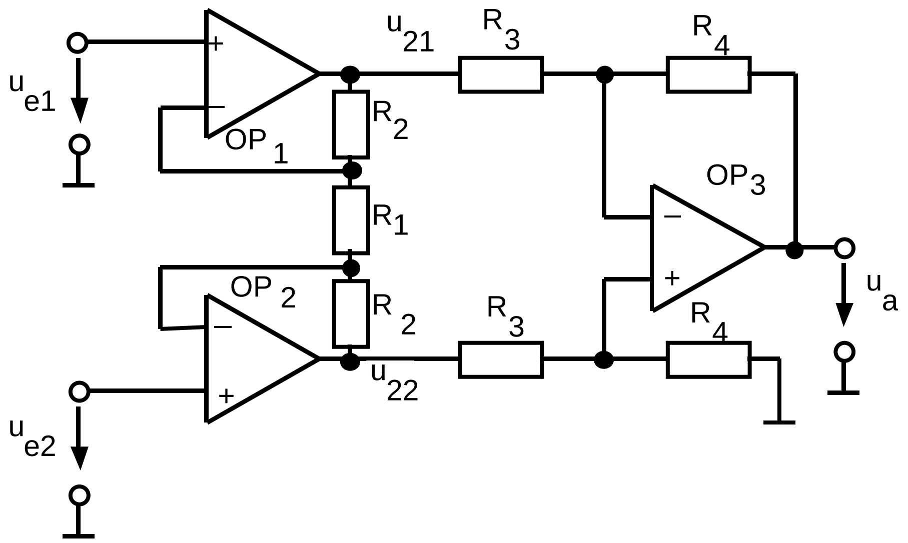
Lösung Aufgabe 23



23.1 Die beiden Verstärker OP_1 und OP_2 sind als nicht invertierende Verstärker geschaltet, OP_3 ist ein Subtrahierer.

23.2 Allgemein gilt für den "Instrumentation Amplifier":

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

Herleitung:
An den Widerständen R_2-R_1-R_2 liegen an den Punkten 1-4 folgenden Spannungen an:

1: u_{21}
2: u_{e1} (nichtinvertierender Verstärker $\Rightarrow$ U_D am Eingang des OP = 0)
3: u_{e2} (nichtinvertierender Verstärker $\Rightarrow$ U_D am Eingang des OP = 0)
4: u_{22}

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_1 ist gleich dem Strom durch die Widerstände R_2.
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

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

wird

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

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)

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

Damit wird die Ausgangsspannung der Gesamtschaltung zu:

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

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

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

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

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

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

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

23.4

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

Lösung Aufgabe 24

Input Offset Current
Differenz der beiden (geringen, aber dennoch vorhandenen) Eingangsströme

Common Mode Rejection Rate
Gleichtaktunterdrückung, beschreibt den Faktor, mit dem eine an beiden Eingängen gleichzeitig anliegende Spannung am Ausgang unterdrückt wird.

Input Resistance Common Mode
Widerstand zwischen Invertierendem bzw. nicht-invertierendem Eingang und GND

Input Resistance Differentiell Mode
Statischer Widerstand zwischen den beiden Eingängen.

Slew Rate
Maximale Großsignalanstiegsgeschwindigkeit der Ausgangsspannung bei angelegter Rechteckspannung am Eingang.

Gain-Bandwidth-Product
Das Verstärkungs-Bandbreite-Produkt beschreibt wie breitbandig sich ein Verstärker bei einer Verstärkung verhalten kann. Je höher die Verstärkung sein soll, desto mehr reduziert sich die Bandbreite. Das Produkt aus beiden bleibt immer konstant.

Open Loop Output Resistance
Beschreibt den Innenwiderstand des Ausgangstreibers eines OPs, wenn keine Rückkopplungswiderstände angeschlossen sind.

Supply Current
Beschreibt den Strom der zur Versorgung des OPs benötigt wird, selbst wenn keine Last am Ausgang angeschlossen ist.

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 V, L = 0 V $\Rightarrow$ 50% = 2,5 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 ns t_{UQ} = 10 ns $\Rightarrow$ t_{pdLH} = 5 ns

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

Definition:
Anstiegs- und Abfallzeiten werden zwischen 10% und 90% des Pegels der Ausgangsspannung gemessen.
10% = 0,5 V, 90% = 4,5 V $\Rightarrow$ t_r = 12,4 ns –7,6 ns = 4,8 ns
t_f = 21,6 ns – 18,4 ns = 3,2 ns

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

$t_{pd} = ½ (t_{pdLH} + t_{pdHL}) = ½ (5 + 3)$ ns = 4 ns

25.2 Übertragungskennlinie
Wichtig: immer zuerst Winkelhalbierende eintragen.

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

Bestimmung von ΔU_H und ΔU_L :

$\Delta U_H = U_H - U^* = 5\text{ V} - 1{,}5\text{ V} = 3{,}5\text{ V}$
$\Delta U_L = U^* - U_L = 1{,}5\text{ V} - 0\text{ V} = 1{,}5\text{ V}$

Bestimmung von Z_H und Z_L :

ΔU 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.

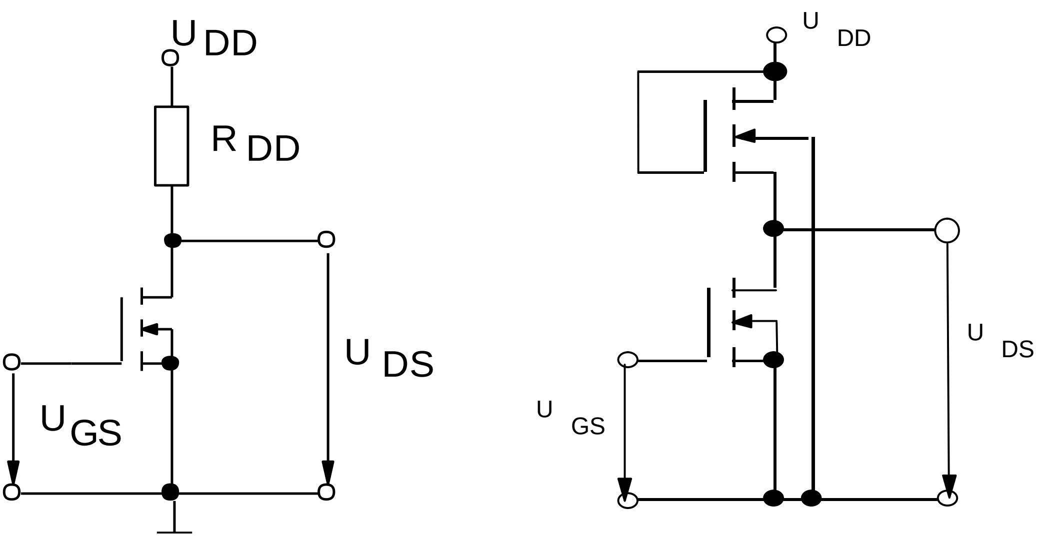
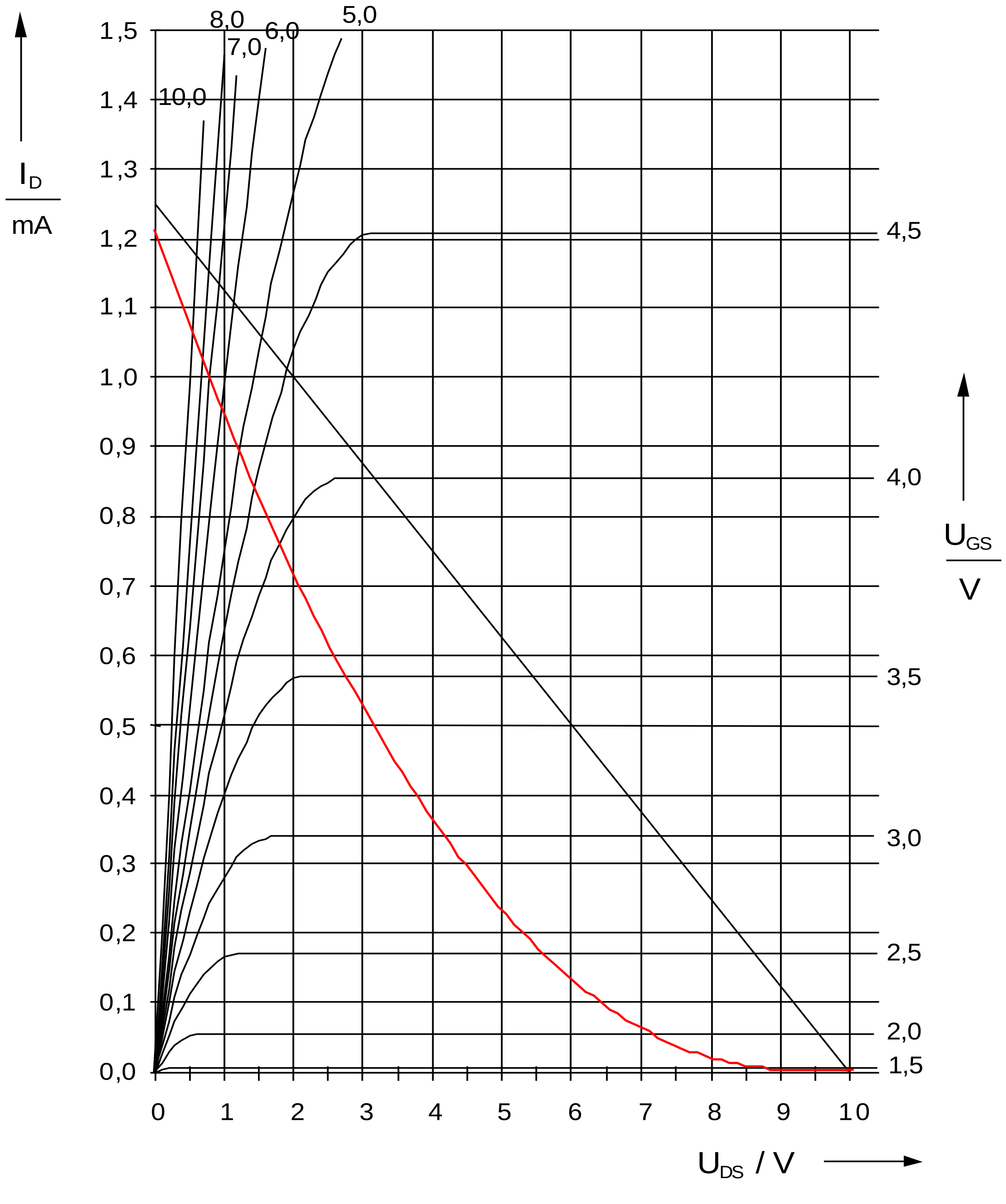


Bild 26.1



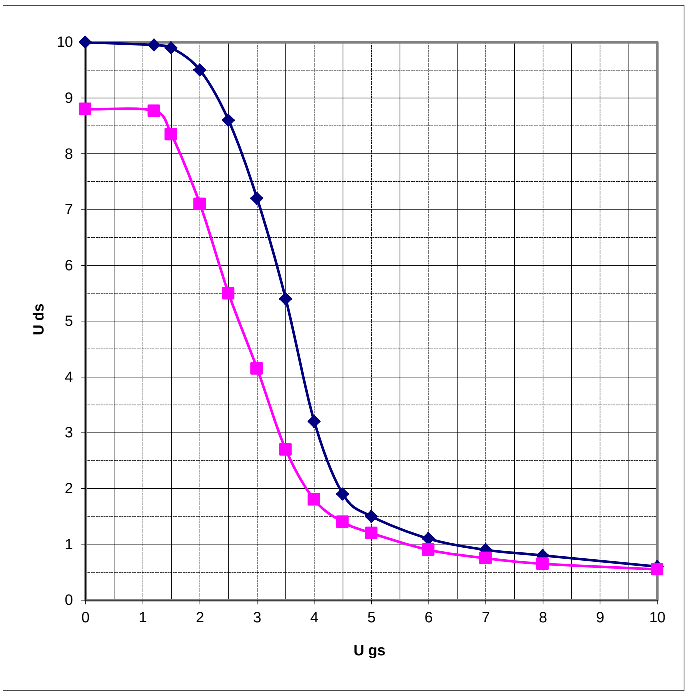
26.1 Lastgerade in Kennlinienfeld einzeichnen

1. Punkt: I = 0, U = 10 V

2. Punkt: U = 0, I = 10 V / 8 kΩ = 1,25 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 V und U_{GS} = 3 V und zwischen U_{GS} = 3,5 V und U_{GS} = 4,5 V !

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

Aus Kennlinienfeld ΔI_D für beide Fälle ablesen.

$\Rightarrow$ S_1 = 290 µS
und S_2 = 640 µS

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

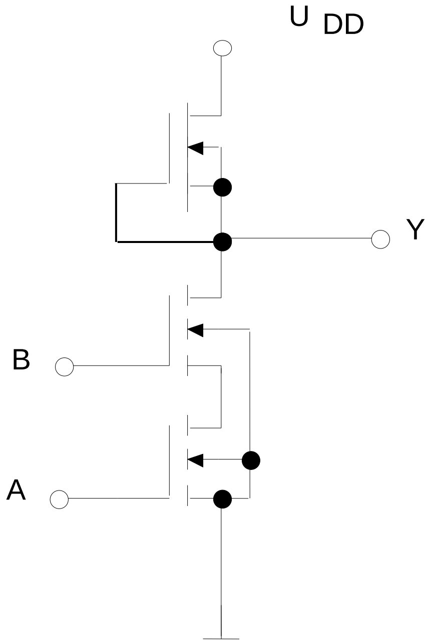
$P = U_{DD} \cdot I_D$

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

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

Lösung Aufgabe 27

27.1



27.2