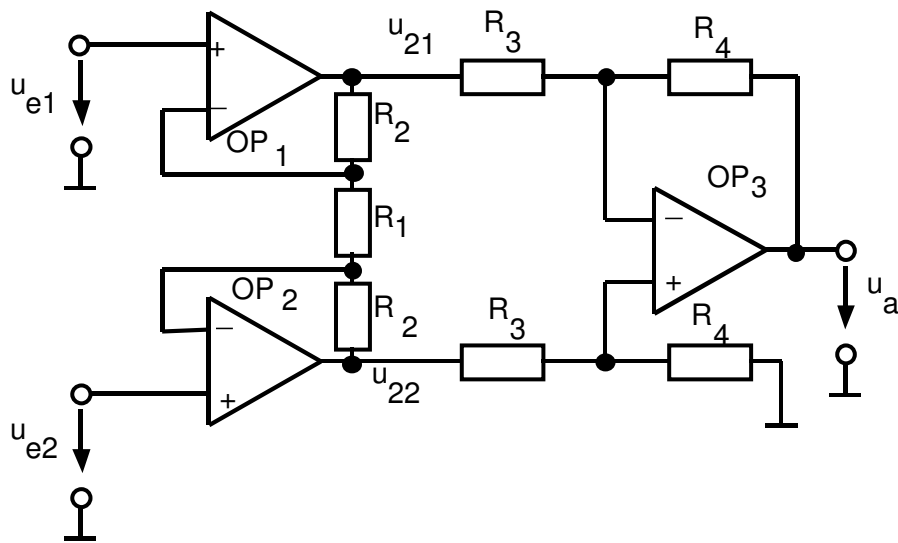


**Lösung Aufgabe 23**

23.1 Die beiden Verstärker OP<sub>1</sub> und OP<sub>2</sub> sind als nicht invertierende Verstärker geschaltet, OP<sub>3</sub> ist ein Subtrahierer.

23.2 Allgemein gilt für den "Instrumentation Amplifier":

$$u_a = \frac{R_4}{R_3} (u_{22} - u_{21}) = \frac{R_4}{R_3} \cdot \left( 1 + \frac{2 R_2}{R_1} \right) (u_{e2} - u_{e1}) = A \cdot (u_{e2} - u_{e1})$$

Herleitung:

An den Widerständen R<sub>2</sub>-R<sub>1</sub>-R<sub>2</sub> liegen an den Punkten 1-4 folgenden Spannungen an:

- 1: u<sub>21</sub>
- 2: u<sub>e1</sub> (nichtinvertierender Verstärker  $\Rightarrow U_D$  am Eingang des OP = 0)
- 3: u<sub>e2</sub> (nichtinvertierender Verstärker  $\Rightarrow U_D$  am Eingang des OP = 0)
- 4: u<sub>22</sub>

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 R<sub>1</sub> ist gleich dem Strom durch die Widerstände R<sub>2</sub>.

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: n-Kanal-Transistoren selbstsperrend, Gatter mit 3 Eingängen  
 die Transistoren sind in Reihe geschaltet  $\Rightarrow$  NAND  
 Nachfolgend: Inverter  $\Rightarrow$  AND

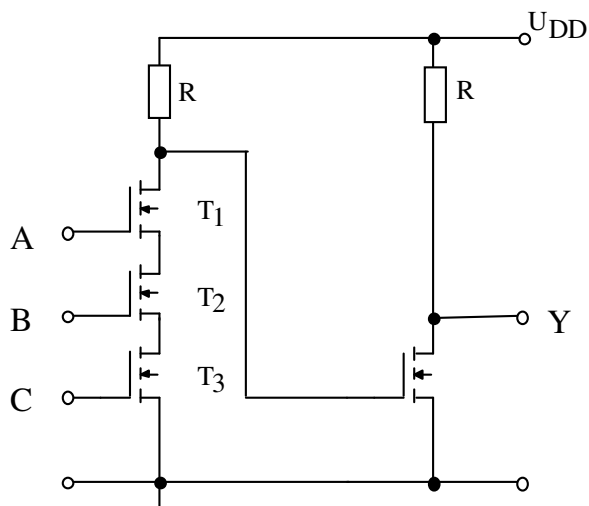


Bild 24.1

Wahrheitstabelle:

| A | B | C | Y |
|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 1 |
| 1 | 0 | 1 | 0 |
| 0 | 1 | 1 | 0 |
| 0 | 0 | 1 | 0 |
| 1 | 1 | 0 | 0 |
| 1 | 0 | 0 | 0 |
| 0 | 1 | 0 | 0 |
| 0 | 0 | 0 | 0 |

logische Funktion:  
UND (AND)

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

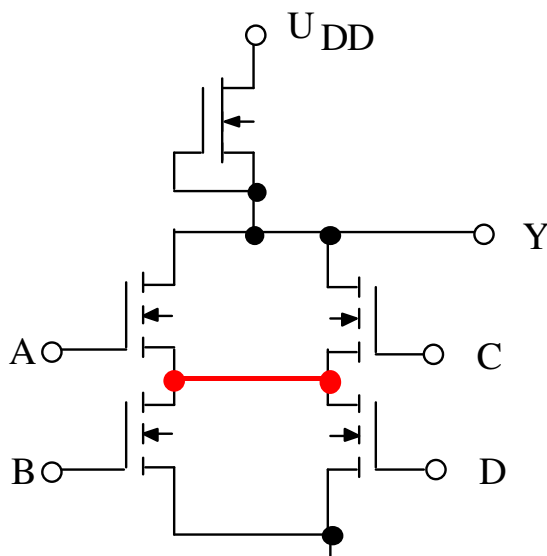


Bild 22.2

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 | 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 |

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

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

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.

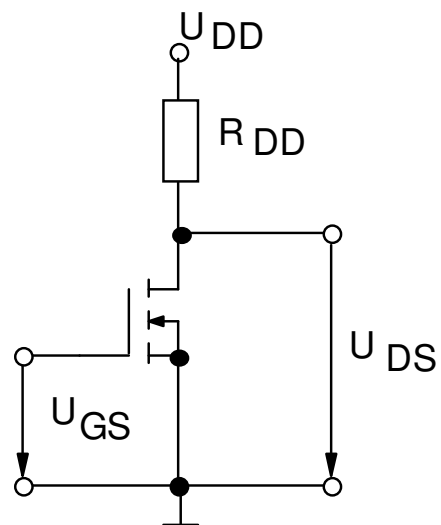
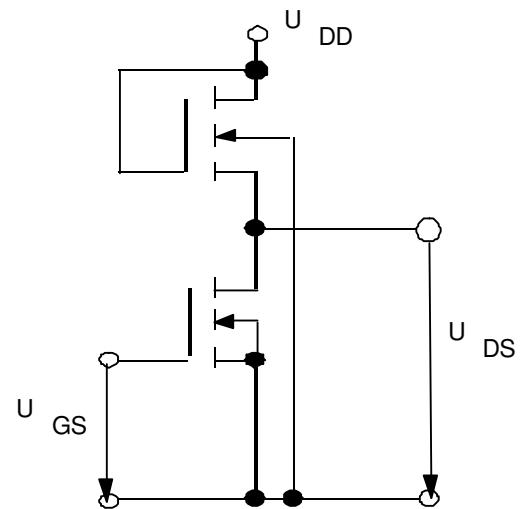
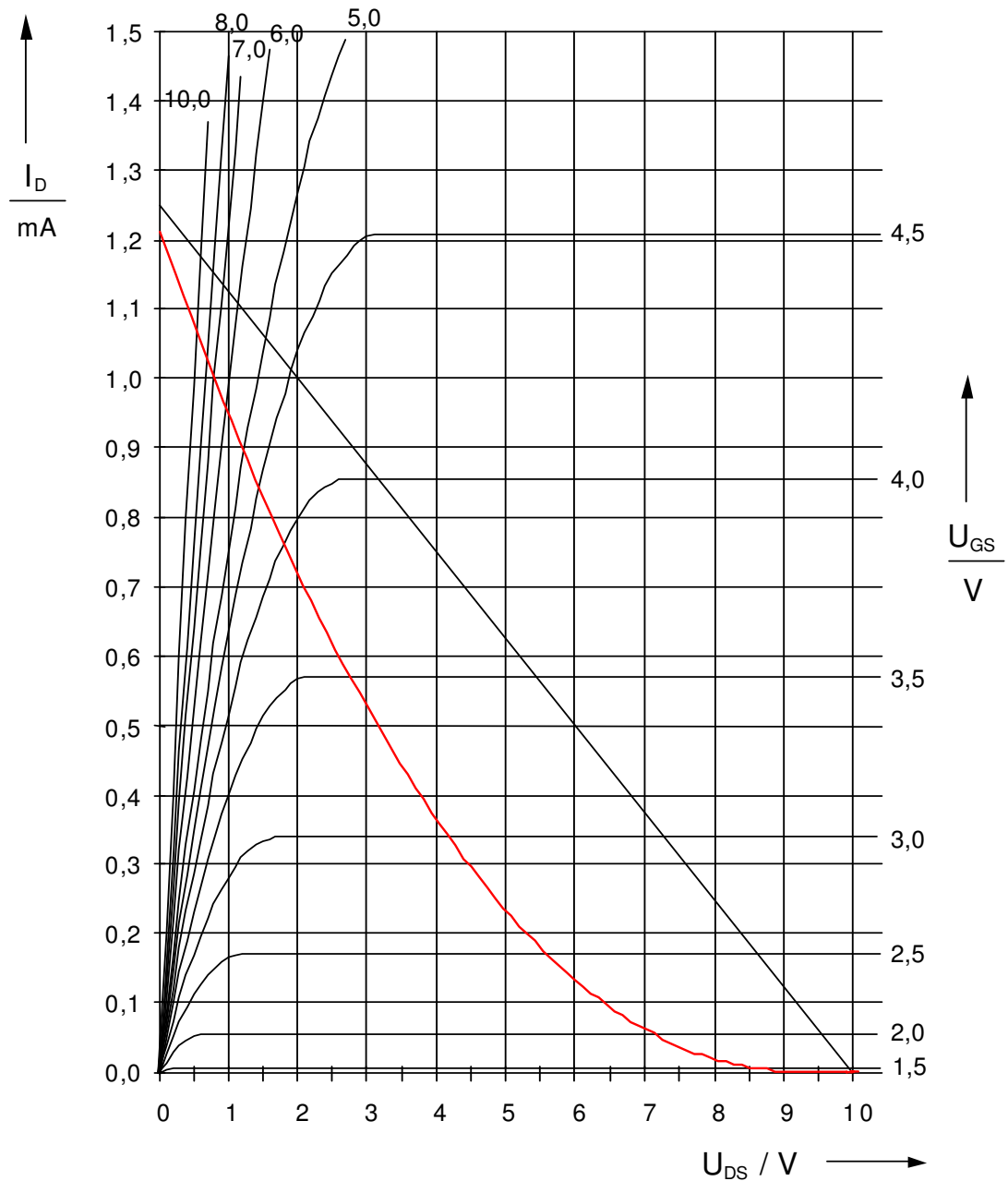


Bild 26.1





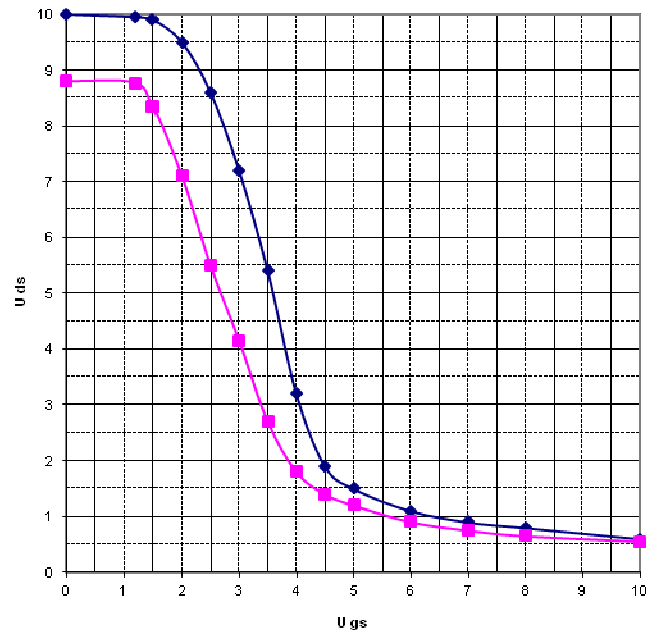
26.1 Lastgerade in Kennlinienfeld einzeichnen

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  $\Delta I_D$  für beide Fälle ablesen.

$$\Rightarrow S_1 = 290 \mu\text{S}$$

und  $S_2 = 640 \mu\text{S}$

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

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

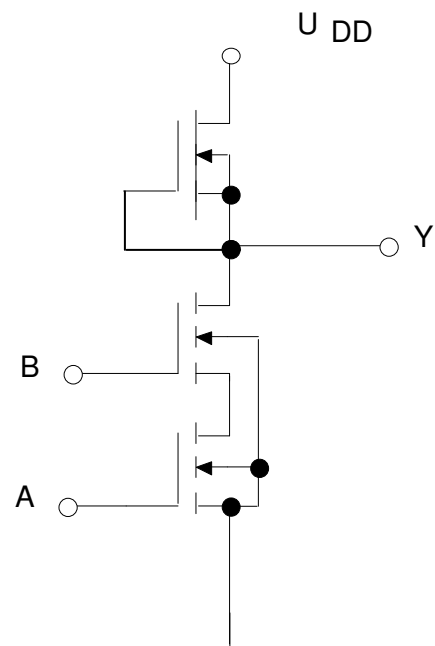
$I_D$  aus Kennlinienfeld ( Schnittpunkt Lastgerade bzw. Lastkurve mit Kennlinie für  $U_{GS} = 10 \text{ V}$  )  
ablesen: a)  $I_D = 1,17 \text{ mA}$  bzw. b)  $I_D = 1,06 \text{ mA}$

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

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

## Lösung Aufgabe 27

27.1



27.2

