

Reihen von Normwerten für elektrische Bauelemente

E6	E12	E24	E48	E6	E12	E24	E48
±20%	±10%	±5%	±2%	±20%	±10%	±5%	±2%
1,00	1,00	1,00	1,00	3,30	3,30	3,30	3,30
			1,05				3,45
		1,10	1,10			3,60	3,60
			1,15				3,75
	1,20	1,20	1,20		3,90	3,90	3,90
			1,25				4,10
		1,30	1,30			4,30	4,30
			1,40				4,50
1,50	1,50	1,50	1,50	4,70	4,70	4,70	4,70
			1,55				4,90
		1,60	1,60			5,10	5,10
			1,70				5,35
	1,80	1,80	1,80		5,60	5,60	5,60
			1,90				5,90
		2,00	2,00			6,20	6,20
			2,10				6,50
2,20	2,20	2,20	2,20	6,80	6,80	6,80	6,80
			2,30				7,15
		2,40	2,40			7,50	7,50
			2,55				7,85
	2,70	2,70	2,70		8,20	8,20	8,20
			2,85				8,60
		3,00	3,00			9,10	9,10
			3,15				9,55

Die Werte können mit 10^0 , 10^1 und 10^2 multipliziert werden.
 Es können die üblichen Dezimalpräfixe T,G,M,k,m,μ,n,p,f,a
 usw. verwendet werden.
 Beispiele: 2,55TΩ; 255μF; 25,5mH; 2,55S

Tabelle 1

**Präfixe zur Kennzeichnung des Vielfachen
von gesetzlichen Einheiten (dezimal)**

Zeichen	Faktor	Bezeichnung
E	10^{18}	Exa
P	10^{15}	Peta
T	10^{12}	Tera
G	10^9	Giga
M	10^6	Mega
k	10^3	Kilo
m	10^{-3}	Milli
μ	10^{-6}	Mikro
n	10^{-9}	Nano
p	10^{-12}	Pico
f	10^{-15}	Femto
a	10^{-18}	Atto
h	10^2	Hekto
da	10^1	Deka
d	10^{-1}	Dezi
c	10^{-2}	Zenti

Tabelle 3

Aufgabe 2.4.2. - Berechnung einer Transistorinverterschaltung

Gegeben ist folgende Schaltung:

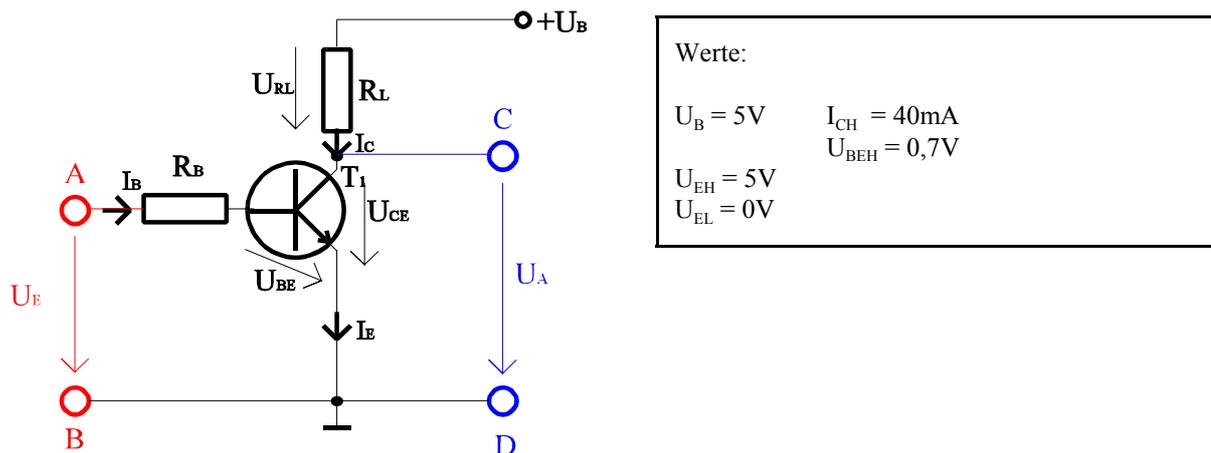


Abb. 2

Bei der Ansteuerung des Transistors mit der High-Eingangsspannung U_{EH} soll der Transistor voll leitend werden. Das heißt, die Kollektor-Emitterspannung hat bei dem vorgegebenen Kollektorstrom I_{CH} das Minimum.

Bei der Ansteuerung mit der Low-Eingangsspannung U_{EL} soll der Transistor nichtleitend werden. Das heißt, es fließt kein Basisstrom und durch den Kollektor fließt nur der Kollektorreststrom I_{C0} .

Aufgabe:

Berechnen Sie die Widerstände der Schaltung.

1. Bestimmen Sie für den maximal leitenden Transistor mit vorgegebenen I_{CH} die minimal mögliche Ausgangsspannung $U_{AH} = U_{CEH}$.
2. Bestimmen Sie den minimal notwendigen Basisstrom I_{BH} der zur Erreichung von U_{CEH} und I_{CH} benötigt wird.
3. Berechnen Sie die Stromverstärkung B_H für diesen Fall. Dabei ist der Kollektorreststrom $[I_C(I_B=0)]$ zu vernachlässigen.
4. Zeichnen Sie aus den Werten U_{CEH} , I_{CH} und U_B die Widerstandsgerade und bestimmen Sie den Wert von R_L .
5. Bestimmen Sie die Werte U_{CEL} und I_{CL} für den nichtleitenden Transistor. Dabei ist $U_{CEL} \neq U_B$ und $I_{CL} \neq 0$!
6. Bestimmen Sie unter Zuhilfenahme der Werte U_{EH} , U_{BEH} und I_{BH} den Widerstand R_B .
7. Bestimmen Sie für U_{CEH} , U_{CEL} , und $U_{CEI} = U_B/2$ die durch den Transistor verbrauchte Verlustleistung $P_V = U_{CE} \cdot I_C$. Was kann man aus den Ergebnissen schlußfolgern.
8. Was passiert mit U_{CE} und I_C wenn man den Strom I_B über den Wert I_{BH} erhöht.
9. Bestimmen Sie die Werte der Widerstände aus der E24-Reihe (siehe Tabelle 1/Aufgabe 2.4.1.). Es sind die Werte zu nehmen der dem Normwert am nächsten sind.
10. Berechnen Sie die Stromverstärkung für $U_{CE} = 6V$ und $I_B = 300\mu A$. Wie verhält sich die Stromverstärkung bei steigender Kollektor-Emitterspannung und warum (math. Betrachtung).

Stellen Sie die Ergebnisse in einer Tabelle dar.

Der Strom $I_{CH} = 40mA$ bezieht sich auf $U_{EH} = 5V$.

Beachten Sie bei der Bestimmung der Spannungen und Ströme die verbotenen Bereiche im Kennlinienfeld des Transistors!

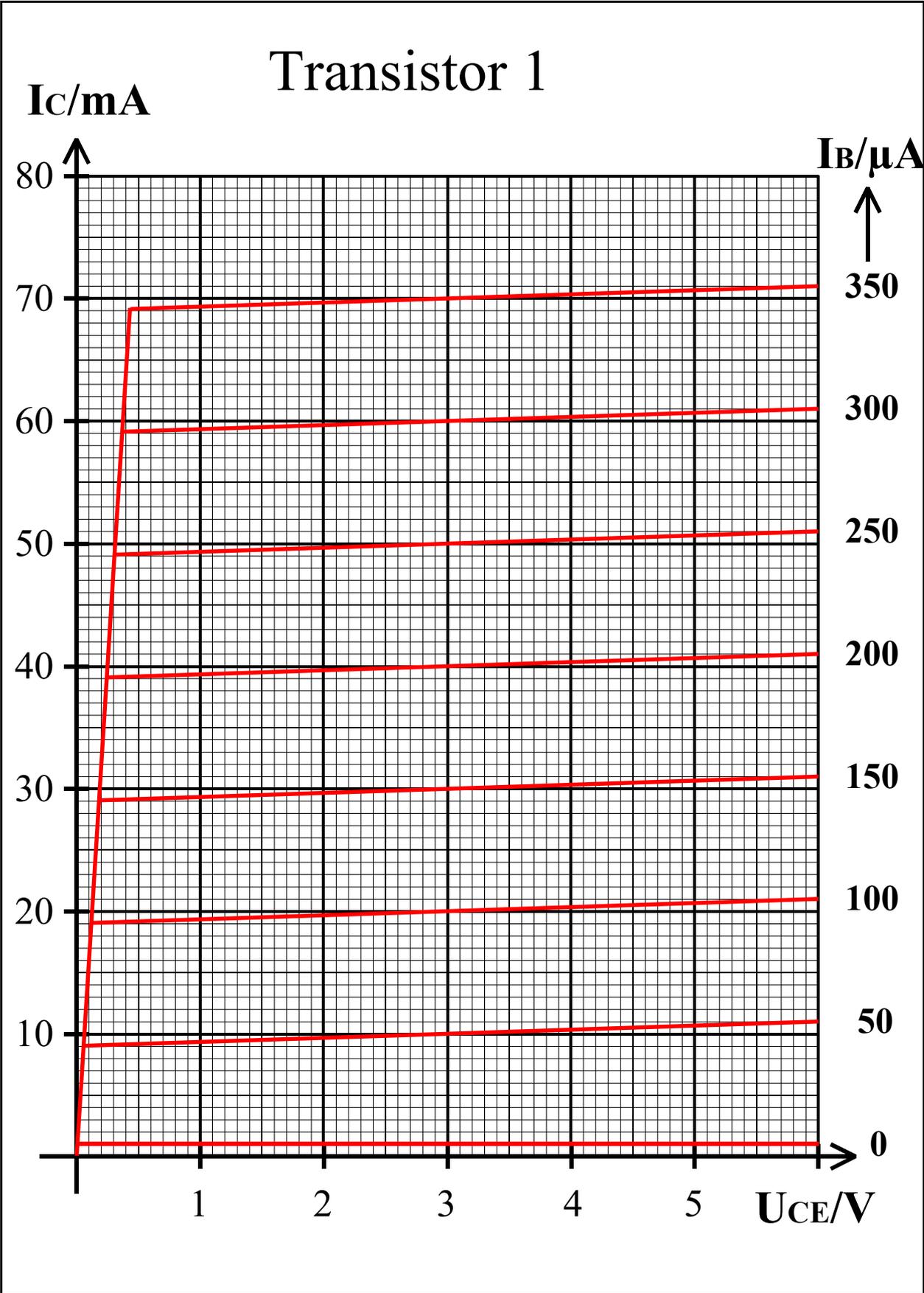


Abb. 3

Aufgabe 2.4.3. - Entwurf einer Volladdierschaltung unter Zuhilfenahme von XOR-Gattern

Aufgabe:

Entwerfen Sie einen Volladder für 1 Bit Datenbreite. Erlaubt sind AND-, OR-, XOR- und NOT-Gatter. Die Summenbildung hat mittels XOR-Gattern zu erfolgen.

Eingänge: $E_{0,1}, E_{0,2}$ und \bar{U}_{-1}

Ausgänge: S_0, \bar{U}_0

1. Entwerfen Sie die Schaltung mit den oben genannten Gattern. Erlaubt sind hier maximal 2 Eingänge.
2. Zeichnen Sie die unter 1. entwickelte Schaltung so um, daß die XOR-Gatter jeweils durch 2 AND-, 1 OR- und 2 NOT-Gatter ersetzt werden, wobei die einzelnen Terme des XOR-Gatters mit OR zusammengefaßt werden. Für die Gatter sind maximal 2 Eingänge erlaubt.
Bestimmen Sie die logische Gleichung entsprechend der entwickelten Schaltung.
3. Bestimmen Sie die Wertetabelle und daraus die logische Gleichung entsprechend der kanonisch disjunktiven Normalform.
4. Entwerfen Sie die Schaltung streng entsprechend der kanonisch disjunktiven Normalform. Erlaubt sind AND, OR und NOT-Gatter.
5. Zeichnen Sie das Venn-Diagramm für die Summe S_0 und den Übertrag \bar{U}_0 .

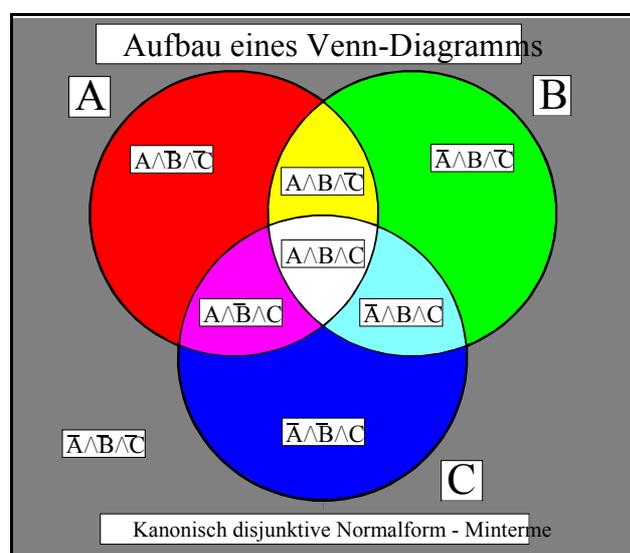


Abb. 4

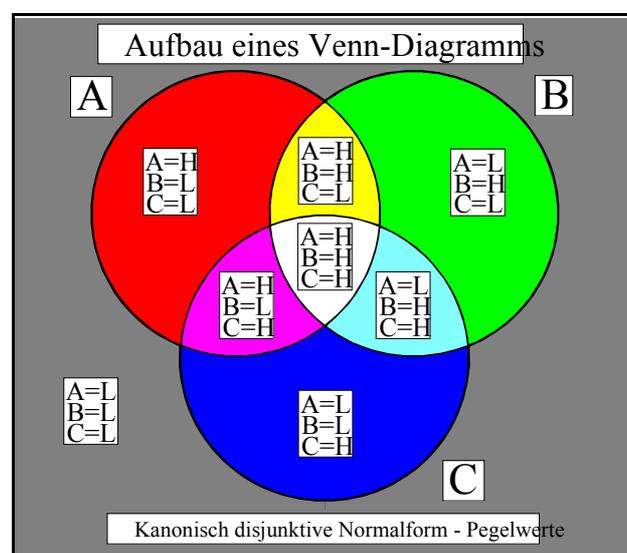


Abb. 5

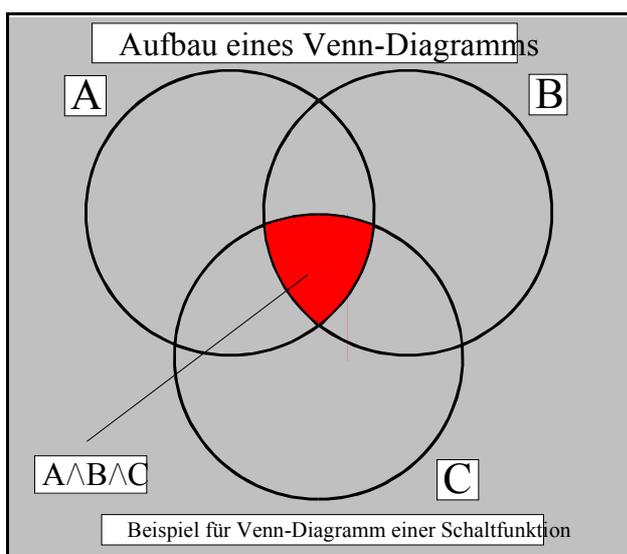


Abb. 6

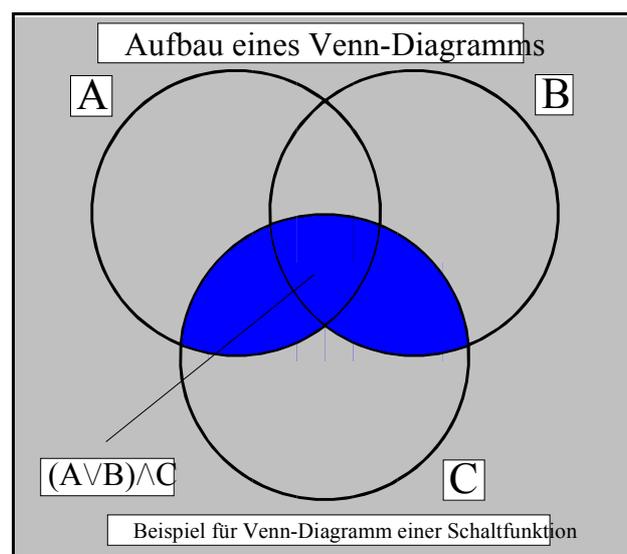


Abb. 7

Lösung: Aufgabe 2.4.1.

Berechnung einer Transistorschaltung mit Emittterwiderstand

1. Berechnung der Spannung U_{RE} und de Emittterwiderstandes R_E .

$$U_{RE}=0,1 U_B=0,1 \times 6V=0,6V$$

$$I_{RE}=I_E=I_C+I_C/B=4mA+4mA/200=4mA+0,02mA=4,02mA \approx 4mA$$

$$R_E=U_{RE}/I_{RE}=0,6V/4mA=150\Omega$$

2. Berechnung der Kollektor-Emitterspannung U_{CEA} .

$$U_{CEA}=(U_B-U_{RE})/2=(6V-0,6V)/2=5,4V/2=2,7V$$

3. Berechnung der Spannung U_{RL} und des Lastwiderstandes R_L .

$$U_{RL}=U_B-U_{CEA}-U_{RE}=6V-2,7-0,6=2,7V$$

$$I_{RL}=I_C=4mA$$

$$R_L=U_{RL}/I_{RL}=2,7V/4mA=675\Omega$$

4. Berechnung des Basisstroms I_B mittels der Stromverstärkung B_A .

$$I_B=I_{CA}/B_A=4mA/200=20\mu A$$

5. Berechnung des Querstroms I_Q

$$I_Q=5I_{BA}=5 \times 20\mu A=100\mu A$$

6. Berechnung der Widerstände R_1 und R_2

$$U_{R1}=U_B-U_{BE}-U_{RE}=6V-0,7V-0,6V=4,7V$$

$$I_{R1}=I_Q+I_B=100\mu A+20\mu A=120\mu A$$

$$R_1=U_{R1}/I_{R1}=4,7V/120\mu A=39,167k\Omega$$

$$U_{R2}=U_{BE}+U_{RE}=0,7V+0,6V=1,3V$$

$$I_{R2}=I_Q=100\mu A$$

$$R_2=U_{R2}/I_{R2}=1,3V/100\mu A=13k\Omega$$

7. Bestimmung der Werte der Widerstände aus der E48-Reihe (siehe Tabelle 1).

$$R_E=150\Omega \quad \text{daraus folgt aus E48-Reihe} \quad R_E=150\Omega$$

$$R_L=675\Omega \quad \text{daraus folgt aus E48-Reihe} \quad R_L=680\Omega$$

$$R_1=39,167k\Omega \quad \text{daraus folgt aus E48-Reihe} \quad R_1=39k\Omega$$

$$R_2=13k\Omega \quad \text{daraus folgt aus E48-Reihe} \quad R_2=13k\Omega$$

Lösung: Aufgabe 2.4.2.

Berechnung einer Transistorinverterschaltung

Berechnen Sie die Widerstände der Schaltung.

1. Bestimmung der minimalen Ausgangsspannung $U_{AH}=U_{CEH}$ für $I_{CH}=40\text{mA}$

$$U_{AH}=U_{CEH}=\mathbf{0,25V}$$

2. Bestimmung des minimalen Basisstroms I_{BH} für U_{CEH} und I_{CH} .

$$I_{BH}=\mathbf{204\mu A}$$

3. Berechnen Sie die Stromverstärkung B_H für diesen Fall. Dabei ist der Kollektorreststrom $[I_C(I_B=0)]$ zu vernachlässigen.

$$B_H=I_{CH}/I_{BH}=40\text{mA}/204\mu\text{A}=\mathbf{196}$$

4. Bestimmung der Widerstandsgeraden und Berechnung des Wertes von R_L .

Widerstandsgerade: 1. Punkt: $U_B=5V$ und $I=0\text{mA}$

2. Punkt: $U_{CEH}=0,25V$ und $I_{CH}=40\text{mA}$

$$R_L=(U_B-U_{CEH})/I_{CH}=(5V-0,25V)/40\text{mA}=4,75V/40\text{mA}=\mathbf{118,75\Omega}$$

5. Bestimmung der Werte U_{CEL} und I_{CL} für den nichtleitenden Transistor.

$$U_{CEL}=\mathbf{4,88V}$$

$$I_{CL}=\mathbf{1\text{mA}} \quad (=I_{C0})$$

6. Berechnung des Widerstandes R_B .

$$R_B=(U_{EH}-U_{BEH})/I_{BH}=(5V-0,7V)/204\mu\text{A}=4,3V/204\mu\text{A}=\mathbf{21,078\text{k}\Omega}$$

7. Bestimmung der Verlustleistung für U_{CEH} , U_{CEL} , und $U_{CE1}=U_B/2$.

$$P_{VL}(U_{CEL})=U_{CEL}\times I_{CL}=4,88V\times 1\text{mA}=\mathbf{4,88\text{mW}}$$

$$U_{CE1}=U_B/2=2,5V \quad I_{C1}=21\text{mA}$$

$$P_{V1}(U_{CE1})=U_{CE1}\times I_{C1}=2,5V\times 21\text{mA}=\mathbf{52,5\text{mW}}$$

$$P_{VH}(U_{CEH})=U_{CEH}\times I_{CH}=0,25V\times 40\text{mA}=\mathbf{10\text{mW}}$$

Schlußfolgerung: Die Verlustleistung hat bei high- und low-Pegel ein Minimum. Dazwischen steigt die Verlustleistung wesentlich an

8. Was passiert mit U_{CE} und I_C wenn man den Strom I_B über den Wert I_{BH} erhöht.

Da der Maximalwert von I_C und damit der Minimalwert von U_{CE} durch den Schnittpunkt der R_L -Geraden festgelegt ist, kann man zwar den Basisstrom bis zur Zerstörung des Transistors erhöhen, beide Werte verändern sich jedoch nicht. Dies beruht

auf der Tatsache, daß man den Strom durch die in Durchlaßrichtung geschaltete Basis-Emitter-Diode weiterhin erhöhen kann, der Strom durch die Basis-Kollektor-Diode jedoch durch den Vorwiderstand R_L begrenzt wird.

9. Bestimmen Sie die Werte der Widerstände aus der E24-Reihe.

$$R_L = 118,75\Omega \quad \text{daraus folgt aus E24-Reihe} \quad R_L = \mathbf{120\Omega}$$

$$R_B = 21,078k\Omega \quad \text{daraus folgt aus E24-Reihe} \quad R_B = \mathbf{22k\Omega}$$

10. Berechnung der Stromverstärkung für $U_{CE} = U_{CE2} = 6V$ und $I_B = I_{B2} = 300\mu A$. Wie verhält sich die Stromverstärkung bei steigender Kollektor-Emitterspannung und warum (math. Betrachtung).

$$I_{C2} = 61mA, U_{CE2} = 6V, I_{B2} = 300\mu A$$

$$B_2(U_{CE2}, I_{B2}) = I_{C2}/I_{B2} = 61mA/300\mu A = \mathbf{203,33}$$

Für eine konstante Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} ist für unser einfaches Kennlinienmodell die Stromverstärkung B über alle Werte von I_C gleich. Eine Ausnahme bildet lediglich die Reststromkennlinie. Aufgrund der steigenden Kennlinien im rechten Bereich des Kennlinienfeldes erhöht sich die Stromverstärkung mit der Kollektor-Emitter-Spannung U_{CE} . Bei der realen Kennlinie des Bipolartransistors vergrößert sich mit steigendem Kollektorstrom (bzw. Basisstrom) die Steilheit der Kennlinie und es vergrößert sich der Abstand zwischen den einzelnen Kennlinien.

zum Vergleich:

$$I_{CH} = 40mA, U_{CEH} = 0,25V, I_{BH} = 204\mu A$$

$$B_H(U_{CEH}, I_{BH}) = I_{CH}/I_{BH} = 40mA/204\mu A = \mathbf{196}$$

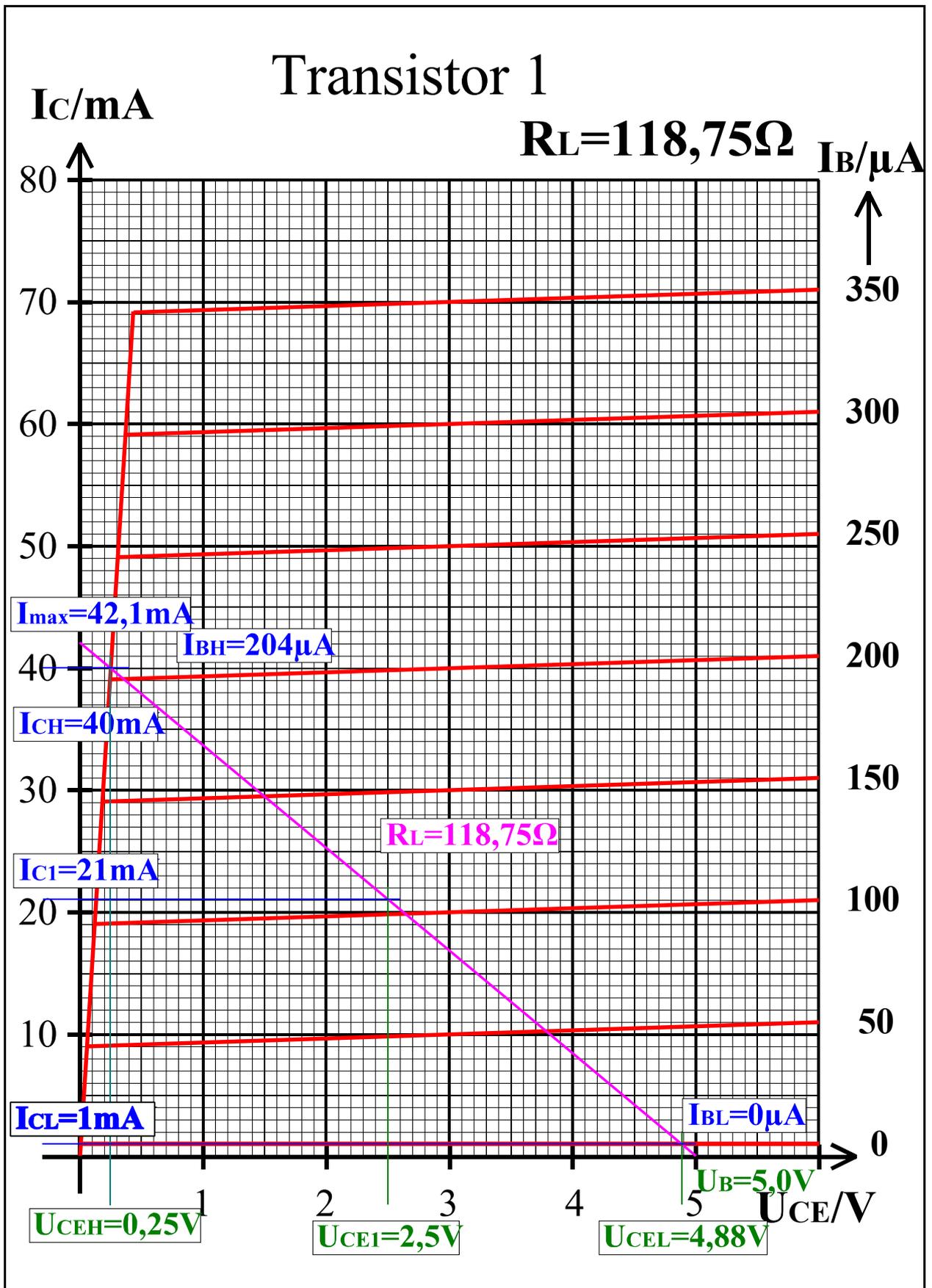


Abb. 8

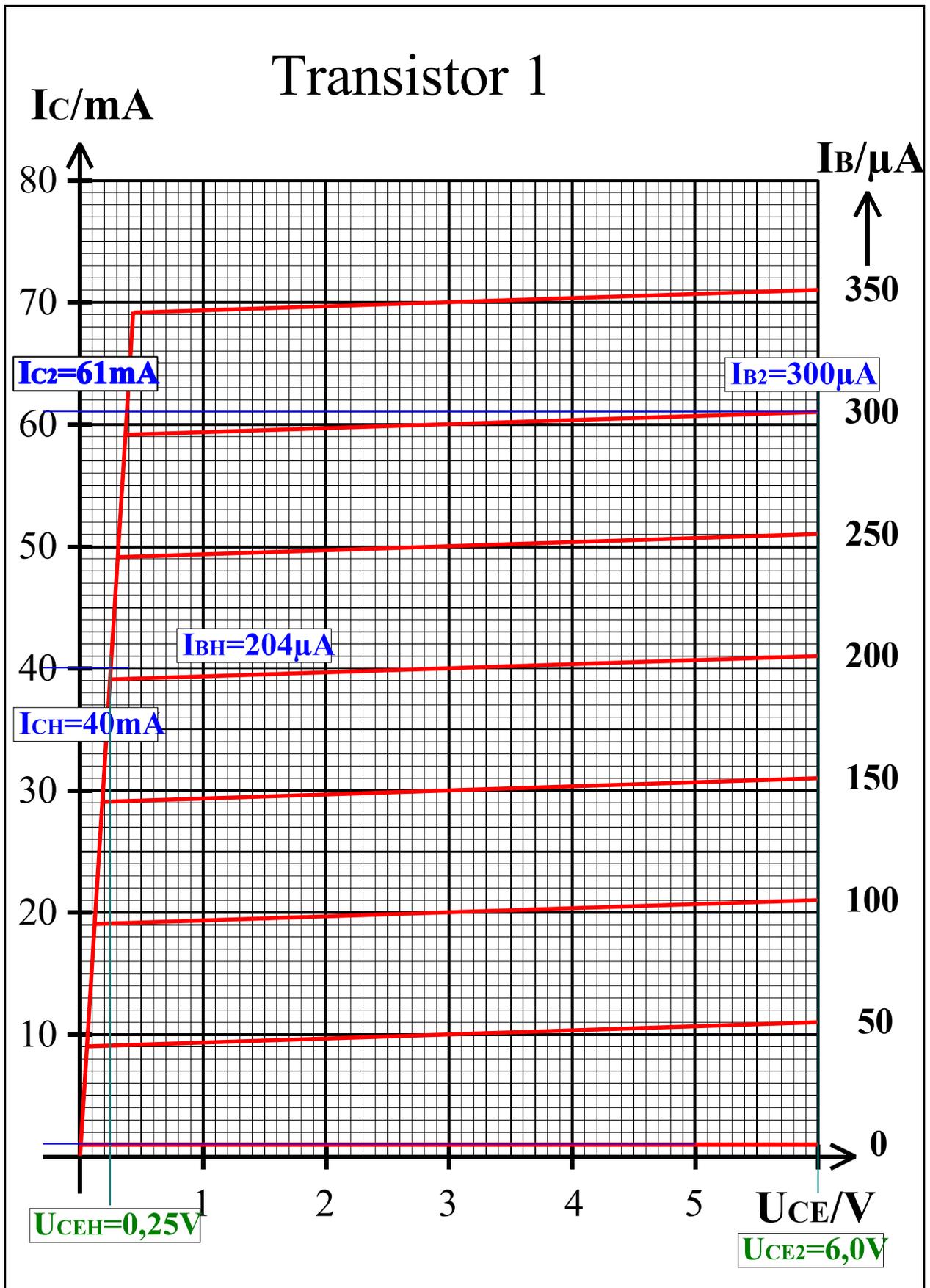


Abb. 9

Lösung: Aufgabe 2.4.3.

Entwurf einer Volladdierschaltung unter Zuhilfenahme von XOR-Gattern

1. Entwurf der Schaltung eines Volladders durch Summenbildung mittels XOR-Gattern.

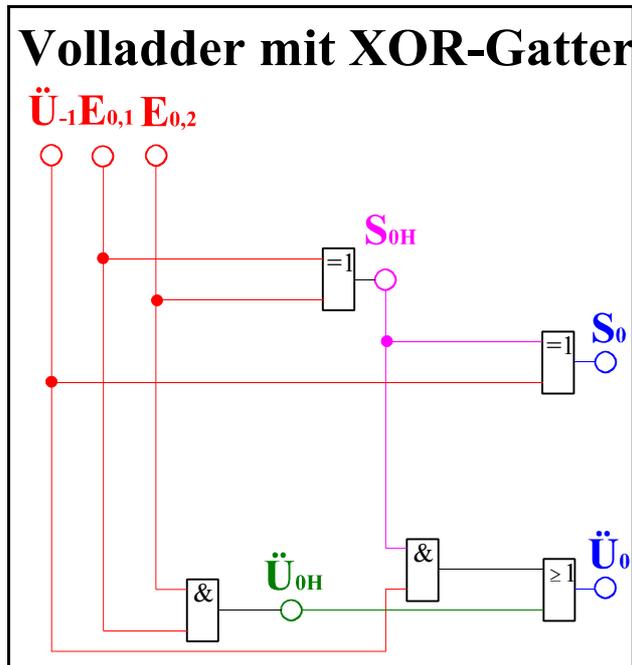


Abb. 10

$$S_{0H} = E_{0,1} \text{ XOR } E_{0,2}$$

$$S_0 = S_{0H} \text{ XOR } \ddot{U}_{-1} = (E_{0,1} \text{ XOR } E_{0,2}) \text{ XOR } \ddot{U}_{-1} = E_{0,1} \text{ XOR } E_{0,2} \text{ XOR } \ddot{U}_{-1}$$

$$\ddot{U}_0 = (E_{0,1} \wedge E_{0,2}) \vee (S_{0H} \wedge \ddot{U}_{-1}) = \ddot{U}_{0H} \vee (S_{0H} \wedge \ddot{U}_{-1})$$

2. Ersetzen der XOR-Gatter durch NOT-, AND- und OR-Gatter in der disjunktiven Normalform

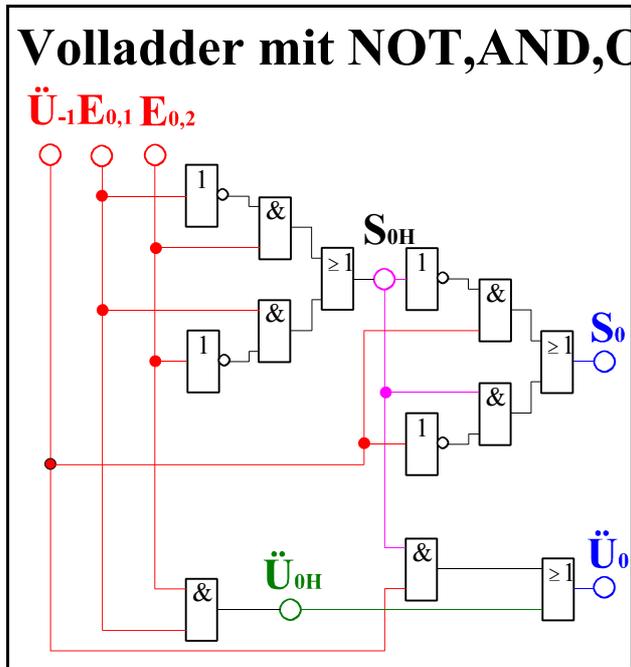


Abb. 11

$$S_{0H} = E_{0,1} \text{ XOR } E_{0,2} = (E_{0,1} \wedge \neg E_{0,2}) \vee (\neg E_{0,1} \wedge E_{0,2})$$

$$S_0 = S_{0H} \text{ XOR } \ddot{U}_{-1} = (E_{0,1} \wedge \neg E_{0,2}) \vee (\neg E_{0,1} \wedge E_{0,2}) \text{ XOR } \ddot{U}_{-1}$$

$$= [(E_{0,1} \wedge \neg E_{0,2}) \vee (\neg E_{0,1} \wedge E_{0,2})] \wedge \neg \ddot{U}_{-1} \vee [(\neg E_{0,1} \wedge \neg E_{0,2}) \vee (E_{0,1} \wedge E_{0,2})] \wedge \ddot{U}_{-1}$$

$$\ddot{U}_0 = (E_{0,1} \wedge E_{0,2}) \vee (S_{0H} \wedge \ddot{U}_{-1}) = \ddot{U}_{0H} \vee (S_{0H} \wedge \ddot{U}_{-1})$$

3. Bestimmung der logischen Gleichung entsprechend der kanonisch disjunktiven Normalform.

\ddot{U}_{-1}	$E_{0,1}$	$E_{0,2}$	S_{0H}	\ddot{U}_{0H}	S_0	\ddot{U}_0
0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	0	1	0
0	1	0	1	0	1	0
0	1	1	0	1	0	1
1	0	0	0	0	1	0
1	0	1	1	0	0	1
1	1	0	1	0	0	1
1	1	1	0	1	1	1

Tabelle 1

$$S_0 = \neg \ddot{U}_{-1} \wedge \neg E_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \neg \ddot{U}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge \neg E_{0,2} \vee \ddot{U}_{-1} \wedge \neg E_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \ddot{U}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge \neg E_{0,2}$$

$$\ddot{U}_0 = \neg \ddot{U}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \ddot{U}_{-1} \wedge \neg E_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \ddot{U}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge \neg E_{0,2} \vee \ddot{U}_{-1} \wedge \neg E_{0,1} \wedge \neg E_{0,2}$$

4. Entwurf der Schaltung streng entsprechend der kanonisch disjunktiven Normalform.

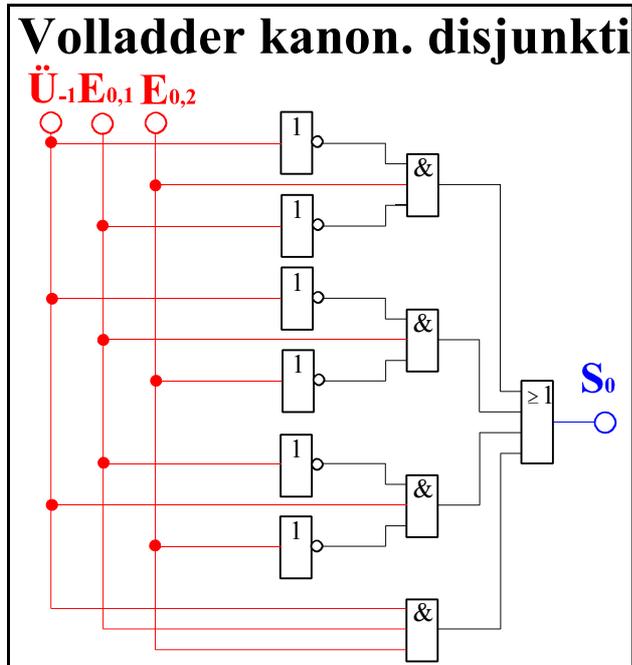


Abb. 12

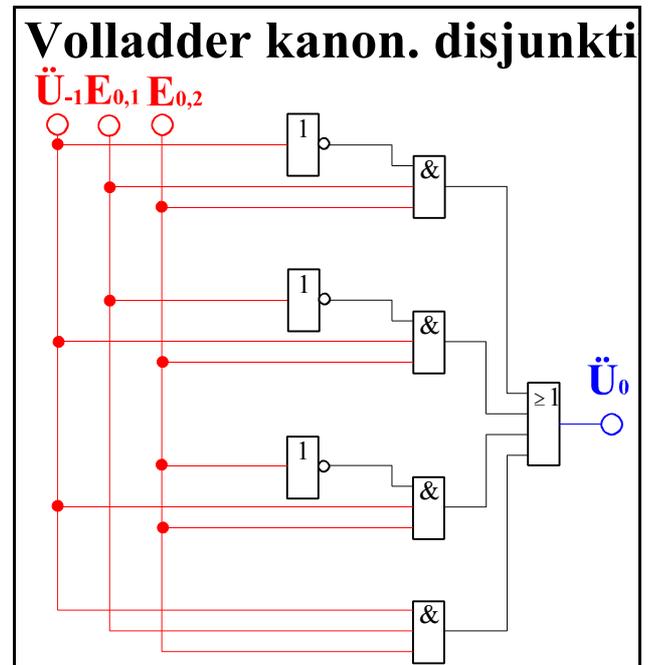


Abb. 13

$$S_0 = \bar{Ü}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge \bar{E}_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge \bar{E}_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge \bar{E}_{0,1} \wedge \bar{E}_{0,2}$$

$$\bar{Ü}_0 = \bar{Ü}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge \bar{E}_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge \bar{E}_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge \bar{E}_{0,1} \wedge \bar{E}_{0,2}$$

5. Zeichnung des Venn-Diagramms für die Summe S_0 und den Übertrag $\bar{Ü}_0$.

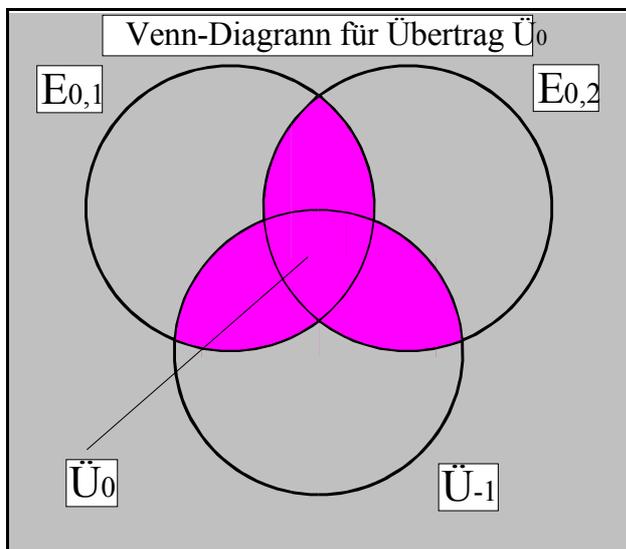


Abb. 14

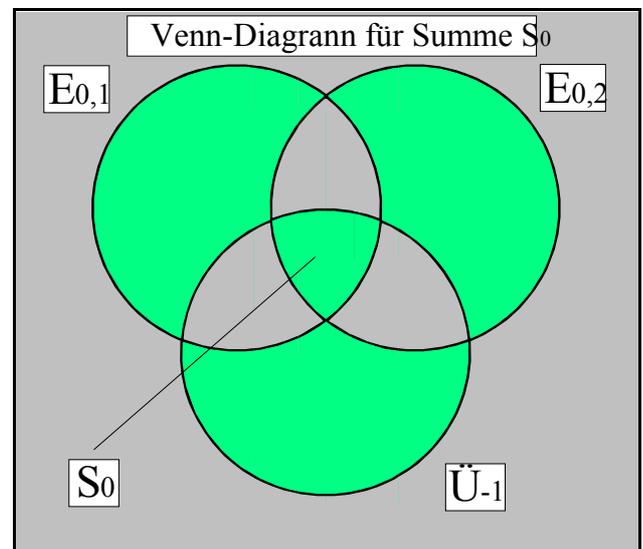


Abb. 15

$$S_0 = \bar{Ü}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge \bar{E}_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge \bar{E}_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge \bar{E}_{0,1} \wedge \bar{E}_{0,2}$$

$$\bar{Ü}_0 = \bar{Ü}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge E_{0,1} \wedge \bar{E}_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge \bar{E}_{0,1} \wedge E_{0,2} \vee \bar{Ü}_{-1} \wedge \bar{E}_{0,1} \wedge \bar{E}_{0,2}$$