

# Musterlösungen zur Klausur

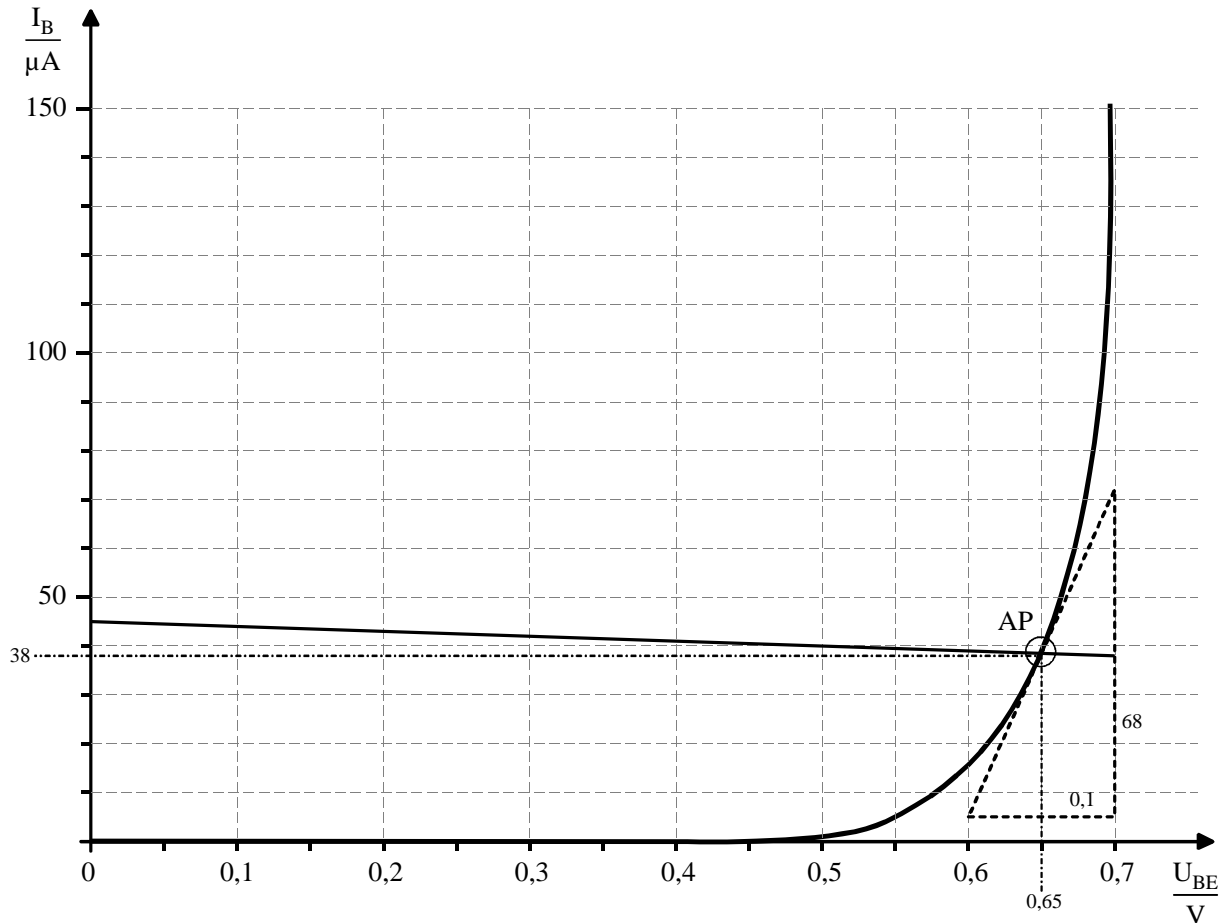
## Technische Informatik II/III

vom 15. 9. 1997

IDA  
22. 9. 1997

## Aufgabe 1 (Transistorschaltung)

- a) Bestimmen Sie graphisch den Arbeitspunkt im Eingangs- und Ausgangskreis. Geben Sie die Wertepaare für Spannung und Strom an.



Im Eingangskreis gilt  $I_B = \frac{U_e - U_{BE}}{R_V}$ . Für  $U_{BE} = 0V$  ergibt sich  $I_{B-0} = 45\mu A$ , für  $U_{BE} = 0,7V$  gilt  $I_{B-0,7} = 38\mu A$ . Im Schnittpunkt der Transistor-Eingangskennlinie mit dieser Geraden liegt der Eingangsarbeitspunkt der Schaltung ( $U_{BE} \approx 0,65V$ ,  $I_B \approx 38\mu A$ ).

Mit diesem Wert für  $I_B$  ist die Ausgangskennlinie des Transistors zu interpolieren. Durch den parallel geschalteten Lastwiderstand  $R_L$  wird der Summenstrom  $I_{CL} = I_C + I_L$  um den Betrag  $I_L = \frac{U_{CE}}{R_L}$  erhöht. Der Arbeitspunkt im Ausgang wird durch den Schnittpunkt mit der Kennlinie der Spannungsquelle  $U_B$  mit Serienwiderstand  $R_C$  ermittelt.

Im Ausgangskreis gilt dann  $I_{CL} = \frac{U_B - U_{CE}}{R_C}$ . Für  $U_{CE} = 0V$  ergibt sich  $I_{CL-0} = 50mA$ , für  $U_{CE} = 20V$  gilt  $I_{CL-20} = 38\mu A$ . Im Schnittpunkt der Summen-Ausgangskennlinie mit dieser Geraden liegt der Arbeitspunkt der Ausgangsbeschaltung ( $U_{CE} \approx 10V$ ,  $I_{CL} \approx 24mA$ ). Mit  $U_{CE} \approx 10V$  und  $I_C \approx 14mA$  ist der Ausgangsarbeitspunkt des Transistors bestimmt.

Alternativ kann für  $U_B$  mit Serienwiderstand  $R_C$  und Lastwiderstand  $R_L$  auch die Ersatzschaltung mit Spannungsquelle  $U_{BB}$  und einfachem Serienwiderstand  $R_{CC}$  benutzt werden.

$$U_{BB} = U_B \frac{R_L}{R_L + R_C} \approx 14,2V \text{ (Spannungsteiler)}, \quad R_{CC} = \frac{R_L * R_C}{R_L + R_C} \approx 285\Omega \text{ (Parallelschaltung)}.$$

**b) Wie groß ist  $r_{BE}$  im Arbeitspunkt?**

$\frac{1}{r_{BE}}$  entspricht der Steigung der Eingangskennlinie im Arbeitspunkt.  $r_{BE} \approx 1,5k\Omega$ .

**c) Bestimmen Sie die Verstärkung  $A = \frac{U_a}{U_e}$  für den Fall, daß der Eingangsspannung  $U_e$  ein Wechselspannungssignal  $U_{sig,SS} = 50 \text{ mV}$  überlagert wird.**

Das Wechselspannungssignal „sieht“ am Schaltungseingang eine Serienschaltung von  $R_V$  und  $r_{BE}$ . Diese Annahme gilt solange, wie der durchzufahrene Kennlinienabschnitt eine Gerade bildet (stückweise linear). Mit  $U_{sig,SS} = 50\text{mV}$  ist diese Forderung erfüllt.

Die Änderung der Ausgangsspannung in Abhängigkeit des Basisstroms kann graphisch durch zwei fiktive Punkte ermittelt werden. Im Arbeitspunkt ergibt sich  $U_A = 10V$  mit  $I_B = 38\mu A$ . Als zweiter Punkt bietet sich z. B.  $I_B = 0$  mit  $U_A = 14,2V$  an.

$$\frac{\Delta U_a}{\Delta U_e} = \frac{\Delta U_{CE}}{(R_V + r_{BE}) * \Delta I_B} = \frac{(10V - 14,2V)}{(100k\Omega + 1,5k\Omega) * (38\mu A - 0\mu A)} \approx -1,1$$

**d) Ermitteln Sie graphisch den Parameter  $\beta$  des Transistors im Arbeitspunkt.**

Für  $\beta$  wird neben dem Ausgangsarbeitspunkt selbst noch ein zweites  $I_B$ - $I_C$ -Wertepaar benötigt, z. B.  $I_C = 33\text{mA}$  für  $I_B = 100\mu A$ .  $\beta$  ist das Verhältnis der beiden Differenzen.

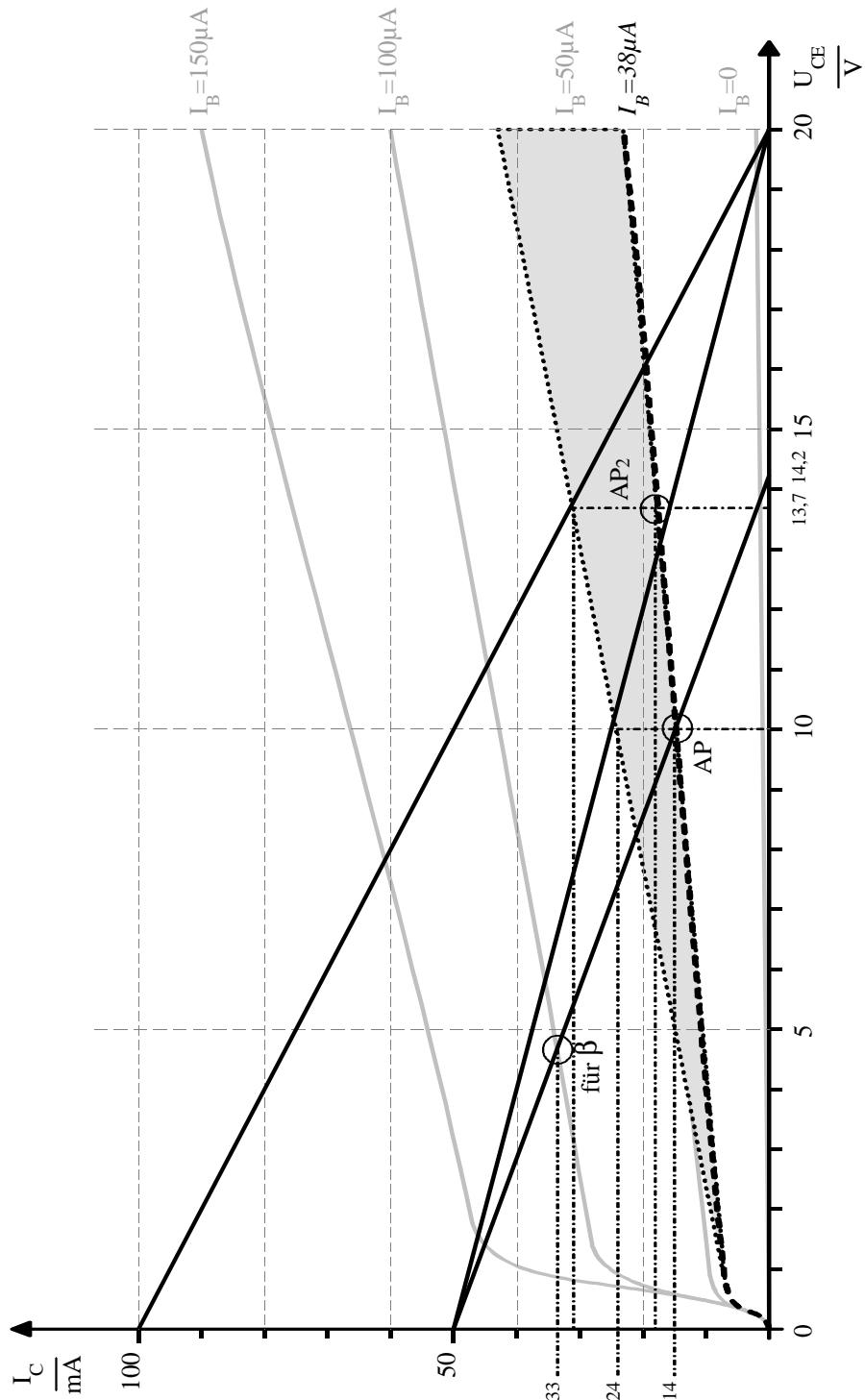
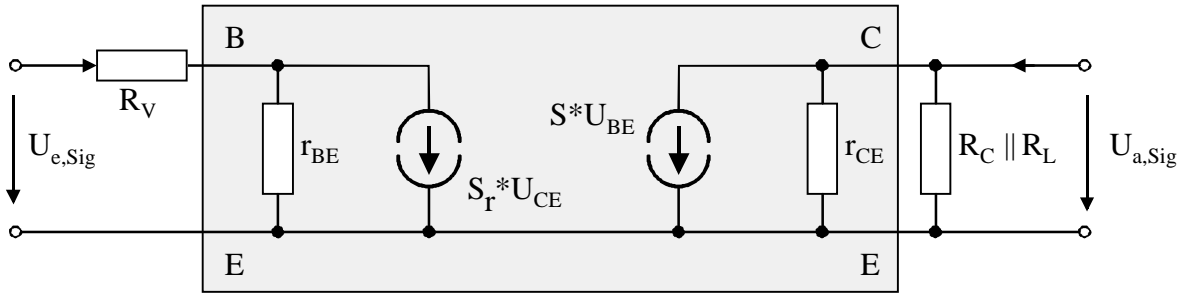
$$\beta = \frac{\Delta I_C}{\Delta I_B} = \frac{33\text{mA} - 14\text{mA}}{100\mu A - 38\mu A} \approx 300$$

**e) Welcher Arbeitspunkt ergibt sich, wenn dem Widerstand  $R_c$  ein Widerstand gleicher Größe parallel geschaltet wird? Welchen Einfluß hat diese Maßnahme auf die Wechselspannungsverstärkung?**

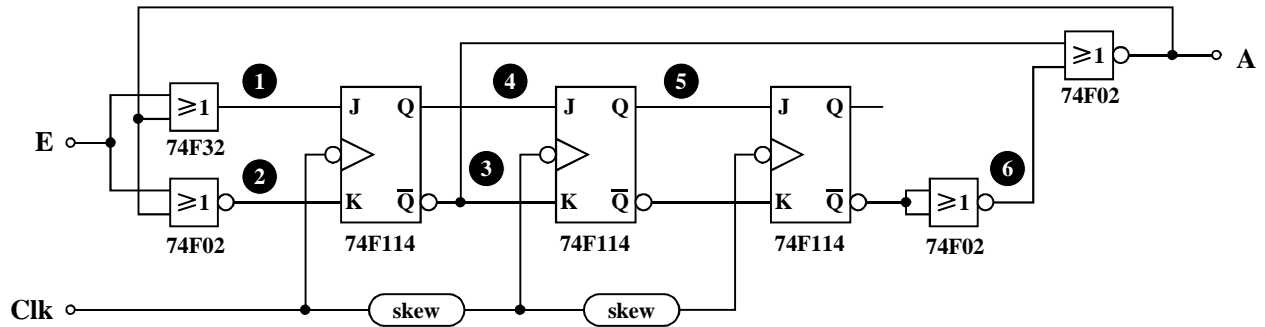
Siehe Zeichnung (AP2). Durch die steilere Arbeitsgerade fällt die Wechselspannungsverstärkung niedriger aus.

**f) Zeichnen Sie das Kleinsignalersatzschaltbild der Transistorschaltung. Um welchen Grundschaltungstyp handelt es sich bei dieser Transistorschaltung?**

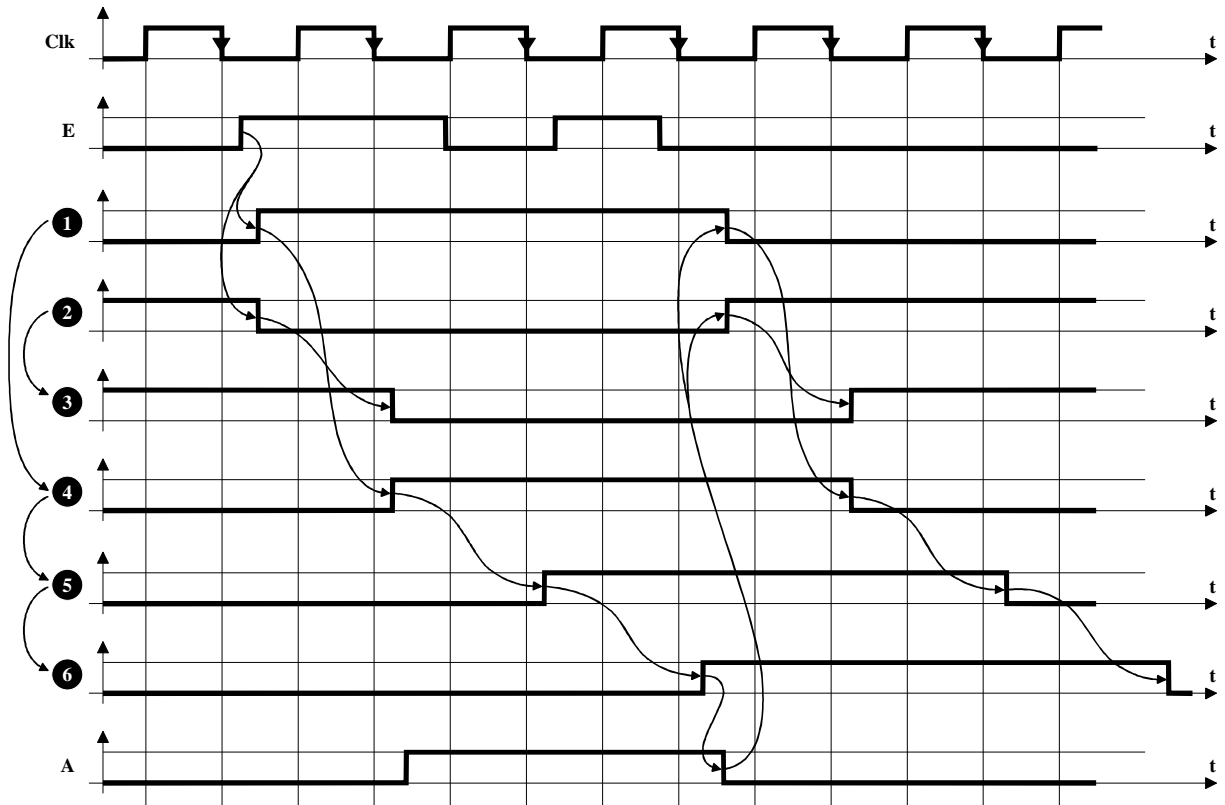
Es handelt sich um einen NPN-Transistor in Emitterschaltung. Mit dem hohen Eingangswiderstand eignet sich die Schaltung als Impedanzwandler oder als Entkopplungsverstärker mit invertierender Charakteristik.



## Aufgabe 2 (Logikschaltung)



- a) Vervollständigen Sie die Signalverläufe im Bild 2-2. Nehmen Sie dabei eine einheitliche Verzögerungszeit  $t_{pd}$  der Gatter an (ca.  $\frac{1}{10}$  der Zykluszeit), der Takt-Skew ist zu vernachlässigen.



- b) Erklären Sie in kurzen Worten die Funktion der Schaltung.

Nicht nachtriggerbarer Univibrator (hier vereinfacht ohne Reset dargestellt). Ab dem Folgezyklus nach dem Erkennen einer positiven Taktflanke am Eingang E wird für drei Zyklen (Gatterverzögerung vernachlässigt) ein H-Pegel am Ausgang erscheinen.

- c) Wie groß ist der maximale Skew  $t_{skew,max}$ , mit dem die Schaltung funktionstüchtig ist?

$$t_{skew,max} = t_{pdDmin} + t_{pdSmin} - t_{hold}$$

Die entscheidenden kritischen Pfade liegen hier zwischen FF 1 und FF 2 sowie zwischen FF 2 und FF 3.

$$t_{\text{skew,max}} = t_{\text{pdDmin}}(\text{F114}) + 0 - t_{\text{hold}}(\text{F114}) = 3\text{ns} + 0\text{ns} - 1\text{ns} = 2\text{ns}$$

**d) Bestimmen Sie die maximale Taktfrequenz  $f_{\text{max}}$ , mit der die Schaltung für 1ns  $t_{\text{skew}}$   $t_{\text{skew}}$  2ns betrieben werden kann.**

$$t_{\text{cycl}} \geq t_{\text{pdDmax}} + t_{\text{pdSmax}} + t_{\text{setup}} - t_{\text{skew,min}}$$

Kritisch wird einer der Rückkopplungspfade von FF 3  $\rightarrow$  FF 1 bzw. FF 1  $\rightarrow$  FF 1, da hier die größten Schaltnetzverzögerungen liegen und weiterhin der Skew negativ ist.

$$\begin{aligned} \text{FF 3} \rightarrow \text{FF 1:} \quad t_{\text{cycl}} &\geq t_{\text{pdDmax}}(\text{F114}) + 2 * t_{\text{pdSmax}}(\text{F02}) + t_{\text{pdSmax}}(\text{F32}) + t_{\text{setup}}(\text{F114}) - \\ &\quad t_{\text{skew,min}} \\ &= 8,5\text{ns} + 2 * 6,5\text{ns} + 6,6\text{ns} + 5\text{ns} - 2 * (-2\text{ns}) = 37,1\text{ns} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{FF 1} \rightarrow \text{FF 1:} \quad t_{\text{cycl}} &\geq t_{\text{pdDmax}}(\text{F114}) + t_{\text{pdSmax}}(\text{F02}) + t_{\text{pdSmax}}(\text{F32}) + t_{\text{setup}}(\text{F114}) - t_{\text{skew,min}} \\ &= 8,5\text{ns} + 6,5\text{ns} + 6,6\text{ns} + 5\text{ns} - 0\text{ns} = 26,6\text{ns} \end{aligned}$$

$$\text{Worst case:} \quad t_{\text{cycl}} \geq 37,1\text{ns} = t_{\text{cycl,min}} \quad f_{\text{max}} = \frac{1}{t_{\text{cycl,min}}} \approx 27\text{MHz}$$

**e) Durch welche schaltungstechnische Maßnahme kann die maximale Taktrate  $f_{\text{max}}$  erhöht werden? Wie hoch ist diese für  $t_{\text{skew}} = 2\text{ns}$ ?**

1) Der Inverter am Ausgang  $\bar{Q}$  von FF 3 kann eingespart werden, wenn das Signal **6** am Ausgang Q angeschlossen wird.

$$t_{\text{cycl,min}} = 8,5\text{ns} + 6,5\text{ns} + 6,6\text{ns} + 5\text{ns} + 4\text{ns} = 30,6\text{ns} \quad f_{\text{max}} = \frac{1}{t_{\text{cycl,min}}} \approx 33\text{MHz}$$

2) Eventuell Taktrichtung umdrehen?

Zunächst überprüfen der Skew-Bedingung FF 3  $\rightarrow$  FF 1:

$$\begin{aligned} t_{\text{skew,max}} &= t_{\text{pdDmin}} + t_{\text{pdSmin}} - t_{\text{hold}} \\ &= 3\text{ns} + 3 * 1,5\text{ns} - 1\text{ns} = 6,5\text{ns} \\ &= 3\text{ns} + 2 * 1,5\text{ns} - 1\text{ns} = 5\text{ns} \end{aligned}$$

(mit **6** an F02)

(mit **6** an Q)

$$t_{\text{skew}} = 4\text{ns} < 5\text{ns} \quad \checkmark$$

O.k., keine Skew-Verletzung.

$$t_{\text{cycl,min}} = 8,5\text{ns} + 6,5\text{ns} + 6,6\text{ns} + 5\text{ns} - 4\text{ns} = 22,6\text{ns}$$

$$f_{\text{max}} = \frac{1}{t_{\text{cycl,min}}} \approx 44\text{MHz}$$

(mit **6** an F02)

$$t_{\text{cycl,min}} = 29,1\text{ns}$$

$$f_{\text{max}} = \frac{1}{t_{\text{cycl,min}}} \approx 34\text{MHz}$$

(mit **6** an Q)

### Aufgabe 3 (Schaltnetz)

- a) Erstellen Sie die vollständige Funktionstabelle unter Berücksichtigung der beliebig wählbaren Funktionswerte.

| Dez.<br>X | Binär          |                |                |                | Dez.<br>f(X) | Binär          |                |                |                |                |
|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|           | X <sub>3</sub> | X <sub>2</sub> | X <sub>1</sub> | X <sub>0</sub> |              | Y <sub>4</sub> | Y <sub>3</sub> | Y <sub>2</sub> | Y <sub>1</sub> | Y <sub>0</sub> |
| 0         | 0              | 0              | 0              | 0              | d. c.        |                |                |                |                |                |
| 1         | 0              | 0              | 0              | 1              | 30           | 1              | 1              | 1              | 1              | 0              |
| 2         | 0              | 0              | 1              | 0              | 27           | 1              | 1              | 0              | 1              | 1              |
| 3         | 0              | 0              | 1              | 1              | 24           | 1              | 1              | 0              | 0              | 0              |
| 4         | 0              | 1              | 0              | 0              | 21           | 1              | 0              | 1              | 0              | 1              |
| 5         | 0              | 1              | 0              | 1              | 18           | 1              | 0              | 0              | 1              | 0              |
| 6         | 0              | 1              | 1              | 0              | 15           | 0              | 1              | 1              | 1              | 1              |
| 7         | 0              | 1              | 1              | 1              | 12           | 0              | 1              | 1              | 0              | 0              |
| 8         | 1              | 0              | 0              | 0              | 9            | 0              | 1              | 0              | 0              | 1              |
| 9         | 1              | 0              | 0              | 1              | 6            | 0              | 0              | 1              | 1              | 0              |
| 10        | 1              | 0              | 1              | 0              | 3            | 0              | 0              | 0              | 1              | 1              |
| 11        | 1              | 0              | 1              | 1              | 0            | 0              | 0              | 0              | 0              | 0              |
| 12        | 1              | 1              | 0              | 0              | d. c.        |                |                |                |                |                |
| 13        | 1              | 1              | 0              | 1              | d. c.        |                |                |                |                |                |
| 14        | 1              | 1              | 1              | 0              | d. c.        |                |                |                |                |                |
| 15        | 1              | 1              | 1              | 1              | d. c.        |                |                |                |                |                |

- b) Geben Sie die disjunktive Normalform der Ausgangsvariablen für das LSB des Ergebnisses an.

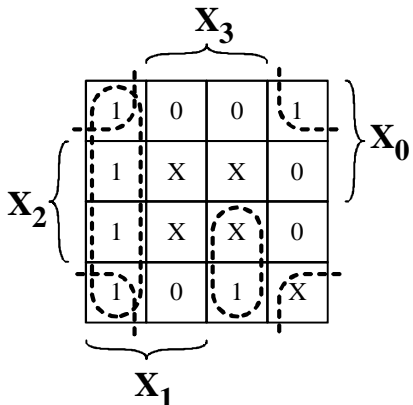
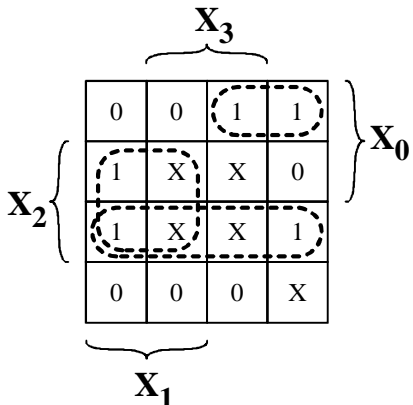
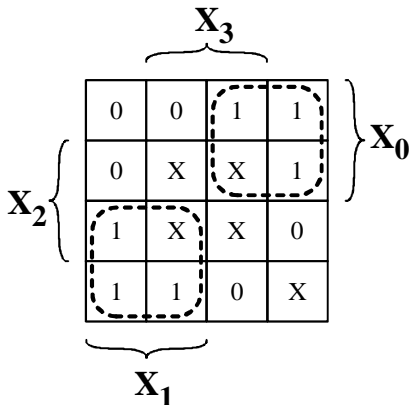
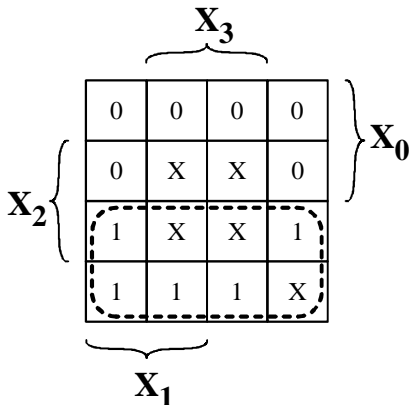
$$Y_0 = \bar{X}_3 \bar{X}_2 X_1 \bar{X}_0 \vee \bar{X}_3 X_2 \bar{X}_1 \bar{X}_0 \vee \bar{X}_3 X_2 X_1 \bar{X}_0 \vee X_3 \bar{X}_2 \bar{X}_1 \bar{X}_0 \vee X_3 \bar{X}_2 X_1 \bar{X}_0$$

- c) Minimieren Sie die Ausgangsfunktionen des Schaltnetzes mit Hilfe von Karnaugh-Tafeln.

Y<sub>4</sub>:

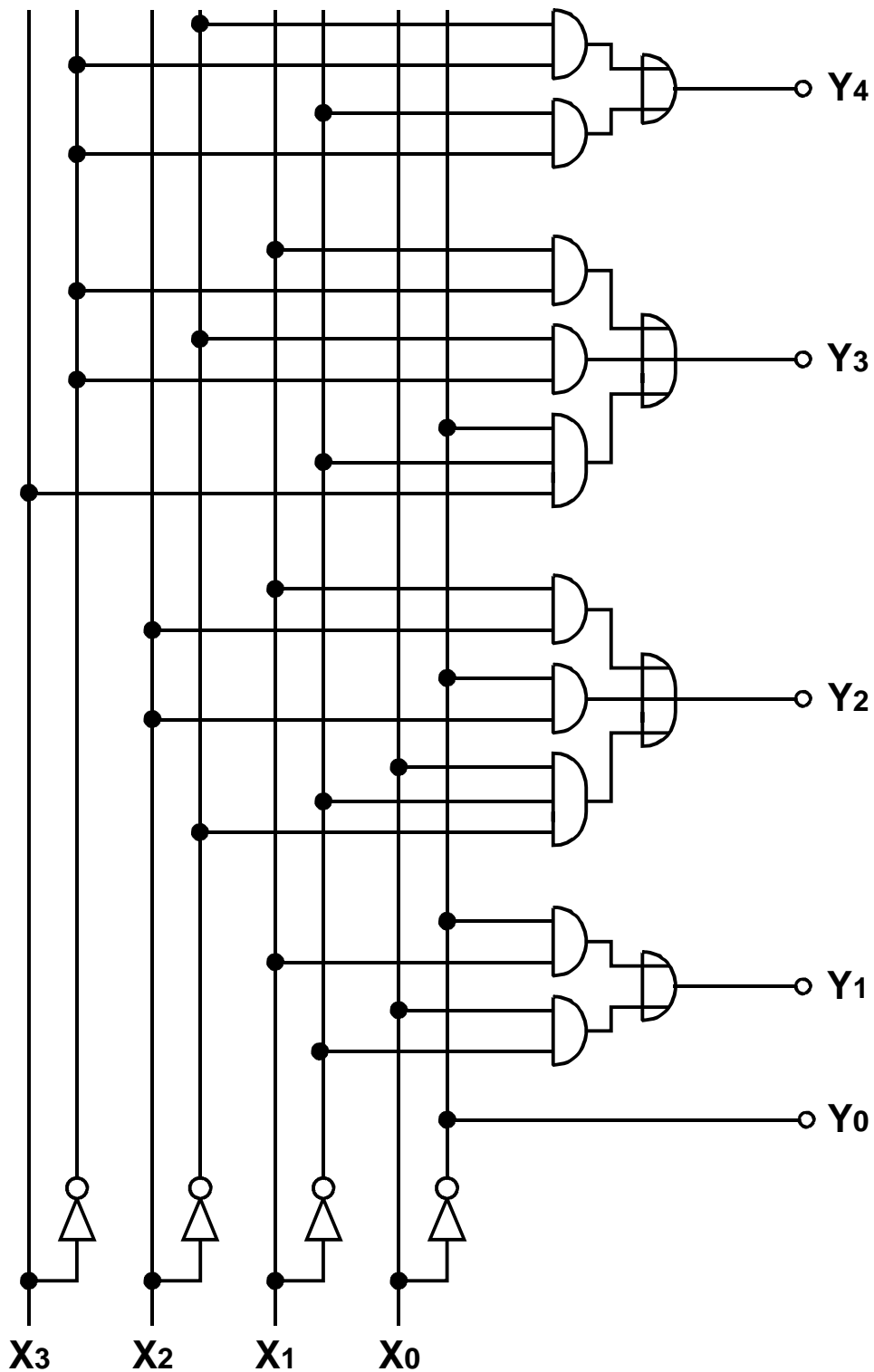
|                |   |   |   |                |   |   |   |
|----------------|---|---|---|----------------|---|---|---|
|                |   |   |   | X <sub>3</sub> |   |   |   |
|                |   | 1 |   | 0              |   | 0 |   |
| 1              | 0 | 0 | 1 | 0              | 0 | 1 | 1 |
| X <sub>2</sub> |   | 0 | X | X              | X | 1 | 1 |
|                |   | 0 | X | X              | X | 1 | 1 |
|                |   | 1 | 0 | 0              | X | X | X |
|                |   |   |   | X <sub>1</sub> |   |   |   |

$$Y_4 = \bar{X}_3 \bar{X}_2 \vee \bar{X}_3 \bar{X}_1$$

|        |   |   |
|--------|---|---|
| $Y_3:$ |    | $Y_3 = \bar{X}_3 X_1 \vee \bar{X}_3 \bar{X}_2 \vee X_3 \bar{X}_1 \bar{X}_0$ |
| $Y_2:$ |   | $Y_2 = X_2 X_1 \vee X_2 \bar{X}_0 \vee \bar{X}_2 \bar{X}_1 X_0$             |
| $Y_1:$ |  | $Y_1 = X_1 \bar{X}_0 \vee \bar{X}_1 X_0$                                    |
| $Y_0:$ |  | $Y_0 = \bar{X}_0$   |



d) Zeichnen Sie das Schaltnetz mit AND-, OR- und NOT-Gattern.

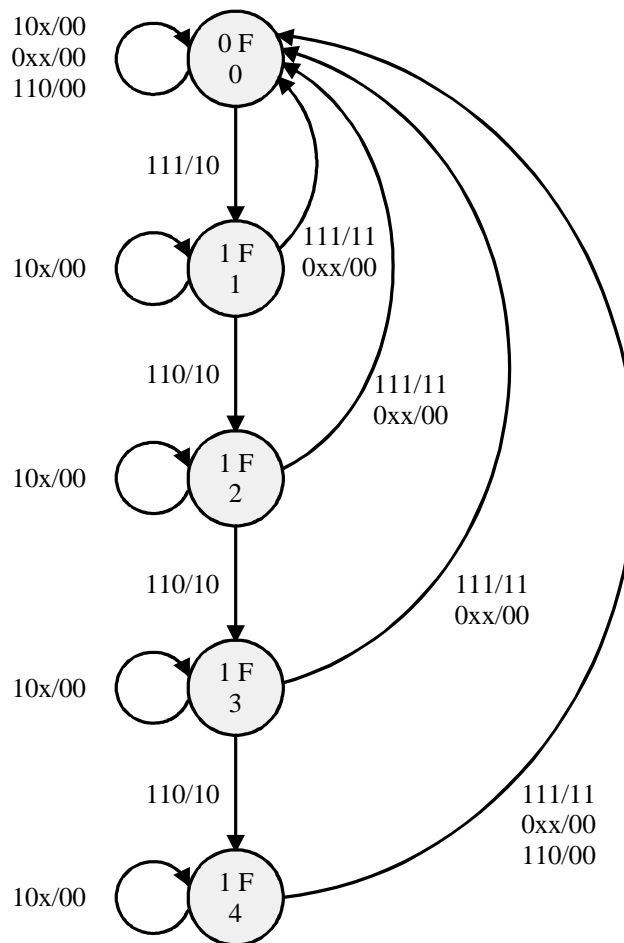


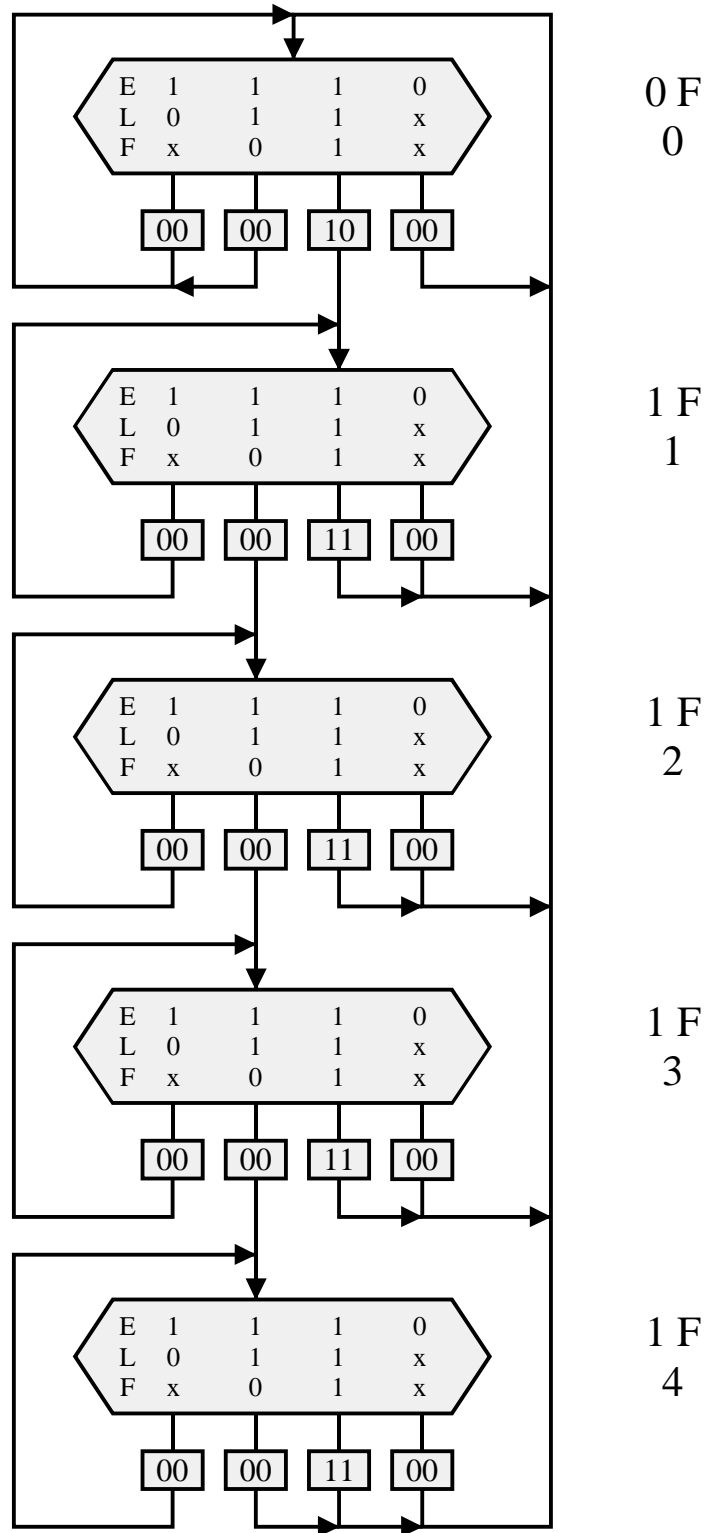
### Aufgabe 4 (Schaltwerk)

a) Geben Sie Ein- und Ausgangsvariablen des Schaltwerks an.

| Eingangsvariablen |                  |  |
|-------------------|------------------|--|
| <b>E</b>          | Ein-/Ausschalter | E = 0 $\hat{=}$ Aus<br>E = 1 $\hat{=}$ Ein   |
| <b>L</b>          | Lichtschranke    | L = 0 $\hat{=}$ keine neue Flasche vor Kontrolleinheit<br>L = 1 $\hat{=}$ neue Flasche vor Kontrolleinheit |
| <b>F</b>          | Flasche unsauber | F = 0 $\hat{=}$ Flasche ist sauber<br>F = 1 $\hat{=}$ Flasche ist nicht sauber                             |
| Ausgangsvariablen |                  |  |
| <b>W</b>          | Warnsignal       | W = 0 $\hat{=}$ kein Warnsignal<br>W = 1 $\hat{=}$ Warnsignal ertönt                                       |
| <b>N</b>          | Nothalt          | N = 1 $\hat{=}$ Notaus   |

b) Erstellen Sie den Automatengraphen oder das Flußdiagramm für das Schaltwerk.





c) Zeichnen Sie die FPLA-Realisierung des Schaltwerks.

Zustandskodierung:

| Zustand | $Z_2$ | $Z_1$ | $Z_0$ |
|---------|-------|-------|-------|
| 0 F, 0  | 0     | 0     | 0     |
| 1 F, 1  | 0     | 0     | 1     |
| 1 F, 2  | 0     | 1     | 0     |
| 1 F, 3  | 0     | 1     | 1     |
| 1 F, 4  | 1     | 0     | 0     |

