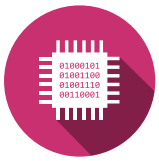


Programzähler

Labor Digitales Design

Inhalt

1 Ziel

Dieses Labor zeigt die Entwicklung eines Programm-Codes mit Hilfe eines Festwertspeichers (Read-Only Memory (ROM)) mit Hilfe der Erstellung eines Programmzählers Program Counter (PC).

Es wird auch das Zeichnen von hierarchischen Schaltkreisen geübt.

2 ROM zur Steuerung der ALU

2.1 Schaltung

Die Abbildung 1 zeigt eine vereinfachte Darstellung eines Prozessors, mit einer Arithmetic and Logical Unit (ALU), Register und einem Programmzähler.

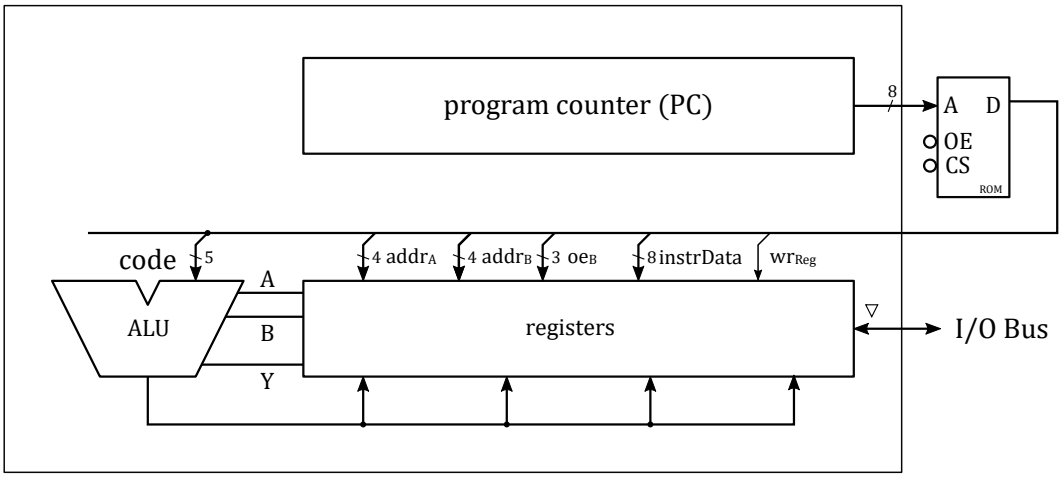


Abbildung 1 - ROM zur Steuerung der ALU und den Registern

Die Adresse der ROM wird von einem Programmzähler erstellt, welcher es erlaubt, den gespeicherten Code sequenziell zu lesen. Die Daten der ROM beinhalten Machine Instructions (MIs) welche aus den Steuersignale der ALU und der Register bestehen.

Der Eingang Output Enable (OE) steuert den hochohmigen Ausgang der ROM. Der Eingang Chip Select (CS) ist das Selektierungssignal der ROM. Beide müssen aktiv sein, damit der Baustein seine Daten am Ausgang bereitstellt.

2.2 Operationssequenz

Die Befehle werden in 2 Phasen durchgeführt, wie in Abbildung 2 dargestellt.

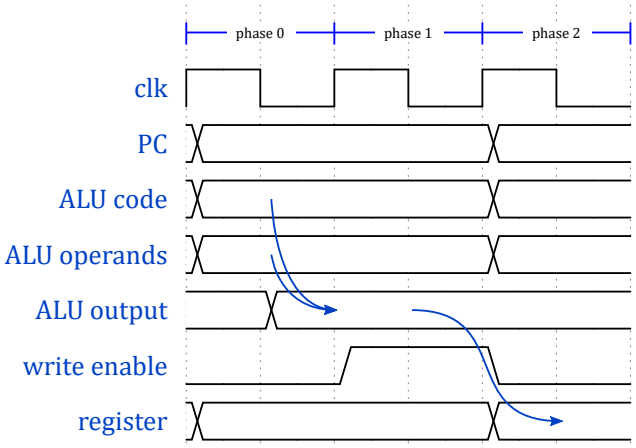
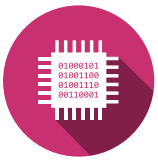


Abbildung 2 - Befehlsphasen

Der ALU Ausgang ist am Ende der Phase 0 stabil. Dieser Wert wird im selektiertem Register bei der steigenden Flanke am Ende der Phase 1 gespeichert.



3 Software-Erstellung eines seriellen Ports

Die Abbildung 3 gibt das zeitliche Verhalten der seriellen Übermittlung eines Datenwortes.

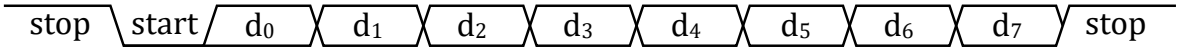


Abbildung 3 - Serielle Übermittlung

Die seriellen Daten werden auf dem niederwertigen Bit (Least Significant Bit (LSB)) des Prozessor-Datenbusses übermittelt.

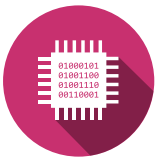
3.1 Linearer Algorithmus

Der in der ROM gespeicherte Assemblerprogrammcode wird in Listing 1 gezeigt.

```
LOAD        s3, FF              ; load stop bit
OUTPUT      s3                  ; output stop bit
LOAD        s3, s3              ; no operation
LOAD        s3, s3              ; no operation
LOAD        s3, s3              ; no operation
LOAD        s3, s3              ; no operation
LOAD        s0, 00              ; load start bit
OUTPUT      s0                  ; output start bit
INPUT       s1                  ; load word to send
OUTPUT      s1                  ; output word, LSB is considered
SR0         s1                  ; shift word, bit 1 -> LSB
OUTPUT      s1                  ; output bit 1
SR0         s1                  ; bit 2 -> LSB
OUTPUT      s1                  ; output bit 2
SR0         s1                  ; bit 3 -> LSB
OUTPUT      s1                  ; output bit 3
SR0         s1                  ; bit 4 -> LSB
OUTPUT      s1                  ; output bit 4
SR0         s1                  ; bit 5 -> LSB
OUTPUT      s1                  ; output bit 5
SR0         s1                  ; bit 6 -> LSB
OUTPUT      s1                  ; output bit 6
SR0         s1                  ; bit 7 -> LSB
OUTPUT      s1                  ; output bit 7
LOAD        s3, s3              ; no operation
OUTPUT      s3                  ; output stop bit
```

Listing 1 - Linearer Algorithmus

Im linearen Algorithmus wird eine Anweisung nach der anderen gelesen. Es gibt keine Schleifen oder Sprünge im Programm. Unser erster Programmzähler muss nur in der Lage sein, die Adresse um eins zu erhöhen.



3.1.1 Implementierung

Ein iterativer Zähler muss erstellt werden. Beginnen Sie mit der Erstellung der Basis-Komponente des iterativen Zählers **`CNT/cnt_1bit`**. Dieser Zähler muss bei der steigenden Flanke der Uhr inkrementieren, wenn **`incPC = '1'`**. Beachten Sie, dass in unserem System **`incPC`** jede zweite Taktperiode aktiviert wird. Ignorieren Sie die Signale **`loadInstrAddr`** und **`instrAddress`**, um einen neuen Wert in den Zähler zu laden.

- Erstellen Sie die Liste der Eingänge/Ausgänge des 1-Bit Zählers.
- Erstellen Sie den 1-Bit Zähler Block **`CNT/cnt_1bit`** (Siehe Abschnitt 4.1).
- Implementieren Sie die Schaltung eines 1-Bit Zählers innerhalb des erstellten Blocks.
- Konvertieren Sie diesen Block in eine Komponente (Siehe Abschnitt 4.2).

D Flip-Flops sind in der „Sequential“ Bibliothek unter dem Namen **`DFF`** verfügbar

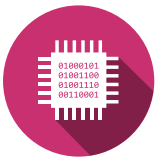
Sobald die **`CNT/cnt_1bit`** Komponente erstellt ist, verwenden Sie diese Komponente, um den 8-Bit Zähler zu erstellen.

- Kopieren und fügen Sie die **`CNT/cnt_1bit`** Komponente **8** Mal ein.
- Verbinden Sie die 1-Bit Zähler miteinander, um den 8-Bit Zähler zu erstellen.

3.1.2 Simulation

Simulieren Sie das System und überprüfen Sie die ordnungsgemässe Funktion des Zählers und des Prozessors.

Überprüfen Sie die ordnungsgemässe Funktion des Zählers, indem Sie den Testbank **`CNT_test/nanoProcess_tb`** mit der Simulationsdatei **`$SIMULATION_DIR/CNT1.do`** verwenden.



3.2 Algorithmus mit Schleifen

Der folgende Algorithmus erlaubt eine kompaktere Schreibweise des Programms, aber es verwendet Schleifen und Sprünge im Programm:

```
LOAD    s3, FF              ; load stop bit
OUTPUT  s3                  ; output stop bit
LOAD    s2, 04              ; initialize loop counter 3
SUB     s2, 01              ; decrement loop counter 4
JUMP    NZ  03              ; loop back if not end of count 5
LOAD    s0, 00              ; load start bit 6
OUTPUT  s0                  ; output start bit 7
LOAD    s2, 08              ; initialize loop counter 8
INPUT   s1                  ; load word to send 9
LOAD    s3, s3              ; no operation
OUTPUT  s1                  ; output word, LSB is considered
SR0     s1                  ; next bit -> LSB
SUB     s2, 01              ; decrement loop counter
JUMP    NZ  0A              ; loop back if not end of count
OUTPUT  s3                  ; output bit 1
```

Listing 2 - Algorithmus mit Schleifen

3.2.1 Erstellung

Um den Algorithmus mit Schleifen zu implementieren, muss der PC das Laden eines neuen Wertes ermöglichen. Die beiden Signale **`instrAddr`** und **`loadInstrAddr`** werden verwendet, um einen neuen Wert zu laden.

Die Komponente **`CNT/cnt_1bit`** muss so modifiziert werden, dass das Laden eines neuen Wertes in den Zähler ermöglicht wird.

- Modifizieren Sie die Komponente **`CNT/cnt_1bit`**, um das Laden eines neuen Wertes zu ermöglichen.
- Da die Eingänge der Komponente geändert wurden, ist es notwendig, die Schnittstelle der Komponente zu aktualisieren (Siehe Abschnitt 4.3).

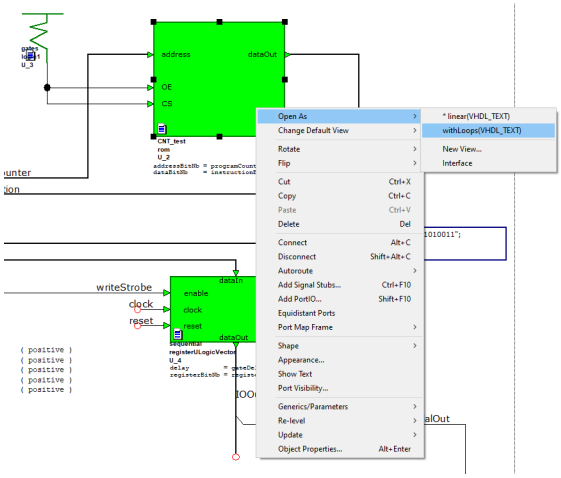
Im ersten Teil des Labors wurde der Programmzähler durch Kopieren und Einfügen der Komponente **`CNT/cnt_1bit`** 8 Mal erstellt. Um die Erstellung zu vereinfachen, verwenden Sie eine **`FOR Generate`** Schleife, um den 8-Bit Zähler zu erstellen.

- Verwenden Sie eine **`FOR Generate`** Schleife um die Komponente **`CNT/cnt_1bit`**, um sie automatisch 8 Mal zu kopieren und einzufügen (Siehe Abschnitt 4.4).
- Verwenden Sie den generischen Parameter **`programCounterBitNb`**, um die Anzahl der Bits des Zählers zu definieren und so einen generischen Zähler zu erstellen.

3.2.2 Simulation

Simulieren Sie das System und überprüfen Sie den korrekten Betrieb des Zählers und des Prozessors. Ändern Sie die Standardansicht der ROM, um die Version mit Code inklusive Schleifen auszuwählen (**`withLoops`**).

1. **`Klicken Sie mit der rechten Maustaste`** auf die Komponente,
2. Wählen Sie **`Open As`**,
3. Klicken Sie auf **`withLoops`**



Überprüfen Sie die ordnungsgemässe Funktion des Zählers, indem Sie den Teststand **`CNT_test/nanoProcess_tb`** mit der Simulationsdatei **`$SIMULATION_DIR/CNT2.do`** verwenden.

3.3 Vergleich

Vergleichen Sie die beiden Algorithmen hinsichtlich der Übertragungsgeschwindigkeit (Baudrate) und der Codegrösse.

- Vergleichen Sie die Übertragungsgeschwindigkeit (Baudrate) der beiden Algorithmen.
- Vergleichen Sie die Grösse des Codes der beiden Algorithmen in Listing 1 und Listing 2.

4 Blöcke, Komponenten und For Schleifen

Die folgenden Abschnitte führen Sie durch die Erstellung des Zählers mit Hilfe von **`FOR Generate`** Schleifen und der Erstellung einer wiederverwendbaren Komponente.

4.1 Block erstellen

Um eine neuen Block zu erstellen, müssen Sie ein neues Element hinzufügen, indem Sie auf die Schaltfläche **`Block hinzufügen`** klicken (siehe Abbildung 4).

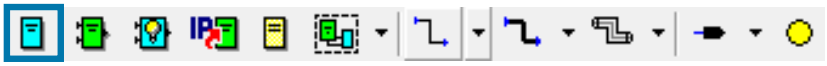


Abbildung 4 - Block hinzufügen

Nachdem Sie auf die Schaltfläche geklickt haben, kann ein neuer Block hinzugefügt werden, indem Sie auf das Diagramm klicken. Sobald der Block hinzugefügt ist, können die benötigten Input/Outputs (I/Os) verbunden werden:

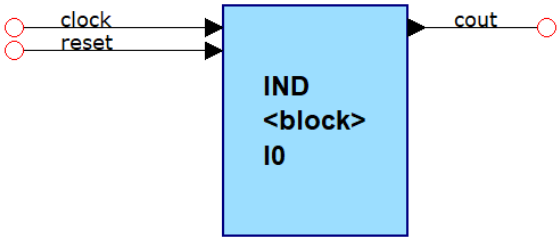
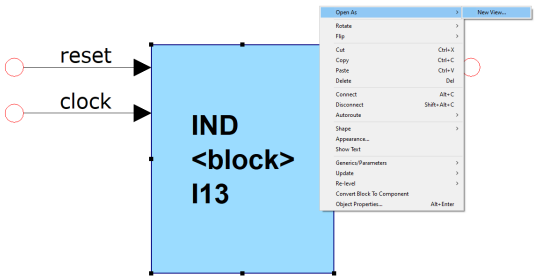


Abbildung 5 - Neuer Block verkabelt

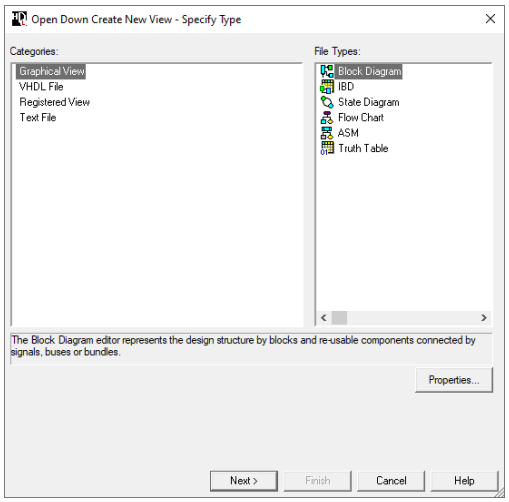
> ⚠ Ein **`blauer Block`** kann nicht kopiert und eingefügt werden, da er nur einmal existiert. Nur der **`grüne Block`** (Komponenten) kann kopiert und eingefügt werden.

Sobald die I/Os verkabelt sind, muss der Blocktyp ausgewählt werden (**`Block Diagram`**/**`State Diagram`**/**`VHDL file`**).

1. **`Klicken Sie mit der rechten Maustaste`** auf den Block
2. Wählen Sie **`Open As`**
3. Klicken Sie auf **`New View...`**



Das folgende Fenster öffnet sich und ermöglicht die Auswahl des zu erstellenden Blocktyps. Wählen Sie den gewünschten Blocktyp aus und klicken Sie auf **`Fertigstellen`**.



Link	Blocktyp	Icon
`Graphical View/Block Diagram`	Blockdiagramm	
`Graphical View/State Diagram`	Zustandsmaschine	
`VHDL File/Architecture`	VHDL-Code	

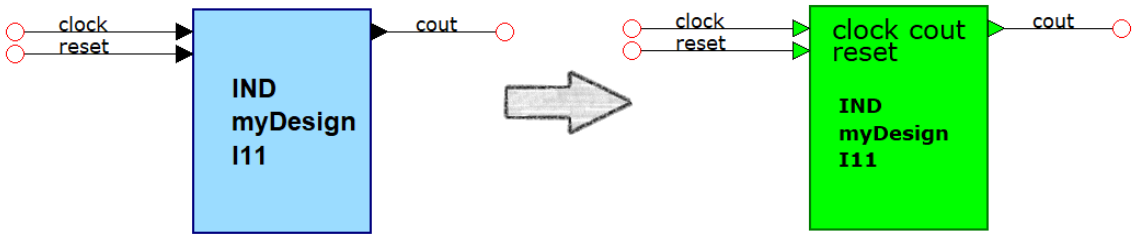
4.1.1 Blockdiagramm

- Wählen Sie **`Graphical View/Block Diagram`**
- Klicken Sie auf **`Next`**
- Geben Sie den Namen des Blocks unter **`Design unit`** ein
- Füllen Sie die Tabelle der I/Os aus
  - Stellen Sie sicher, dass die Typen korrekt sind
  - Definieren Sie die Grenzen für die Multi-Bit-Typen
- Klicken Sie auf „Finish“

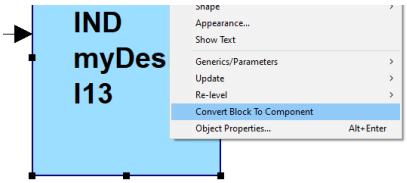
Die I/Os können immer noch hinzugefügt, entfernt und geändert werden, wenn das Diagramm bearbeitet wird.

4.2 Block in Komponente umwandeln (blau zu grün)

Das Umwandeln des Blocks in eine Komponente (von blau zu grün) ermöglicht das Kopieren und Einfügen des Elements und macht ihn in der Projektbibliothek verfügbar. Blaue Blöcke sind ideal, um schnell eine Blockschnittstelle zu erstellen, während grüne Komponenten unerlässlich sind, um das Element an anderer Stelle im Projekt wiederzuverwenden.



1. **`Klicken Sie mit der rechten Maustaste`** auf den blauen Block
2. Klicken Sie auf **`Convert Block To Component`**

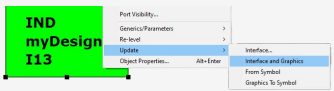


4.3 Schnittstelle der Komponente aktualisieren

Die Schnittstelle einer Komponente besteht aus mehreren Teilen: **`Eingänge`** und **`Ausgänge`**, **`Generics`** und **`Symbol`**. Diese verschiedenen Parameter können hinzugefügt, entfernt und geändert werden.

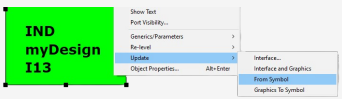
`Sobald die Schnittstelle der Komponente geändert wurde`

1. **`Klicken Sie mit der rechten Maustaste`** auf die Komponente
2. Wählen Sie **`Update`**
3. Klicken Sie auf **`Interface and Graphics`**



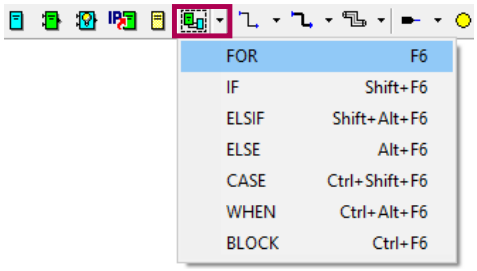
---

1. **`Klicken Sie mit der rechten Maustaste`** auf die Komponente
2. Wählen Sie **`Update`**
3. Klicken Sie auf **`From Symbol`**

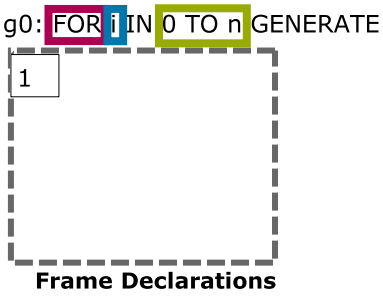


4.4 For Generate

Der **FOR Generate**-Rahmen ermöglicht es, mehrere Iterationen der gleichen Struktur zu erstellen. Um einen neuen Rahmen hinzuzufügen, klicken Sie auf die Schaltfläche **add frame** und wählen Sie **FOR**.



Wenn Sie einen **FOR**-Rahmen hinzufügen, wird das folgende Element im Diagramm gezeichnet.



Part	Description
FOR	Typ des Blocks (**FOR**-Schleife)
i	Index der Schleife
0 TO n	Bereich der **FOR**-Schleife

Alle Signale und Komponenten innerhalb des **FOR**-Rahmens werden **n+1** mal kopiert. Der Index **i** geht von **0** bis **n**. *Ändern Sie n in eine Konstante oder ein* **generic**.

Alle Ausgänge von Komponenten müssen den Index **i** in ihrem **Slice/Index** verwenden. Andernfalls treten Kurzschlüsse zwischen den Ausgängen auf.

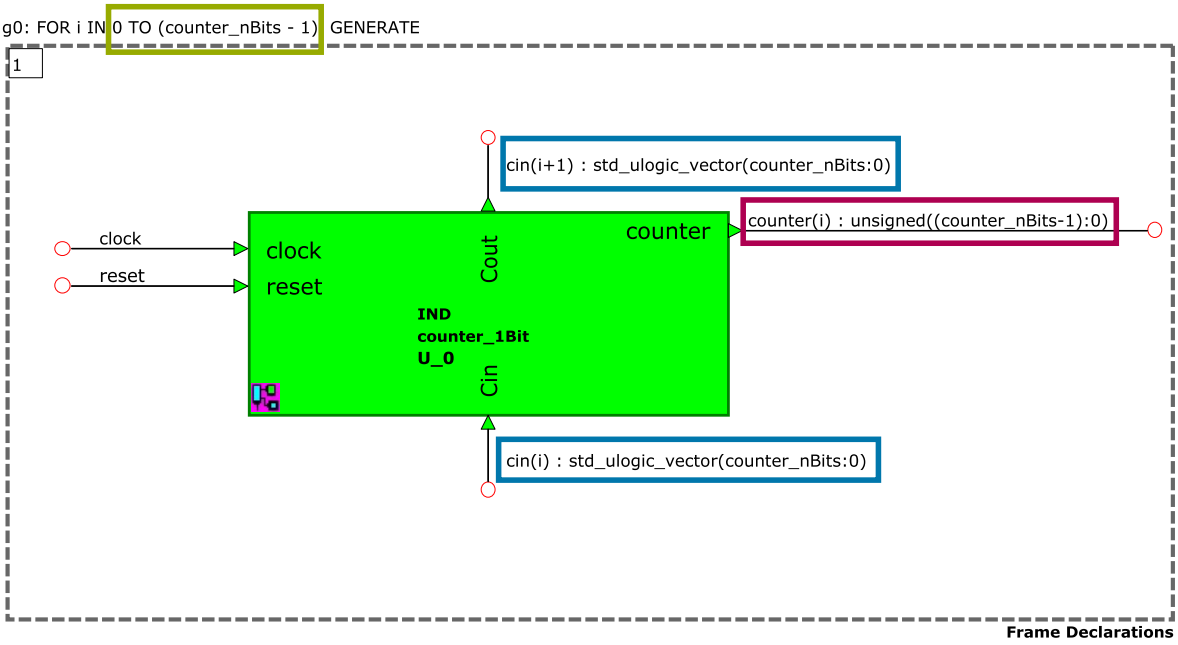
Eingänge von Komponenten, die für alle Instanzen gleich sind (wie ein Takt oder Reset), sollten den Index **i** nicht verwenden. Eingänge, die zwischen den Instanzen variieren (wie ein Datensignal), sollten jedoch den Index **i** verwenden.

Zum Beispiel: Der **clock** sollte überall gleich sein; aber ein Zähler sollte die einzelnen Bits b herausgeben. Zuerst **bit[0]**, dann **bit[1]**, dann **bit[2]** ... **bit[i]**.

- Nur Signale und Komponenten (grüne Elemente) können in einer **FOR**-Schleife platziert werden.
- Es dürfen sich keine **In-Ports** oder **Out-Ports** innerhalb des Rahmens befinden.
- Es dürfen keine Blöcke (blaue Elemente) innerhalb der Rahmens platziert werden.

4.4.1 Beispiel

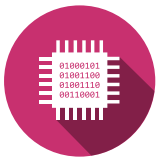
Das Beispiel zeigt eine iterative Zählerschaltung. Der generische **counter_nBits** ermöglicht die Auswahl der Anzahl der Bits für den Zähler.



Part	Description
`0 TO (counter_nBits-1)`	Wiederholen Sie die Schleife **counter_nBits** Mal
`counter(i): unsigned...`	Schreibt den Zähler-Ausgang. Der **1. Block** schreibt das **bit0** des Zähler-Signals. Der **2. Block** schreibt das **bit1** des Zähler-Signals, usw..
`cin(i) : std_ulogic_vector ...` `cin(i+1) : std_ulogic_vector...`	Überträgt Informationen an den nächsten Block. Der **cout** des **1. Blocks** ist mit dem **cin** des **2. Blocks** verbunden, usw..

Da wir **cin(i+1)**, wenn **i = (counter_nBits - 1)⇨cin(counter_nBits)**, muss die Größe des **cin**-Busses **(counter_nBits DOWNTO 0)** sein.

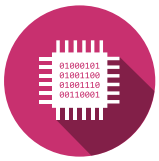
Vergessen Sie nicht, **cin(0)** AUSSERHALB des Rahmens zu verbinden.



5 Checkout

Dies ist das Ende des Labors, Sie haben erfolgreich einen Programcounter implementiert welcher alle Instruktionen des μProzessors unterstützt. Bevor Sie das Labor verlassen, stellen Sie sicher, dass Sie die folgenden Aufgaben erledigt haben:

- ☐ Schaltungsentwurf
  - ☐ Der 1-Bit-Zähler Block **`CNT/cnt_1bit`** wurde erstellt.
  - ☐ Der Rahmen **`FOR`** wurde verwendet, um den 1-Bit Zähler Block zu duplizieren.
  - ☐ Der **`n`**-Bit-Zähler wurde erstellt.
  - ☐ Der Zähler wurde angepasst, um das Laden eines neuen Wertes zu ermöglichen.
- ☐ Simulationen
  - ☐ Die 2 Zähler wurden erfolgreich mit det Testbench **`CNT_test/nanoProcess_tb`** und den Simulationsdateien **`$SIMULATION_DIR/CNT1.do`** und **`$SIMULATION_DIR/CNT2.do`** getestet.
- ☐ Vergleich
  - ☐ Die Übertragungsgeschwindigkeit (baudrate) der beiden Algorithmen wurde verglichen.
  - ☐ Die Codegrösse der beiden Algorithmen wurde verglichen.
- ☐ Dokumentation und Projektdateien
  - ☐ Stellen Sie sicher, dass alle Schritte (Entwurf, Simulationen, Vergleich) gut in Ihrem Laborbericht dokumentiert sind.
  - ☐ Speichern Sie das Projekt auf einem USB-Stick oder im gemeinsamen Netzwerkordner (**`\\filer01.hevs.ch`**).
  - ☐ Teilen Sie die Dateien mit Ihrem Laborpartner, um die Kontinuität der Arbeit sicherzustellen.



Glossar

ALU **– Arithmetic and Logical Unit** 2, 2, 2, 2

CS **– Chip Select** 2

I/O **– Input/Output** 7, 7, 8, 8

LSB **– Least Significant Bit** 3

MI **– Machine Instruction**: A machine instruction is a binary-coded operation that a processor can execute directly. It typically consists of an opcode, operands and immediates. 2

OE **– Output Enable** 2

PC **– Program Counter** 1, 5

ROM **– Read-Only Memory** 1, 2, 2, 2, 2, 2, 3, 6