

Fachhochschule Regensburg

Nr.

Fachbereich Elektrotechnik

Prüfungsfach: Schaltungstechnik (SC), WS 95/96

Prüfungstermin: 02.02.1996

Prüfungsdauer: 90 Minuten (Planmäßig: 10.45 - 12.15 Uhr)

Zugelassene Hilfsmittel: Formelsammlung

Aufgabensteller: Prof. Dr. M. Schubert

Prüfungsteilnehmer/in: (Bitte leserlich in Druckbuchstaben)

Name: _____

Vorname: _____

Semester: _____

>>>>> **Alle Aufgabenblätter sind als Bestandteil der Lösung mit abzugeben !** <<<<<

Alle zusätzlichen Blätter können nur dann gewertet werden, wenn Sie durch Angabe des Namens, des Datums und der bearbeiteten Aufgabe **eindeutig zuzuordnen** sind !

Maximal erreichbare Punktzahl: 100.

Runden Sie Zahlenwerte typischerweise auf drei geltende Ziffern oder auf so viele Ziffern, wie offensichtlich notwendig sind (z.B. $x=0,9997$, wenn das Ergebnis $x < 1$ sein muß).

>>>>> **Rot ist Korrekturfarbe, bitte keinen Rotstift verwenden !** <<<<<

Weitere Hinweise:

„Äquivalente Schaltung“ bedeutet im Folgenden: Die ursprüngliche und die neue Schaltung sind hinsichtlich ihres elektrischen Verhaltens identisch. Also u.a. bezüglich ihrer Ausgangsspannung ohne Last, ihres Ausgangsstromes bei kurzgeschlossenem Ausgang und der Ausgangsimpedanz.

Formel und Ergebnis werden in den meisten Fällen im Verhältnis 1 : 1 gewertet. Das gibt Ihnen die Möglichkeit, bei Folgefehlern auch mit falschen Zwischenergebnissen für richtige Formeln Punkte zu bekommen.

Die Aufgaben sind so aufgebaut, daß Folgefehler nach Möglichkeit vermieden werden. Beispielsweise sind wichtige Zwischenergebnisse vorgegeben und müssen lediglich bewiesen werden. Arbeiten Sie daher weiter, auch wenn Ihnen etwas nicht gelingt.

1 Grundsaltungen

Im Folgenden sollen einige Schaltungen in äquivalente Strom- oder Spannungsquellen umgewandelt werden. Eine Quelle besteht aus einer idealen Quelle und einer Impedanz. Alle Impedanzen sind in Ohm angegeben.

Die Ergebnisse der Aufgaben 1.1 und 1.2 sind für die weiteren Berechnungen sehr nützlich!

1.1 Resistiver Spannungsteiler

Abbildung 1.1 zeigt einen resistiven Spannungsteiler. Es sei $G=1/R_1$ und $G_2=1/R_2$.

Es ist $U_2 = \frac{R_2}{R_1 + R_2} U_1$. Zeigen Sie, daß daraus $U_2 = \frac{G_1}{G_1 + G_2} U_1$ folgt. **(1P)**

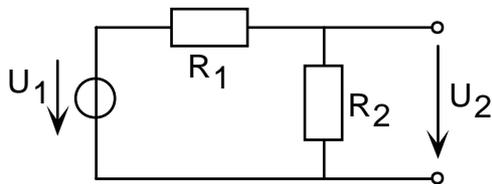


Abbildung 1.1

1.2 Resistiver Stromteiler

Abbildung 1.2 zeigt einen resistiven Stromteiler. Es sei $G=1/R_1$ und $G_2=1/R_2$.

Es ist $I_2 = \frac{G_2}{G_1 + G_2} I_1$. Zeigen Sie, daß daraus $I_2 = \frac{R_1}{R_1 + R_2} I_1$ folgt. **(1P)**

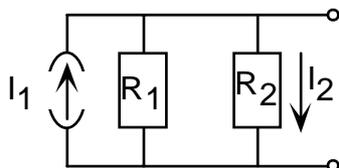


Abbildung 1.2

1.3 Umwandlung einer Spannungsquelle in eine Stromquelle

Wandeln Sie die Schaltung in Abbildung 1.3 um in eine äquivalente Stromquelle. (3P)
(Je ein Punkt für die Zeichnung sowie Formel + Wert für Quelle und Impedanz.)

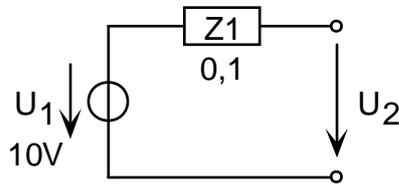


Abbildung 1.3

1.4 Umwandlung einer Stromquelle in eine Spannungsquelle

Wandeln Sie die Schaltung in Abbildung 1.4 um in eine äquivalente Spannungsquelle. (3P)
(Je ein Punkt für die Zeichnung sowie Formel + Wert für Quelle und Impedanz.)

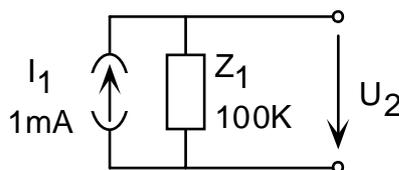


Abbildung 1.4

1.5 Umwandlung eines Spannungsteilers in eine Spannungsquelle

Wandeln Sie die Schaltung in Abbildung 1.5 um in eine äquivalente Spannungsquelle. (3P)
(Je ein Punkt für die Zeichnung sowie Formel + Wert für Quelle U_{o5} und Impedanz Z_{out5} .)

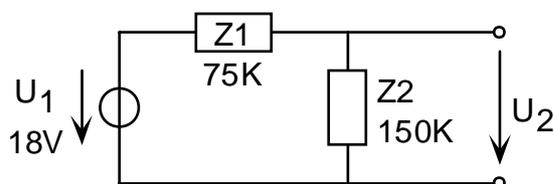


Abbildung 1.5

1.6 Umwandlung eines T-Gliedes in eine Spannungsquelle

Wandeln Sie die Schaltung in Abbildung 1.6 um in eine äquivalente Spannungsquelle. (3P)
Ergebnisse anderer Aufgaben dürfen mit entsprechendem Hinweis verwendet werden.
(Je ein Punkt für die Zeichnung sowie Formel + Wert für Quelle U_{o6} und Impedanz Z_{out6} .)

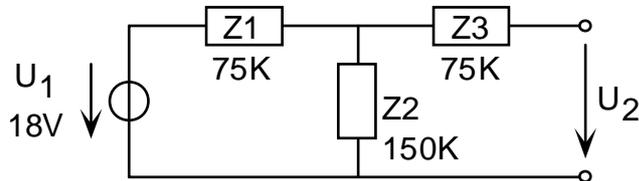


Abbildung 1.6

1.7 Umwandlung eines π -Gliedes in eine Spannungsquelle

Wandeln Sie die Schaltung in Abbildung 1.7 um in eine äquivalente Spannungsquelle. (3P)
Ergebnisse anderer Aufgaben dürfen mit entsprechendem Hinweis verwendet werden. (Je ein Punkt für die Zeichnung sowie Formel + Wert für Quelle U_{o7} und Impedanz Z_{out7} .)

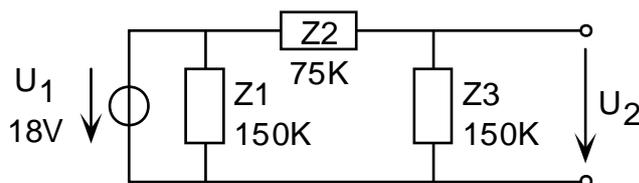


Abbildung 1.7

1.8 Umwandlung eines Netzwerks in eine äquivalente Quelle

Die Schaltung in Abbildung 1.8 ist in eine äquivalente Spannungsquelle umzuwandeln.

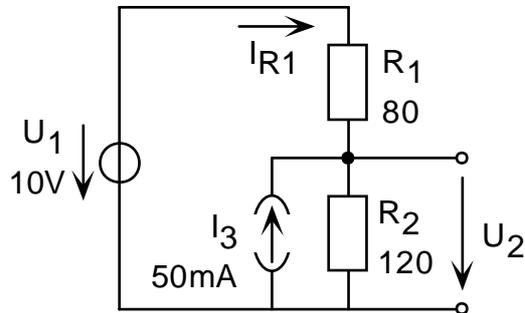


Abbildung 1.8

- (a) Berechnen Sie die durch die Quelle U_1 verursachten Partialströme. **(3P)**
Man benenne den Partialstrom durch R_1 mit $^{(1)}I_{R1}$ und den durch R_2 mit $^{(1)}I_{R2}$.
(Je ein Punkt für die Zeichnung sowie Formel + Wert der Partialströme.)
- (b) Berechnen Sie die durch die Quelle I_3 verursachten Partialströme. **(3P)**
Man benenne den Partialstrom durch R_1 mit $^{(2)}I_{R1}$ und den durch R_2 mit $^{(2)}I_{R2}$.
(Je ein Punkt für die Zeichnung sowie Formel + Wert der Partialströme.)

- (c) Berechnen Sie die Ströme durch die Widerstände R_2 und R_1 (Formel und Wert). **(2P)**
- (d) Berechnen Sie den Wert der Ausgangsspannung U_2 des Systems (F. + Wert). **(2P)**
- (e) Berechnen Sie die vom Ausgang her gemessene Impedanz Z_{out} (Formel & Wert). **(2P)**
- (f) Ersetzen Sie die Schaltung in Abbildung 1.8 durch eine äquivalente Spannungsquelle mit der Quellenspannung U_o und dem Ausgangswiderstand Z_{out} und schreiben Sie die richtigen Zahlenwerte an die Bauelemente U_o und Z_{out} . **(2P)**
- (g) Formen Sie die oben berechnete, äquivalente Spannungsquelle U_o in eine äquivalente Stromquelle I_o um. Schreiben Sie die richtigen Zahlenwerte an die Bauelemente I_o und Z_{out} . **(2P)**

- (h) Bedenken Sie, wie U_o berechnet wurde und schreiben Sie U_o als Funktion der in Abbildung 1.8 vorgegebenen Werte U_1 , I_3 , R_1 , R_2 (nur Formel). Sie dürfen auch Z_{out} in dieser Formel verwenden, wenn es sie vereinfacht. **(4P)**

- (i) Bedenken Sie, wie sich I_o aus U_o ermitteln läßt und schreiben Sie I_o als Funktion der in Abbildung 1.8 vorgegebenen Werte U_1 , I_3 , R_1 , R_2 (nur Formel). Sie dürfen auch Z_{out} in dieser Formel verwenden, wenn es sie vereinfacht. **(2P)**

1.9 Umwandlung eines Netzwerks in eine äquivalente Quelle

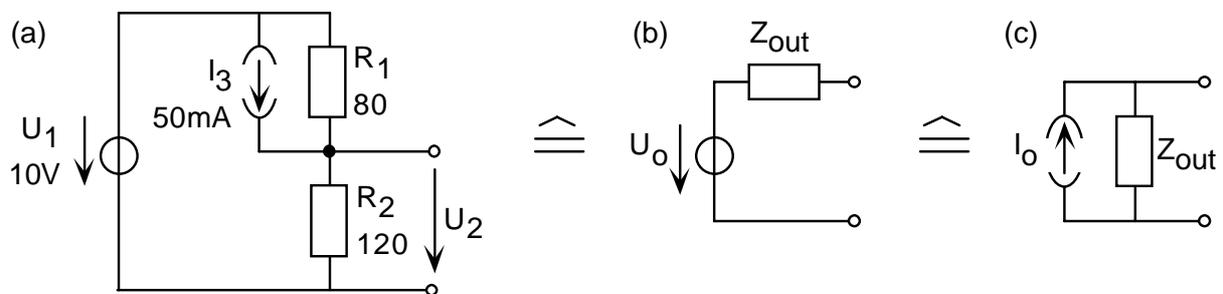


Abbildung 1.9

Die Schaltung in Abbildung 1.9(a) kann durch eine äquivalente Spannungsquelle $U_o = \frac{Z_{out}}{R_1} U_1 + Z_{out} \cdot I_3$ mit der Ausgangsimpedanz $Z_{out} = R_1 || R_2$ gemäß Bildteil (b) oder durch eine äquivalente Stromquelle mit $I_o = U_1 / R_1 + I_3$ gemäß Bildteil (c) ersetzt werden.

Die Schaltungen der Abbildungen 1.8 und 1.9 sind ähnlich, daher erwarten wir auch ähnliche Ergebnisse. Zeigen sie durch einen Vergleich der Partialströme der beiden Schaltungen warum die Ergebnisse gleich sein müssen oder worin sie sich unterscheiden.

2 Differentielle Eingangsstufe

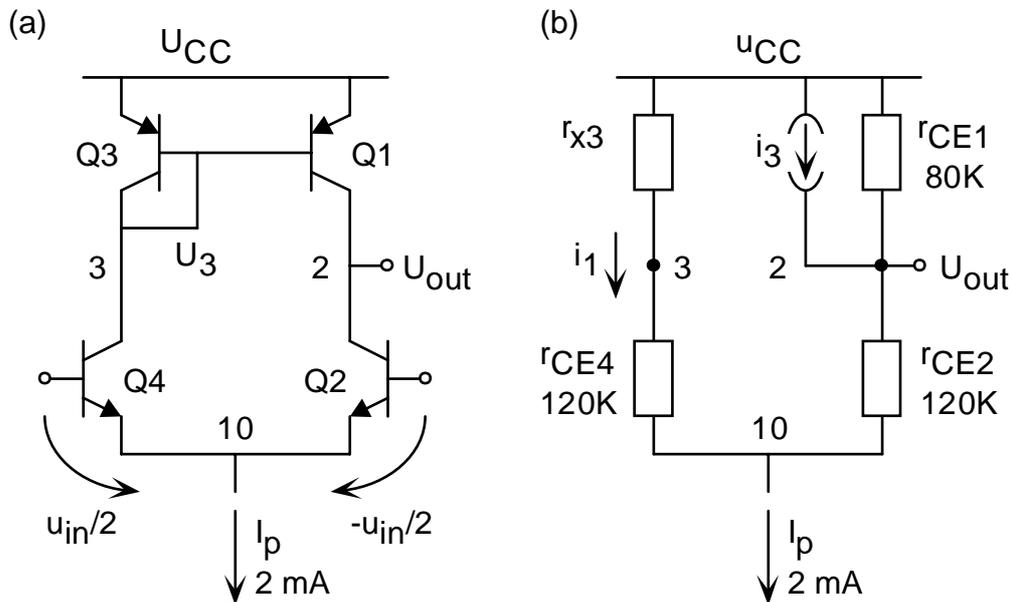


Abbildung 2.1: (a) bipolare Eingangsstufe und (b) Ersatzschaltbild für Brummspannung auf U_{CC} .

2.1 Berechnung der wichtigsten Stufenparameter

Abbildung 2.1(a) zeigt eine differentielle Eingangsstufe mit bipolaren Transistoren. Einige der zugehörigen Kleinsignalparameter zeigt Bildteil (b). Der Polarisierungsstrom beträgt $I_p=2\text{mA}$. Die Transistoren Q4, Q2 seien in ihren elektrischen Eigenschaften identisch, ebenso die Transistoren Q1, Q3. Für Großsignale ist $U_{in}=U_{BE4}-U_{BE2}=0$.

- (a) Berechnen Sie den Kollektorstrom I_C der Transistoren Q1 bis Q4. (Formel & Wert) **(2P)**
- (b) Berechnen Sie den Übertragungsleitwert g_m für Q1 bis Q4 mit $u_T=25\text{mV}$. (Formel & Wert) **(2P)**
- (c) Wie groß ist der Übertragungsleitwert G_m der gesamten Stufe? (Formel & Wert). **(2P)**
- (d) Wie groß ist die Ausgangsimpedanz Z_{out} der Stufe? (Formel & Wert). **(2P)**
- (e) Wie groß ist die Kleinsignal-Spannungsverstärkung A_v der Stufe? (Formel & Wert). **(2P)**

2.2 Berechnung des PSRR⁺

Im Folgenden genügen Formeln, außer dort, wo der Wert ausdrücklich verlangt wird.

Es soll der „Power Supply Rejection Ratio“ der positiven Versorgungsspannung (PSRR⁺) berechnet werden. Der PSRR⁺ sagt aus, wie groß eine Kleinsignal-Brummspannung u_{CC} bei $u_{in}=0$ ist, welche am Ausgang die gleiche Wirkung zeigt, wie eine äquivalente Eingangsspannung $u_{in,eqvi}$ bei $u_{CC}=0$. Es ist per Definition

$$PSRR^+ = \left| \frac{u_{CC}}{u_{in,eqvi}} \right|$$

- (a) Zeigen Sie, daß man (mit der Spannungsverstärkung A_V) auch schreiben kann

$$PSRR^+ = \left| A_V \frac{u_{CC}}{u_{out}} \right|. \quad (2P)$$

- (b) Berechnen Sie r_{x3} in Abbildung 2.1(b); es ist der Kleinsignal-Widerstand des Transistors Q3 in Bildteil (a). (Formel und Wert) (2P)

- (c) Berechnen Sie das Kleinsignal-Spannungsverhältnis u_3/u_{CC} im Knoten 3 (Formel und Wert). (2P)
Hinweis: das Potential im Knoten 10 wirkt als Kleinsignal-Masse.

Rechnen Sie im Folgenden weiter mit der Näherung $u_3=u_{CC}$.

- (d) Berechnen Sie den Kleinsignal-Strom $i_1(u_{CC})$, den die Spannung u_3 an dem Widerstand r_{CE4} verursacht. (Formel genügt.) (1P)

- (e) Wie erhalten wir den Kleinsignal-Strom $\dot{i}(u_{CC})$, wenn $i_1(u_{CC})$ bekannt ist (nur Formel) ? (1P)

- (f) Stellen Sie nun den rechten Zweig der Abbildung 2.1(b) als Kleinsignal-Spannungsquelle dar und berechnen Sie u_{out} als $f(u_{CC}, Z_{out}, r_{CEx})$ mit $x \in \{1..4\}$. Eliminieren Sie i_3 mit Hilfe der vorherigen Teilaufgabe. Hinweis: Die Vorgaben der Aufgabe 1.9 können Ihnen die Arbeit sehr erleichtern. **(3P)**
- (g) Es war oben $PSRR^+ = |A_V \cdot u_{CC} / u_{out}|$ gegeben. Setzen Sie nun Ihr Ergebnis für u_{out} in diese Formel ein, um $PSRR^+$ als $f(A_V, Z_{out}, r_{CEx})$ zu berechnen. **(1P)**
- (h) Drücken Sie nun A_V als Funktion von g_m und Z_{out} aus und berechnen Sie den $PSRR^+$ als $f(g_m, r_{CEx})$. **(2P)**

3 Rückkopplung

3.1 Grundwissen der Rückkopplung

Die Beantwortung der folgenden Multiple-Choice Fragen dient zur Bewußtmachung der Prinzipien, welche für die Lösung der nächsten Teilaufgabe benötigt werden.

Für Spannungssteuerung einer Baugruppe hat diese idealerweise einen ... (1P)

- ... möglichst niederohmigen Eingang
- ... möglichst hochohmigen Eingang
- ... möglichst niederohmigen Ausgang
- ... möglichst hochohmigen Ausgang

Für Stromsteuerung einer Baugruppe hat diese idealerweise einen ... (1P)

- ... möglichst niederohmigen Eingang
- ... möglichst hochohmigen Eingang
- ... möglichst niederohmigen Ausgang
- ... möglichst hochohmigen Ausgang

Eine als Spannungsquelle arbeitende Baugruppe hat idealerweise einen ... (1P)

- ... möglichst niederohmigen Eingang
- ... möglichst hochohmigen Eingang
- ... möglichst niederohmigen Ausgang
- ... möglichst hochohmigen Ausgang

Eine als Stromquelle arbeitende Baugruppe hat idealerweise einen ... (1P)

- ... möglichst niederohmigen Eingang
- ... möglichst hochohmigen Eingang
- ... möglichst niederohmigen Ausgang
- ... möglichst hochohmigen Ausgang

Paralleles Einkoppeln des Rückkopplungsnetzwerks an einem Port (Eingang/Ausgang) macht (1P)

- ... den gleichen Port niederohmiger (z.B. Eingang)
- ... den gleichen Port hochohmiger
- ... den anderen Port niederohmiger (z.B. Ausgang)
- ... den anderen Port hochohmiger

Serielles Einkoppeln des Rückkopplungsnetzwerks an einem Port (Eingang/Ausgang) macht (1P)

- ... den gleichen Port niederohmiger (z.B. Eingang)
- ... den gleichen Port hochohmiger
- ... den anderen Port niederohmiger (z.B. Ausgang)
- ... den anderen Port hochohmiger

3.2 Anschließen einer Rückkopplung

in den Abbildungen 2.1 - 2.4 finden Sie den unfertigen Stromlaufplan eines AC-Signalverstärkers mit einem Übertrager als Rückkopplungsnetzwerk. Komplettieren Sie die

Abbildungen so, daß Bildunterschriften und Abbildungen zusammenpassen. Es geht nur um die richtige Einkopplung (parallel/seriell), die Phase sei innerhalb des Verstärkers kompensierbar.

Und nicht vergessen: ... Leitungsverbindungen durch einen Punkt markieren.

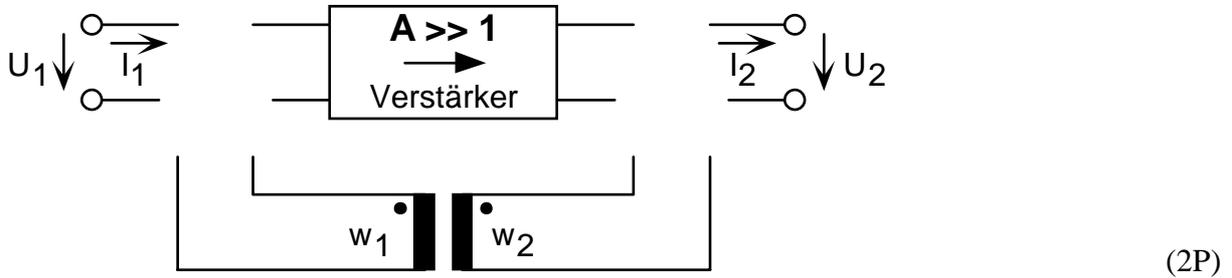


Abbildung 2.1: Spannungsgesteuerte Spannungsquelle

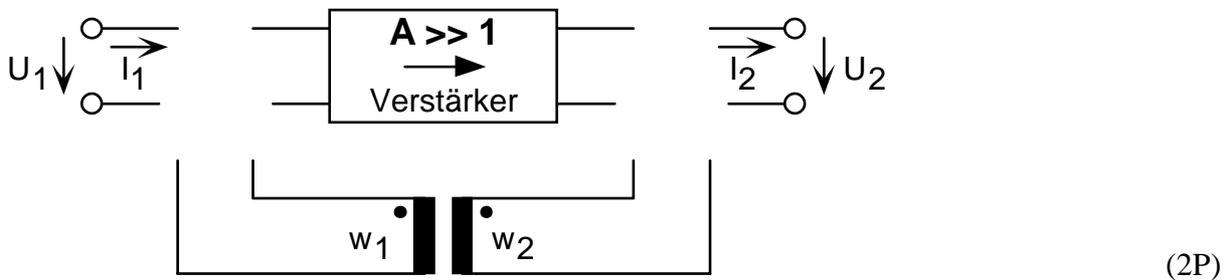


Abbildung 2.2: Spannungsgesteuerte Stromquelle

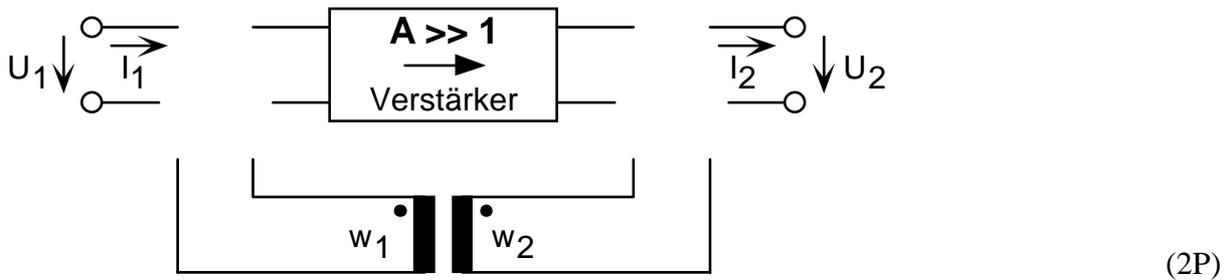


Abbildung 2.3: Stromgesteuerte Spannungsquelle

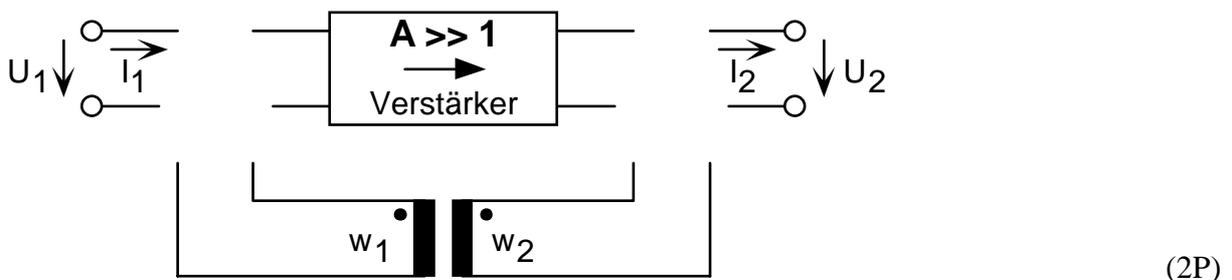


Abbildung 2.4: Stromgesteuerte Stromquelle

4 Operationsverstärker

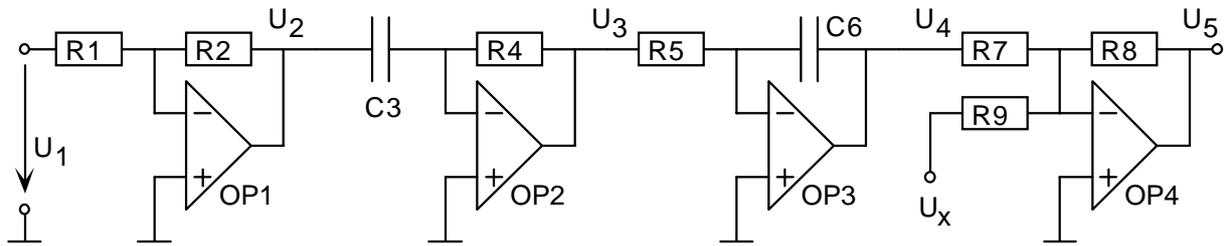


Abbildung 4.1: Mehrstufige Schaltung mit Operationsverstärkern

Es heißt, das wichtigste Werkzeug des Schaltungstechnikers sei die Schere. Zeichnen Sie gestrichelte „Schnitt“-Linien in die Abbildung 4.1, um die Schaltung in ihre einzelnen Stufen zu zerlegen. (3P)

Falls Sie im Folgenden eine noch nicht benannte Konstante benötigen, nennen Sie diese \mathbb{U}

Benennen Sie die erste Stufe gemäß ihrer Funktion: (1P)
 Berechnen Sie die Funktion $H_1(s)$ der ersten Stufe (1P)

Benennen Sie die zweite Stufe gemäß ihrer Funktion: (1P)
 Berechnen Sie die Funktion $H_2(s)$ der zweiten Stufe (1P)

Benennen Sie die dritte Stufe gemäß ihrer Funktion: (1P)
 Berechnen Sie $U_4(s)$ als Funktion von $U_3(s)$. (1P)

Benennen Sie die vierte Stufe gemäß ihrer Funktion: (1P)
 Berechnen Sie $U_5(s)$ als Funktion der Eingangsgrößen der letzten Stufe. (1P)

Berechnen Sie $U_5(s) = F_1(s) \cdot U_1 + F_2(s) \cdot U_0 + F_3(s) \cdot U_x$, wobei F_1, F_2, F_3 Funktionen der gegebenen Bauteile sind. **(5P)**

Welche Bedingung muß gelten, damit $u_5 = u_1$, also damit ein am Eingang eingespeistes Kleinsignal u ein identisches Kleinsignal $u_5 = u_1$ zur Folge hat? **(2P)**

Welche zusätzliche Beziehung muß zwischen U_x und U_0 gelten, damit auch für Großsignale $U_5 = U_1$ gilt? **(2P)**