

1 Grundlagen

($\Sigma=22P$)

1.1 Pole im Bode-Diagramm

($\Sigma=11P$)

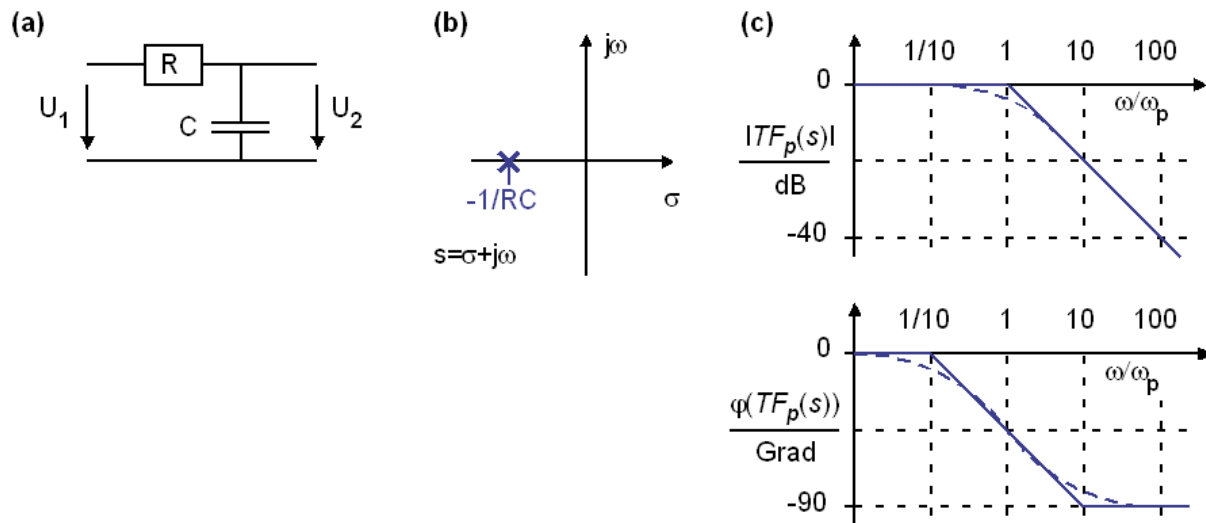


Bild 1.1: (a) Schaltung mit Pol, (b) dessen Lage in der s -Ebene, (c) Bode-Diagramm.

Polstellen der Übertragungsfunktion $TF_p(s) = \frac{\text{Zählerpolynom}(s)}{\text{Nennerpolynom}(s)}$ eines Systems sind die (1P)

Nullstellen des Nennerpolynoms

Skizzieren: Sie die Lage der Polstelle des Bildteils (a) qualitativ in Bildteil (b) mit einem X. (1P)

Skizzieren Sie in Bildteil (c) Betrag und Phase von $TF_p(s) = 1/(1-s/\omega_p)$, und zwar die Asymptoten als durchgezogene Linie (2P) und gestrichelt den näherungsweise realen Verlauf (2P). (4P)

Im Amplitudendiagramm erkennt man eine Polstelle ω_p in der linken s -Halbebene generell an (1P)

einer Veränderung der Steigung (der Asymptoten) um -20dB/dec

In ω_p beträgt die Abweichung Asymptotennäherung – (genauer Amplitudenverlauf) **-3dB** (1P)

Im Phasendiagramm erkennt man eine Polstelle ω_p in der linken s -Halbebene generell an (1P)

Einer Änderung der Phase um -90°

In ω_p beträgt die Abweichung genauer Phasenverlauf - Asymptotennäherung **0°** (1P)

Die Phasendrehung der Asymptotennäherung beginnt und endet im Phasendiagramm bei $\omega =$ (1P)

$\omega_p / 10$ und endet bei $\omega_p * 10$

1.2 Nullstellen im Bode-Diagramm

($\Sigma=11P$)

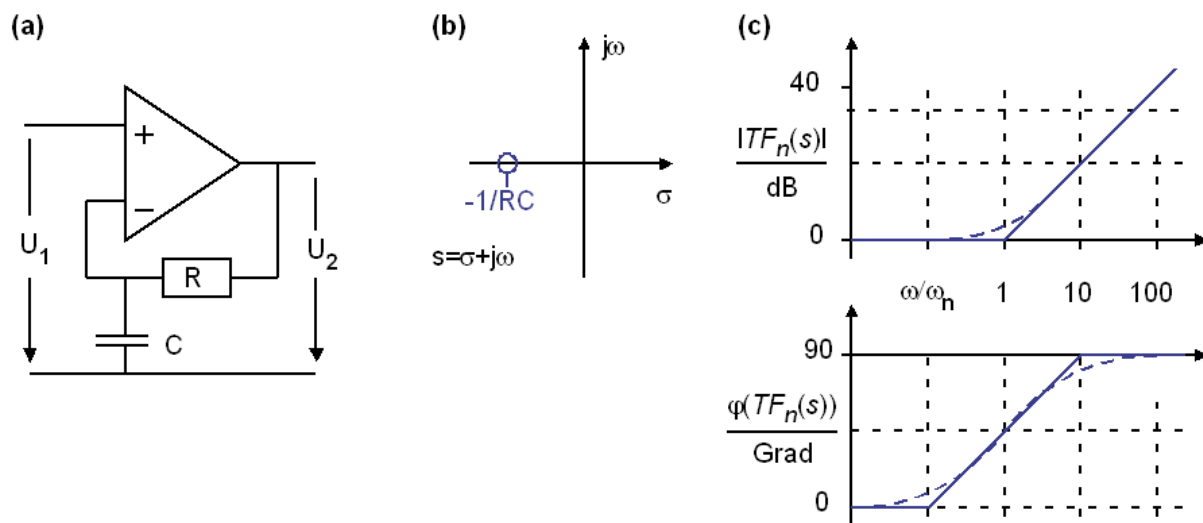


Bild 1.2: Die OP-Schaltung invertiert die Übertragungsfunktion des RC-Tiefpasses
(a) Schaltung mit Nullstelle, (b) dessen Lage in der s -Ebene, (c) Bode-Diagramm.

Nullstellen einer Übertragungsfunktion $TF_n(s) = \frac{\text{Zählerpolynom}(s)}{\text{Nennerpolynom}(s)}$ eines Systems sind die (1P)

Nullstellen des Zählerpolynoms

.....

Skizzieren: Sie die Lage der Nullstelle des Bildteils (a) qualitativ in Bildteil (b) mit einem **O**. (1P)

Skizzieren Sie in Bildteil (c) Betrag und Phase von $TF_n(s) = 1/(1-s/\omega_n)$, und zwar die Asymptoten als durchgezogene Linie (2P) und gestrichelt den näherungsweise realen Verlauf (2P). (4P)

Im Amplitudendiagramm erkennt man eine Nullstelle ω_n in der linken s -Halbebene generell an (1P)
einer Änderung der Steigung (der Asymptoten) um +20dB/dec

.....

In ω_n beträgt die Abweichung Asymptotennäherung – (genauer Amplitudenverlauf) **+3dB** (1P)

.....

Im Phasendiagramm erkennt man eine Nullstelle ω_n in der linken s -Halbebene generell an (1P)
einem Änderung der Phase um +90°

.....

In ω_n beträgt die Abweichung genauer Phasenverlauf - Asymptotennäherung **0°** (1P)

.....

Die Phasendrehung der Asymptotennäherung beginnt und endet im Phasendiagramm bei $\omega =$ (1P)
 $\Omega_n / 10$ und endet bei $\omega_n * 10$

.....

2 Messung einer Eingangsimpedanz

($\Sigma=18P$)

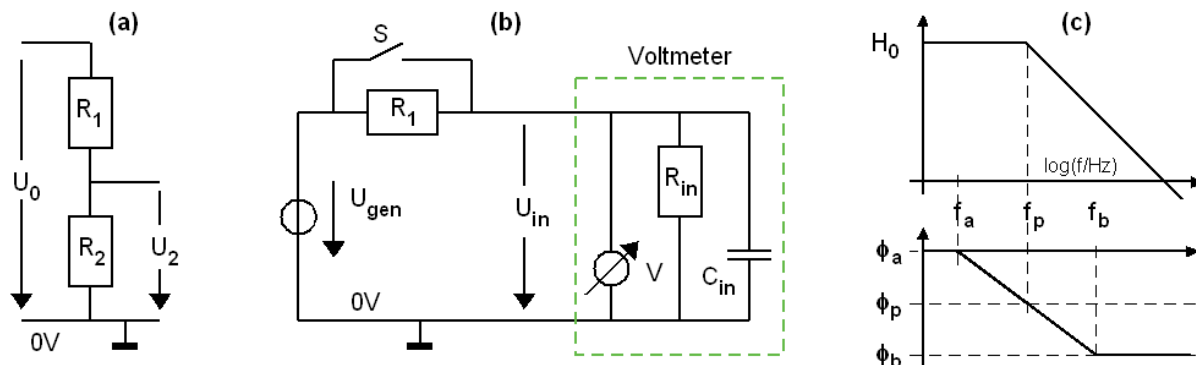


Bild 2: (a) Spannungsteiler, (b), Schaltung zur Messung von R_{in} , C_{in} , (c) Bode-Diagramm

Gewertet werden nur Ergebnisse in dieser Tabelle (3 Dezimalstellen Genauigkeit):

#	Größe	Lösung	P	P		Größe	Lösung	P	P	
1.	$\frac{R_2}{R_1} =$	$\frac{\alpha}{1-\alpha}$	1	1		2.	$R_I \approx$ (Daumenregel)	$\approx R_{in}$	1	1
3.	$R_{in}(R_I, \alpha) =$ (Formel)	$\frac{\alpha}{1-\alpha} R_I$	1	1		4.	$R_{in} =$ (Wert)	1,21 MΩ	1	1
5.	$Z_2(s) = f(R_{in}, C_{in}) =$ (Doppelbruch- und Klammer-freie Formel)	$\frac{R_{in}}{1 + sR_{in}C_{in}}$						2	2	
6.	$H(s) = f(R_I, R_{in}, C_{in}) =$ (Doppelbruch- und Klammer-freie Formel)	$\frac{Z_2}{R_I + Z_2} = \frac{R_{in}}{R_I + R_{in} + sR_I R_{in} C_{in}}$						3	3	
7.	$H_0(\alpha) =$ (Formel)	$\frac{R_{in}}{R_I + R_{in}} = \alpha$	1	1		8.	$H_{0dB}(\alpha=0.531)$ = (Wert)	-5,498 dB	1	1
9.	$\omega_p =$ (Formel)	$\frac{1}{(R_I \parallel R_{in})C_{in}}$	2	2		10.	$f_p @ C_{in}=11pF,$ $R_I=R_{in}=1M\Omega$	28,9 KHz	2	2
11.	$f_a(f_p) =$	0,1 f _p	1	1		12.	$f_b(f_p) =$	10 f _p	1	1
13.	Wozu Schalter S ?	Zur Messung von U _{gen}						1	1	
Summe									18	

Zu Bild 2(a): Gegeben ist der resistive Spannungsteiler in Bild 2(a) sowie $\alpha = U_2/U_0$.

1. Wie berechnet sich das Verhältnis R_2/R_1 als Funktion von α ?
2. Für R_2 haben wir einen Schätzwert und wollen ihn mit Hilfe von R_1 genau messen. Nach welcher Faustregel wählt man den Wert für R_1 ?

Zu Bild 2(b): Gegeben ist ein Messgerät, von dem wir annehmen, dass es gemäß Bild 2(b) aus einem Voltmeter mit Eingangsimpedanz $Z_{in} \rightarrow \infty$ besteht, parallel zu einem Eingangswiderstand R_{in} und einer Eingangskapazität C_{in} .

3. Sei $\alpha = U_{in}/U_{gen}$ bei offenem Schalter S und Frequenz $f=0$. Wie berechnet sich R_{in} als Formel von R_1 und α ?
4. Sei $R_1 = 1,06 \text{ M}\Omega$, $U_{gen}=3.3 \text{ V}$ und $U_{in}=1.76 \text{ V}$. Berechnen Sie den Wert für R_{in} in Ω .

Zu Bild 2(c): Der Schalter S ist offen. Betrachten Sie nur die Bauelemente R_1 , R_{in} , C_{in} .

5. Leiten Sie die Übertragungsfunktion von $Z_2(s) := R_{in}$ parallel C_{in} als Doppelbruch- und Klammer-freie Formel her. (Nur ein Bruchstrich, keine Klammern!)
6. Leiten Sie die Übertragungsfunktion $H(s) = U_{in}(s)/U_{gen}(s)$ als Doppelbruch- und Klammer-freie Formel her. (Nur ein Bruchstrich, keine Klammern!)
(U_{in} ist hier Ausgangsspannung! Platz zum Rechnen ist unten auf dieser Seite und S. 16. Eventuelle Zusatzblätter sind mit Ihrem Namen zu beschriften und mit abzugeben.)
7. Das Ergebnis für $H(s)$ kann auch in der Form $H(s) = H_0 / (1+s/\omega_p)$ geschrieben werden. Wie berechnet sich H_0 ? (Bedenken Sie, dass dies dem Spezialfall $s=0$ entspricht.) Das Ergebnis ist als $f(R_1, R_{in})$ oder $f(\alpha)$ darstellbar.
8. Berechnen Sie H_0 als dB-Wert für $\alpha = 0,531$.
9. Berechnen Sie ω_p als Funktion der Bauelemente (R_1 , R_{in} , C_{in}). Sie dürfen den Ausdruck $R_1 \parallel R_{in}$ in Kurzform als R_p schreiben.
10. Berechnen Sie $f_p = \omega_p/(2\pi)$ als Wert für $R_1 = R_{in} = 1 \text{ M}\Omega$ und $C_{in} = 11 \text{ pF}$.
11. Geben Sie die Frequenz f_a in Bild 2(c) als Funktion von f_p an
12. Geben Sie die Frequenz f_b in Bild 2(c) als Funktion von f_p an
13. Wir haben den Schalter S bisher nie geschlossen. Wofür brauchen wir ihn in der Praxis?

4 Anwendung von Single-Ended OPs

($\Sigma=20P$)

4.1 Einfache Grundsaltungen mit OP

($\Sigma=5P$)

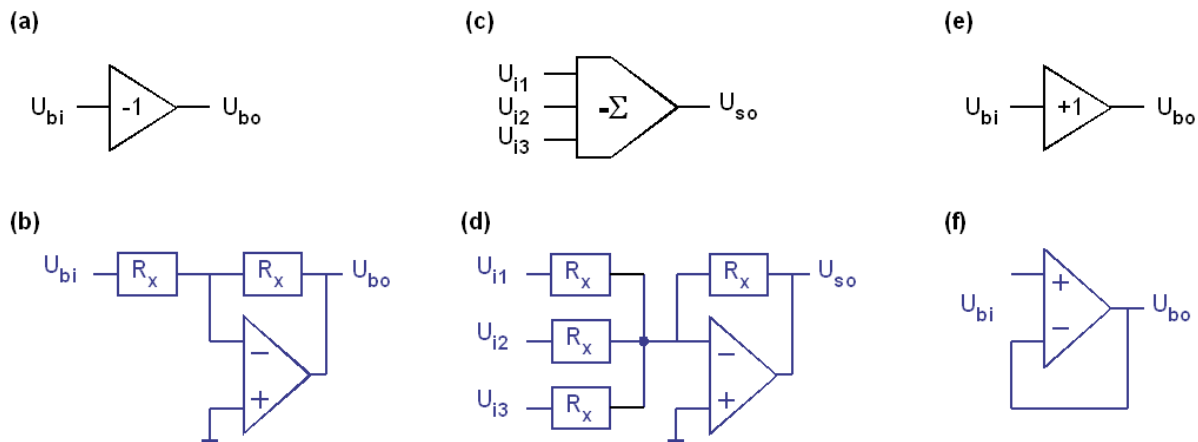


Bild 4.1: analoger (a) Inverter: $A_V = -1$, (b) Summierer $U_{so} = -\Sigma U_{i\#}$, (c) Puffer mit $A_V = 1$.

Zeichnen Sie in Bild 4.1(b) die Realisierung mit OP der Schaltung in Bildteil (a) mit der Funktion $U_{bo} = -U_{bi}$, wobei die Eingangsimpedanz $Z_{in} = R_x$ sein soll. Beschriftungen! (2P)

Zeichnen Sie in Bild 4.1(d) die Realisierung mit OP der Schaltung in Bildteil (c) mit der Funktion $U_{so} = -(U_{i1} + U_{i2} + U_{i3})$, mit den Eingangsimpedanzen $Z_{in\#} = R_x$, $\# = 1, 2, 3$. Beschr.! (2P)

Zeichnen Sie in Bild 4.1(f) die Realisierung mit OP der Schaltung in Bildteil (e) mit der Funktion $U_{bo} = U_{bi}$, wobei die Eingangsimpedanz $Z_{in} \rightarrow \infty$ sein soll. Beschriftungen! (1P)

4.2 Regelschaltungen

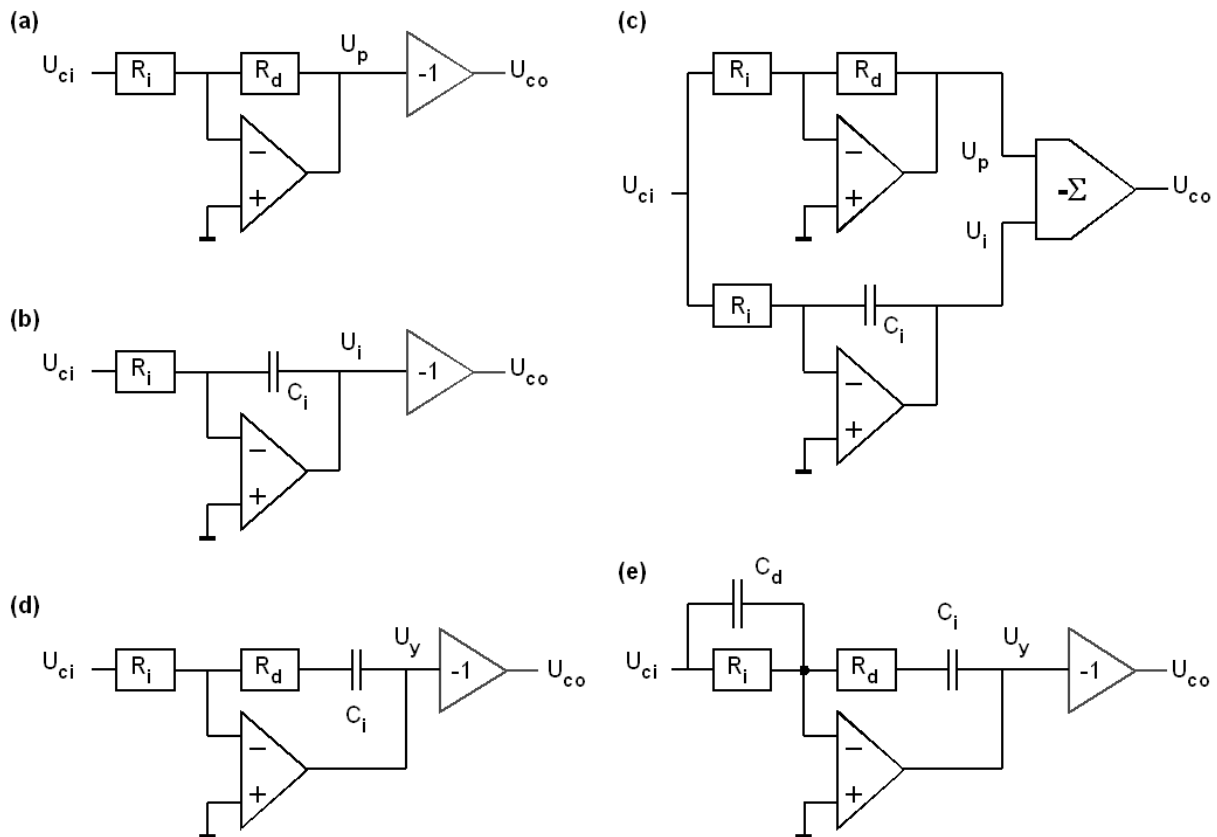
($\Sigma=15P$)

Gegeben sind die Regelschaltungen mit den Übertragungsfunktionen gemäß Tabelle 4.2. Zu bestimmen sind die Parameter K_P , P_I , K_D , je nach Schaltung.

Punkte für Zwischenrechnungen können nur vergeben werden, wenn die Zwischenrechnungen dem Aufgabenteil eindeutig zuzuordnen sind.

Tabelle 4.2: Reglertypen in der Regelungstechnik und zugehörige Parameter K_P , K_I , K_D .

Reglertyp	Übertragungsfunktion		Reglertyp	Übertragungsfunktion
P	$CTF_P(s) = K_P$		PD	$CTF_{PD}(s) = K_P + K_D \cdot s$
I	$CTF_I(s) = K_I / s$		PI	$CTF_{PI}(s) = K_P + K_I / s$
D	$CTF_D(s) = K_D \cdot s$		PID	$CTF_{PID}(s) = K_P + K_I / s + K_D \cdot s$

**Bild 4.2:** Verschiedene Reglerschaltungen

Punkte für Zwischenergebnisse können nur vergeben werden, wenn diese dem Aufgabenteil eindeutig zuzuordnen sind.

(a) Welchen Reglertyp sehen wir in Bildteil (a)? **P** (1P)

.....

Bestimmen die für diesen Regler benötigten Parameter aus der Menge $\{K_P, K_I, K_D\}$ als Funktion der Bauelemente. (1P)

$$K_P = \frac{R_d}{R_i}$$

.....

Punkte für Zwischenergebnisse können nur vergeben werden, wenn diese dem Aufgabenteil eindeutig zuzuordnen sind.

(b) Welchen Reglertyp sehen wir in Bildteil (b)? **I** (1P)

.....

Bestimmen die für diesen Regler benötigten Parameter aus der Menge $\{K_P, K_I, K_D\}$ als Funktion der Bauelemente. (2P)

$$K_I = \omega_i = \frac{1}{R_i C_i}$$

.....

Punkte für Zwischenergebnisse können nur vergeben werden, wenn diese dem Aufgabenteil eindeutig zuzuordnen sind.

(c) Welchen Reglertyp sehen wir in Bildteil (c)? PI (1P)

.....

Bestimmen die für diesen Regler benötigten Parameter aus der Menge $\{K_P, K_I, K_D\}$ als Funktion der Bauelemente. (2P)

$$K_P = \frac{R_d}{R_i}, \quad K_I = \omega_i = \frac{1}{R_i C_i}$$

.....

Punkte für Zwischenergebnisse können nur vergeben werden, wenn diese dem Aufgabenteil eindeutig zuzuordnen sind.

(d) Welchen Reglertyp sehen wir in Bildteil (d)? PI (1P)

.....

Bestimmen die für diesen Regler benötigten Parameter aus der Menge $\{K_P, K_I, K_D\}$ als Funktion der Bauelemente. (2P)

$$K_P = \frac{R_d}{R_i}, \quad K_I = \omega_i = \frac{1}{R_i C_i}$$

.....

Punkte für Zwischenergebnisse können nur vergeben werden, wenn diese dem Aufgabenteil eindeutig zuzuordnen sind.

(e) Welchen Reglertyp sehen wir in Bildteil (e)? PID (1P)

.....

Bestimmen die für diesen Regler benötigten Parameter aus der Menge $\{K_P, K_I, K_D\}$ als Funktion der Bauelemente. (3P)

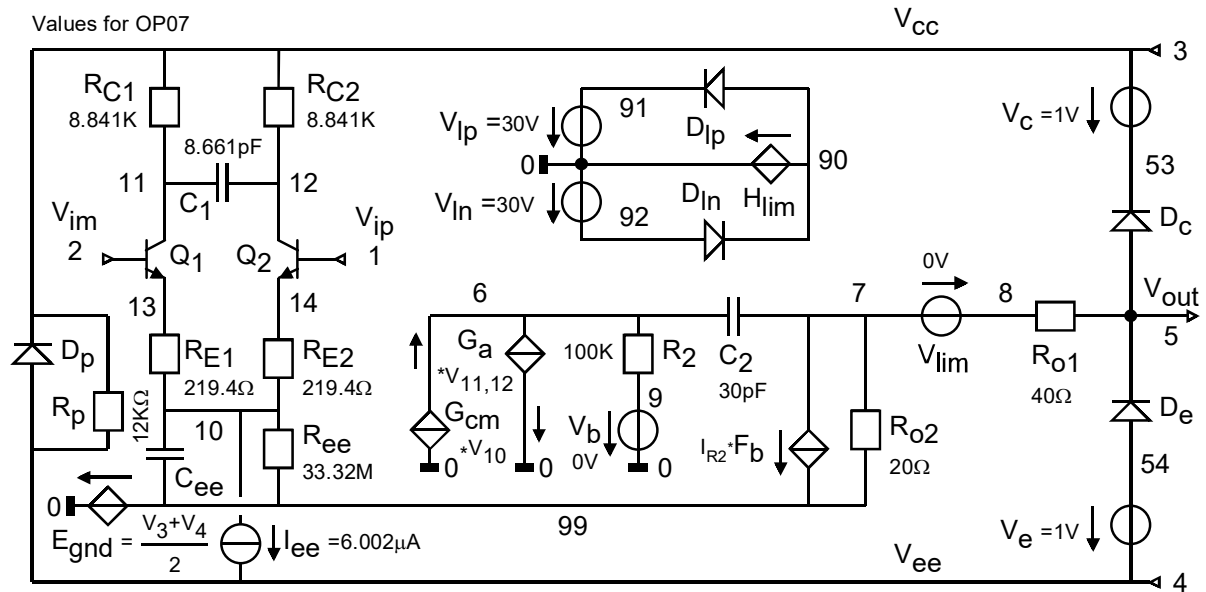
$$K_P = \frac{R_d C_i + R_i C_d}{R_i C_i} = \frac{R_d}{R_i} + \frac{C_d}{C_i}, \quad K_I = \omega_i = \frac{1}{R_i C_i}, \quad K_D = \frac{1}{\omega_D} = R_d C_d$$

.....

Platz für Zwischenrechnung zu (d):

Platz für Zwischenrechnung zu (e):

6 OpAmp-Macro: Strom-/Spannungs-Begrenzung ($\Sigma=16P$)



(b)

```

(1) *-----
(2) * connections:  non-inverting input
(3) *               | inverting input
(4) *               | | positive power supply
(5) *               | | | negative power supply
(6) *               | | | | output
(7) *               | | | | |
(8) * .subckt OP07  1 2 3 4 5
(9) *
(10)  c1  11 12 8.661E-12;  c2    6  7 30.00E-12
(11)  dc  5 53 dx;  de 54 5 dx;  dlp 90 91 dx;  dln 92 90 dx;  dp 4 3 dx
(12)  egnd 99  0 poly(2) (3,0) (4,0) 0 .5 .5
(13)  fb  7 99 poly(5) vb vc ve vlp vln 0 221.0E6 -200E6 200E6 200E6 -200E6
(14)  ga   6  0 11 12 113.1E-6
(15)  gcm  0  6 10 99 56.69E-12
(16)  iee  10  4 dc 6.002E-6
(17)  hlim 90  0 vlim 1K
(18)  q1  11  2 13 qx;  q2  12  1 14 qx1
(19)  r2   6  9 100.0E3;  rc1  3 11 8.841E3;  rc2  3 12 8.841E3
(20)  re1 13 10 219.4;  re2 14 10 219.4;  ree 10 99 33.32E6
(21)  ro1  8  5 40;  ro2  7 99 20
(22)  rp   3  4 12.03E3
(23)  vb   9  0 dc 0;  vc   3 53 dc 1;  ve  54  4 dc 1
(24)  vlim 7  8 dc 0;  vlp 91  0 dc 30;  vln  0 92 dc 30
(25) .model dx D(Is=800.0E-18)
(26) .model qx NPN(Is=800.0E-18 Bf=3.000E3)
(27) .model qx1 NPN(Is=803.0E-18 Bf=3.000E3)
(28) .ends

```

Bild 6: OpAmp-Macro *OP07*. (a): Schaltplan, (b): Spice-Modell zur Schaltung in Bildteil (a). Im Spice-Code beginne nach einem Semikolon eine neue Spice-Anweisung, nicht Kommentar.

Bild 6 zeigt ein OpAmp-Macro, hier eingestellt für den *OP07*. Das Verhalten der Dioden kann mit $I_D = 0$ für $U_D < 0,7V$ und sonst $0,7V$ angenähert werden. Es sei $V_{cc} = -V_{ee} = 15V$.

Bei welcher positiven Ausgangsspannung beginnt das Macro diese aktiv nach oben (also bezüglich V_{cc}) zu begrenzen? (Gefragt sind Formel und Wert auf 3 Stellen Genauigkeit). (2P)

$$V_{cc} - V_c + U_F(D_c) = 15V - 1V + 0,7V = 14,7V$$

.....

Ändern Sie diese positive Grenz-Ausgangsspannung auf +13V. Notieren Sie die zu ändernde Spice- Zeile oder erläutern Sie ihre Maßnahme. (2P)

$$V_c \ 3 \ 53 \ DC \ 2.7; \Leftrightarrow \text{Setze Spannungsquelle } V_c = 2,7V$$

.....

Bei welcher negativen Ausgangsspannung beginnt das Macro diese nach unten (also bezüglich V_{ee}) zu begrenzen? (Gefragt sind Formel und Wert auf 3 Stellen Genauigkeit). (2P)

$$V_{ee} + V_e + U_F(D_c) = -15V + 1V - 0,7V = -14,7V$$

.....

Ändern Sie diese negative Grenz-Ausgangsspannung auf -12V. Notieren Sie die zu ändernde Spice- Zeile oder erläutern Sie ihre Maßnahme. (2P)

$$V_e \ 54 \ 4 \ DC \ 3,7 \Leftrightarrow \text{Setze Spannungsquelle } V_e = 3,7V$$

.....

Bei welchem positiven Ausgangsstrom (=aus dem OP heraus) beginnt das Macro diesen zu begrenzen? (Gefragt sind Formel und Wert auf 3 Stellen Genauigkeit). (2P)

$$I(V_{lim}) = (V_{lp} + U_F(D_{lp})) / H_{lim} = (30+0,7)V/1K\Omega = 30,7mA$$

.....

Ändern Sie positiven Grenz-Ausgangsstrom auf 50mA. Notieren Sie die zu ändernde Spice-Zeile oder erläutern Sie ihre Maßnahme. (2P)

$$vlp \ 91 \ 0 \ dc \ 49.3 \Leftrightarrow \text{Setze Spannungsquelle } Vlp = 49,3V$$

.....

Bei welchem negativen Ausgangsstrom (=in den OP hinein) beginnt das Macro diesen zu begrenzen? (Gefragt sind Formel und Wert auf 3 Stellen Genauigkeit). (2P)

$$I(V_{lim}) = (V_{ln} + U_F(D_{ln})) / H_{lim} = (30+0,7)V/1K\Omega = -30,7 \text{ mA}$$

.....

Ändern Sie diesen Negativen Grenz-Ausgangsstrom auf -40mA. Notieren Sie die zu ändernde Spice- Zeile auf oder erläutern Sie ihre Maßnahme. (2P)

$$vln \ 0 \ 92 \ dc \ 39.3 \Leftrightarrow \text{Setze Spannungsquelle } Vln = 39,3V$$

.....