der ganzen Halbwelle entladen und zu dem Zeitpunkt, an dem die gleichgerichtete Spannung ihr Maximum erreicht, schlagartig aufgeladen wird.



2.4.1 Wie groß ist der Strom I_a durch den Verbraucherwiderstand R, wenn der Kondensator auf seine maximale Spannung aufgeladen ist? (1P)

$I = 20V/20\Omega = 1.0A$

2.4.2 Um welche Spannung ΔU_a wird der Kondensator während einer Halbwelle entladen? Nehmen Sie dazu vereinfachend an, daß sich der Strom während der Entladung nicht ändert. (3P)

$$C = \frac{\Delta Q}{\Delta u} = \frac{I \cdot \Delta t}{\Delta u} \Rightarrow$$

$$\Delta u = \frac{I \cdot \Delta t}{C} = \frac{1.0A \cdot 10^{-2}\,sec}{4 \cdot 10^{-3}\,Asec} \cdot V$$

$$= 0.25 \cdot 10V = 2.5V$$

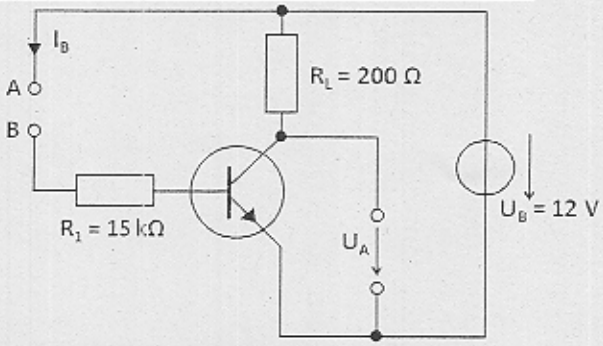
2.4.3 Zeichnen Sie den Spannungsverlauf am Lastwiderstand R maßstäblich mit den berechneten Werten ein in das Diagramm bei 2.2. (2P)

3 Sensorschaltung mit Transistor

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

Der Transistor hat das untenstehende Ausgangskennlinienfeld.

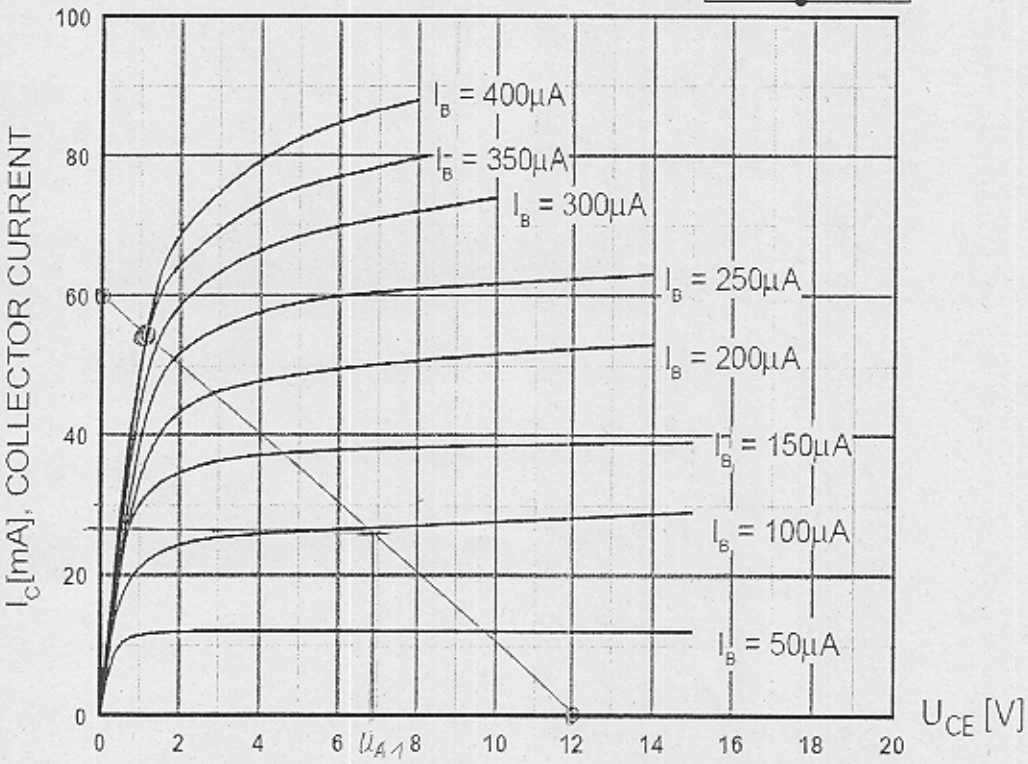
Die Eingangskennlinie des Transistors ist nicht abgebildet. Gehen Sie statt dessen vereinfachend von $U_{BE} = 0{,}6$ V aus.



3.1 Berechnen Sie Leerlaufspannung und Kurzschlußstrom und zeichnen Sie die Arbeitsgerade in das nebenstehende Ausgangskennlinienfeld ein. (2P)

$I_K = \frac{U_B}{R_L} = \frac{12V}{200\Omega} = 60mA$

$U_L = U_B = 12V$



3.2 Die Sensoranschlüsse werden mit einem Finger überbrückt ($R_{Finger} = 100$ kΩ). Wie groß ist der Basisstrom I_{B1} ? (1P)

$I_B = (12.0V - 0.6V)/115k\Omega =$

$= \frac{11.4V}{115k\Omega} = 99\mu A$

3.3 Welche Spannung U_{A1} stellt sich am Ausgang ein? Kennzeichnen Sie den Arbeitspunkt. im Diagramm von 3.1. (1P)

$U_{A1} = 6.9V$
$I_{A1} = 37mA$

3.4 Nun wird der Kontakt AB mit einem Metallteil (z.B. Schlüssel mit $R_{Schlüssel} = 0.1\ \Omega$) überbrückt. Geben Sie auch diesen Basisstrom I_{B2} an, kennzeichnen Sie den sich einstellenden Arbeitspunkt und geben Sie die Ausgangsspannung U_{A2} an. (2P)

$I_{B2} = \frac{11.4V}{15k\Omega} = 760\mu A$ $\quad U_{A2} = 1.2V$

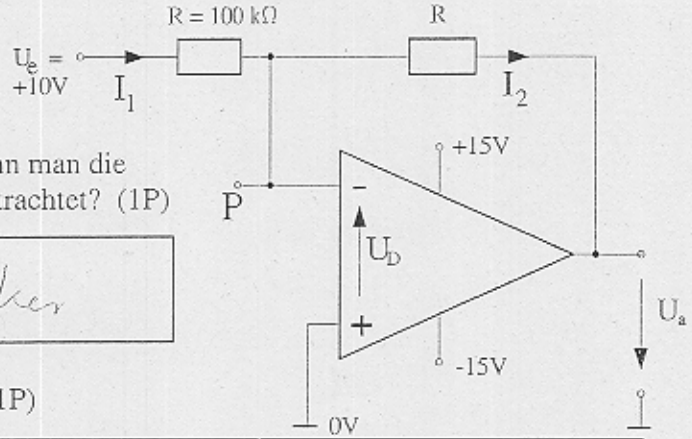
3.5 Wozu dient der Widerstand R_1? (1P)

Zur Strombegrenzung, sonst brennt bei 3.4 BE-Strecke durch

4 Belichtungsmesser mit Operationsverstärker

Gegeben sei eine Schaltung mit Photodiode und Operationsverstärker (Leerlaufverstärkung $v_0 \rightarrow \infty$.). Diese Schaltung soll in 2 Schritten analysiert werden.

4.1 Zunächst sei die Diode noch nicht angeschlossen (siehe Schaltbild rechts).



4.1.1 Um welche Grundschaltung handelt es sich, wenn man die konstante Spannung 10 V als Eingangssignal betrachtet? (1P)

Invertierenden Verstärker

4.1.2 Welche Ausgangsspannung U_a stellt sich ein? (1P)

$U_a = -10V$

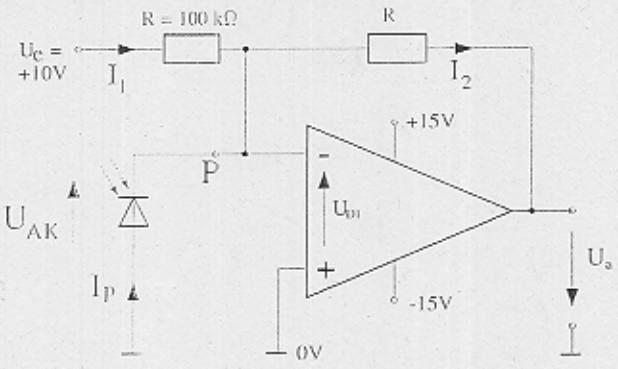
4.1.3 Wie groß ist also die Differenz-Eingangsspannung U_D und damit das Potential am Punkt P? (1P)

$U_D = 0$ Potential am P ist Massepotential 0V

4.1.4 Berechnen Sie den Strom I_1. (1P)

$I_1 = \frac{10V}{100k\Omega} = 100\mu A$

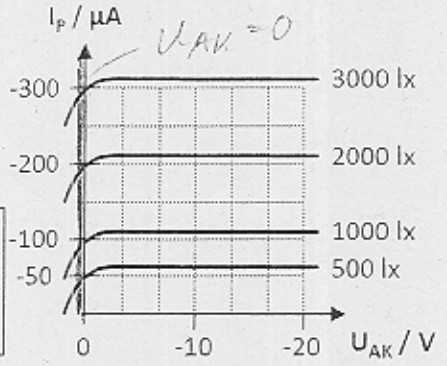
4.2 Nun wird an den Punkt P die Photodiode angeschlossen.



4.2.1 Wie groß ist die Spannung U_{AK} an der Photodiode? (1P)

$U_{AK} = 0V$

4.2.2 Kennzeichnen Sie im nebenstehenden Kennlinienfeld der Photodiode die Spannung U_{AK}, bei der die Photodiode in dieser Schaltung betrieben wird. (1P)



4.2.3 Ermitteln Sie allgemein den Strom I_2 in Abhängigkeit von U_e, R und I_P. (1P)

$I_2 = I_1 + I_P = \frac{U_e}{R} + I_P$

4.2.4 Berechnen Sie nun allgemein die Ausgangsspannung U_a (2P)

$U_a + \cancel{U_D}^{=0} + I_2 R = 0$

$U_a = -R\left(\frac{U_1}{R} + I_P\right)$

$U_a = -U_e - I_P \cdot R$

4.2.5 Die Versorgungsspannung des OV beträgt 15V. Ermitteln Sie die Ausgangsspannung u_a für die Beleuchtungsstärken E = 0 Lux, 500 Lux, 1000 Lux, 2000 Lux und 3000 Lux und tragen Sie die Übertragungskennlinie $u_a = u_a(E)$ in das nebenstehende Diagramm ein. (5P)

0 lx → $I_P = 0$ ⇒ $U_a = -U_e = -10V$

500 lx → $I_P = -50\mu A$ $U_a = -10V + 50\mu A \cdot 100k\Omega$

$U_a = -10V + 5V = -5V$

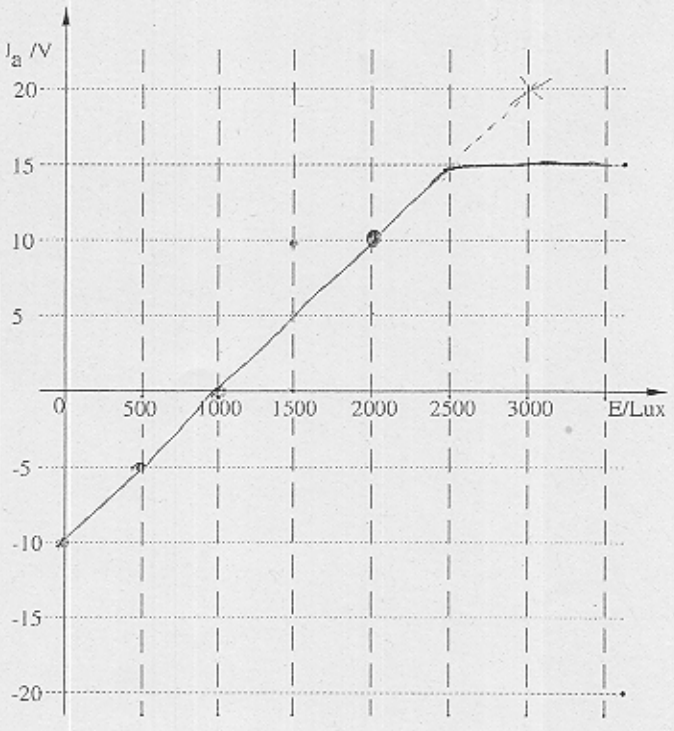
1000 lx $I_P = -100\mu A$

$U_a = -10V + 100\mu A \times 100k\Omega = -10V + 10V = 0V$

2000 lx $I_P = -200\mu A$

$U_a = -10V + 20V = +10V$

3000 lx $I_P = 300\mu A$ $U_a = +10V$



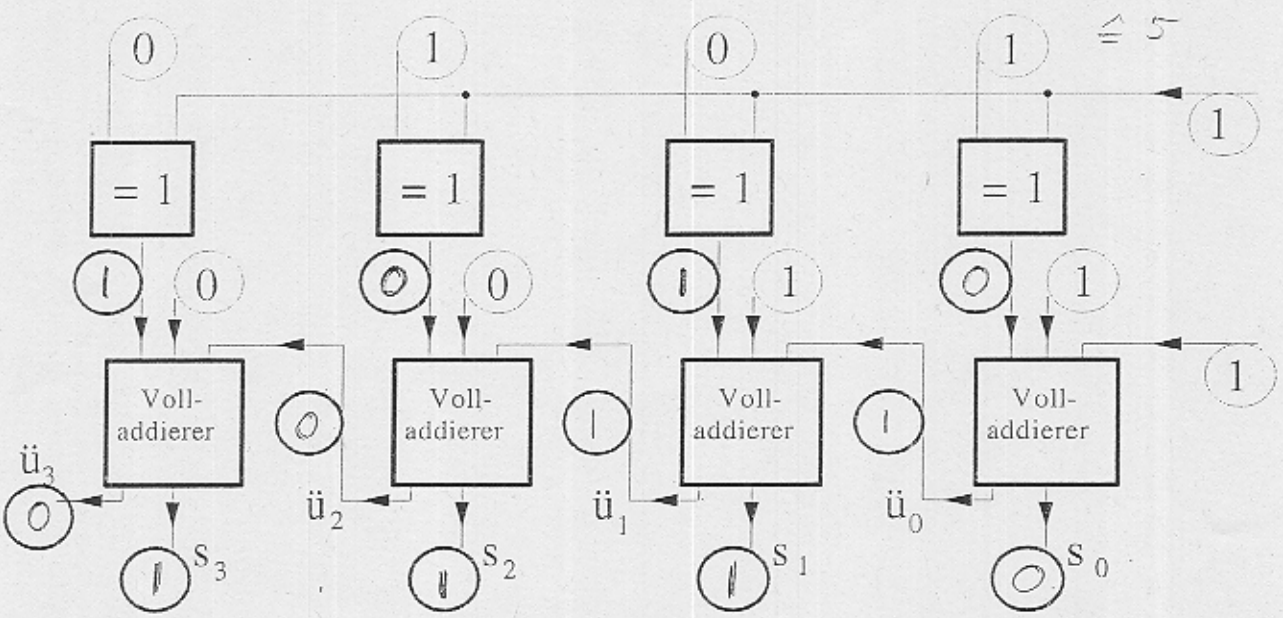
$50 \cdot 10^{-6} \cdot 100 \cdot 10^{3} = 5000 \cdot 10^{-3} = 5$

5 Operationen mit dem Addier-Subtrahierwerk

Mit dem untenstehenden Addier-Subtrahierwerk sollen zwei verschiedene Operationen durchgeführt werden.

5.1 Welches Ergebnis liefert das Addier-Subtrahierwerk bei der folgenden Einstellung? Gehen Sie zur Lösung in zwei Schritten vor:

5.1.1 Ergänzen Sie in den leeren Kreisen die logischen Zustände (3P)

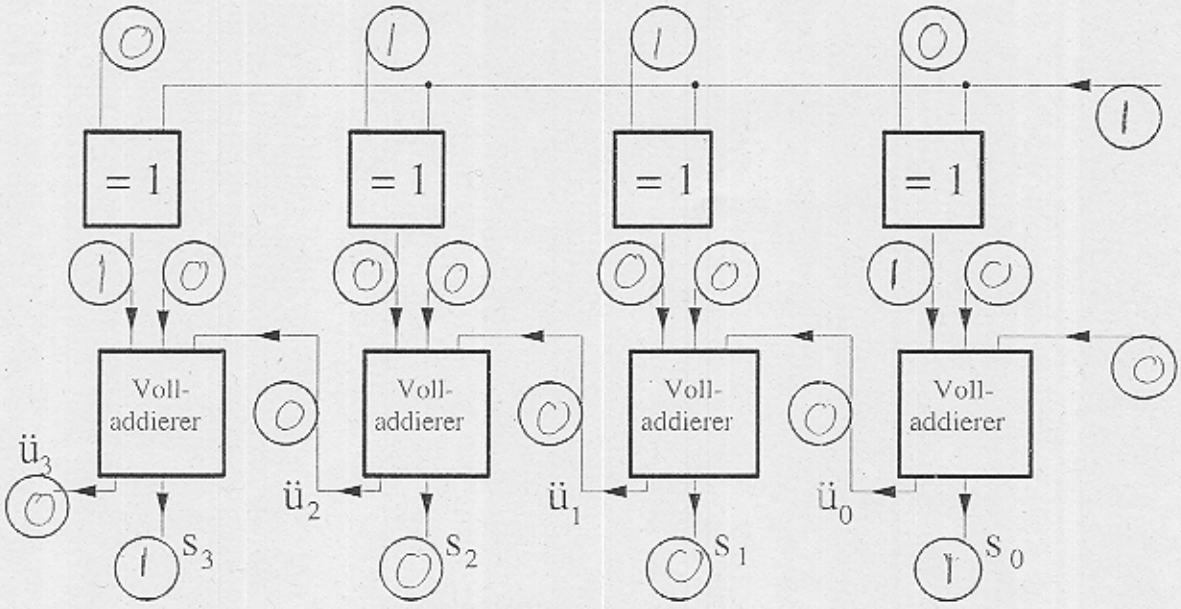


5.1.2 Ist das Ergebnis S eine positive oder negative Zahl und woran sehen Sie das? Geben Sie den Dezimalwert dieser Zahl S an. (2P)

Neg. Zahl, weil $S_3 = 1$ ist

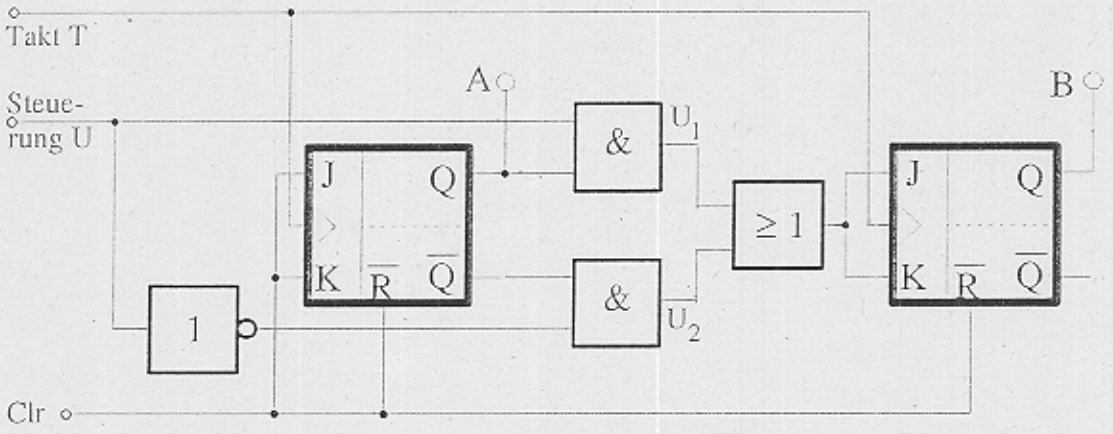
$$\begin{array}{rl} 1\,1\,1\,0 & = \overline{S} \\ 0\,0\,0\,1 & = S \\ \hline 0\,0\,1\,0 & \triangleq 2\text{der} \end{array}$$

5.2 Nun soll die Dualzahl 0110 bitweise invertiert werden, so daß im Ausgang S des Addier-Subtrahierwerks die Dualzahl 1001 steht. Ergänzen sie in allen Kreisen die logischen Zustände (3P)

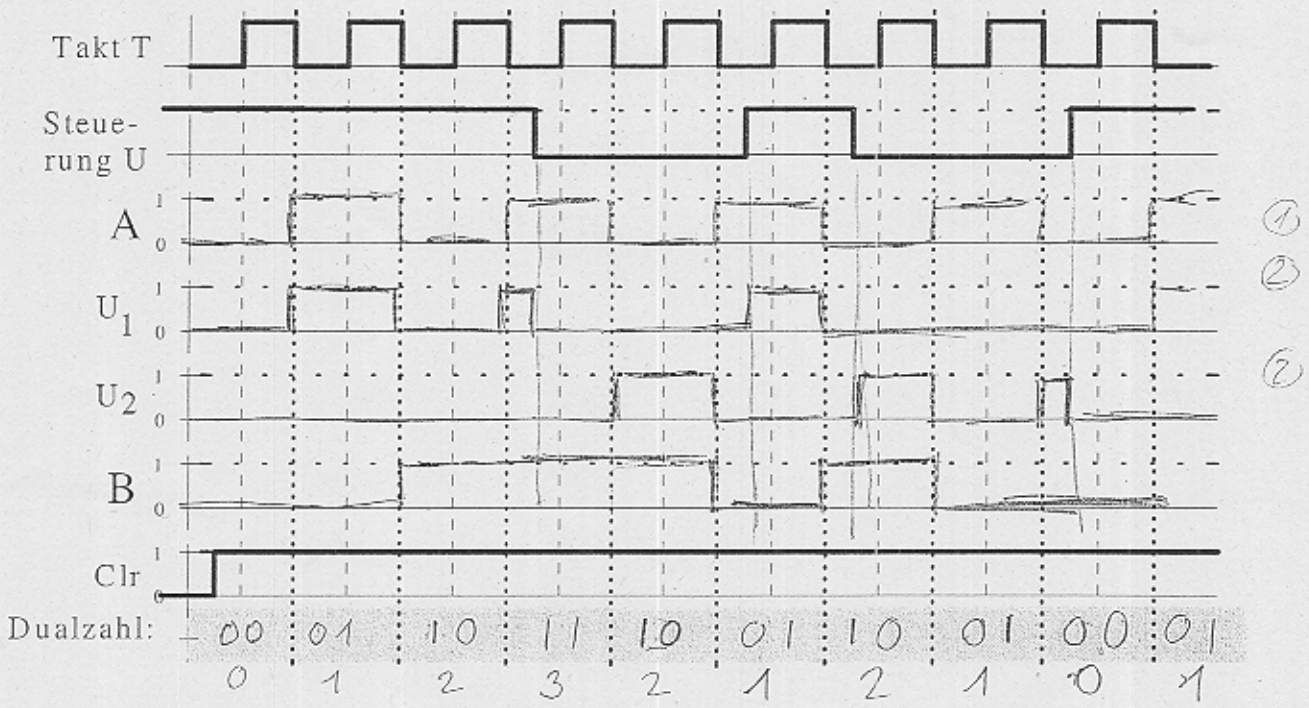


6 Analyse einer Digitalschaltung

Gegeben sei die folgende Schaltung mit zwei positiv-flankengetriggerten jk-MS-Flip-Flops:



6.1 Vervollständigen Sie im nachfolgenden Zeitdiagramm die Signale A, B, U_1 und U_2. Die Signale U_1 und U_2 erleichtern Ihnen dabei, den Zustand von B zu ermitteln. (8P)



6.2 Tragen Sie in die unterste Zeile des Diagramms die Dualzahl ein, die durch beiden Flip-Flops mit A und B dargestellt wird. A hat die Wertigkeit 2^0, B die Wertigkeit 2^1. (2P)

Welche Funktion führt diese Schaltung offensichtlich bezüglich des Steuereingangs U aus? (1P)

U = 1 Vorwärts zählen
U = 0 rückwärts zählen

Viel Erfolg