

Musterlösungen zur Klausur

Technische Informatik II

vom 13. 9. 1999

IDA
3. 9. 1999

II-1 TRANSISTORSCHALTUNG

- a) Die Ausgangsbeschaltung der in Bild 1-1 gezeigten Transistorstufe (bestehend aus U_B , R_2 und R_3) läßt sich in eine Ersatzschaltung überführen, die aus U_B' und R_2' besteht (Bild 1-2). Wie groß sind U_B' und R_2' ?

Die Spannung U_B' entspricht der Spannung am Spannungsteiler mit R_2 und R_3 :

$$U_B' = U_B \cdot \frac{R_3}{R_2 + R_3} = 10V \cdot \frac{800\Omega}{200\Omega + 800\Omega} = 8V$$

1

R_2' entspricht der Parallelschaltung von R_2 und R_3 :

$$R_2' = \frac{R_2 \cdot R_3}{R_2 + R_3} = \frac{200\Omega \cdot 800\Omega}{200\Omega + 800\Omega} = 160\Omega$$

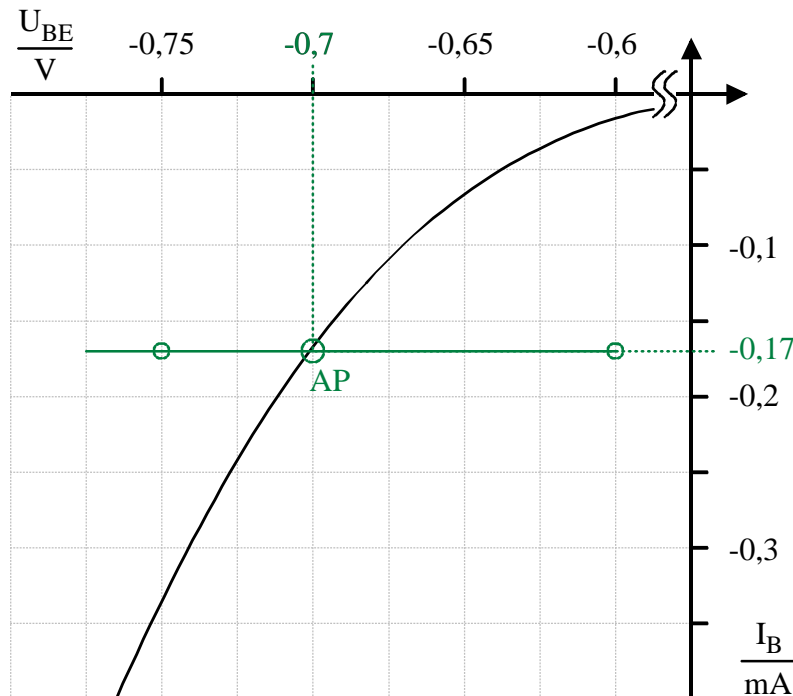
1

- b) Bestimmen Sie grafisch die Arbeitspunkte des Transistors T.

Den Arbeitspunkt im Eingangskreis erhält man durch Gleichsetzen der Transistor-Eingangskennlinie mit der Arbeitsgeraden der Vorspannungserzeugung (U_B mit Widerstand R_1). Letztere ermittelt man aus dem Spannungsumlauf $U_B = U_{BE} + I_B \cdot R_1$. Nach I_B aufgelöst ergibt sich:

$$I_B = \frac{U_B - U_{BE}}{R_1}$$

Für U_{BE} setzt man z. B. $-0,75$ V und $-0,6$ V ein. Die zwei Punkte auf der Geraden berechnen sich zu $\{-0,75$ V, $-0,168$ mA $\}$ und $\{-0,6$ V, $-0,171$ mA $\}$. Der Arbeitspunkt im Eingangskreis ergibt sich zu $\{-0,7$ V, $-0,17$ mA $\}$.

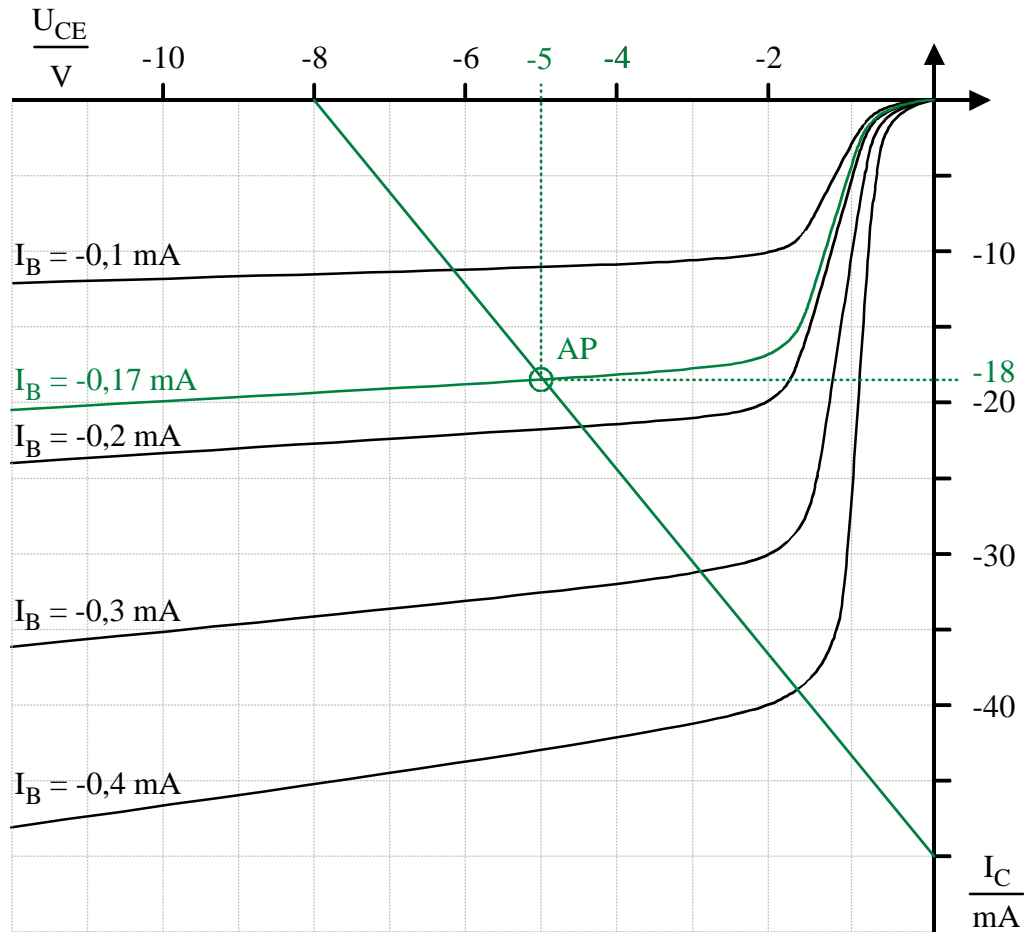


2

Den Arbeitspunkt im Ausgangskreis erhält man durch Gleichsetzen der interpolierten Transistor-Ausgangskennlinie für einen Basisstrom $I_B = -0,17 \text{ mA}$ mit der Arbeitsgeraden der Ausgangsspannungsversorgung (U_B' mit Widerstand R_2'). Letztere ermittelt man aus dem Spannungsumlauf $U_B' = U_A + I_C \cdot R_2'$. Nach I_C aufgelöst ergibt sich:

$$I_C = \frac{U_B' - U_A}{R_2'}$$

U_A setzt man z. B. auf 0 V und -8 V . Zwei Punkte auf der Geraden sind dann $\{0 \text{ V}, -50 \text{ mA}\}$ und $\{-8 \text{ V}, 0 \text{ mA}\}$. Der Arbeitspunkt im Ausgangskreis ergibt sich zu $\{-5 \text{ V}, -18 \text{ mA}\}$.



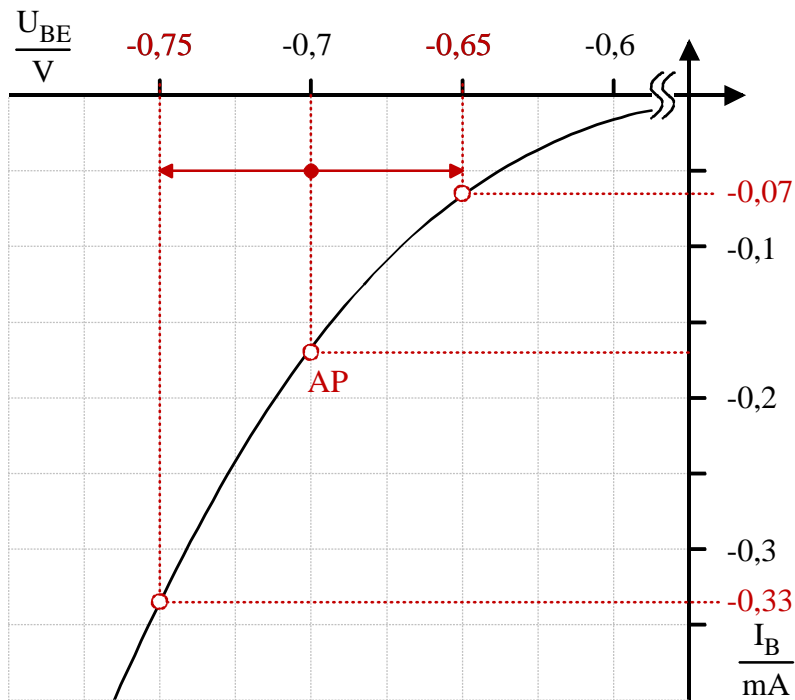
3

- c) Bestimmen Sie grafisch die Spannungsverstärkung A für eine Aussteuerung des Eingangssignals $\Delta U_E = 100 \text{ mV}$ ($\pm 50 \text{ mV}$).

Die Spannungsverstärkung A ist das Verhältnis der Änderung der Ausgangsspannung ΔU_{CE} zur Änderung der Eingangsspannung ΔU_{BE} :

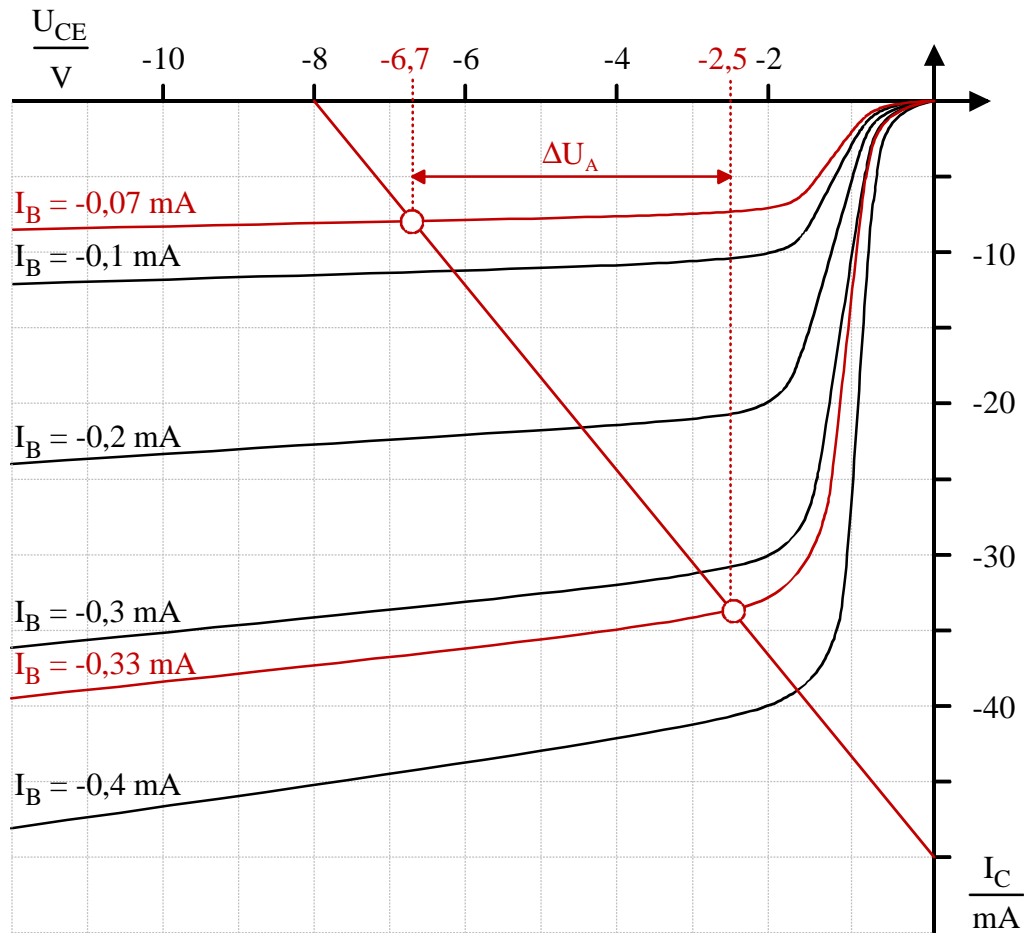
$$A = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}} = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_E}$$

Die Spannungsänderung ΔU_{BE} wird an die Eingangskennlinie eingetragen. Es ergeben sich zwei neue Wertepaare: $\{-0,75 \text{ V}, -0,33 \text{ mA}\}$ und $\{-0,65 \text{ V}, -0,07 \text{ mA}\}$.



2

Mit den beiden Eckwerten für den Basisstrom (-0,33 mA und -0,07 mA) interpoliert man die entsprechenden Ausgangskennlinien und liest am Schnittpunkt mit der Arbeitsgeraden die zugehörigen Ausgangsspannungen ab (auf Vorzeichen achten!):



2

$$A = \frac{\Delta U_{CE}}{\Delta U_{BE}} \approx \frac{-2,5V - (-6,7V)}{-0,75V - (-0,65V)} = \frac{4,2V}{-0,1V} = -42$$

1

- d) Berechnen Sie die Parameter r_{BE} , r_{CE} und S unter Verwendung von $U_T = -35 \text{ mV}$, $\beta = 110$ und $U_Y = -38 \text{ V}$.

r_{BE} , r_{CE} und S können mit Hilfe der Formeln aus der Vorlesung berechnet werden:

$$S = \frac{I_C}{U_T} = \frac{-18 \text{ mA}}{-35 \text{ mV}} \approx 0,5 \frac{1}{\Omega}$$

1

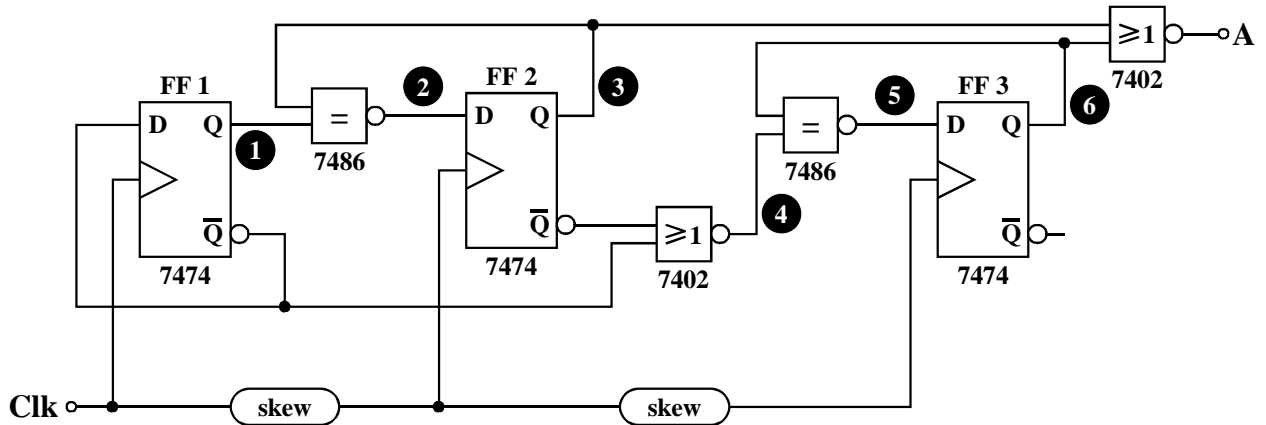
$$r_{BE} = \frac{\beta}{S} = \frac{110}{0,5 \frac{1}{\Omega}} = 220 \Omega$$

1

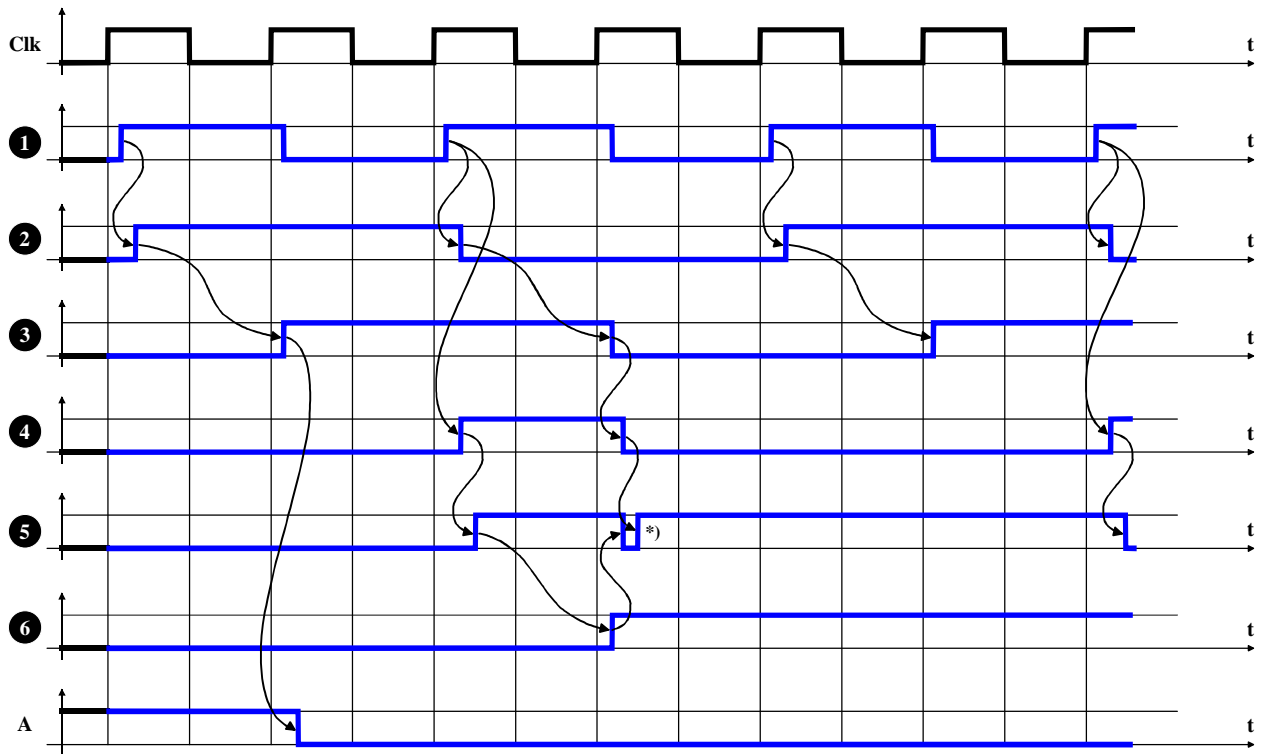
$$r_{CE} = \frac{U_Y}{I_C} = \frac{-38 \text{ V}}{-18 \text{ mA}} \approx 2,1 \text{ k}\Omega$$

1

II-2 SCHALTUNG MIT D-FLIP-FLOPS



a) Vervollständigen Sie die Signalverläufe im Bild 2-2. Nehmen Sie dabei eine einheitliche Verzögerungszeit der Gatter an ($t_{pd} \sim 0,1 t_{cycle}$). Der Takt-Skew sei zu vernachlässigen.



6

*) kein Punktabzug für fehlenden Störpuls („Glitch“)

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

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

Für Pfade ohne Skew muß $t_{\text{skew,max}} > 0$ gelten:

1

FF 1 → FF 1:

$$t_{\text{skew,max}} = t_{\text{pdDmin}}(74) + 0 - t_{\text{hold}}(74) = 3,5\text{ns} - 0,5\text{ns} = 3\text{ns} \checkmark$$

FF 2 → FF 2:

$$t_{\text{skew,max}} = t_{\text{pdDmin}}(74) + t_{\text{pdSmin}}(86) - t_{\text{hold}}(74) = 3,5\text{ns} + 3,8\text{ns} - 0,5\text{ns} = 6,8\text{ns} \checkmark$$

FF 3 → FF 3:

$$t_{\text{skew,max}} = t_{\text{pdDmin}}(74) + t_{\text{pdSmin}}(86) - t_{\text{hold}}(74) = 3,5\text{ns} + 3,8\text{ns} - 0,5\text{ns} = 6,8\text{ns} \checkmark$$

Pfade mit einfachem Skew:

FF 1 → FF 2:

$$t_{\text{skew,max}} = t_{\text{pdDmin}}(74) + t_{\text{pdSmin}}(86) - t_{\text{hold}}(74) = 3,5\text{ns} + 3,8\text{ns} - 0,5\text{ns} = 6,8\text{ns}$$

FF 2 → FF 3:

$$t_{\text{skew,max}} = t_{\text{pdDmin}}(74) + t_{\text{pdSmin}}(02) + t_{\text{pdSmin}}(86) - t_{\text{hold}}(74) = 3,5\text{ns} + 2,5\text{ns} + 3,8\text{ns} - 0,5\text{ns} = 9,3\text{ns}$$

Pfad mit zweifachem Skew:

FF 1 → FF 3:

$$2 \cdot t_{\text{skew,max}} = t_{\text{pdDmin}}(74) + t_{\text{pdSmin}}(02) + t_{\text{pdSmin}}(86) - t_{\text{hold}}(74)$$

$$t_{\text{skew,max}} = 0,5 \cdot (t_{\text{pdDmin}}(74) + t_{\text{pdSmin}}(02) + t_{\text{pdSmin}}(86) - t_{\text{hold}}(74)) = 0,5 \cdot (3,5\text{ns} + 2,5\text{ns} + 3,8\text{ns} - 0,5\text{ns}) = 4,65\text{ns}$$

Der maximale Skew ergibt sich aus dem Minimum obiger Zeiten:¹

$$t_{\text{skew,max}} = \min(6,8\text{ns}, 9,3\text{ns}, 4,65\text{ns}) = 4,65\text{ns}$$

4

¹ Für unvollständige Pfadaufzählungen gibt es keinen Punktabzug, wenn a) der kritische Fall (FF 1 → FF 3) berechnet und b) auf die Skew-Bedingung für alle Pfade (auch die mit $t_{\text{skew}} = 0$) hingewiesen wurde.

- c) Bestimmen Sie die maximale Taktfrequenz f_{\max} , mit der die Schaltung für $t_{\text{skew}} \leq 3 \text{ ns}$ betrieben werden kann.

Die Skew-Bedingung ist erfüllt ($3 \text{ ns} \leq 4,65 \text{ ns}$).

1

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

FF 1 → FF 1:

$$t_{\text{cycl}} \geq t_{\text{pdDmax}}(74) + 0 + t_{\text{setup}}(74) - 0 = 7,2 \text{ ns} + 3,5 \text{ ns} = 10,7 \text{ ns}$$

FF 2 → FF 2:

$$t_{\text{cycl}} \geq t_{\text{pdDmax}}(74) + t_{\text{pdSmax}}(86) + t_{\text{setup}}(74) - 0 = 7,2 \text{ ns} + 6,8 \text{ ns} + 3,5 \text{ ns} = 17,5 \text{ ns}$$

FF 3 → FF 3:

$$t_{\text{cycl}} \geq t_{\text{pdDmax}}(74) + t_{\text{pdSmax}}(86) + t_{\text{setup}}(74) - 0 = 7,2 \text{ ns} + 6,8 \text{ ns} + 3,5 \text{ ns} = 17,5 \text{ ns}$$

FF 1 → FF 2:

$$t_{\text{cycl}} \geq t_{\text{pdDmax}}(74) + t_{\text{pdSmax}}(86) + t_{\text{setup}}(74) - 0 = 7,2 \text{ ns} + 6,8 \text{ ns} + 3,5 \text{ ns} = 17,5 \text{ ns}$$

FF 2 → FF 3:

$$t_{\text{cycl}} \geq t_{\text{pdDmax}}(74) + t_{\text{pdSmax}}(02) + t_{\text{pdSmax}}(86) + t_{\text{setup}}(74) - 0 = 7,2 \text{ ns} + 5,5 \text{ ns} + 6,8 \text{ ns} + 3,5 \text{ ns} = 23 \text{ ns}$$

FF 1 → FF 3:

$$t_{\text{cycl}} \geq t_{\text{pdDmax}}(74) + t_{\text{pdSmax}}(02) + t_{\text{pdSmax}}(86) + t_{\text{setup}}(74) - 2 \cdot 0 = 7,2 \text{ ns} + 5,5 \text{ ns} + 6,8 \text{ ns} + 3,5 \text{ ns} = 23 \text{ ns}$$

Die minimale Zykluszeit ergibt sich aus dem Maximum obiger Zeiten:²

$$t_{\text{cycl,max}} = \max(10,7 \text{ ns}, 17,5 \text{ ns}, 23 \text{ ns}) = 23 \text{ ns}$$

$$\rightarrow f_{\max} = \frac{1}{t_{\text{cycl,min}}} \approx 43 \text{ MHz}$$

3

² Es müssen nicht alle Pfade bestimmt werden. Es reicht, den kritischen Fall zu begründen und zu berechnen. Z. B.: Der Pfad von FF 1 (oder FF 2) nach FF 3 ist kritisch, weil dort zwei zusätzliche Gatterlaufzeiten auftreten...