

Frequenzteiler (DIV)

Vorlesung Digitales Design

Hes·so  **VALAIS
WALLIS**



Haute Ecole d'Ingénierie
Hochschule für Ingenieurwissenschaften

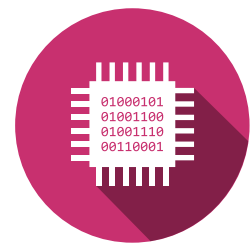
Orientierung: [Systemtechnik \(SYND\)](#)

Kurs: Digitales Design (DiD)

Verfasser: [Christophe Bianchi](#), [François Corthay](#), [Pierre Pompili](#), [Silvan Zahno](#)

Datum: 25. August 2022

Version: v2.1



Inhaltsverzeichnis

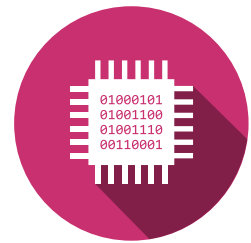
1 Einführung	2
2 Frequenzteiler mit Zweierpotenz	3
2.1 Teiler durch 2	3
2.2 Teiler mit Zweierpotenz	3
2.3 Dauerzustände und Übergangszustände	3
2.3.1 Bemerkung	3
3 Modulo-N-Frequenzteiler	5
3.1 Durchführung	5
3.1.1 Bemerkung	5
3.1.2 Kommentar	5
3.2 Vereinfachung der Nullstellungsfunktion	5
3.3 Einfluss der Übergangszustände	6
3.3.1 Bemerkungen	6
3.4 Zustände ausserhalb der Zählschleife	6
Literatur	7



1 Einführung

Frequenzteiler werden hauptsächlich dazu verwendet, ein Taktsignal von einem Quarz aus zu erzeugen. Sie können auch als Asynchronzähler benutzt werden, wobei jedoch Übergangszustände bei ihren Ausgängen entstehen.

Frequenzteiler werden durch die Kaskadierung von Frequenzteilern durch 2 erzeugt. Bei der Teilung durch eine Zahl, die keine Zweierpotenz darstellt, wird ausserdem noch eine Nullstellungslogik benötigt.



2 Frequenzteiler mit Zweierpotenz

2.1 Teiler durch 2

Ein Frequenzteiler durch 2 wird anhand eines Flipflops realisiert, der so angeschlossen ist, dass er folgende Gleichung erfüllt (1):

$$Q^+ = \overline{Q} \quad (1)$$

In Abbildung 1 ist ein Beispiel eines Frequenzteilers durch 2 mit einem T-Flipflop dargestellt.

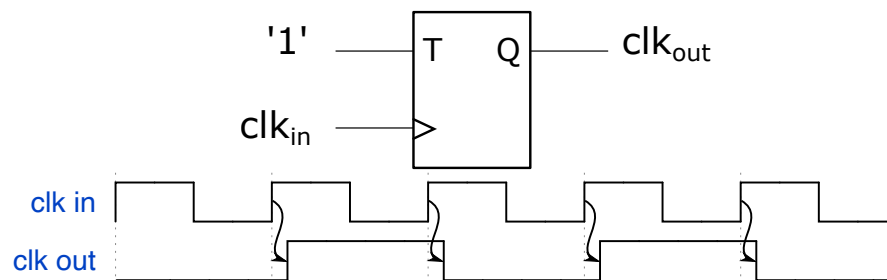


Abbildung 1: Frequenzteiler durch 2

2.2 Teiler mit Zweierpotenz

Wie aus Abbildung 2 ersichtlich, wird ein Frequenzteiler mit Zweierpotenz anhand der Kaskadierung von Frequenzteilern durch 2 realisiert.

2.3 Dauerzustände und Übergangszustände

Das Zeitdiagramm aus Abbildung 2 gibt uns die in Abbildung 3 dargestellte Zustandssequenz $Q = [Q_2, Q_1, Q_0]$.

In diesem Graphen sind dargestellt:

- **Übergangszustände**, die nur eine Flipflopverzögerung lang dauern,
- **Dauerzustände**, die bis zur nächsten Flanke des Eingangstaktsignals dauern

Der Graph in Abbildung 4 übernimmt den Graphen aus Abbildung 3, lässt jedoch die Übergangszustände weg.

Die Sequenz der Dauerzustände ist die selbe wie die eines Modulo-8-Zählers. Der Frequenzteiler arbeitet also wie ein Zähler, wobei manchmal beim Übergang von einer Zahl zur anderen Übergangszustände entstehen. Der Frequenzteiler kann demnach als Asynchronzähler angesehen werden.

2.3.1 Bemerkung

Durch Anschliessen der invertierten Flipflopausgänge an den Takteingang des nächsten Flipflops erhält man einen Zähler; durch Anschliessen der direkten Ausgänge erhält man einen Abzähler.

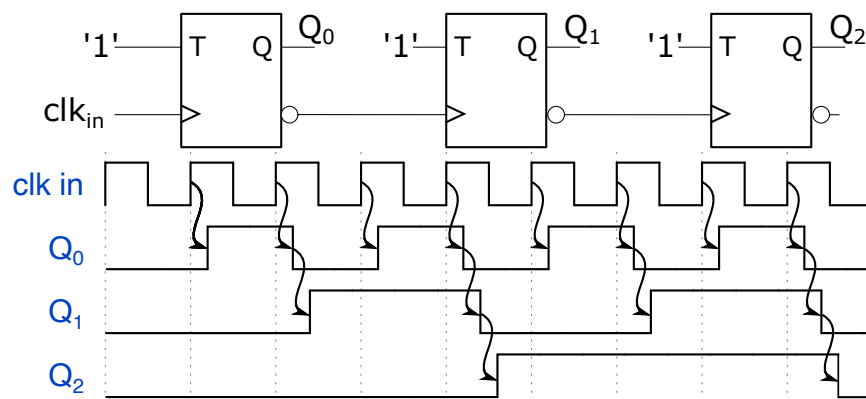
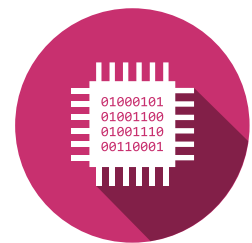


Abbildung 2: Frequenzteiler durch 8

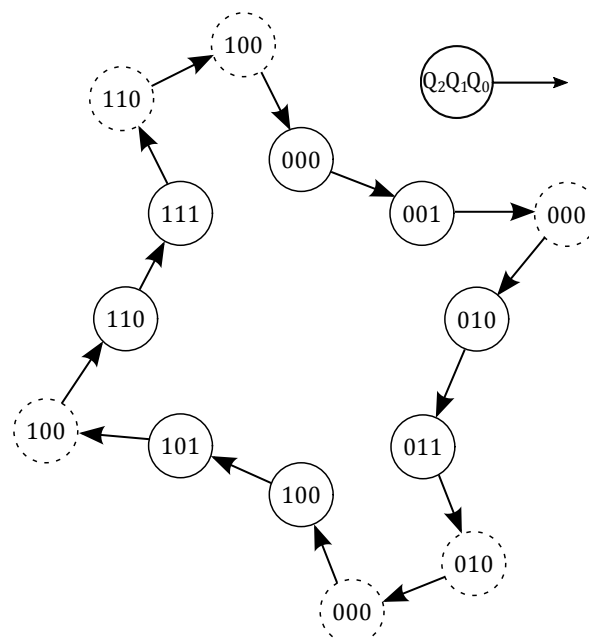


Abbildung 3: Zustandsgraph

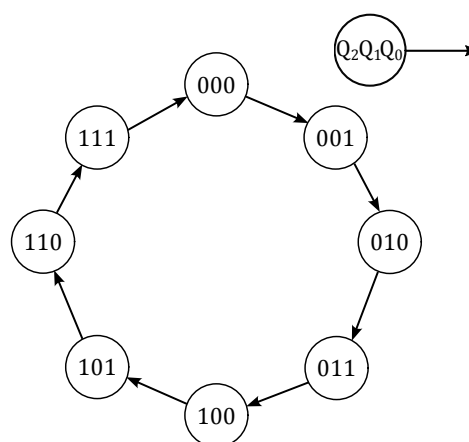


Abbildung 4: Graph der Dauerzustände



3 Modulo-N-Frequenzteiler

3.1 Durchführung

Um eine Frequenz durch eine Zahl zu teilen, die keine Zweierpotenz darstellt, genügt es, die Flipflops vor Ende der Zählsequenz auf Null zu stellen.

In Abbildung 5 ist ein Frequenzteiler durch 6 dargestellt. Die Funktion $Y_6 = Q_2 Q_1 \overline{Q_0}$ stellt das Erscheinen der Zahl $110_b = 6_d$ fest. Erreicht der Zähler 6, geht auf '1', und die Flipflops werden auf Null gestellt. Der Zähler fällt auf Null zurück. Die Sequenz der Dauerzustände ist somit $0 \rightarrow 1 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 5 \rightarrow 0 \rightarrow \dots$

Das werthöchste Bit des Zählers dient als Ausgangssignal des Frequenzteilers.

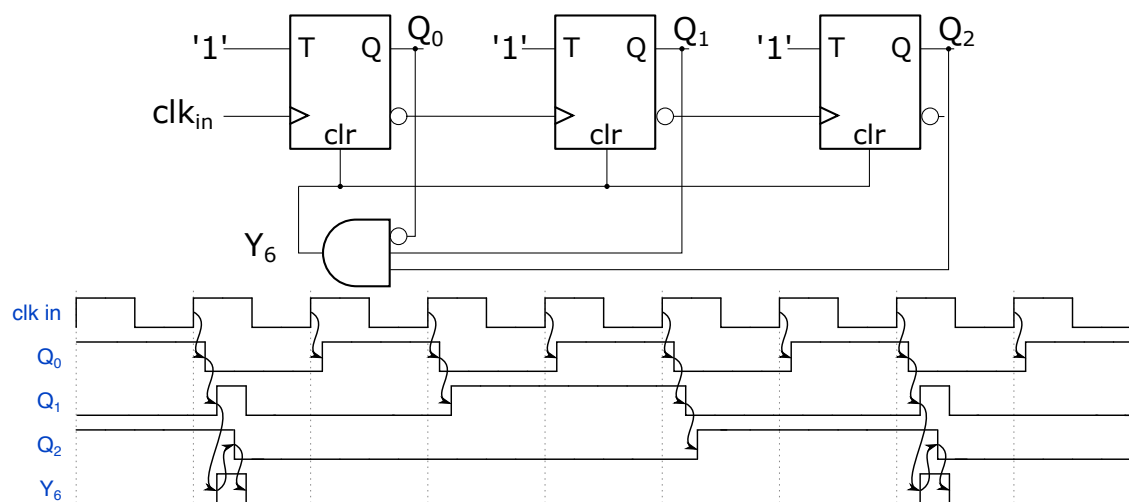


Abbildung 5: Frequenzteiler durch 6

3.1.1 Bemerkung

Die Dauer des Nullstellungsimpulses hängt von der Reaktionszeit des schnellsten Flipflops ab. Wenn die Reaktionszeit zwischen den verschiedenen Flipflops stark variiert, muss eine Logik zur Aufrechterhaltung des Nullstellungsimpulses vorgesehen werden.

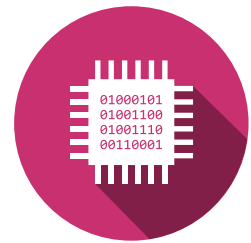
3.1.2 Kommentar

Das Ausgangssignal des Frequenzteilers hat kein zyklisches Verhältnis von 50%, was jedoch normalerweise nicht störend wirkt. Um dem trotzdem abzuhelpen, kann entweder ein erster Frequenzteiler und ein Frequenzteiler durch 2 kaskadiert oder aber der Zähler auf einen von Null verschiedenen Wert initialisiert werden.

3.2 Vereinfachung der Nullstellungsfunktion

Die Nullstellungsfunktion kann vereinfacht werden, wenn man bedenkt, dass sie für Zahlen aktiv sein kann, die über derjenigen liegen, bei der die Nullstellung stattfindet.

Für diese Vereinfachung können Standardtechniken wie die Karnaugh-Tabellen mit Zuständen \emptyset verwendet werden.



Diese Funktion kann jedoch auch vereinfacht werden, indem nur die Bits von '1' des Binärcodes der Zahl, bei der die Nullstellung stattfindet, berücksichtigt werden. Wenn die Bits bei '0' ihren Wert ändern, ist die neue Zahl zwangsläufig höher als die vorherige. Das kommt einem Wegfallen der invertierenden Eingänge des UND-Gatter gleich, welches das Nullstellungssignal erzeugt.

Somit kann die Funktion für einen Frequenzteiler durch 6, $Y_6 = Q_2 Q_1 \overline{Q_0}$, zu $Y_6 = Q_2 Q_1$ vereinfacht werden.

3.3 Einfluss der Übergangszustände

Die Nullstellungsfunktion und ihre Vereinfachung wurden nur von Dauerzuständen aus untersucht. Es ist wichtig sicherzustellen, dass die Nullstellungsfunktion nicht wegen eines Übergangszustandes verfrüht aktiviert wird.

Bei einer Betrachtung des Steuerungsdiagramms aus Abbildung 2 kann festgestellt werden, dass alle provisorischen Zustände Zahlen entsprechen, die unter der vorhergehenden Zahl und somit unter derjenigen Zahl liegen, die die Nullstellung auslöst.

Tatsächlich entsprechen alle Übergangszustände einem Übergang von '1' zu '0' am Ausgang eines Flipflops. Diese absteigende Flanke wird beim nächsten Flipflop einen Übergang aktivieren. Bei Übergangszuständen setzt der Übergang eines Bits von '1' nach '0' voraus, dass die neue Zahl kleiner als die vorherige ist.

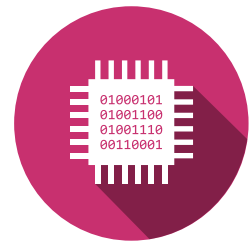
3.3.1 Bemerkungen

Beim Frequenzteiler beeinflussen die Übergangszustände das gute Funktionieren des Schaltkreises nicht, was bei anderen asynchronen Schaltkreisen im allgemeinen nicht der Fall ist. Bei asynchronen Schaltkreisen müssen alle Übergangszustände detailliert untersucht werden, um ihren Einfluss zu überprüfen.

Aufgrund der existierenden Übergangszustände kann es gefährlich sein, einen Frequenzteiler als Zähler zu verwenden. Diese Übergangszustände können nämlich bei den vom Zähler gesteuerten Schaltkreisen ein unvorhergesehenes Verhalten hervorrufen.

3.4 Zustände ausserhalb der Zählschleife

Bei Frequenzen, die durch eine Zahl geteilt werden, die keine Zweierpotenz darstellt, gibt es für Zustände ausserhalb der Zählschleife das Problem von parasitären Schleifen nicht: entweder die Zahl wird inkrementiert, oder aber es gibt eine Nullstellung.



Literatur

- [1] K Beuth. *Digitaltechnik*. 11. Auflage. Vogel Buchverlag, 2001. ISBN: 3-8023-1755-6.
- [2] Michael D. Ciletti und M. Morris Mano. *Digital Design*. second edition. New-Jersey: Prentice-Hall, 2007.
- [3] Martin V. Künzli und Marcel Meli. *Vom Gatter Zu VHDL: Eine Einführung in Die Digitaltechnik*. vdf Hochschulverlag AG, 2007. ISBN: 3 7281 2472 9.
- [4] Daniel Mange. *Analyse et synthèse des systèmes logiques*. PPUR presses polytechniques, 1995. 362 S. ISBN: 978-2-88074-045-0. Google Books: [5NSdD4GRl3cC](#).
- [5] Denis Roux und Marcel Gindre. *Logique séquentielle: cours et exercices*. Ediscience international, 1992. 244 S. ISBN: 978-2-84074-047-6. Google Books: [t46iGAAACAAJ](#).