

## Lösung Aufgabe 16

### 16.1 Schaltschwellen berechnen

Zur Berechnung der Einschaltsschwelle nehmen wir an, dass  $u_e = 0V$  ist, d.h.  $T_1$  sperrt und  $T_2$  leitet.

Dann ist:

$$I_E = I_{E2} \approx I_{C2} \quad , \quad I_{E2} = \frac{U_b - U_{CE}}{R_{C2} + R_E} = \frac{14,8V}{4k\Omega} = 3,7mA$$

$$\begin{aligned} u_{e, \text{ein}} &= u_{BE1} + I_{E2} \cdot R_E = 0,7V + (U_b - U_{CE}) \cdot \frac{R_E}{R_{C2} + R_E} \\ &= 0,7V + 14,8V \cdot \frac{1k\Omega}{4k\Omega} = 0,7V + 3,7V = 4,4V \end{aligned}$$

Zur Berechnung der Ausschaltsschwelle nehmen wir an, dass  $u_e > 4,4V$  ist, d.h.  $T_2$  sperrt und  $T_1$  leitet.

Dann ist:

$$I_E = I_{E1} \approx I_{C1} \quad , \quad I_{E1} = \frac{U_b - U_{CE}}{R_{C1} + R_E} = \frac{14,8V}{10k\Omega} = 1,48mA$$

$$u_{e, \text{aus}} = u_{BE1} + I_{E1} \cdot R_E = 0,7V + 1,48mA \cdot 1k\Omega = 2,18V$$

### 16.2 Ausgangsspannungen berechnen

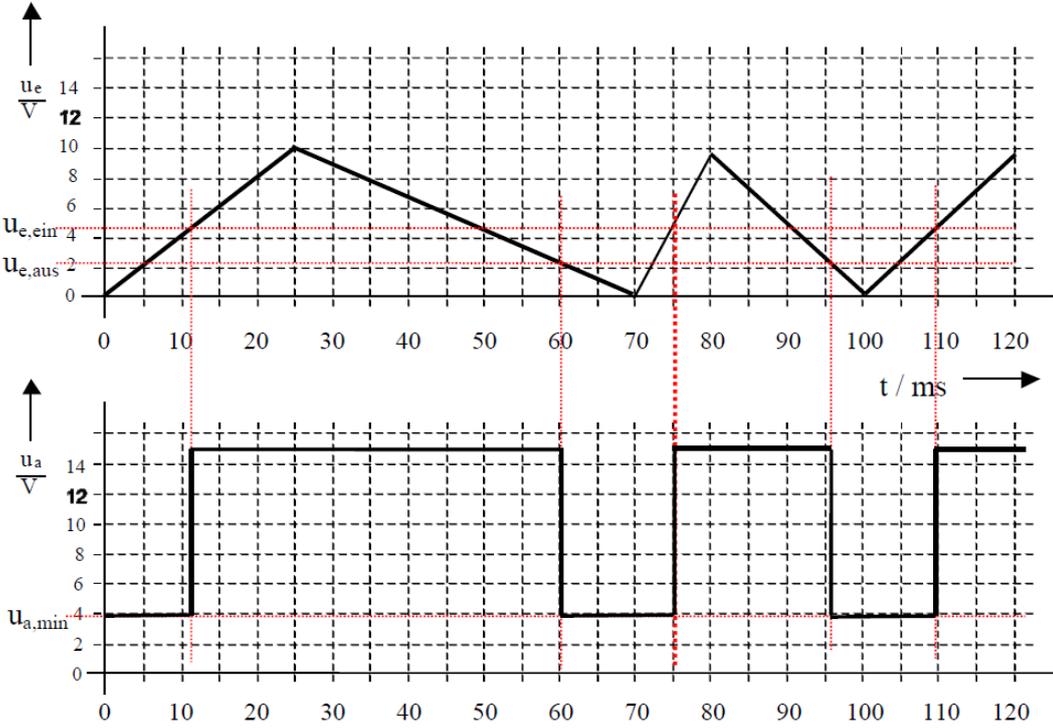
Annahme:  $T_1$  sperrt und  $T_2$  leitet  $\Rightarrow u_a = u_{a, \text{min}}$

$$u_{a, \text{min}} = I_{E2} \cdot R_{E2} + U_{CE2} = 3,7mA \cdot 1k\Omega + 0,2V = 3,7V + 0,2V = 3,9V$$

Annahme:  $T_2$  sperrt und  $T_1$  leitet, d.h.  $I_{C2} = 0 \Rightarrow u_a = u_{a, \text{max}}$

$$u_{a, \text{max}} = U_b - I_{C2} \cdot R_{C2} = 15V - 0V = 15V$$

Lösungen zu den Übungsaufgaben "ES", Sommer 2016

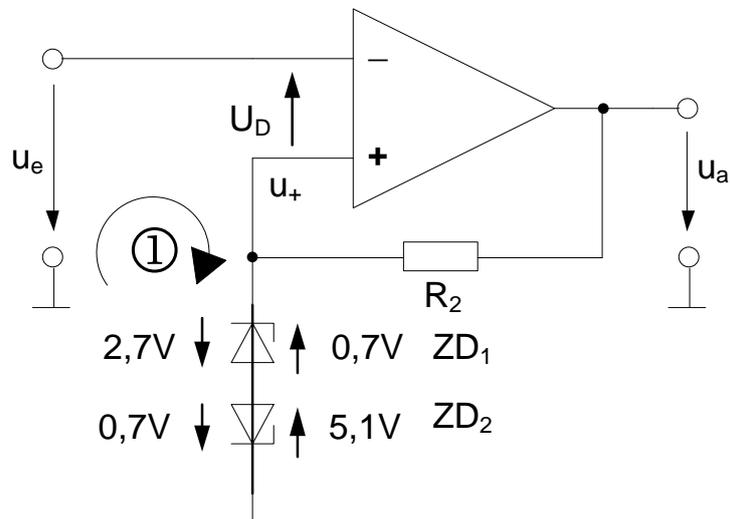


## Lösung Aufgabe 17

17.1 Schaltung analysieren:

Ausgang ist auf den nichtinvertierenden Eingang zurückgekoppelt: Mitkopplung  
Eingang liegt am invertierenden Eingang des OP: **Invertierender Schmitt-Trigger**

17.2



Bedingung: **Schaltpunkt des Schmitt-Triggers, wenn  $U_D = 0 \text{ V}$ , d.h.  $u_e = u_+$**

1.  $u_e = -12 \text{ V}$  und damit  $u_a = +12 \text{ V}$

① Masche 1:

$$-U_D + U_{Z1} + 0,7 \text{ V} - u_e = 0$$

$$\Rightarrow \text{für } U_D = 0: u_e = u_+ = U_{Z1} + 0,7 \text{ V} = 2,7 \text{ V} + 0,7 \text{ V} = 3,4 \text{ V}$$

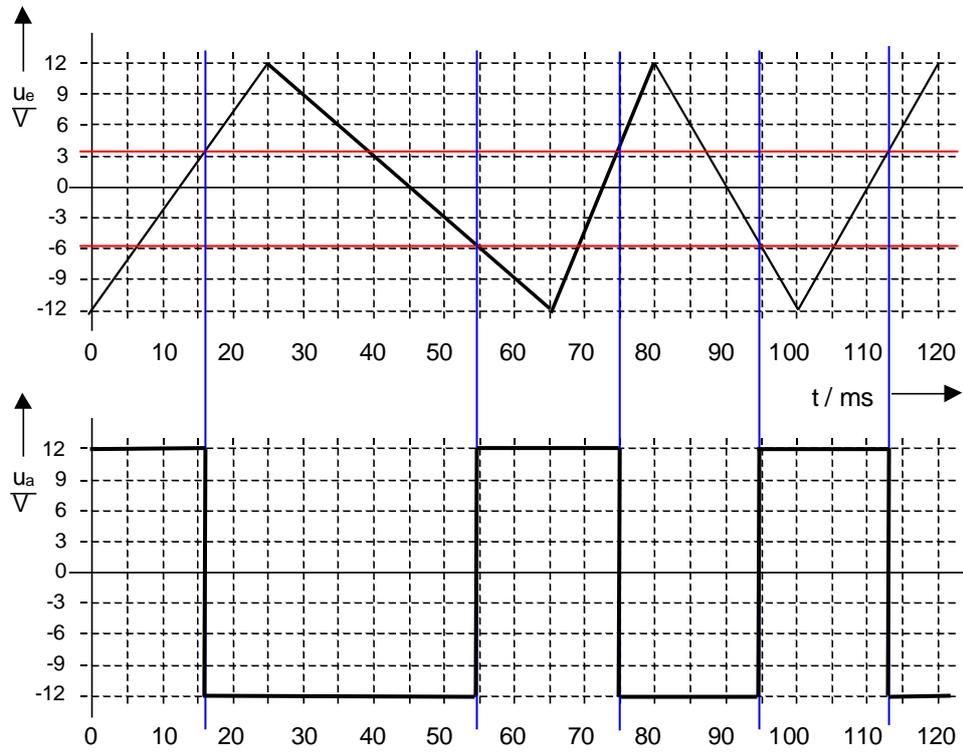
2.  $u_e = +12 \text{ V}$  und damit  $u_a = -12 \text{ V}$

① Masche 1:

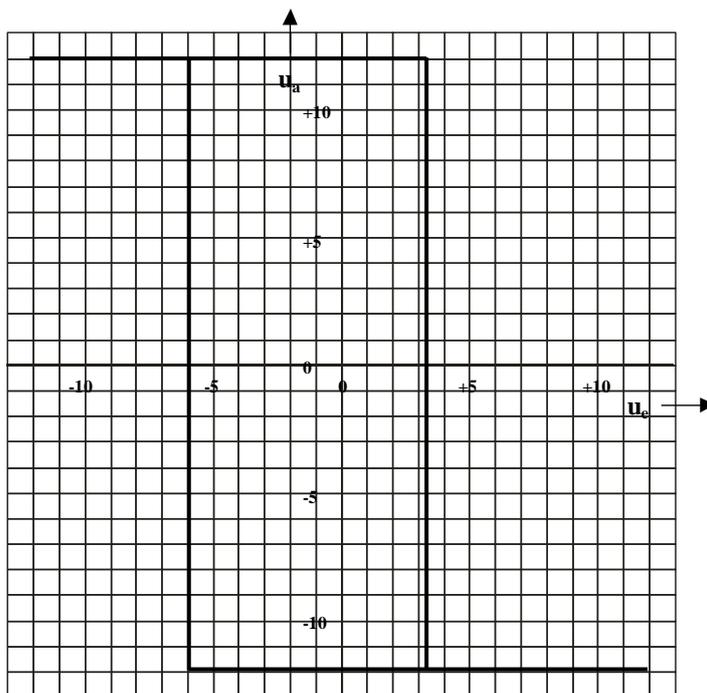
$$-U_D - U_{Z2} - 0,7 \text{ V} - u_e = 0$$

$$\Rightarrow \text{für } U_D = 0: u_e = u_+ = -U_{Z1} - 0,7 \text{ V} = -5,1 \text{ V} - 0,7 \text{ V} = -5,8 \text{ V}$$

17.3 Zeitlicher Verlauf der Ausgangsspannung  $u_a$ !



17.4 Skizze Ausgangsspannung über Eingangsspannung



## Lösung Aufgabe 18

18.1 Aus der Übergangskennlinie kann abgelesen werden:

$$U_L = 0 \text{ V}$$

$$U_H = 3,2 \text{ V}$$

$$U_S = 1,6 \text{ V}$$

damit wird :

$$\Delta U = U_H - U_L = 3,2 \text{ V}$$

$$\Delta U_H = U_H - U_S = 1,6 \text{ V}$$

$$\Delta U_L = U_S - U_L = 1,6 \text{ V}$$

$$Z_H = \frac{\Delta U_H}{\Delta U} = \frac{1,6 \text{ V}}{3,2 \text{ V}} = 0,5 (= 50\%)$$

$$Z_L = \frac{\Delta U_L}{\Delta U} = \frac{1,6 \text{ V}}{3,2 \text{ V}} = 0,5 (= 50\%)$$

18.2 Am Ausgang liegt der HIGH-Pegel. Damit ergibt sich folgende Maschengleichung:

$$U_{CC} - R_4 \cdot I - \underbrace{0,3 \text{ V}}_{(U_{CE})} - \underbrace{0,7 \text{ V}}_{(U_D)} - R_L \cdot I = 0$$

$$I = \frac{U_{CC} - 0,3 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{R_4 + R_L} = \frac{4 \text{ V}}{2000 \Omega} = 2 \text{ mA}$$

$$P_V = (U_{CC} - U_H) \cdot I = 1,8 \text{ V} \cdot 2 \text{ mA} = 3,6 \text{ mW}$$

18.3 Fan Out

1. High-Pegel am Ausgang

$$U_{H \min} = 3,5 \text{ V} = U_{CC} - R_4 \cdot I - 0,3 \text{ V} - 0,7 \text{ V}, I_{\max} \text{ berechnen :}$$

$$I_{\max} = \frac{U_{CC} - U_{H \min} - 0,3 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{R_4} = \frac{5 \text{ V} - 3,5 \text{ V} - 0,3 \text{ V} - 0,7 \text{ V}}{400 \Omega} = \frac{0,5 \text{ V}}{400 \Omega} = 1,25 \text{ mA}$$

Fan-Out H-Pegel am Ausgang:

$$\text{Fan - Out} = \frac{1,25 \text{ mA}}{40 \mu\text{A}} = 31,25 \Rightarrow$$

Es könnten 31 TTL-Eingänge angesteuert werden.

2. Low-Pegel am Ausgang:

$$U_{L \max} = 0,2 \text{ V} = I_{\max} \cdot R_{CE, \text{ein}} \Rightarrow I_{\max} = \frac{0,2 \text{ V}}{12,5 \Omega} = 16 \text{ mA}$$

Fan-Out L-Pegel am Ausgang:

$$\text{Fan - Out} = \frac{16 \text{ mA}}{1,6 \text{ mA}} = 10 \Rightarrow$$

Fan-Out L < Fan-Out H -> Es können maximal 10 TTL-Eingänge an des Ausgang des Gatters angeschlossen werden.

### Lösung Aufgabe 19

19.1  $U_H, U_L$ :

Wenn der FET sperrt, wird  $C_L$  über den Widerstand  $R$  aufgeladen.  $\Rightarrow U_H = U_{DD} = 5 \text{ V}$

Wenn der FET leitet stellt er einen ohmschen Widerstand von  $r_{DS} = 50 \text{ } \Omega$  dar.

$\Rightarrow$  Kondensator liegt an Spannungsteiler  $R, r_{DS}$ .

$$U_L = U_{DD} \frac{50 \text{ } \Omega}{1000 \text{ } \Omega + 50 \text{ } \Omega} = 0,24 \text{ V}$$

19.2 Statische Verlustleistung:

$$P|_{U_A=L} = U_{DD} \cdot I = U_{DD} \frac{U_{DD}}{R + r_{DS}} = \frac{25 \text{ V}^2}{1050 \text{ } \Omega} = 24 \text{ mW}$$

$$P|_{U_A=H} = 0$$

19.3 Dynamische Verlustleistung:

$$P_{dyn} = C_L \cdot (U_H - U_L)^2 \cdot f = 2 \text{ pF} \cdot (4,76 \text{ V})^2 \cdot 10^7 \text{ Hz} = 453 \text{ } \mu\text{W}$$

19.4 Gesamtverlustleistung:

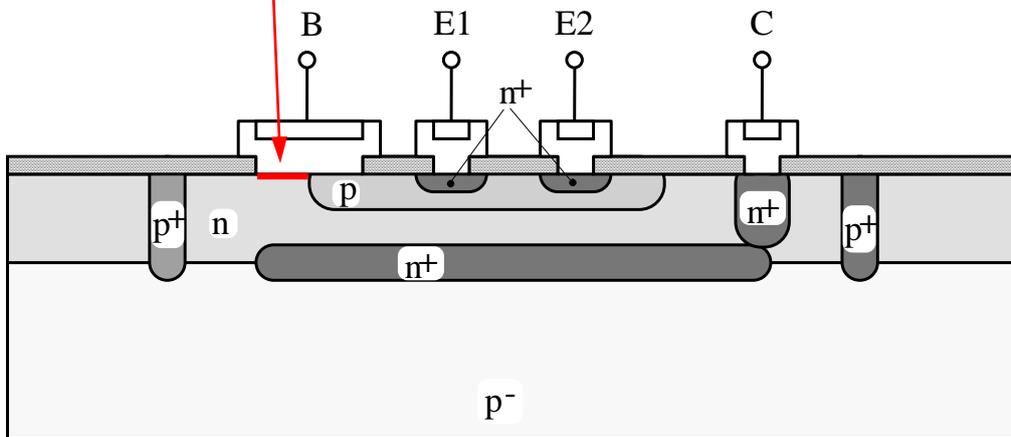
$$P_{ges} = P_{dyn} + r \cdot P_{stat} = 453 \text{ } \mu\text{W} + 0,5 \cdot 24 \text{ mW} = 12,453 \text{ mW}$$

**Lösung Aufgabe 20**

20.1

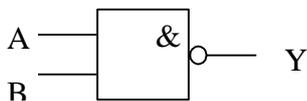
1. Wesentlich kürzere Schaltzeiten durch Vermeidung der Sättigung, wenn der Transistor voll eingeschaltet ist.
2. Kleinere Verlustleistung während der Umschaltvorgänge durch kleinere Spannungshübe und damit auch kleinere Umschaltenergien.
3. Höhere Stromverstärkung der Transistoren, da keine zusätzlichen technologischen Maßnahmen vorgenommen werden müssen, um die Sättigungszeit des Bipolartransistors zu reduzieren. Dies hatte den Einbau zusätzlicher Rekombinationszentren in der Basis und damit eine deutliche Reduzierung der Stromverstärkung zur Folge.
4. Der Schaltungsentwurf wird für den Designer flexibler, da ihm nun neben pn-Dioden und npn-Transistoren auch noch Schottky-Dioden für das Schaltungsdesign zur Verfügung stehen.

20.2 Eine Schottky-Diode entsteht in einer integrierten Schaltung, wenn niedrig dotiertes n-Silizium direkt mit Metall in Kontakt kommt. Dies ist im gezeigten Querschnitt nur in einem kleinen Bereich, an dem der Basisanschluss direkt mit dem Kollektorbereich kontaktiert ist, der Fall.



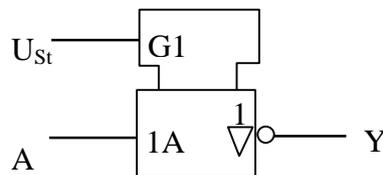
**Lösung Aufgabe 21:**

links: NAND



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

rechts: Tri-State-Inverter



A	U <sub>St</sub>	Y
x	0	HiZ
1	1	0
0	1	1