

Klausur (Musterlösung)

Schaltungstechnik
SS 2008

25. Juli 2008

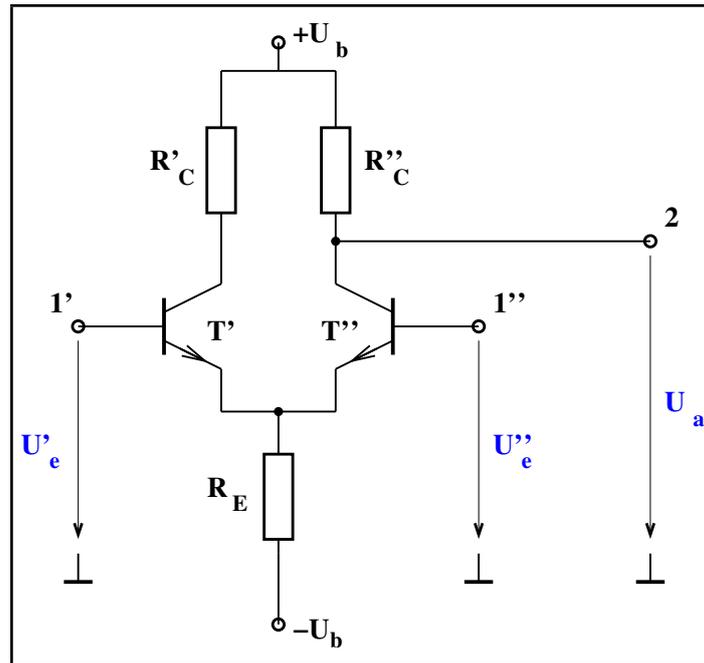
| Name | Matrikelnummer | Studiengang |
|------|----------------|-------------|
| | | |

| Aufgabe | Thema | Max. Punkte | Erreichte Punkte |
|---------|------------|-------------|------------------|
| 1 | Transistor | 6.0 | |
| 2 | Rauschen | 5.5 | |
| 3 | OPV | 6.5 | |
| 4 | Leitung | 6.0 | |
| 5 | Digital | 6.0 | |
| Summe | | 30.0 | |

Hinweise:

- Es sind keinerlei Unterlagen oder sonstige Hilfsmittel zugelassen.
- Alle Lösungsblätter müssen fortlaufend nummeriert und jeweils mit Name und Matrikelnummer versehen werden.
- In die Bewertung fließt sowohl das Endergebnis als auch sämtliche Zwischen- und Nebenrechnungen.
- Bei der Angabe mehrerer Lösungen für eine Aufgabe wird diese mit Null bewertet.
- Die erreichbaren Punkte für die einzelnen Teilaufgaben sind in rechteckigen Klammern am Ende der jeweiligen Teilaufgabe angegeben.

1. Aufgabe: Transistorschaltung



Gegeben ist die obenstehende Schaltung mit den zwei gleichen Transistoren T' und T'' .

1. Um welche Schaltung handelt es sich? Wo wird sie häufig verwendet?

Differenzverstärker [0.25P]. Er wird häufig als Eingangsstufe in Operationsverstärkern verwendet [0.25P].

2. Welche Beziehung gilt zwischen den Ansteuerspannungen U'_e und U''_e bei

- (a) reiner Gleichtaktansteuerung. [0.25P]

$$U'_e = U''_e$$

- (b) reiner Differenzansteuerung. [0.25P]

$$U'_e = -U''_e$$

3. Welche Verstärkung erhält man in den beiden Fällen 2a und 2b? Wählen Sie zwischen hoch, mittel, niedrig und begründen Sie kurz Ihre Wahl.

2a: Niedrige Verstärkung [0.25P]. Weil sich beide Kleinsignal-Emitterströme konstruktiv im hochohmigen Widerstand R_E überlagern und somit eine hohe Kleinsignal-Stromgegenkopplung verursachen [0.5P].

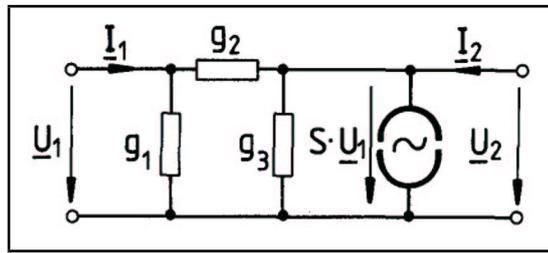
2b: Hohe Verstärkung [0.25P]. Weil sich beide Kleinsignal-Emitterströme im hochohmigen Widerstand R_E kompensieren und somit die Kleinsignal-Stromgegenkopplung eliminieren [0.5P].

4. Wie ließe sich, mit Hilfe von Transistoren, der durch R_E „verheizte“ Gleichspannungsanteil stark reduzieren? [0.5P]

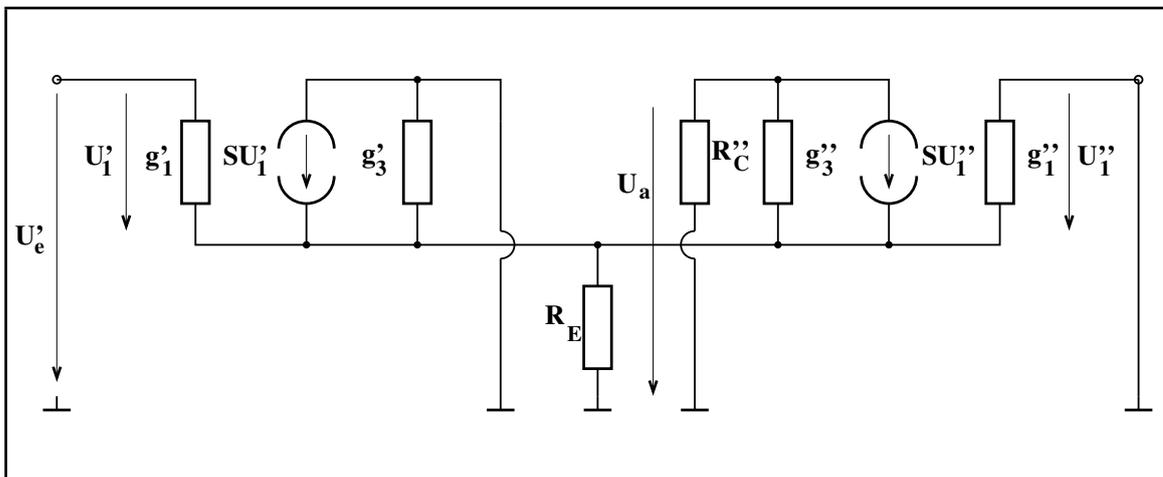
Durch den Einsatz einer Stromspiegelschaltung.

Die Schaltung wird nun ausschließlich am Eingang 1' von einer Signalquelle angesteuert. Der Anschluss 1'' wird dagegen auf Masse gelegt, der Widerstand R'_C durch einen Kurzschluss ersetzt.

5. Zeichnen Sie das π -Ersatzschaltbild eines Einzeltransistors und beschriften Sie alle Elemente. [0.5P]



6. Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung unter Verwendung des Resultates aus 5. Dabei darf das Rückwirkungselement vernachlässigt werden. [1.0P]

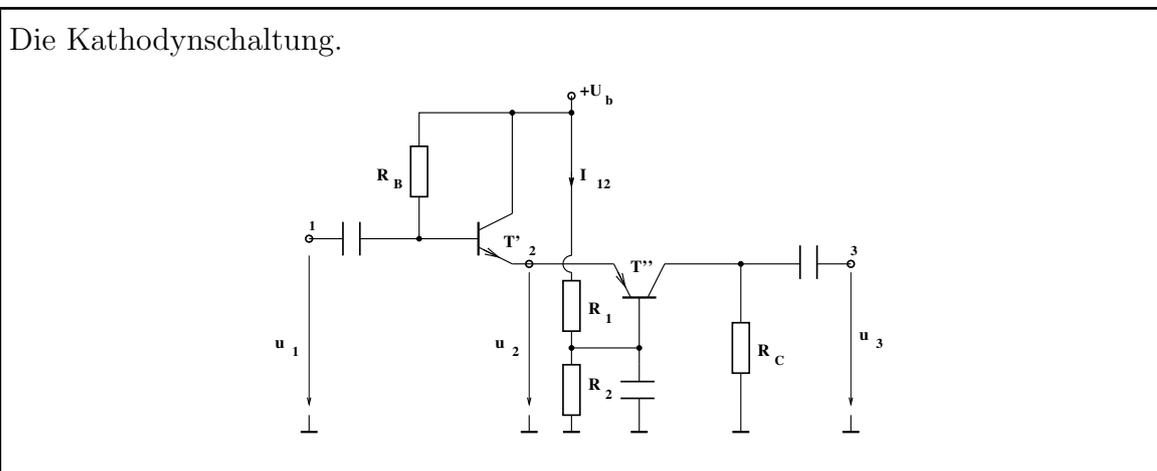


7. In welcher Grundschaltung arbeiten T' und T'' ?

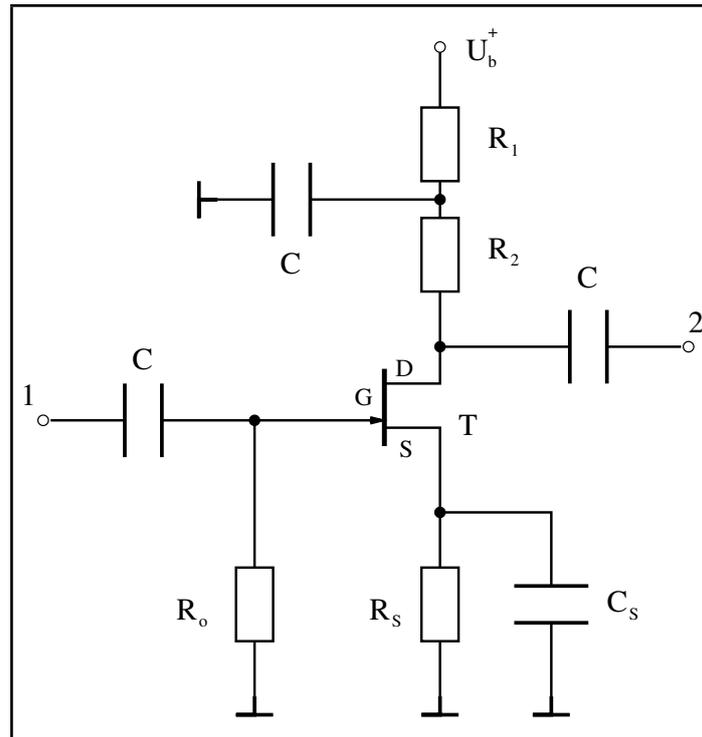
T' : Kollektorschaltung. [0.25P]

T'' : Basisschaltung. [0.25P]

8. Welche zweistufige Verstärkerschaltung ähnelt der jetzigen, auch wenn bei ihr komplementäre Transistoren verwendet werden [0.25P]? Zeichnen Sie diese Schaltung [0.75P].



2. Aufgabe: Elektronisches Rauschen



Ein rauscharmer, selbstleitender Feldeffekttransistor wird in obiger Schaltung eingesetzt. Alle Kondensatoren seien hinreichend groß dimensioniert.

$$R_o = 10M\Omega, kT = 4 \times 10^{-21} [Ws], B = 1Hz, U_R^2 = 4kTB R, I_R^2 = 4kTB/R, R_{opt} = U_{RS}/I_{RP}$$

1. Welche Bauteile rauschen und welche Rauscharten zeigen sie? [1.0P]

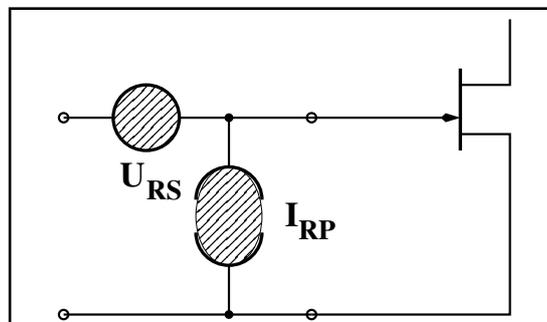
Alle Widerstände: Thermisches Rauschen.

Der Transistor: Thermisches Rauschen, Schrotrauschen und Funkelrauschen.

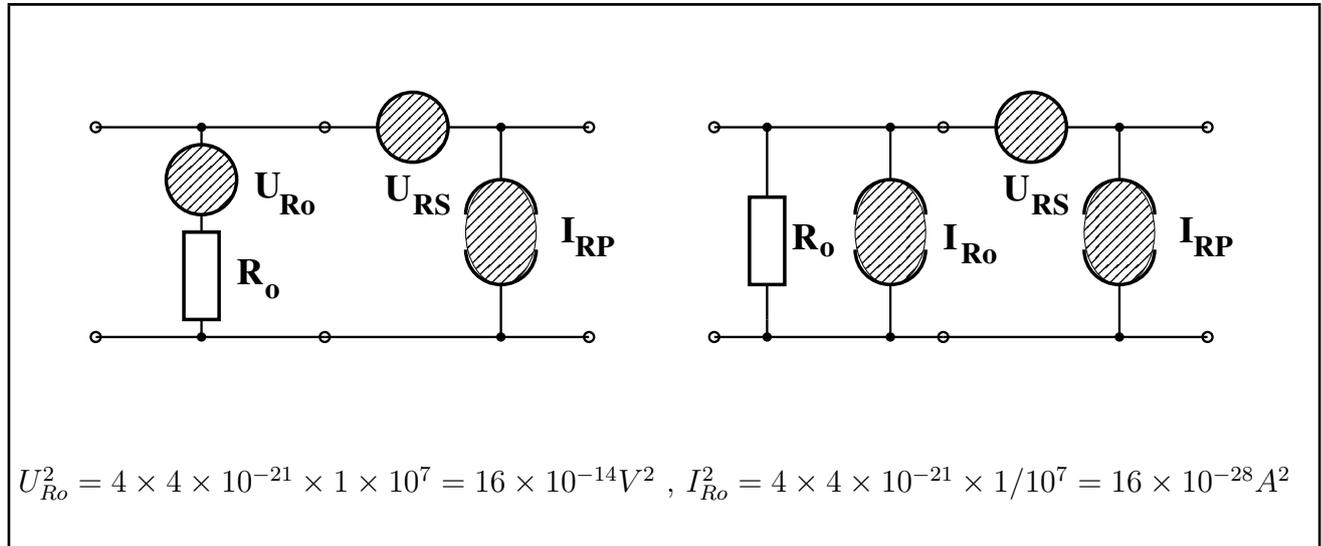
2. Welche der Bauteile tragen tatsächlich zum Rauschen am Ausgang der Schaltung bei? [0.5P]

T', R_o, R_2 .

3. Zeichnen Sie den Rauschvierpol für den Transistor mit seinen beiden Ersatzrauschquellen. [0.5P]



4. Erweitern Sie diesen Rauschvierpol durch das Rauschersatzschaltbild des Widerstandes R_o . Da letzteres sowohl mit einer Rauschspannungsquelle (I) als auch mit einer Rauschstromquelle (II) dargestellt werden kann, sind zwei Lösungen darzustellen. Geben Sie für beide den Zahlenwert an. [1.0P]



5. Vergleichen Sie, bei eingangsseitigem Leerlauf, die Rauschbeiträge der beiden Rauschquellen des Transistors und der einen des Widerstandes R_o , ausgehend von einer der beiden Lösungen aus 4 ($U_{RS} = 2 \text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$, $I_{RP} = 30 \text{fA}/\sqrt{\text{Hz}}$, $B = 1 \text{Hz}$). [0.5P]

$$\begin{aligned}
 U_{RS}^2 &= 4 \times 10^{-18} \text{V}^2 \\
 U_{IRP}^2 &= I_{RP}^2 R_o^2 = 9 \times 10^{-28} \text{A}^2 \times 10^{14} \Omega^2 = 9 \times 10^{-14} \text{V}^2 \\
 U_{Ro}^2 &= 16 \times 10^{-14} \text{V}^2
 \end{aligned}$$

6. Was versteht man unter dem Begriff Rauschanpassung? [0.5P]

Minimierung des Rauschens durch geeignete Wahl des Generatorinnenwiderstandes (R_{opt}).

7. Welcher Wert ergäbe sich für R_{opt} , wenn R_o rauschfrei wäre? [0.5P]

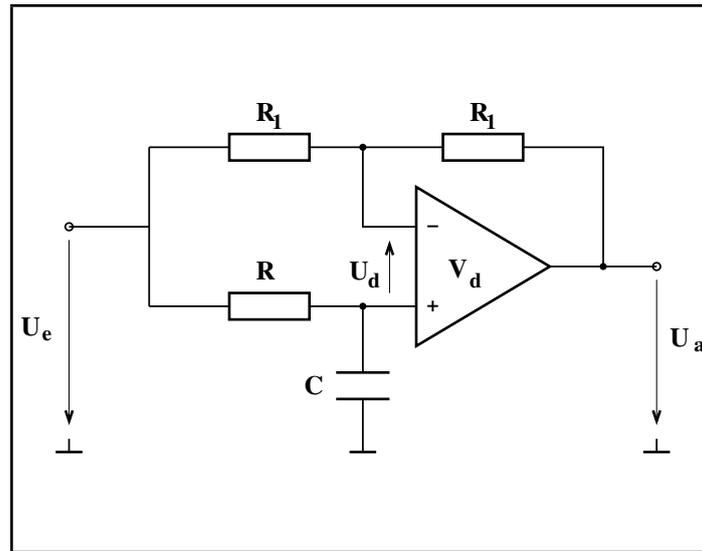
$$R_{opt} = U_{RS}/I_{RP} = 2 \text{nV}/30 \text{fA} = 66.6 \text{k}\Omega.$$

8. Ermitteln Sie den tatsächlichen Wert von R_{opt} . [1.0P]

Hinweis: Da die ideale Rauschstromquelle I_{RP} keinen Spannungsabfall an der Rauschspannungsquelle verursacht, können die Rauschstromquellen der Lösung II aus 4 sowohl am Eingang als auch am Ausgang angeordnet werden.

$$R_{opt} = U_{RS}/\sqrt{I_{RP}^2 + I_{Ro}^2} = 2 \times 10^{-9} \text{V}^2/\sqrt{9 \times 10^{-28} \text{A}^2 + 16 \times 10^{-28} \text{A}^2} = 40 \text{k}\Omega.$$

3. Aufgabe: Operationsverstärker

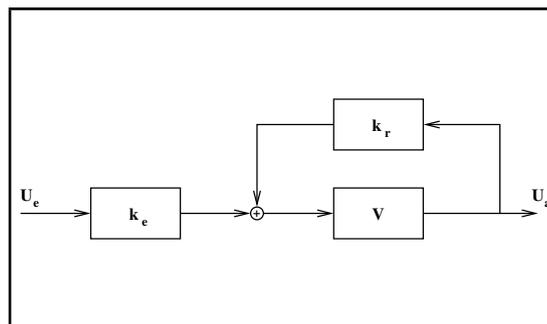


Als Allpässe bezeichnet man Filterschaltungen, die einen konstanten Amplitudengang, jedoch einen frequenzabhängigen Phasengang aufweisen. Die obige Schaltung stellt einen Allpass 1. Ordnung dar. Der Operationsverstärker habe zunächst eine endliche Differenzverstärkung V_d , bezüglich seiner restlichen Eigenschaften sei er jedoch „ideal“.

1. Welche Eigenschaften weist ein idealer Operationsverstärker bezüglich seines Eingangs- und Ausgangswiderstandes, seiner Differenz- und Gleichtaktverstärkung auf? [1.0P]

$$r_{in} \rightarrow \infty [0.25P], \quad r_{out} = 0 [0.25P], \quad V_d \rightarrow \infty [0.25P], \quad V_g = 0 [0.25P]$$

2. Zeichnen Sie das regelungstechnische Blockschaltendiagramm, bestehend aus dem Verstärkerblock (V), dem Vorwärts- (k_e) und dem Rückkopplungsblock (k_r). [0.5P]



3. Berechnen Sie anhand des gezeichneten Blockschaltendiagramms die Gesamtübertragungsfunktion der Schaltung V' als Funktion von V , k_e und k_r . [0.5P]

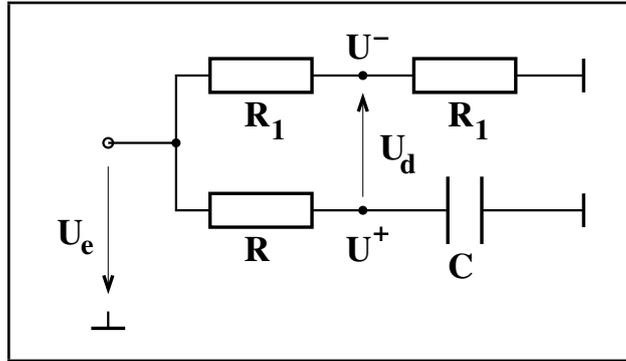
$$V' = \frac{k_e V}{1 - k_r V}$$

4. Ermitteln Sie für die gegebene Schaltung die Detail-Schaltungen der drei Blöcke und berechnen Sie deren Übertragungsfunktionen.

V : [0.5P]

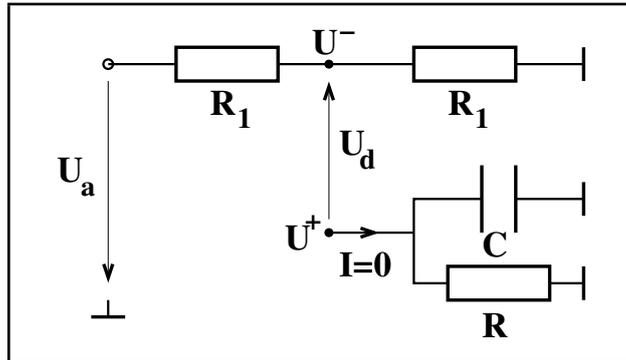
$$V = V_d = \frac{U_a}{U_d}$$

$k_e = \frac{U_d}{U_e} \Big|_{U_a=0}$: [0.75P]



$$k_e = \frac{U_d}{U_e} = \frac{U^+ - U^-}{U_e} = \frac{\frac{1}{j\omega C}}{R + \frac{1}{j\omega C}} - \frac{R_1}{R_1 + R_1} = \frac{1}{1 + j\omega RC} - \frac{1}{2}$$

$k_r = \frac{U_d}{U_a} \Big|_{U_e=0}$: [0.75P]



$$k_r = \frac{U_d}{U_a} = \frac{U^+ - U^-}{U_a} = -\frac{U^-}{U_a} = -\frac{R_1}{R_1 + R_1} = -\frac{1}{2}$$

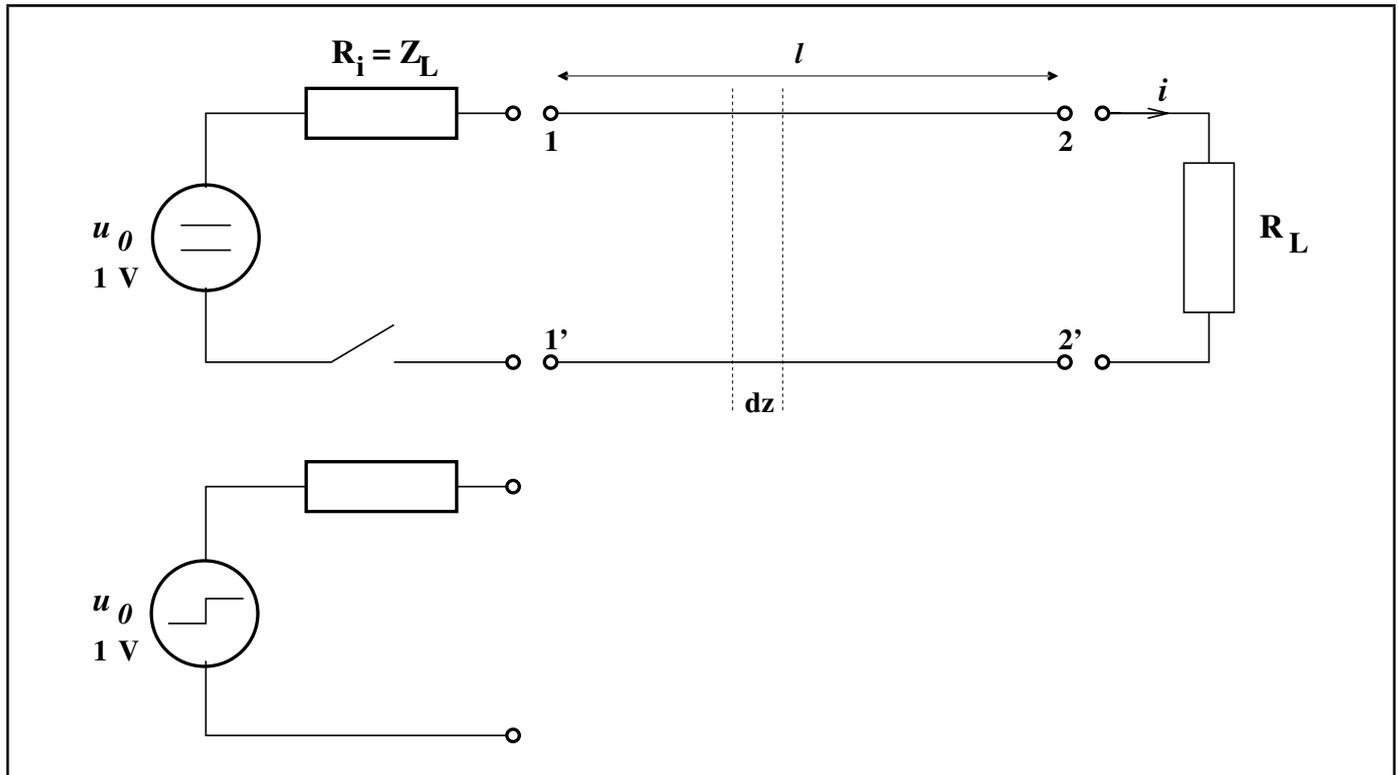
5. Berechnen Sie unter Verwendung der Ergebnisse aus (3) und (4) die Gesamtübertragungsfunktion der gegebenen Schaltung. [0.5P]

$$V' = \frac{k_e V}{1 - k_r V} = \frac{\left(\frac{1}{1+j\omega RC} - \frac{1}{2}\right) V_d}{1 + \frac{V_d}{2}} = \frac{V_d}{2 + V_d} \left(\frac{1 - j\omega RC}{1 + j\omega RC}\right)$$

6. Wie lautet die Gesamtübertragungsfunktion wenn der Operationsverstärker nun auch bezüglich seiner Differenzverstärkung als ideal angenommen wird? [0.5P]

$$\lim_{V_d \rightarrow \infty} V' = \frac{1 - j\omega RC}{1 + j\omega RC}$$

4. Aufgabe: Signalübertragung mittels Leitungen



Gegeben sei die obige Leitung der Länge $l = 1\text{m}$, welche mittels eines Schalters an einen Gleichspannungsgenerator (mit Innenwiderstand R_i) angeschlossen und durch den Lastwiderstand R_L abgeschlossen ist. Die Gleichspannung wird zum Zeitpunkt $t = 0$ durch Schließen des Schalters auf die Leitung gegeben. Gedanklich kann dieser Vorgang durch die Beaufschlagung der Leitung mit einer Stufenspannung (zum Zeitpunkt $t = 0$) veranschaulicht werden.

- Die Leitung sei von Luft umgeben. Mit welcher Geschwindigkeit (c) und in welcher Zeit (t_f) erreicht der Einschaltimpuls das Ende der Leitung?

$$c = c_0 = 3 \times 10^8 \text{ m/s} \quad [0.25\text{P}]$$

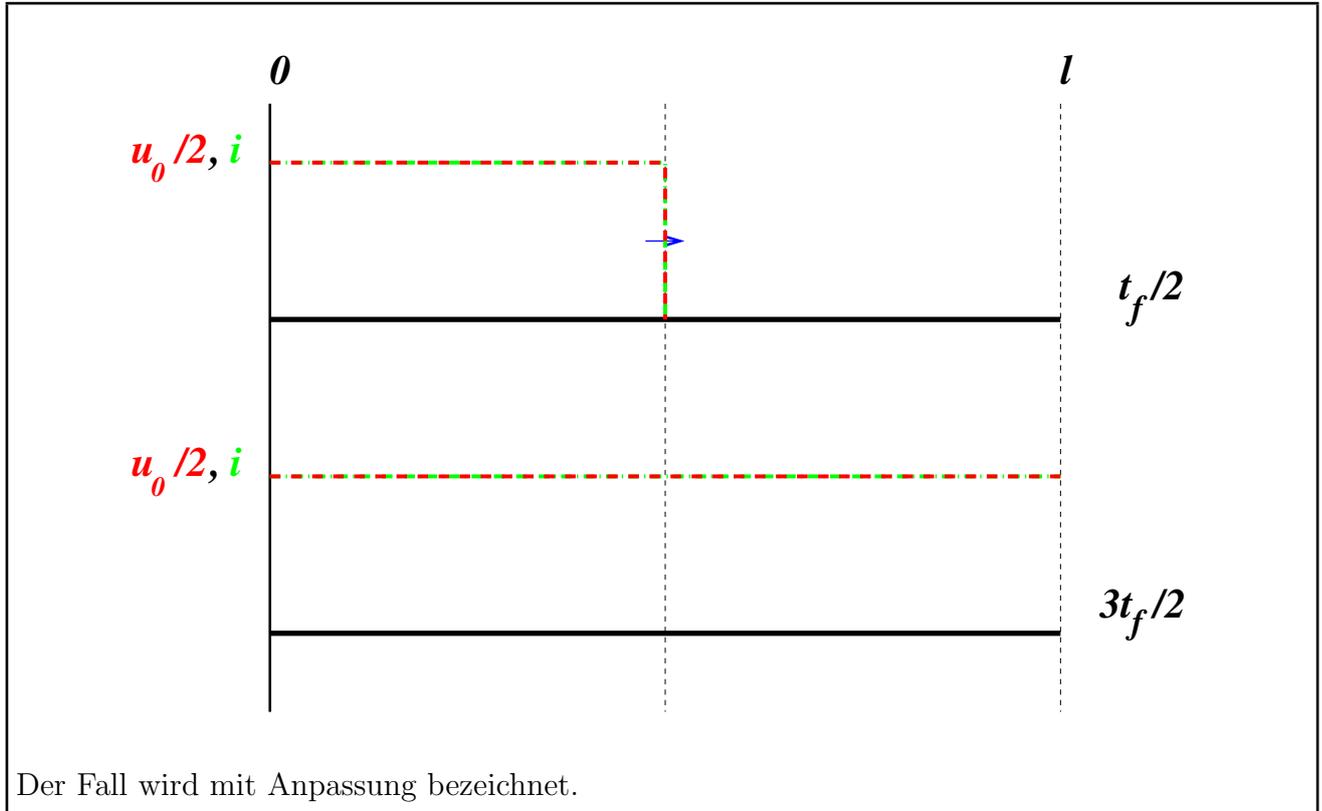
$$t_f = l/c = 3.33 \text{ ns} \quad [0.25\text{P}]$$

- Berechnen Sie den Induktivitätsbelag L' und den Leitungswellenwiderstand Z_L wenn der Kapazitätsbelag der Leitung mit $C' = 66.66 \text{ pF/m}$ gegeben ist.

$$c = 1/\sqrt{L'C'} \implies L' = 1/(C' c^2) = 1/(66.66 \times 10^{-12} \times 9 \times 10^{16}) = 0.166 \mu\text{H/m} \quad [0.5\text{P}]$$

$$Z_L = \sqrt{L'/C'} = \sqrt{0.166 \times 10^{-6}/(66.66 \times 10^{-12})} = 50 \Omega \quad [0.5\text{P}]$$

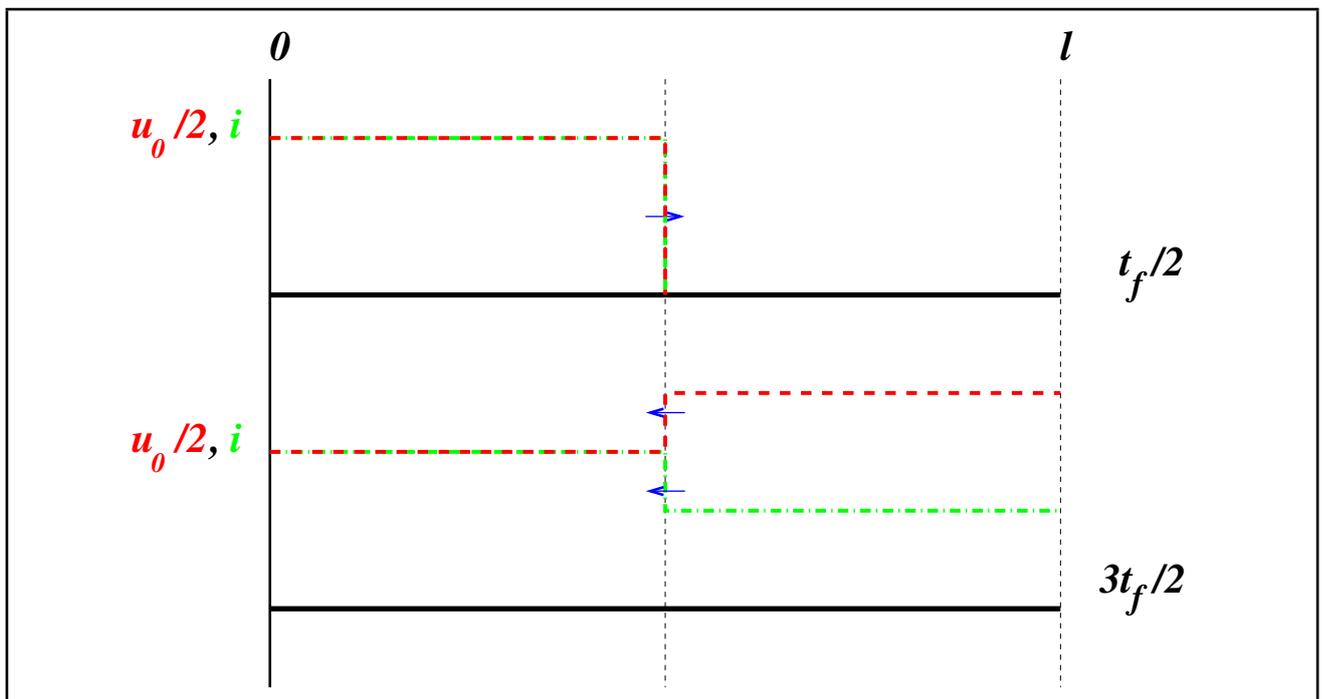
3. Zeichnen Sie die ortsabhängigen Strom- und Spannungsverläufe zu den Zeitpunkten $t = t_f/2$ und $t = 3t_f/2$ für den Fall $R_i = R_L = Z_L$ [0.5P]. Wie nennt man diesen Fall [0.25P]?



4. R_L wird nun auf $2Z_L$ erhöht. Berechnen Sie den Reflexionsfaktor am Ende der Leitung. [0.5P]

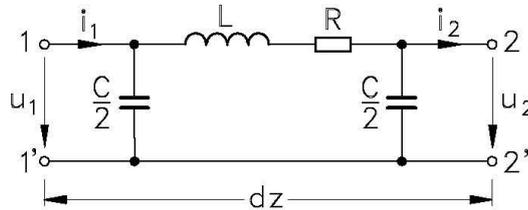
$$r = \frac{R_L - Z_L}{R_L + Z_L} = \frac{2Z_L - Z_L}{2Z_L + Z_L} = \frac{1}{3}$$

5. Zeichnen Sie erneut die ortsabhängigen Strom- und Spannungsverläufe zu den Zeitpunkten $t = t_f/2$ und $t = 3t_f/2$ unter der Berücksichtigung des Resultates aus 4. [1.0P]



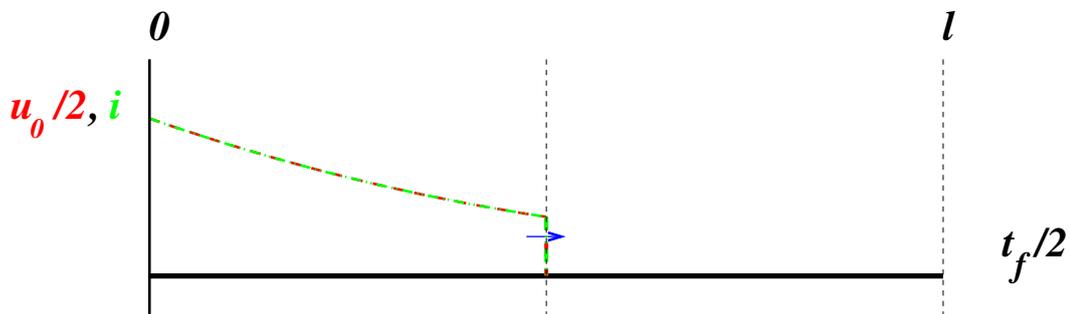
6. Welche Ursache könnte eine Dämpfung auf der Leitung haben [0.5P]? Zeichnen Sie das symmetrische Ersatzschaltbild für eine sehr kurzes Stück der Leitung [0.5P]. Bleibt der Leitungswellenwiderstand dabei rein reell [0.25P]?

Die endliche Leitfähigkeit der Leiter verursacht OHMSche Verluste und führt zu einer Dämpfung entlang der Leitung (Skinneffekt!)



Der Leitungswellenwiderstand bekommt einen Imaginärteil, durch den die Dämpfung modelliert wird.

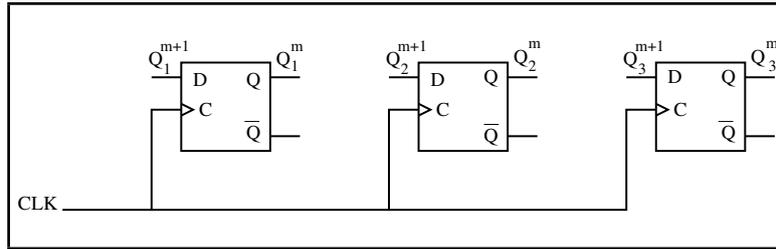
7. Zeichnen Sie für den Fall 3 die ortsabhängigen Strom- und Spannungsverläufe zu dem Zeitpunkt $t = t_f/2$ wenn zusätzlich ein Dämpfungsfaktor $\alpha = 2 [1/m]$ angenommen wird [0.5P]. Auf welche Werte fallen Strom und Spannung in der Mitte der Leitung ab [0.5P]?



Die Werte von Strom und Spannung fallen auf $1/e$ ihrer Anfangswerte ab
 $(i(z = l/2) = i(z = 0) e^{-2(l/2)} = i(z = 0)/e)$.

Hinweis: Die Verläufe für Strom und Spannung können im gleichen Diagramm dargestellt werden.

5. Aufgabe: Digitaltechnik



Es soll ein synchroner 1/5 Taktfrequenzteiler unter Verwendung von 3 flankengesteuerten D-Flipflops entworfen werden. Dabei soll ein Zyklus mit den folgenden Zuständen durchlaufen werden: 0 0 0, 0 0 1, 0 1 0, 1 0 0, 1 1 0.

- Ermitteln Sie die logischen Verknüpfungen zwischen den Ein- und Ausgängen der D-Flipflops und komplettieren Sie die obenstehende Schaltung. Dabei soll wie folgt vorgegangen werden:
 Aufstellung der Zustandsfolgetabelle [0.5P] → Aufstellung der KV-Diagramme [1.5P] → Ermittlung der logischen Verknüpfungen (Verwenden Sie je nach Günstigkeit die Minterm- oder die Maxterm-Methode) [1.5P]. Verwenden Sie die vorgezeichnete Tabelle und die vorgezeichneten Diagramme.

| Q_1^m | Q_2^m | Q_3^m | Q_1^{m+1} | Q_2^{m+1} | Q_3^{m+1} |
|---------|---------|---------|-------------|-------------|-------------|
| 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |
| 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 1 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 1 | 1 | 1 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 0 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 0 |

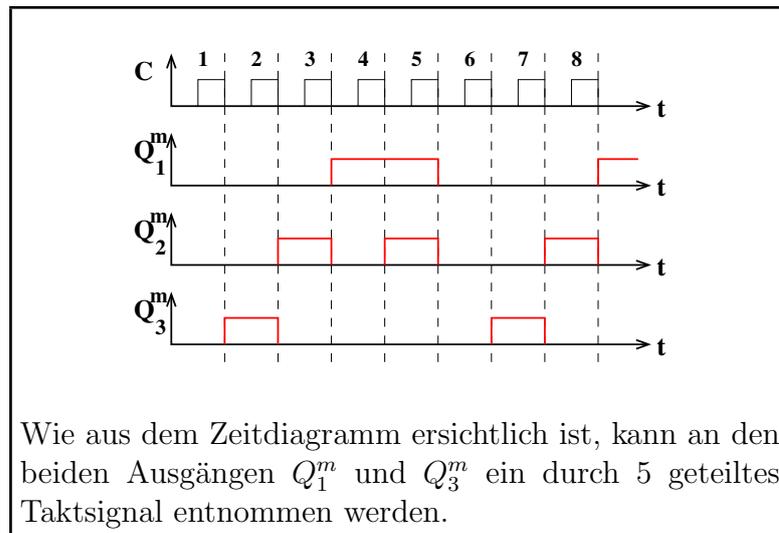
$$Q_1^{m+1}: \begin{array}{c|ccc|c} & Q_1^m & & & \\ \hline & 1 & 0 & 1 & 0 \\ \hline Q_3^m & - & - & - & 0 \\ \hline & Q_2^m & & & \end{array}$$

$$Q_2^{m+1}: \begin{array}{c|ccc|c} & Q_1^m & & & \\ \hline & 0 & 0 & 1 & 0 \\ \hline Q_3^m & - & - & - & 1 \\ \hline & Q_2^m & & & \end{array}$$

$$Q_3^{m+1}: \begin{array}{c|ccc|c} & Q_1^m & & & \\ \hline & 0 & 0 & 0 & 1 \\ \hline Q_3^m & - & - & - & 0 \\ \hline & Q_2^m & & & \end{array}$$

$$Q_1^{m+1} = (\bar{Q}_1^m \cdot Q_2^m) + (Q_1^m \cdot \bar{Q}_2^m) \quad , \quad Q_2^{m+1} = Q_3^m + (Q_1^m \cdot \bar{Q}_2^m) \quad , \quad Q_3^{m+1} = (\bar{Q}_1^m \cdot \bar{Q}_2^m \cdot \bar{Q}_3^m)$$

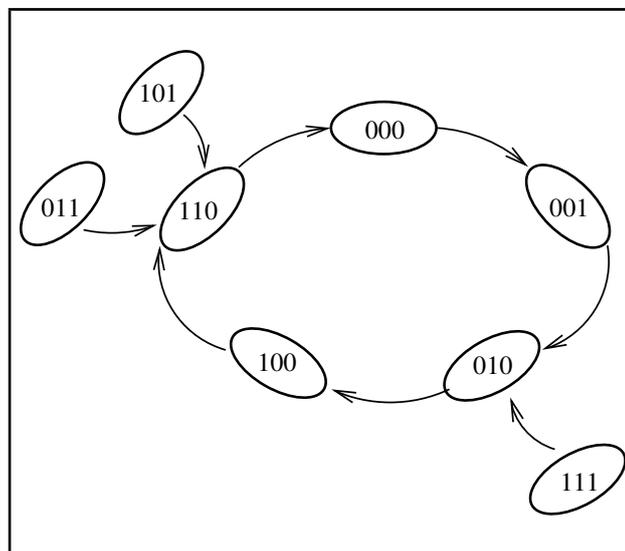
2. Die verwendeten D-Flipflops seien durch die abfallende Taktflanke gesteuert. Skizzieren Sie das Zeitdiagramm der drei Ausgangssignale (Q_1^m , Q_2^m , Q_3^m) im Verhältnis zum Taktsignal (C). An welchen Ausgängen kann ein durch 5 geteilter Takt entnommen werden? [1.0P]



3. Überprüfen Sie Ihren Entwurf auf seine Zuverlässigkeit. Dabei muß gewährleistet sein, daß auch ein fehlerhaftes Auftauchen (z.B. beim Einschalten) einer der drei möglichen, nicht verwendeten Zustände (1 1 1, 1 0 1, 0 1 1) immer in den gewünschten Zyklus führt. [0.5P]

Siehe Zustandstabelle!

4. Zeichnen Sie das gesamte Zustandsdiagramm. [0.5P]



5. Ist diese Schaltung synchron oder asynchron? (Mit Begründung!) [0.5P]

Da alle drei Flipflops ihren Takt von derselben Quelle beziehen, ist die Schaltung synchron.