

# Klausur zur Vorlesung Schaltungstechnik

TU Berlin, Sommersemester 2012, 27.07.2012, 12:00 – 15:00

Name (Nachname, Vorname):
Matr.-Nr.:
Studiengang:
BSc / MSc / Diplom:
Erasmus- oder Gast-Student/in: Ja <input type="checkbox"/> Nein <input type="checkbox"/>

Aufgabe:	Punkte:
1	/ 20
2	/ 42
3	/ 24
4	/ 24
5	/ 14
Gesamt:	/ 124

Note:	Datum:	Unterschrift:
-------	--------	---------------

### Aufgabe 1:

Gegeben ist die unten skizzierte Logik-Schaltung.

- a) Geben Sie die logischen Ausdrücke für  $y$  und für  $z$  an, die mit dieser Schaltung realisiert werden. 4
- b) Vervollständigen Sie die unten angelegte Wahrheitstabelle. Geben Sie auch die Zustände an den beiden inneren Knoten ( $e$  und  $f$ ) der Schaltung an. 4
- c) Entwerfen Sie eine Schaltung ausschließlich aus Invertern und NAND-Gattern, die die logischen Ausdrücke für  $y$  und  $z$  aus Aufgabenteil a) realisiert. Berechnen Sie ggf. zunächst die entsprechenden Ausdrücke und Zwischenschritte mit Hilfe der DeMorgan'schen Gesetze und skizzieren Sie die resultierende Gesamtschaltung. 10
- d) Nehmen Sie an, die in c) realisierte Schaltung wird mit Hilfe von Standard-CMOS-Logik umgesetzt. Geben Sie die Anzahl der Transistoren an, die Ihre Schaltung benötigt. 2

**Summe: 20**

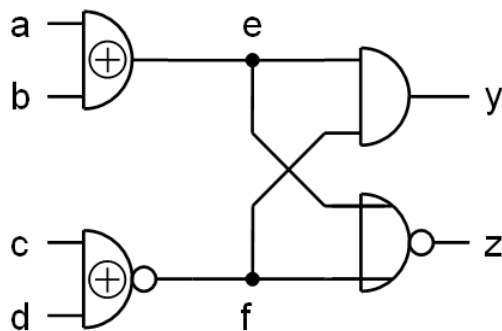


Abbildung zu Aufgabe 1

Name (Nachname, Vorname):	Matr.-Nr.:
---------------------------	------------

<b>a</b>	<b>b</b>	<b>c</b>	<b>d</b>				
0	0	0	0				
1	0	0	0				
0	1	0	0				
1	1	0	0				
0	0	1	0				
1	0	1	0				
0	1	1	0				
1	1	1	0				
0	0	0	1				
1	0	0	1				
0	1	0	1				
1	1	0	1				
0	0	1	1				
1	0	1	1				
0	1	1	1				
1	1	1	1				

*Wahrheitstabelle zu Aufgabe 1*

## Aufgabe 2:

Die unten gegebene Abbildung zeigt einen einfachen Differenzverstärker mit weiteren Elementen zur Einstellung des Arbeitspunktes der Schaltung. Die Betriebsspannung  $U_{DD}$  beträgt 3.3 V. Technologie- bzw. Transistorkenngrößen sind  $L_{min} = 0.35 \mu\text{m}$ ,  $k_n = 150 \mu\text{A} / \text{V}^2$ ,  $U_{th,n} = 0.6 \text{ V}$ ,  $k_p = 60 \mu\text{A} / \text{V}^2$ ,  $U_{th,p} = 0.7 \text{ V}$ ,  $\lambda_n = 0.15 / \text{V}$ ,  $\lambda_p = 0.1 / \text{V}$ . Alle Transistoren haben eine Kanallänge  $L = 1.0 \mu\text{m}$  und sollen mit einer effektiven Gatespannung von 200 mV betrieben werden.

- Identifizieren und benennen Sie bekannte Teilschaltungen möglichst genau. 4
- Welches ist der invertierende, welches der nicht-invertierende Eingang (kurze Begründung angeben oder skizzieren, ohne Begründung oder Skizze keine Punkte). 2
- Der Wert des Widerstandes  $R$  beträgt  $80 \text{ k}\Omega$ . Geben Sie den Strom an, von dem  $T_{11}$  und der Widerstand  $R$  durchflossen werden und berechnen Sie die Weite von  $T_{11}$  (Formeln und Werte). Hinweis: Verwenden Sie bei der Berechnung des Transistorstromes eine Näherungsformel, d.h., vernachlässigen Sie den über den Parameter  $\lambda$  modellierten Effekt der Kanallängenmodulation. 4
- Dimensionieren Sie die Weite von  $T_{12}$  so, dass beide Zweige der Differenzverstärkerstufe von einem Strom von jeweils  $48 \mu\text{A}$  durchflossen werden. 2
- Dimensionieren Sie die Weiten aller übrigen Transistoren ( $T_{21}$ ,  $T_{22}$ ,  $T_{31}$ ,  $T_{32}$ ). 4
- Geben Sie die minimale und die maximale Gleichtakt- (oder Common-Mode-) Eingangsspannung an unter der Bedingung, dass alle Transistoren der Eingangsstufe im Sättigungsbereich betrieben werden. Geben Sie dazu jeweils eine kurze Skizze (oder Erklärung) und die entsprechenden Spannungswerte an. 6
- Erweitern Sie die Schaltung ausgangsseitig um eine Sourcefolger-Stufe mit p-MOS-Eingangstransistor, skizzieren Sie die erhaltene Schaltung, und dimensionieren Sie die Weite der zusätzlichen Transistoren ( $L = 1.0 \mu\text{m}$ , effektive Gatespannung = 200 mV) so, dass die Sourcefolger-Stufe von einem Strom von  $120 \mu\text{A}$  durchflossen wird. 6
- Geben Sie die Kleinsignal-Spannungsverstärkung der gesamten Schaltung aus g) an (Näherungs-Formel(n) und Wert). 10
- Geben Sie den Ausgangswiderstand der Schaltung aus g) an (Formel und Wert). 4

**Summe: 42**

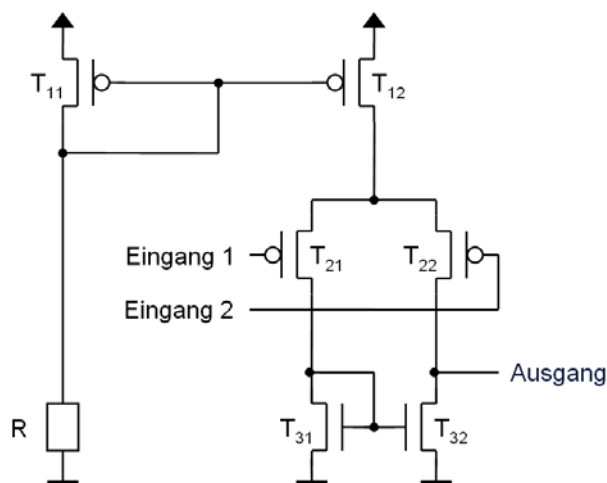


Abbildung zu Aufgabe 2

### Aufgabe 3:

Die unten stehende Abbildung zeigt eine weitere Variante eines Stromspiegels in CMOS-Technik, den sog. einfachen Wilson-Stromspiegel, der im Vergleich mit einem einfachen Stromspiegel bestehend aus nur zwei Transistoren einen höheren Ausgangswiderstand besitzt.

Nehmen Sie an, dass die Schaltung aus drei völlig identischen Transistoren besteht.

- a) Zeichnen Sie ein Kleinsignal-Ersatzschaltbild der Schaltung mit allen relevanten Größen. 4
- b) Bestimmen Sie den Ausgangswiderstand der Schaltung (Formel). Geben Sie für den berechneten Wert des Ausgangswiderstandes eine sinnvolle Näherung an sofern möglich. 10  
Beachten Sie bei der Rechnung, dass die Rückwirkung des Ausgangszweiges auf den Eingang dazu führt, dass die Kleinsignalspannung am Eingang nicht notwendigerweise = 0 ist. Sie dürfen lediglich davon ausgehen, dass eingangsseitig kein Kleinsignalstrom in die Schaltung eingeprägt wird!
- c) Ein Nachteil dieser einfachen Wilson-Stromspiegel-Variante ist, dass ein geringer systematischer Fehler zwischen Ein- und Ausgangsstrom auftritt: Begründen Sie kurz und prägnant, wieso (bei völlig identischen Transistoren) der Ausgangsstrom immer geringfügig kleiner ist als der Eingangsstrom. 2
- d) Die Transistoren sollen nun folgende Transistorkenngrößen aufweisen:  $k = 80 \mu\text{A} / \text{V}^2$ ,  $U_{th} = 0.65 \text{ V}$ ,  $W/L = 120$ . 8  
Geben Sie bei einem Eingangsstrom von  $0.3 \text{ mA}$  an, welche Spannung sich am Eingang der Schaltung einstellt. Geben Sie ferner an, welche Spannung am Ausgang der Schaltung minimal angelegt werden muss, damit alle Transistoren der Schaltung in Sättigung sind, so dass die Schaltung ordnungsgemäß funktioniert. (Beides mit Begründung und / oder Skizze).

Summe: 24

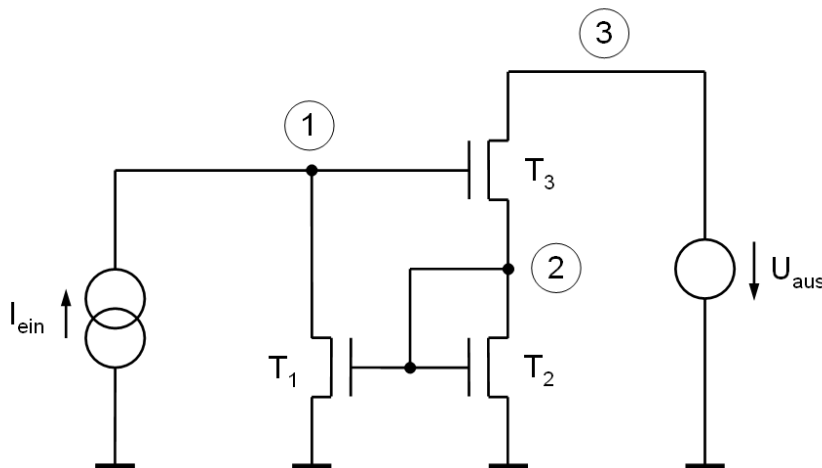


Abbildung zu Aufgabe 3

#### Aufgabe 4:

Die unten gezeigte Schaltung zeigt eine spannungsgesteuerte Stromquelle, die einen Strom  $I_L$  proportional zur angelegten Spannung  $U_{ein}$  in das Lastelement  $R_L$  unabhängig von dessen Widerstand einprägt.

- a) Identifizieren und benennen Sie bekannte Teilschaltungen. 2
- b) Berechnen Sie nun den Strom  $I_L$  durch das Lastelement als Funktion der Eingangsspannung und des Wertes von  $R_1$ . 6

Hinweis: Bedenken Sie dabei, dass  $I_L$  und der Strom durch  $R_1$  identisch sind.

- c) Die Operationsverstärker werden nun mit einer symmetrischen Betriebsspannung von  $U_{DD} = +5\text{ V}$  und  $U_{SS} = -5\text{ V}$  betrieben. Die Eingänge und Ausgänge aller Operationsverstärker sollen bis zu den Betriebsspannungsgrenzen hin aussteuerbar sein. Es wird  $R_1 = 100\ \Omega$  gewählt. 10

Skizzieren Sie  $I_L$  und die Spannung am Ausgang von  $OP_1$  (Knoten 3),  $U_3$ , als Funktion von  $U_{ein} = U_{SS} \dots U_{DD}$  für  $R_L = 25\ \Omega$  und für  $R_L = 150\ \Omega$ .

Berechnen Sie dazu zunächst den maximalen Aussteuerbereich für  $U_{ein}$ , innerhalb dessen der lineare Bezug zwischen  $I_L$  und  $U_{ein}$  gegeben ist und berechnen Sie auch die Ströme an den Grenzen dieses Aussteuerbereiches.

Vorgefertigte Diagramme liegen auf der Folgeseite an. Tragen Sie in diese Diagramme quantitative Werte und Einheiten ein, sofern noch nicht geschehen.

- d)  $OP_4$  wird nun durch einen Kurzschluss zwischen den Knoten ersetzt, die vormals mit seinem nicht-invertierenden Eingang und seinem Ausgang verbunden waren. Funktioniert die Schaltung noch korrekt? 2

(Ja / Nein, Begründung, ohne Begründung keine Punkte)

- e)  $OP_3$  der Schaltung wird nun durch einen Kurzschluss zwischen den Knoten ersetzt, die vormals mit seinem nicht-invertierenden Eingang und seinem Ausgang verbunden waren. Funktioniert die Schaltung noch korrekt? 4

(Ja / Nein, Begründung, ohne Begründung keine Punkte)

**Summe: 24**

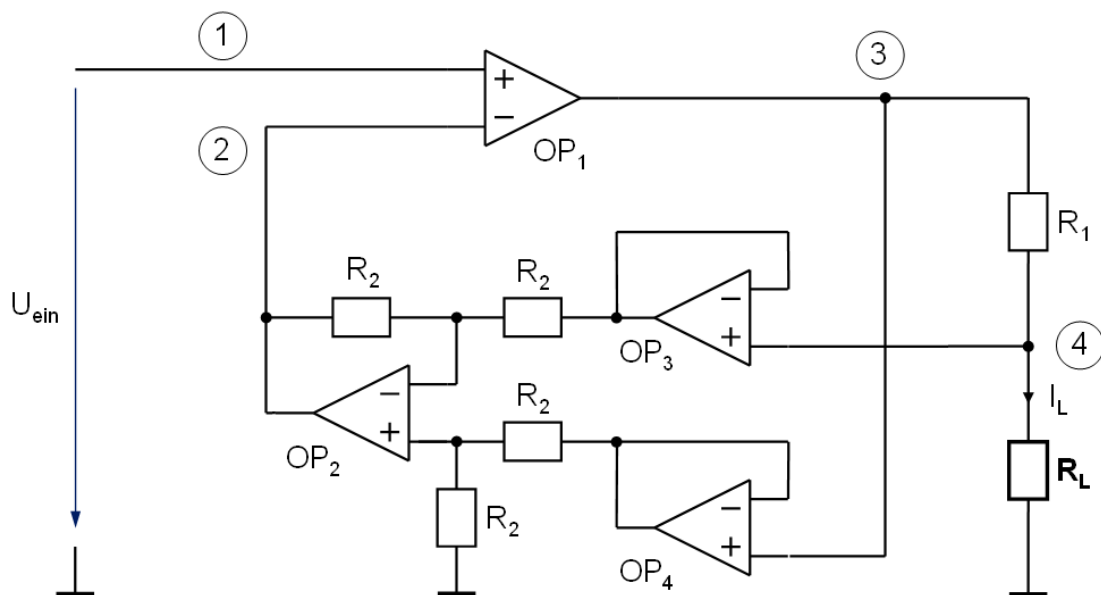
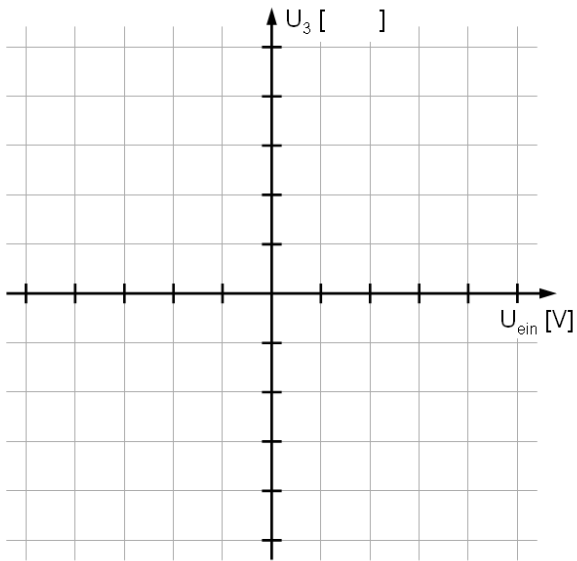


Abbildung zu Aufgabe 4

Name (Nachname, Vorname):	Matr.-Nr.:
---------------------------	------------

$R_L = 25 \Omega$



$R_L = 150 \Omega$

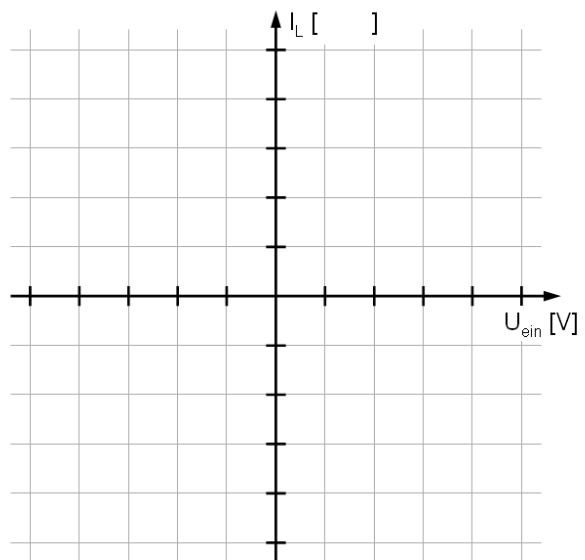
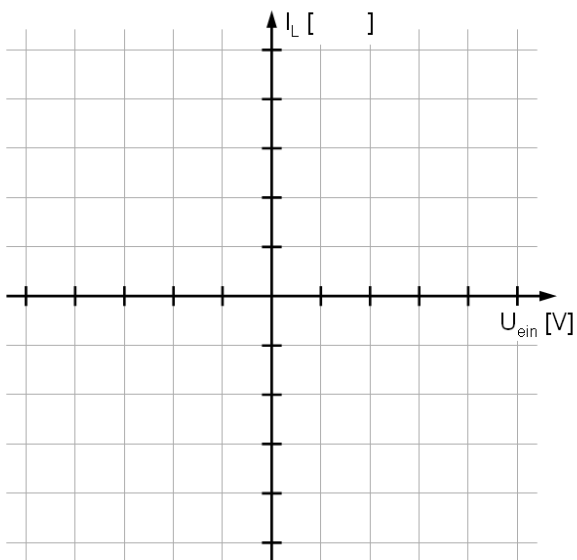
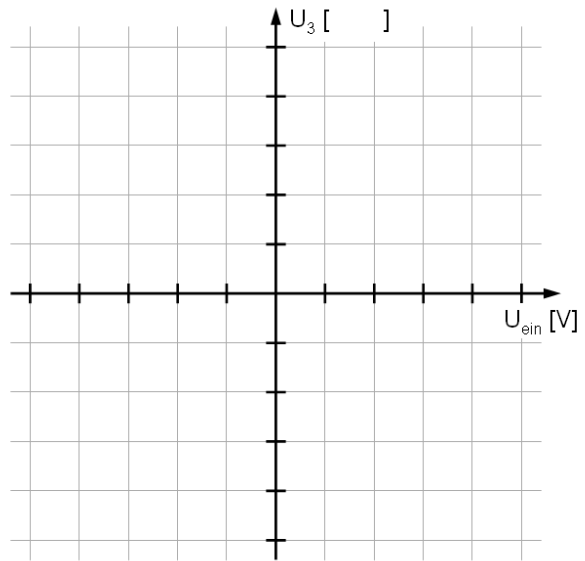


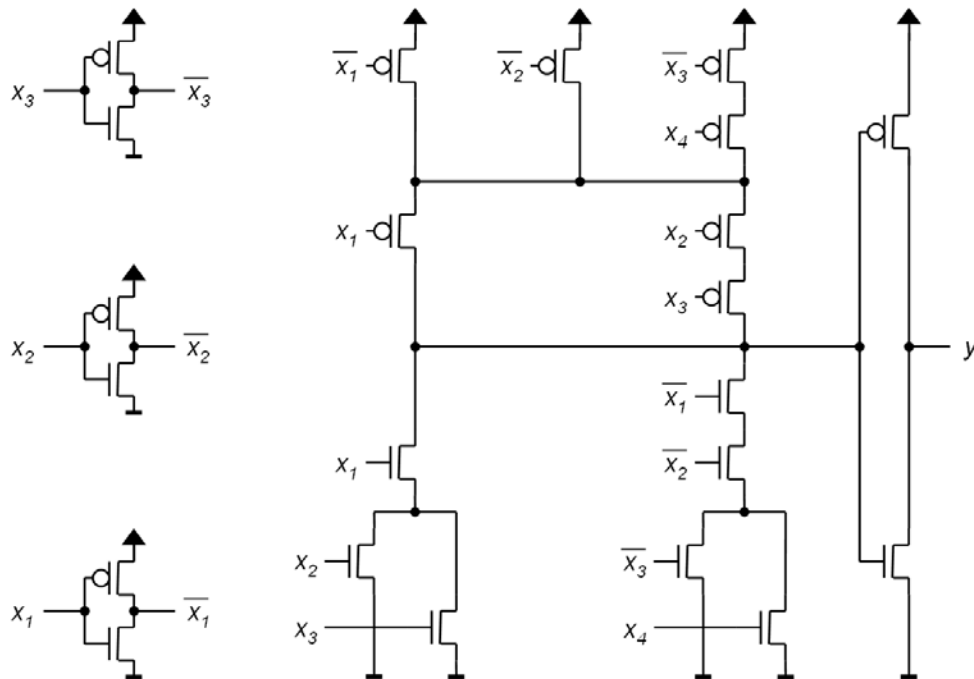
Diagramme zu Aufgabe 4

### Aufgabe 5:

Gegeben ist die angegebene Schaltung, die eine logische Verknüpfung realisiert.

- Ermitteln Sie den logischen Ausdruck, den diese Schaltung realisiert. (Hinweis: Jede mögliche Kombination der Eingangsvariablen führt zu definierten Ausgangszuständen.) 4
- Geben Sie die ein zugehöriges KV-Diagramm an. 4
- Setzen Sie diese Funktion mit den Grundgattern NAND, NOR, Inverter um und skizzieren Sie die sich ergebende Schaltung. 6

**Summe: 14**



*Abbildung zu Aufgabe 5*