

Musterlösung

Klausur Grundlagen der Elektrotechnik II WS 04/05

2. März 2005

Name	Matrikelnummer	Studiengang

Aufgabe	Thema	Max. Punkte	Erreichte Punkte
1	ESB	3.5	
2	Transistor	8	
3	Rauschen	3	
4	OPV	8.5/11	
5	Digital	9	
Summe		32/34.5	

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 Ersatzschaltbilder (ESB)

1. Zeichnen Sie die Ersatzschaltbilder für die h -, y - und π -Parameter und tragen Sie alle Parameternamen, Ströme und Spannungen ein. [1.5]
2. Geben Sie die die Rückwirkung beschreibenden Parameter der drei Ersatzschaltbilder an und streichen Sie diese in den gezeichneten Ersatzschaltbildern durch. [0.5]
3. Geben Sie die Beziehungen zwischen den verbleibenden Parametern an, wenn die Rückwirkung vernachlässigt werden darf. [1.5]

2 Transistor-Schaltungen

Gegeben sei die Eintransistor-Schaltung in Abb.1 mit folgenden Angaben:

$R = 1k\Omega$, $\beta = 100$, $U_T = 25mV$, $U_b = 10V$, alle C sehr groß.

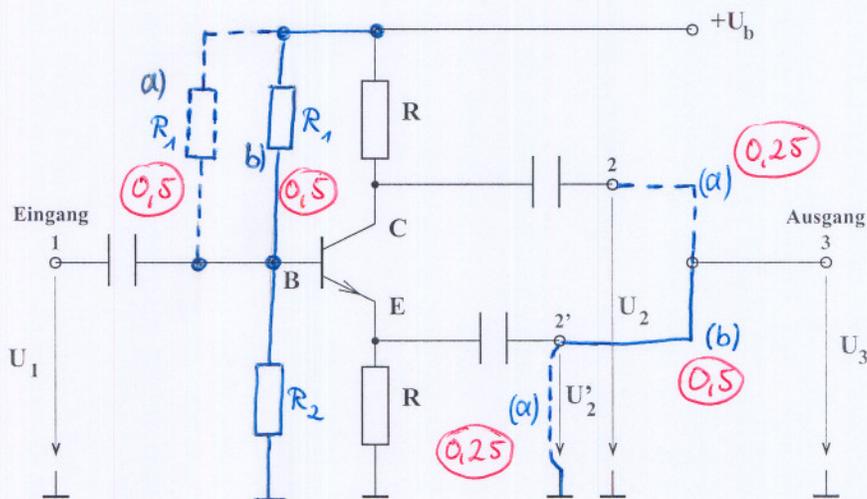


Abbildung 1: Transistor-Aufgabe

1. Kann die Schaltung so im linearen Bereich betrieben werden? [0.5] (Mit Begründung!)
2. Wenn nein, ergänzen Sie die obige Schaltung so, daß der Transistor arbeiten kann. (Beide möglichen Schaltungen, einmal gestrichelt und einmal durchgezogen) [1.0]
3. Die Schaltung weist zwei Ausgänge auf. Wie müssen die Klemmen 2 und 2' geschaltet werden, damit
 - (a) eine Emittor-Schaltung ohne Wechselstrom-Gegenkopplung (in grün oder gestrichelt) [0.5]
 - (b) eine Kollektor-Schaltung entsteht. (in blau oder durchgezogen) [0.5]
 (Keine neuen Bauelemente, nur Drahtverbindungen!)
4. Zeichnen Sie das π -Ersatzschaltbild des Transistors ohne Innenleitwert g_3 und Rückwirkung g_2 . [0.25]
5. Zeichnen Sie das Kleinsignal-Ersatzschaltbild für eine der aus Punkt 2 möglichen Schaltungen unter Verwendung des vereinfachten π -Ersatzschaltbildes für den Transistor aus Punkt 4. (Mit Beschriftung!) [0.75]
6. Welchen Wert weist die Steilheit S auf, wenn ein Basisstrom von $25\mu A$ gewählt wurde? [0.5]
7. Welche Gleichspannungen gegen Masse nehmen Kollektor und Emittor an? [0.5]
8. Berechnen Sie die beiden Kleinsignal-Verstärkungen der Schaltung, U'_2/U_1 und U_2/U_1 . (Hinweis: Stellen Sie die Knotengleichung des zentralen Knotens auf.) [2.0]

9. Welche Werte ergeben sich für $S \gg g_1, 1/R$. [0.5]
10. Welche Zwei-Transistor-Schaltung wäre auch geeignet, aus einer einzigen Spannung gegen Masse, ohne Symmetrietransfos, zwei fast gleiche Ausgangsspannungen mit unterschiedlichem Vorzeichen zu liefern (Mit Schaltbild). [1.0]

3 Rauschen

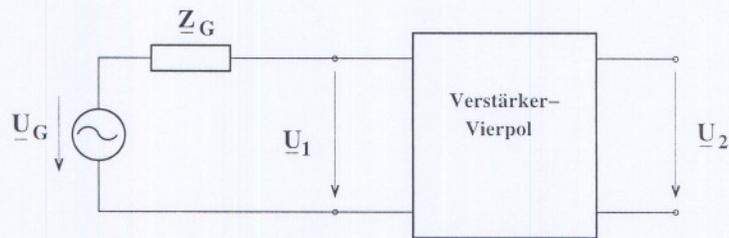


Abbildung 2: Rausch-Aufgabe

Gegeben sei ein rauschender Verstärkervierpol, gespeist von einer realen, rauschenden Signalquelle, in Abb.2.

1. Zeichnen Sie das Rausch-Ersatzschaltbild der Schaltung. [1.0]
2. Die Signalquelle liefert eine Signalspannung $\underline{U}_1 = 1mV$ und eine Rauschspannung $\underline{U}_{1R} = 10\mu V$. Am Ausgang der Schaltung wird eine Signalspannung $\underline{U}_2 = 0.1V$ und eine Rauschspannung $\underline{U}_{2R} = 2mV$ gemessen. Berechnen Sie die Rauschzahl F des Verstärkervierpols. [1.0]
3. Es sollen zwei Verstärker mit gleicher Verstärkung jedoch mit unterschiedlichen Rauschzahlen kaskadiert werden. Wie würden Sie die beiden Verstärker ordnen, um eine möglichst geringe Gesamtrauschzahl zu erhalten. (Mit Begründung) [1.0]

4 Operationsverstärker (OPV)

1. Welche Eigenschaften weist ein idealer OPV bezüglich der Differenz-, Gleichtaktverstärkung, Eingangs-, Ausgangswiderstand und Bandbreite auf? [0.75]
2. Gegeben sei ein rückgekoppelter OPV mit dem Signalflussdiagramm nach Abb.3
 - (a) Geben Sie die Ausdrücke für die Schleifenverstärkung und für die Gesamtverstärkung unter Verwendung des Signalflussdiagramms an. [1.0]
 - (b) Der rückgekoppelte OPV soll als Oszillator dimensioniert werden. Geben Sie die Amplituden- und die Phasenbedingung für den Schwingfall an. [0.75]

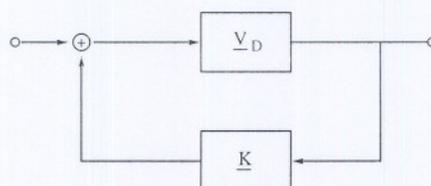


Abbildung 3: Signalflussdiagramm

3. Gegeben sei ein Dreieck-Rechteck-Generator nach Abb.4, bestehend aus einem nicht-invertierenden Integrator und einem invertierenden Schmitt-Trigger.

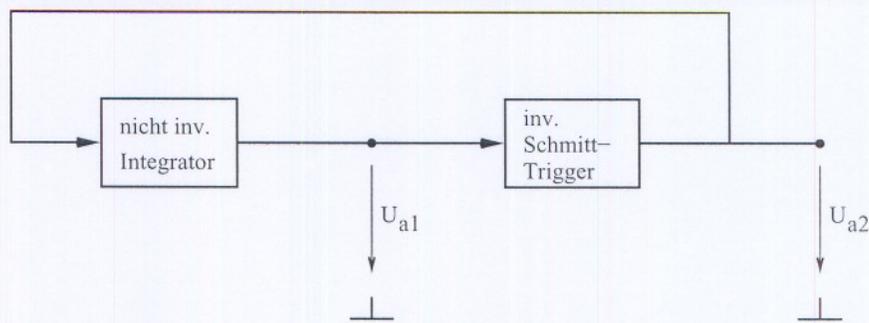


Abbildung 4: Dreieck-Rechteck-Generator

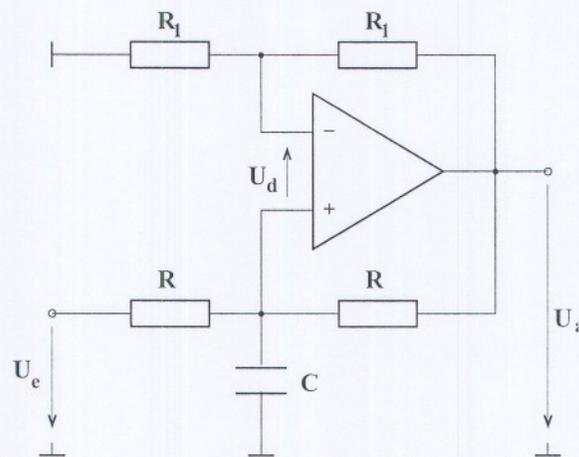


Abbildung 5: Nicht-invertierender Integrator

- (a) Wählen Sie alternativ einen der beiden folgenden Aufgabenblöcke. (Achtung: Die beiden Wege liefern nicht dieselbe Punktzahl.)
- i. Block 1:
 - A. Der nicht-invertierende Integrator ist in Abb.5 dargestellt. Der OPV habe zunächst eine endliche Differenzverstärkung, sei ansonsten aber ideal. Berechnen Sie die Übertragungsfunktion des Integrators $\underline{U}_a/\underline{U}_e$. (Hinweis: Berechnen Sie zunächst die Spannungen an den beiden Eingängen des OPVs gegen Masse (U^+ , U^-) und setzen Sie diese in die Formel für die Differenzverstärkung ein.) [2.0]
 - B. Berechnen Sie den Limes der Übertragungsfunktion für eine unendliche Differenzverstärkung. [0.5]
 - C. Ermitteln Sie unter Verwendung der im vorigen Schritt ermittelten Übertragungsfunktion das Ausgangssignal des Integrators als Zeitintegral des Eingangssignals. (Hinweis: Im Zeitbereich entspricht die Integration $\int u dt$ dem $\frac{1}{j\omega}$ des Frequenzbereichs.) [1.0]
 - ii. Block 2
 - A. Skizzieren Sie die Ausgangsspannung $U_{a1}(t)$ des nicht invertierenden Integrators mit einer gegebenen Zeitkonstante τ , symmetrisch um den Nulldurchgang von $U_{a1}(t)$, für ein konstantes Eingangssignal $U_{a2}(t) = const.$ [1.0]
- (b) Skizzieren Sie die Detailschaltung des invertierenden Schmitt-Triggers. [1.0]
- (c) Tragen Sie die Übertragungskennlinie des Schmitt-Triggers mit den Richtungspfeilen in das Diagramm in Abb.6 ein. Geben Sie das Amplitudenverhältnis zwischen Einschalt- und Ausgangsspannung des Schmitt-Triggers als Funktion seiner Widerstände an. [1.0]

- (d) Tragen Sie die Signale $U_{a1}(t)$ und $U_{a2}(t)$ in das Diagramm in Abb.6 ein. [1.0]
 (e) Berechnen Sie mit Hilfe der bisherigen Ergebnisse die Schwingfrequenz des Generators. [2.0]

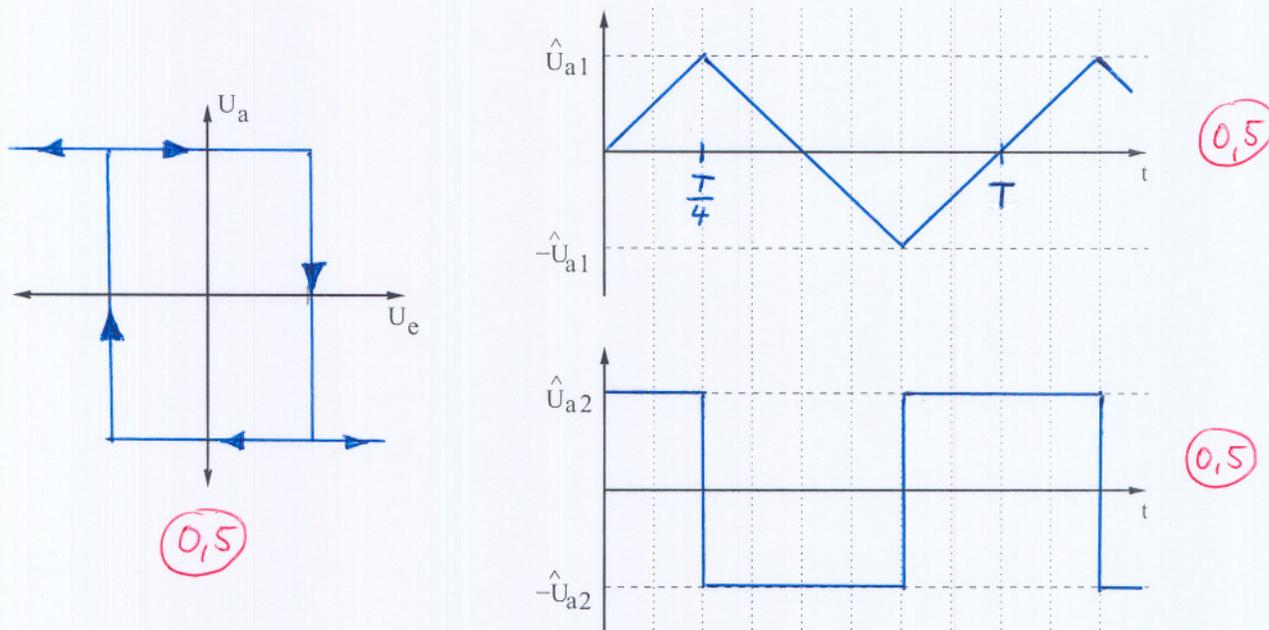


Abbildung 6: Diagramme

5 Digitaltechnik (1/5 Frequenzteiler)

Es soll ein synchroner 1/5 Frequenzteiler unter Verwendung von 3 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 Schaltung in Abb.7. Dabei soll wie folgt vorgegangen werden:
 Aufstellung der Zustandsfolgetabelle [0.5] → Aufstellung der KV-Diagramme [1.5] → Ermittlung der logischen Verknüpfungen (Verwenden Sie je nach Günstigkeit die Minterm- oder die Maxterm-Methode) [3.0].
 Verwenden Sie die Tabelle und die Diagramme in Abb.7.
- An welchen Ausgängen kann ein durch 5 geteilter Takt entnommen werden? [0.5]
- 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. [1.5]
- Zeichnen Sie das gesamte Zustandsdiagramm. [1.0]
- Würden Sie diesen Frequenzteiler zu den Schaltnetzen oder zu den Schaltwerken zählen und ist die Schaltung synchron oder asynchron? (Mit Begründung!) [1.0]

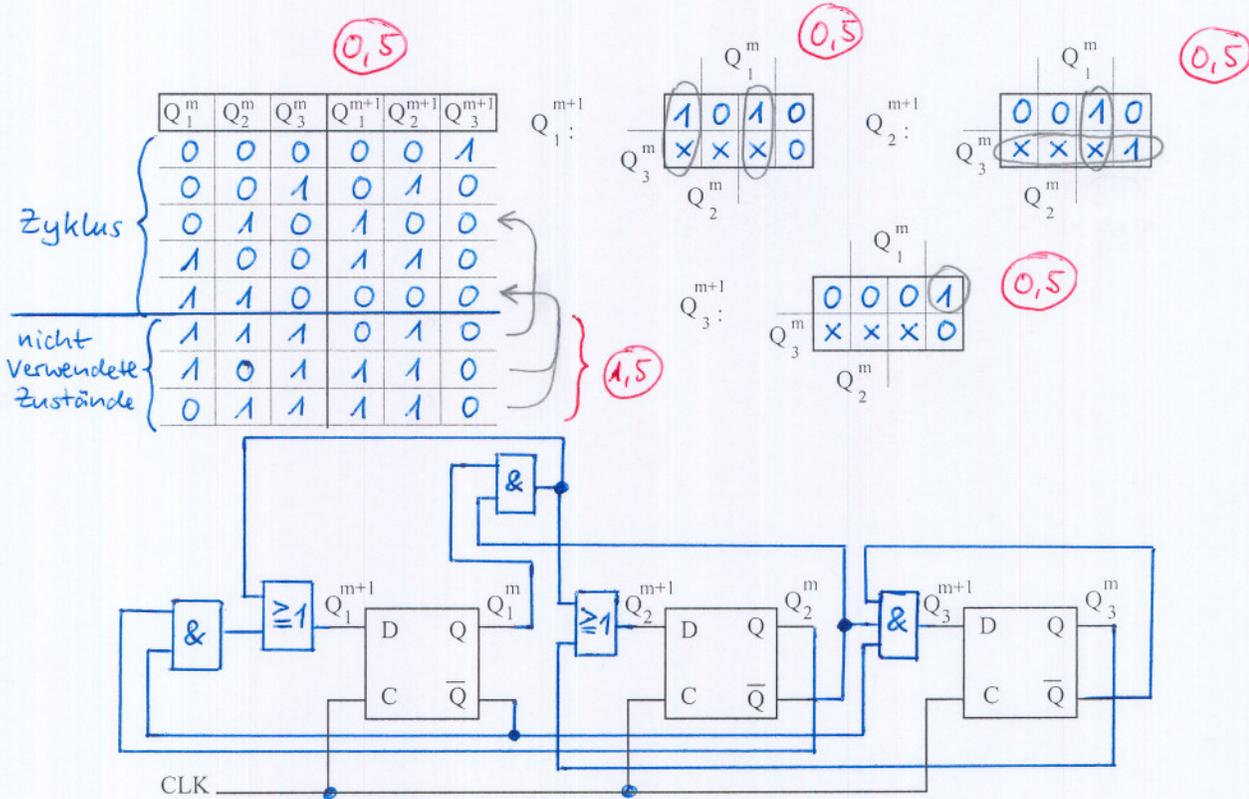


Abbildung 7: 1/5-Frequenzteiler

Musterlösung

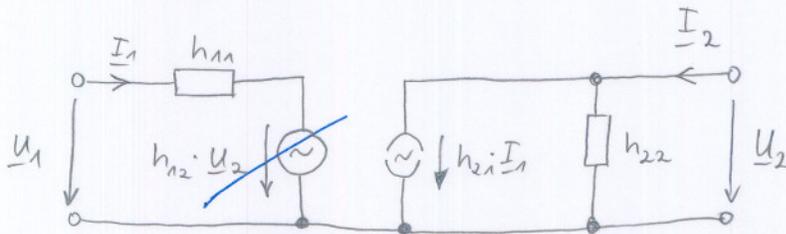
Name:

Matrikel-Nr.:

Blatt-Nr.: 1

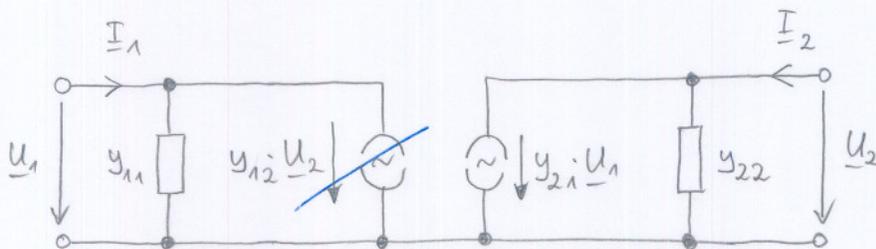
1. ESB

1.1) h-Parameter:



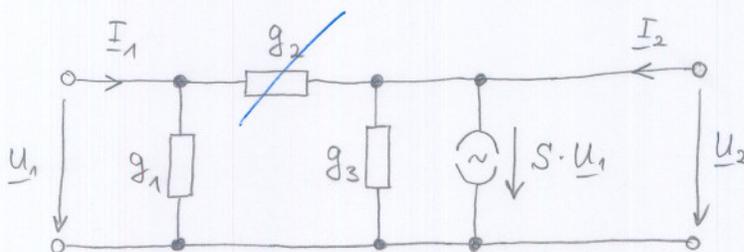
0,5

y-Parameter:



0,5

π-Parameter:



0,5

1.2) Rückwirkung: h_{12} i y_{12} i g_2

0,5

1.3) $h_{11} = \frac{1}{y_{11}} = \frac{1}{g_1}$ 0,5 ; $h_{21} = \frac{y_{21}}{y_{11}} = \frac{S}{g_1}$ 0,5

$h_{22} = y_{22} = g_3$ 0,5

$\Sigma = 3,5$ P.

2. Transistor-Schaltungen

2.1) Nein, da kein Basis-Ruhestrom fließt!

0,5

2.2) a) Basisstrom-Einstellung ----

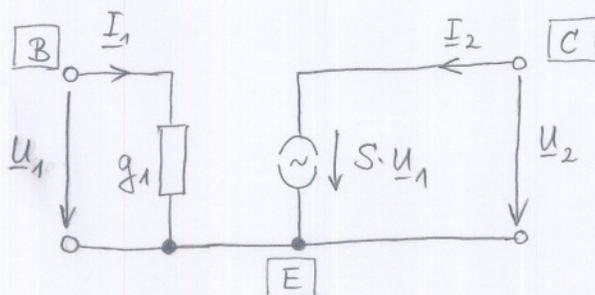
b) Basisspannung-Einstellung —

1,0

2.3) siehe Abb. 1

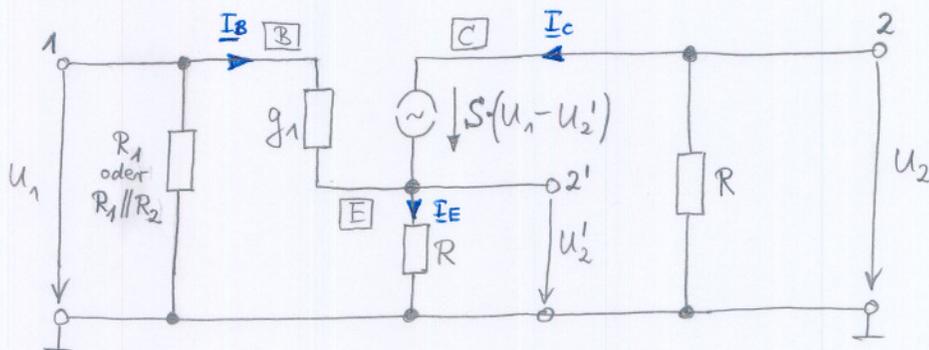
1,0

2.4)



0,25

2.5)



0,75

$$2.6) \quad S = \frac{I_c}{U_T} = \frac{\beta \cdot I_B}{U_T} = \frac{100 \cdot 25 \mu\text{A}}{25 \text{ mV}} = \underline{\underline{0,1 \frac{\text{A}}{\text{V}}}}$$

0,5

$$2.7) \quad I_c = \beta \cdot I_B = 100 \cdot 25 \mu\text{A} = 2,5 \text{ mA} \quad \text{mit } \beta \approx \beta = 100$$

$$\underline{\underline{U_c}} = U_b - U_R = U_b - R \cdot I_c = 10 \text{ V} - \underbrace{1 \text{ k}\Omega \cdot 2,5 \text{ mA}}_{2,5 \text{ V}} = \underline{\underline{7,5 \text{ V}}}$$

0,25

$$U_E = R \cdot I_E = R \cdot (I_B + I_c) = R \cdot (1 + \beta) I_B$$

$$\beta \approx \beta \gg 1 \Rightarrow \underline{\underline{U_E}} \approx R \cdot \beta \cdot I_B = 1 \text{ k}\Omega \cdot 100 \cdot 25 \mu\text{A} = \underline{\underline{2,5 \text{ V}}}$$

0,25

$$2.8) \quad \underline{I_B} + \underline{I_C} - \underline{I_E} = 0$$

$$(U_1 - U_2') \cdot g_1 + S \cdot (U_1 - U_2') - \frac{U_2'}{R} = 0 \quad (0,5)$$

$$U_1 g_1 - U_2' g_1 + S U_1 - S U_2' - \frac{U_2'}{R} = 0$$

$$U_1 (g_1 + S) - U_2' \left(g_1 + S + \frac{1}{R} \right) = 0$$

$$\underline{\underline{\frac{U_2'}{U_1} = \frac{g_1 + S}{g_1 + S + \frac{1}{R}}}} \quad (0,5)$$

$$U_2 = -R \cdot I_C = -R \cdot S \cdot (U_1 - U_2') \quad (0,5)$$

$$\frac{U_2}{U_1} = -R \cdot S \cdot \left(1 - \frac{U_2'}{U_1} \right)$$

$$\frac{U_2}{U_1} = -R \cdot S \cdot \left(1 - \frac{g_1 + S}{g_1 + S + \frac{1}{R}} \right)$$

$$\underbrace{\frac{\frac{1}{R}}{g_1 + S + \frac{1}{R}}}$$

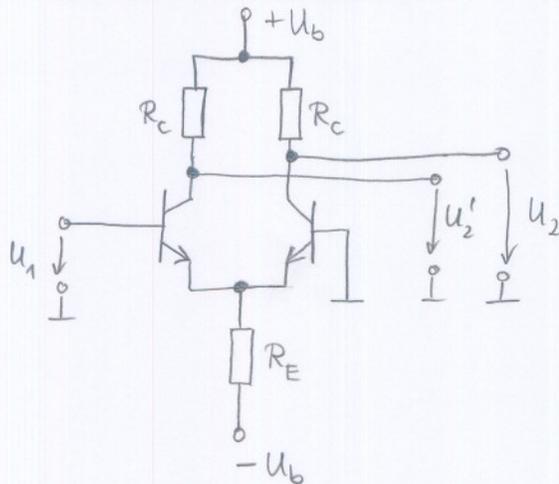
$$\Rightarrow \underline{\underline{\frac{U_2}{U_1} = -\frac{S}{g_1 + S + \frac{1}{R}}}} \quad (0,5)$$

$$2.9) \quad S \gg g_1 \quad ; \quad S \gg \frac{1}{R}$$

$$\Rightarrow \underline{\underline{\frac{U_2'}{U_1} = 1}} \quad ; \quad \underline{\underline{\frac{U_2}{U_1} = -1}}$$

(0,25)

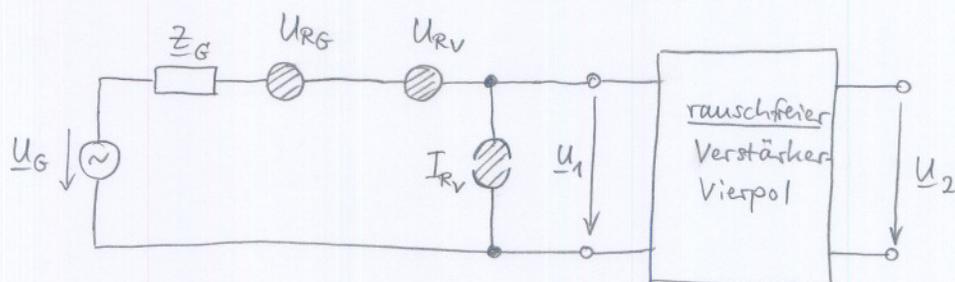
(0,25)

2.10) Differenzverstärker (0,5)

(0,5)

 $\Sigma = 8 P.$ 3. Rauschen

3.1)



(1,0)

$$3.2) \quad F = \frac{\frac{P_{S1}}{P_{R1}}}{\frac{P_{S2}}{P_{R2}}} = \frac{\frac{|U_1|^2}{|U_{1R}|^2}}{\frac{|U_2|^2}{|U_{2R}|^2}} = \left(\frac{\frac{1\text{mV}}{10\mu\text{V}}}{\frac{0,1\text{V}}{2\text{mV}}} \right)^2 = \left(\frac{1\text{mV}}{10\mu\text{V}} \cdot \frac{2\text{mV}}{0,1\text{V}} \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 10^{-6}}{10^{-6}} \right)^2$$

$$\underline{F = 4}$$

(1,0)

$$3.3) \quad F_{\text{ges}} = F_1 + \frac{F_2 - 1}{G_1}$$

⇒ Die Rauschzahl des ersten Verstärkers geht voll in die Gesamt rauschzahl ein, die des zweiten nur teilweise.

Daher gehört der Verstärker mit der niedrigeren Rauschzahl nach vorn, der mit der höheren Rauschzahl wird dahinter geschaltet.

(1,0)

4. OPV

4.1) Idealer OPV:

$$\begin{aligned}
 V_D &\rightarrow \infty \\
 V_S &= 0 \\
 R_e &\rightarrow \infty \\
 R_a &= 0 \\
 B &\rightarrow \infty
 \end{aligned}$$

(0,75)

4.2) (a) $\underline{V}_S = \underline{K} \cdot \underline{V}_D$ (0,5)

$$\underline{V} = \frac{\underline{V}_D}{1 - \underline{K} \underline{V}_D} = \frac{\underline{V}_D}{1 - \underline{V}_S} \quad (0,5)$$

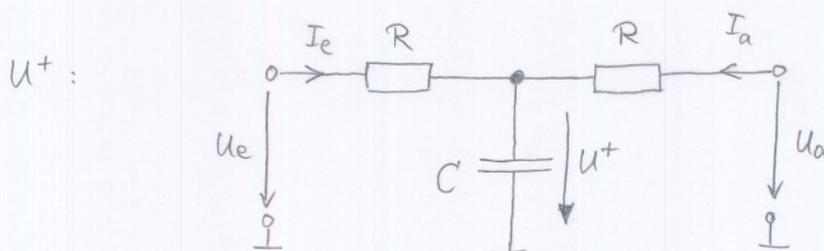
(b) Schwingfall: $\underline{V}_S = 1$

$$\Rightarrow \underline{|K|} \cdot |\underline{V}_D| = 1 ; \underline{\varphi_K + \varphi_{V_D}} = 0^\circ, 360^\circ, \dots \quad (0,75)$$

4.3) (a)

i. Block 1:

A) $U^- = \frac{U_a}{2}$ (0,5)



$$I_e = \frac{U_e - U^+}{R} ; \quad I_a = \frac{U_a - U^+}{R}$$

$$j\omega C U^+ = I_e + I_a = \frac{U_e - U^+}{R} + \frac{U_a - U^+}{R}$$

$$j\omega R C \cdot U^+ = U_e + U_a - 2 \cdot U^+$$

$$(2 + j\omega RC) \cdot U^+ = U_e + U_a$$

$$U^+ = \frac{U_e + U_a}{2 + j\omega RC} \quad (0,5)$$

$$\rightarrow U_d = U^+ - U^- = \frac{U_e + U_a}{2 + j\omega RC} - \frac{U_a}{2}$$

$$\rightarrow U_a = V_d \cdot U_d = V_d \cdot \left(\frac{U_e + U_a}{2 + j\omega RC} - \frac{U_a}{2} \right) \quad (0,5)$$

$$U_a = \frac{V_d \cdot U_e}{2 + j\omega RC} + \frac{V_d \cdot U_a}{2 + j\omega RC} - \frac{V_d \cdot U_a}{2}$$

$$\left(1 - \frac{V_d}{2 + j\omega RC} + \frac{V_d}{2} \right) \cdot U_a = \frac{V_d}{2 + j\omega RC} \cdot U_e$$

$$\frac{U_a}{U_e} = \frac{\frac{V_d}{2 + j\omega RC}}{1 - \frac{V_d}{2 + j\omega RC} + \frac{V_d}{2}} \quad (0,5)$$

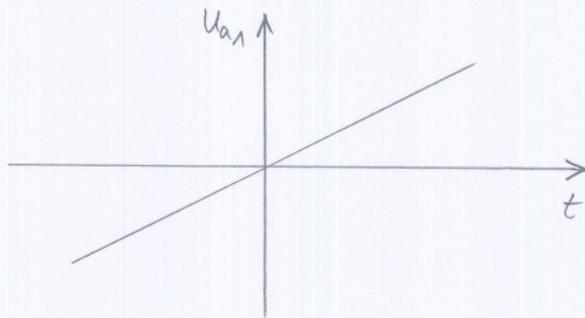
$$B) \quad \lim_{V_d \rightarrow \infty} \frac{U_a}{U_e} = \frac{\frac{1}{2 + j\omega RC}}{-\frac{1}{2 + j\omega RC} + \frac{1}{2}} = \frac{1}{-1 + \frac{2 + j\omega RC}{2}} = \frac{2}{j\omega RC} \quad (0,5)$$

$$C) \quad U_a = \frac{2}{j\omega RC} \cdot U_e = \frac{2}{RC} \cdot \frac{1}{j\omega} U_e \quad (0,5)$$

$$\rightarrow U_a(t) = \frac{2}{RC} \cdot \int_0^+ U_e(t) dt + U_{a0} \quad (0,5)$$

ii. Block 2 :

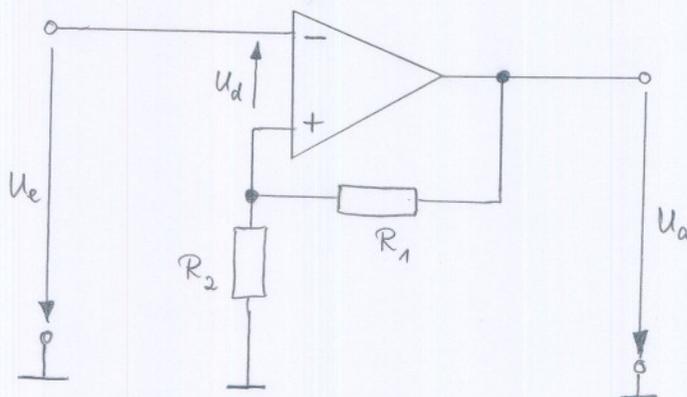
$$A) \quad U_a(t) = \frac{1}{\tau} \int_0^t U_e(t) dt + U_{a0}$$

mit $U_e(t) = U_{a2}(t) = \text{konst.}$

$$U_{a2}(t) > 0$$

1,0

(b) Investierender Schmitt-Trigger :



1,0

(c)

$$U_{e_{\text{Einschalt}}} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot U_a \quad ; \quad 0,5$$

Skizze siehe Abb. 6

0,5

(d) siehe Abb. 6

1,0

(e) aus Block 1: $U_a(t) = \frac{2}{RC} \cdot \int_0^t U_e(t) dt + U_{a0}$

für $t = \frac{T}{4}$: $U_{a1}\left(\frac{T}{4}\right) = \hat{U}_{a1} = \frac{2}{RC} \hat{U}_{a2} \cdot \frac{T}{4} + 0$

$$\rightarrow \hat{U}_{a1} = \frac{T}{2RC} \cdot \hat{U}_{a2} \quad (1,0)$$

aus (c): $U_{e_{\text{Einschalt}}} = \hat{U}_{a1} = \frac{R_2}{R_1 + R_2} \cdot \hat{U}_{a2} \quad (0,5)$

$$\Rightarrow \frac{T}{2RC} = \frac{R_2}{R_1 + R_2}$$

$$T = \frac{2RC R_2}{R_1 + R_2} \rightarrow \underline{\underline{f = \frac{1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{2RC R_2}}} \quad (0,5)$$

oder aus Block 2: $U_a(t) = \frac{1}{\tau} \int_0^t U_e(t) dt + U_{a0}$

für $t = \frac{T}{4}$: $\hat{U}_{a1} = \frac{1}{\tau} \hat{U}_{a2} \cdot \frac{T}{4} \quad (1,0)$

∴ (wie oben) $(0,5)$

$$\Rightarrow \underline{\underline{f = \frac{1}{T} = \frac{R_1 + R_2}{4\tau R_2}}} \quad (0,5)$$

i. Block 1: $\Sigma = 11 \text{ P.}$

ii. Block 2: $\Sigma = 8,5 \text{ P.}$

5. Digitaltechnik

(Zustandstabelle u. KV-Diagramme siehe Abb. 7)

(2,0)

$$5.1) \quad \underline{Q_1^{m+1} = \bar{Q}_1^m \cdot Q_2^m + Q_1^m \cdot \bar{Q}_2^m}$$

(1,0)

oder nach Maxterm-Methode: $Q_1^{m+1} = (\bar{Q}_1^m + \bar{Q}_2^m) \cdot (Q_1^m + Q_2^m)$

$$\underline{Q_2^{m+1} = Q_1^m \cdot \bar{Q}_2^m + Q_3^m} \quad (1,0)$$

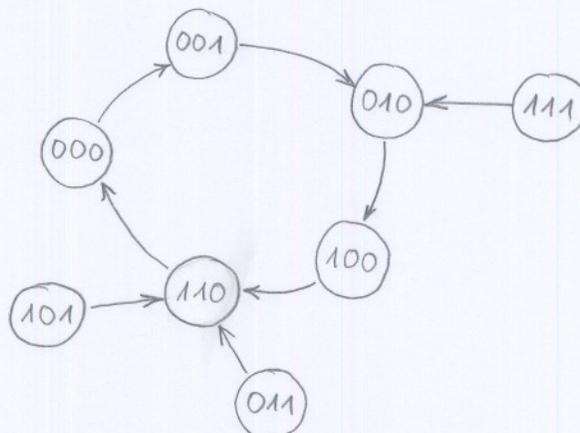
$$\underline{Q_3^{m+1} = \bar{Q}_1^m \cdot \bar{Q}_2^m \cdot \bar{Q}_3^m} \quad (1,0)$$

5.2) Q_1 und Q_3 (0,5) (Q_2 hat 2 steigende oder fallende Flanken innerhalb eines Zyklus, d.h. keine 1/5-Teilung!)

5.3) Die Folgezustände der drei nicht verwendeten Zustände (111, 101, 011) entnimmt man entweder den logischen Gleichungen durch Einsetzen oder den KV-Diagrammen. Sie befinden sich jeweils innerhalb des gewünschten Zyklus: 010 und 110, d.h. die Schaltung ist zuverlässig!

5.4) Zustandsdiagramm:

(1,5)



(1,0)

5.5) a) Schaltwerk, da die Folgezustände jeweils von den (gespeicherten) Zustandsvariablen abhängig sind. (0,5)

b) synchron, da alle Flipflops gleichzeitig von einem zentralen Taktsignal gesteuert werden. (0,5)

 $\Sigma = 9 P.$