

Hochschule Regensburg

Fakultät Elektro- und Informationstechnik

Prüfungsfach: **Schaltungstechnik (SC), Sommersemester 2015**

Prüfungstermin: 17. Juli 2015 Studiengruppen: Ei4

Prüfungsdauer: 90 Minuten (planmäßig: 11:00-12:30 Uhr in S-109, S-110, S118, S159)

Zugelassene Hilfsmittel: CASIO FX-991 DE Plus + 10 S. DIN-A4 eigenhandschriftlich

Aufgabensteller: Prof. Dr. Martin Schubert

Prüfungsteilnehmer/in: (Bitte leserlich in Druckbuchstaben) Sem.: _____

Name: Martin SCHUBERT

Vorname: MUSTERLÖSUNG MatNr: _____

>>>>> 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 Punkte

Runden Sie Zahlenwerte typischerweise auf vier 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:

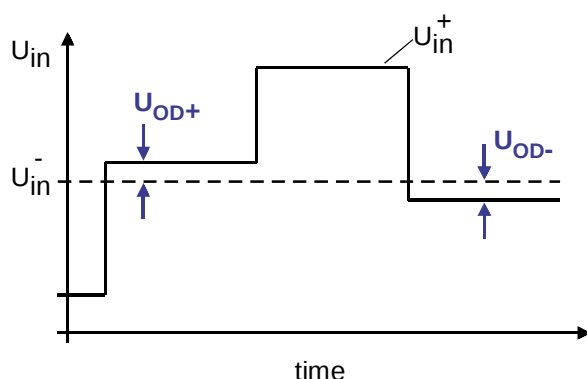
1. Konkreten Zahlenwerten ist immer ein Ausdruck voranzusetzen, der die Herkunft der Zahl belegt.
2. Bei „Zeigen Sie, dass...“ oder „Leiten Sie ... her“ wird ein nachvollziehbarer Lösungsweg erwartet.
3. Die Aufgaben sind so aufgebaut, dass Folgefehler nach Möglichkeit vermieden werden. Nach „Zeigen Sie, dass...“ z.B. kann man auch dann weitermachen, wenn der Beweis misslingt.
4. Kalkuliert wurde ein Zeitbedarf von ca. einem Punkt pro Minute. Verwenden Sie nicht zu viel Zeit für Aufgaben, die nur wenige Punkte bringen.
5. Zur Korrektur: "FF" steht für Folgefehler, wenn trotz falscher Zahlen Punkte vergeben werden.

Punkte:	Note:	Datum:	Prüfer: Prof. Dr. M. Schubert
---------	-------	--------	-------------------------------

3 Komparator

($\Sigma=9P$)

(a) Measurement Setup



(b) Propagation Delay vs Overdrive

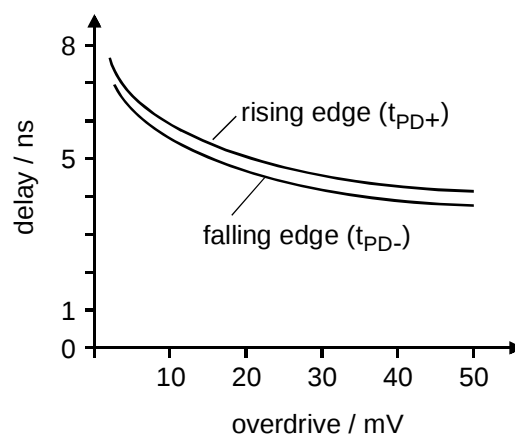


Bild 3: (a) Messschaltung

(b) Diagramm.

Bild 3(a) zeigt eine Messschaltung zur Erzeugung des Diagramms im Bildteil (b).

Skizzieren Sie in Bildteil (a) was die Overdrive-Spannung U_{OD+} zur Messung von t_{PD+} ist und kennzeichnen Sie diese mit „ U_{OD+} “ (1P)

Skizzieren Sie in Bildteil (a) was die Overdrive-Spannung U_{OD-} zur Messung von t_{PD-} ist und kennzeichnen Sie diese mit „ U_{OD-} “ (1P)

Was beschreibt der Parameter t_{PD+} ? (2P)

Die Schaltverzögerung der steigenden Ausgangsflanke

Was beschreibt der Parameter t_{PD-} ? (2P)

Die Schaltverzögerung der fallenden Ausgangsflanke

Was beschreibt der "Input Voltage Range" eines Komparators? (2P)

Den Eingangsspannungsbereich, in dem eine korrekte

Entscheidung getroffen werden kann

Was beschreibt der "Output Voltage Swing" eines Komparators? (1P)

Die Sprunghöhe der Ausgangsspannung

4 Makro-Modell des OPs

($\Sigma=20P$)

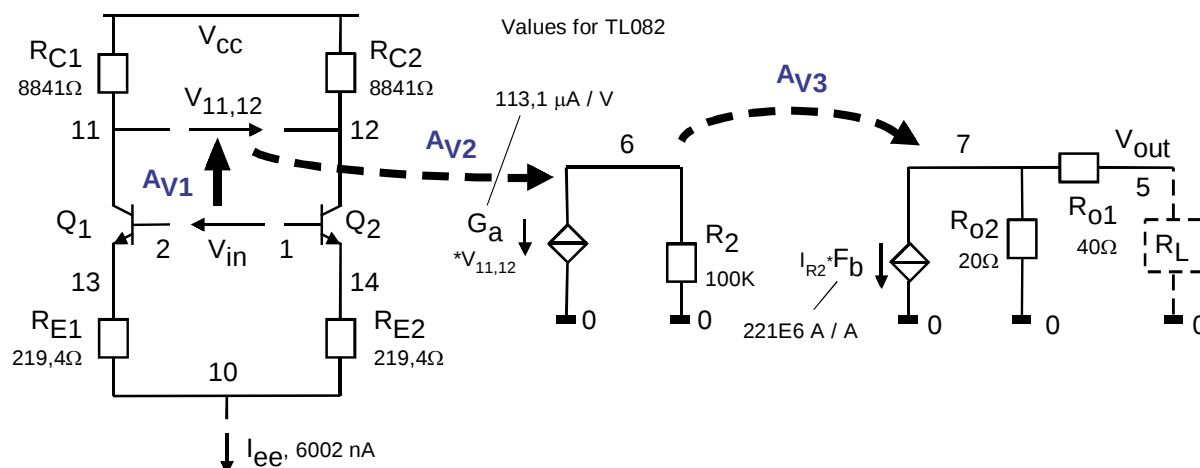


Bild 4: Übliches Makro-Modell für OP mit BJT-Eingang. Eine Zahl x bezeichnet einen Knoten x , V_x die Spannung auf dem Knoten x gegen Masse (=Knoten 0) und $V_{x,y}=V_x-V_y$.

>>> In dieser Aufgabe mit einer Genauigkeit von 4 geltenden Ziffern rechnen! <<<
Gefragt sind jeweils Formel und Wert

Die gesamte DC-Verstärkung des OPs betrage $A_{V0} = A_{V1} A_{V2} A_{V3}$ mit $A_{V1} = V_{11,12}/V_{in}$, $A_{V2} = V_6/V_{11,12}$ und $A_{V3} = V_7/V_6$. Zeichnen Sie die Verstärkungen A_{V1} , A_{V2} , A_{V3} an die zugehörigen, dick dargestellten Pfeile in Bild 4.

(2P)

Berechnung von A_{V1} :

Berechnen Sie für die identischen Transistoren Q_x , $x \in \{1,2\}$, den Eingangswiderstand des Emitters $r_m = r_{m1} = r_{m2}$ als $f(I_{ee}, u_T)$ und als Wert. Es sei $u_T = 25,87 \text{ mV}$ und $V_{in} = 0 \text{V}$.

(2P)

$$r_m = u_T / I_C = 2u_T / I_{ee}$$

$$= 26 \text{ mV} / (6002 \text{ nA} / 2) = 8620 \Omega$$

Berechnen Sie A_{V1} als $f(R_C, R_E, r_m)$ und als Wert, wobei $R_C = R_{C1} = R_{C2}$, $R_E = R_{E1} = R_{E2}$. Für die Early-Spannung der Transistoren Q_1 , Q_2 gelte $V_A \rightarrow \infty$.

(2P)

$$A_{V1} = R_C / (r_m + R_E)$$

$$= 8841 \Omega / (8620 \Omega + 219,4 \Omega) = 1,0002$$

Berechnung von A_{V2} : Es gilt das Grundgesetz der Verstärkung: $|A_{V2}| = G_{m2} \cdot Z_6$, wobei Z_6 die Impedanz zwischen Knoten 6 und Masse ist und $G_{m2} V_{11,12}$ der darauf eingespeiste Strom.

Geben Sie für Bild 4 die Impedanz Z_6 als $f(R_x)$ an. R_x sind Widerstände in Bild 4.

(2P)

$$Z_6 = R_2 = 100 \text{ k}\Omega$$

Geben Sie für Bild 4 den Übertragungsleitwert G_{m2} an, über den die Spannung $V_{11,12}$ Strom auf den Knoten 6 speist. Gefragt sind Formel und Wert. (2P)

$$G_{m2} = G_a = 113,1 (\mu A/V)$$

Berechnen Sie für Bild 4 die Verstärkung A_{V2} (Formel und Wert). (2P)

$$-A_{V2} = G_a Z_6 = G_a R_2$$

$$= 113,1 (\mu A/V) \cdot 100\,000 \Omega = 11,31$$

Berechnung von A_{V3} : Es gilt das Grundgesetz der Verstärkung mit $|A_{V3}| = G_{m3} \cdot Z_7$, wobei Z_7 die Impedanz zwischen Knoten 7 und Masse ist und $G_{m3} V_6$ der darauf eingespeiste Strom.

Geben Sie für Bild 4 die Impedanz Z_7 zwischen den Knoten 7 und 0 an (Formel und Wert).

$$R_L \rightarrow \infty : Z_7 = R_{o2} = 20 \Omega \quad (2P)$$

Geben Sie G_{m3} als Funktion von R_2 und F_b an, wobei auf den Knoten 7 der Strom $I_{Fb} = F_b \cdot I_{R2}$ gespeist wird. Gefragt sind Formel und Wert (für $F_b = 221 \cdot 10^6$). (2P)

$$G_{m3} = I(F_b) / V_6 = F_b \cdot I_{R2} / V_6 = F_b \cdot (V_6 / R_2) / V_6 = F_b / R_2$$

$$= 221 \cdot 10^6 / 10^5 \Omega = 2210 \text{ A/V}$$

Berechnen Sie Formel und Wert der Verstärkung A_{V3} als Funktion von R_2 , $Z_7(R_L \rightarrow \infty)$, F_b : (2P)

$$-A_{V3} = G_{m3} Z_7 = F_b Z_7 / R_2$$

$$= 2210 (\text{A/V}) \cdot 20 \Omega = 44200$$

Berechnung von A_{V0} : geben Sie die Gesamtverstärkung $A_{V0} = A_{V1} A_{V2} A_{V3}$ des OPs an als Funktion von u_T , I_{ee} , R_C , R_E , G_a , F_b , Z_7 und den Wert von A_{V0} für $R_L \rightarrow \infty$. (2P)

$$A_{V0} = A_{V1} A_{V2} A_{V3} = \frac{R_C}{R_E + 2u_T / I_{ee}} G_a F_b Z_7 \xrightarrow{Z_L \rightarrow \infty} \frac{R_C}{R_E + 2u_T / I_{ee}} G_a F_b R_{o2}$$

$$A_{V0}(R_L \rightarrow \infty) = 1,0002 \cdot (-11,31) \cdot (-44200) = 500000$$

5 Berechnung und Einstellung von Polen

(Σ=16P)

5.1 Berechnung von Polen mit Miller-Effekt

(Σ=10P)

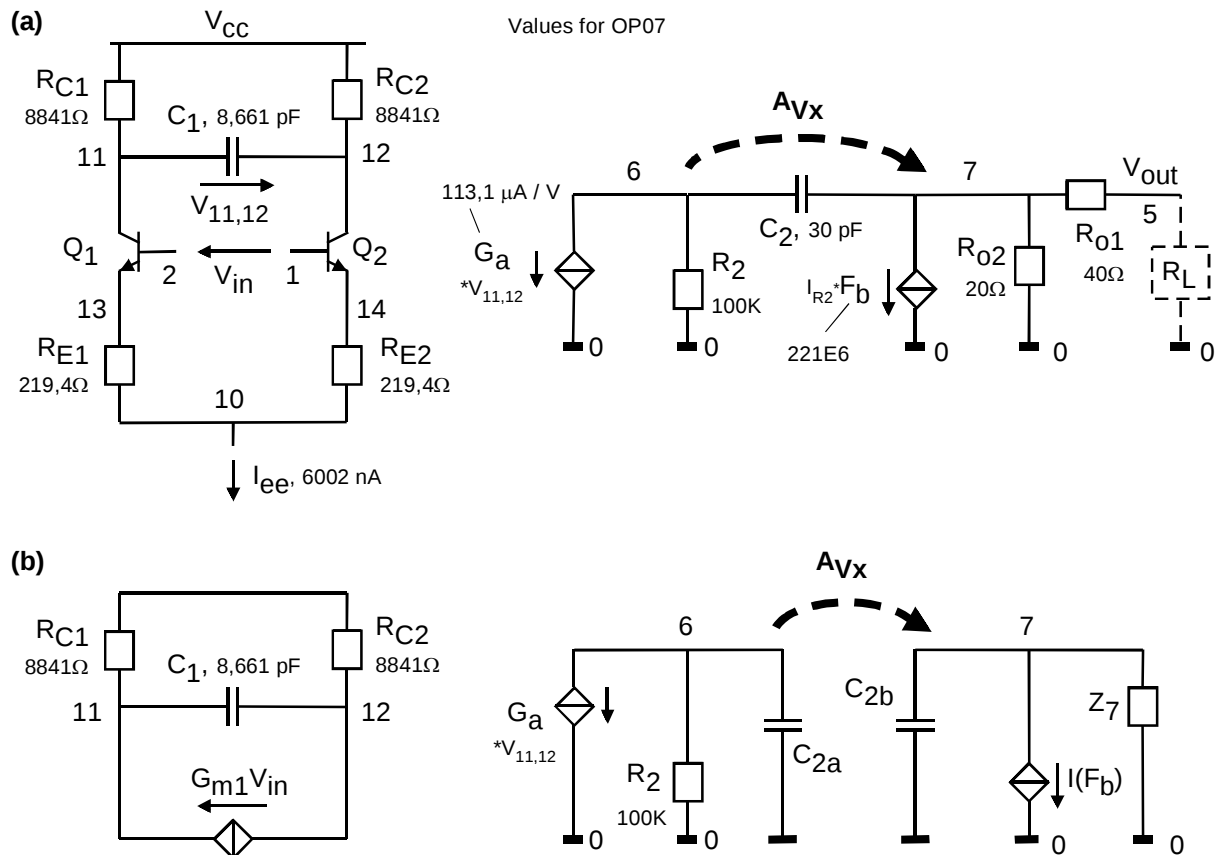


Bild 5.1: (a) Makro-Modell des OPs mit eingetragenen Kapazitäten C_1 und C_2 .
 (b) Vereinfachte Darstellung von Bildteil (a) zur Berechnung der Pole.

Berechnung von f_{p2} : Zu berechnen ist der Pol f_{p2} (als Formel und Wert), welcher im Bild oben durch Einfügen der Kapazität C_1 verursacht wird.

(2P)

$$f_{p2} = 1 / (2\pi (R_{C1} + R_{C2}) C_1)$$

$$= 1 / (2\pi (8841\Omega + 8841\Omega) 8661\text{fF}) = 1,04 \text{ MHz}$$

Berechnung von f_{p1} : Berechnen Sie den Pol f_{p1} , welcher im Bild oben durch Einfügen der Kapazität C_2 verursacht wird und in Bildteil (b) als äquivalente Miller-Kapazität C_{2a} an Knoten 6 dargestellt ist. Gefragt sind Formel und Wert für $A_{Vx} = -44199$.

(4P)

$$f_{p1} = 1 / (2\pi R_2 C_{2a}) = 1 / (2\pi R_2 C_2 (1 - A_{Vx}))$$

$$= 1 / (2\pi \cdot 100\text{K}\Omega \cdot 30\text{pF} \cdot (1 + 44199)) = 1,20 \text{ Hz}$$

Berechnung von f_{p3} : Berechnen Sie den Pol f_{p3} , welcher in Bildteil (b) als äquivalente Miller-Kapazität C_{2b} an Knoten 7 dargestellt ist. Gefragt sind Formel und Wert für $Z_7=20\Omega$. (4P)

$$f_{p3} = 1 / (2\pi Z_7 C_2 (1 - 1/A_{vx})) = 1 / (2\pi \cdot 20\Omega \cdot 30pF (1 + 1/44199)) = 265,25 \text{ MHz}$$

5.2 Einstellung der Charakteristik des OPs ($\Sigma=6P$)

Antworten unten bitte in der Art „Größe X mit Y multiplizieren“

Veränderung der Verstärkung A_v : Die Verstärkung des OPs soll mit dem Faktor P_{Av} multipliziert werden, ohne dass andere Eigenschaften des Modells sich verändern. Welchen Parameter in Bild 5 verändern Sie wie? (1P)

Multipliziere G_a mit dem Faktor P_{Av}

Veränderung des ersten Pols f_{p1} : Der dominante Pol f_{p1} des OPs soll mit dem Faktor P_{f1} multipliziert werden, ohne dass andere Eigenschaften des Modells sich verändern. Welchen Parameter in Bild 5 verändern Sie wie? (Pole f_{px} für $x>2$ können ignoriert werden.) (1P)

Multipliziere C_2 mit dem Faktor $1/P_{f1}$

Veränderung des zweiten Pols f_{p2} : Der zweite Pol f_{p2} des OPs soll mit dem Faktor P_{f2} multipliziert werden, ohne dass andere Eigenschaften des Modells sich verändern. Welchen Parameter in Bild 5 verändern Sie wie? (Pole f_{px} für $x>2$ können ignoriert werden.) (1P)

Multipliziere C_1 mit dem Faktor $1/P_{f2}$

Veränderung des Parameters F_b : Der Schaltungsparameter F_b des OPs wird mit dem Faktor P_{Fb} multipliziert. Welche Auswirkungen ergeben sich für DC-Verstärkung und Pole f_{p1}, f_{p2} ? (3P)

DC-Verstärkung A_{v0} : wird multipliziert mit P_{Fb}

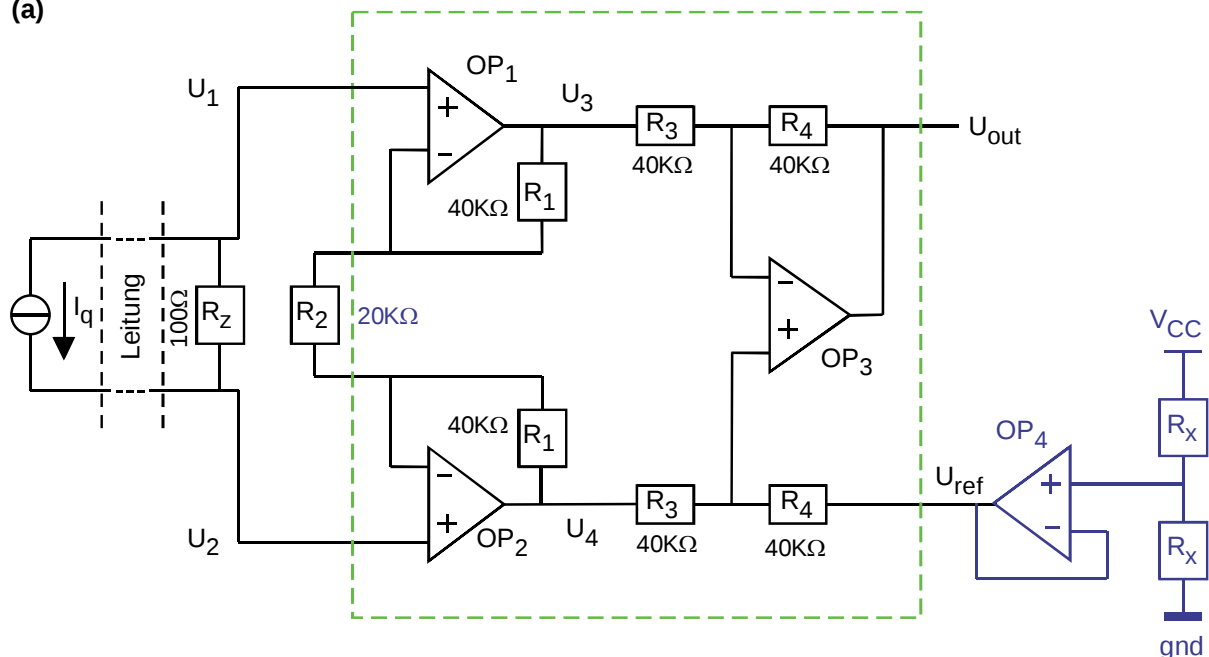
Erster Pol f_{p1} : wird multipliziert mit $1/P_{Fb}$

Zweiter Pol f_{p2} : bleibt unverändert

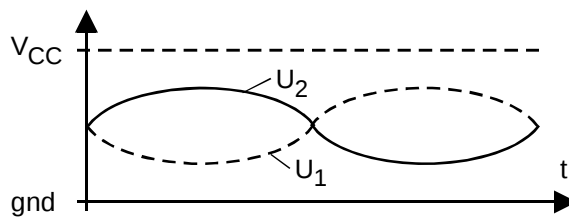
6 Diff-In- / Single-Ended-Out - Verstärker

($\Sigma=21P$)

(a)



(b)



(c)

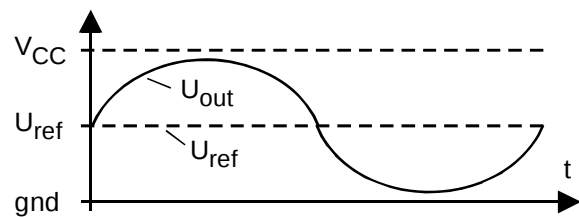


Bild 6: (a) Umwandlung des Stromsignals I_q in U_{out} . (b) Eingangs-, (c) Ausgangssignale.

Bild 6(a) zeigt eine Schaltung zur Umwandlung des Stromsignals I_q in eine Spannung U_{out} . Für das Stromsignal gilt $|I_q| \leq 3\text{mA}$ bei einem Leitungsabschlusswiderstand von $R_z=100\Omega$.

Wie groß sind maximale und minimale differentielle Eingangsspannung $U_{in,max}=\max\{U_2-U_1\}$ und $U_{in,min}=\min\{U_2-U_1\}$? Und wie groß ist der Spitze-Spitze-Betrag, $U_{in,SS}$, der Eingangs-differenzspannung U_2-U_1 ? Gefragt sind jeweils Formel und Wert.

$$U_{in,max}=\max\{U_2-U_1\} = \max\{I_q\} R_z = 3\text{mA} \cdot 100\Omega = 300\text{mV} \quad (2P)$$

$$U_{in,min}=\min\{U_2-U_1\} = \min\{I_q\} R_z = -3\text{mA} \cdot 100\Omega = -300\text{mV} \quad (2P)$$

$$U_{in,SS} = U_{in,max} - U_{in,min} = 300\text{mV} - (-300\text{mV}) = 600\text{mV} \quad (2P)$$

Gegeben ist die Spannungsversorgung $V_{CC}=3,3V$ und $gnd=0V$. Das Ausgangssignal soll in den Spitzenwerten bis 150mV an gnd und V_{CC} herankommen. Welche Extrema benötigen Sie für die Ausgangsspannung und welchen Output-Swing $V_{out,SS}$? Alles als $f(gnd, V_{CC})$ und Wert.

$$U_{out,max} = V_{CC} - 150mV = 3,3V - 0,15V = 3,15V \quad (2P)$$

$$U_{out,min} = gnd + 150mV = 0,15V \quad (2P)$$

$$U_{out,SS} = 3,15V - 0,15V = 3V \quad (2P)$$

Welche Spannung U_{ref} muss man einstellen, damit sich U_{out} mit diesem Output-Swing im geforderten Spannungsbereich bewegen kann? (Formel und Wert!)

$$U_{ref} = (U_{out,min} + U_{out,max}) / 2 = (V_{CC} + gnd) / 2 = 1,65V \quad (2P)$$

Skizzieren Sie in Bild 6(a), wie Sie U_{ref} schaltungstechnisch so erzeugen, dass die gewünschte Funktionalität der Schaltung erhalten bleibt. Keine Spannungsquelle verwenden! (2P)

Welche Verstärkung $A_{V,soll} = U_{out,SS} / U_{in,SS}$ benötigen wir, damit diese Schaltung wie gewünscht funktioniert? (nur Wert)

$$A_{V,soll} = U_{out,SS} / U_{in,SS} = 3V / 0,6V = 5 \quad (1P)$$

Welche (positive!) Verstärkung $A_{V,ist} = (U_{out} - U_{ref}) / (U_2 - U_1)$ liefert die Schaltung in Bild 6(a) als Funktion der Widerstände R_x ($x=1,2,3,4$)? (Nur Formel, keine Herleitung erforderlich.)

$$A_{V,ist} = (1 + 2R_1/R_2) \cdot (R_4/R_3) \quad (1P)$$

$A_{V,ist}$ sei gegeben. Wie berechnet sich R_2 als $f(A_{V,ist}, R_x)$, $x \in \{1,3,4\}$? (2P)

$$R_2 = 2 \cdot R_1 / (A_{V,ist} (R_3/R_4) - 1) \quad (2P)$$

Berechnen Sie R_2 für Bild 6(a) so, dass $|A_{V,ist}| = |A_{V,soll}|$. (Bei falschem Endergebnis ermöglicht eine kurze Rechnung Folgefehler-Punktgutschrift.) (1P)

$$R_2 = 2 \cdot 40k\Omega / (5 \cdot (40k\Omega/40k\Omega) - 1) = 20k\Omega \quad (1P)$$