

Aufgabe 1 Operationsverstärker (31 Punkte)

Zuerst soll folgende Schaltung mit einem Operationsverstärker, linearen Widerständen und idealen Dioden untersucht werden.

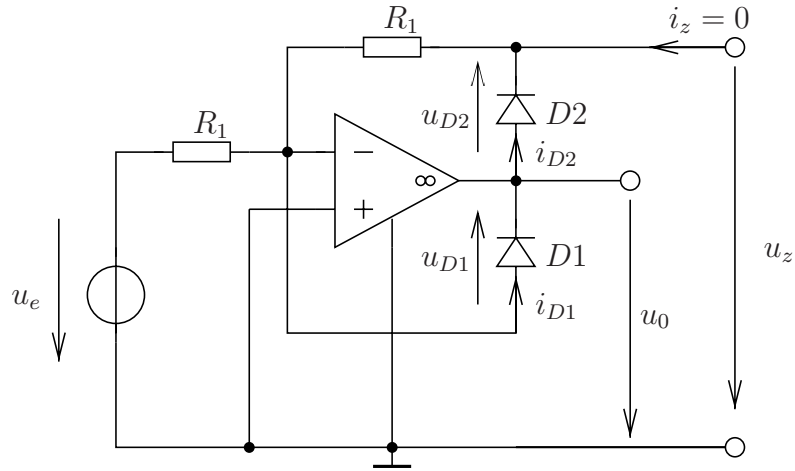


Bild 1. Zweitor mit einem Operationsverstärker

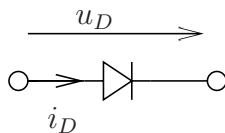
Folgende Fälle sind zu untersuchen:

Fall 1: Diode D1 sperrt ($u_{D1} < 0$), Diode D2 leitet ($i_{D2} > 0$)

Fall 2: Diode D1 leitet ($i_{D1} > 0$), Diode D2 sperrt ($u_{D2} < 0$)

Hinweis: Wenn nicht anders angegeben befindet sich der Operationsverstärker im streng linearen Bereich.

a)* Geben Sie die Kennlinie einer idealen Diode an.



Zuerst soll **Fall 1** untersucht werden:

b)* Zeichnen Sie für den **Fall 1** ein Ersatzschaltbild der Schaltung. Berücksichtigen Sie dabei, dass eine ideale Diode abhängig von ihrem Betriebsbereich als Kurzschluss oder Leerlauf modelliert werden kann.

c)* Wie hängt im **Fall 1** die Spannung u_z von u_e ab?

d)* Welche Bedingung muss u_e erfüllen, damit **Fall 1** (D1 sperrt, D2 leitet) eintritt? (Begründung!)

Hinweis: Wählen Sie den Bereich der Spannung u_e so, dass es zu *keinen* Widersprüchen kommt!

e) Für welche Spannungen u_e befindet sich der Operationsverstärker für **Fall 1** in Sättigung? Bestimmen Sie zuerst wie groß u_z im Fall 1 ist.

- f) *Nur für diese Teilaufgabe* werden die Dioden D1 und D2 durch folgendes stückweise lineares Ersatzschaltbild (Bild 2) mit der Durchlassspannung U_s beschrieben. Wie ändert sich im **Fall 1** die Spannung u_z im Vergleich zu der Lösung in Teilaufgabe c) ? (Begründung!)

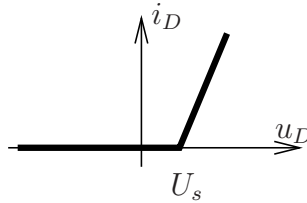


Bild 2. Stückweise lineares ESB

Jetzt soll **Fall 2** untersucht werden. Verwenden Sie jetzt auch wieder das Modell der idealen Diode für die beiden Dioden in Bild 1.

- g)* Zeichnen Sie für den **Fall 2** ein Ersatzschaltbild der Schaltung. Berücksichtigen Sie dabei, dass eine ideale Diode abhängig von ihrem Betriebsbereich als Kurzschluss oder Leerlauf modelliert werden kann.

- h)* Wie hängt im **Fall 2** die Spannung u_z von u_e ab?

i)* Welche Bedingung muss u_e erfüllen, damit **Fall 2** eintritt? (Begründung!)

Hinweis: Wählen Sie den Bereich der Spannung u_e so, dass es zu *keinen* Widersprüchen kommt!

j) Gibt es einen Bereich von Spannungen u_e , für die sich der Operationsverstärker für **Fall 2** in Sättigung befindet? Wie groß ist u_z ?

k)* Warum können nicht beide Dioden leiten, d.h. Strom durch Dioden positiv?

Hinweis: Zeigen Sie dazu, dass die Annahme "beide Dioden leiten" zu einem Widerspruch mit dem Kirchhoffschen Spannungsgesetz führt.

Die Schaltung aus Bild 1 wird jetzt als Teilkomponente folgender Schaltung verwendet.

Hinweis: Ohne Beweis dürfen Sie folgende Annahme treffen: Die abschnittsweise definierte Beschreibung der Schaltung in Bild 1 aus dem ersten Teil der Aufgabe ist auch noch nach Einbau in die Schaltung in Bild 3 gültig!

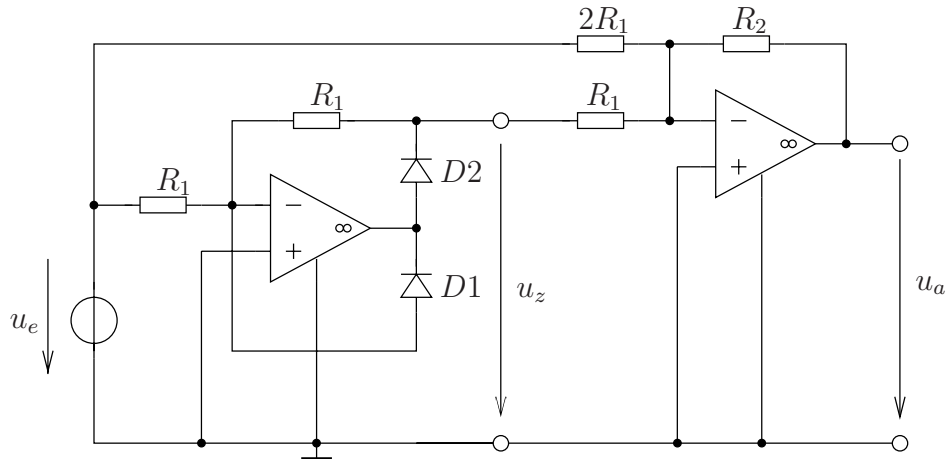


Bild 3. Gesamtes Zweitor mit zwei Operationsverstärkern

l)* Geben Sie u_a in Abhängigkeit von u_e und u_z an.

m) Wie hängt u_a von u_e ab? Berücksichtigen Sie dazu Ihre Ergebnisse aus den Teilaufgaben c), h) und l).

n) In Bild 4 ist ein zeitlicher Verlauf der Spannung u_e vorgegeben. Zeichnen Sie in das gleiche Bild den resultierenden Verlauf der Ausgangsspannung u_a für $R_1 = R_2$ ein.

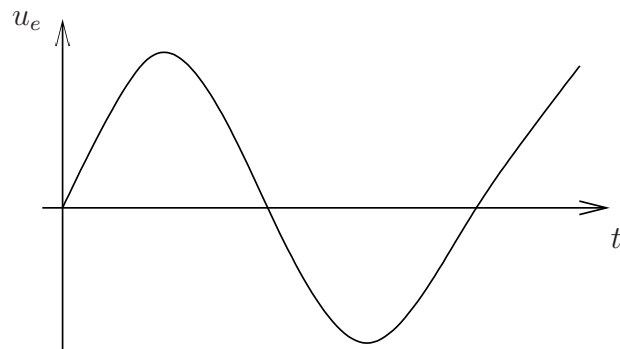


Bild 4.

o) Wie nennt man eine Schaltung mit dieser Funktionsweise?

Aufgabe 2 Operationsverstärker (32 Punkte)

Es soll die in Bild 5 gezeigte Schaltung, bestehend aus ohmschen Widerständen, Dioden und idealen Operationsverstärkern untersucht werden.

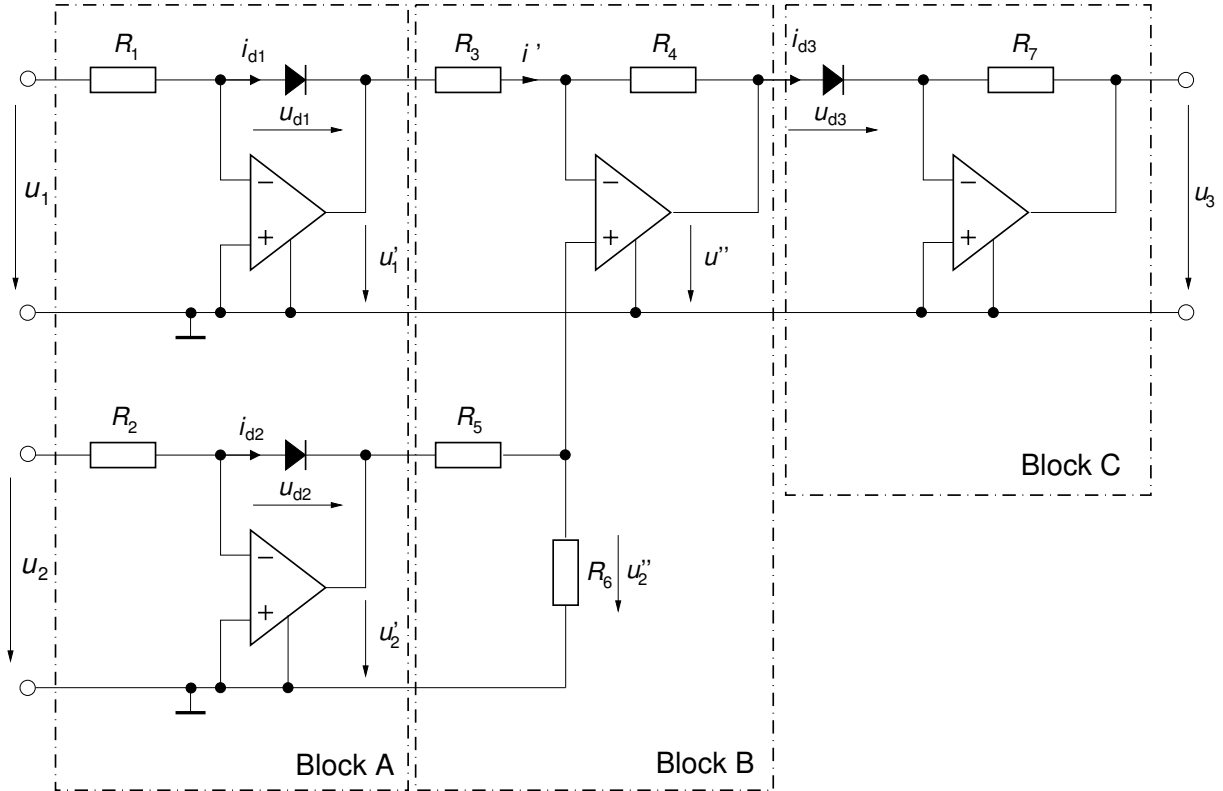


Bild 5. Zu untersuchende Schaltung

Die drei Dioden haben identische Strom-Spannungs-Kennlinien gemäß

$$i_d = I_S \cdot \left(\exp\left(\frac{u_d}{U_T}\right) - 1 \right) \approx I_S \cdot \exp\left(\frac{u_d}{U_T}\right), \quad (1)$$

wobei I_S den Sperrsättigungsstrom und U_T die Temperaturspannung bedeuten.

Nehmen Sie in der gesamten Aufgabe an, daß $i_d \gg I_S$ gilt, und verwenden Sie die in (1) angegebene Näherung.

Die Schaltung läßt sich in drei funktionale Blöcke (Block-A, Block-B und Block-C in Bild 5) unterteilen, die im folgenden untersucht werden sollen. Stets gilt für die Eingangsspannungen

$$u_1 > 0, \quad u_2 > 0.$$

Desweiteren dürfen alle Operationsverstärker im streng linearen Bereich angenommen werden.

Wir betrachten zunächst den ersten funktionalen Block (Block A in Bild 5).

a)* Geben Sie die Diodenspannungen u_{d1} und u_{d2} als Funktion der Diodenströme i_{d1} und i_{d2} an.

b)* Geben Sie die Diodenströme i_{d1} und i_{d2} als Funktion der Eingangsspannungen und der Bauteilwerte an.

c) Geben Sie die Spannungen u'_1 und u'_2 in Abhängigkeit der Eingangsspannungen u_1 und u_2 und der Bauteilwerte an.

d) Welche Funktion wird durch den Block A ausgeführt?

Im folgenden soll nun der Block-B untersucht werden.

e)* Welche Funktion wird von Block-B augenscheinlich übernommen?

f)* Geben Sie die Spannung u'' als Funktion von u'_1, u'_2 und den Bauteilwerten an.

Die Schaltung soll so ausgelegt werden, daß gilt:

$$u'' = u'_2 - u'_1. \quad (2)$$

g) Zeigen Sie, daß für die Widerstandsverhältnisse dabei gelten muß

$$\frac{R_4}{R_3} = \frac{R_6}{R_5} = 1. \quad (3)$$

Schließlich wenden wir uns dem Block-C zu.

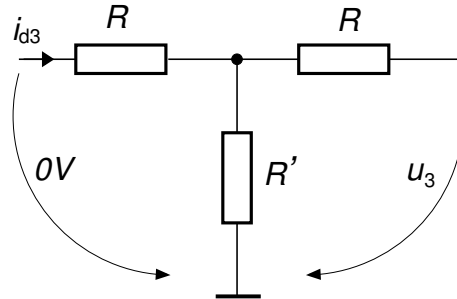
h)* Geben Sie die Diodenspannung u_{d3} als Funktion von u'' an

Die Ausgangsspannung u_3 kann wie folgt geschrieben werden:

$$u_3 = -U_0 \cdot \frac{u_1}{u_2}. \quad (4)$$

- i) Berechnen Sie die Spannung U_0 .

Da der Sperrsättigungsstrom I_S in der Regel einen sehr geringen Wert hat (typisch $I_S \approx 10^{-14} \text{A}$) werden für R_2 und R_7 meist sehr hohe Werte benötigt, die in der Praxis schwer zu realisieren sind. Aus diesem Grunde wird nun der Widerstand R_7 ersetzt durch die Schaltung aus Bild 6.

Bild 6. Ersatz für den Widerstand R_7

j)* Zeigen Sie, daß bei idealem Operationsverstärker diese Schaltung effektiv einem Widerstand R_7 vom Wert

$$R_7 = R \left(2 + \frac{R}{R'} \right) \text{ entspricht.}$$

Die Schaltung in Bild 5 soll nun als Entzerrer eingesetzt werden. Am Ausgang eines nicht-linearen Verstärkers mit nominaler Verstärkung A , wird die Spannung

$$u_a = A \cdot U_0 \sum_{k=1}^{\infty} \left(\frac{u}{U_0} \right)^k$$

gemessen, wenn an seinem Eingang die Spannung $0 < u < U_0$ anliegt. Mit Hilfe der Schaltung aus Bild 5 soll die Spannung u_a entzerrt werden, so daß sich eine Spannung

$$u_3 = -A \cdot u$$

ergibt.



k)* Wie müssen die Spannungen u_1 und u_2 in Abhängigkeit von u_a , U_0 und A gewählt werden, damit dies gelingt?

Hinweis $\sum_{k=1}^{\infty} x^k = \frac{x}{1-x}$ für $|x| < 1$.

Aufgabe 4 Operationsverstärker (21 Punkte)



Es soll die in Bild 6 gezeigte Schaltung, bestehend aus ohmschen Widerständen, n-Kanal MOS Transistoren und idealen Operationsverstärkern, analysiert werden. Gesucht ist die Übertragungsfunktion von den Eingangsspannungen u_x und u_y zu der Ausgangsspannung u_a . Nehmen Sie in der gesamten Aufgabe an, dass die Eingangsspannungen positiv sind ($u_x > 0$ und $u_y > 0$), so dass die Transistoren im Sättigungsbereich sind, d.h. für die Drainströme gelte

$$i_{d,i} = \frac{\beta}{2}(u_{gs,i} - U_{th})^2 \text{ für } i \in \{1, 2, 3\}.$$

Desweiteren dürfen alle Operationsverstärker im streng linearen Bereich angenommen werden!

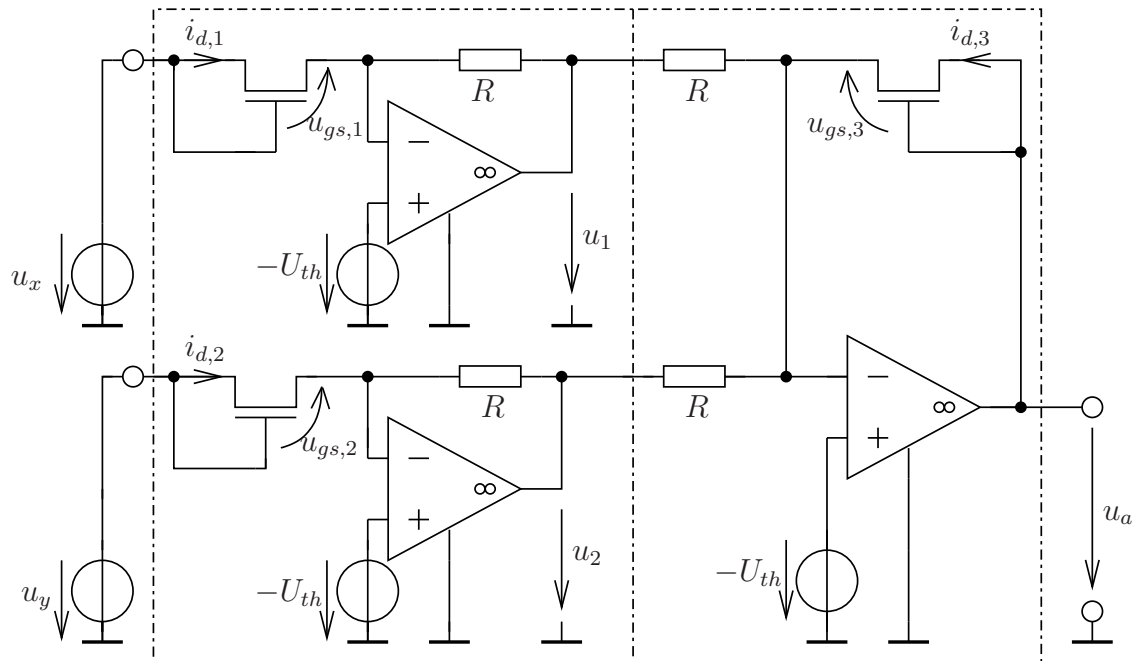


Bild 6. Zu untersuchende Schaltung

a)* Ist der Überlagerungssatz für diese Schaltung anwendbar? Begründen Sie Ihre Antwort.



Die Schaltung lässt sich in zwei funktionale Blöcke, wie in Bild 6 gezeigt ist, unterteilen, die im Folgenden untersucht werden sollen. Wir betrachten zunächst den funktionalen Block auf der linken Seite in Bild 6.

b)* Geben Sie die Gate-Source-Spannungen $u_{gs,1}$ und $u_{gs,2}$ als Funktion der Eingangsspannungen u_x , u_y und U_{th} an.



- c) Geben Sie die Drainströme $i_{d,1}$ und $i_{d,2}$ als Funktion der Eingangsspannungen u_x , u_y und der Bauteilwerte an.

- d) Geben Sie die Spannungen u_1 und u_2 in Abhängigkeit der Eingangsspannungen u_x und u_y und der Bauteilwerte an.

- e) Bestimmen Sie den zulässigen positiven Bereich für u_x und u_y , damit die beiden Operationsverstärker links nicht in negative Sättigung ($-U_{sat}$) übergehen. Stets gelte $u_x, u_y > 0$.

Nun wenden wir uns dem rechten Teil der Schaltung aus Bild 6 zu.

f)* Geben Sie den Strom $i_{d,3}$ als Funktion von u_1 und u_2 an. Stellen Sie dazu eine Knotengleichung auf.

g)* Geben Sie die Ausgangsspannung u_a als Funktion von $i_{d,3}$ an.

h) Verwenden Sie Ihre bisherige Ergebnisse aus den Teilaufgaben d), f) und g), um die Ausgangsspannung u_a als Funktion von u_x und u_y zu bestimmen.

i) Welche Funktion wird von der ganzen Schaltung ausgeführt?

