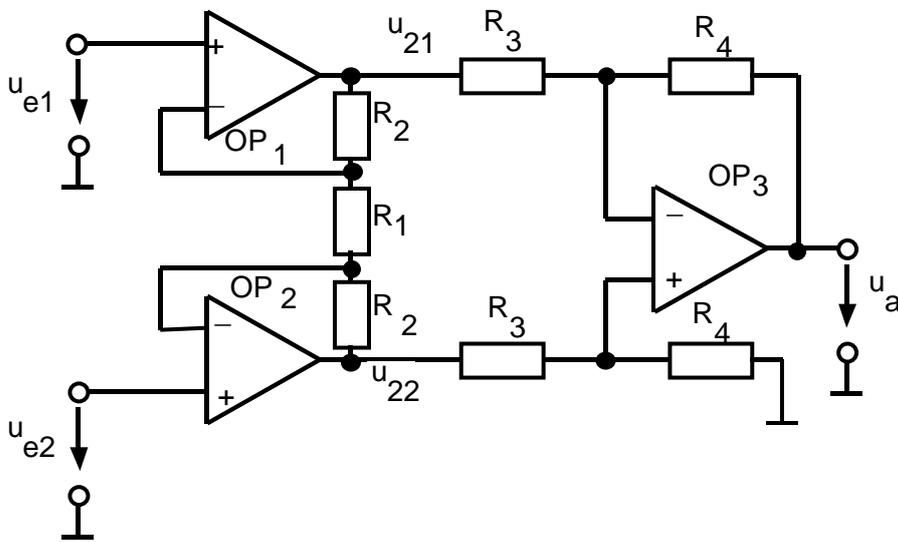


Lösung Aufgabe 23



23.1 Die beiden Verstärker OP₁ und OP₂ sind als nicht invertierende Verstärker geschaltet, OP₃ ist ein Subtrahierer.

23.2 Allgemein gilt für den "Instrumentation Amplifier":

$$u_a = \frac{R_4}{R_3} (u_{22} - u_{12}) = \frac{R_4}{R_3} \cdot \left(1 + \frac{2 R_2}{R_1} \right) (u_{e2} - u_{e1}) = A \cdot (u_{e2} - u_{e1})$$

Herleitung:

An den Widerständen R₂-R₁-R₂ liegen an den Punkten 1-4 folgenden Spannungen an:

- 1: u₂₁
- 2: u_{e1} (nichtinvertierender Verstärker ⇒ U_D am Eingang des OP = 0)
- 3: u_{e2} (nichtinvertierender Verstärker ⇒ U_D am Eingang des OP = 0)
- 4: u₂₂

Da in die Eingänge der OP-Verstärker kein Strom fließt, ist der Strom zwischen den Punkten 1 und 4 konstant, d.h. der Strom durch R₁ ist gleich dem Strom durch die Widerstände R₂.

Da Punkt 4 der Schaltung am nichtinvertierenden Eingang des nachfolgenden Subtrahierers liegt, soll der Strom von (4) nach (1) fließen. Es ist dann:

$$u_{41} = i \cdot (R_2 + R_1 + R_2) = i \cdot (R_1 + 2 \cdot R_2)$$

mit

$$i = \frac{(u_{e2} - u_{e1})}{R_1}$$

wird

$$u_{41} = (u_{22} - u_{21}) = \left(1 + \frac{2 R_2}{R_1} \right) (u_{e2} - u_{e1}) = A \cdot (u_{e2} - u_{e1})$$

Der nachfolgende Subtrahierverstärker hat als Eingangsspannung am nichtinvertierenden Eingang $u'_{e2}=u_{22}$ und am invertierenden Eingang $u'_{e1}=u_{12}$ anliegen.

Die Ausgangsspannung des Subtrahierverstärkers ist: (Skript Gl. 5.25)

$$u_a = \frac{R_4}{R_3} (u'_{e2} - u'_{e1}) = \frac{R_4}{R_3} (u_{22} - u_{12})$$

Damit wird die Ausgangsspannung der Gesamtschaltung zu:

$$u_a = \frac{R_4}{R_3} (u_{22} - u_{12}) = \frac{R_4}{R_3} \cdot \left(1 + \frac{2 R_2}{R_1}\right) (u_{e2} - u_{e1}) = A \cdot (u_{e2} - u_{e1})$$

Wenn beim Subtrahierer $R_3=R_4$ ist wird daraus (Skript, Gl. 5.37):

$$u_a = u_{22} - u_{12} = \left(1 + \frac{2 R_2}{R_1}\right) (u_{e2} - u_{e1}) = A \cdot (u_{e2} - u_{e1})$$

$$A = \left(1 + \frac{2 R_2}{R_1}\right) = 1 + \frac{1020 \text{ k}\Omega}{10,303 \text{ k}\Omega} = 1 + 99 = 100$$

23.3 $R_3 \neq R_4$ d.h., der Subtrahierer hat ebenfalls noch eine Verstärkung $\neq 1$

$$u_a = \frac{R_4}{R_3} (u_{22} - u_{12}) = \frac{R_4}{R_3} \cdot \left(1 + \frac{2 R_2}{R_1}\right) (u_{e2} - u_{e1}) = A \cdot (u_{e2} - u_{e1})$$

$$A = \frac{R_4}{R_3} \left(1 + \frac{2 R_2}{R_1}\right) = \frac{20 \text{ k}\Omega}{10 \text{ k}\Omega} \left(1 + \frac{1020 \text{ k}\Omega}{10,303 \text{ k}\Omega}\right) = 2 \cdot (1 + 99) = 200$$

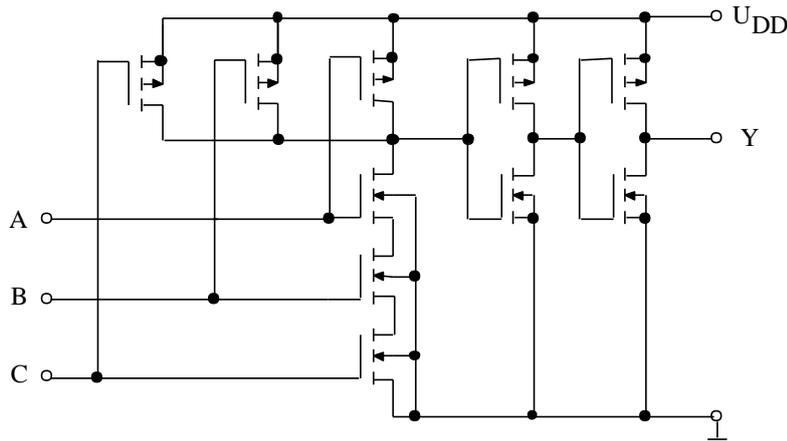
23.4

$$A = \left(1 + \frac{2 R_2}{R_1}\right) \Rightarrow R_1 = \frac{2 R_2}{A-1} = \frac{2 \cdot 510 \text{ k}\Omega}{999} = 1024 \Omega$$

Lösung Aufgabe 24

24.1 Bestimmen Sie die logische Funktion und ergänzen Sie die Wahrheitstabelle!

Schaltung analysieren: CMOS Gatter mit 3 Eingängen.
 Erste Stufe: NAND
 Nachfolgend: zwei Inverter als Treiberstufe
 ⇒ NAND



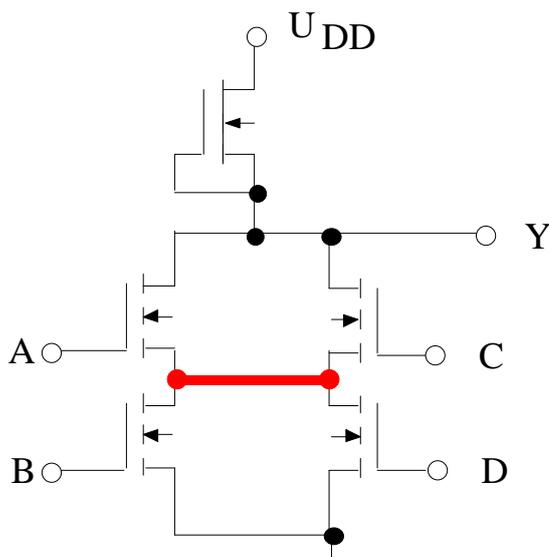
Wahrheitstabelle:

A	B	C	Y
1	1	1	0
1	0	1	1
0	1	1	1
0	0	1	1
1	1	0	1
1	0	0	1
0	1	0	1
0	0	0	1

logische Funktion:
NAND

Bild 24.1

24.2 Modifizieren Sie die folgende Schaltung derart, dass die nebenstehende Wahrheitstabelle erfüllt wird!



Wahrheitstabelle:

A	B	C	D	Y
1	1	1	1	0
1	0	1	1	0
0	1	1	1	0
0	0	1	1	0
1	1	0	1	0
1	0	0	1	0
0	1	0	1	1
0	0	0	1	1
1	1	1	0	0
1	0	1	0	1
0	1	1	0	0
0	0	1	0	1
1	1	0	0	0
1	0	0	0	1
0	1	0	0	1
0	0	0	0	1

Bild 22.2

Lösung Aufgabe 25

25.1 Verzögerungs- und Gatterlaufzeiten, Anstiegs- und Abfallzeiten

Zur Bestimmung der Verzögerungszeiten und der Gatterlaufzeit wird der 50%-Wert des Signalpegels benötigt.

Aus Bild 1.2 : $H = 5 \text{ V}$, $L = 0 \text{ V} \Rightarrow 50\% = 2,5 \text{ V}$

Definition: t_{pdLH} : Eingang: $H \rightarrow L$, Ausgang: $L \rightarrow H$

t_{pdHL} : Eingang: $L \rightarrow H$, Ausgang: $H \rightarrow L$

1. t_{pdLH} : aus Bild Zeitpunkte der 50%-Werte ablesen:

$$t_{UI} = 5 \text{ ns} \quad t_{UQ} = 10 \text{ ns} \Rightarrow t_{pdLH} = 5 \text{ ns}$$

2. t_{pdHL} : $t_{UI} = 17 \text{ ns} \quad t_{UQ} = 20 \text{ ns} \Rightarrow t_{pdHL} = 3 \text{ ns}$

Definition:

Anstiegs- und Abfallzeiten werden zwischen 10% und 90% des Pegels der Ausgangsspannung gemessen.

$$10\% = 0,5 \text{ V}, 90\% = 4,5 \text{ V} \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} t_r &= 12,4 \text{ ns} - 7,6 \text{ ns} = 4,8 \text{ ns} \\ t_f &= 21,6 \text{ ns} - 18,4 \text{ ns} = 3,2 \text{ ns} \end{aligned}$$

Definition:

Die Gatterlaufzeit ist der Mittelwert der beiden Verzögerungszeiten t_{pdLH} und t_{pdHL} .

$$t_{pd} = \frac{1}{2} (t_{pdLH} + t_{pdHL}) = \frac{1}{2} (5 + 3) \text{ ns} = 4 \text{ ns}$$

25.2 Übertragungskennlinie

Wichtig: immer zuerst Winkelhalbierende eintragen.

Der Schnittpunkt der Übertragungskennlinie und der Winkelhalbierenden wird als U^* gekennzeichnet (aus Bild: $1,5 \text{ V}$)

$$\begin{aligned} \text{Bestimmung von } \Delta U_H \text{ und } \Delta U_L : \quad \Delta U_H &= U_H - U^* = 5 \text{ V} - 1,5 \text{ V} = 3,5 \text{ V} \\ \Delta U_L &= U^* - U_L = 1,5 \text{ V} - 0 \text{ V} = 1,5 \text{ V} \end{aligned}$$

Bestimmung von Z_H und Z_L :

$$\Delta U \text{ aus Übertragungskennlinie ermitteln: } \Delta U = U_H - U_L = 5 \text{ V}$$

$$Z_H = \frac{\Delta U_H}{\Delta U} = \frac{3,5 \text{ V}}{5 \text{ V}} = 0,7 = 70\%$$

$$Z_L = \frac{\Delta U_L}{\Delta U} = \frac{1,5 \text{ V}}{5 \text{ V}} = 0,3 = 30\%$$

Lösung Aufgabe 26

Zwei Inverter mit einem n-Kanal Feldeffekt-Transistor und einem Lastwiderstand bzw. Lasttransistor.

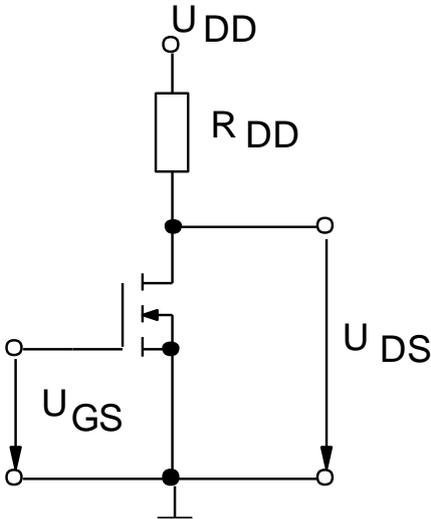
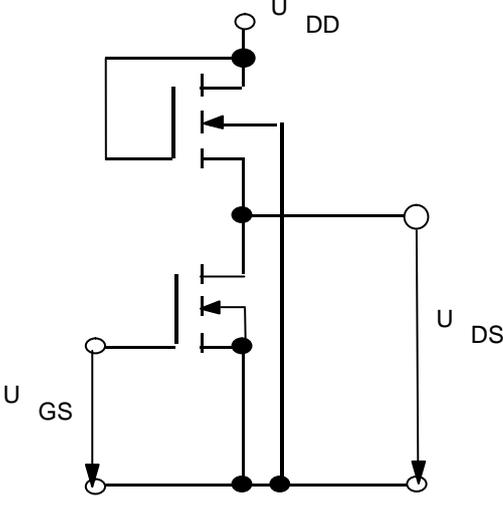
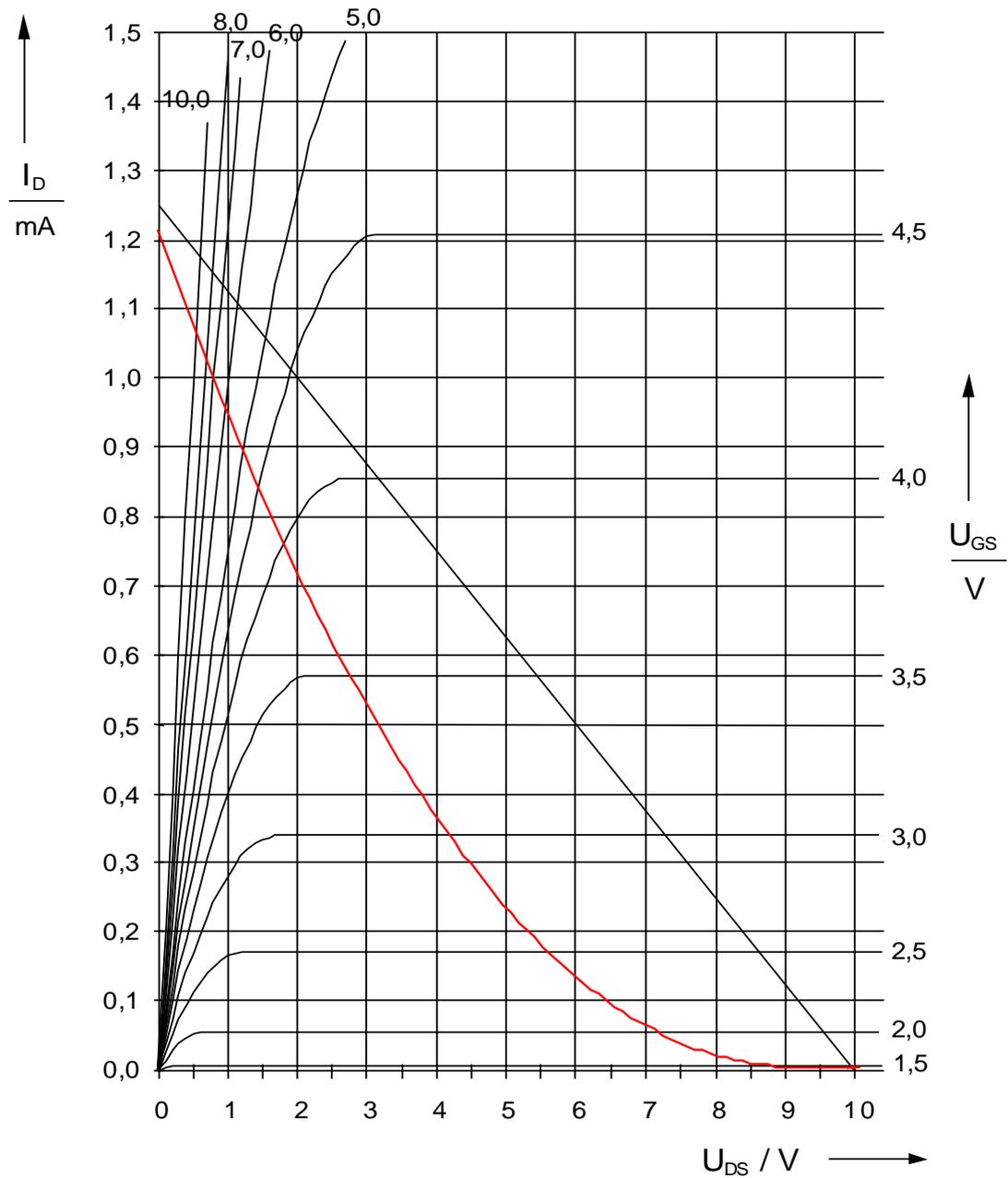


Bild 26.1





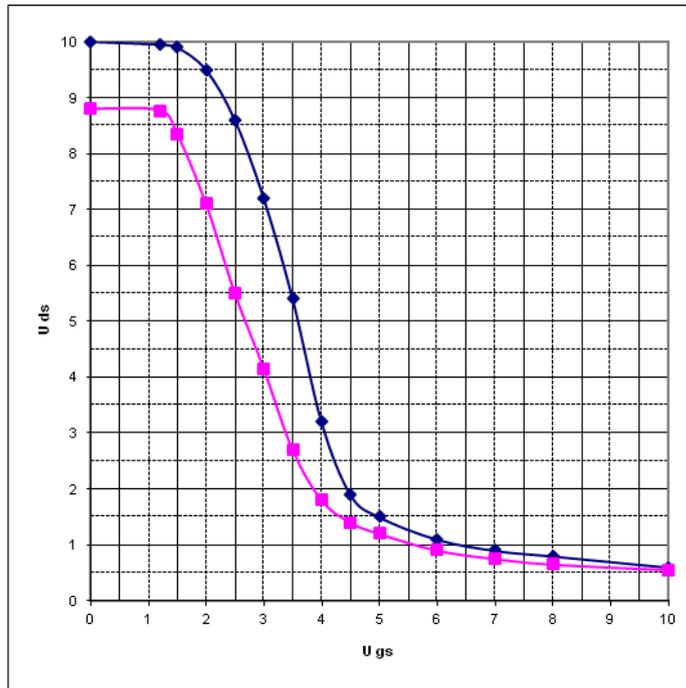
26.1 Lastgerade in Kennlinienfeld einzeichnen

1. Punkt: $I = 0, U = 10 \text{ V}$

2. Punkt: $U = 0, I = 10 \text{ V} / 8 \text{ k}\Omega = 1,25 \text{ mA}$

Wertepaare U_{GS}, U_{DS} (Schnittpunkte der Kennlinien mit der Lastgeraden bzw. Lastkurve) aus Kennlinienfeld ermitteln !

U_{GS}	U_{DS} (a)	U_{DS} (b)
0 V	10 V	8,8 V
1,5 V	9,9 V	8,35 V
2,0 V	9,5 V	7,1 V
2,5 V	8,6 V	5,5 V
3,0 V	7,2 V	4,15 V
3,5 V	5,4 V	2,7 V
4,0 V	3,2 V	1,8 V
4,5 V	1,9 V	1,4 V
5,0 V	1,5 V	1,2 V
6,0 V	1,1 V	0,9 V
7,0 V	0,9 V	0,75 V
8,0 V	0,8 V	0,65 V
10,0 V	0,6 V	0,55 V



26.2 Ermitteln Sie aus dem Kennlinienfeld die Steilheit S des Transistors zwischen $U_{GS} = 2 \text{ V}$ und $U_{GS} = 3 \text{ V}$ und zwischen $U_{GS} = 3,5 \text{ V}$ und $U_{GS} = 4,5 \text{ V}$!

$$S = \frac{\Delta I_D}{\Delta U_{GS}} \quad \text{mit } \Delta U_{GS} = 1 \text{ V}$$

Aus Kennlinienfeld ΔI_D für beide Fälle ablesen.

⇒ $S_1 = 290 \mu\text{S}$
 und $S_2 = 640 \mu\text{S}$ (wird jedoch wegen der Strombegrenzung der Last in beiden Fällen nicht erreicht!!!)

26.3 Am Eingang der Schaltung: $U_{GS} = 10 \text{ V}$.
 Verlustleistung der Inverter für diesen Fall !

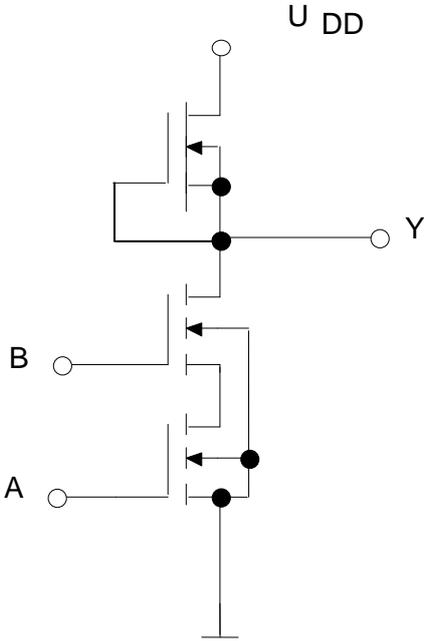
$$P = U_{DD} \cdot I_D$$

I_D aus Kennlinienfeld (Schnittpunkt Lastgerade bzw. Lastkurve mit Kennlinie für $U_{GS} = 10 \text{ V}$)
 ablesen: a) $I_D = 1,17 \text{ mA}$ bzw. b) $I_D = 1,06 \text{ mA}$

a) $P = U_{DD} \cdot I_D = 10 \text{ V} \cdot 1,17 \text{ mA} = 11,7 \text{ mW}$
 b) $P = U_{DD} \cdot I_D = 10 \text{ V} \cdot 1,06 \text{ mA} = 10,6 \text{ mW}$

Lösung Aufgabe 27

27.1



27.2

