

Fachhochschule Regensburg

Fachbereich Elektrotechnik / Mikroelektronik

Prüfungsfach: **Schaltungstechnik (SC), Sommersemester 2005**

Prüfungstermin: 18. Juli 2005 Studiengruppen: E5 + E14

Prüfungsdauer: 90 Minuten (planmäßig: 10.40 – 12.10 Uhr in HS.54)

Zugelassene Hilfsmittel: Formelsammlung

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: 104 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:

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
---------	-------	--------	-------------------------------

1 Feldeffekt-Transistor in Sourceschaltung (Σ=34P)

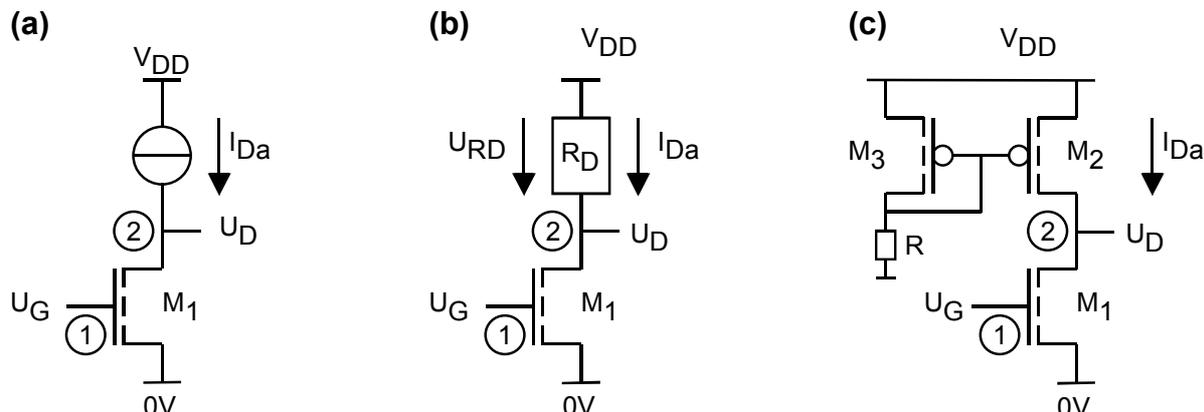


Bild 1.1: (a) Verstärkerstufe mit MOSFET und idealer Stromquelle,
 (b) Verstärkerstufe mit MOSFET und Drain-Widerstand R_D ,
 (c) Verstärkerstufe mit MOSFET und aktiver Last M_2 .

Gegeben: $I_{Da}=100\mu A$, $R_D=25K\Omega$, $\beta=400\mu A/V^2$; Daten für M_1 : $\lambda_1=0,01/V$, $V_{T1}=0,7V$, $\beta_1=\beta$;
 Daten für M_2 : $\lambda_2=0,015/V$, $V_{T2}=-0,7V$, $\beta_2=\beta$. (Verwenden Sie das Modell $g_m = 2\sqrt{\beta I_{Da}}$.)

Zeigen Sie, dass für den Übertragungsleitwert der Stufe in Bild 1.1(a-c) gilt: $G_m \approx 400\mu S$. (2P)

$$G_m = g_{m1} = g_m \approx 2\sqrt{\beta I_D} = 2\sqrt{4 \cdot 10^{-4} AV^{-2} \cdot 10^{-4} A} = 2\sqrt{4 \cdot 10^{-8} A^2 / V^2} = 400\mu S$$

Zeigen Sie, dass für den Drain-Source-Widerstand r_{DS1} in Bild 1.1(a-c) $r_{DS1}=1M\Omega$ gilt. (2P)

$$r_{DS1} = 1/g_{DS1} \approx 1/(\lambda_1 I_{Da}) = 1/((10^{-2}/V) \cdot (10^{-4}A)) = 1/1\mu S = 1M\Omega$$

1.1 Zu Bild 1.1(a): (Σ=6P)

Wie groß ist die Impedanz Z_2 des Ausgangsknotens in Bild 1.1(a) als $f(I_{DS})$ und Wert? (2P)

$$Z_2 = r_{DS1} = \approx 1M\Omega$$

Wie groß ist die Spannungs-Verstärkung der Stufe in Bild 1.1(a) als $f(g_m, r_{DS})$ und als Wert?
 (Hinweis: Wenn sie hier ein Problem haben, machen Sie zuerst Aufgabe 1.5) (2P)

$$-A_v = g_m Z_2 = g_m / g_{DS} = 400\mu S / 1\mu S = 400$$

Wie groß ist die Spannungs-Verstärkung der Transistorstufe in Bild 1.1(a) als $f(\beta, \lambda_1, I_{Da})$? (1P)

$$-A_v = g_m / g_{DS} = 2\sqrt{\beta I_{Da}} / (\lambda_1 I_{Da}) = 2\sqrt{\beta} / (\lambda_1 \sqrt{I_{Da}}) [=0.04 / (0.01^2) = 400]$$

Mit welchem Exponenten geht I_{Da} in diese Formel ein? -0,5 (1P)

1.2 Zu Bild 1.1(b) für $r_{DS} \rightarrow \infty$: (\Sigma=7P)

Wie groß ist die Ausgangsimpedanz Z_2 in Bild 1.1(b) für $r_{DS} \rightarrow \infty$ als $f(R_D)$ und Wert? (2P)

$Z_2 = r_{DS1} || R_D \rightarrow R_D = 25K\Omega$

Wie groß ist die Spannungs-Verstärkung in Bild 1.1(b) für $r_{DS} \rightarrow \infty$ als $f(g_m, R_D)$ und Wert? (2P)

$-A_v = g_m Z_2 = g_m R_D = 0,4mS \cdot 25K\Omega = 10$

Wie groß ist die Spannungs-Verstärkung der Schaltung in Bild 1.1(b) für $r_{DS} \rightarrow \infty$ als $f(U_{RDa}, \beta, I_{Da})$? (Hinweis: $U_{RD} \approx U_{RDa} = I_{Da} R_D$.) (2P)

$-A_v = g_m R_D = 2 \sqrt{\frac{\beta}{I_{Da}}} \cdot (U_{RD} / I_{Da}) = 2 U_{RDa} \sqrt{\frac{\beta}{I_{Da}}} \quad [= 2 \cdot 2,5V \sqrt{\frac{400\mu A / V^2}{100\mu A}} = 10]$

Mit welchem Exponenten geht I_{Da} in diese Formel ein? -0,5 (1P)

1.3 Zu Bild 1.1(b) für endliche r_{DS} : (\Sigma=6P)

Wie groß ist die Ausgangsimpedanz Z_2 in Bild 1.1(b) für endliche r_{DS} als $f(r_{DS}, R_D)$? (1P)

$Z_2 = r_{DS1} || R_D = R_D r_{DS} / (R_D + r_{DS}) \quad [= R_D \cdot 0,9756 = 24,39K\Omega]$

Stellen Sie die Ausgangsimpedanz Z_2 in Bild 1.1(b) als $Z_2 = R_D \cdot F$ dar und geben Sie die Formel für den Faktor als $F = f(R_D, g_{DS})$ an. (Nur Formel) (1P)

$Z_2 = R_D \cdot F \quad \text{mit} \quad F = r_{DS} / (R_D + r_{DS}) = 1 / (1 + g_{DS} \cdot R_D)$

Geben Sie die Formel für den Faktor F an als Funktion von U_{RD} und λ_1 (mit $U_{RD} \approx I_{Da} R_D$). (1P)

$F = 1 / (1 + g_{DS} \cdot R_D) = 1 / (1 + \{ (\lambda_1 I_D) \cdot (U_{RD} / I_D) \}) = 1 / (1 + \lambda_1 U_{RDa}) \quad [= 0,9756]$

Wie groß ist die Spannungs-Verstärkung in Bild 1.1(b) für endliche r_{DS} als $f(\beta, U_{RD}, \lambda_1)$? (Formel und Wert, je 1P) (2P)

$-A_v = g_m Z_2 = g_m R_D \cdot F = 2 \sqrt{\beta I_{Da}} \frac{U_{RDa}}{I_{Da}} / (1 + \lambda_1 U_{RDa}) = \frac{2 U_{RDa}}{1 + \lambda_1 U_{RDa}} \sqrt{\frac{\beta}{I_{Da}}}$
 $-A_v = \frac{2 \cdot 2,5V}{1 + 0,01V^{-1} \cdot 2,5V} \sqrt{\frac{400\mu A / V^2}{100\mu A}} = 4,878V^{-1} \cdot 2V = 9,756$

Mit welchem Exponenten geht I_{Da} in diese Formel ein? -0,5 (1P)

1.4 Zu Bild 1.1(c):

(Σ=9P)

Wie groß sind g_{DS1} und g_{DS2} in Bild 1.1(c) als $f(\lambda_i, I_{Da})$ und Wert? (2P)

$$g_{CE1} = \lambda_1 \cdot I_{Da} = 0,01V^{-1} \cdot 100\mu A = 1\mu S \quad [=1/1M\Omega]$$

$$g_{CE2} = \lambda_2 \cdot I_{Da} = 0,015V^{-1} \cdot 100\mu A = 1,5\mu S \quad [=1/666,7K\Omega]$$

Wie groß ist die Ausgangsimpedanz Z_2 in Bild 1.1(c) als $f(g_{DS1}, g_{DS2})$ und als Wert? (2P)

$$Z_2 = 1 / (g_{DS1} + g_{DS2}) = 1 / (1\mu S + 1,5\mu S) = 400K\Omega$$

Zeigen Sie, dass die Ausgangsimpedanz in Bild 1.1(c) als $Z_2 = 1 / ((\lambda_1 + \lambda_2) I_D)$ darstellbar ist. (1P)

$$Z_2 = 1 / (g_{DS1} + g_{DS2}) = 1 / [(\lambda_1 I_D) + (\lambda_2 I_D)] = 1 / (\lambda_1 + \lambda_2) I_D$$

Wie groß ist die Spannungsverstärkung in Bild 1.1(c) als $f(g_m, Z_2)$ und als Wert? (2P)

$$Z_2 = g_m \cdot Z_2 = 0,4mS \cdot 400K\Omega = 160$$

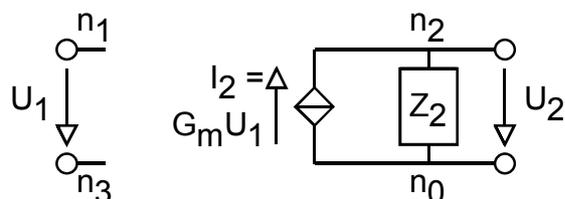
Wie groß ist die Spannungsverstärkung in Bild 1.1(c) als $f(\beta, \lambda_1 + \lambda_2, I_{Da})$? (1P)

$$-A_v = g_m \cdot Z_2 = \frac{2\sqrt{\beta I_{Da}}}{(\lambda_1 + \lambda_2) I_{Da}} = \frac{2}{\lambda_1 + \lambda_2} \sqrt{\frac{\beta}{I_{Da}}} \quad [= \frac{2V}{0,01 + 0,015} \sqrt{\frac{400\mu A / V^2}{100\mu A}} = 160]$$

Mit welchem Exponenten geht I_{Da} in diese Formel ein? -0,5..... (1P)

1.5 Das Grundgesetz der Verstärkung:

(Σ=2P)



Eine Spannung U_1 verursacht einen Strom $I_2 = G_m U_1$, der auf die Impedanz Z_2 gespeist wird. Zeigen Sie, dass das für die Spannungsverstärkung des Systems $A_v = G_m Z_2$ gilt.

$$A_v = \frac{U_2}{U_1} = \frac{I_2 Z_2}{U_1} = \frac{G_m U_1 Z_2}{U_1} = G_m Z_2 \dots\dots$$

Bild 1.5: Das Grundprinzip der Verstärkung:
 U_1 verursacht $I_2 = G_m U_1$ durch Z_2 .

.....

2 Quellen

($\Sigma=12P$)

2.1 Stromquellen

($\Sigma=5P$)

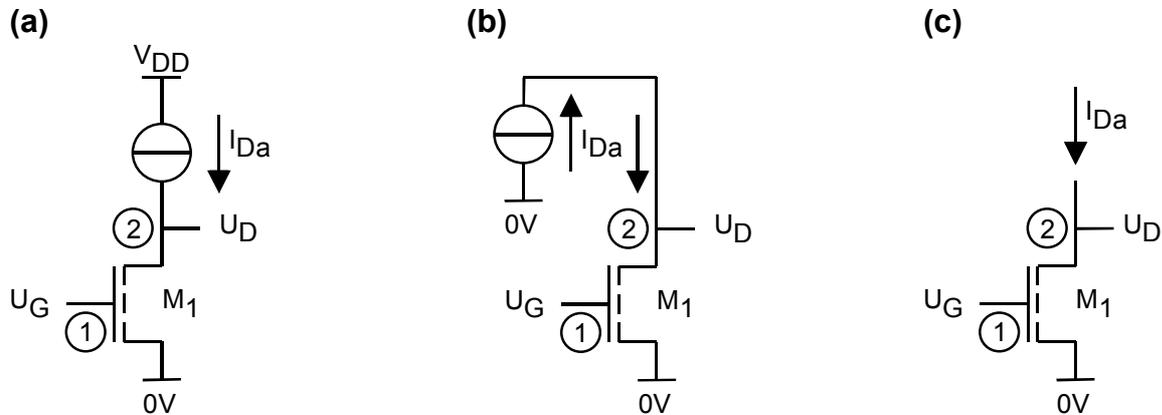


Bild 2.1: Stromquelle mit positivem Pol an (a) V_{DD} , (b) Masse und (c) unbekannt.

Wie groß ist der Innenwiderstand einer idealen Stromquelle?

(1P)

unendlich

Für die Schaltungen in Bild 2.1 liegt der negative Pol der Stromquelle am Drain eines FETs. Der positive Pol liegt in Bildteil (a) an V_{DD} und in Bildteil (b) an Masse. Welcher Unterschied ergibt sich für die Berechnung der beiden Schaltungen?

(1P)

kein Unterschied

Der positive Pol liegt in Bildteil (a) an V_{DD} und in Bildteil (c) ist es undefiniert. Welcher Unterschied ergibt sich für die Berechnung der beiden Schaltungen?

(1P)

kein Unterschied

Bei einer Impedanz ist es wichtig, dass man definiert, zwischen welchen beiden Punkten sie anliegt. Ist dies im speziellen Fall des Innenwiderstandes einer Stromquelle nötig? (Grund!) (2P)

Nein, da die Impedanz ∞ keinen Einfluss hat.

Eine solche Impedanz kann zwischen jedes Knotenpaar eingefügt werden ohne die Schaltungsfunktion zu verändern

2.2 Spannungsquellen

($\Sigma=7P$)

Wie groß ist der Innenwiderstand einer idealen Spannungsquelle?

(1P)

Null

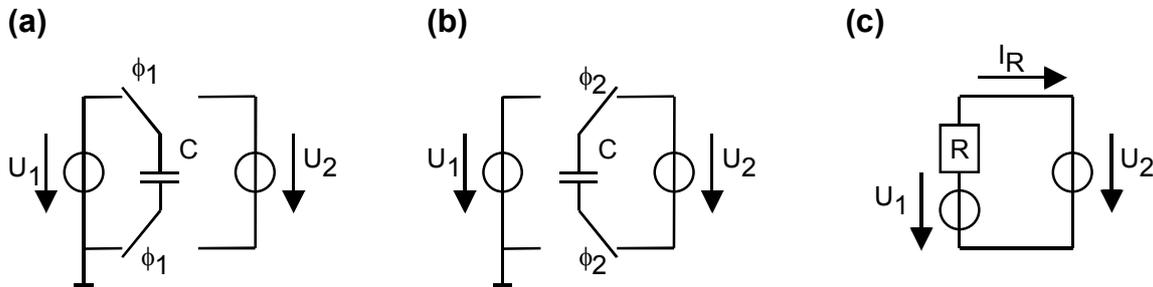


Bild 2.2: (a) C lädt an U_1 , (b) C lädt um auf U_2 , (c) äquivalenter Widerstand und Quelle.

Welche Ladung Q_1 enthält die Kapazität C in Bild 2.2(a)?

(1P)

$$Q_1 = C \cdot U_1$$

Welche Ladung Q_2 enthält die Kapazität C in Bildteil (b)?

(1P)

$$Q_2 = C \cdot U_2$$

Welche Ladung ΔQ transportiert C von der Quelle U_1 in Bildteil (a) nach U_2 in Bildteil (b)?

(1P)

$$\Delta Q = C \cdot (U_1 - U_2)$$

Welchen mittleren Strom I_{cm} transportiert C von der Quelle U_1 in Bildteil (a) nach U_2 in Bildteil (b) wenn der Schalter f mal pro Sekunde hin und her schaltet?

(1P)

$$I_{cm} = f \cdot \Delta Q = f \cdot C \cdot (U_1 - U_2)$$

Welcher Strom I_R fließt durch den Widerstand R von der Quelle U_1 nach U_2 in Bildteil (c)?

(1P)

$$I_R = (U_1 - U_2) / R$$

Welchem mittleren Leitwert G_{equiv} und welchem mittleren Widerstand R_{equiv} entspricht die geschaltete Kapazität?

(1P)

$$\text{Leitwert } G_{equiv} = f \cdot C, \text{ Widerstand } R_{equiv} = 1/fC$$

3 Schaltungstechnik differentieller Verstärker (Σ=10P)

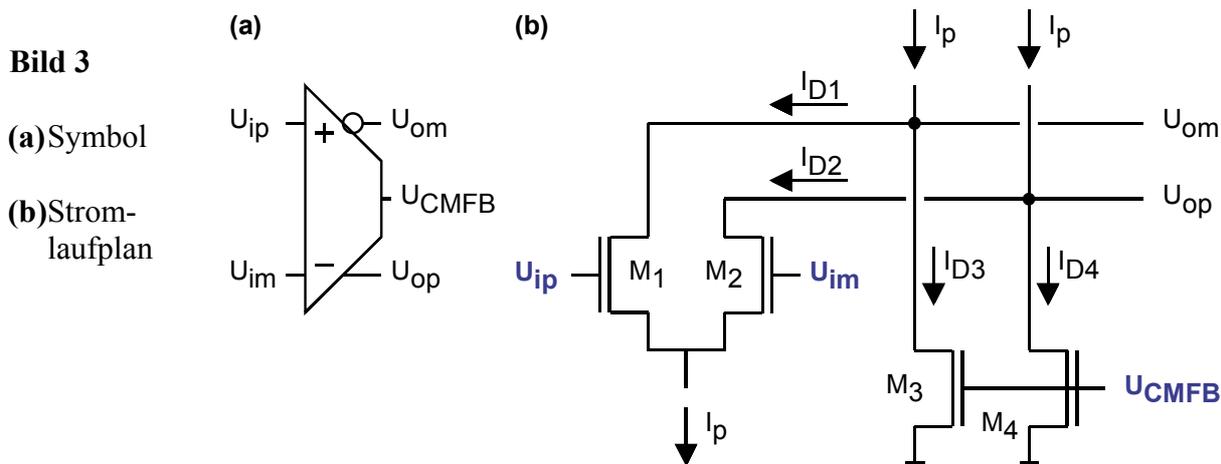


Bild 3(b) zeigt den Stromlaufplan eines diff-in/diff-out Verstärkers. Wie nennt man den Schaltungstyp eines OPs mit dieser Art der Kaskodierung der Transistoren? (1P)

Folded Cascode Verstärker

Bezeichnen Sie drei Schaltungsknoten in Bildteil (b) so, dass die Bildteile (a) und (b) übereinstimmen, also $(U_{op}-U_{om}) = A_V (U_{ip}-U_{im})$ mit $A_V > 0$ und U_{CMFB} passend. (3P)

Lösen Sie das Akronym CMFB auf (1P)

CMFB = Common Mode Feed Back

Wenn wir alle Stromquellen als ideal annehmen, wie groß ist dann die Impedanz Z_2 zwischen den Ausgangsknoten U_{op} und U_{om} (Formel)? (1P)

$$Z_2 = (r_{DS1} + r_{DS2}) \parallel (r_{DS3} + r_{DS4})$$

Wie groß ist der Übertragungsleitwert $G_m = (i_{D1} - i_{D2}) / (u_{ip} - u_{im})$ der differentiellen Eingangsstufe (als Funktion von $g_m = g_{m1} = g_{m2}$)? (1P)

$$G_m = \frac{1}{2} \cdot g_{m1} = \frac{1}{2} \cdot g_{m2}$$

Welche differentielle Kleinsignalverstärkung $A_V = (U_{op} - U_{om}) / (U_{ip} - U_{im})$ erreicht der OP? (1P)

$$A_V = G_m Z_2 = \frac{1}{2} \cdot g_{m1,2} \cdot \{ (r_{DS1} + r_{DS2}) \parallel (r_{DS3} + r_{DS4}) \}$$

Wie groß sind folgende Ströme im Arbeitspunkt (i.e. in $U_{op} - U_{om} = U_{ip} - U_{im} = 0$) als $f(I_p)$? (2P)

$$I_{D1a} = \dots I_p / 2, \dots \quad I_{D2a} = \dots I_p / 2, \dots \quad I_{D3a} = \dots I_p / 2, \dots \quad I_{D4a} = I_p / 2$$

4 Arbeiten mit Operationsverstärkern

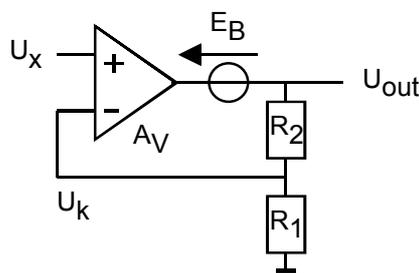
(Σ=16P)

4.1 Verstärkung eines Gleichtaktsignals

(Σ=8P)

Bild 4.1:

Fehlerspannung E_B durch Gleichtaktsignal,
 Daten des OP: $A_V = CMRR = PSRR = 100 \text{ dB}$.



U_x in Bild 4.1 sei ein Signal mit einer Amplitude von 1V. Wie groß ist die Amplitude der Gleichtaktspannung u_{CM} am Eingang des OPs? (Begründen Sie Ihre Antwort.)

(1P)

$u_{CM} = u_x$ wegen dem virtuellem Kurzschluss zwischen U_x und U_k .

Beide Signals bewegen sich miteinander bei sehr kleinem $u_{in,diff}$

Lösen Sie die folgenden Akronyme auf:

(3P)

PSRR = Power Supply Rejection Ratio

CMRR = Common Mode Rejection Ratio

CMR = Common Mode Range

Wie groß ist für den OP in Bild 4.1 das Fehlersignal E_B bei einem Gleichtaktsignal von 1V? (Hinweis: gehen Sie von der Definition des CMRR aus und berechnen Sie die Verstärkung des Gleichtaktsignals $A_{V,CM} = u_{out}/u_{CM}(u_{out})$.)

(4P)

$$CMRR = \frac{A_V}{A_{V,CM}} \Rightarrow A_{V,CM} = \frac{A_V}{CMRR}$$

$$A_{V,CM} |_{dB} = A_V |_{dB} - CMRR |_{dB}$$

4.2 Diff-in / diff-out Verstärker

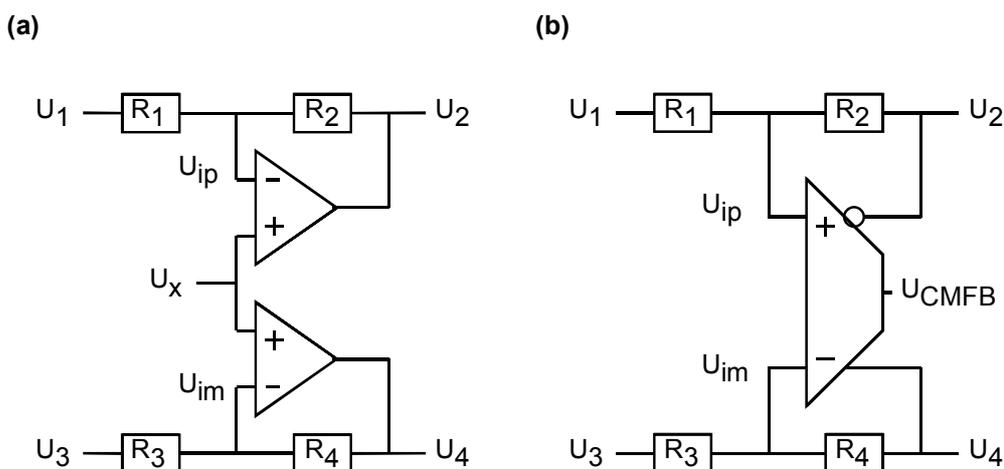
(Σ=8P)

Bild 4.2: diff-in/diff-out

Verstärkung:

(a) mit zwei diff-in / single-ended-out OPs

(b) mit einem diff-in / diff-out OP.



Die Operationsverstärker in Bild 4.2 dürfen als ideal angenommen werden. In Bildteil (a) wird die Spannung U_x , in Bildteil (b) wird die Spannung U_{CMFB} von außen eingeprägt.

Wie berechnen sich U_{ip} und U_{im} in Bildteil (a) als $f(U_1, U_2, U_x)$? (2P)

$U_{ip} = U_{im} = U_x$

Welcher Zusammenhang besteht zwischen U_{ip} und U_{im} in Bildteil (b)? (1P)

$U_{ip} = U_{im} (= U_x)$

Die beiden Schaltungen in Bildteil (a) und (b) werden bis auf die verwendeten OPs identisch aufgebaut und mit gleichen Spannungen U_1 und U_3 versorgt. Zudem wird U_{CMFB} so eingestellt, dass beide Schaltungen die gleiche Spannung U_{ip} haben. Wie unterscheiden sich die Ausgangsspannungen U_2 und U_4 in den beiden Bildteilen? (1P Antwort, 2P Begründung!) (3P)

Sie unterscheiden sich nicht!

Gleiche U_{ip} bedeuten gleiche U_{im} (virtuelle Kurzschlüsse!)

=> gleiche I_{R1} und I_{R2} => gleiche I_{R3} und I_{R4} => gleiche U_2, U_4

Berechnen Sie U_2 für Bildteil (a) (1P)

$U_2 = -(R_2/R_1) U_1 + ((R_1+R_2)/R_1) U_x$ (unabhängig vom anderen OP)

Berechnen Sie U_4 für Bildteil (a) (1P)

$U_4 = -(R_4/R_3) U_3 + ((R_3+R_4)/R_3) U_x$ (unabhängig vom anderen OP)

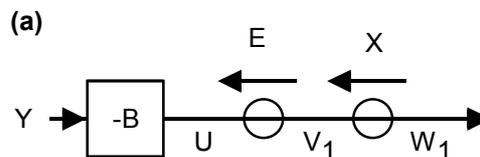
5 Rückgekoppelte, lineare Systeme

(Σ=11P)

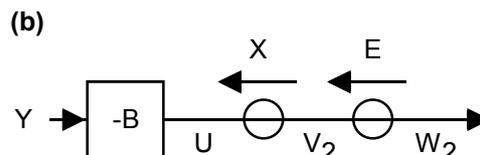
5.1 Herleitung der NTF

Bild 5.1: Studie verschiedener Einspeisungen.

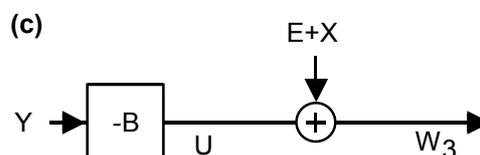
(a) Das Fehlersignal E(error) wird vor der Eingangsgröße X eingespeist.



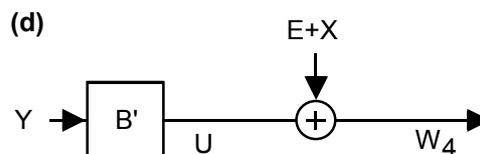
(b) Das Fehlersignal E(error) wird nach der Eingangsgröße X eingespeist.



(c) Die Einspeisung von E und X ist in der Reihenfolge nicht unterscheidbar.



(d) Die Übertragungsfunktion der offenen Schleife wird mit B' bezeichnet, das "-" Zeichen ist dabei kein eigenes Element der Schleifen topologie.



Alle Größen in Bild 5.1 (B, B', E, U, V_i, W_i, X und Y) seien über der Frequenzachse definiert.

Geben Sie W₁ in Bildteil (a) als Funktion von B, E, X und Y an.

(1P)

$$W_1 = -B \cdot Y + E + X$$

Geben Sie W₂ in Bildteil (b) als Funktion von B, E, X und Y an.

(1P)

$$W_2 = -B \cdot Y + X + E$$

Geben Sie W₃ in Bildteil (c) als Funktion von B, E, X und Y an.

(1P)

$$W_3 = -B \cdot Y + (E+X)$$

Muss die Reihenfolge der Größen E und X bekannt sein oder ist eine symbolische Einspeisung wie in den Bildteilen (c,d) ohne Unterscheidbarkeit der Reihenfolge hinreichend?

(1P)

$W_1 = W_2 = W_3$, die Reihenfolge der Einspeisung ist unerheblich

Wir verbinden nun in Bildteil (c) W_3 und Y , so dass $W_3=Y$. Berechnen die Übertragungsfunktion $N=Y/(E+X)$. (1P)

$$-B \cdot Y + (E+X) = W_3 = Y \Rightarrow Y \cdot (1+B) = E+X \Rightarrow$$

$$N = Y / (E+X) = 1 / (1+B)$$

Die Übertragungsfunktion N wird oft auch als NTF bezeichnet. Wofür steht Akronym NTF? (1P)

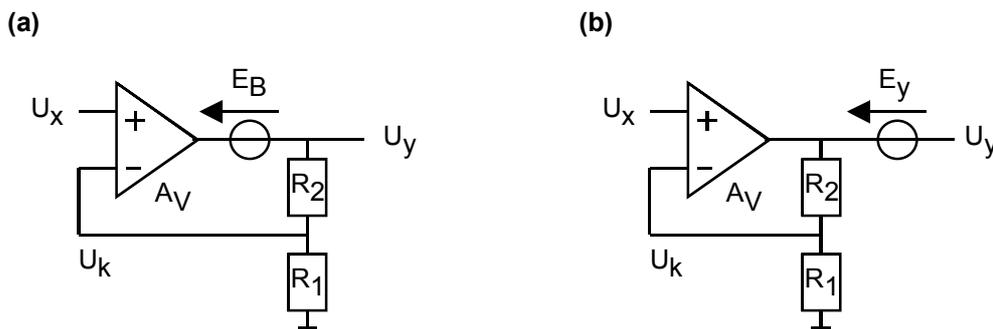
NTF = Noise Transfer Function

Schreiben Sie die NTF als Funktion der Schleifenverstärkung B' , bei der gemäß Bild 5.1(d) das "-" Zeichen kein eigenes Element der Schleifentopologie ist. (1P)

$$NTF(B') = 1 / (1-B')$$

5.2 Anwendung der NTF

Bild 5.2
 (a) E_B : Fehler des Netzwerks B.
 (b) E_Y : Messbarer Ausgangsfehler der Schleife.



In Bild 5.2 sei $A_V=100\text{dB}$, $R_1=1\text{K}\Omega$, $R_2=9\text{K}\Omega$. Geben Sie für diesen Fall die negative Schleifenverstärkung B und die NTF (oder kurz N) an. (Formeln +Werte) (2P)

$$B = A_V \cdot R_1 / (R_1+R_2) = 100.000 \cdot 1 / (1+9) = 10.000$$

$$N = 1 / (1+B) = 1 / (1+10.000) = 1 / 10.001$$

In Bild 5.2(a) erzeugt die Bewegung des Gleichtaktsignals eine Fehlerspannung $E_B=10\text{V}$. Welche Spannung E_Y messen wir am Ausgang U_y ? (Ergebnis als Formel= $f(E_B,N)$ und Wert.) (2P)

$$E_Y = E_B \cdot N = 10\text{V} \cdot 1 / 10.001 \approx 1\text{mV}$$

6 A/D- und D/A-Wandler (Σ=6P)

Die Eigenschaften von A/D- und D/A-Wandlern werden oft den Akronymen INL, DNL und SFDR angegeben. Lösen Sie diese Begriffe auf:

DNL steht für ... **Differential Non-Linearity** (1P)

INL steht für ... **Integral Non-Linearity** (1P)

SFDR steht für ... **Spurious Free Dynamic Range** (1P)

Davon beschreiben ... **DNL und INL** ... die statische und **SFDR** (1P)
die dynamische Performance des Wandlers.

Veranschaulichen Sie in Bild 6 den INL graphisch (1P)

Veranschaulichen Sie in Bild 6 den SFDR graphisch (1P)

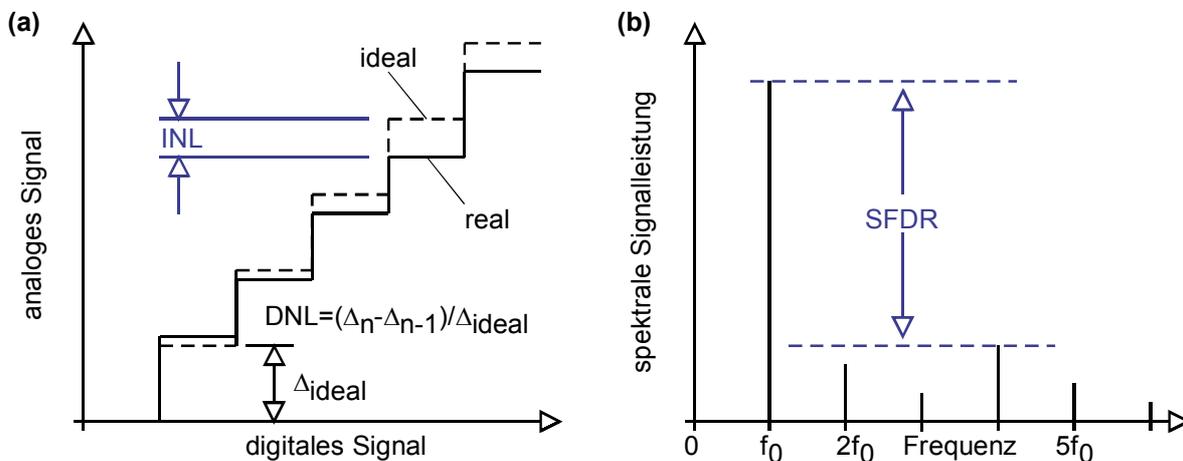


Bild 6: (a) Diagramm der Ein- und Ausgangssignale, (b) Anregung mit $u_{in} = \sin(2\pi f_0)$.

7 Felder, Wellen, Leitungen

(Σ=15P)

Listing 7.1: Steckermodell **BT3BS1E** mit konzentrierten Komponenten L und C

<pre>*****IN*OUT*REF .SUBCKT BT3BS1E 1 2 3 ***** L4 1 4 4.41NH C5 4 3 1.37PF L5 4 2 4.41NH .ENDS BT3BS1E ** END OF EXTERNAL PIN SUBCIRCUIT **</pre>	<p>Induktivität node1 node2 Wert Kapazität node1 node2 Wert Induktivität node1 node2 Wert</p>
---	---

Listing 7.2: Steckermodell **BT3BS1EL** mit Transmission Line Modell

<pre>*****IN*OUT*REF .SUBCKT BT3BS1EL 1 2 3 ***** T4 1 3 2 3 Z0=80 TD=110PS .ENDS BT3BS1EL **END OF EXTERNAL PIN T-LINE SUBCIRCUIT</pre>	<p>Transm. Line n₁ n₂ n₃ n₄ Z₀ τ</p>
--	---

Der Hersteller Samtec bietet für einen Stecker ein Modell **BT3BS1E** gemäß Listing 7.1.

Zur Erinnerung für Studenten, die Probleme mit Spice-Input haben:

* Kommentarzeilen beginnen mit einem "*"

.SUBCKT: Beginn eines Subcircuit, folgend sein Name und die nach außen geführten Knoten

.ENDS: Ende eines Subcircuit, folgend sein Name

C<name>: Kapazität, es folgen zwei Knotennamen und der Wert

L<name>: Induktivität, es folgen zwei Knotennamen und der Wert

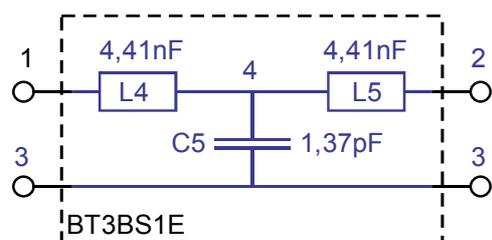
T<name>: Transmission Line, es folgen je zwei Ein- und Ausgangsknoten, Impedanz, Delay

Zeichnen Sie die Innenschaltung des Modells **BT3BS1E** aus Listing 7.1 in Bild 7(a) ein. (Bauelemente mit Namen und Wert (je 1P) sowie Knotennamen (1P).) (4P)

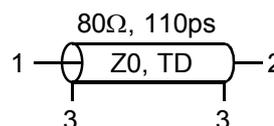
Wie groß sind L und C für diesen als Leitungselement modellierten Stecker? (2P)

$$L = L4 + L5 = 2 \times 4,41 \text{ nH} = 8,82 \text{ nH}, \quad C = 1,37 \text{ pF}$$

(a) **BT3BS1E**



(b) **BT3BS1EL**



(c) hin

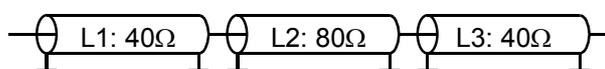


Bild 7(a) Modell **BT3BS1E**, (b) Modell **BT3BS1EL**, (c) 3 Transmissionline Modelle in Serie.

Wie groß sind die mittleren Induktivitäts- und Kapazitätsbeläge L' und C' , wenn wir für den Stecker 5 mm Länge annehmen? (2P)

$$L' = L / 5\text{mm} = 8,82\text{nH} / 0,005\text{m} = 1,764 \mu\text{H/m}$$

$$C' = C / 5\text{mm} = 1,37\text{pF} / 0,005\text{m} = 274 \text{pF/m}$$

Berechnen Sie den Wellenwiderstand für die Leitung in Bild 7(a) (1P)

$$Z_0 = \sqrt{L/C} = \sqrt{8,82\text{nH}/1,37\text{pF}} = 80,24 \Omega$$

Berechnen Sie die Leitungsverzögerung TD für die Leitung in Bildteil (a) (1P)

$$TD = \sqrt{LC} = \sqrt{8,82\text{nH} \cdot 1,37\text{pF}} = 109,9 \text{ps}$$

Ist das Transmissionline-Modell in Bildteil (b) hinsichtlich der Modell-Parameter bis zu mindestens 2 Dezimalstellen (i.e. 1%) passend für das Modell in Bildteil (a)? (Grund?) (1P)

Ja, Z_0 hat einen Fehler von ca. $0,3\% < 1\%$

und TD hat einen Fehler von ca. $0,07\% < 1\%$

Berechnen Sie den Reflexionsfaktor $r_{1,2}$ der hinlaufenden Welle in Bildteil (c), wenn Sie von Leitungselement L_1 auf Leitungselement L_2 läuft. (1P)

$$r_{1,2} = (80\Omega - 40\Omega) / (80\Omega + 40\Omega) = 40/120 = 1/3$$

Die in Leitung 1 hinlaufende Wellenfront U_{hin1} habe eine Höhe von 3,3V. Wie groß ist die an der Schnittstelle 1,2 reflektierte Spannungswelle? (1P)

$$U_{\text{reflected1}} = r_{1,2} \cdot U_{\text{hin1}} = (1/3) \cdot 3,3\text{V} = 1,1\text{V}$$

Berechnen Sie den Reflexionsfaktor $r_{2,3}$ der hinlaufenden Welle in Bildteil (c) wenn Sie von Leitungselement L_2 auf Leitungselement L_3 läuft. (1P)

$$r_{2,3} = (40\Omega - 80\Omega) / (80\Omega + 40\Omega) = -40/120 = -1/3$$

Die in Leitung 2 hinlaufende Wellenfront U_{hin2} habe eine Höhe von 2,2V. Wie groß ist die an der Schnittstelle 2,3 reflektierte Spannungswelle? (1P)

$$U_{\text{reflected2}} = r_{2,3} \cdot U_{\text{hin2}} = (-1/3) \cdot 2,2\text{V} = -0,733\text{V}$$