

## 11. Übungsblatt - Automatenentwurf und Timing

Digitaltechnik und Rechnersysteme • Wintersemester 2022/2023

### 1 Gruppenübung

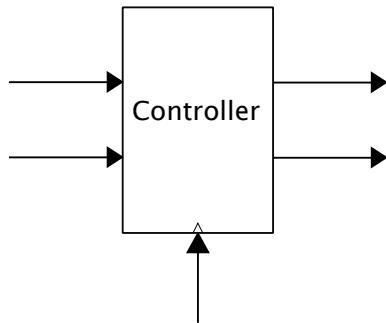
#### 1.1 Garagentorsteuerung

Ein elektrisch betriebenes Garagentor soll öffnen bzw. schließen, wenn die Fernbedienung betätigt wird (Signal Fernbedienung betätigt  $f = 1$ , nicht betätigt  $f = 0$ ). Während das Tor öffnet bzw. schließt sollen zunächst alle weiteren Eingaben von der Fernbedienung ignoriert werden, bis das Tor vollständig geöffnet bzw. geschlossen ist. Wird im offenen bzw. geschlossenen Zustand ein Signal von der Fernbedienung empfangen, soll sich das Tor wieder schließen bzw. öffnen.

Zuständig für die Steuerung ist ein Controller (synchrone Zustandsautomat) der einem Elektromotor über die Signale  $m_1$  und  $m_2$  signalisiert, ob das Tor geöffnet ( $m_1 = 0, m_2 = 1$ ) bzw. geschlossen ( $m_1 = 1, m_2 = 0$ ) werden soll, oder ob der Motor steht, d. h. das Tor in Position gehalten werden soll ( $m_1 = 0, m_2 = 0$ ). Die Kombination  $m_1 = 1, m_2 = 1$  ist verboten, da sie den Motor beschädigt.

Zur Erkennung der Endlage ist ein Schalter am Tor angebracht, welcher das Signal  $e$  für den Controller erzeugt. Ist das Tor vollständig geöffnet bzw. geschlossen, so ist das Signal  $e = 1$ , ansonsten ist  $e = 0$ . Der Takt des Automaten sei hinreichend langsam, so dass der Motor anlaufen kann und sich das Tor vom Endschalter weg bewegt, bevor im nächsten Takt dieser ausgewertet wird.

- a) Beschriften Sie zunächst folgendes Blockschaltbild des Controllers mit allen Ein- und Ausgängen.

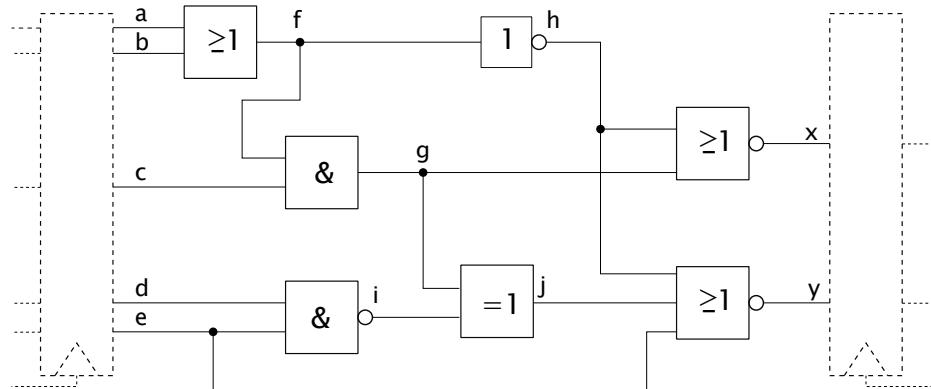


- b) Beschreiben Sie das Verhalten des Controllers in einem Zustandsdiagramm. Sie brauchen hierzu die Zustände nicht codieren, es genügen verbale Namen.

*Lösungshilfe: Überlegen Sie zunächst, wie viele Zustände zur Lösung dieses Problems minimal benötigt werden. Entwickeln Sie anschließend das Zustandsdiagramm, indem Sie Schritt für Schritt beim Öffnen und anschließendem Schließen des Tors betrachten.*

## 1.2 Längster Pfad

Gegeben seien folgendes Schaltnetz (ignorieren Sie zunächst die gestrichelt eingezeichneten Flipflops):



Die einzelnen Gatter sind mit den folgenden Durchlaufzeiten spezifiziert:

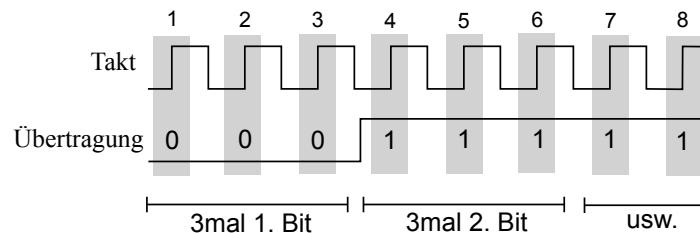
Bauteil	Eingänge	Durchlaufzeit ( $t_{PD}$ )
Inverter	1	5 ns
NAND	2	10 ns
AND	2	10 ns
NOR	2	10 ns
NOR	3	15 ns
OR	2	10 ns
XOR	2	10 ns

- Bestimmen Sie die maximale Durchlaufzeit durch das Schaltnetz ( $t_{PD,max}$ ).
- Finden Sie den Pfad mit der längsten Propagierungs-Verzögerung (kritischer Pfad). Zeichnen Sie diesen Pfad deutlich in die Abbildung ein.

## 2 Hausübung

### 2.1 Datensicherung durch Mehrheitsentscheidung (6 Punkte)

Auf einer Datenleitung sollen sequentiell mit jedem Takt Einzelbits übertragen werden. Um Fehler bei der Datenübertragung zu erkennen, wird jedes Bit dreimal hintereinander übertragen.



Bei fehlerhafter Übertragung soll mit Hilfe einer Mehrheitsentscheidung entschieden werden, welches Bit am wahrscheinlichsten übertragen wurde. Beim Empfang der Sequenz »011« soll zum Beispiel entschieden werden, dass wahrscheinlich eine 1 gesendet wurde. Beim Empfang der Sequenz »000« soll zum Beispiel entschieden werden, dass wahrscheinlich eine 0 gesendet wurde.

Entwerfen Sie einen Mealy-Automaten zur Beurteilung der beschriebenen redundanten Datenübertragung. Der Automat soll nacheinander drei Bits einer Übertragung erhalten und dann entscheiden, welches Bit wahrscheinlich übertragen werden sollte. Der Ausgang  $b$  soll diese Entscheidung repräsentieren, indem er eine 0 oder eine 1 während der Übertragung des 3. Bits ausgibt. Ihr Automat soll einen *valid*-Ausgang  $v$  besitzen, der während der Übertragung des 3. Bits auf 1 gesetzt wird. Sonst soll der *valid*-Ausgang eine 0 ausgeben.

Tabelle 1 zeigt eine Beispieldsequenz von 6 Takten, welche die Funktionsweise des beschriebenen Automaten an Hand eines zeitlichen Ablaufs verdeutlicht. Das Signal  $i$  ist hier das sequentielle 1-Bit Eingangssignal. Das Ausgangssignal  $b$  zeigt alle  $3n$  Takte die Entscheidung des Automaten an. In den Takten  $3n + 1$  und  $3n + 2$  kann  $b$  beliebige Werte annehmen (*don't care*,  $-$ ). Alle  $3n$  Takte wird der *valid*-Ausgang  $v$  auf 1 gesetzt.

Takt		1	2	3	4	5	6
$i$		0	1	0	1	1	1
$b$		-	-	0	-	-	1
$v$		0	0	1	0	0	1

Tabelle 1: Beispieldsequenz

Entwerfen Sie ein Zustandsübergangsdiagramm des Mealy-Automaten. Geben Sie die verwendete Notation an!

## 2.2 Maximale Taktfrequenz (4 Punkte)

Die Schaltung aus Aufgabe 1.2 wird nun in einer getakteten Umgebung eingesetzt. D. h. die Eingangssignale kommen aus Flipflops und die Ausgangssignale gehen in Flipflops (beides gestrichelt eingezeichnet), welche alle synchron mit dem gleichen Takt betrieben werden. Die Setup-Zeit der verwendeten Flipflops beträgt 4 ns und die Flipflop-Verzögerungszeit beträgt 8 ns (Zeit zwischen steigender Taktflanke und Ausgabe der Daten). Bestimmen Sie die maximale Taktfrequenz.