

Laufende Nummer

Fachhochschule Regensburg	
Fachbereich Elektrotechnik / Mikroelektronik	
Prüfungsfach:	Schaltungstechnik (SC), SS 1998
Prüfungstermin:	21. Juli 1998 Studiengruppe: E5N
Prüfungsdauer:	90 Minuten (planmäßig: 10.45 - 12.15 Uhr)
Zugelassene Hilfsmittel:	Formelsammlung
Aufgabensteller:	Prof. Dr. M. Schubert
Prüfungsteilnehmer/in:	(Bitte leserlich in Druckbuchstaben) Sem.: _____
Name:	_____
Vorname:	_____ 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: 94 Punkte.

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:

Die Aufgaben sind so aufgebaut, daß Folgefehler nach Möglichkeit vermieden werden. Eine Aufgabe muß nicht in jedem Fall aufgegeben werden, wenn der Faden einmal abreißt.

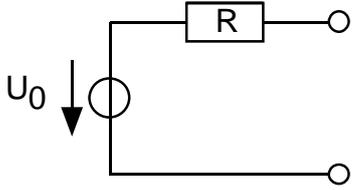
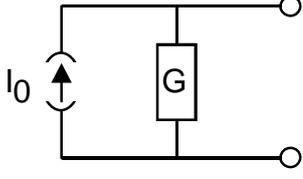
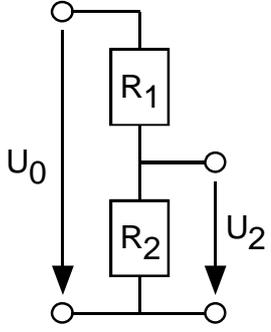
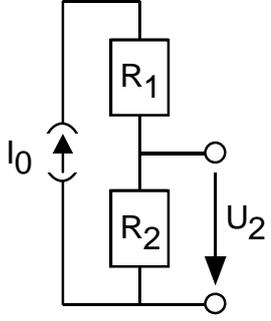
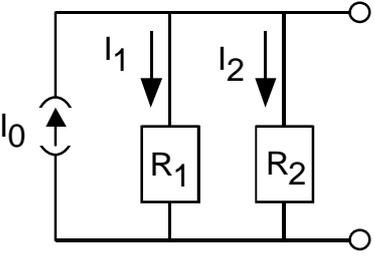
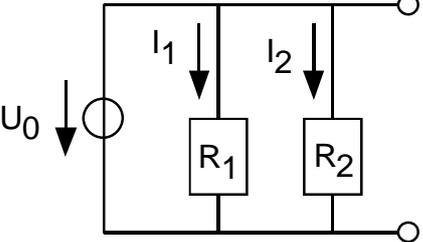
Kalkuliert wurde ein Zeitbedarf von ca. einem Punkt pro Minute. Verwenden Sie nicht zu viel Zeit für Aufgaben, die nur wenige Punkte bringen.

Hinweis zur Korrektur: „FF“ steht für Folgefehler.

1 Grundlagen

($\Sigma=6P$)

Formen Sie die gegebenen Schaltungen um in Quellen mit einem Widerstand:

	<p>Stromquelle:</p>	<p>(1P)</p>
	<p>Spannungsquelle:</p>	<p>(1P)</p>
	<p>Spannungsquelle:</p>	<p>(1P)</p>
	<p>Spannungsquelle:</p>	<p>(1P)</p>
	<p>Stromquelle:</p>	<p>(1P)</p>
	<p>Spannungsquelle:</p>	<p>(1P)</p>

2 Kopplung von Verstärkerstufen

($\Sigma=9P$)

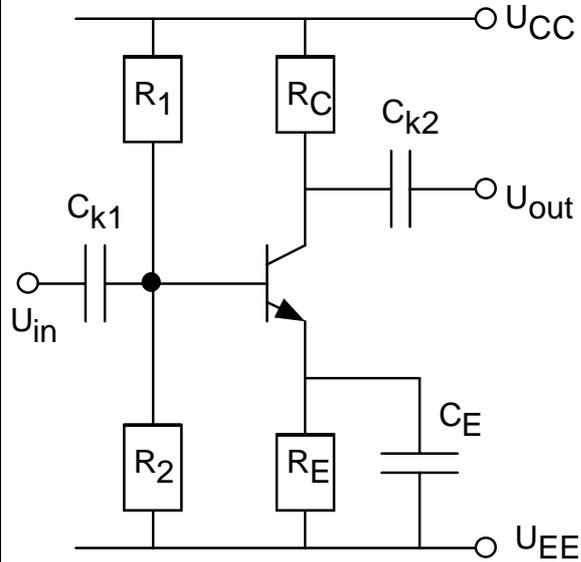
Die folgenden Bilder zeigen Verstärkerstufen. Wie bezeichnet man die Art der Auskopplung des Signales U_{out} ? Nennen Sie mindestens einen Vor- und Nachteil jeder dieser Techniken.

Benennung:

.....

Vorteile:

Nachteile:

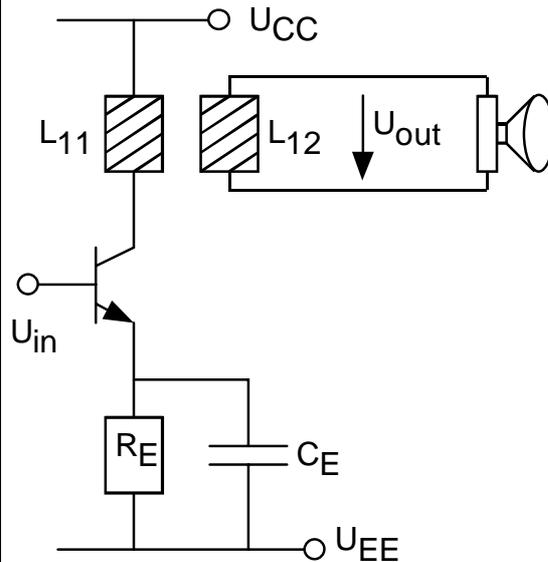


Benennung:

.....

Vorteile:

Nachteile:

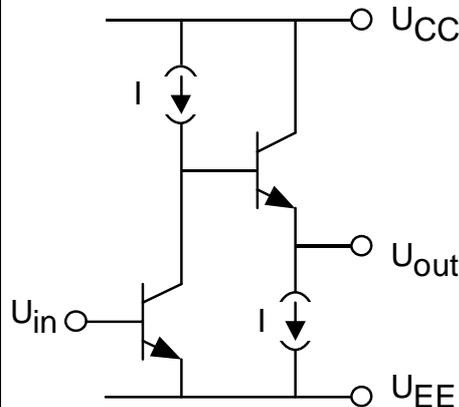


Benennung:

.....

Vorteile:

Nachteile:



3 Die differentielle Eingangsstufe

($\Sigma=23P$)

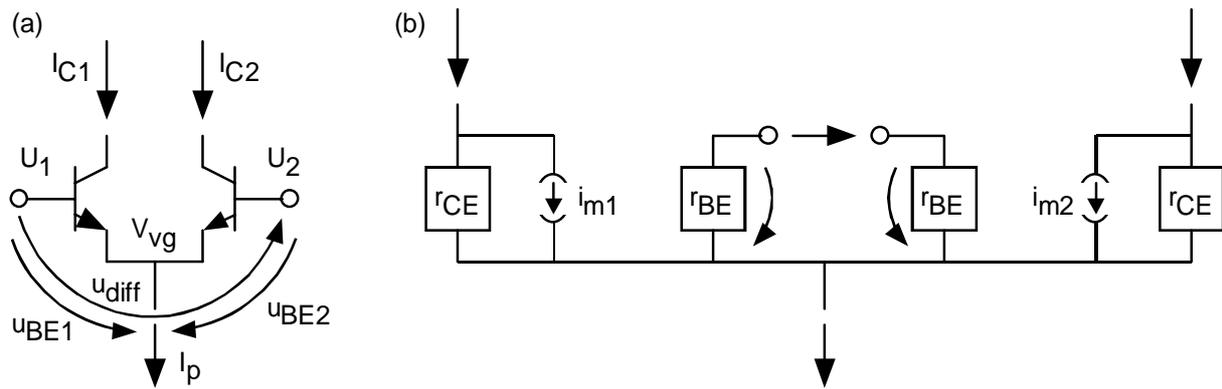


Abbildung 3.1: DC-Kleinsignal-Ersatzschaltbild einer bipolaren, differentiellen Eingangsstufe.

Bezeichnen Sie alle Pfeile in Bild 3.1(b) mit Bezeichnungen gemäß Bild 3.1(a). (1P)

Berechnen Sie jeweils Formel und Wert für $I_p=2mA$, $\beta=120$, $u_T=25mV$, $V_A=100V$

Berechnen Sie die Kollektor-Ströme im Arbeitspunkt, i.e. I_{C1a} und I_{C2a} : (1P)

.....

Zeigen Sie daß der Übertragungsleitwert der Transistoren gegeben ist mit $g_m=g_{m1}=g_{m2}=40mS$ (1P)

.....

Berechnen Sie die Eingangswiderstände der Transistoren, i.e. r_{BE} : (1P)

.....

Berechnen Sie die Ausgangswiderstände der Transistoren, i.e. r_{CE} : (1P)

.....

Geben Sie erstens U_{diff} und zweitens das Gleichtaktsignal (common mode signal) U_{cm} als Funktion von U_1 , U_2 an. (Nur Formel) (1P)

.....

Die in Abb. 3.1 gezeigte differentielle Stufe arbeite im Eingang eines Operationsverstärkers (OP) mit einer Spannungsverstärkung von $|A_V|=100\text{dB}$. Am Ausgang des OPs messen wir ein sinusförmiges Signal mit einer Amplitude von $\hat{u}_{\text{out}}=5\text{V}$. Wie groß ist die Amplitude \hat{u}_{diff} am Eingang? (Formel und Wert) (1P)

.....

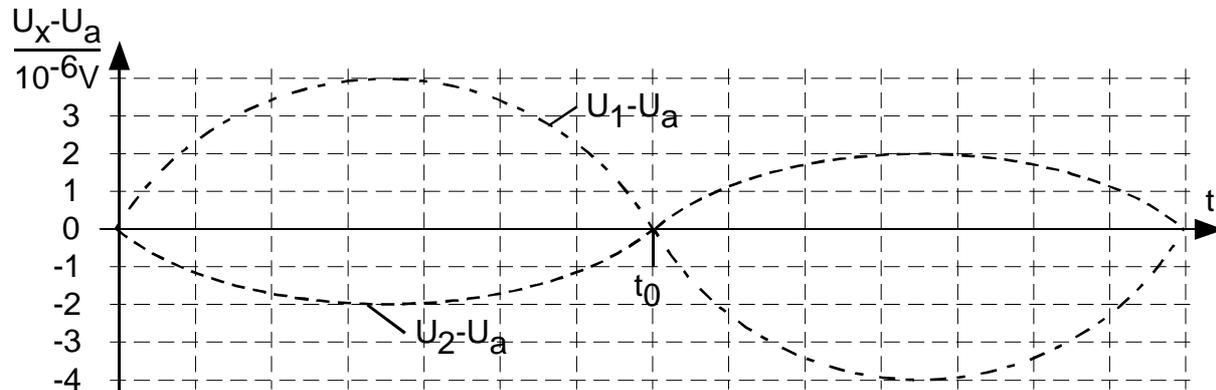


Abbildung 3.2: Die Eingangsspannungen U_1 und U_2 schwingen um den Arbeitspunkt U_a .

Abb. 3.2 zeigt ein Beispiel für die Signale U_1 und U_2 . Zeichnen Sie $U_{\text{cm}}(t)$ als Linie ein. (1P)

Zeichnen Sie in Abb.3.2 U_{diff} , U_{BE1} , U_{BE2} einmal für $t < t_0$ und einmal für $t > t_0$ als Pfeile ein. (2P)

Drücken Sie u_{BE1} und u_{BE2} als Funktion von u_{diff} aus (nur Formel) (1P)

.....

Für den gesamten OP gelte weiterhin $|A_V|=100\text{dB}$. Wie groß ist die Amplitude \hat{u}_{out} am Ausgang des OPs, der gemäß Abb. 3.2 angesteuert wird? (Formel und Wert?) (1P)

.....

Berechnen Sie den Kleinsignalstrom i_{h1} in Abb. 3.1(b) für $u_{\text{diff}}=0,2\text{mV}$. (Formel und Wert) (1P)

.....

Berechnen Sie den Kleinsignalstrom i_{h2} in Abb. 3.1 für $u_{\text{diff}}=0,2\text{mV}$. (Formel und Wert) (1P)

.....

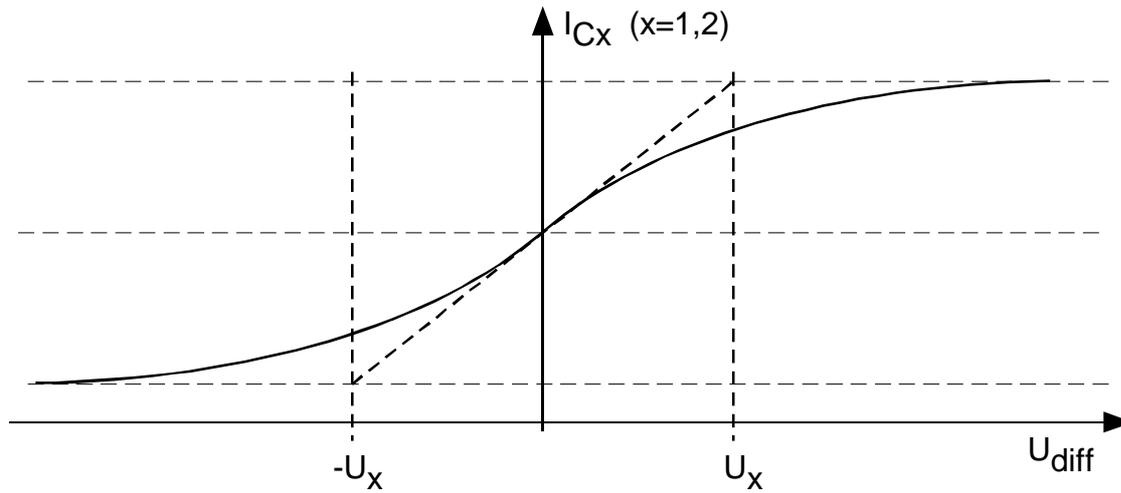


Abbildung 3.3: Großsignalverhalten der Ausgangsströme I_{C1} und I_{C2} .

Abbildung 3.3 soll das Großsignalverhalten der Ströme I_{C1} und I_{C2} um $u_{diff}=0$ zeigen. Zeichnen sie den zweiten Kollektorstrom in die Abbildung 3.3 ein und bezeichnen Sie die entsprechenden Linien mit I_{C1} und I_{C2} . (2P)

Abbildung 3.3 zeigt drei horizontale, gestrichelte Linien parallel zur Abszisse („x-Achse“). Schreiben Sie die Stromwerte an die Ordinate („y-Achse“) bei welchen diese von den horizontalen Linien geschnitten wird. (1P)

Abbildung 3.3 zeigt eine Tangente an einen Kollektorstrom, deren Schnittpunkte mit dem minimalen und maximalen Strom zu den Werten $-U_x$ und U_x führen. Berechnen Sie U_x . (Formel und Wert) (3P)

.....

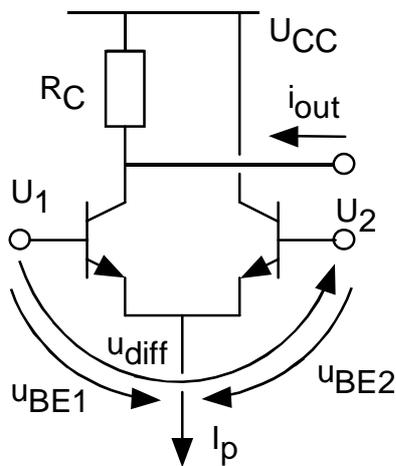


Abbildung 3.4: differentielle Verstärkerstufe

Abbildung 3.4 zeigt einen differentiellen Verstärker mit (1P) einem Arbeitswiderstand R_C . Es sei weiterhin $I_p=2mA$. Wie groß ist der gesamte Übertragungsleitwert $G_m=i_{out}/u_{diff}$ der Stufe (Formel und Wert).

.....

Schreiben Sie die Exakte Formel für die (1P) Ausgangsimpedanz Z_2 und machen Sie dann die übliche Näherung für diese Situation (nur Formel).

.....

Welche Spannungsverstärkung hat diese Stufe für (1P) $R_C=5K\Omega$?

.....

4 Operationsverstärker

($\Sigma=10P$)

Abbildung 4.1

Idealer Operationsverstärker (OP) mit Beschaltung.

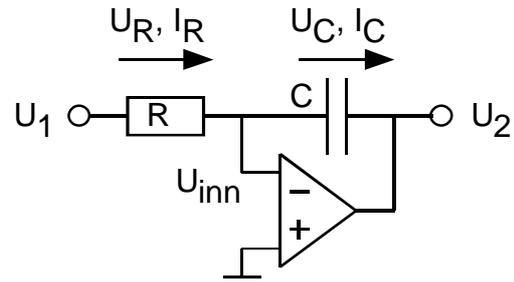


Abb. 4.1 zeigt einen idealen Operationsverstärker (OP), der mit zwei passiven Bauelementen beschaltet ist. Berechnen Sie den Strom I_R durch den Widerstand R (Formel). (1P)

.....

Berechnen Sie den Strom I_C durch die Kapazität C als Funktion von U_1 und R. (1P)

.....

Berechnen Sie die Spannung $U_C(t)$ als Funktion von $U_1(t)$. (1P)

.....

Berechnen Sie die Spannung $U_2(t)$ als Funktion von $U_1(t)$. (1P)

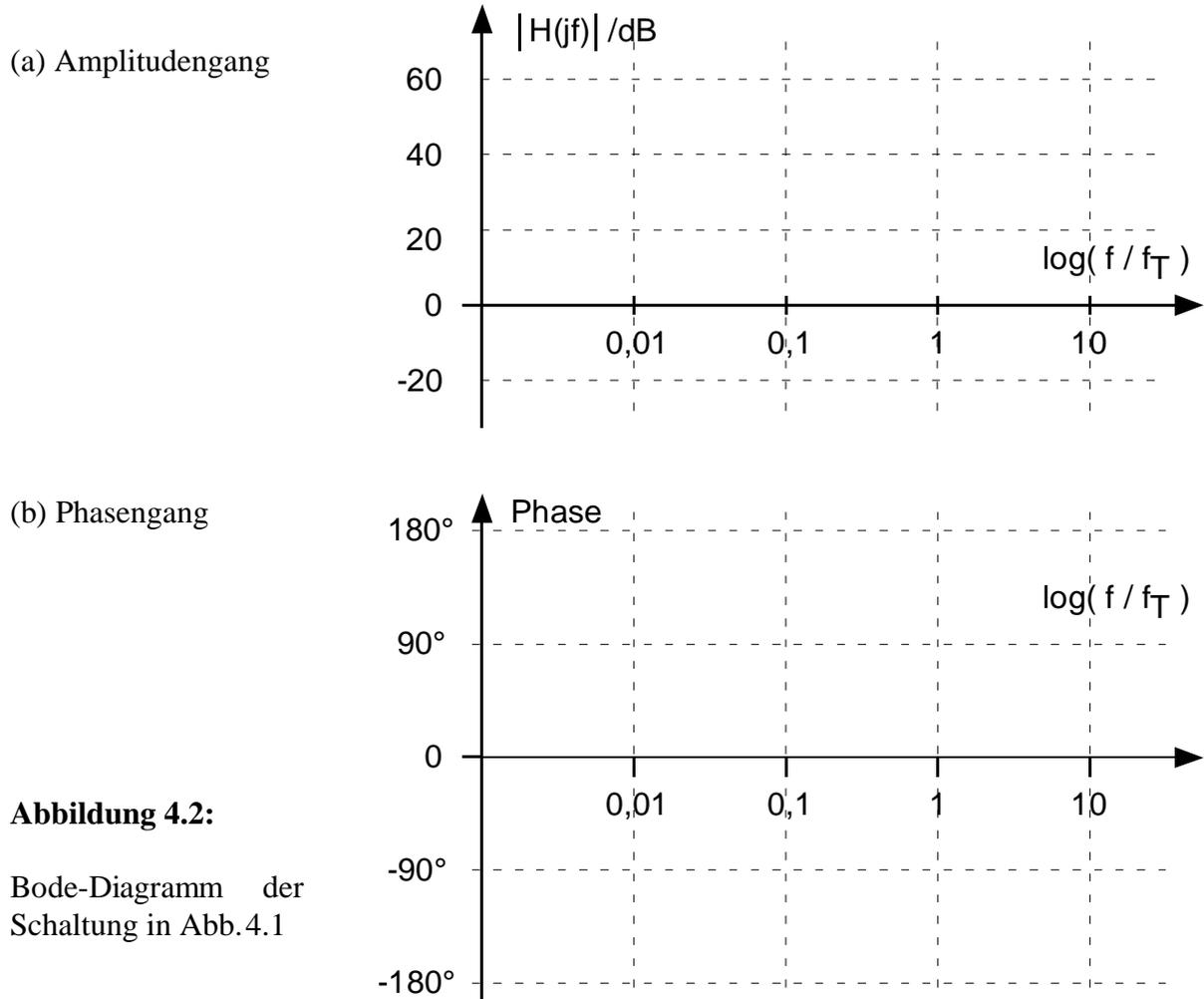
.....

Berechnen sie die Übertragungsfunktion $H(s)=U_2(s)/U_1(s)$ im Laplace-Bereich (1P)

.....

Setzen Sie $s=j\omega$ und berechnen sie die Transitfrequenz f_t dieser Baugruppe (1P)

.....



Tragen Sie in das Bode-Diagramm in Abb. 4.2 den Amplitudengang der Schaltung in Abb. 4.1 ein. (2P)

Zeichnen Sie in Abb. 4.2 gestrichelt die Situation für den Fall ein, in welchem der Amplitudengang des Operationsverstärkers auf eine maximale Leerlaufverstärkung von $A_{V,max}=50\text{dB}$ begrenzt ist. (1P)

Zeichnen Sie in Abb.4.2(b) den Phasengang für die Schaltung in Abb.4.1 mit idealem OP ein. (1P)

5 Kompensation

(Σ=9P)

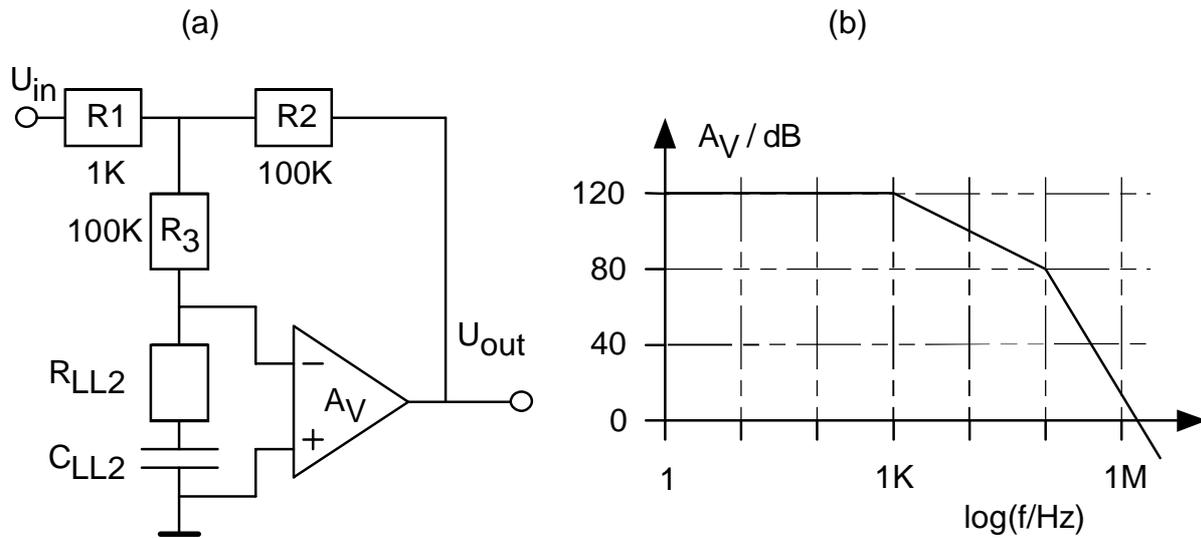


Abbildung 5.1: (a) OP mit Eingangskompensation, (b) Verstärkung des unbeschalteten OP

Welche Verstärkung hat die Schaltung in Abb.5.1(a) für niedrige Frequenzen? (1P)

.....

Verdeutlichen Sie durch Einzeichnen einer Linie in Abb. 5.1(b) die offene Schleifenverstärkung kA_V . (1P)

Kompensiert wird die Schaltung in Abb. 5.1 durch ein Lead-Lag-Glied vor dem Eingang des OP. Kennzeichnen sie durch einen Pfeil in Abb. 5.1(b), welche Dämpfung d das LL-Glied bei Frequenzen $f \gg f_{p2}$ aufweisen muß und benennen sie diese in dB: (1P)

.....

Berechnen sie mit oben errechnetem Ergebnis R_{LL2} in Abb. 5.1(a). (3P)

.....

.....

Bei welcher Frequenz muß die Nullstelle des LL-Gliedes liegen und welchen Wert für die Kapazität C_{LL2} benötigt man dafür? (3P)

.....

6 Rauschen

(Σ=26P)

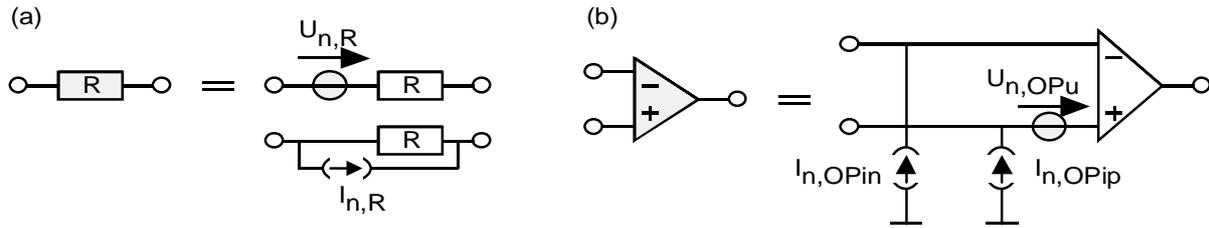


Abbildung 6.1:

- (a) Umwandlung eines rauschenden Widerstandes in einen rauschfreien Widerstand und eine Rauschspannungsquelle oder Rauschstromquelle, und
- (b) Umwandlung eines rauschenden OPs in einen rauschfreien OP sowie eine Rauschspannungsquelle und zwei Rauschstromquellen an dessen Eingang.

Abb. 6.1 illustriert die Umwandlung eines rauschenden Widerstandes und eines rauschenden OP in rauschfreie Bauelemente mit externen Rauschquellen.

Das thermische Rauschen (Johnson Noise) für einen Widerstand gemäß Abb. 6.1(a) kann dargestellt werden als $U_{n,R} = U_{n,1\Omega,1Hz} \sqrt{RB}$. Zeigen sie, daß $U_{n,1\Omega,1Hz} = 129 pV / \sqrt{\Omega Hz}$ für $T=300K$. Dabei werden R in Ω und B in Hz berechnet. Es ist $k=1,38 \cdot 10^{-23} VAs/K$. (1P)

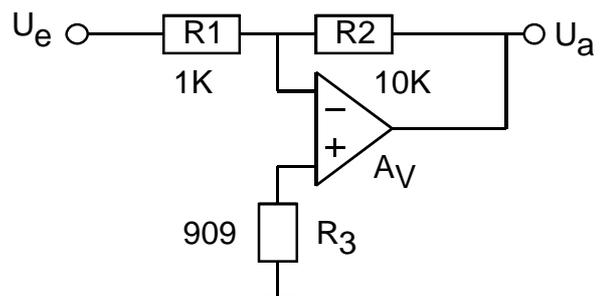
Wandeln Sie die Rauschspannungsquelle in eine Rauschstromquelle um. Berechnen Sie (1) den Strom $I_{n,R}$ gemäß Abb. 6.1(a) als $f(k,T,B,R)$ und (2) den Faktor $I_{n,1\Omega,1Hz}$ in der Formel $I_{n,R} = I_{n,1\Omega,1Hz} \sqrt{B/R}$ (Formel und Wert, physikalische Dimension nicht vergessen.) (3P)

(1)

(2)

Abbildung 6.2:

Operationsverstärker beschaltet als Invertierer. Es wird eine sehr hohe Verstärkung A_V des OP vorausgesetzt.

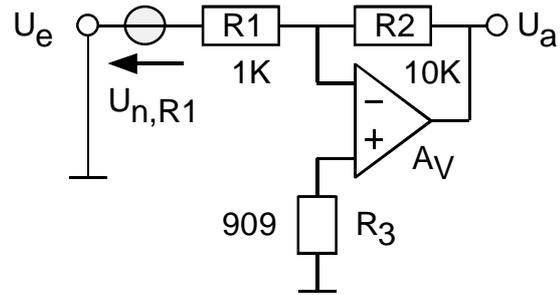


Bei OPs mit bipolarem Eingang schaltet man einen Widerstand vor den positiven Eingang, z.B. den Widerstand R_3 in Abb. 6.2. Warum macht man das und wie berechnet sich R_3 ? (2P)

.....

Abbildung 6.3:

Wirkung des Rauschens des Widerstandes R_1 auf den Ausgang U_a .



Berechnen Sie die effektive thermische Rauschspannung $U_{n,R1}$ des Widerstandes R_1 für $B=10\text{KHz}$. (1P)

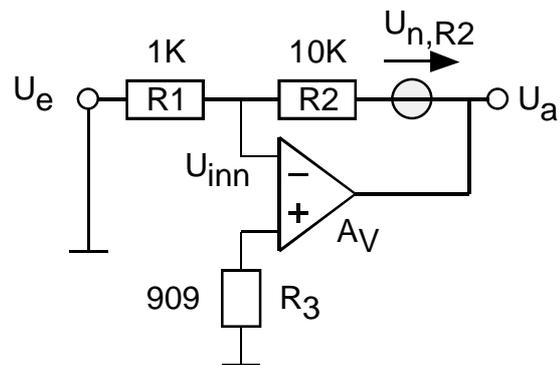
.....

Berechnen sie gemäß Abb. 6.3 die Wirkung des Rauschens des Widerstandes R_1 auf den Ausgang, also den Rauschspannungsbeitrag $U_{n,a,R1}$. Begründen Sie ihr Vorgehen kurz verbal. (2P)

.....

Abbildung 6.4:

Wirkung des Rauschens des Widerstandes R_2 auf den Ausgang U_a .



Berechnen Sie die effektive therm. Rauschspannung $U_{n,R2}$ des Widerstandes R_2 für $B=10\text{KHz}$. (1P)

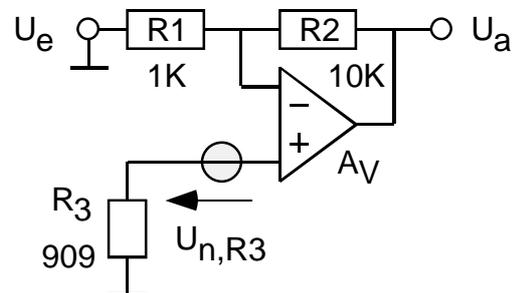
.....

Berechnen Sie gemäß Abb. 6.4 die Wirkung des Rauschens des Widerstandes R_2 auf den Ausgang, also den Rauschspannungsbeitrag $U_{n,a,R2}$. Begründen Sie ihre Rechnung entweder kurz verbal oder durch Aufstellen von Gleichungen. (2P)

.....

Abbildung 6.5:

Wirkung des Rauschens des Widerstandes R_3 auf den Ausgang U_a .



Berechnen Sie die effektive therm. Rauschspannung $U_{n,R3}$ des Widerstandes R_3 für $B=10\text{KHz}$. (1P)

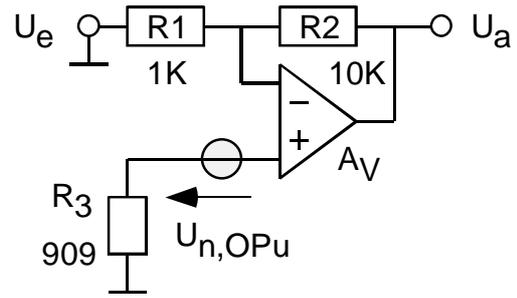
.....

Berechnen Sie gemäß Abb. 6.5 die Wirkung des Rauschens des Widerstandes R_3 auf den Ausgang, also den Rauschspannungsbeitrag $U_{n,a,R3}$. Begründen Sie ihre Rechnung entweder kurz verbal oder durch Aufstellen von Gleichungen. (2P)

.....

Abbildung 6.6:

Wirkung der äquivalenten Eingangsräuschspannung $U_{n,OPu}$ des OPs auf den Ausgang U_a .



Gegeben ist für den bipolaren OP027 von Analog Devices $U_{n,OP,1Hz} = 3,0nV / \sqrt{Hz}$. Berechnen Sie die effektive Rauschspannung $U_{n,OPu}$ gemäß Abb. 6.6 für $B=10KHz$. (1P)

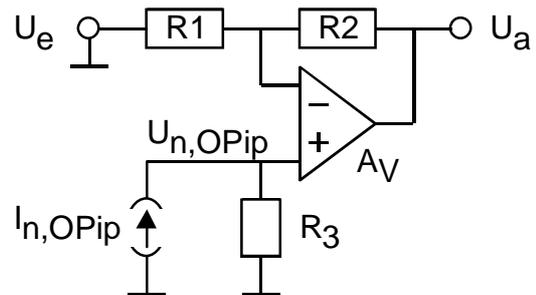
.....

Berechnen Sie gemäß Abb. 6.6 die Wirkung des äquivalenten Eingangsräuschens $U_{n,OPu}$ des OPs auf den Ausgang, also den Rauschspannungsbeitrag $U_{n,a,OPu}$. Begründen Sie ihre Rechnung entweder kurz verbal oder durch Aufstellen von Gleichungen. (2P)

.....

Abbildung 6.7:

Wirkung des Rauschens des äquivalenten Eingangsräuschstromes $I_{n,OPip}$ auf den Ausgang U_a .



Gegeben ist für den bipolaren OP027 von Analog Devices $I_{n,OP,1Hz} = 0,4pA / \sqrt{Hz}$ für beide Eingänge. Berechnen Sie die effektive Rauschspannung $U_{n,OPip}$ für $B=10KHz$ gemäß Abb. 6.7, die auf den positiven Eingang des OPs wirkt. (1P)

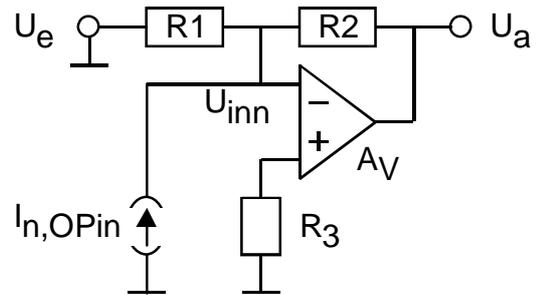
.....

Berechnen Sie gemäß Abb. 6.7 die Wirkung des äquivalenten Eingangsräuschstromes $I_{n,OPip}$ des OPs auf den Ausgang, also den Rauschspannungsbeitrag $U_{n,a,OPip}$. Begründen Sie ihre Rechnung entweder kurz verbal oder durch Aufstellen von Gleichungen. (2P)

.....

Abbildung 6.8:

Wirkung des Rauschens des äquivalenten Eingangsrauschstromes $I_{n,OPin}$ auf den Ausgang U_a .



Gegeben ist für den bipolaren OP027 von Analog Devices $I_{n,OP,1Hz} = 0,4pA / \sqrt{Hz}$ für beide Eingänge. Berechnen Sie den effektiven Rauschstrom $I_{n,OPin}$ für $B=10KHz$, der gemäß Abb. 6.8 am invertierenden Eingang des OPs eingespeist wird. (1P)

.....

Berechnen Sie gemäß Abb. 6.8 die Wirkung des äquivalenten Eingangsrauschstromes $I_{n,OPin}$ des OPs auf den Ausgang, also den Rauschspannungsbeitrag $U_{n,a,OPin}$. Begründen Sie ihre Rechnung entweder kurz verbal oder durch Aufstellen von Gleichungen. (2P)

.....

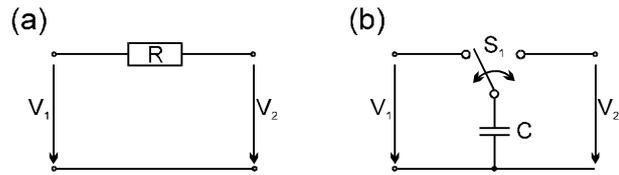
Berechnen Sie die gesamte effektive Ausgangsrauschspannung $U_{n,a}$ der Schaltung. (2P)

7 Geschaltete Kapazitäten

($\Sigma=10P$)

Abbildung 7.1:

- (a) Widerstand und
- (b) geschaltete Kapazität



Der Schalter in Abb. 7.1(b) kippt aus der linken Position in die rechte Position und zurück in die linke Position. Wie groß ist die Ladung ΔQ_C , die er bei diesem Vorgang von links nach rechts transportiert hat? (1P)

.....

Der Schalter in Abb. 7.1(b) arbeite mit einer Frequenz f . Wie groß ist der mittlere Strom \bar{I}_C , der von links nach rechts transportiert wird? (1P)

.....

Wie groß muß der Widerstand in Abb. 7.1(a) gewählt werden, damit der Strom durch den Widerstand gleich dem mittleren Strom durch die geschaltete Kapazität ist, also damit $I_R = \bar{I}_C$? (1P)

.....

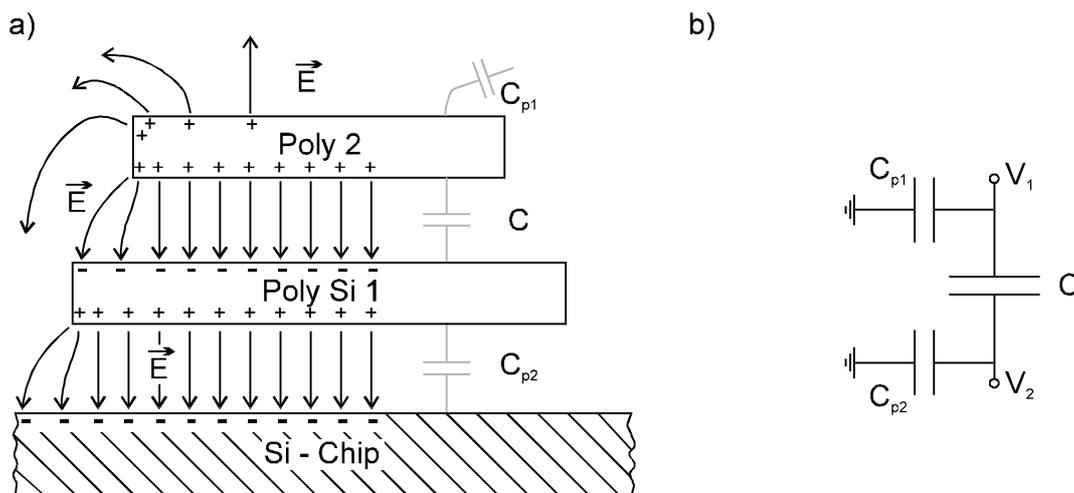


Abbildung 7.2: (a) Eine „on Chip“ realisierte Kapazität ist gemäß (b) nicht ohne parasitäre Kapazitäten herstellbar.

Betrachten Sie den Querschnitt einer Kapazität, wie sie „on Chip“ realisiert wird, in Abb. 7.2(a). Sie ist mit zwei Parasiten beaufschlagt: C_{p1} und C_{p2} . Aus dem Verlauf der elektrischen Feldlinien wird klar, daß einer der Parasiten wesentlich größer ist, als der andere: (1P)

.....

Wie muß die Kapazität C_1 in Abb. 7.3(a) eingebaut werden, damit die parasitären Kapazitäten C_{p1} und C_{p2} die gewünschte Funktionalität so wenig wie möglich verfälschen? (1P)

.....

Bedenken sie die Spannungsänderungen an den Anschlüssen der Kapazität C_2 in Abb. 7.3(a) und die mit ihr verbundenen Parasiten $C_{2,p1}$, $C_{2,p2}$. Wie schließt man die Kapazität C_2 so an, daß der Ausgang des OPs möglichst wenig Blindleistung erbringen muß? (1P)

.....

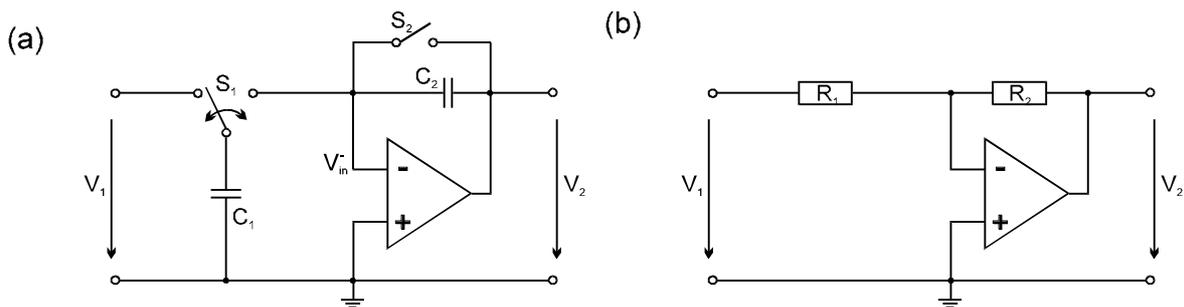


Abbildung 7.3: Verstärker (a) mit geschalteten Kapazitäten, (b) mit Widerständen

Der Schalter S_2 in Abb. 7.3(a) bleibt geöffnet. Welche Funktion hat die Baugruppe? (1P)

.....

Die Schaltung in Abb. 7.3(a) und soll die gleiche Funktion erfüllen, wie die Schaltung in Abb. 7.3(b). Wie muß der Schalter S_2 arbeiten? (1P)

.....

Es sei $R_2=4R_1=4K\Omega$ und $C_2=50fF$. Wie groß muß C_1 gewählt werden, damit die Schaltungen in den Abb. 7.3(a) und (b) die gleiche Verstärkung aufweisen? (Formel und Wert) (2P)

.....