Übungsblatt 3

zur Vorlesung *Einführung in die moderne Digitalelektronik*

Prof. Dr. Horst Fischer, Daniel Baur

Erste Schritte in VHDL

Im Rahmen dieses Übungsblockes

- werden einzelne Logikgatter-Module in VHDL programmiert
- und in eine komplexere Schaltung implementiert,
- welche anschließend auf einem FPGA-Chip synthetisiert werden soll.

Laden Sie sich dazu das Projekt `erste_schritte_in_vhdl__vorlage.tar.gz` herunter (ILIAS) und entpacken Sie es. Nach der Übung werden auch Lösungsvorschläge auf ILIAS veröffentlicht.

1 ISE unter Linux starten

Machen Sie sich mit dem *Command Line Interface* (*CLI*, *Terminal*) der auf dem CIP-Pool-Rechner installierten Linux-Distribution vertraut und starten sie die *ISE Design Suite*:

- Öffnen Sie ein Terminal und erstellen Sie das `bash`-Skript `~/startise.sh`:

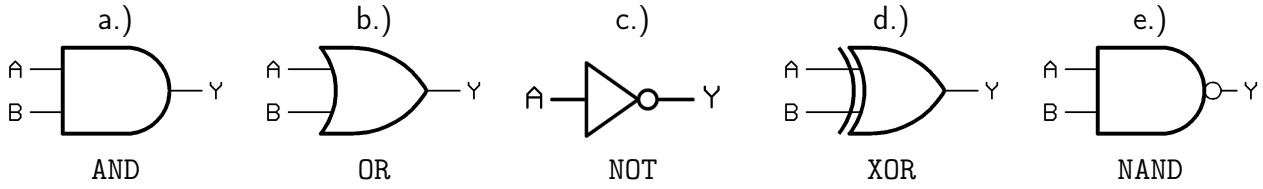
```
#!/bin/bash

cd /mnt/ISE/14.7/ISE_DS
export XILINXD_LICENSE_FILE=2100@license.physik.privat
source settings64.sh
ise
```

- Machen Sie das Skript ausführbar und erzeugen Sie ein `alias`:
  `$ chmod +x ~/startise.sh`
  `$ echo "alias sise='~/startise.sh'" >> ~/.bash_aliases`
- Sie können nun die `ISE Design Suite` starten:
  `$ sise`

2 Programmieren von kombinatorischer Logik in VHDL

Programmieren Sie die folgenden Gatter in VHDL:

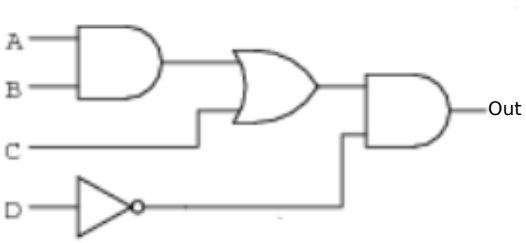


Vervollständigen Sie dazu zunächst das im Projekt bereits vorhandene and-Gatter (`/rtl/and_gate.vhd`) und die Gatter-testbench (`/tb/testbench_gates.vhd`). Simulieren Sie daraufhin zunächst das And-Gatter mit `Isim`. Fügen Sie nun für jedes der weiteren Gatter in gleicher Weise ein Modul dem Projekt hinzu an und simulieren Sie das entsprechende Gatter.

3 Verketten von kombinatorischer Logik in VHDL

In dieser Aufgabe sollen VHDL-Module verkettet und mit dem Ergebniss einer direkten logischen Zuweisung verglichen werden.

a.) Implementieren Sie folgende Schaltung mit Hilfe der in Aufgabe 2 erstellten Entities.



Vervollständigen Sie dazu die im Projekt bereits vorhandene Datei `schaltung_a.vhd`.

b.) Implementieren sie nun die selbe Funktionalität mithilfe der VHDL-Signaloperatoren `and`, `or`, `nand`, `nor`, `xor`, `not`. indem Sie eine einzelne Signalzuweisung nutzen. Vervollständigen Sie dazu die Datei `schaltung_b.vhd`.

c.) Simulieren Sie die beiden Schaltungsmodule, indem Sie zunächst die Datei `testbench_schaltung.vhd` vervollständigen und daraufhin das Ergebniss mit `Isim` betrachten.

4 Ein erstes Leuchten

In dieser Aufgabe werden Sie schaltung_a oder schaltung_b in der Hardware testen.

a.) Nutzen Sie das Handbuch zum Spartan 3 Starter Kit (UG130) um das file signal_mapping.ucf zu vervollständigen.

b.) Vervollständigen Sie die Datei toplevel.vhd. Die Eingänge von vier unterschiedlichen switches am Spartan Board sollen auf die Eingänge von schaltung_a oder schaltung_b gegeben werden und der Ausgang der Schaltung auf eine beliebige LED.

c.) Erstellen Sie eine Binärdatei des Designs und laden Sie diese in den Spartan FPGA. Überprüfen Sie, ob beim Umlegen der richtigen switches daraufhin die LED korrekt an- bzw. ausgeht.

d.) Bonus: Bringen Sie alle LEDs zum Leuchten, wenn das Ergebnis von `schaltung_a` oder schaltung_b wahr ist. Nutzen Sie hierzu die `others` Anweisung.

Die Stoppuhr

Das Ziel dieser Übungen ist die Realisierung einer Stoppuhrschaltung.

Laden Sie sich dazu das Projekt `die_stoppuhr__vorlage.tar.gz` herunter, entpacken Sie es und laden das Projekt in der ISE Design Suite. Alle benötigten VHDL-Module sind in diesem Projekt bereits angelegt.

Hinweis: Bitte löschen Sie am Ende der Übung die großen Dateien im Ordner `./ise/`!

5 BCD Zähler

Wir wollen einen dezimalen (*binary coded decimal*) Zähler programieren der von 0 bis 9999 zählt. Betrachten Sie dazu das Modul `bcd_counter`. Der 16 bit breite Ausgang `BCD_OUT` soll dabei als vier Worte aus jeweils 4 bit aufgefasst werden. Jedes dieser Worte representiert eine Ziffer zwischen 0 und 9 und die vier Worte representieren gemeinsam den Zählerstand im Dezimalsystem.

a.) Vervollständigen Sie das Modul `bcd_counter`, so dass bei jedem `CLK_en` der Wert des Ausgangs `BCD_OUT` nach obiger Auffassung um eins erhöht wird.

b.) Implementieren Sie ein *asynchrones reset*, welches den Zählerstand auf null setzt, sobald der Eingang `RST` den Wert logisch eins annimmt.

c.) Verifizieren Sie das Modul mit Hilfe der Testbench `tb_bcd_counter`.

Bemerkung: Ignorieren Sie für den Moment den Eingang `start_stop` und das Signal `was_stopped`. Den Vektor `BCD_OUT` können Sie etwa mithilfe von „`BCD_OUT (3 downto 0)`“ komponentenweise referenzieren.

6 Taktskalierung

Machen Sie sich die Aufgabe und Funktionsweise des Moduls `scale_clock` klar.

a.) Lesen Sie den Code und simulieren Sie das Module mit Hilfe der Testbench `tb_clock_scaler`.

b.) Auf welchen Wert muss der generic `limit` gesetzt werden, damit sich bei einem eingehenden $50\,\mathrm{MHz}$ Takt ein Abstand zwischen den einzelnen `CLK_10HZ_enable` Signalen von $0{,}1\,\mathrm{s}$ ergibt?

7 Das Seven-Segment LED Display

Machen Sie sich mit Hilfe des Spartan 3 User Guides die Funktionsweise des *Seven-Segment LED Displays* klar:

a.) Vervollständigen Sie zuerst das Modul `seven_seg_encoder`, so dass eine nicht vorzeichenbehaftete 4 bit-Zahl in hexadezimaler Schreibweise auf dem Display angezeigt werden kann.

b.) Verifizieren Sie das Modul mit Hilfe der Testbench `tb_seven_seg`.

c.) Machen Sie sich mit Hilfe des User Guides mit dem Ein- und Auschalten der vier Displaysegmente und dem Dezimalpunkt vertraut. Vervollständigen Sie dann das Modul `display_controller`, dessen Aufgabe es ist, durch korrekte Bedienung der Steuersignale `LED_OUTPUT`, `DISABLE_LED` und `DECIMAL_POINT` einen Zählerstand `COUNTER_INPUT` auf dem Display darzustellen. Nutzen Sie hierzu das Modul `seven_seg_encoder` und lassen sie für eine geeigneten Anzahl an Taktzyklen jeweils eines der Displaysegmente eingeschaltet (*Multiplexing*). Hierzu wird ein einfacher Zähler innerhalb eines getakteten Prozesses nutzen.

d.) Nutzen Sie die Testbench `display_controller_tb` um das Modul zu verifizieren.

8 Projekt: Eine erste Stoppuhr

Laden Sie sich das Projekt `die_stoppuhr__projekt.tar.gz` herunter. Instanzieren Sie darin die Module `scale_clock`, `bcd_counter` und `display_controller` im Toplevel und verbinden Sie diese auf geeignete Weise, sodass auf dem Display eine dezimale Stoppuhr angezeigt wird, welche in Schritten von $0.1\,\mathrm{s}$ hochzählt und durch Drücken eines der Buttons resertiert werden kann. Erstellen sie abschließend das Binärfile und konfigurieren Sie den FPGA um ihr Design in der Hardware zu testen.

9 Bonus: Eine bessere Stoppuhr

Die Stoppuhr soll nun dahingehend verbessert werden, dass mit dem Betätigen eines weiteren Buttons die Stoppuhr angehalten und bei erneutem Drücken desselben Buttons weiter laufen gelassen wird:

a.) Vervollständigen Sie das Modul `debouncing` indem Sie einen Zähler innerhalb eines getakteten Prozesses nutzen, um einen Button zu *entprellen*. Simulieren Sie das Modul mit der Testbench `tb_debouncing`.

b.) Widmen Sie sich nun dem Eingang `start_stop` des Moduls `bcd_counter`:
Implementieren Sie mithilfe des Signals `was_stopped` ein Stoppen und Starten des Zählers, falls der Eingang `start_stop` auf eins wechselt. Simulieren Sie das Modul erneut mit der Testbench `tb_bcd_counter`.

c.) Instanzieren Sie das Modul `debouncing.vhd` im Toplevel unter geigneter Verbindung mit einem Button und dem Modul `bcd_counter`, so dass das Ziel der Aufgabe erreicht wird und testen Sie ihr Ergebniss in der Hardware.

Bemerkung: Konsequenterweise sollte man nun auch den Reset-Button auf ein weiteres Debouncing-Modul geben und alle asynchronen resets im Design durch synchrone ersetzen. Ein asynchrones Reset birgt immer eine kleine Gefahr...