

# EPO-3

## Extreme Winterslaap Interrupter Final report

14-01-2015

Projectgroep A1

Technische Universiteit Delft



Roy Blokker 4148894  
Martin Geertjes 4324285  
Rens Hamburger 4292936  
Kevin Hill 4287592  
Alex Oudsen 4325494  
Joran Out 4331958  
Elke Salzmann 4311450  
Jeroen van Uffelen 4232690

# SAMENVATTING

Dit is het verslag van "EPO-3" van groep A1. Hierin is te vinden hoe het project is aangepakt en uitgewerkt. Het systeem dat is ontworpen lijkt op de Wake-up Light van het bedrijf Philips. De obstakels die overwonnen moesten worden zijn het ontvangen en verwerken van het DCF-77 signaal, het aansturen van het licht, het aansturen van het geluid en het aansturen van een LCD schermje. In het verslag is te vinden hoe al deze subsystemen zijn ontworpen en uitgewerkt.

# INHOUDSOPGAVE

<b>Samenvatting</b>	<b>ii</b>
<b>1 Introductie</b>	<b>1</b>
<b>2 Ontwerp specificatie</b>	<b>2</b>
<b>3 Systeem overzicht en ontwerp</b>	<b>3</b>
<b>4 DCF77</b>	<b>5</b>
4.1 Inleiding . . . . .	5
4.2 Specificaties . . . . .	6
4.2.1 Ingangen . . . . .	6
4.2.2 Uitgangen . . . . .	6
4.2.3 Gedrag . . . . .	6
4.3 Functionaliteit . . . . .	6
4.3.1 FSM diagrammen . . . . .	8
4.3.2 VHDL code . . . . .	8
4.4 Simulatie . . . . .	9
4.5 Rapid prototyping (FPGA implementatie) . . . . .	9
4.6 Resultaten . . . . .	9
<b>5 Main controller</b>	<b>10</b>
5.1 Inleiding . . . . .	10
5.2 Specificaties . . . . .	10
5.2.1 Ingangen . . . . .	10
5.2.2 Uitgangen . . . . .	10
5.2.3 Gedrag . . . . .	11
5.3 Functionaliteit . . . . .	11
5.3.1 FSM . . . . .	11
5.3.2 VHDL code . . . . .	12
5.4 Testen . . . . .	12
5.5 Simulatie . . . . .	12
5.6 Resultaten . . . . .	12
5.6.1 Conclusie en discussie . . . . .	12
<b>6 Alarm</b>	<b>14</b>
6.1 Inleiding . . . . .	14
6.2 Specificaties . . . . .	14
6.2.1 Ingangen . . . . .	14
6.2.2 Uitgangen . . . . .	14
6.2.3 Gedrag . . . . .	14
6.3 Functionaliteit . . . . .	15
6.3.1 FSM . . . . .	15
6.3.2 Code . . . . .	16
6.4 Resultaten . . . . .	16
6.5 Inleiding . . . . .	17
6.6 Specificaties . . . . .	17
6.6.1 Entity . . . . .	17
6.6.2 . . . . .	17
6.6.3 Gedrag . . . . .	18

6.7	Functionaliteit	18
6.7.1	FSM	18
6.7.2	VHDL code	18
6.8	Testen	18
6.9	Simulatie	18
6.10	Resultaten	18
6.10.1	Conclusie en discussie	18
<b>7</b>	<b>Results for total design</b>	<b>19</b>
<b>8</b>	<b>Plan voor het testen van de chip</b>	<b>20</b>
8.1	FPGA bord	20
8.2	Logic Analyzer	20
<b>9</b>	<b>Voortgang van het project</b>	<b>21</b>
9.1	Inleiding	21
9.2	Werkverdeling	21
9.2.1	Module opdracht	21
9.2.2	Wake-up light	21
9.3	Samenwerking binnen de groep	21
9.4	Afspraken binnen de groep	22
<b>10</b>	<b>Conclusie</b>	<b>23</b>
<b>A</b>	<b>FSM diagrammen (DCF77)</b>	<b>24</b>
<b>B</b>	<b>VHDL code</b>	<b>27</b>
B.1	VHDL beschrijving van het DCF77 blok	27
B.2	Testbenches voor het DCF77 blok	44
B.3	VHDL code controller	57
B.3.1	Top level entity	57
B.3.2	Behavioural VHDL code controller	57
B.3.3	Menu entity	57
B.3.4	Behavioural VHDL code menu	58
B.3.5	Memory	61
B.3.6	Behavioural VHDL memory	62
B.3.7	Entity buffer	62
B.3.8	Behavioural VHDL buffer	62
B.4	Testbenchs voor de controller	63
B.4.1	VHDL controller	63
B.4.2	Testbench VHDL menu	64
B.4.3	Testbench VHDL geheugen	66
B.4.4	Testbench VHDL buffer	67
B.5	Vhdl code van het alarm	67
B.5.1	Entity alarm-compare	67
B.5.2	Behavioural alarm-compare	67
B.5.3	Top entity alarm	68
B.5.4	Behavioural alarm	68
B.5.5	Entity alarm-counter	69
B.5.6	Behavioural alarm-counter	69
B.5.7	Entity alarm-pwm	70
B.5.8	Behavioural alarm-pwm	70
<b>C</b>	<b>Simulatie resultaten</b>	<b>72</b>
C.1	Behavioral simulatie	72
C.2	Synthesize simulatie	73
C.3	Extracted simulatie	74
C.4	Timing	75
	<b>Bibliografie</b>	<b>76</b>

# 1

## INTRODUCTIE

Epo 3 staat in het teken van het ontwerpen van een chip. Wat voor product er ontworpen gaat worden ligt aan de projectgroep. Het bedenken van het ontwerp is de eerste stap in het ontwerpproces, bij deze stap moet er al rekening gehouden met de randvoorwaarden die aan het project gesteld worden, zoals het aantal beschikbare transistoren op de chip.

Er is besloten om een wake-up light te maken. De belangrijkste functie is dat het licht 15 minuten voor de alarmtijd langzaam aan begint te gaan, totdat de lamp op de alarmtijd op volle sterkte brandt. Daarnaast zullen er nog een paar functies toegevoegd worden. Het DCF-sigitaal zal opgevangen worden voor de actuele datum en tijd, dit zal op een LCD-scherm worden laten zien. Door middel van vijf knoppen kan de wekker bediend worden. De alarmtijd kan ingesteld worden en de gebruiker kan aangeven of het licht en geluid aan moeten gaan als de gebruiker gewekt wil worden. Op de LCD zal ook te zien zijn of er iets aangepast wordt. De ingangs- en uitgangssignalen en het gedrag moeten geformuleerd worden als specificaties.

Er wordt structuur aangebracht in het systeem door het systeem op te delen in een paar grote blokken, deze blokken kunnen dan over de acht projectleden verdeeld worden. Allereerst moeten er van de afzonderlijke subsystemen specificaties opgesteld worden, zodat de blokken op elkaar afgestemd kunnen worden. Vervolgens moet van elk blok één of meer FSM's gemaakt worden waarna er een code geschreven kan worden. De geschreven code moet gesimuleerd en gesynthetiseerd worden. Als aan het eind van het project van het hele systeem een lay-out gemaakt is, kan het systeem op een chip gezet worden.

# 2

## ONTWERP SPECIFICATIE

Voor ons project ontwerpen we een klok, gesynchroniseerd met DCF77, weergegeven op lcd met een wake-up alarm. De tijd, die intern wordt bijgehouden, zal worden gesynchroniseerd met een zogenaamd DCF signaal. De wekker zal bediend worden door middel van een menu. Dit menu wordt aangestuurd op basis van 4 knoppen. In dit menu moet de wekkertijd ingesteld worden. Ook moet de wekker en het wekkergeluid aan en uit gezet kunnen worden. Een vijfde knop is de uitknop voor als de wekker gaat en uitgezet moet worden. De visualisatie van dit menu zal op een LCD weergegeven worden. Als men zich niet in het menu bevindt, zal men alle data verdeeld over het scherm zien. Deze data bestaat uit de actuele tijd, de wekkertijd, de datum en de weekdag. Daarnaast zal op het LCD-scherm weergegeven worden of de wekker en het geluid aan staan. Met het knipperen van scheidingsteken tussen uren en minuten zal het passeren van seconden aangegeven worden.

Het systeem zal enkele reandvoorwaarden hebben. Zo zal het een algemene reset moeten bevatten. Als gevolg van het indrukken van een resetknop zullen alle opgeslagen waarden en counters op 'nul' worden gezet. Ook zullen alle signalen 'active high' moeten zijn. De implementatie van het totale ontwerp moet op een chip-oppervlak van circa  $0.4 \text{ cm}^2$ , oftewel 40.000 transistor-paren. De chip beschikt over 32 pins voor i/o poorten. Daarbij zitten niet de voedingspinnen bij, deze worden apart aangesloten. Voor de FSM's (Finite State Machine) mogen alleen die van het Moore-type gebruikt worden. Als de schakeling geactiveerd wordt moeten alle FSM's in hun begintoestand komen door middel van een reset signaal. Voor de opwekking van het kloksignaal kan gebruik gemaakt worden van een kristal van 6.144 MHz of 32 kHz. Het streven is om zo weinig mogelijk componenten extern te gebruiken. De dissipatie van de chip dient echter ook beperkt te zijn. Dit geeft een compromis voor de maximale stroom die de elektronica mag dissiperen voor de aansturing van de LEDs, etc. De voedingsspanning van het IC bedraagt 5 Volt. Het IC wordt gemaakt in een semi-custom CMOS proces.

Het systeem zal de volgende ingangen hebben:

- DCF-signaal
- 36kHz klok
- Reset-knop
- 4 menu-knoppen
- 1 uit-knop

Onze chip zal over de volgende uitgangen beschikken:

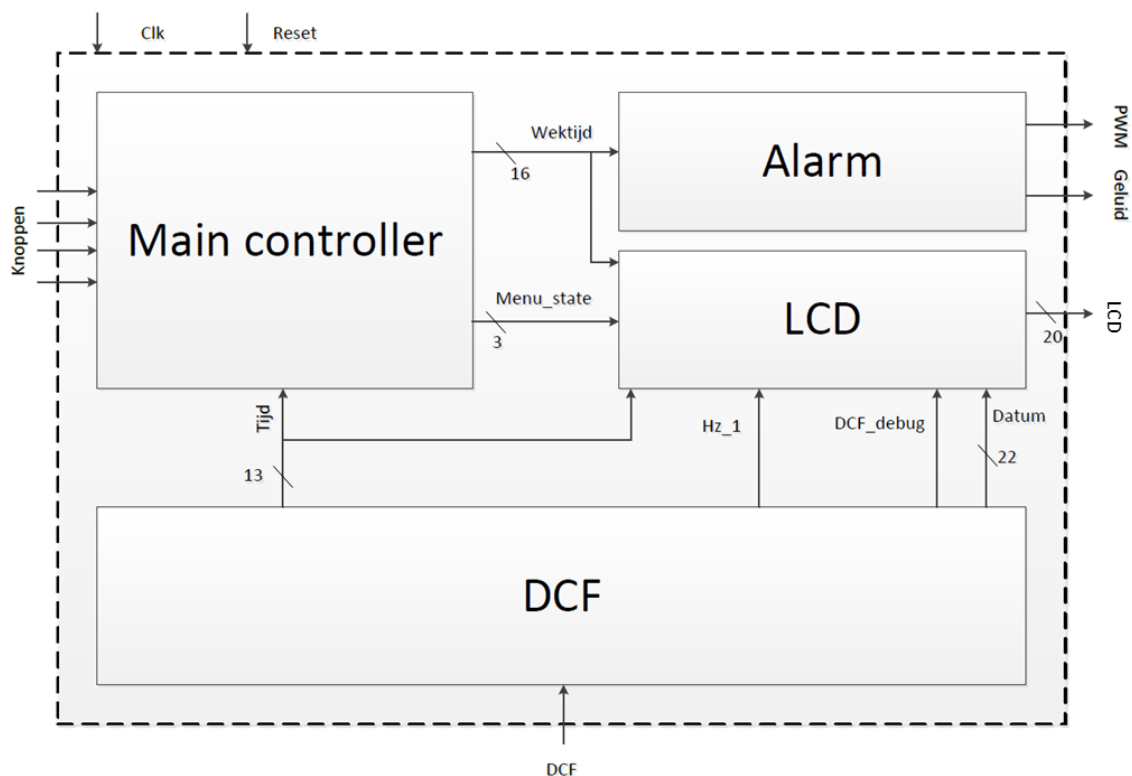
- LED, 1 bit om de led aan te sturen
- Sound, 1 bit om de buzzer aan te sturen
- LCD, een 8 bits vector om het scherm aan te sturen via een microcontroller
- Clk\_out, 1 bit ter aansturing van de microcontroller

## SYSTEEM OVERZICHT EN ONTWERP

Het systeem is opgedeeld in vier blokken:

- De DCF controller
- De main controller
- Het alarm
- De LCD controller

In figuur 3.1 is te zien welke ingangs- en uitgangssignalen het systeem in en uit gaan en hoe de blokken elkaar aansturen.



Figuur 3.1: Blokdiagram van het gehele systeem

De DCF controller vangt het DCF signaal op en zet het om naar een bitvector met datum, uren en minuten. En er wordt een kloksignaal van 1 Hz gegenereerd. Mocht het DCF-signaal tijdelijk niet goed opgevangen kunnen

worden, kan een intern register de tijd door blijven geven en er gaat een ledje branden om aan te geven dat de chip geen DCF-signaal meer ontvangt. Dit register wordt dan weer gesynchroniseerd als het signaal weer opgevangen wordt.

De main controller bestuurt het hele systeem. De alarmtijd kan ingesteld worden en de alarmtijd wordt met de actuele tijd vergeleken, zodat het alarmblok weet wanneer het alarm aan moet gaan. Met knoppen kan het menu bestuurd worden.

In het alarmblok wordt eerst de vijftien minuten van de wekkertijd afgetrokken. De ingestelde tijd is namelijk de tijd waarop het geluid aan moet gaan, de lamp moet al een kwartier eerder beginnen met branden. Daarnaast zorgt het alarm ervoor dat een PWM-signaal gegenereerd wordt wat naar een LED gaat.

De LCD controller zorgt dat de datum, tijd, ingestelde alarmtijd en de veranderingen in het menu op de LCD zichtbaar zijn. Er wordt een LCD scherm gebruikt waar de pixels afzonderlijk van elkaar aangestuurd worden. Tussen de chip en het scherm zit nog een microcontroller, waarin de karakters zijn opgeslagen, dit zou namelijk te groot zijn om op de chip te regelen.

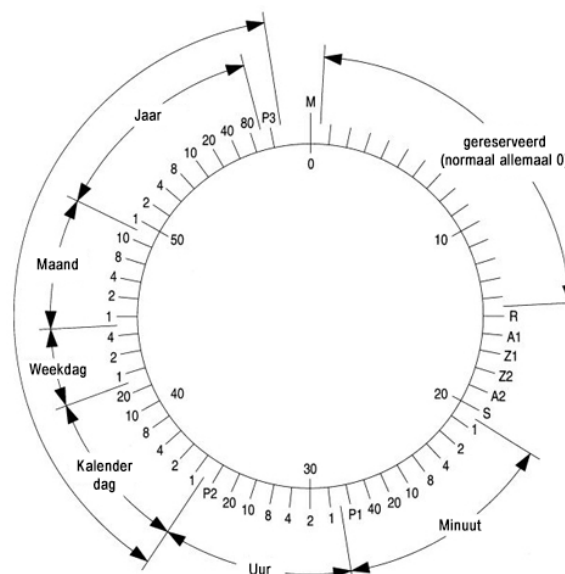


# 4

## DCF77

### 4.1. INLEIDING

In dit onderdeel, genaamd DCF77, wordt de basis van de wekker gelegd, door verschillende belangrijke datasignalen aan te maken, welke nodig zijn om de rest van de wekker goed te laten functioneren. Een eis die is gesteld aan de eigenschappen van deze klok, is dat deze gesynchroniseerd wordt met het zogenaamde DCF77 signaal. Dit is een signaal dat vanuit Duitsland wordt verzonden en bestaat uit korte (100 ms) en lange (200 ms) pulsen, welke respectievelijk nullen en enen coderen. Iedere seconde, behalve de laatste van iedere minuut, wordt er een puls verzonden. De bits die door deze pulsen worden gecodeerd, bevatten allerlei informatie, zoals de actuele datum en tijd op de eerstvolgende minuut. Een deel van de informatie die op deze manier wordt verzonden, zal worden gebruikt voor het aansturen van de wekker. Om gebruik te kunnen maken van de informatie die met het DCF77 signaal wordt verzonden, is het echter wel nodig te weten welke bit uit de reeks van 59 stuks welke informatie codeert. In figuur 4.1 is te zien welke informatie door elk van de 59 bits wordt gecodeerd. Een versie in tabelvorm is te vinden op Wikipedia [1]. De wekker zal gebruik gaan maken van bits 21 t/m 58. In de afbeelding worden binnen deze selectie bits 28, 35 en 58 respectievelijk P1, P2 en P3 genoemd. Deze bits zijn zogenaamde parity-bits, welke de ontvanger van het DCF77 signaal in staat stelt om tot op zekere hoogte te controleren of de ontvangen bitreeks correct is. In het DCF77 signaal wordt gebruik gemaakt van even parity. Dit betekent dat, wanneer zich in de bits die bij een zekere parity bit horen een even aantal logische enen bevindt, de parity bit een logische 0 zal zijn [2]. Het DCF77 blok converteert een gedigitaliseerde versie van het DCF77 signaal naar een tijdreferentie, waarna deze een autonome klok synchroniseert, welke zich ook binnen het DCF77 blok bevindt.



Figuur 4.1: Codering van het dcf-signaal [2]

## 4.2. SPECIFICATIES

In deze sectie worden de in- en uitgangen van de DCF-controller overzichtelijk weergegeven. Doordat dit onderdeel aan het begin staat van het totale systeem, bevat dit blok enkel standaard ingangen en een ingang van buitenaf met het DCF77 signaal. De uitgangen uren en minuten worden doorgestuurd naar de main-controller. De clk van 1 Hz zal in verschillende onderdelen worden gebruikt, zowel binnen als buiten het DCF77 blok. De datum en het signaal dcf\_led zullen rechtstreeks op het LCD scherm worden weergegeven. Enkele signalen zijn in BCD (Binary Coded Decimal). Meer informatie over BCD is te vinden op de website van Technology UK [3].

### 4.2.1. INGANGEN

Dit onderdeel maakt gebruik van de volgende ingangen:

- De 32 kHz systeemklok, een standaard input.
- Het 'active high' resetsignaal, een standaard input.
- Het gedigitaliseerde DCF77 signaal, bestaande uit korte en lange pulsen.

### 4.2.2. UITGANGEN

Dit onderdeel genereert de volgende uitgangen:

- Een kloksignaal met een frequentie van 1 Hz, welke gebruikt kan worden om secondes te tellen.
- Het debug signaal dcf\_led, wat een seconde lang hoog is na ontvangst van een puls van het DCF77 signaal.
- Uren; de uren van de huidige tijd in een BCD vector van 6 bits.
- Minuten; de minuten van de huidige tijd in een BCD vector van 7 bits.
- Weekdag; de dag van de week, binair gecodeerd met maandag als 001.
- Dag; de dag van de maand in een BCD vector van 6 bits.
- Maand; het nummer van de maand in een BCD vector van 5 bits.
- Jaar; de laatste twee cijfers van het jaartal in een BCD vector van 8 bits.
- Date\_ready; een signaal dat aangeeft dat de datum gereed is voor verder gebruik.

### 4.2.3. GEDRAG

Het DCF77 blok heeft als belangrijkste gedragsfunctie om de huidige tijd en datum door te geven. Om deze informatie zo precies mogelijk te houden, dient deze zo vaak mogelijk te worden gesynchroniseerd met het extern gedigitaliseerde DCF77 ingangssignaal. Idealiter zou er dus iedere minuut met het DCF77 signaal worden gesynchroniseerd. Pas als via de parity bits is gebleken dat het de ontvangen tijd en datum plausibel zijn, wordt dit echter gedaan. Anders blijft de datum onveranderd en wordt de tijd bijgehouden met een interne klok. Zo wordt voorkomen dat andere onderdelen op de chip tijdelijk een compleet verkeerd signaal krijgen doorgestuurd, indien het DCF-signaal signaal niet of slecht wordt ontvangen.

Naast deze belangrijkste functie, heeft het DCF77 blok ook nog enige kleinere taken. Zo dient het 1 Hz signaal dat afkomstig is uit een interne klokdeler en wordt gebruikt voor de interne klok ook beschikbaar te worden gesteld voor gebruik in andere blokken. Ook dient een debug signaal dcf\_led gegenereerd te worden, dat na iedere ontvangen bit uit het DCF77 signaal een seconde lang hoog is. Ten slotte dienen alle subblokken, inclusief registers, van de gehele module bij een 'active high' reset gereset te worden.

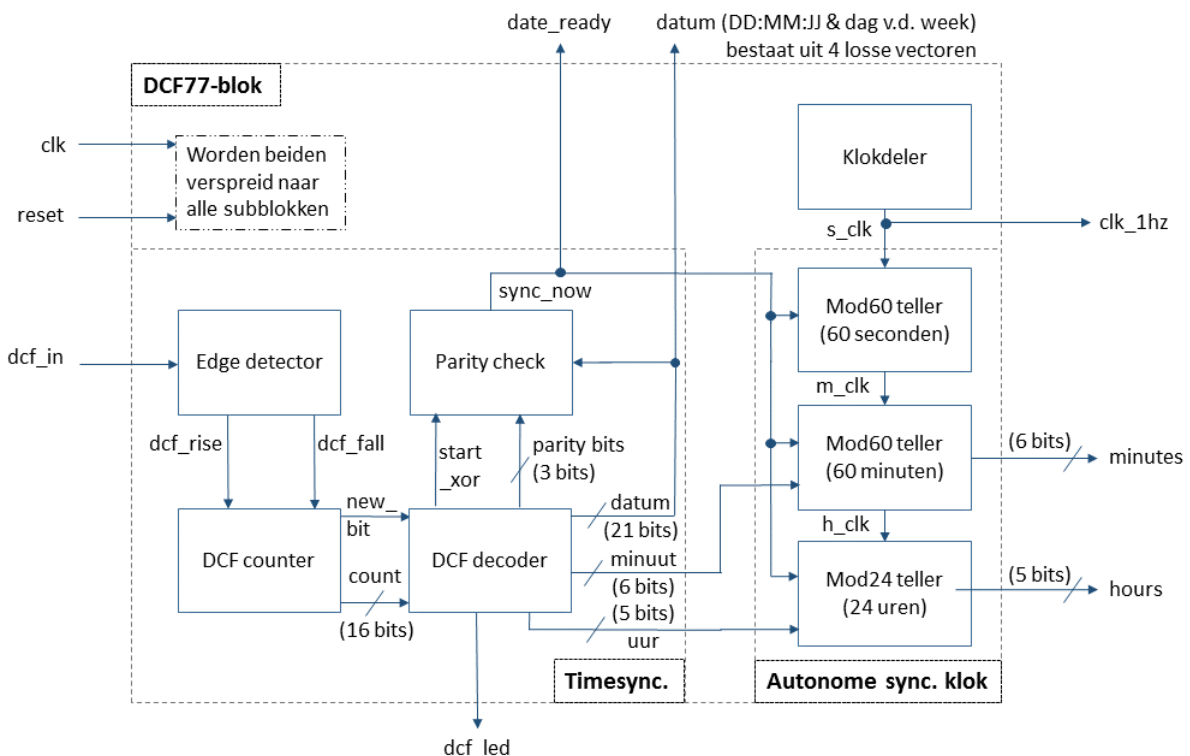
## 4.3. FUNCTIONALITEIT

Het DCF blok dient volgens de specificaties een tijd- en dagstempel te genereren uit het gedigitaliseerde DCF77 signaal dat aan het blok wordt aangeboden. Bovendien dient het blok de tijd zelf bij te houden wanneer het DCF77 signaal niet of niet goed wordt ontvangen. Het is vrij ondoenlijk om deze volledige functionaliteit in één keer te implementeren in VHDL. Bovendien zou dit een groot, lomp blok opleveren in de layout, welke vervolgens lastig op de chip te plaatsen zal zijn. Daarom wordt het DCF blok opgedeeld in kleinere subblokken, totdat deze wel in één keer geïmplementeerd kunnen worden. Een top-level beschrijving knoopt vervolgens de kleinere subblokken weer aan elkaar tot een groot blok. Naast het voordeel dat dit het ontwerpen vergemakkelijkt, geeft dit ook een gemakkelijker op de chip te plaatsen ontwerp, omdat ook de layout op dezelfde hiërarchische manier gegenereerd zal worden.

In fig. 4.2 is te zien hoe het DCF blok is verdeeld in subblokken. Het DCF77 signaal wordt allereerst aangeboden aan het subblok edge detector, welke dit signaal vervolgens opsplijst in twee afzonderlijke signalen. Het eerste signaal geeft een puls wanneer er een rising edge plaatsvindt op het DCF77 signaal en het tweede signaal geeft een puls wanneer er een falling edge plaatsvindt op het DCF77 signaal. Beide signalen worden doorgevoerd naar de DCF counter, welke het tijdsverschil tussen de rising en falling edges telt. De tellerwaarde wordt na iedere ontvangen puls beschikbaar gesteld aan de daadwerkelijke DCF decoder door het signaal new\_bit hoog te maken.

De DCF decoder bepaald vervolgens wat de bitreeks is die in één minuut van het DCF77 signaal gecodeerd is en genereert hieruit de signalen voor de tijd en datum. Ook de parity bits worden apart naar buiten gevoerd, zodat deze kunnen worden gebruikt in de parity check. Naast deze signalen genereert de decoder ook het debug signaal dcf\_led, dat aangeeft of het DCF77 signaal goed wordt ontvangen. Ten slotte genereert de decoder een signaal "start" dat aangeeft wanneer een volledige minuut is gedecodeerd. Dit laatste signaal gaat, samen met de tijd-, datum- en parity bits naar het subblok parity check. Hier wordt gecontroleerd of het aantal enen (even of oneven) klopt met wat het parity bit aangeeft. Het parity bit is namelijk alleen 0 wanneer er een even aantal bits bij hoort. Het controleren op een even of oneven aantal enen gebeurt door middel van een herhaalde xor operatie. Het subblok parity check genereert vervolgens een sync\_now signaal dat aangeeft dat de controle is voltooid en succesvol was. Dit signaal wordt ook naar buiten gevoerd om aan te geven dat de datum aan de uitgang van de decoder gebruikt kan worden.

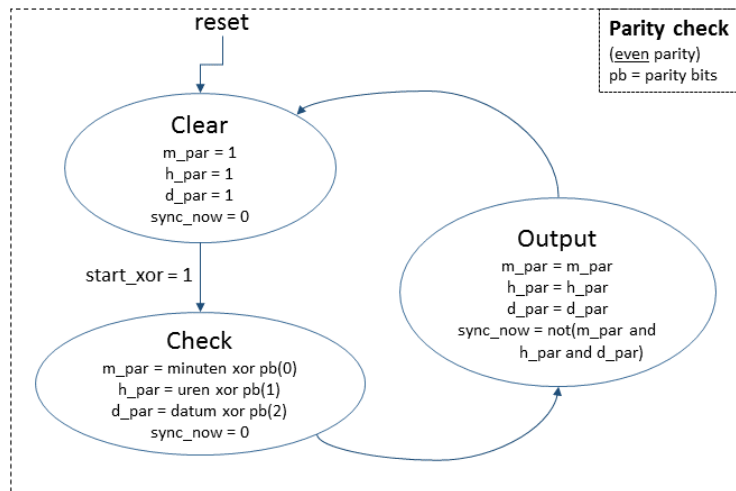
Het sync\_now signaal komt vervolgens aan bij de autonome synchroniseerbare klok. Dit subblok bestaat vervolgens zelf weer uit twee mod60 tellers en een mod24 teller, waarmee autonoom de tijd kan worden bijgehouden, mocht het DCF77 signaal onverhoopt wegvallen. Wanneer sync\_now hoog wordt, worden deze tellers gesynchroniseerd met de tijd uit het DCF77 signaal. Voor het tellen wordt gebruik gemaakt van het uitgangssignaal van een ander subblok, namelijk de klokdeeler. Dit subblok genereert het 1 Hz kloksignaal uit de 32 kHz systeemklok, wat wordt gebruikt voor het tellen van seconden en bovendien naar andere blokken buiten het DCF blok wordt doorgevoerd.



Figuur 4.2: Verdeling van het DCF blok in subblokken

### 4.3.1. FSM DIAGRAMMEN

Het opdelen van het grote DCF77 blok in subblokken is bijzonder nuttig, maar nog niet voldoende om direct een implementatie in VHDL te kunnen maken. Daarom wordt voor alle subblokken op het laagste abstractieniveau een FSM diagram gemaakt, waarin globaal wordt aangegeven wat er wanneer dient te gebeuren binnen elk van deze blokken. Er zijn in totaal acht verschillende subblokken te ontwerpen. Dit betekent dat er ook acht verschillende FSM diagrammen dienen te worden getekend. Bij wijze van voorbeeld wordt hier het FSM diagram van de parity\_check besproken. Alle acht FSM diagrammen zijn terug te vinden in appendix A als fig. A.1 t/m fig. A.8.



Figuur 4.3: FSM diagram van het subblok parity check

In fig. 4.3 is het FSM diagram van de parity check nogmaals weergegeven. Zoals te zien is, begint deze na een reset altijd in de clear state. In tegenstelling tot wat je zou verwachten, worden in deze state de drie bits die het resultaat van de drie parity checks bevatten, niet op een logische 0, maar op een logische 1 gezet. Dit is zo, omdat in het DCF77 signaal gebruik wordt gemaakt van even parity. Dit betekent dat een parity bit een logische 0 bevat, wanneer de bijbehorende bitreeks een even aantal logische enen bevat. Een xor operatie met deze bitreeks + de bijbehorende parity bit zal dus 0 opleveren wanneer de parity bit correct is. In de reset ga je er echter juist vanuit dat de parity nog niet correct is. Wanneer dit door de decoder wordt aangegeven met het signaal start\_xor, zal de state van het subblok parity\_check naar check gaan.

In de state check worden vervolgens, door middel van herhaalde xor operaties, de daadwerkelijke parity checks uitgevoerd. Één check controleert de minuten, een tweede controleert de uren en de derde controleert de volledige datum (inclusief dag van de week). Onafhankelijk van het resultaat van deze drie parity checks, zal het subblok vervolgens gelijk naar de state output gaan.

In de state output worden dan de resultaten van de drie parity checks bij elkaar genomen. Dit gebeurt, om zo een strengere controle op de correctheid van de ontvangen bits te verkrijgen. Bovendien is op deze manier slechts één signaal nodig dat aangeeft of de ontvangen tijd en datum correct zijn. Alleen als alle parity checks kloppen, zal het uitgangssignaal sync\_now hoog worden gemaakt. Hiermee worden vervolgens de tijd en datum vrijgegeven voor verder gebruik in de wekker. Ten slotte zal het subblok direct na het uitzenden van een puls op het sync\_now signaal weer teruggaan naar de state clear, zodat deze klaar staat om de volgende minuut weer de parity checks uit te voeren. De cirkel is nu rond.

### 4.3.2. VHDL CODE

Met behulp van de FSM diagrammen kan er behavioural VHDL worden geschreven, welke vervolgens met behulp van structural VHDL aan elkaar kan worden gemaakt om zo uiteindelijk het hele DCF77 blok te vormen. Al deze behavioural en structural VHDL beschrijvingen zijn voorzien van enig commentaar en opgenomen in appendix B.1. Vanuit de top-level beschrijving in appendix B.1.11 is, eventueel met behulp van fig. 4.2, gemakkelijk terug te vinden hoe alle andere VHDL beschrijvingen binnen het blok samenwerken.

## 4.4. SIMULATIE

Om de correcte functionaliteit te toetsen aan de verwachtingen, wordt de VHDL beschrijving van het DCF77 blok veelvuldig gesimuleerd. Hiervoor dienen echter wel testbenches geschreven te worden, welke het te testen onderdeel voorzien van testsignalen. Deze testbenches zijn voor ieder apart onderdeel geschreven in twee varianten, ook voor de structural beschrijvingen. In de eerste variant wordt er vanuit gegaan dat de systeemklok, net als in het uiteindelijke product, een signaal van 32 kHz is. Op deze variant van de testbenches wordt in dit verslag verder niet ingegaan, omdat deze te lang zijn. Dit levert later in het proces problemen op tijdens het simuleren op transistorniveau. Daarom is er ook een tweede variant van alle testbenches geschreven, waarin gebruik wordt gemaakt van geschaalde ingangssignalen. Op deze manier is er een veel kortere simulatietijd nodig, terwijl toch uit de resultaten opgemaakt kan worden of het geteste onderdeel naar verwachting werkt. Deze testbenches zijn opgenomen in appendix B.2 als appendix B.2.1 t/m appendix B.2.11

In *Modelsim* worden vervolgens alle onderdelen van het DCF77 blok getest op behavioural niveau met behulp van deze testbenches. Zodra de resultaten van deze simulaties overeenkomen met de verwachte resultaten, worden alle VHDL beschrijvingen in het programma *GoWithTheFlow* gesynthetiseerd. De gesynthetiseerde VHDL kan vervolgens met dezelfde testbenches opnieuw in *Modelsim* worden gesimuleerd. Als alles goed is, zullen de resultaten er precies hetzelfde uitzien. In dat geval wordt er van alle subblokken een layout gegenereerd door de programma's *Madonna & Trout*. Uit deze layout kan vervolgens binnen *GoWithTheFlow* weer VHDL worden geëxtraheerd. Deze VHDL kan vervolgens opnieuw met dezelfde testbenches in *Modelsim* worden gestopt ter controle. Ook de resultaten van deze simulaties zullen als alles klopt precies hetzelfde zijn als die van de behavioural simulaties. Binnen *GoWithTheFlow* is het echter ook mogelijk om aan de hand van een testbench de gegenereerde layout direct, zonder extractie van VHDL, te simuleren. Dit heet ook wel de switch-level simulatie, omdat deze het ontwerp op transistorniveau simuleert. Ten slotte is het binnen *GoWithTheFlow* mogelijk om de resultaten van de switch-level simulatie te laten vergelijken met die van de behavioural simulatie. Als ze met elkaar overeen komen, mag deze vergelijking slechts één enkele error opleveren; namelijk direct aan het begin van de simulatie, wanneer er nog geïnitieerd wordt.

## 4.5. RAPID PROTOTYPING (FPGA IMPLEMENTATIE)

## 4.6. RESULTATEN

# 5

## MAIN CONTROLLER

### 5.1. INLEIDING

De main controller bevat de interface van de wekker. Deze zorgt er voor dat een wekker ingesteld kan worden, aangepast kan worden en uitgezet kan worden. Belangrijk aan elke interface is dat deze gebruiksvriendelijk is. Dit kan onder andere bereikt worden door een optimum voor het aantal knoppen te bepalen. Te veel knoppen, en de gebruiker weet niet welke knop wat doet, te weinig knoppen, en de gebruiker moet navigeren door een nodeloos ingewikkeld menu.

Daarnaast is er nog een beperkende factor: het aantal pinnen op de chip.

Al deze informatie samengenomen is besloten dat 4 knoppen voor de interface het meest gebruiksvriendelijke resultaat oplevert. Daarnaast is er nog een knop die slechts gebruikt wordt om een afgaand alarm uit te zetten.

De controller stuurt een hoop dingen aan, en van te voren was al geanticipeerd dat dit hierdoor een van de grootste onderdelen op de chip zou kunnen worden.

### 5.2. SPECIFICATIES

#### 5.2.1. INGANGEN

- Klok, dit is een standaard input;
- Reset, ook dit is een standaard input;
- Knoppen, dit zijn de 4 knoppen die (nadat ze gebufferd zijn) onderdeel zijn van de interface.
  - knoppen[0] = menu
  - knoppen[1] = set
  - knoppen[2] = up
  - knoppen[3] = down

#### 5.2.2. UITGANGEN

- Wekker, dit is de tijd dat de wekker af moet gaan en de wekkerdata, dus of het licht en geluid aan staan, en of de wekker überhaupt aanstaat;
- Menu-state, dit is de staat in welke de FSM zich op het moment bevindt. Deze informatie wordt doorgevoerd naar het LCD-scherm om zo te kunnen zien waar in het menu men zit.

In tabel 5.1 staat wat voor informatie te vinden is in de uitgangen van de controller.

Tabel 5.1: Uitgangen van de controller

Uitgang	Informatie over wat in de uitgang te vinden is
wekker	De huidige info over de wekker instellingen uit geheugen wekker[5 down to 0] daarin staan de minuten wekker[10 down to 6] daarin staan de uren wekker[11] geluid bit wekker[12] led bit wekker[13] wekker bit (Of de wekker uberhaupt aan is of niet)
menu	Deze geeft door aan de in welke state we zitten aan de lcd module 000 : Het normale scherm weergeven met alarm en wekkertijd weergave state: Rust, Wekkertijd 001 : Uren aanpassen 010 : Minuten aanpassen 011 : Led aanpassen 100 : Geluid aanpassen

### 5.2.3. GEDRAG

Om te beginnen moet de tijd waarop de wekker af moet gaan ingesteld kunnen worden. Dit wordt gedaan door eerst de huidige wekkertijd weer te geven, vervolgens het uur waarop gewekt moet worden te wijzigen en daarna de minuut. Hierna wordt de huidige tijd weer weergegeven.

Daarnaast is een vereiste dat de led uitgezet moet kunnen worden. Afhankelijk van een instelling moet het wake-up-light gedeelte wel of niet aangaan. Hetzelfde geldt voor het geluid.

Dit alles moet zo gebruiksvriendelijk mogelijk gebeuren.

## 5.3. FUNCTIONALITEIT

### 5.3.1. FSM

In fig. 5.1 staat de gemaakte fsm en in tabel 5.2 staan de uitgangen per state gespecificeerd.

Rust, Reset	enable = '0' wekker=wekdata menu= "000"
Wekker toggle	enable = '1' wekker[12 down to 0]=wekdata[12 down to 0] wekker[13]= niet wekdata[13] menu = "000"
Wekkertijd	enable = '0' wekker=wekdata menu = "000"
Led	enable = '0' wekker=wekdata menu = "011"
Led toggle	enable = '1' wekker[11 down to 0]=wekdata[11 down to 0] wekker[12] = niet wekdata[12] wekker[13] = wekdata[13] menu = "011"
Geluid	enable = '0' wekker=wekdata menu = "100"
Geluid toggle	enable = '1' wekker[10 down to 0]=wekdata[10 down to 0] wekker[11] = niet wekdata[11] wekker[13 down to 12] = wekdata[13 down to 12] menu = "100"

Tijd uren	enable ='0' wekker=wekdata menu = "001"
Uren plus	enable ='1' wekker=wekdata+1 menu = "001"
Uren min	enable ='1' wekker=wekdata-1 menu = "001"
Tijd minuten	enable ='0' wekker=wekdata menu = "010"
Minuten plus	enable ='1' wekker=wekdata+1 menu = "010"
Minuten min	enable ='1' wekker=wekdata-1 menu = "010"

Tabel 5.2: Uitgangen binnen de state van de controller

### 5.3.2. VHDL CODE

De code voor de controller van de wekker is te vinden in appendix B.3. Voor de overzicht en het modular opbouwen is de code in vier blokken geschreven.

- De top entity met de port map. Deze is te vinden in appendices B.3.1 en B.3.2.
- Het menu, hierin zit de echte logica verwerkt. Deze is te vinden in appendices B.3.3 en B.3.4.
- Het gebruikte geheugen element voor de opslag van 14 bits, te vinden in appendices B.3.5 en B.3.6.
- De gebruikte buffer is te vinden in appendices B.3.7 en B.3.8. De buffer regelt het ingangssignaal, en zorgt ervoor dat er maar 1 klokperiode lang een hoog signaal gelezen word.

Voor het testen van de code zijn er testbenches gemaakt welke te vind zijn in appendices B.4.1 tot B.4.4.

## 5.4. TESTEN

Om zeker te zijn dat alles goed werkt worden er drie verschillende testen uitgevoerd. De eerste is op behavioural niveau. Hier wordt getest of de basis van de code werkt zoals verwacht. Na een goed geslaagd resultaat kan de code worden gesynthetiseerd, en deze gesynthetiseerde code worden gesimuleerd. Als er geen fouten optreden kan het ontwerp gemaakt worden, daarna geextraheerd en nogmaals getest worden. De testen worden uitgevoerd met behulp van *Modelsim*.

## 5.5. SIMULATIE

De resultaten van de simulatie staan in appendix C. De testbench is te lang om in een keer weer te geven daarom is deze op geknipt in vier stukken. De testbench die gemaakt is voor de simulatie staat in appendix B.4.1

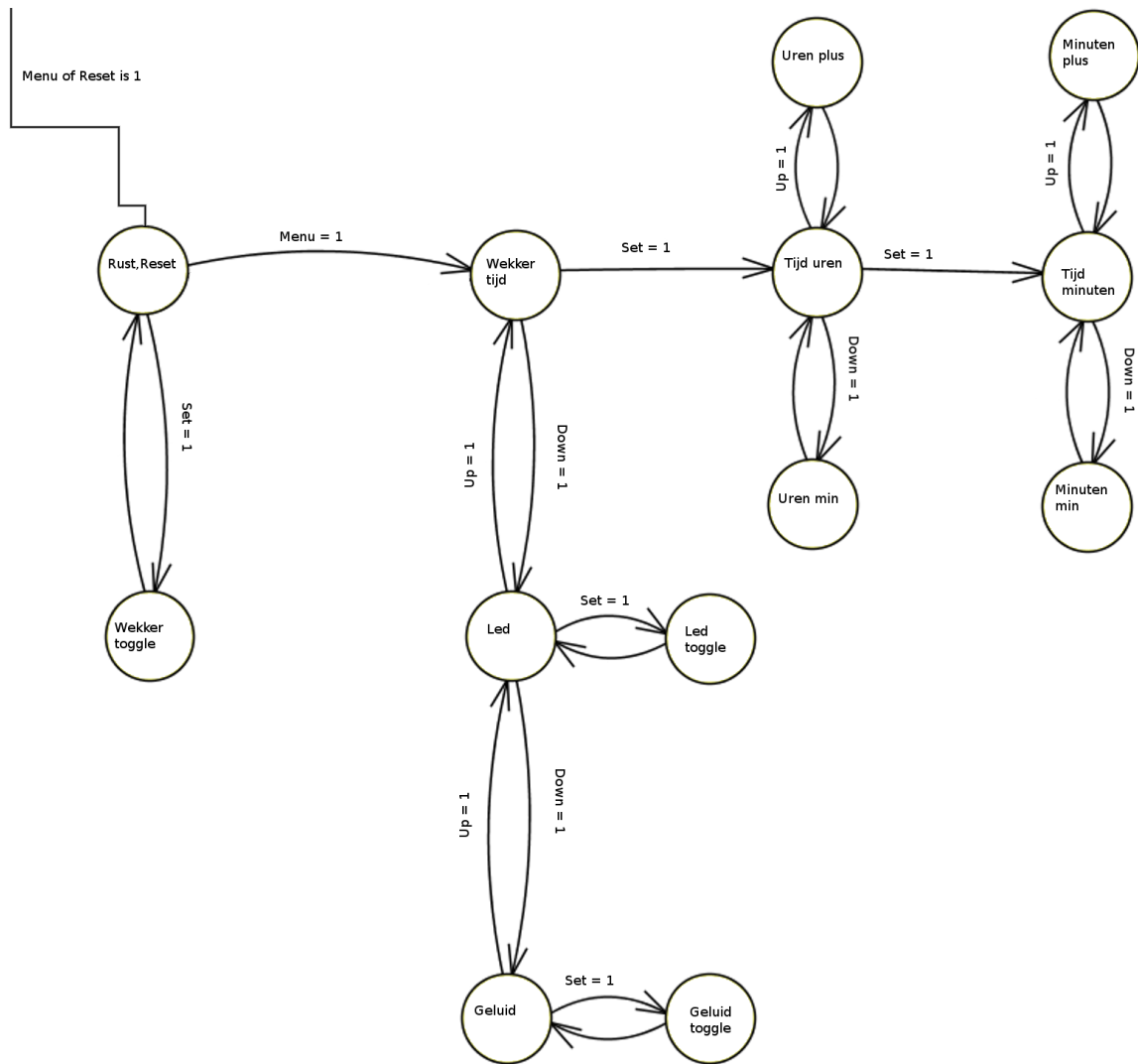
## 5.6. RESULTATEN

Van fig. C.1 tot en met fig. C.12 is te zien dat iedere simulatie tot hetzelfde resultaat leid en daarmee succesvol is. De minimale klokperiode kan afgelezen worden aan de hand van fig. C.13. Hieruit is op te maken dat deze 60ns is.

### 5.6.1. CONCLUSIE EN DISCUSSIE

De controller werkt op alle gesimuleerde niveau's naar verwachting. De minimale klok periode bedraagt 60ns om gliches te voorkomen bij het optellen en aftrekken van uren en minuten. De controller maakt op dit moment gebruik van 9088 transistoren waarvan er voor de daadwerkelijke schakelingen slechts 2914 worden gebruikt. De controller maakt op dit moment nog gebruik van het binaire telsysteem (dat gebruik maakt van machten van 2), er bleek echter dat voor de lcd scherm BCD veel beter werkt. Dit moet nog worden geïmplementeerd. Vlak





Figuur 5.1: FSM diagramma van de menu

nadat het inputbuffer gemaakt was kwam men er achter dat in plaats van een buffer ook de rising\_edge functie gebruikt had kunnen worden.

# 6

## ALARM

### 6.1. INLEIDING

In de alarm module wordt een led aangestuurd, die 15 minuten voor de ingestelde tijd in de main controller begint met branden en steeds feller wordt naarmate de tijd verstrijkt. Als de huidige tijd gelijk is aan de ingestelde tijd brandt de led op z'n felst en gaat er een geluid af, totdat er een knop wordt ingedrukt.

### 6.2. SPECIFICATIES

#### 6.2.1. INGANGEN

- Klok, standaard input.
- Reset, standaard input.
- Tijd-uur, huidige tijd in uren.
- Tijd-minuut, huidige tijd in minuten.
- Wekker-uur, uur ingesteld in de main controller.
- Wekker-min, minuten ingesteld in de main controller.
- Sec, seconde signaal gegenereerd in de DCF controller.
- Knop, alarm uitschakelen.

#### 6.2.2. UITGANGEN

- PWM-sigitaal, signaal om de led aan te sturen.
- Geluid, signaal om een geluid af te laten gaan.

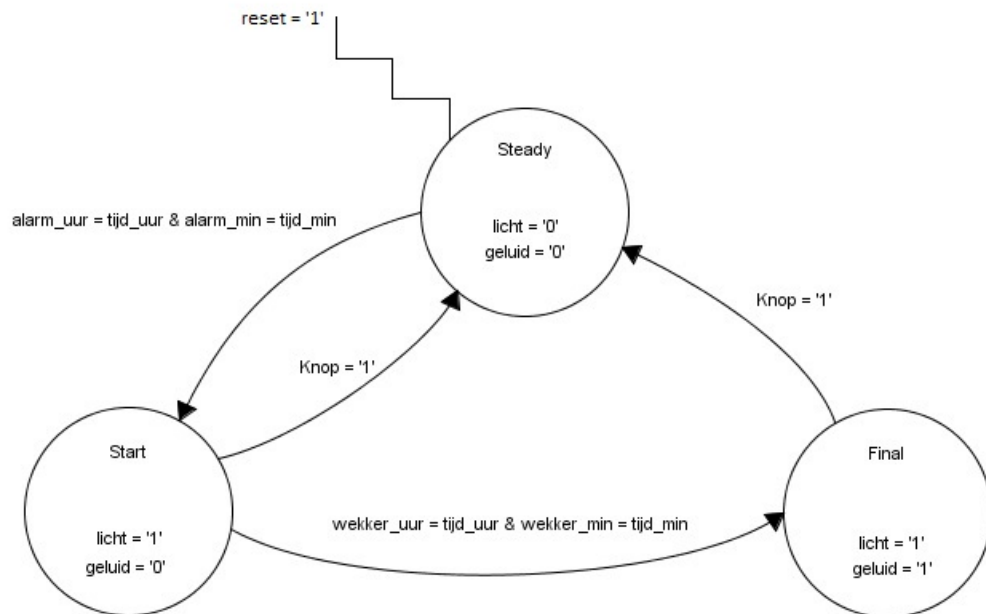
#### 6.2.3. GEDRAG

Het alarm moet een bepaalde tijd voordat de wekker is ingesteld aangaan, nu gekozen voor 15 minuten. Er wordt 15 minuten van de ingestelde tijd afgetrokken. Zodra die tijd gelijk is aan de huidige tijd komt er een signaal (licht) aan bij het gedeelte wat voor een pwm signaal zorgt. In dat gedeelte wordt een pwm signaal gegenereerd dat elke 15 seconde breder wordt. Dit wordt gedaan door in een counter 15 seconde te tellen. Elke 15 seconde wordt de variable "length" kleiner. Deze begon op 64 en wordt vergeleken met een andere counter die elke klokflank telt, tot 64. Als de counter groter of gelijk is aan "length" dan is het pwm-sigitaal hoog. Als 15 minuten zijn verstreken na het aangaan van de led, dus de ingestelde tijd is gelijk aan de huidige tijd, brandt de led op z'n felst. Ook zal dan een "geluid" signaal naar '1' gaan. Dit blijft zo totdat de knop wordt ingedrukt of alles wordt gereset.

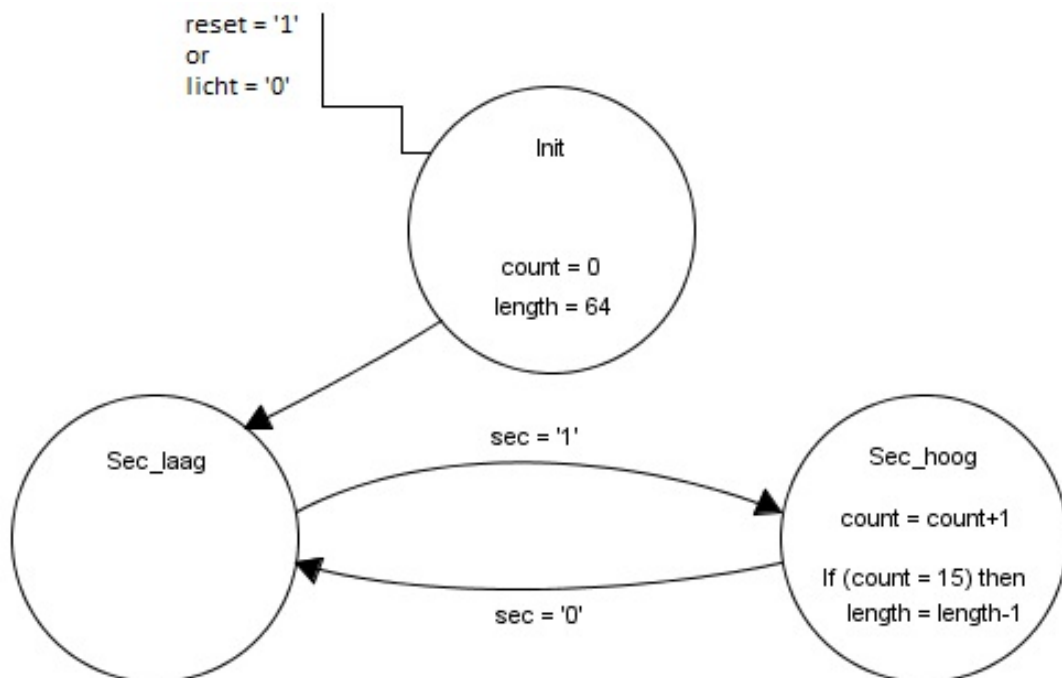
## 6.3. FUNCTIONALITEIT

### 6.3.1. FSM

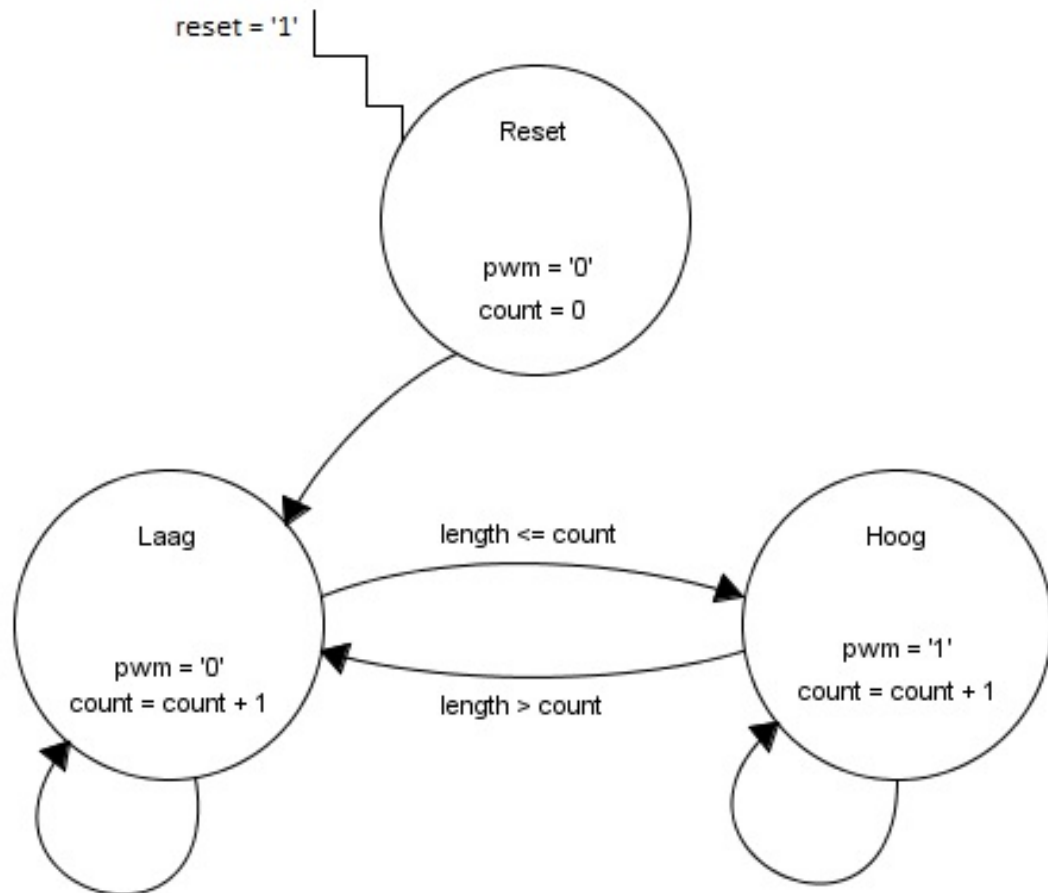
FSM van “alarm-compare”, het gedeelte waar de tijd vergeleken wordt met de ingestelde wekker tijd.



FSM van “alarm-counter”, hier wordt de lengte van het PWM signaal berekend.



FSM van “alarm-pwm”, hier wordt het pwm signaal gegenereerd wat de led aanstuurt.



### 6.3.2. CODE

De code voor het alarm is opgedeeld in 3 stukken:

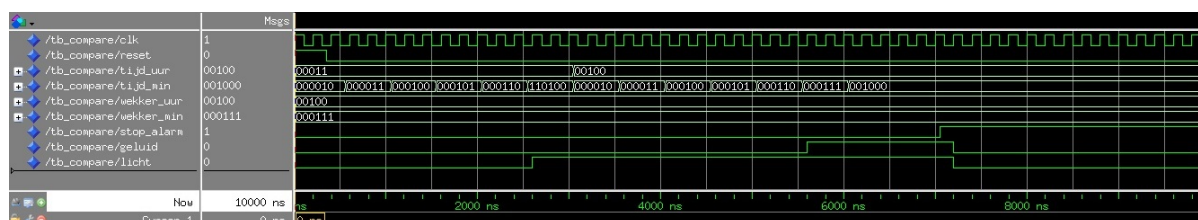
- alarm-compare
- alarm-counter
- alarm-pwm

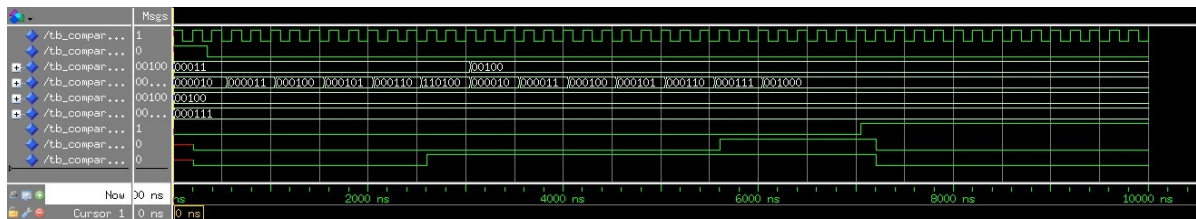
Alarm-counter en alarm-pwm zijn onderdeel van een top entity, alarm. Omdat het nog niet zeker is waar alarm-compare geplaatst gaat worden op de chip is die daar niet bij inbegrepen. De code voor het alarm is te vinden in appendix B.5.

- De entity en behavioural van alarm compare is te vinden in appendices B.5.1 en B.5.2.
- De top entity en port map van alarm is te vinden in appendices B.5.3 en B.5.4.
- De entity en behavioural van alarm-counter is te vinden in appendices B.5.5 en B.5.6.
- De entity en behavioural van alarm-pwm is te vinden in appendices B.5.7 en B.5.8.

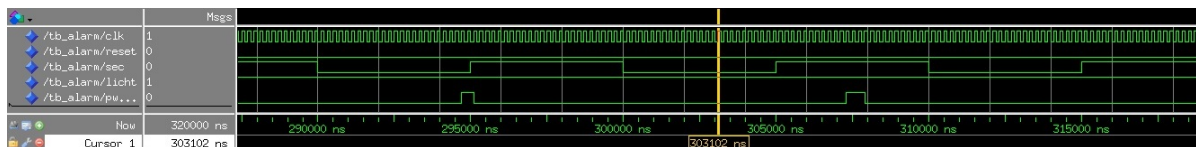
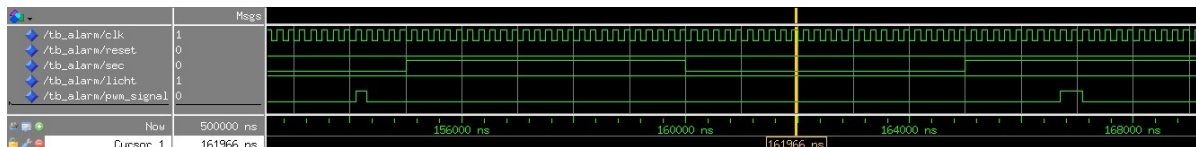
## 6.4. RESULTATEN

Alle onderdelen werken in de simulaties. Zowel de simulatie van de behaviour als van de extracted vhdl. Onderstaande afbeeldingen zijn de resultaten van de simulaties, eerst die van de behaviour daarna van de extracted. De eerste 2 afbeeldingen zijn van “alarm-compare”, de andere 2 van “alarm-pwm”.





Te zien is in de 2 afbeeldingen hier boven dat wanneer de huidige tijd (tijd\_uur en tijd\_min) gelijk is aan de wekker tijd (wekker\_uur en wekker\_min) minus 15 minuten, dan gaat het signaal licht naar '1'. Als de huidige tijd gelijk is aan de wekker tijd, gaat ook het geluid signaal naar '1'. Ook is te zien dat wanneer de knop (in de simulatie stop\_alarm) naar '1' gaat het licht en/of geluid weer naar '0' gaat.



Bovenstaande 2 afbeeldingen laten zien dat op het moment dat er 15 seconde zijn verstreken het pwm-signaal breder wordt.

## 6.5. INLEIDING

## 6.6. SPECIFICATIES

### 6.6.1. ENTITY

#### Ingangen:

- Klok, dit is een standaard input;
- Reset, ook dit is een standaard input;
- Menu vanaf de main controller;
- Tijd en datum vanaf de DCF controller;
- Wektijd vanaf de main controller;

#### Uitgangen:

- Data: dit is een lijn voor het versturen van de x en y coördinaten naar het LCD scherm;
- SCK, is een klok. Werkt in combinatie met de data lijn. Werkt als een soort spi;

### 6.6.2.

- Data, dit is een lijn voor het versturen van de x en y coördinaten naar het LCD scherm;
- SCK, is een klok. Werkt in combinatie met de data lijn. Werkt als een soort spi;

Naam	Type	Functie
clk	in std_logic	Klok
reset	in std_logic	Reset
ready	in std_logic	
uren	in std_logic_vector(5 downto 0)	data signaal met actuele uren afkomstig van DCF
minuten	in std_logic_vector(6 downto 0)	data signaal met actuele minuten afkomstig van DCF
dagvdweek	in std_logic_vector(2 downto 0)	data signaal met de actuele dag afkomstig van DCF
dagvdmaand	in std_logic_vector(5 downto 0)	data signaal met de actuele dag van de maand afkomstig van DCF
maand	in std_logic_vector(4 downto 0)	data signaal met de actuele maand afkomstig van DCF
jaar	in std_logic_vector(7 downto 0)	data signaal met het actuele jaar afkomstig van DCF
dcf_debug	in std_logic	????
menu	in std_logic_vector(2 downto 0)	data signaal die de actuele menu state weergeeft
geluid_signaal	in std_logic	buffer signaal dat weergeeft of geluidsfunctie in of uitgeschakeld is
licht_signaal	in std_logic	buffer signaal dat weergeeft of lichtfunctie in of uitgeschakeld is
wektijd_uren	in std_logic_vector(5 downto 0)	data signaal met ingestelde wektijd uren
wektijd_min	in std_logic_vector(6 downto 0)	data signaal met ingestelde wektijd minuten
data_out	in std_logic_vector(6 downto 0)	data signaal dat de x,y,c informatie doorgeeft aan de microcontroller
clk_out	in std_logic	clock om microcontroller clock mee te synchroniseren

**6.6.3. GEDRAG****6.7. FUNCTIONALITEIT****6.7.1. FSM****6.7.2. VHDL CODE****6.8. TESTEN****6.9. SIMULATIE****6.10. RESULTATEN****6.10.1. CONCLUSIE EN DISCUSSIE**

# 7

## RESULTS FOR TOTAL DESIGN

Er zijn nog geen subsystemen aan elkaar gekoppeld. Het testen met meer dan één blok is dus nog niet gebeurd.

# 8

## PLAN VOOR HET TESTEN VAN DE CHIP

Voor het testen zijn een aantal momenten in het proces waarop getest wordt. Zo wordt elk module getest in een simulatie in Modelsim. Hieruit kan opgemaakt worden wat het verwachte gedrag is. Maar een simulatie is niet alles. Daarom kan een module ook nog getest worden door middel van een FPGA te programmeren. De uiteindelijke chip zal getest worden met een logic analyzer en natuurlijk door te kijken of de chip de gewenste output geeft.

### 8.1. FPGA BORD

Het bord dat gebruikt kan worden is een Altera FPGA bord. Dit bord komt met eigen software genaamt Quartus. Deze software kan gebruikt worden om de gemaakte VHDL code om te zetten in een bitstream file en vervolgens het FPGA bord te programmeren. Door de VHDL code op een FPGA te programmeren kan worden geverifieerd of de code het gedrag vertoont wat verwacht wordt. Door simulatie is dit namelijk niet altijd helemaal te zien. Mocht op de FPGA een fout ontdekt worden, dan zal de code hierop aangepast worden en zal de code opnieuw gesimuleerd worden.

### 8.2. LOGIC ANALYZER

De gemaakte chip zal in Q4 worden getest. De chip zal eerst op een logic analyzer worden aangesloten. De analyzer die gebruikt zal worden is een LA-5580.



# 9

## VOORTGANG VAN HET PROJECT

### 9.1. INLEIDING

Bij dit project zijn er vaak weinig resultaten, totdat het bijna afgelopen is. Dit is een van de redenen dat voor een wake-up light gekozen is. Een wekker zelf is relatief makkelijk te maken. Er zijn echter ook een hele hoop extra features die in een wekker geïmplementeerd kunnen worden. Op deze manier is dus een werkend resultaat relatief snel geproduceerd, en kunnen daarna naar gelang extra toepassingen toegevoegd worden. Dit is goed voor het moreel in de groep, aangezien een werkend product al heel snel gerealiseerd is. Hierdoor is er ook meer aansporing om meer toepassingen te implementeren, omdat er al een werkend geheel is. In het ergste geval is er geen extra feature. Daarnaast, als uiteindelijk bleek dat de planning te krap was, kunnen er features geschrapt worden, en is er nog steeds een werkend product. Onder andere dit maakt een wake-up light zeer aantrekkelijk om te maken.

### 9.2. WERKVERDELING

#### 9.2.1. MODULE OPDRACHT

De eerste twee weken werd er gewerkt aan een module-opdracht, dit bereide iedereen voor op de echte opdracht. De module-opdracht was vergelijkbaar met de uiteindelijke opdracht, alleen veel kleiner en het onderwerp was anders. De module-opdracht werd in tweetallen voltooid. De onderdelen die gemaakt werden zijn:

- Een ALU
- Een SRAM-module
- Een FIFO-module
- Een SPI-interface

Deze zijn allen ter voorbereiding op de grote opdracht. Deze opdrachten zijn in 2 weken tijd voltooid. Daarnaast heeft elk tweetal de specificaties voor een ander groepje opgesteld, zodat ook hierin ervaring opgedaan zou worden. Dit is nodig aangezien voor de grote opdracht zelf de specificaties opgesteld moesten worden.

#### 9.2.2. WAKE-UP LIGHT

Zodra vastgesteld was wat de grote opdracht zou worden zijn eerst precieze specificaties opgesteld. Dit was nodig zodat het duidelijk was wat er gedaan moest worden. Vervolgens zijn de taken zo snel mogelijk verdeeld door de wake-up light in blokken te verdelen. Van deze blokken werden eerst de specificaties bepaald, zodat er geen communicatieproblemen zouden ontstaan tussen de blokken. Uiteindelijk zijn er 4 hoofdblokken ontstaan, wat goed uitkwam, aangezien dit betekende dat er weer 4 tweetallen nodig waren per blok.

Deze blokken werden vervolgens door de tweetallen apart gemaakt, en waar de specificaties niet duidelijk genoeg waren, of onhandig gedefinieerd, werden deze aangepast.

### 9.3. SAMENWERKING BINNEN DE GROEP

5 weken is een zeer korte tijd om mensen te leren kennen. Het merendeel van de samenwerking verliep goed, dit onderdeel zal uitgebreid worden in de loop van de komende 5 weken.

## 9.4. AFSPRAKEN BINNEN DE GROEP

Afspraken binnen de groep verliepen soepel. De enkele keer dat dit niet gebeurde was hier een goede reden voor. Zo gebeurde het dat op de dag van een presentatie bleek dat een van de leden ziek was. Andere leden sprongen in en zo kwam de presentatie toch nog tot een goed einde.

# 10

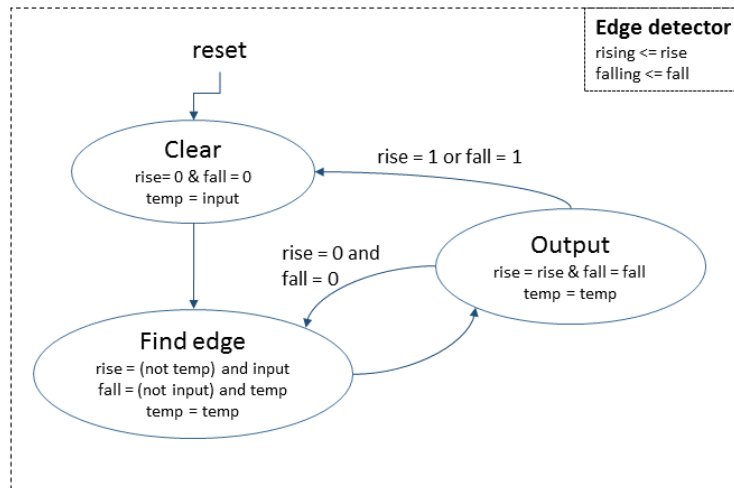
## CONCLUSIE

Alle onderdelen zijn in theorie nu klaar. Individueel zijn ze via *Modelsim* getest en goed bevonden. De onderlinge signalen zijn zo veel mogelijk op elkaar afgestemd. De onderdelen voldoen samen aan de specificaties die eerder gesteld zijn. Echter in de praktijk zullen de onderdelen nog niet feilloos met elkaar samenwerken. Hiervoor zal er meer meer getest worden, bijvoorbeeld op een FPGA bord en een logic analyzer.

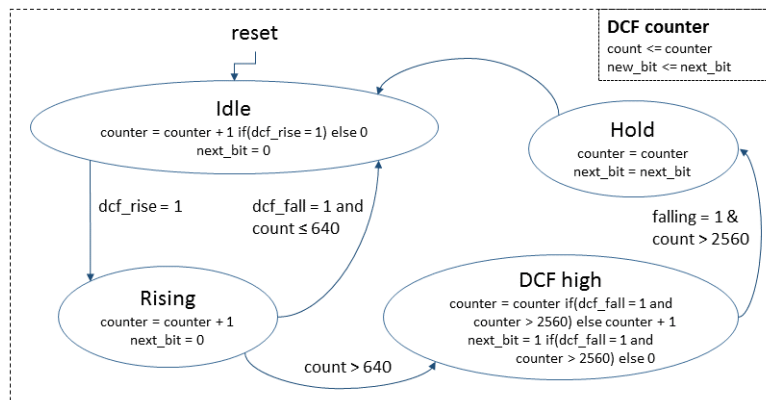


# FSM DIAGRAMMEN (DCF77 BLOK)

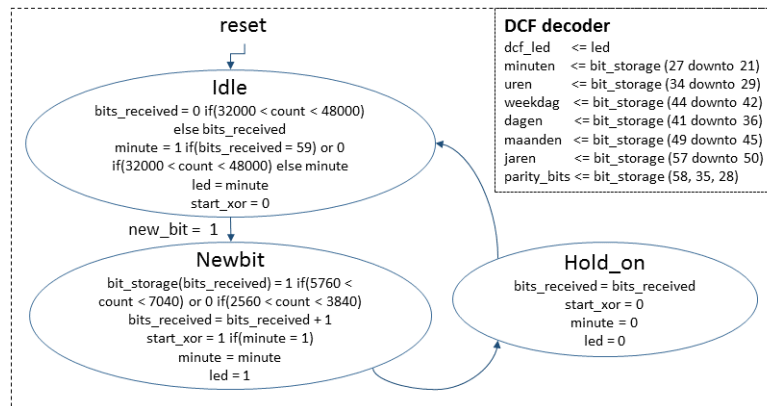
## SUBBLOKKEN VAN SYNCTIME



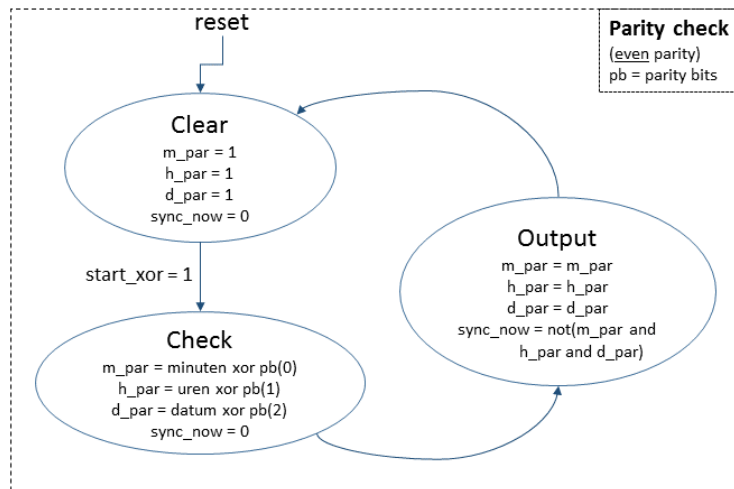
Figuur A.1: FSM diagram van het subblok edge detector



Figuur A.2: FSM diagram van het subblok DCF counter

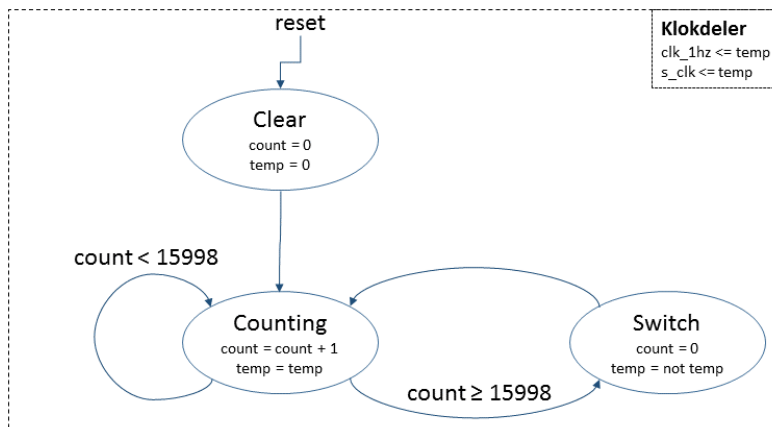


Figuur A.3: FSM diagram van het subblok DCF decoder



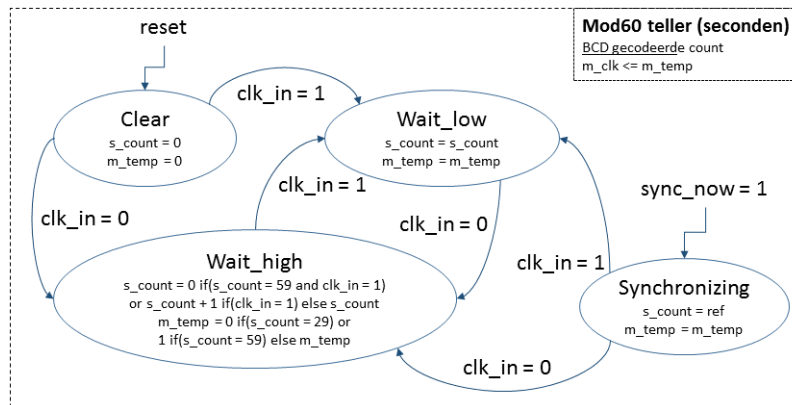
Figuur A.4: FSM diagram van het subblok parity check

## KLOKDELER

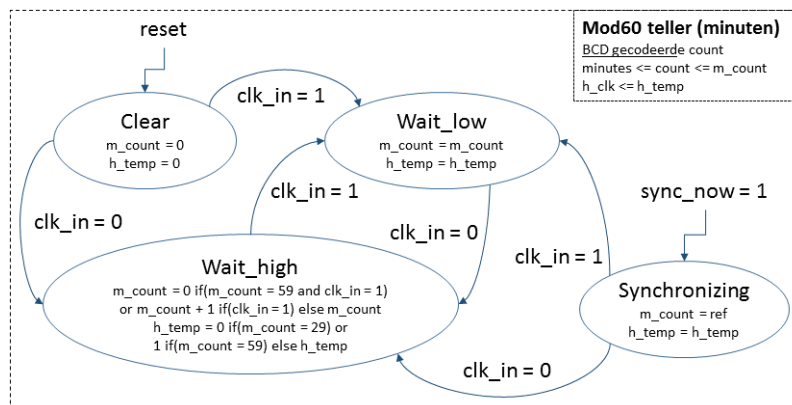


Figuur A.5: FSM diagram van het subblok klokdelers

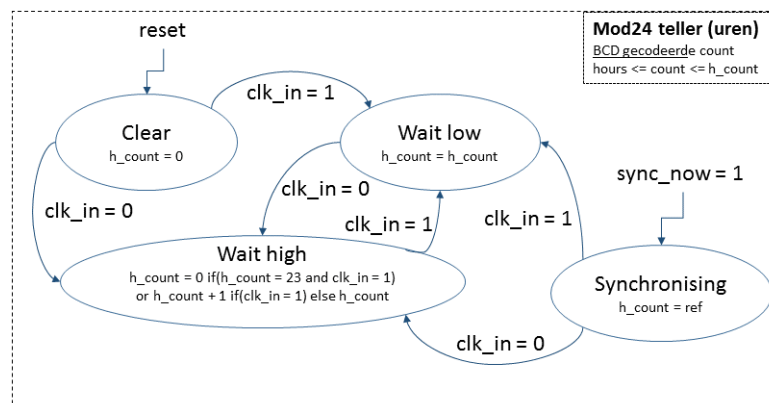
## SUBBLOKKEN VAN DE KLOK



Figuur A.6: FSM diagram van het subblok seconden teller



Figuur A.7: FSM diagram van het subblok minuten teller



Figuur A.8: FSM diagram van het subblok uren teller

# B

## VHDL CODE

### B.1. VHDL BESCHRIJVING VAN HET DCF77 BLOK

#### B.1.1. EDGE DETECTOR

```
1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity edge_detector is
7      port (clk      :in    std_logic;    -- 32 kHz systeemklok
8            reset    :in    std_logic;    -- Systeemreset
9            input     :in    std_logic;    -- digitaal DCF77 signaal
10           rising    :out   std_logic;    -- DCF77 rising edge
11           falling   :out   std_logic);    -- DCF77 falling edge
12 end edge_detector;
```

---

```
1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- De edge detector genereert uit het dcf77 signaal
3  -- aparte pulsen voor de rising en falling edges
4
5  library ieee;
6  use ieee.std_logic_1164.all;
7
8  architecture behaviour of edge_detector is
9
10     type edged is (clear, find_edge, output);
11     signal state, new_state: edged;
12
13     signal temp, new_temp: std_logic;
14     signal rise, new_rise: std_logic;
15     signal fall, new_fall: std_logic;
16
17     signal r_wait, new_r_wait: std_logic;
18     signal f_wait, new_f_wait: std_logic;
19 begin
20     rising <= rise; -- rising en falling zijn de daadwerkelijke uitgangen
21     falling <= fall;
22
23     process (clk)
24     begin
25         if (clk'event and clk = '1') then
26             if (reset = '1') then -- Systeemreset
27                 rise <= '0';
28                 fall <= '0';
29                 temp <= '0';
30
31                 r_wait <= '0';
32                 f_wait <= '0';
33                 state <= clear;
```

```

34         else
35             rise <= new_rise;
36             fall <= new_fall;
37             temp <= new_temp;
38
39             r_wait <= new_r_wait;
40             f_wait <= new_f_wait;
41             state <= new_state;
42         end if;
43     end if;
44 end process;
45
46 process(state, input, temp, rise, fall, r_wait, f_wait) is
47
48 begin
49     case state is
50         when clear =>          -- Reset state
51             new_rise <= '0';
52             new_fall <= '0';
53             new_temp <= input;
54
55             new_r_wait <= '0';
56             new_f_wait <= '0';
57             new_state <= find_edge;
58         when find_edge =>      -- Maakt gebruik van vertragingstijd van de not
59             new_rise <= (not temp) and input;
60             new_fall <= (not input) and temp;
61             new_temp <= temp;
62
63             new_r_wait <= '0';
64             new_f_wait <= '0';
65             new_state <= output;
66         when output =>        -- Hier wordt gezorgd voor een bruikbare uitgangspuls
67             new_rise <= rise;
68             new_fall <= fall;
69             new_temp <= temp;
70
71             if(rise = '1' or fall = '1') then
72                 if(rise <= '1' and f_wait = '0') then
73                     new_r_wait <= '0';
74                     new_f_wait <= '1';
75                     new_state <= clear;
76                 elsif(fall <= '1' and r_wait = '0') then
77                     new_r_wait <= '1';
78                     new_f_wait <= '0';
79                     new_state <= clear;
80                 else
81                     new_r_wait <= '0';
82                     new_f_wait <= '0';
83                     new_state <= find_edge;
84                 end if;
85             else
86                 new_r_wait <= '0';
87                 new_f_wait <= '0';
88                 new_state <= find_edge;
89             end if;
90         when others =>        -- Zou nooit mogen voorkomen
91             new_rise <= '0';
92             new_fall <= '0';
93             new_temp <= '0';
94
95             new_r_wait <= '0';
96             new_f_wait <= '0';
97             new_state <= clear;
98         end case;
99     end process;
100 end behaviour;

```



## B.1.2. DCF COUNTER

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity dcf_counter is
7      port (clk      :in      std_logic;    -- 32 kHz systeemklok
8            reset    :in      std_logic;    -- Systeemreset
9            dcf_rise :in      std_logic;    -- DCF77 signaal - rising edge
10           dcf_fall :in      std_logic;    -- DCF77 signaal - falling edge
11           count    :out     std_logic_vector(15 downto 0); -- Tellerwaarde
12           new_bit  :out     std_logic);    -- Een nieuwe bit is geteld
13  end dcf_counter;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- De dcf_counter is verantwoordelijk voor het detecteren van de pulsen
3  -- van het dcf77 signaal waarmee de informatiebits zijn gecodeerd
4
5  library ieee;
6  use ieee.std_logic_1164.all;
7  use ieee.std_logic_unsigned.all;
8
9  architecture behaviour of dcf_counter is
10
11      type count_state is (idle, rising, dcf_high, hold);
12      signal state, new_state: count_state;
13
14      signal next_bit, new_next_bit: std_logic;
15      signal counter, new_counter: std_logic_vector(15 downto 0);
16
17  begin
18      count <= counter;
19      new_bit <= next_bit;
20
21      process(clk) is
22      begin
23          if (clk'event and clk = '1') then
24              if (reset = '1') then -- Systeemreset
25                  counter <= (others => '0');
26                  next_bit <= '0';
27                  state <= idle;
28              else
29                  counter <= new_counter;
30                  next_bit <= new_next_bit;
31                  state <= new_state;
32              end if;
33          end if;
34      end process;
35
36      process(state, dcf_rise, dcf_fall, counter, next_bit) is
37      begin
38          case state is
39              when idle =>
40                  -- Controleer op een rising edge van het dcf77 signaal
41                  if (dcf_rise = '1') then
42                      new_counter <= (others => '0');
43                      new_next_bit <= '0';
44                      new_state <= rising;
45                  else
46                      new_counter <= counter + 1;
47                      new_next_bit <= '0';
48                      new_state <= idle;
49                  end if;
50              when rising =>
51                  -- Hier wordt bepaald of een rising edge hoort bij
52                  -- een daadwerkelijke puls of een spike/glitch
53                  new_counter <= counter + 1;
54                  new_next_bit <= '0';
55                  if (counter > 640) then

```

```

56         new_state <= dcf_high;
57     elsif(dcf_fall = '1') then
58         new_state <= idle;
59     else
60         new_state <= rising;
61     end if;
62 when dcf_high =>
63     -- Wacht op een falling edge van het dcf77 signaal
64     -- Negeer bovendien falling edges t.g.v. spikes/glitches
65     if(dcf_fall = '1' and counter > 2560) then
66         new_counter <= counter;
67         new_next_bit <= '1';
68         new_state <= hold;
69     else
70         new_counter <= counter + 1;
71         new_next_bit <= '0';
72         new_state <= dcf_high;
73     end if;
74 when hold =>
75     new_counter <= counter;
76     new_next_bit <= next_bit;
77     new_state <= idle;
78 when others => -- Zou nooit mogen voorkomen
79     new_counter <= (others => '0');
80     new_next_bit <= '0';
81     new_state <= idle;
82 end case;
83 end process;
84 end behaviour;

```

### B.1.3. DCF DECODER

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity dcf_decoder is
7      port (clk          :in  std_logic; -- 32 kHz systeemklok
8            reset        :in  std_logic; -- Systeemreset
9            count        :in  std_logic_vector(15 downto 0); -- Tellerwaarde
10           new_bit       :in  std_logic; -- Een nieuwe bit is geteld
11           dcf_led       :out std_logic; -- Debug signaal voor signaalontvangst
12           start_xor     :out std_logic; -- Enable signaal voor parity_check
13           minuten       :out std_logic_vector(6 downto 0); -- Minuten in BCD
14           uren          :out std_logic_vector(5 downto 0); -- Uren in BCD
15           weekdag       :out std_logic_vector(2 downto 0); -- Dagen (001 is maandag, enz.)
16           dagen         :out std_logic_vector(5 downto 0); -- Dagen (de cijfers) in BCD
17           maanden       :out std_logic_vector(4 downto 0); -- Nummer van de maand in BCD
18           jaren         :out std_logic_vector(7 downto 0); -- Laatste 2 cijfers van het jaartal; in
19           parity_bits   :out std_logic_vector(2 downto 0)); -- De 3 parity bits uit het DCF77
20           signaal
21 end dcf_decoder;

```

---

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2  -- De dcf_decoder filtert met behulp van de informatie die
3  -- de dcf_counter over het digitale dcf ingangssignaal levert
4  -- de gewenste bits waarmee datum en tijd zijn gecodeerd
5  -- Bovendien worden de drie bijbehorende parity_bits
6  -- ook meegegeven aan het volgende onderdeel (parity_check)
7  -- Het uitgangssignaal dcf_led geeft aan of het dcf signaal
8  -- goed wordt ontvangen door uit te gaan op het moment dat
9  -- er bits uit de reeks van 59 die het dcf77 signaal bevat, ontbreken
10
11 library ieee;
12 use ieee.std_logic_1164.all;
13 use ieee.std_logic_unsigned.all;
14 use ieee.numeric_std.all;
15
16 architecture behaviour of dcf_decoder is

```

```

17
18 type dcf_state is (idle, newbit, hold_on);
19
20 signal led, new_led: std_logic;
21 signal state, new_state: dcf_state;
22 signal minute, new_minute: std_logic;
23 signal bit_storage, new_bit_storage: std_logic_vector(58 downto 0);
24 signal bits_received, new_bits_received: std_logic_vector(5 downto 0);
25
26 begin
27     dcf_led          <= led;
28     minuten         <= bit_storage(27 downto 21);
29     uren            <= bit_storage(34 downto 29);
30     weekday         <= bit_storage(44 downto 42);
31     dagen           <= bit_storage(41 downto 36);
32     maanden         <= bit_storage(49 downto 45);
33     jaren           <= bit_storage(57 downto 50);
34     parity_bits(2)   <= bit_storage(58);
35     parity_bits(1)   <= bit_storage(35);
36     parity_bits(0)   <= bit_storage(28);
37
38     process(clk, reset) is
39     begin
40         if(reset = '1') then                -- Systeemreset
41             bits_received <= (others => '0');
42             bit_storage <= (others => '0');
43             minute <= '0';
44             led <= '0';
45             state <= idle;
46         elsif(clk'event and clk = '1') then  -- Opgaande klokflank v.d.
47             systeemklok
48             bits_received <= new_bits_received;
49             bit_storage <= new_bit_storage;
50             minute <= new_minute;
51             led <= new_led;
52             state <= new_state;
53         end if;
54     end process;
55
56     process(state, count, new_bit, minute, bits_received, bit_storage, led) is
57     variable location: natural range 0 to 59;
58
59     begin
60         location := to_integer(unsigned(bits_received));
61         new_bit_storage <= bit_storage;
62
63         case state is
64             when idle =>
65                 if(new_bit = '1') then
66                     new_bits_received <= bits_received;
67                     new_minute <= minute;
68                     new_led <= led;
69                     start_xor <= '0';
70                     new_state <= newbit;
71                     -- Controleer of er een nieuwe minuut gaat beginnen
72                     elsif(count > 32000 and count < 48000) then
73                         -- Initialiseer voor een nieuwe minuut
74                         new_bits_received <= (others => '0');
75
76                         -- Controle of er niet toevallig een seconde is gemist
77                         if(bits_received = 59) then
78                             new_minute <= '1';
79                             new_led <= '1';
80                         else
81                             new_minute <= minute;
82                             new_led <= '0';
83                         end if;
84
85                         start_xor <= '0';
86                         new_state <= idle;

```

```

87         else
88             new_bits_received <= bits_received;
89             new_minute <= minute;
90             new_led <= led;
91             start_xor <= '0';
92             new_state <= idle;
93         end if;
94     when newbit =>
95         -- Ga na of de ontvangen bit een 1 of een 0 is
96         if(count <= 7040 and count >= 5760) then
97             new_bits_received <= bits_received + 1;
98             new_bit_storage(location) <= '1';
99         elsif(count <= 3840 and count >= 2560) then
100             new_bits_received <= bits_received + 1;
101             new_bit_storage(location) <= '0';
102         else -- Zou nooit mogen voorkomen
103             new_bits_received <= (others => '0');
104         end if;
105
106         new_minute <= minute;
107         new_led <= '1';
108
109         -- Geef een seintje (start_xor) als een nieuwe minuut is begonnen
110         if(minute = '1') then
111             start_xor <= '1';
112         else
113             start_xor <= '0';
114         end if;
115
116         new_state <= hold_on;
117     when hold_on =>
118         new_bits_received <= bits_received;
119         new_minute <= '0';
120         new_led <= '1';
121         start_xor <= '0';
122         new_state <= idle;
123     when others => -- Zou nooit mogen voorkomen
124         new_bits_received <= bits_received;
125         new_minute <= '0';
126         new_led <= '0';
127         start_xor <= '0';
128         new_state <= idle;
129     end case;
130 end process;
131 end behaviour;

```

#### B.1.4. PARITY CHECK

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity parity_check is
7      port (clk       :in  std_logic;    -- 32 kHz systeemklok
8            reset     :in  std_logic;    -- Systeemreset
9            start_xor  :in  std_logic;    -- Enable voor parity_check
10           minuten    :in  std_logic_vector(6 downto 0);
11           uren        :in  std_logic_vector(5 downto 0);
12           weekdag     :in  std_logic_vector(2 downto 0);
13           dagen       :in  std_logic_vector(5 downto 0);
14           maanden     :in  std_logic_vector(4 downto 0);
15           jaren       :in  std_logic_vector(7 downto 0);
16           parity_bits :in  std_logic_vector(2 downto 0);
17           sync_now    :out std_logic);   -- Ready signaal van parity_check
18 end parity_check;

```

---

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2  -- De parity check controleert of de bits die uit de
3  -- dcf decoder komen 'kloppen' volgens de parity bits,
4  -- welke eveneens uit de decoder komen. Indien een

```

```

5  -- parity bit 1 is, zou er in de bijbehorende bits
6  -- een even aantal enen moeten voorkomen
7
8  library ieee;
9  use ieee.std_logic_1164.all;
10 use ieee.numeric_std.all;
11
12 architecture behaviour of parity_check is
13
14     type checks is (clear, check, output);
15     signal state, new_state: checks;
16
17     signal m_par, new_m_par: std_logic; -- parity minuten (correct = 0)
18     signal h_par, new_h_par: std_logic; -- parity uren (correct = 0)
19     signal d_par, new_d_par: std_logic; -- parity datum (correct = 0)
20
21 begin
22     process(clk) is
23     begin
24         if(clk'event and clk = '1') then
25             if(reset = '1') then -- Systeemreset
26                 m_par <= '1';
27                 h_par <= '1';
28                 d_par <= '1';
29                 state <= clear;
30             else
31                 m_par <= new_m_par;
32                 h_par <= new_h_par;
33                 d_par <= new_d_par;
34                 state <= new_state;
35             end if;
36         end if;
37     end process;
38
39     process(state, start_xor, m_par, h_par, d_par, minuten, uren, weekdag, dagen, maanden,
40             jaren, parity_bits) is
41     begin
42         case state is
43             when clear => -- Dit is de reset state
44                 new_m_par <= '1';
45                 new_h_par <= '1';
46                 new_d_par <= '1';
47
48                 sync_now <= '0';
49                 if(start_xor = '1') then
50                     new_state <= check; -- Start een parity check
51                 else
52                     new_state <= clear;
53                 end if;
54             when check => -- Voer de parity check uit
55                 new_m_par <= minuten(6) xor minuten(5) xor minuten(4) xor
56                     minuten(3) xor minuten(2) xor minuten(1) xor
57                     minuten(0) xor parity_bits(0);
58                 new_h_par <= uren(5) xor uren(4) xor uren(3) xor
59                     uren(2) xor uren(1) xor uren(0) xor
60                     parity_bits(1);
61                 new_d_par <= weekdag(2) xor weekdag(1) xor weekdag(0) xor
62                     dagen(5) xor dagen(4) xor dagen(3) xor
63                     dagen(2) xor dagen(1) xor dagen(0) xor
64                     maanden(4) xor maanden(3) xor maanden(2) xor
65                     maanden(1) xor maanden(0) xor jaren(7) xor
66                     jaren(6) xor jaren(5) xor jaren(4) xor
67                     jaren(3) xor jaren(2) xor jaren(1) xor
68                     jaren(0) xor parity_bits(2);
69
70                 sync_now <= '0';
71                 new_state <= output;
72             when output =>
73                 new_m_par <= m_par;
74                 new_h_par <= h_par;
75                 new_d_par <= d_par;

```

```

75
76         if(m_par = '0' and h_par = '0' and d_par = '0') then
77             sync_now <= '1';    -- Parity is correct
78         else
79             sync_now <= '0';    -- Parity is niet correct
80         end if;
81         new_state <= clear;
82     when others =>                -- Zou nooit mogen voorkomen
83         new_m_par <= m_par;
84         new_h_par <= h_par;
85         new_d_par <= d_par;
86
87         sync_now <= '0';
88         new_state <= clear;
89     end case;
90 end process;
91 end behaviour;

```

### B.1.5. SYNCTIME

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity synctime is
7      port (clk:          in  std_logic;
8            reset:        in  std_logic;
9            dcf_in:       in  std_logic;
10           dcf_led:      out std_logic;
11           ready:        out std_logic;
12           minuten:      out std_logic_vector(6 downto 0);
13           uren:         out std_logic_vector(5 downto 0);
14           weekdag:      out std_logic_vector(2 downto 0);
15           dagen:        out std_logic_vector(5 downto 0);
16           maanden:      out std_logic_vector(4 downto 0);
17           jaren:        out std_logic_vector(7 downto 0));
18 end synctime;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Dit onderdeel is verantwoordelijk voor het genereren
3  -- van synchronisatiemomenten uit het te ontvangen
4  -- digitale dcf77 signaal
5
6  -- Er wordt gebruik gemaakt van de volgende subblokken:
7  -- edge_detector, dcf_counter, dcf_decoder en parity_check
8
9  library ieee;
10 use ieee.std_logic_1164.all;
11 use ieee.numeric_std.all;
12
13 architecture structure of synctime is
14     component edge_detector is
15         port (clk:          in  std_logic;
16               reset:        in  std_logic;
17               input:         in  std_logic;
18               rising:        out std_logic;
19               falling:       out std_logic);
20     end component edge_detector;
21
22     component dcf_counter is
23         port (clk:          in  std_logic;
24               reset:        in  std_logic;
25               dcf_rise:      in  std_logic;
26               dcf_fall:      in  std_logic;
27               count:         out std_logic_vector(15 downto 0);
28               new_bit:       out std_logic);
29     end component dcf_counter;
30
31     component dcf_decoder is
32         port (clk:          in  std_logic;

```

```

33         reset      :in  std_logic;
34         count      :in  std_logic_vector(15 downto 0);
35         new_bit     :in  std_logic;
36         dcf_led     :out  std_logic;
37         start_xor   :out  std_logic;
38         minuten     :out  std_logic_vector(6 downto 0);
39         uren        :out  std_logic_vector(5 downto 0);
40         weekday     :out  std_logic_vector(2 downto 0);
41         dagen       :out  std_logic_vector(5 downto 0);
42         maanden     :out  std_logic_vector(4 downto 0);
43         jaren       :out  std_logic_vector(7 downto 0);
44         parity_bits :out  std_logic_vector(2 downto 0);
45     end component dcf_decoder;
46
47     component parity_check is
48     port (clk:          in  std_logic;
49           reset:        in  std_logic;
50           start_xor:    in  std_logic;
51           minuten:      in  std_logic_vector(6 downto 0);
52           uren:         in  std_logic_vector(5 downto 0);
53           weekday:      in  std_logic_vector(2 downto 0);
54           dagen:        in  std_logic_vector(5 downto 0);
55           maanden:      in  std_logic_vector(4 downto 0);
56           jaren:        in  std_logic_vector(7 downto 0);
57           parity_bits:  in  std_logic_vector(2 downto 0);
58           sync_now:     out std_logic);
59     end component parity_check;
60
61     signal dcf_rise, dcf_fall, new_bit, start_xor: std_logic;
62     signal count: std_logic_vector(15 downto 0);
63     signal jaar: std_logic_vector(7 downto 0);
64     signal minuut: std_logic_vector(6 downto 0);
65     signal uur, dag: std_logic_vector(5 downto 0);
66     signal maand: std_logic_vector(4 downto 0);
67     signal weekday, par: std_logic_vector(2 downto 0);
68
69     begin
70         minuten <= minuut;
71         uren <= uur;
72         weekday <= weekday;
73         dagen <= dag;
74         maanden <= maand;
75         jaren <= jaar;
76
77         edging: edge_detector port map(clk, reset, dcf_in, dcf_rise, dcf_fall);
78         counts: dcf_counter port map(clk, reset, dcf_rise, dcf_fall, count, new_bit);
79         decode: dcf_decoder port map(clk, reset, count, new_bit, dcf_led, start_xor, minuut, uur,
80                                     weekday, dag, maand, jaar, par);
81         parity: parity_check port map(clk, reset, start_xor, minuut, uur, weekday, dag, maand,
82                                     jaar, par, ready);
83     end structure;

```

### B.1.6. KLOKDELER

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity klokdelers is
7      port (clk      :in  std_logic;    -- 32 kHz systeemklok
8            reset    :in  std_logic;    -- Systeemreset
9            clk_1hz :out  std_logic);   -- 1 Hz uitgangssignaal
10 end klokdelers;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Deze klokdelers deelt de frequentie van de ingang clk met een factor 32000
3  -- en wordt gebruikt om de systeemklok van 32 kHz te delen tot een 1 Hz signaal
4
5  library ieee;

```

```

6  use ieee.std_logic_1164.all;
7  use ieee.std_logic_unsigned.all;
8
9  architecture behaviour of klokdeler is
10
11     type kd_state is (clear, counting, switch);           -- Declaratie van de
12     signal state, new_state: kd_state;                     -- gebruikte states
13
14     signal count, new_count: std_logic_vector(13 downto 0); -- Voor het tellen tot 32000
15     signal temp, new_temp: std_logic;                      -- Interne versie van het 1 Hz
16     signal signaal;                                         -- signaal
17
18     begin
19         clk_1hz <= temp;                                     -- Uitvoeren van het interne 1 Hz signaal
20
21         process(clk) is
22             begin
23                 if(clk'event and clk = '1') then
24                     if(reset = '1') then                    -- Systeemreset
25                         temp <= '0';
26                         count <= (others => '0');
27                         state <= clear;
28                     else
29                         temp <= new_temp;
30                         count <= new_count;
31                         state <= new_state;
32                     end if;
33                 end if;
34             end process;
35
36             process(state, count, temp) is
37                 begin
38                     case state is
39                         when clear =>                      -- Dit is de reset state
40                             new_temp <= '0';
41                             new_count <= (others => '0');
42                             new_state <= counting;
43                         when counting =>                   -- Er wordt geteld
44                             new_temp <= temp;
45                             new_count <= count + 1;
46                             if(count < 15998) then
47                                 new_state <= counting;
48                             else
49                                 new_state <= switch;
50                             end if;
51                         when switch =>                     -- Inverteer de uitgangswaarde
52                             new_temp <= not temp;
53                             new_count <= (others => '0');
54                             new_state <= counting;
55                         when others =>
56                             new_temp <= '1';
57                             new_count <= (others => '0');
58                             new_state <= clear;
59                     end case;
60                 end process;
61             end behaviour;

```

### B.1.7. MOD60 (SECONDEN) TELLER

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity mod60_clk_bcd is
7      port (clk      :in    std_logic; -- 32 kHz systeemklok
8            clk_in   :in    std_logic; -- Sturende klok(lokaal gegenereerd)
9            reset    :in    std_logic; -- Systeemreset
10           sync_now :in    std_logic; -- Enable signaal voor synchronisatie
11           ref      :in    std_logic_vector(6 downto 0); -- Tijdsreferentie

```



```

12     m_clk      :out   std_logic); -- Sturende klok voor volgende teller
13 end mod60_clk_bcd;

```

---

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2  -- Deze mod60 teller telt elke rising edge van clk_in 1
3  -- bij de huidige waarde van count op in bcd codering
4  -- De waarde van count wordt echter gelijk gemaakt aan ref,
5  -- wanneer het signaal sync_now hoog wordt
6
7  library ieee;
8  use ieee.std_logic_1164.all;
9  use ieee.std_logic_unsigned.all;
10
11 architecture behaviour of mod60_clk_bcd is
12
13     type m60_state is (clear, wait_high, wait_low, synchronising);
14     signal state, new_state: m60_state;
15
16     signal s_count, new_s_count: std_logic_vector(6 downto 0);
17     signal m_temp, new_m_temp: std_logic;
18
19 begin
20     m_clk <= m_temp;
21
22     process(clk) is
23     begin
24         if(clk'event and clk = '1') then
25             if(reset = '1') then -- Systeemreset
26                 s_count <= (others => '0');
27                 m_temp <= '0';
28                 state <= clear;
29             elsif(sync_now = '1') then
30                 s_count <= ref;
31                 m_temp <= new_m_temp;
32                 state <= synchronising;
33             else
34                 s_count <= new_s_count;
35                 m_temp <= new_m_temp;
36                 state <= new_state;
37             end if;
38         end if;
39     end process;
40
41     process(state, clk_in, ref, s_count, m_temp) is
42     begin
43         case state is
44             when clear => -- Reset state
45                 new_s_count <= (others => '0');
46                 new_m_temp <= '0';
47                 if(clk_in = '1') then
48                     new_state <= wait_low;
49                 else
50                     new_state <= wait_high;
51                 end if;
52             when wait_high => -- Er wordt geteld op de sturende klok
53                 if(clk_in = '1') then
54                     if(s_count = "1011001") then
55                         new_s_count <= (others => '0');
56                     elsif(s_count(3 downto 0) = "1001") then
57                         new_s_count <= s_count + 7;
58                     else
59                         new_s_count <= s_count + 1;
60                     end if;
61                     if(s_count = "0101001") then
62                         new_m_temp <= '0';
63                     elsif(s_count = "1011001") then
64                         new_m_temp <= '1';
65                     else
66                         new_m_temp <= m_temp;
67                     end if;
68                     new_state <= wait_low;

```

```

69         else
70             new_s_count <= s_count;
71             new_m_temp <= m_temp;
72             new_state <= wait_high;
73         end if;
74     when wait_low =>
75         if(clk_in = '0') then
76             new_s_count <= s_count;
77             new_m_temp <= m_temp;
78             new_state <= wait_high;
79         else
80             new_s_count <= s_count;
81             new_m_temp <= m_temp;
82             new_state <= wait_low;
83         end if;
84     when synchronising =>
85         new_s_count <= ref;
86         new_m_temp <= m_temp;
87         if(clk_in = '1') then
88             new_state <= wait_low;
89         else
90             new_state <= wait_high;
91         end if;
92     when others => -- Zou nooit mogen voorkomen
93         new_s_count <= (others => '0');
94         new_m_temp <= '0';
95         new_state <= clear;
96     end case;
97 end process;
98 end behaviour;

```

### B.1.8. MOD60 (MINUTEN) TELLER

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity mod60_tel_bcd is
7      port(clk      :in  std_logic; -- 32 kHz systeemklok
8            clk_in   :in  std_logic; -- Sturende klok(lokaal gegenereerd)
9            reset    :in  std_logic; -- Systeemreset
10           sync_now :in  std_logic; -- Enable signaal voor synchronisatie
11           ref      :in  std_logic_vector(6 downto 0); -- Tijdsreferentie
12           count    :out  std_logic_vector(6 downto 0); -- Huidige tellerstand
13           h_clk    :out  std_logic); -- Sturende klok voor volgende teller
14 end mod60_tel_bcd;

```

---

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2  -- Deze mod60 teller telt elke rising edge van clk_in 1
3  -- bij de huidige waarde van count op in bcd codering
4  -- De waarde van count wordt echter gelijk gemaakt aan ref,
5  -- wanneer het signaal sync_now hoog wordt
6
7  library ieee;
8  use ieee.std_logic_1164.all;
9  use ieee.std_logic_unsigned.all;
10
11 architecture behaviour of mod60_tel_bcd is
12
13     type m60_state is (clear, wait_high, wait_low, synchronising);
14     signal state, new_state: m60_state;
15
16     signal m_count, new_m_count: std_logic_vector(6 downto 0);
17     signal h_temp, new_h_temp: std_logic;
18
19 begin
20     count <= m_count;
21     h_clk <= h_temp;
22
23     process(clk) is

```

```

24     begin
25         if (clk'event and clk = '1') then
26             if (reset = '1') then                -- Systeemreset
27                 m_count <= (others => '0');
28                 h_temp <= '0';
29                 state <= clear;
30             elsif (sync_now = '1') then
31                 m_count <= ref;
32                 h_temp <= new_h_temp;
33                 state <= synchronising;
34             else
35                 m_count <= new_m_count;
36                 h_temp <= new_h_temp;
37                 state <= new_state;
38             end if;
39         end if;
40     end process;
41
42     process (state, clk_in, ref, m_count, h_temp) is
43     begin
44         case state is
45             when clear =>                        -- Reset state
46                 new_m_count <= (others => '0');
47                 new_h_temp <= '0';
48                 if (clk_in = '1') then
49                     new_state <= wait_low;
50                 else
51                     new_state <= wait_high;
52                 end if;
53             when wait_high =>                    -- Er wordt geteld op de sturende klok
54                 if (clk_in = '1') then
55                     if (m_count = "1011001") then
56                         new_m_count <= (others => '0');
57                     elsif (m_count(3 downto 0) = "1001") then
58                         new_m_count <= m_count + 7;
59                     else
60                         new_m_count <= m_count + 1;
61                     end if;
62                     if (m_count = "0101001") then
63                         new_h_temp <= '0';
64                     elsif (m_count = "1011001") then
65                         new_h_temp <= '1';
66                     else
67                         new_h_temp <= h_temp;
68                     end if;
69                     new_state <= wait_low;
70                 else
71                     new_m_count <= m_count;
72                     new_h_temp <= h_temp;
73                     new_state <= wait_high;
74                 end if;
75             when wait_low =>
76                 if (clk_in = '0') then
77                     new_m_count <= m_count;
78                     new_h_temp <= h_temp;
79                     new_state <= wait_high;
80                 else
81                     new_m_count <= m_count;
82                     new_h_temp <= h_temp;
83                     new_state <= wait_low;
84                 end if;
85             when synchronising =>
86                 new_m_count <= ref;
87                 new_h_temp <= h_temp;
88                 if (clk_in = '1') then
89                     new_state <= wait_low;
90                 else
91                     new_state <= wait_high;
92                 end if;
93             when others =>                      -- Zou nooit mogen voorkomen
94                 new_m_count <= (others => '0');

```

```

95         new_h_temp <= '0';
96         new_state <= clear;
97     end case;
98 end process;
99 end behaviour;

```

### B.1.9. MOD24 (UREN) TELLER

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity mod24_tel_bcd is
7      port (clk      :in    std_logic; -- 32 kHz systeemklok
8            clk_in   :in    std_logic; -- 1/3600 Hz lokale klok
9            reset    :in    std_logic; -- Systeemreset
10           sync_now :in    std_logic; -- Enable signaal voor synchronisatie
11           ref      :in    std_logic_vector(5 downto 0); -- Tijdsreferentie (uren)
12           count    :out   std_logic_vector(5 downto 0)); -- Teller met huidig aantal uren
13 end mod24_tel_bcd;

```

---

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2  -- Deze mod24 teller telt elke rising edge van clk_in 1
3  -- bij de huidige waarde van count op in bcd codering
4  -- De waarde van count wordt echter gelijk gemaakt aan ref,
5  -- wanneer het signaal sync_now hoog wordt
6
7  library ieee;
8  use ieee.std_logic_1164.all;
9  use ieee.std_logic_unsigned.all;
10
11 architecture behaviour of mod24_tel_bcd is
12
13     type m24_state is (clear, wait_high, wait_low, synchronising);
14     signal state, new_state: m24_state;
15
16     signal h_count, new_h_count: std_logic_vector(5 downto 0);
17
18 begin
19     count <= h_count;
20
21     process(clk) is
22     begin
23         if (clk'event and clk = '1') then
24             if (reset = '1') then -- Systeemreset
25                 h_count <= (others => '0');
26                 state <= clear;
27             elsif (sync_now = '1') then
28                 h_count <= ref;
29                 state <= synchronising;
30             else
31                 h_count <= new_h_count;
32                 state <= new_state;
33             end if;
34         end if;
35     end process;
36
37     process(state, clk_in, ref, h_count) is
38     begin
39         case state is
40             when clear => -- Reset state
41                 new_h_count <= (others => '0');
42                 if (clk_in = '1') then
43                     new_state <= wait_low;
44                 else
45                     new_state <= wait_high;
46                 end if;
47             when wait_high => -- Er wordt geteld op de sturende klok
48                 if (clk_in = '1') then
49                     if (h_count = "100011") then

```

```

50         new_h_count <= (others => '0');
51     elsif(h_count(3 downto 0) = "1001") then
52         new_h_count <= h_count + 7;
53     else
54         new_h_count <= h_count + 1;
55     end if;
56     new_state <= wait_low;
57 else
58     new_h_count <= h_count;
59     new_state <= wait_high;
60 end if;
61 when wait_low =>
62     if(clk_in = '0') then
63         new_h_count <= h_count;
64         new_state <= wait_high;
65     else
66         new_h_count <= h_count;
67         new_state <= wait_low;
68     end if;
69 when synchronising =>
70     new_h_count <= ref;
71     if(clk_in = '1') then
72         new_state <= wait_low;
73     else
74         new_state <= wait_high;
75     end if;
76 when others => -- Zou nooit mogen voorkomen
77     new_h_count <= (others => '0');
78     new_state <= clear;
79 end case;
80 end process;
81 end behaviour;

```

#### B.1.10. AUTONOME SYNCHRONISEERBARE KLOK

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity ausy_klok_bcd is
7      port (clk:          in std_logic; -- 32 kHz systeemklok
8            s_clk:        in std_logic; -- 1 Hz klok uit klokdeler
9            reset:        in std_logic; -- Systeemreset
10           sync_now:     in std_logic; -- Enable signaal voor synchronisatie
11           min_ref:      in std_logic_vector(6 downto 0); -- Referentietijd (minuten bcd)
12           hr_ref:       in std_logic_vector(5 downto 0); -- Referentietijd (uren bcd)
13           minutes:      out std_logic_vector(6 downto 0); -- Huidige tijd (minuten bcd)
14           hours:        out std_logic_vector(5 downto 0)); -- Huidige tijd (uren bcd)
15 end ausy_klok_bcd;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Deze autonome, synchroniseerbare, bcd gecodeerde klok wordt gebruikt om
3  -- de huidige tijd bij te houden, ook als het dcf signaal niet beschikbaar is
4  -- Wanneer het dcf signaal wel beschikbaar is,
5  -- wordt de klok gesynchroniseerd met dit signaal
6
7  -- Voor de bcd gecodeerde klok wordt gebruik gemaakt van de volgende subblokken:
8  -- mod24_tel_bcd, mod60_tel_bcd & mod60_clk_bcd
9
10 library ieee;
11 use ieee.std_logic_1164.all;
12
13 architecture structure of ausy_klok_bcd is
14     component mod60_clk_bcd is
15         port (clk:          in std_logic;
16               clk_in:       in std_logic;
17               reset:        in std_logic;
18               sync_now:     in std_logic;
19               ref:          in std_logic_vector(6 downto 0);
20               m_clk:        out std_logic);

```

```

21     end component mod60_clk_bcd;
22
23     component mod60_tel_bcd is
24         port (clk:         in  std_logic;
25              clk_in:       in  std_logic;
26              reset:        in  std_logic;
27              sync_now:     in  std_logic;
28              ref:          in  std_logic_vector(6 downto 0);
29              count:        out std_logic_vector(6 downto 0);
30              h_clk:        out std_logic);
31     end component mod60_tel_bcd;
32
33     component mod24_tel_bcd is
34         port (clk:         in  std_logic;
35              clk_in:       in  std_logic;
36              reset:        in  std_logic;
37              sync_now:     in  std_logic;
38              ref:          in  std_logic_vector(5 downto 0);
39              count:        out std_logic_vector(5 downto 0));
40     end component mod24_tel_bcd;
41
42     signal m_clk: std_logic;
43     signal h_clk: std_logic;
44     signal sec_ref: std_logic_vector(6 downto 0);
45
46 begin
47     sec_ref <= "0000000";
48
49     SEC: mod60_clk_bcd port map(clk, s_clk, reset, sync_now, sec_ref, m_clk);
50     MIN: mod60_tel_bcd port map(clk, m_clk, reset, sync_now, min_ref, minutes, h_clk);
51     HRS: mod24_tel_bcd port map(clk, h_clk, reset, sync_now, hr_ref, hours);
52
53 end structure;

```

### B.1.11. DCF77 (TOP-LEVEL)

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity dcf77_bcd is
7      port (clk:         in  std_logic;
8           reset:        in  std_logic;
9           dcf_in:       in  std_logic;
10          dcf_led:       out std_logic;
11          clk_lhz:       out std_logic;
12          minutes:       out std_logic_vector(6 downto 0);
13          hours:         out std_logic_vector(5 downto 0);
14          weekday:       out std_logic_vector(2 downto 0);
15          day:           out std_logic_vector(5 downto 0);
16          month:         out std_logic_vector(4 downto 0);
17          year:          out std_logic_vector(7 downto 0);
18          date_ready:    out std_logic);
19 end dcf77_bcd;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Dit is de top-level beschrijving van
3  -- de bcd versie van het dcf77 blok
4
5  -- Er wordt gebruik gemaakt van de volgende subblokken:
6  -- synctime, klokdelers en ausy_klok_bcd
7
8  library ieee;
9  use ieee.std_logic_1164.all;
10 use ieee.numeric_std.all;
11
12 architecture structure of dcf77_bcd is
13     component synctime is
14         port (clk:         in  std_logic;

```

[illegible]

## B.2. TESTBENCHES VOOR HET DCF77 BLOK

### B.2.1. TESTBENCH EDGE DETECTOR

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity edge_detect_tb is
7  end entity edge_detect_tb;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Dit is de testbench voor simulatie op schaal
3  -- De verwachte respons geeft een korte puls rising
4  -- direct na iedere rising edge van het ingangssignaal
5  -- en een korte puls falling direct na iedere falling
6  -- edge van het ingangssignaal
7  -- Advies simulatietijd: 50 ms.
8
9  library ieee;
10 use ieee.std_logic_1164.all;
11
12 architecture behaviour of edge_detect_tb is
13     component edge_detector is
14         port (clk:          in std_logic;
15              reset:         in std_logic;
16              input:         in std_logic;
17              rising:        out std_logic;
18              falling:       out std_logic);
19     end component edge_detector;
20
21     signal clk, reset, input, rising, falling: std_logic;
22
23     begin
24
25         clk <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een signaal van iets meer dan 3.2 MHz
26              '0' after 156 ns when clk /= '0' else '1' after 156 ns;
27         reset <= '1' after 0 ns, '0' after 500 ns;
28         input <= '0' after 0 ms, '1' after 4 ms, '0' after 5 ms,
29              '1' after 15 ms, '0' after 16 ms,
30              '1' after 25 ms, '0' after 26 ms,
31              '1' after 35 ms, '0' after 36 ms,
32              '1' after 45 ms, '0' after 46 ms;
33
34         detect: edge_detector port map(clk, reset, input, rising, falling);
35
36     end behaviour;

```

### B.2.2. TESTBENCH DCF COUNTER

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity dcf_counter_tb is
7  end entity dcf_counter_tb;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Dit is testbench van de simulatie op schaal
3  -- De verwachte respons bestaat uit 59 achtereenvolgende
4  -- new_bit pulsen, gevold door een pauze en nog 1 next_bit puls
5  -- Bovendien dient de waarde count aan te uitgang te verschijnen,
6  -- omdat hier buiten dit blok nog verder mee gewerkt wordt
7  -- Advies simulatietijd: 75 ms.
8
9  library ieee;
10 use ieee.std_logic_1164.all;
11
12 architecture behaviour of dcf_counter_tb is

```



```

13     component dcf_counter is
14         port (clk:         in  std_logic;
15               reset:       in  std_logic;
16               dcf_rise:    in  std_logic;
17               dcf_fall:    in  std_logic;
18               count:       out std_logic_vector(15 downto 0);
19               new_bit:     out std_logic);
20     end component dcf_counter;
21
22     signal clk, reset, dcf_rise, dcf_fall, new_bit: std_logic;
23     signal count: std_logic_vector(15 downto 0);
24
25 begin
26     clk      <= '1' after 0 ns, -- De frequentie van dit signaal is iets meer dan 32 MHz
27             '0' after 15 ns when clk /= '0' else '1' after 15 ns;
28     reset    <= '1' after 0 ns, '0' after 50 ns;
29     dcf_rise  <= '0' after 0 ns,
30             '1' after 400 us, '0' after 401 us,
31             '1' after 1500 us, '0' after 1501 us,
32             '1' after 2500 us, '0' after 2501 us,
33             '1' after 3500 us, '0' after 3501 us,
34             '1' after 4500 us, '0' after 4501 us,
35             '1' after 5500 us, '0' after 5501 us,
36             '1' after 6500 us, '0' after 6501 us,
37             '1' after 7500 us, '0' after 7501 us,
38             '1' after 8500 us, '0' after 8501 us,
39             '1' after 9500 us, '0' after 9501 us,
40             '1' after 10500 us, '0' after 10501 us,
41             '1' after 11500 us, '0' after 11501 us,
42             '1' after 12500 us, '0' after 12501 us,
43             '1' after 13500 us, '0' after 13501 us,
44             '1' after 14500 us, '0' after 14501 us,
45             '1' after 15500 us, '0' after 15501 us,
46             '1' after 16500 us, '0' after 16501 us,
47             '1' after 17500 us, '0' after 17501 us,
48             '1' after 18500 us, '0' after 18501 us,
49             '1' after 19500 us, '0' after 19501 us,
50             '1' after 20500 us, '0' after 20501 us,
51             '1' after 21500 us, '0' after 21501 us,
52             '1' after 22500 us, '0' after 22501 us,
53             '1' after 23500 us, '0' after 23501 us,
54             '1' after 24500 us, '0' after 24501 us,
55             '1' after 25500 us, '0' after 25501 us,
56             '1' after 26500 us, '0' after 26501 us,
57             '1' after 27500 us, '0' after 27501 us,
58             '1' after 28500 us, '0' after 28501 us,
59             '1' after 29500 us, '0' after 29501 us,
60             '1' after 30500 us, '0' after 30501 us,
61             '1' after 31500 us, '0' after 31501 us,
62             '1' after 32500 us, '0' after 32501 us,
63             '1' after 33500 us, '0' after 33501 us,
64             '1' after 34500 us, '0' after 34501 us,
65             '1' after 35500 us, '0' after 35501 us,
66             '1' after 36500 us, '0' after 36501 us,
67             '1' after 37500 us, '0' after 37501 us,
68             '1' after 38500 us, '0' after 38501 us,
69             '1' after 39500 us, '0' after 39501 us,
70             '1' after 40500 us, '0' after 40501 us,
71             '1' after 41500 us, '0' after 41501 us,
72             '1' after 42500 us, '0' after 42501 us,
73             '1' after 43500 us, '0' after 43501 us,
74             '1' after 44500 us, '0' after 44501 us,
75             '1' after 45500 us, '0' after 45501 us,
76             '1' after 46500 us, '0' after 46501 us,
77             '1' after 47500 us, '0' after 47501 us,
78             '1' after 48500 us, '0' after 48501 us,
79             '1' after 49500 us, '0' after 49501 us,
80             '1' after 50500 us, '0' after 50501 us,
81             '1' after 51500 us, '0' after 51501 us,
82             '1' after 52500 us, '0' after 52501 us,
83             '1' after 53500 us, '0' after 53501 us,

```

```

84         '1' after 54500 us, '0' after 54501 us,
85         '1' after 55500 us, '0' after 55501 us,
86         '1' after 56500 us, '0' after 56501 us,
87         '1' after 57500 us, '0' after 57501 us,
88         '1' after 58500 us, '0' after 58501 us,
89         '1' after 60500 us, '0' after 60501 us;
90     dcf_fall    <= '0' after 0 ns,
91         '1' after 500 us, '0' after 501 us,
92         '1' after 1600 us, '0' after 1601 us,
93         '1' after 2600 us, '0' after 2601 us,
94         '1' after 3600 us, '0' after 3601 us,
95         '1' after 4600 us, '0' after 4601 us,
96         '1' after 5600 us, '0' after 5601 us,
97         '1' after 6600 us, '0' after 6601 us,
98         '1' after 7600 us, '0' after 7601 us,
99         '1' after 8600 us, '0' after 8601 us,
100        '1' after 9600 us, '0' after 9601 us,
101        '1' after 10600 us, '0' after 10601 us,
102        '1' after 11600 us, '0' after 11601 us,
103        '1' after 12600 us, '0' after 12601 us,
104        '1' after 13600 us, '0' after 13601 us,
105        '1' after 14600 us, '0' after 14601 us,
106        '1' after 15600 us, '0' after 15601 us,
107        '1' after 16600 us, '0' after 16601 us,
108        '1' after 17600 us, '0' after 17601 us,
109        '1' after 18700 us, '0' after 18701 us,
110        '1' after 19600 us, '0' after 19601 us,
111        '1' after 20700 us, '0' after 20701 us,
112        '1' after 21600 us, '0' after 21601 us,
113        '1' after 22600 us, '0' after 22601 us,
114        '1' after 23600 us, '0' after 23601 us,
115        '1' after 24700 us, '0' after 24701 us,
116        '1' after 25600 us, '0' after 25601 us,
117        '1' after 26600 us, '0' after 26601 us,
118        '1' after 27700 us, '0' after 27701 us,
119        '1' after 28700 us, '0' after 28701 us,
120        '1' after 29700 us, '0' after 29701 us,
121        '1' after 30600 us, '0' after 30601 us,
122        '1' after 31600 us, '0' after 31601 us,
123        '1' after 32600 us, '0' after 32601 us,
124        '1' after 33700 us, '0' after 33701 us,
125        '1' after 34600 us, '0' after 34601 us,
126        '1' after 35700 us, '0' after 35701 us,
127        '1' after 36600 us, '0' after 36601 us,
128        '1' after 37600 us, '0' after 37601 us,
129        '1' after 38600 us, '0' after 38601 us,
130        '1' after 39700 us, '0' after 39701 us,
131        '1' after 40600 us, '0' after 40601 us,
132        '1' after 41600 us, '0' after 41601 us,
133        '1' after 42700 us, '0' after 42701 us,
134        '1' after 43600 us, '0' after 43601 us,
135        '1' after 44600 us, '0' after 44601 us,
136        '1' after 45600 us, '0' after 45601 us,
137        '1' after 46700 us, '0' after 46701 us,
138        '1' after 47600 us, '0' after 47601 us,
139        '1' after 48600 us, '0' after 48601 us,
140        '1' after 49700 us, '0' after 49701 us,
141        '1' after 50600 us, '0' after 50601 us,
142        '1' after 51600 us, '0' after 51601 us,
143        '1' after 52700 us, '0' after 52701 us,
144        '1' after 53600 us, '0' after 53601 us,
145        '1' after 54700 us, '0' after 54701 us,
146        '1' after 55600 us, '0' after 55601 us,
147        '1' after 56600 us, '0' after 56601 us,
148        '1' after 57600 us, '0' after 57601 us,
149        '1' after 58700 us, '0' after 58701 us,
150        '1' after 60600 us, '0' after 60601 us;
151
152     dcf_count: dcf_counter port map(clk, reset, dcf_rise, dcf_fall, count, new_bit);
153
154 end behaviour;
```

## B.2.3. TESTBENCH DCF DECODER

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity dcf_decoder_tb is
7  end dcf_decoder_tb;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Dit is testbench voor simulatie op schaal
3  -- De verwachte respons bestaat uit een led-sigitaal wat
4  -- afhankelijk is van de kwaliteit van het DCF77 signaal
5  -- Verder dient bij het begin van een nieuwe minuut start_xor
6  -- even hoog te worden; op dit moment moet het volgende aan de
7  -- uitgangen staan: maandag 8 december, 11:48
8  -- Advies simulatietijd: 70 ms.
9
10 library ieee;
11 use ieee.std_logic_1164.all;
12 use ieee.std_logic_unsigned.all;
13
14 architecture behaviour of dcf_decoder_tb is
15     component dcf_decoder is
16         port (clk      :in  std_logic;
17              reset     :in  std_logic;
18              count     :in  std_logic_vector(15 downto 0);
19              new_bit    :in  std_logic;
20              dcf_led    :out  std_logic;
21              start_xor  :out  std_logic;
22              minuten    :out  std_logic_vector(6 downto 0);
23              uren       :out  std_logic_vector(5 downto 0);
24              weekdag    :out  std_logic_vector(2 downto 0);
25              dagen      :out  std_logic_vector(5 downto 0);
26              maanden    :out  std_logic_vector(4 downto 0);
27              jaren      :out  std_logic_vector(7 downto 0);
28              parity_bits:out  std_logic_vector(2 downto 0));
29     end component dcf_decoder;
30
31     signal clk, reset, new_bit, dcf_led, start_xor: std_logic;
32     signal count: std_logic_vector(15 downto 0);
33     signal jr: std_logic_vector(7 downto 0);
34     signal min: std_logic_vector(6 downto 0);
35     signal hr, dag: std_logic_vector(5 downto 0);
36     signal mnd: std_logic_vector(4 downto 0);
37     signal wk, pb: std_logic_vector(2 downto 0);
38
39     begin
40         clk      <= '0' after 0 ns,      -- Dit genereert een 32 MHz signaal (ongeveer)
41                  '1' after 313 ns when clk /= '1' else '0' after 313 ns;
42         reset    <= '1' after 0 ns, '0' after 50 ns;
43         count    <= "0000110010000000" after 0 ns,
44                  "0001100100000000" after 18 ms,
45                  "0000110010000000" after 19 ms,
46                  "0001100100000000" after 20 ms,
47                  "0000110010000000" after 21 ms,
48                  "0001100100000000" after 24 ms,
49                  "0000110010000000" after 25 ms,
50                  "0001100100000000" after 27 ms,
51                  "0000110010000000" after 30 ms,
52                  "0001100100000000" after 33 ms,
53                  "0000110010000000" after 34 ms,
54                  "0001100100000000" after 35 ms,
55                  "0000110010000000" after 36 ms,
56                  "0001100100000000" after 39 ms,
57                  "0000110010000000" after 40 ms,
58                  "0001100100000000" after 42 ms,
59                  "0000110010000000" after 43 ms,
60                  "0001100100000000" after 46 ms,
61                  "0000110010000000" after 47 ms,

```

```

62         "0001100100000000" after 49 ms,
63         "0000110010000000" after 50 ms,
64         "0001100100000000" after 52 ms,
65         "0000110010000000" after 53 ms,
66         "0001100100000000" after 54 ms,
67         "0000110010000000" after 55 ms,
68         "0001100100000000" after 58 ms,
69         "1001110001000000" after 59 ms,
70         "0000110010000000" after 60 ms,
71         "1001110001000000" after 61 ms;
72 new_bit    <= '0' after 0 ns,
73             '1' after 500000 ns, '0' after 500800 ns,
74             '1' after 1600000 ns, '0' after 1600800 ns,
75             '1' after 2600000 ns, '0' after 2600800 ns,
76             '1' after 3600000 ns, '0' after 3600800 ns,
77             '1' after 4600000 ns, '0' after 4600800 ns,
78             '1' after 5600000 ns, '0' after 5600800 ns,
79             '1' after 6600000 ns, '0' after 6600800 ns,
80             '1' after 7600000 ns, '0' after 7600800 ns,
81             '1' after 8600000 ns, '0' after 8600800 ns,
82             '1' after 9600000 ns, '0' after 9600800 ns,
83             '1' after 10600000 ns, '0' after 10600800 ns,
84             '1' after 11600000 ns, '0' after 11600800 ns,
85             '1' after 12600000 ns, '0' after 12600800 ns,
86             '1' after 13600000 ns, '0' after 13600800 ns,
87             '1' after 14600000 ns, '0' after 14600800 ns,
88             '1' after 15600000 ns, '0' after 15600800 ns,
89             '1' after 16600000 ns, '0' after 16600800 ns,
90             '1' after 17600000 ns, '0' after 17600800 ns,
91             '1' after 18700000 ns, '0' after 18700800 ns,
92             '1' after 19600000 ns, '0' after 19600800 ns,
93             '1' after 20700000 ns, '0' after 20700800 ns,
94             '1' after 21600000 ns, '0' after 21600800 ns,
95             '1' after 22600000 ns, '0' after 22600800 ns,
96             '1' after 23600000 ns, '0' after 23600800 ns,
97             '1' after 24700000 ns, '0' after 24700800 ns,
98             '1' after 25600000 ns, '0' after 25600800 ns,
99             '1' after 26600000 ns, '0' after 26600800 ns,
100            '1' after 27700000 ns, '0' after 27700800 ns,
101            '1' after 28700000 ns, '0' after 28700800 ns,
102            '1' after 29700000 ns, '0' after 29700800 ns,
103            '1' after 30600000 ns, '0' after 30600800 ns,
104            '1' after 31600000 ns, '0' after 31600800 ns,
105            '1' after 32600000 ns, '0' after 32600800 ns,
106            '1' after 33700000 ns, '0' after 33700800 ns,
107            '1' after 34600000 ns, '0' after 34600800 ns,
108            '1' after 35700000 ns, '0' after 35700800 ns,
109            '1' after 36600000 ns, '0' after 36600800 ns,
110            '1' after 37600000 ns, '0' after 37600800 ns,
111            '1' after 38600000 ns, '0' after 38600800 ns,
112            '1' after 39700000 ns, '0' after 39700800 ns,
113            '1' after 40600000 ns, '0' after 40600800 ns,
114            '1' after 41600000 ns, '0' after 41600800 ns,
115            '1' after 42700000 ns, '0' after 42700800 ns,
116            '1' after 43600000 ns, '0' after 43600800 ns,
117            '1' after 44600000 ns, '0' after 44600800 ns,
118            '1' after 45600000 ns, '0' after 45600800 ns,
119            '1' after 46700000 ns, '0' after 46700800 ns,
120            '1' after 47600000 ns, '0' after 47600800 ns,
121            '1' after 48600000 ns, '0' after 48600800 ns,
122            '1' after 49700000 ns, '0' after 49700800 ns,
123            '1' after 50600000 ns, '0' after 50600800 ns,
124            '1' after 51600000 ns, '0' after 51600800 ns,
125            '1' after 52700000 ns, '0' after 52700800 ns,
126            '1' after 53600000 ns, '0' after 53600800 ns,
127            '1' after 54700000 ns, '0' after 54700800 ns,
128            '1' after 55600000 ns, '0' after 55600800 ns,
129            '1' after 56600000 ns, '0' after 56600800 ns,
130            '1' after 57600000 ns, '0' after 57600800 ns,
131            '1' after 58700000 ns, '0' after 58700800 ns,
132            '1' after 60600000 ns, '0' after 60600800 ns;

```

```

133
134     decode: dcf_decoder port map(clk, reset, count, new_bit, dcf_led, start_xor, min, hr, wk,
135         dag, mnd, jr, pb);
136 end behaviour;

```

### B.2.4. TESTBENCH PARITY CHECK

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity parity_tb is
7  end parity_tb;

```

---

```

1  -- Joran Out, 4331958 & Alex Oudsen, 4325494
2  -- Er wordt gebruik gemaakt van de 'echte' klok
3  -- Verwachte respons is een sync_now puls, omdat
4  -- de parity van de gesimuleerde ingangen correct is
5  -- Advies simulatietijd: 150 microsec.
6
7  library ieee;
8  use ieee.std_logic_1164.all;
9
10 architecture behaviour of parity_tb is
11     component parity_check is
12         port (clk:          in std_logic;
13             reset:         in std_logic;
14             start_xor:     in std_logic;
15             minuten:       in std_logic_vector(6 downto 0);
16             uren:          in std_logic_vector(5 downto 0);
17             weekdag:       in std_logic_vector(2 downto 0);
18             dagen:         in std_logic_vector(5 downto 0);
19             maanden:       in std_logic_vector(4 downto 0);
20             jaren:         in std_logic_vector(7 downto 0);
21             parity_bits:   in std_logic_vector(2 downto 0);
22             sync_now:      out std_logic);
23     end component parity_check;
24
25     signal clk, reset, start_xor, sync_now: std_logic;
26     signal jaren: std_logic_vector(7 downto 0);
27     signal minuten: std_logic_vector(6 downto 0);
28     signal uren, dagen: std_logic_vector(5 downto 0);
29     signal maanden: std_logic_vector(4 downto 0);
30     signal weekdag, parity_bits: std_logic_vector(2 downto 0);
31
32     begin
33         clk      <= '1' after 0 ns,      -- Dit genereert een 32 kHz signaal
34             '0' after 15625 ns when clk /= '0' else '1' after 15625 ns;
35         reset    <= '1' after 0 ns, '0' after 50000 ns;
36         start_xor <= '0' after 0 ns, '1' after 60000 ns, '0' after 65000 ns;
37         minuten  <= "1001000" after 0 ns;
38         uren     <= "010001" after 0 ns;
39         weekdag  <= "001" after 0 ns;
40         dagen    <= "001000" after 0 ns;
41         maanden  <= "10010" after 0 ns;
42         jaren    <= "00010100" after 0 ns;
43         parity_bits <= "000" after 0 ns;
44
45         check: parity_check port map(clk, reset, start_xor, minuten, uren, weekdag, dagen,
46             maanden, jaren, parity_bits, sync_now);
47     end behaviour;

```

### B.2.5. TESTBENCH SYNCTIME

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;

```

```

5
6 entity synctime_tb is
7 end synctime_tb;

```

---

```

1 -- Alex Oudsen, 4325494
2 -- Dit is de testbench voor simulatie op schaal
3 -- De verwachte respons geeft 1 synchronisatiemoment,
4 -- namelijk maandag 8 december 2014; 11:48
5 -- Advies simulatietijd: 65 ms.
6
7 library ieee;
8 use ieee.std_logic_1164.all;
9
10 architecture behaviour of synctime_tb is
11     component synctime is
12         port (clk:         in  std_logic;
13              reset:        in  std_logic;
14              dcf_in:        in  std_logic;
15              dcf_led:        out std_logic;
16              ready:         out std_logic;
17              minuten:        out std_logic_vector(6 downto 0);
18              uren:           out std_logic_vector(5 downto 0);
19              weekdag:        out std_logic_vector(2 downto 0);
20              dagen:          out std_logic_vector(5 downto 0);
21              maanden:        out std_logic_vector(4 downto 0);
22              jaren:          out std_logic_vector(7 downto 0));
23     end component synctime;
24
25     signal clk, reset, dcf_in, dcf_led, ready: std_logic;
26     signal minuten: std_logic_vector(6 downto 0);
27     signal uren, dagen: std_logic_vector(5 downto 0);
28     signal maanden: std_logic_vector(4 downto 0);
29     signal weekdag: std_logic_vector(2 downto 0);
30     signal jaren: std_logic_vector(7 downto 0);
31
32 begin
33
34     clk <= '1' after 0 ns,
35           '0' after 16 ns when clk /= '0' else '1' after 16 ns;
36     reset <= '1' after 0 ns, '0' after 50 us;
37     dcf_in <= '0' after 0 ns,
38             '1' after 1500 us, '0' after 1600 us, -- bit 59 & bit 0
39             '1' after 2500 us, '0' after 2600 us, -- bit 1
40             '1' after 3500 us, '0' after 3600 us, -- bit 2
41             '1' after 4500 us, '0' after 4600 us, -- bit 3
42             '1' after 5500 us, '0' after 5600 us, -- bit 4
43             '1' after 6500 us, '0' after 6600 us, -- bit 5
44             '1' after 7500 us, '0' after 7600 us, -- bit 6
45             '1' after 8500 us, '0' after 8600 us, -- bit 7
46             '1' after 9500 us, '0' after 9600 us, -- bit 8
47             '1' after 10500 us, '0' after 10600 us, -- bit 9
48             '1' after 11500 us, '0' after 11600 us, -- bit 10
49             '1' after 12500 us, '0' after 12600 us, -- bit 11
50             '1' after 13500 us, '0' after 13600 us, -- bit 12
51             '1' after 14500 us, '0' after 14600 us, -- bit 13
52             '1' after 15500 us, '0' after 15600 us, -- bit 14
53             '1' after 16500 us, '0' after 16600 us, -- bit 15
54             '1' after 17500 us, '0' after 17600 us, -- bit 16
55             '1' after 18500 us, '0' after 18600 us, -- bit 17
56             '1' after 19500 us, '0' after 19700 us, -- bit 18    1
57             '1' after 20500 us, '0' after 20600 us, -- bit 19
58             '1' after 21500 us, '0' after 21700 us, -- bit 20    1
59             '1' after 22500 us, '0' after 22600 us, -- bit 21
60             '1' after 23500 us, '0' after 23600 us, -- bit 22
61             '1' after 24500 us, '0' after 24600 us, -- bit 23
62             '1' after 25500 us, '0' after 25700 us, -- bit 24    1
63             '1' after 26500 us, '0' after 26600 us, -- bit 25
64             '1' after 27500 us, '0' after 27600 us, -- bit 26
65             '1' after 28500 us, '0' after 28700 us, -- bit 27    1
66             '1' after 29500 us, '0' after 29700 us, -- bit 28    1
67             '1' after 30500 us, '0' after 30700 us, -- bit 29    1

```

```

68      '1' after 31500 us, '0' after 31600 us, -- bit 30
69      '1' after 32500 us, '0' after 32600 us, -- bit 31
70      '1' after 33500 us, '0' after 33600 us, -- bit 32
71      '1' after 34500 us, '0' after 34700 us, -- bit 33  1
72      '1' after 35500 us, '0' after 35600 us, -- bit 34
73      '1' after 36500 us, '0' after 36700 us, -- bit 35  1
74      '1' after 37500 us, '0' after 37600 us, -- bit 36
75      '1' after 38500 us, '0' after 38600 us, -- bit 37
76      '1' after 39500 us, '0' after 39600 us, -- bit 38
77      '1' after 40500 us, '0' after 40700 us, -- bit 39  1
78      '1' after 41500 us, '0' after 41600 us, -- bit 40
79      '1' after 42500 us, '0' after 42600 us, -- bit 41
80      '1' after 43500 us, '0' after 43700 us, -- bit 42  1
81      '1' after 44500 us, '0' after 44600 us, -- bit 43
82      '1' after 45500 us, '0' after 45600 us, -- bit 44
83      '1' after 46500 us, '0' after 46600 us, -- bit 45
84      '1' after 47500 us, '0' after 47700 us, -- bit 46  1
85      '1' after 48500 us, '0' after 48600 us, -- bit 47
86      '1' after 49500 us, '0' after 49600 us, -- bit 48
87      '1' after 50500 us, '0' after 50700 us, -- bit 49  1
88      '1' after 51500 us, '0' after 51600 us, -- bit 50
89      '1' after 52500 us, '0' after 52600 us, -- bit 51
90      '1' after 53500 us, '0' after 53700 us, -- bit 52  1
91      '1' after 54500 us, '0' after 54600 us, -- bit 53
92      '1' after 55500 us, '0' after 55700 us, -- bit 54  1
93      '1' after 56500 us, '0' after 56600 us, -- bit 55
94      '1' after 57500 us, '0' after 57600 us, -- bit 56
95      '1' after 58500 us, '0' after 58600 us, -- bit 57
96      '1' after 59500 us, '0' after 59700 us, -- bit 58  1
97      '1' after 61500 us, '0' after 61600 us; -- bit 59 & bit 0
98      -- dit genereert een dcf-signaal voor het ontwerp
99      -- waarin het volgende gecodeerd is:
100     -- DD-MM-JJ: 08-12-'14 & HH:MM: 11:48 & maandag
101     -- vervolgens DD-MM-JJ: 08-12-'14 & HH:MM: 11:49 & maandag
102     -- Bits 0 t/m 17 zijn 0
103     -- Bit 18 is 1
104     -- Bit 19 is 0
105     -- Bit 20 is 1
106     -- Bits 21 t/m 27 zijn de minuten (48)
107     -- Bit 28 is parity bit v.d. minuten (1)
108     -- Bits 29 t/m 34 zijn de uren (11)
109     -- Bit 35 is parity bit v.d. uren (1)
110     -- Bits 36 t/m 41 zijn de dagen v.d. maand (8)
111     -- Bits 42 t/m 44 zijn de dagen v.d. week (ma)
112     -- Bits 45 t/m 49 vormen de maand (12)
113     -- Bits 50 t/m 57 vormen het jaar (binnen een eeuw) (14)
114     -- Bits 58 is parity bit over bits 36 t/m 57 (1)
115
116     sync_time: synctime port map(clk, reset, dcf_in, dcf_led, ready, minuten,
117                                uren, weekday, dagen, maanden, jaren);
118
119 end behaviour;

```

### B.2.6. TESTBENCH KLOKDELER

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity klokdelertb is
7  end klokdelertb;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Dit is de testbench voor simulatie op schaal
3  -- Verwachte respons is een 781.25 Hz signaal
4  -- met een periodetijd van 1280 microseconden
5  -- Advies simulatietijd: 10 ms.
6
7  library ieee;
8  use ieee.std_logic_1164.all;

```

```

9
10 architecture behaviour of klokdelers_tb is
11     component klokdelers is
12         port (clk: in std_logic;
13              reset: in std_logic;
14              clk_1hz: out std_logic);
15     end component klokdelers;
16
17     signal clk, reset, clk_1hz: std_logic;
18
19     begin
20         clk <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een 25 MHz kloksignaal
21              '0' after 20 ns when clk /= '0' else '1' after 20 ns;
22         reset <= '1' after 0 ns, '0' after 50 ns;
23
24         divide: klokdelers port map (clk, reset, clk_1hz);
25
26     end behaviour;

```

### B.2.7. TESTBENCH MOD60 (SECONDEN) TELLER

```

1 -- Alex Oudsen, 4325494
2
3 library ieee;
4 use ieee.std_logic_1164.all;
5
6 entity mod60_tel_tb is
7 end mod60_tel_tb;

```

---

```

1 -- Alex Oudsen, 4325494
2 -- Dit is de testbench voor simulatie op schaal
3 -- Verwachte respons is een count die iedere
4 -- opgaande klokflank van clk_in 1 optelt bij
5 -- de waarde van count, waarbij na 59 weer 0 komt
6 -- Bovendien wordt er tweemaal gesynchroniseerd;
7 -- eenmaal met ref = 23 en eenmaal met ref = 59
8 -- Ook wordt aan de uitgang een klok gegenereerd met
9 -- frequentie 1/60 van de frequentie van clk_in
10 -- Advies simulatietijd: 80 ms.
11
12 library ieee;
13 use ieee.std_logic_1164.all;
14
15 architecture behaviour_bcd_clk of mod60_tel_tb is
16     component mod60_clk_bcd is
17         port (clk: in std_logic;
18              clk_in: in std_logic;
19              reset: in std_logic;
20              sync_now: in std_logic;
21              ref: in std_logic_vector(6 downto 0);
22              m_clk: out std_logic);
23     end component mod60_clk_bcd;
24
25     signal clk, clk_in, m_clk, reset, sync_now: std_logic;
26     signal ref: std_logic_vector(6 downto 0);
27
28     begin
29         clk <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een 100 kHz signaal
30              '0' after 5 us when clk /= '0' else '1' after 5 us;
31         clk_in <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een 1 kHz signaal
32              '0' after 500 us when clk_in /= '0' else '1' after 500 us;
33         reset <= '1' after 0 ns, '0' after 600 us;
34         sync_now <= '0' after 0 ns, '1' after 5 ms, '0' after 5020 us,
35              '1' after 10 ms, '0' after 10020 us;
36         ref <= "0100011" after 0 ns, "1011001" after 6 ms;
37
38         count60: mod60_clk_bcd port map (clk, clk_in, reset, sync_now, ref, m_clk);
39
40     end behaviour_bcd_clk;

```

### B.2.8. TESTBENCH MOD60 (MINUTEN) TELLER



```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity mod60_tel_tb is
7  end mod60_tel_tb;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Dit is de testbench voor simulatie op schaal
3  -- Verwachte respons is een count die iedere
4  -- opgaande klokflank van clk_in 1 optelt bij
5  -- de waarde van count, waarbij na 59 weer 0 komt
6  -- Bovendien wordt er tweemaal gesynchroniseerd;
7  -- eenmaal met ref = 23 en eenmaal met ref = 59
8  -- Ook wordt aan de uitgang een klok gegenereerd met
9  -- frequentie 1/60 van de frequentie van clk_in
10 -- Advies simulatietijd: 50 ms.
11
12 library ieee;
13 use ieee.std_logic_1164.all;
14
15 architecture behaviour_bcd of mod60_tel_tb is
16     component mod60_tel_bcd is
17         port (clk: in std_logic;
18             clk_in: in std_logic;
19             reset: in std_logic;
20             sync_now: in std_logic;
21             ref: in std_logic_vector(6 downto 0);
22             count: out std_logic_vector(6 downto 0);
23             h_clk: out std_logic);
24     end component mod60_tel_bcd;
25
26     signal clk, clk_in, h_clk, reset, sync_now: std_logic;
27     signal ref, count: std_logic_vector(6 downto 0);
28
29 begin
30     clk      <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een 100 kHz signaal
31             '0' after 5 us when clk /= '0' else '1' after 5 us;
32     clk_in   <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een 1 kHz signaal
33             '0' after 500 us when clk_in /= '0' else '1' after 500 us;
34     reset    <= '1' after 0 ns, '0' after 600 us;
35     sync_now <= '0' after 0 ns, '1' after 5 ms, '0' after 5020 us,
36             '1' after 10 ms, '0' after 10020 us;
37     ref      <= "0100011" after 0 ns, "1011001" after 6 ms;
38
39     count60: mod60_tel_bcd port map(clk, clk_in, reset, sync_now, ref, count, h_clk);
40
41 end behaviour_bcd;

```

### B.2.9. TESTBENCH MOD24 (UREN) TELLER

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity mod24_tel_tb is
7  end mod24_tel_tb;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Dit is de testbench voor simulatie op schaal
3  -- Verwachte respons is een count die iedere
4  -- opgaande klokflank van clk_in 1 optelt bij
5  -- de bcd waarde van count, waarbij na 23 weer 0 komt
6  -- Bovendien wordt er tweemaal gesynchroniseerd;
7  -- eenmaal met ref = 10 en eenmaal met ref = 23
8  -- Advies simulatietijd: 40 ms.
9
10 library ieee;

```

```

11 use ieee.std_logic_1164.all;
12
13 architecture behaviour_bcd of mod24_tel_tb is
14     component mod24_tel_bcd is
15         port (clk: in std_logic;
16               clk_in: in std_logic;
17               reset: in std_logic;
18               sync_now: in std_logic;
19               ref: in std_logic_vector(5 downto 0);
20               count: out std_logic_vector(5 downto 0));
21     end component mod24_tel_bcd;
22
23     signal clk, clk_in, reset, sync_now: std_logic;
24     signal ref, count: std_logic_vector(5 downto 0);
25
26 begin
27     clk      <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een 100 kHz signaal
28              '0' after 5 us when clk /= '0' else '1' after 5 us;
29     clk_in   <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een 1 kHz signaal
30              '0' after 500 us when clk_in /= '0' else '1' after 500 us;
31     reset    <= '1' after 0 ns, '0' after 600 us;
32     sync_now <= '0' after 0 ns, '1' after 5 ms, '0' after 5020 us,
33              '1' after 10 ms, '0' after 10020 us;
34     ref      <= "010000" after 0 ns, "100011" after 6 ms;
35
36     count24: mod24_tel_bcd port map(clk, clk_in, reset, sync_now, ref, count);
37
38 end behaviour_bcd;

```

### B.2.10. TESTBENCH AUTONOME SYNCHRONISEERBARE KLOK

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity autosyncclk_tb is
7  end autosyncclk_tb;
8
9  -- Alex Oudsen, 4325494
10 -- Dit is de testbench voor simulatie op schaal
11 -- De verwachte respons geeft twee synchronisatiemomenten,
12 -- namelijk 10:10 en 23:45, waaromheen de klok autonoom
13 -- verder zal tellen op de interne klok
14 -- Advies simulatietijd: 80 ms.
15
16 library ieee;
17 use ieee.std_logic_1164.all;
18
19 architecture behaviour_bcd of autosyncclk_tb is
20     component ausy_klok_bcd is
21         port (clk: in std_logic;
22               s_clk: in std_logic;
23               reset: in std_logic;
24               sync_now: in std_logic;
25               min_ref: in std_logic_vector(6 downto 0);
26               hr_ref: in std_logic_vector(5 downto 0);
27               minutes: out std_logic_vector(6 downto 0);
28               hours: out std_logic_vector(5 downto 0));
29     end component ausy_klok_bcd;
30
31     signal clk, s_clk, reset, sync_now: std_logic;
32     signal minutes, min_ref: std_logic_vector(6 downto 0);
33     signal hours, hr_ref: std_logic_vector(5 downto 0);
34
35 begin
36     clk      <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een 100 kHz signaal
37              '0' after 5 us when clk /= '0' else '1' after 5 us;
38     s_clk    <= '1' after 0 ns, -- Dit genereert een 1 kHz signaal
39              '0' after 500 us when s_clk /= '0' else '1' after 500 us;
40     reset    <= '1' after 0 ns, '0' after 600 us;

```

```

33     sync_now    <= '0' after 0 ns, '1' after 5 ms, '0' after 5020 us,
34               '1' after 10 ms, '0' after 10020 us;
35     min_ref     <= "0010000" after 0 ns, "1000101" after 6 ms;
36     hr_ref      <= "010000" after 0 ns, "100011" after 6 ms;
37
38     klok: ausy_klok_bcd port map(clk, s_clk, reset, sync_now, min_ref, hr_ref, minutes, hours
39                                );
40 end behaviour_bcd;

```

### B.2.11. TESTBENCH DCF77 (TOP-LEVEL)

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2
3  library ieee;
4  use ieee.std_logic_1164.all;
5
6  entity dcf77_tb is
7  end dcf77_tb;

```

---

```

1  -- Alex Oudsen, 4325494
2  -- Dit is testbench voor simulatie met de 'echte' klok
3  -- De verwachte respons bestaat naast het 1hz signaal uit
4  -- een led-signaal wat afhankelijk is van de kwaliteit van het
5  -- DCF77 signaal, de huidige tijd (gesynchroniseerd met het DCF77
6  -- signaal indien mogelijk en de huidige datum (inclusief ready signaal)
7  -- Het DCF77 testsignaal bevat: maandag 8 december, 11:48
8  -- Advies simulatietijd: 65 ms.
9
10 library ieee;
11 use ieee.std_logic_1164.all;
12
13 architecture behaviour_bcd of dcf77_tb is
14     component dcf77_bcd is
15         port (clk:          in std_logic;
16               reset:        in std_logic;
17               dcf_in:       in std_logic;
18               dcf_led:      out std_logic;
19               clk_1hz:      out std_logic;
20               minutes:      out std_logic_vector(6 downto 0);
21               hours:        out std_logic_vector(5 downto 0);
22               weekday:      out std_logic_vector(2 downto 0);
23               day:          out std_logic_vector(5 downto 0);
24               month:        out std_logic_vector(4 downto 0);
25               year:         out std_logic_vector(7 downto 0);
26               date_ready:   out std_logic);
27     end component dcf77_bcd;
28
29     signal clk, reset, dcf_in, dcf_led, clk_1hz, date_ready: std_logic;
30     signal minutes: std_logic_vector(6 downto 0);
31     signal hours, day: std_logic_vector(5 downto 0);
32     signal month: std_logic_vector(4 downto 0);
33     signal weekday: std_logic_vector(2 downto 0);
34     signal year: std_logic_vector(7 downto 0);
35
36     begin
37         clk <= '1' after 0 ns,
38               '0' after 16 ns when clk /= '0' else '1' after 16 ns;
39         reset <= '1' after 0 ns, '0' after 50 us;
40         dcf_in <= '0' after 0 ns,
41               '1' after 1500 us, '0' after 1600 us, -- bit 59 & bit 0
42               '1' after 2500 us, '0' after 2600 us, -- bit 1
43               '1' after 3500 us, '0' after 3600 us, -- bit 2
44               '1' after 4500 us, '0' after 4600 us, -- bit 3
45               '1' after 5500 us, '0' after 5600 us, -- bit 4
46               '1' after 6500 us, '0' after 6600 us, -- bit 5
47               '1' after 7500 us, '0' after 7600 us, -- bit 6
48               '1' after 8500 us, '0' after 8600 us, -- bit 7
49               '1' after 9500 us, '0' after 9600 us, -- bit 8
50               '1' after 10500 us, '0' after 10600 us, -- bit 9
51               '1' after 11500 us, '0' after 11600 us, -- bit 10

```

```

52      '1' after 12500 us, '0' after 12600 us, -- bit 11
53      '1' after 13500 us, '0' after 13600 us, -- bit 12
54      '1' after 14500 us, '0' after 14600 us, -- bit 13
55      '1' after 15500 us, '0' after 15600 us, -- bit 14
56      '1' after 16500 us, '0' after 16600 us, -- bit 15
57      '1' after 17500 us, '0' after 17600 us, -- bit 16
58      '1' after 18500 us, '0' after 18600 us, -- bit 17
59      '1' after 19500 us, '0' after 19700 us, -- bit 18      1
60      '1' after 20500 us, '0' after 20600 us, -- bit 19
61      '1' after 21500 us, '0' after 21700 us, -- bit 20      1
62      '1' after 22500 us, '0' after 22600 us, -- bit 21
63      '1' after 23500 us, '0' after 23600 us, -- bit 22
64      '1' after 24500 us, '0' after 24600 us, -- bit 23
65      '1' after 25500 us, '0' after 25700 us, -- bit 24      1
66      '1' after 26500 us, '0' after 26600 us, -- bit 25
67      '1' after 27500 us, '0' after 27600 us, -- bit 26
68      '1' after 28500 us, '0' after 28700 us, -- bit 27      1
69      '1' after 29500 us, '0' after 29700 us, -- bit 28      1
70      '1' after 30500 us, '0' after 30700 us, -- bit 29      1
71      '1' after 31500 us, '0' after 31600 us, -- bit 30
72      '1' after 32500 us, '0' after 32600 us, -- bit 31
73      '1' after 33500 us, '0' after 33600 us, -- bit 32
74      '1' after 34500 us, '0' after 34700 us, -- bit 33      1
75      '1' after 35500 us, '0' after 35600 us, -- bit 34
76      '1' after 36500 us, '0' after 36700 us, -- bit 35      1
77      '1' after 37500 us, '0' after 37600 us, -- bit 36
78      '1' after 38500 us, '0' after 38600 us, -- bit 37
79      '1' after 39500 us, '0' after 39600 us, -- bit 38
80      '1' after 40500 us, '0' after 40700 us, -- bit 39      1
81      '1' after 41500 us, '0' after 41600 us, -- bit 40
82      '1' after 42500 us, '0' after 42600 us, -- bit 41
83      '1' after 43500 us, '0' after 43700 us, -- bit 42      1
84      '1' after 44500 us, '0' after 44600 us, -- bit 43
85      '1' after 45500 us, '0' after 45600 us, -- bit 44
86      '1' after 46500 us, '0' after 46600 us, -- bit 45
87      '1' after 47500 us, '0' after 47700 us, -- bit 46      1
88      '1' after 48500 us, '0' after 48600 us, -- bit 47
89      '1' after 49500 us, '0' after 49600 us, -- bit 48
90      '1' after 50500 us, '0' after 50700 us, -- bit 49      1
91      '1' after 51500 us, '0' after 51600 us, -- bit 50
92      '1' after 52500 us, '0' after 52600 us, -- bit 51
93      '1' after 53500 us, '0' after 53700 us, -- bit 52      1
94      '1' after 54500 us, '0' after 54600 us, -- bit 53
95      '1' after 55500 us, '0' after 55700 us, -- bit 54      1
96      '1' after 56500 us, '0' after 56600 us, -- bit 55
97      '1' after 57500 us, '0' after 57600 us, -- bit 56
98      '1' after 58500 us, '0' after 58600 us, -- bit 57
99      '1' after 59500 us, '0' after 59700 us, -- bit 58      1
100     '1' after 61500 us, '0' after 61600 us; -- bit 59 & bit 0
101     -- dit genereert een dcf-signaal voor het ontwerp
102     -- waarin het volgende gecodeerd is:
103     -- DD-MM-JJ: 08-12-'14 & HH:MM: 11:48 & maandag
104     -- vervolgens DD-MM-JJ: 08-12-'14 & HH:MM: 11:49 & maandag
105     -- Bits 0 t/m 17 zijn 0
106     -- Bit 18 is 1
107     -- Bit 19 is 0
108     -- Bit 20 is 1
109     -- Bits 21 t/m 27 zijn de minuten (48)
110     -- Bit 28 is parity bit v.d. minuten (1)
111     -- Bits 29 t/m 34 zijn de uren (11)
112     -- Bit 35 is parity bit v.d. uren (1)
113     -- Bits 36 t/m 41 zijn de dagen v.d. maand (8)
114     -- Bits 42 t/m 44 zijn de dagen v.d. week (ma)
115     -- Bits 45 t/m 49 vormen de maand (12)
116     -- Bits 50 t/m 57 vormen het jaar (binnen een eeuw) (14)
117     -- Bits 58 is parity bit over bits 36 t/m 57 (1)
118
119     synced_time: dcf77_bcd port map(clk, reset, dcf_in, dcf_led, clk_lhz, minutes, hours,
120                                     weekday, day, month, year, date_ready);
121 end behaviour_bcd;

```

## B.3. VHDL CODE CONTROLLER

### B.3.1. TOP LEVEL ENTITY

```

1  -- Rens Hamburger 4292936
2  library IEEE;
3  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
4
5  entity controller is
6      port (clk      :in    std_logic;
7            reset    :in    std_logic;
8            knoppen  :in    std_logic_vector(3 downto 0);
9            wekker   :out    std_logic_vector(15 downto 0);
10           menu_state :out    std_logic_vector(2 downto 0));
11 end controller;

```

### B.3.2. BEHAVIOURAL VHDL CODE CONTROLLER

```

1  --Rens Hamburger 4292936
2  --Het portmappen van gebruikte componenten voor de complete controller
3  library IEEE;
4  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
5
6  architecture behaviour of controller is
7      component menu is
8          -- Het blok waar het mooie en slimmen
9          -- onderdelen van de schakeling gedaan worden
10         port (clk      :in    std_logic;
11               reset    :in    std_logic;
12               knoppen  :in    std_logic_vector(3 downto 0);
13               wekdata  :in    std_logic_vector(15 downto 0);
14               enable   :out    std_logic;
15               wekker   :out    std_logic_vector(15 downto 0);
16               menu_signal :out    std_logic_vector(2 downto 0));
17     end component menu;
18
19     component geheugen is
20         -- 14 bit opslag
21         port (clk      :in    std_logic;
22               reset    :in    std_logic;
23               enable   :in    std_logic;
24               wek_in   :in    std_logic_vector(15 downto 0);
25               wek_out  :out    std_logic_vector(15 downto 0));
26     end component geheugen;
27
28     component buff is
29         --De buffer die speciaal gemaakt is voor de menu
30         -- met extra eigenschappen
31         port (clk      :in    std_logic;
32               reset    :in    std_logic;
33               knoppen_in :in    std_logic_vector(3 downto 0);
34               knoppen_out :out    std_logic_vector(3 downto 0));
35     end component buff;
36
37     signal knoppen_buff : std_logic_vector(3 downto 0);
38     signal wekdata_men, wekker_men : std_logic_vector(15 downto 0);
39     signal write_enable : std_logic;
40
41     begin
42         buffer_portmap : buff port map (clk, reset, knoppen, knoppen_buff);
43         menu_portmap : menu port map (clk, reset, knoppen_buff, wekdata_men, write_enable, wekker_men,
44                                     menu_state);
45         memory_portmap : geheugen port map (clk, reset, write_enable, wekker_men, wekdata_men);
46         wekker <= wekdata_men;
47     end behaviour;

```

### B.3.3. MENU ENTITY

```

1  -- Kevin Hill 4287592 & Rens Hamburger 4292936
2  library IEEE;
3  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
4  use IEEE.Numeric_Std.all;

```

```

5
6 entity menu is
7     port (clk      :in    std_logic;
8           reset    :in    std_logic;
9           knoppen  :in    std_logic_vector(3 downto 0);
10          wekdata   :in    std_logic_vector(15 downto 0);
11          enable    :out   std_logic;
12          wekker    :out   std_logic_vector(15 downto 0);
13          menu_signal :out  std_logic_vector(2 downto 0));
14 end menu;

```

### B.3.4. BEHAVIOURAL VHDL CODE MENU

```

1  -- Kevin Hill 4287592 & Rens Hamburger 4292936
2  -- FSM is voor het overzicht in drie processen verwerkt
3  -- 1ste process zorgt ervoor dat alles op de opgaande klokflank gebeurt, en gaat naar de
4    nieuwe state toe (of de reset-state)
5  -- 2de process voert de state uit
6  -- 3de process bepalen van de nieuwe state
7  library IEEE;
8  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
9  use IEEE.numeric_std.all;
10
11 architecture behaviour of menu is
12 type fsm_states is (rust, wekkertijd, led, led_toggle, geluid, geluid_toggle, wekker_toggle,
13   uren_set, uren_plus, uren_min, minuten_set, minuten_plus, minuten_min);
14 signal state, new_state : fsm_states;
15 begin
16     assign : process(clk, reset) --Daadwerkelijk alles toekennen
17     begin
18         if rising_edge(clk) then
19             if reset = '0' then
20                 state <= new_state;
21             else
22                 state <= rust;
23             end if;
24         end if;
25     end process assign;
26
27     actie_uitvoeren : process(knoppen, wekdata, clk, reset, state) --Voer acties uit
28     begin
29         case state is
30             when rust =>
31                 enable <= '0';
32                 wekker <= wekdata;
33                 menu_signal <= "000";
34
35             when wekker_toggle =>
36                 enable <= '1';
37                 wekker(14 downto 0) <= wekdata(14 downto 0);
38                 wekker(15) <= not wekdata(15);
39                 menu_signal <= "000";
40
41             when wekkertijd =>
42                 enable <= '0';
43                 wekker <= wekdata;
44                 menu_signal <= "101";
45
46             when led =>
47                 enable <= '0';
48                 wekker <= wekdata;
49                 menu_signal <= "011";
50
51             when led_toggle =>
52                 enable <= '1';
53                 wekker(13 downto 0) <= wekdata(13 downto 0);
54                 wekker(14) <= not wekdata(14);
55                 wekker(15) <= wekdata(15);
56                 menu_signal <= "011";
57
58             when geluid =>

```

```

57         enable <= '0';
58         wekker <= wekdata;
59         menu_signal <= "100";
60
61     when geluid_toggle =>
62         enable <= '1';
63         wekker(12 downto 0) <= wekdata(12 downto 0);
64         wekker(13) <= not wekdata(13);
65         wekker(15 downto 14) <= wekdata(15 downto 14);
66         menu_signal <= "100";
67
68     when uren_set =>
69         enable <= '0';
70         wekker <= wekdata;
71         menu_signal <= "001";
72
73     when uren_plus =>
74         enable <= '1';
75         menu_signal <= "101";
76         if wekdata(12 downto 7) = "100011" then --23
77             wekker(12 downto 7) <= "000000"; --Bij de 23 uur weer opnieuw beginnen
78         else
79             if (wekdata(10 downto 7) = "1001") then --Bij x9 uur 1 op tellen bij de x
80                 en enkele weer terug naar 0
81                 wekker(10 downto 7) <= "0000";
82                 wekker(12 downto 11) <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(
83                     unsigned(wekdata(12 downto 11)) + 1 , 2));
84             else
85                 wekker(10 downto 7) <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(
86                     unsigned(wekdata(10 downto 7)) + 1 , 4)); -- 1 minuut erbij
87                 optellen
88                 wekker(12 downto 11) <= wekdata(12 downto 11); -- Tientallen blijven
89                 constant
90             end if;
91         end if;
92         wekker(15 downto 13) <= wekdata(15 downto 13); -- Af
93         wekker(6 downto 0) <= wekdata(6 downto 0); --Af
94
95     when uren_min =>
96         if wekdata(12 downto 7) = "000000" then
97             wekker(12 downto 7) <= "100011"; --23
98         else
99             if wekdata(10 downto 7) = "0000" then
100                 wekker(10 downto 7) <= "1001";
101                 wekker(12 downto 11) <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(
102                     unsigned(wekdata(12 downto 11)) - 1 , 2));
103             else
104                 wekker(10 downto 7) <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(
105                     unsigned(wekdata(10 downto 7)) - 1 , 4));
106                 wekker(12 downto 11) <= wekdata(12 downto 11);
107             end if;
108         end if;
109         wekker(15 downto 13) <= wekdata(15 downto 13);
110         wekker(6 downto 0) <= wekdata(6 downto 0);
111         enable <= '1';
112         menu_signal <= "101";
113
114     when minuten_set =>
115         enable <= '0';
116         wekker <= wekdata;
117         menu_signal <= "010";
118
119     when minuten_plus =>
120         enable <= '1';
121         if wekdata(6 downto 0) = "1011001" then --59
122             wekker(6 downto 0) <= "0000000"; --Bij de 59 minuten gaan weer op nieuw
123             beginnen
124         else
125             if wekdata(3 downto 0) = "1001" then --Bij x9 minuten 1 op tellen bij de
126                 x en enkele weer terug naar 0
127                 wekker(3 downto 0) <= "0000";

```

```

119         wekker(6 downto 4) <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(
120             unsigned(wekdata(6 downto 4))) + 1 , 3));
121     else
122         wekker(3 downto 0) <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(
123             unsigned(wekdata(3 downto 0))) + 1 , 4)); -- 1 minuut erbij
124             optellen
125         wekker(6 downto 4) <= wekdata(6 downto 4); -- Tientallen blijven
126             constant
127     end if;
128 end if;
129 menu_signal <= "111";
130 wekker(15 downto 7) <= wekdata(15 downto 7); --Af
131
132 when minuten_min =>
133     enable <= '1';
134     if wekdata(6 downto 0) = "0000000" then
135         wekker(6 downto 0) <= "1011001"; --59
136     else
137         if wekdata(3 downto 0) = "0000" then --Bij x0 minuten 1 van de tientallen
138             afhalen en de enkele getal op 9 zetten
139             wekker(3 downto 0) <= "1001"; --9
140             wekker(6 downto 4) <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(
141                 unsigned(wekdata(6 downto 4))) - 1 , 3));
142         else
143             wekker(3 downto 0) <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(
144                 unsigned(wekdata(3 downto 0))) - 1 , 4));
145             wekker(6 downto 4) <= wekdata(6 downto 4);
146         end if;
147     end if;
148     menu_signal <= "111";
149     wekker(15 downto 7) <= wekdata(15 downto 7); --Af
150 end case;
151 end process actie_uitvoeren;
152
153 next_state : process (knoppen, wekdata, clk, reset, state) -- Bepaal nieuwe state
154 begin
155     case state is
156     when rust =>
157         if knoppen(0) = '1' then
158             new_state <= wekkertijd;
159         elsif knoppen(1) = '1' then
160             new_state <= wekker_toggle;
161         else
162             new_state <= rust;
163         end if;
164     when wekker_toggle =>
165         new_state <= rust;
166     when wekkertijd =>
167         if knoppen(0) = '1' then
168             new_state <= rust;
169         elsif knoppen(2) = '1' then
170             new_state <= geluid;
171         elsif knoppen(3) = '1' then
172             new_state <= led;
173         elsif knoppen(1) = '1' then
174             new_state <= uren_set;
175         else
176             new_state <= wekkertijd;
177         end if;
178     when led =>
179         if knoppen(0) = '1' then
180             new_state <= rust;
181         elsif knoppen(2) = '1' then
182             new_state <= wekkertijd;
183         elsif knoppen(3) = '1' then
184             new_state <= geluid;
185         elsif knoppen(1) = '1' then
186             new_state <= led_toggle;

```



```

183         else
184             new_state <= led;
185         end if;
186
187     when led_toggle =>
188         new_state <= led;
189
190     when geluid =>
191         if knoppen(0) = '1' then
192             new_state <= rust;
193         elsif knoppen(2) = '1' then
194             new_state <= led;
195         elsif knoppen(3) = '1' then
196             new_state <= wekkertijd;
197         elsif knoppen(1) = '1' then
198             new_state <= geluid_toggle;
199         else
200             new_state <= geluid;
201         end if;
202
203     when geluid_toggle =>
204         new_state <= geluid;
205
206     when uren_set =>
207         if knoppen(0) = '1' then
208             new_state <= rust;
209         elsif knoppen(2) = '1' then
210             new_state <= uren_plus;
211         elsif knoppen(3) = '1' then
212             new_state <= uren_min;
213         elsif knoppen(1) = '1' then
214             new_state <= minuten_set;
215         else
216             new_state <= uren_set;
217         end if;
218
219     when uren_plus =>
220         new_state <= uren_set;
221
222     when uren_min =>
223         new_state <= uren_set;
224
225     when minuten_set =>
226         if knoppen(0) = '1' then
227             new_state <= rust;
228         elsif knoppen(2) = '1' then
229             new_state <= minuten_plus;
230         elsif knoppen(3) = '1' then
231             new_state <= minuten_min;
232         elsif knoppen(1) = '1' then
233             new_state <= rust;
234         else
235             new_state <= minuten_set;
236         end if;
237
238     when minuten_plus =>
239         new_state <= minuten_set;
240
241     when minuten_min =>
242         new_state <= minuten_set;
243     when others =>
244         new_state <= rust;
245     end case;
246 end process next_state;
247 end behaviour;

```

### B.3.5. MEMORY

```

1  -- Rens Hamburger 4292936
2  library IEEE;
3  use IEEE.std_logic_1164.ALL;

```

```

4
5 entity geheugen is
6   port (clk      :in    std_logic;
7         reset    :in    std_logic;
8         enable   :in    std_logic;
9         wek_in   :in    std_logic_vector(15 downto 0);
10        wek_out  :out   std_logic_vector(15 downto 0));
11 end geheugen;

```

### B.3.6. BEHAVIOURAL VHDL MEMORY

```

1  -- Rens Hamburger 4292936
2  -- 16 bit geheugen element met een positief enable signaal
3  library IEEE;
4  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
5
6  architecture behaviour of geheugen is
7    signal wek_opslag, wek_temp : std_logic_vector(15 downto 0 );
8  begin
9    assign : process(clk, reset, wek_temp, wek_in)
10   begin
11     if rising_edge(clk) then
12       if reset = '1' then
13         wek_temp <= (others => '0');
14       else
15         if enable = '1' then
16           wek_temp <= wek_in;
17         else
18           wek_temp <= wek_temp;
19         end if;
20       end if;
21     end if;
22     wek_out <= wek_temp;
23   end process assign;
24 end behaviour;

```

### B.3.7. ENTITY BUFFER

```

1  --Rens Hamburger 4292936
2  library IEEE;
3  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
4
5  entity buff is
6    port (clk      :in    std_logic;
7          reset    :in    std_logic;
8          knoppen_in   :in    std_logic_vector(3 downto 0);
9          knoppen_out  :out   std_logic_vector(3 downto 0));
10 end buff;

```

### B.3.8. BEHAVIOURAL VHDL BUFFER

```

1  --Rens Hamburger 4292936
2  --Buffer die zorgt dat we maar 1 periode lang een hoog signaal ontvangen van een knop
3  --Voorkomt ook dat een gebruiker twee knoppen tegelijk kan indrukken wat mogelijk voor voor
   onverwacht gedrag
4  library IEEE;
5  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
6  use IEEE.numeric_std.all;
7
8  architecture behaviour of buff is
9    type fsm_states is (rust, one, zero);
10   signal state, new_state : fsm_states;
11   signal knoppen_temp : std_logic_vector(3 downto 0);
12 begin
13   assign : process(clk, reset) --Daadwerkelijk alles toekennen
14   begin
15     if rising_edge(clk) then
16       if reset = '0' then
17         state <= new_state;
18       else
19         state <= rust;

```

```

20         end if;
21         knoppen_out <= knoppen_temp;
22     end if;
23 end process assign;
24 actie_uitvoeren : process(knoppen_in,clk, reset, state) --Voer acties uit
25 begin
26     case state is
27     when rust =>
28         if ((knoppen_in(0) = '1' xor knoppen_in(1) = '1') xor (knoppen_in(2) = '1'
29             xor knoppen_in(3) = '1')) then
30             new_state <= one;
31             knoppen_temp <= knoppen_in;
32         else
33             new_state <= state;
34             knoppen_temp <= "0000";
35         end if;
36     when zero =>
37         knoppen_temp <= "0000";
38         if ((knoppen_in(0) = '0' and knoppen_in(1) = '0') and (knoppen_in(2) = '0'
39             and knoppen_in(3) = '0')) then
40             new_state <= rust;
41         else
42             new_state <= state;
43         end if;
44     when one =>
45         new_state <= zero;
46         knoppen_temp <= "0000";
47     when others =>
48         new_state <= rust;
49         knoppen_temp <= "0000";
50     end case;
51 end process actie_uitvoeren;
52 end behaviour;

```

## B.4. TESTBENCHS VOOR DE CONTROLLER

### B.4.1. VHDL CONTROLLER

```

1  -- Kevin Hill 4287592 & Rens Hamburger 4292936
2  -- Testbench voor de controller met gebruik van de buffer en geheugen element
3  library IEEE;
4  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
5  use IEEE.Numeric_Std.all;
6
7  architecture behaviour of controller_tb is
8  component controller is
9      port (clk      :in    std_logic;
10          reset     :in    std_logic;
11          knoppen   :in    std_logic_vector(3 downto 0);
12          wekker    :out   std_logic_vector(15 downto 0);
13          menu_state :out   std_logic_vector(2 downto 0));
14  end component controller;
15
16  signal clk, reset           : std_logic;
17  signal menu_signal         : std_logic_vector(2 downto 0);
18  signal knoppen            : std_logic_vector(3 downto 0);
19  signal wekker             : std_logic_vector(15 downto 0);
20
21  begin
22      clk      <= '1' after 0 ns,
23              '0' after 40 ns when clk /= '0' else '1' after 40 ns;      --31250
24
25      reset    <= '1' after 0 ns,      --knoppen(0) = menu
26              '0' after 128 ns;      --knoppen(1) = set
27                                   --knoppen(2) = up
28      knoppen  <= "0000" after 0 ns,  --knoppen(3) = down
29              "0010" after 128 ns,  --rust -> wekker_toggle
30              "0000" after 208 ns,  --knoppen(3) = down
31              "0001" after 608 ns,  --rust -> wekkertijd
32              "0000" after 688 ns,  --knoppen(3) = down
33              "0001" after 848 ns,  --wekkertijd -> rust

```

```

34      "0000" after 928 ns,      --knoppen(3) = down
35      "0001" after 1088 ns,    --rust -> wekkertijd
36      "0000" after 1168 ns,    --knoppen(3) = down
37      "0010" after 1328 ns,    --wekkertijd -> uren_set
38      "0000" after 1408 ns,    --knoppen(3) = down
39      "0100" after 1568 ns,    --uren_set -> uren_plus
40      "0000" after 1648 ns,    --knoppen(3) = down
41      "1000" after 2008 ns,    --uren_set -> uren_min
42      "0000" after 2088 ns,    --uren_min -> uren_set
43      "0001" after 2248 ns,    --uren_set -> rust
44      "0000" after 2328 ns,    --knoppen(3) = down
45      "0001" after 2488 ns,    --rust -> wekkertijd
46      "0000" after 2568 ns,    --knoppen(3) = down
47      "0010" after 2768 ns,    --wekkertijd -> uren_set
48      "0000" after 2808 ns,    --knoppen(3) = down
49      "0010" after 2968 ns,    --uren_set -> minuten_set
50      "0000" after 3048 ns,    --knoppen(3) = down
51      "0100" after 3208 ns,    --minuten_set -> minuten_plus
52      "0000" after 3288 ns,    --minuten_plus -> minuten_set
53      "1000" after 3448 ns,    --minuten_set -> minuten_min
54      "0000" after 3528 ns,    --minuten_min -> minuten_set
55      "0001" after 3688 ns,    --minuten_set -> rust
56      "0000" after 3768 ns,    --knoppen(3) = down
57      "0001" after 3928 ns,    --rust -> wekkertijd
58      "0000" after 4008 ns,    --knoppen(3) = down
59      "0010" after 4168 ns,    --wekkertijd -> uren_set
60      "0000" after 4248 ns,    --knoppen(3) = down
61      "0010" after 4408 ns,    --uren_set -> minuten_set
62      "0000" after 4488 ns,    --knoppen(3) = down
63      "0010" after 4648 ns,    --minuten_set -> rust
64      "0000" after 4728 ns,    --knoppen(3) = down
65      "0001" after 4888 ns,    --rust -> wekkertijd
66      "0000" after 4968 ns,    --knoppen(3) = down
67      "1000" after 5128 ns,    --wekkertijd -> led
68      "0000" after 5208 ns,    --knoppen(3) = down
69      "0001" after 5368 ns,    --led -> rust
70      "0000" after 5448 ns,    --knoppen(3) = down
71      "0001" after 5608 ns,    --rust -> wekkertijd
72      "0000" after 5688 ns,    --knoppen(3) = down
73      "0100" after 5848 ns,    --wekkertijd -> geluid
74      "0000" after 6128 ns,    --knoppen(3) = down
75      "0100" after 6288 ns,    --geluid -> led
76      "0000" after 6368 ns,    --knoppen(3) = down
77      "0100" after 6528 ns,    --led -> wekkertijd
78      "0000" after 6608 ns,    --knoppen(3) = down
79      "1000" after 6768 ns,    --wekkertijd -> led
80      "0000" after 6848 ns,    --knoppen(3) = down
81      "1000" after 7008 ns,    --led -> geluid
82      "0000" after 7088 ns,    --knoppen(3) = down
83      "1000" after 7248 ns,    --geluid -> wekkertijd
84      "0000" after 7328 ns,    --knoppen(3) = down
85      "1000" after 7488 ns,    --wekkertijd -> led
86      "0000" after 7568 ns,    --knoppen(3) = down
87      "0010" after 7728 ns,    --led -> led_toggle
88      "0000" after 7808 ns,    --led_toggle -> led
89      "1000" after 7968 ns,    --led -> geluid
90      "0000" after 8048 ns,    --knoppen(3) = down
91      "0010" after 8208 ns,    --geluid -> geluid_toggle
92      "0000" after 8288 ns,    --geluid_toggle -> geluid
93      "0001" after 8448 ns,    --geluid -> rust
94      "0000" after 8528 ns;    --done, done, done;
95
96      controller_pm: controller port map(clk, reset, knoppen, wekker, menu_signal);
97 end architecture;

```

## B.4.2. TESTBENCH VHDL MENU

```

1  -- Kevin Hill 4287592
2  -- De testbench voor de menu loopt alle states door
3
4  library IEEE;

```

```

5 use IEEE.std_logic_1164.ALL;
6 use IEEE.Numeric_Std.all;
7
8 architecture behaviour of menu_test is
9 component menu is      --component initialiseren, met de volgende in/uitgangen:
10     port (clk           :in      std_logic;
11           reset         :in      std_logic;
12           knoppen       :in      std_logic_vector (3 downto 0);    --dit zijn de fysieke
13               knoppen
14           wekdata        :in      std_logic_vector (15 downto 0);    --komt bij het
15               register vandaan
16           enable        :out     std_logic;
17           wekker         :out     std_logic_vector (15 downto 0);
18           menu_signal    :out     std_logic_vector (2 downto 0)); --voor de LCD'
19 end component menu;
20
21 signal clk, reset, enable : std_logic;
22 signal menu_signal        : std_logic_vector (2 downto 0);
23 signal knoppen,minuten_enkel,uren_enkel : std_logic_vector (3 downto 0);
24 --signalen voor de port map
25 signal wekdata, wekker : std_logic_vector (15 downto 0);
26 --signal uren : std_logic_vector (5 downto 0);
27 --signal minute : std_logic_vector (6 downto 0);
28 signal uren_dubble : std_logic_vector (1 downto 0);
29 signal minuten_dubble : std_logic_vector (2 downto 0);
30
31 begin
32     clk <= '1' after 0 ns,
33         '0' after 20 ns when clk /= '0' else '1' after 20 ns;
34
35     reset <= '1' after 0 ns, --knoppen(0) = menu;
36         '0' after 62 ns;      --knoppen(1) = set;
37                               --knoppen(2) = up;
38
39     knoppen <= "0000" after 0 ns, --knoppen(3) = down
40         "0010" after 68 ns, --rust -> wekker_toggle
41         "0010" after 108 ns, --wekker_toggle -> rust
42         "0001" after 148 ns, --rust -> wekkertijd
43         "0001" after 188 ns, --wekkertijd -> rust
44         "0001" after 228 ns, --rust -> wekkertijd
45         "0010" after 268 ns, --wekkertijd -> uren_set
46         "0100" after 308 ns, --uren_set -> uren_plus
47         "0000" after 348 ns, --uren_plus -> uren_set
48         "1000" after 388 ns, --uren_set -> uren_min
49         "0000" after 428 ns, --uren_min -> uren_set
50         "0001" after 468 ns, --uren_set -> rust
51         "0001" after 508 ns, --rust -> wekkertijd
52         "0010" after 548 ns, --wekkertijd -> uren_set
53         "0010" after 588 ns, --uren_set -> minuten_set
54         "0100" after 628 ns, --minuten_set -> minuten_plus
55         "0000" after 668 ns, --minuten_plus -> minuten_set
56         "1000" after 708 ns, --minuten_set -> minuten_min
57         "0000" after 748 ns, --minuten_min -> minuten_set
58         "0001" after 788 ns, --minuten_set -> rust
59         "0001" after 828 ns, --rust -> wekkertijd
60         "0010" after 868 ns, --wekkertijd -> uren_set
61         "0010" after 908 ns, --uren_set -> minuten_set
62         "0010" after 948 ns, --minuten_set -> wekkertijd EIGENLIJK GAAT DIT NAAR RUST TOE
63         "0001" after 988 ns, --rust -> wekkertijd
64         "1000" after 1028 ns, --wekkertijd -> led
65         "0001" after 1068 ns, --led -> rust
66         "0001" after 1108 ns, --rust -> wekkertijd
67         "0100" after 1148 ns, --wekkertijd -> geluid
68         "0100" after 1188 ns, --geluid -> led
69         "0100" after 1228 ns, --led -> wekkertijd
70         "1000" after 1268 ns, --wekkertijd -> led
71         "1000" after 1308 ns, --led -> geluid
72         "1000" after 1348 ns, --geluid -> wekkertijd
73         "1000" after 1388 ns, --wekkertijd -> led
74         "0010" after 1428 ns, --led -> led_toggle
75         "0000" after 1468 ns, --led_toggle -> led

```

```

73     "1000" after 1508 ns, --led -> geluid
74     "0010" after 1548 ns, --geluid -> geluid_toggle
75     "0000" after 1588 ns, --geluid_toggle -> geluid
76     "0001" after 1628 ns, --geluid -> rust
77     "0000" after 1668 ns; --done, done, done;
78
79
80     uren <= wekker(12 downto 7);
81     minuten <= wekker(6 downto 0);
82     wekdata <= "0000100001000000" after 20 ns;
83
84
85     menu_pm: menu port map(clk, reset, knoppen, wekdata, enable, wekker, menu_signal); --de
        daadwerkelijke port map
86 end architecture;

```

### B.4.3. TESTBENCH VHDL GEHEUGEN

```

1  -- Rens Hamburger 4292936
2  -- Testbench voor de 16 bit geheugen element met een positief enable signaal
3  library IEEE;
4  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
5
6  architecture behaviour of geheugen_tb is
7  component geheugen is
8      port (clk      :in      std_logic;
9            reset    :in      std_logic;
10           enable   :in      std_logic;
11           wek_in   :in      std_logic_vector(15 downto 0);
12           wek_out  :out     std_logic_vector(15 downto 0));
13 end component geheugen;
14
15 signal clk,enable,reset      : std_logic;
16 signal wek_in,wek_out       : std_logic_vector(15 downto 0);
17
18
19 begin
20     clk      <= '0' after 0 ns,
21              '1' after 20 ns when clk /= '1' else '0' after 20 ns;
22
23     reset    <= '1' after 0 ns,
24              '0' after 85 ns;
25
26
27     enable <= '0' after 0 ns,
28              '1' after 150 ns,
29              '0' after 290 ns,
30              '1' after 590 ns;
31
32     wek_in <= "0000000000000001" after 0 ns,
33              "0000000000000010" after 70 ns,
34              "0000000000000011" after 110 ns,
35              "0000000000000100" after 150 ns,
36              "0000000000000101" after 190 ns,
37              "0000000000000110" after 230 ns,
38              "0000000000000111" after 270 ns,
39              "0000000000001000" after 310 ns,
40              "0000000000001001" after 350 ns,
41              "0000000000001010" after 390 ns,
42              "0000000000001011" after 430 ns,
43              "0000000000001100" after 470 ns,
44              "0000000000001101" after 510 ns,
45              "0000000000001110" after 550 ns,
46              "0000000000001111" after 590 ns,
47              "0000000000010000" after 630 ns,
48              "0000000000010001" after 680 ns,
49              "0000000000010010" after 735 ns,
50              "0000000000010111" after 779 ns;
51
52     geheugen_pm: geheugen port map(clk,reset,enable,wek_in,wek_out);
53 end behaviour;

```

### B.4.4. TESTBENCH VHDL BUFFER

```

1  -- Rens Hamburger 4292936
2  -- Testbench om de buffer te testen
3  library IEEE;
4  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
5
6  architecture behaviour of buff_tb is
7  component buff is
8      port (clk          :in    std_logic;
9            reset        :in    std_logic;
10           knoppen_in   :in    std_logic_vector(3 downto 0);
11           knoppen_out  :out    std_logic_vector(3 downto 0));
12 end component buff;
13
14 signal clk,enable,reset      : std_logic;
15 signal knoppen,knoppjes     : std_logic_vector(3 downto 0);
16
17
18 begin
19     clk      <= '0' after 0 ns,
20             '1' after 20 ns when clk /= '1' else '0' after 20 ns;
21
22     reset    <= '1' after 0 ns,
23             '0' after 85 ns;
24
25     knoppen <= "0000" after 0 ns,
26             "1111" after 100 ns,
27             "0000" after 150 ns,
28             "1000" after 190 ns,
29             "0000" after 240 ns,
30             "0001" after 290 ns;
31
32     buff_pm: buff port map(clk,reset,knoppen,knoppjes);
33 end behaviour;

```

## B.5. VHDL CODE VAN HET ALARM

### B.5.1. ENTITY ALARM-COMPARE

```

1  library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
3
4  entity compare is
5      port (clk          :in    std_logic;
6            reset        :in    std_logic;
7            tijd_uur     :in    std_logic_vector(4 downto 0);
8            tijd_min     :in    std_logic_vector(5 downto 0);
9            wekker_uur   :in    std_logic_vector(4 downto 0);
10           wekker_min   :in    std_logic_vector(5 downto 0);
11           stop_alarm   :in    std_logic;
12           geluid        :out    std_logic;
13           licht         :out    std_logic);
14 end compare;

```

### B.5.2. BEHAVIOURAL ALARM-COMPARE

```

1  library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
3  use IEEE.numeric_std.ALL;
4
5  architecture behaviour of compare is
6      type comp_state is (steady, start, final);
7      signal state, new_state: comp_state;
8      signal alarm_uur: std_logic_vector(4 downto 0);
9      signal alarm_min: std_logic_vector(5 downto 0);
10 begin
11     lbl1: process (clk)
12     begin
13         if (clk'event and clk = '1') then
14             if (reset = '1') or (stop_alarm = '1') then

```

```

15         state <= steady;
16         alarm_min <= std_logic_vector(to_unsigned(0, 6));
17         alarm_uur <= std_logic_vector(to_unsigned(0, 5));
18     else
19         if (to_integer(unsigned(wekker_min)) > 14) then
20             alarm_min <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(unsigned(wekker_min)
21                 ) - 15, 6));
22             alarm_uur <= wekker_uur;
23         else
24             alarm_min <= std_logic_vector(to_unsigned(60 - (15-to_integer(unsigned(
25                 wekker_min))), 6));
26             if (to_integer(unsigned(wekker_uur)) = 0) then
27                 alarm_uur <= std_logic_vector(to_unsigned(23, 5));
28             else
29                 alarm_uur <= std_logic_vector(to_unsigned(to_integer(unsigned(
30                     wekker_uur)) - 1, 5));
31             end if;
32         end if;
33     state <= new_state;
34 end if;
35 end process;
36 lbl2: process (state, alarm_min, alarm_uur, wekker_uur, wekker_min, tijd_min, tijd_uur)
37 begin
38     case state is
39         when steady =>
40             geluid <= '0';
41             licht <= '0';
42             if (alarm_min = tijd_min) and (alarm_uur = tijd_uur) then
43                 new_state <= start;
44             else
45                 new_state <= steady;
46             end if;
47         when start =>
48             geluid <= '0';
49             licht <= '1';
50             if (wekker_uur = tijd_uur) and (wekker_min = tijd_min) then
51                 new_state <= final;
52             else
53                 new_state <= start;
54             end if;
55         when final =>
56             geluid <= '1';
57             licht <= '1';
58             new_state <= final;
59         when others =>
60             geluid <= '0';
61             licht <= '1';
62             new_state <= state;
63     end case;
64 end process;
65 end behaviour;

```

### B.5.3. TOP ENTITY ALARM

```

1 library IEEE;
2 use IEEE.std_logic_1164.ALL;
3
4 entity alarm is
5     port (clk      :in    std_logic;
6           reset    :in    std_logic;
7           sec      :in    std_logic;
8           licht    :in    std_logic;
9           pwm_signal:out   std_logic);
10 end alarm;

```

### B.5.4. BEHAVIOURAL ALARM

```

1 library IEEE;
2 use IEEE.std_logic_1164.ALL;
3

```



```

4  architecture behaviour of alarm is
5  component counter
6      port( clk      :in      std_logic;
7            reset    :in      std_logic;
8            sec      :in      std_logic;
9            licht    :in      std_logic;
10           length:out      std_logic_vector(5 downto 0));
11 end component;
12 component pwm
13     port( clk      :in      std_logic;
14           reset    :in      std_logic;
15           length:in      std_logic_vector(5 downto 0);
16           pwm_signal :out      std_logic);
17 end component;
18 signal length : std_logic_vector (5 downto 0);
19 begin
20     counter_1 : counter port map (clk => clk, reset => reset, sec => sec, licht => licht,
21                                  length => length);
22     pwm_1 : pwm port map (clk => clk, reset => reset, length => length, pwm_signal =>
23                           pwm_signal);
24 end behaviour;

```

### B.5.5. ENTITY ALARM-COUNTER

```

1  library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
3
4  entity counter is
5      port(clk      :in      std_logic;
6            reset    :in      std_logic;
7            sec      :in      std_logic;
8            licht    :in      std_logic;
9            length:out      std_logic_vector(5 downto 0));
10 end counter;

```

### B.5.6. BEHAVIOURAL ALARM-COUNTER

```

1  library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
3  use IEEE.numeric_std.ALL;
4
5  architecture behaviour of counter is
6      type counter_state is (init, laag, hoog);
7      signal count, new_count: unsigned(3 downto 0);
8      signal length2, new_length2: unsigned(5 downto 0);
9      signal state, new_state: counter_state;
10 begin
11     length <= std_logic_vector(new_length2);
12     lbl1: process(clk)
13     begin
14         if (clk'event and clk = '1') then
15             if (reset = '1') or (licht = '0') then
16                 state <= init;
17                 count <= (others => '0');
18             else
19                 state <= new_state;
20                 count <= new_count;
21             end if;
22             length2 <= new_length2;
23         end if;
24     end process;
25     lbl2: process(sec, count, length2)
26     begin
27         case state is
28             when init =>
29                 new_length2 <= (others => '1');
30                 new_count <= (others => '0');
31                 new_state <= laag;
32             when laag =>
33                 if (sec = '1') then
34                     if (count = "1111") then

```

```

35         new_count <= "0001";
36         if (length2 /= 0) then
37             new_length2 <= length2 -1;
38         else
39             new_length2 <= length2;
40         end if;
41     else
42         new_count <= count + 1;
43         new_length2 <= length2;
44     end if;
45     new_state <= hoog;
46 else
47     new_count <= count;
48     new_length2 <= length2;
49     new_state <= laag;
50 end if;
51 when hoog =>
52     if (sec = '0') then
53         new_state <= laag;
54     else
55         new_state <= hoog;
56     end if;
57     new_count <= count;
58     new_length2 <= length2;
59 when others =>
60     new_count <= count;
61     new_length2 <= length2;
62     new_state <= hoog;
63 end case;
64 end process;
65 end behaviour;

```

### B.5.7. ENTITY ALARM-PWM

```

1  library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
3
4  entity pwm is
5      port (clk      :in    std_logic;
6            reset    :in    std_logic;
7            length:in    std_logic_vector(5 downto 0);
8            pwm_signal :out  std_logic);
9  end pwm;

```

### B.5.8. BEHAVIOURAL ALARM-PWM

```

1  library IEEE;
2  use IEEE.std_logic_1164.ALL;
3  use IEEE.numeric_std.ALL;
4
5  architecture behaviour of pwm is
6      type pwm_state is (hoog, laag, res_state);
7      signal counter, new_counter: unsigned(5 downto 0);
8      signal state, new_state: pwm_state;
9  begin
10     lbl1: process(clk)
11     begin
12         if (clk'event and clk = '1') then
13             if (reset = '1') then
14                 state <= res_state;
15                 counter <= (others => '0');
16             else
17                 state <= new_state;
18                 counter <= new_counter;
19             end if;
20         end if;
21     end process;
22     lbl2: process(counter, length, state)
23     begin
24         case state is
25             when res_state =>

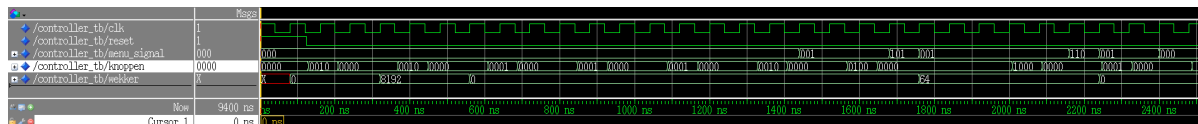
```

```
26         pwm_signal <= '0';
27         new_counter <= (others => '0');
28         new_state <= laag;
29     when laag =>
30         pwm_signal <= '0';
31         new_counter <= counter + 1;
32         if (unsigned(length) <= counter) then
33             new_state <= hoog;
34         else
35             new_state <= laag;
36         end if;
37     when hoog =>
38         pwm_signal <= '1';
39         new_counter <= counter + 1;
40         if (unsigned(length) <= counter) then
41             new_state <= laag;
42         else
43             new_state <= laag;
44         end if;
45     when others =>
46         pwm_signal <= '0';
47         new_counter <= counter;
48         new_state <= laag;
49     end case;
50 end process;
51 end behaviour;
```

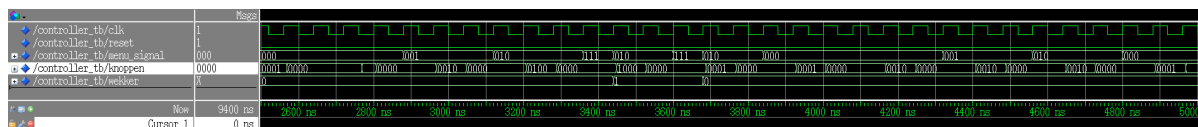
# C

## SIMULATIES RESULTATEN VAN DE CONTROLLER

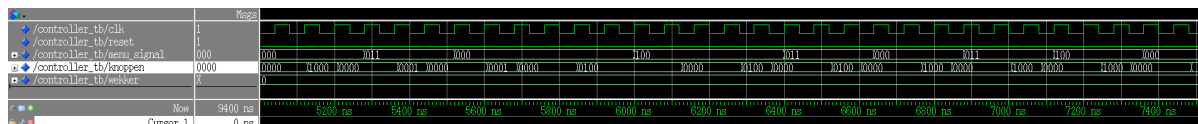
### C.1. BEHAVIORAL SIMULATIE



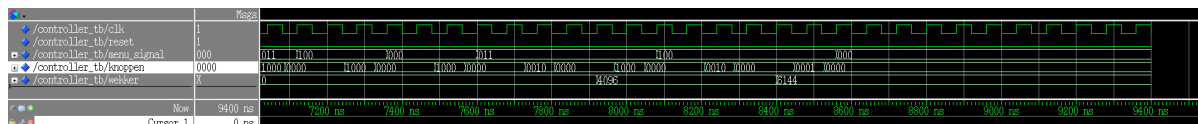
Figuur C.1: Simulatie van 0 tot 2500ns



Figuur C.2: Simulatie van 2500ns tot 5000ns

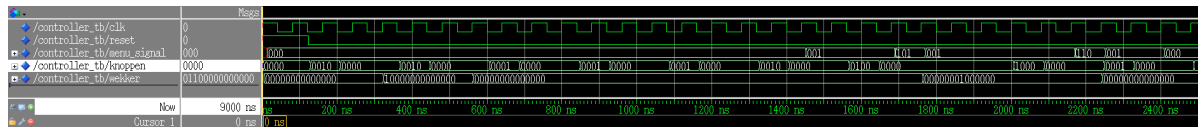


Figuur C.3: Simulatie van 5000ns tot 7500ns

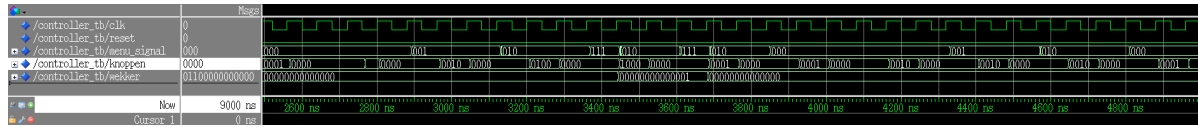


Figuur C.4: Simulatie van 7500ns tot het einde

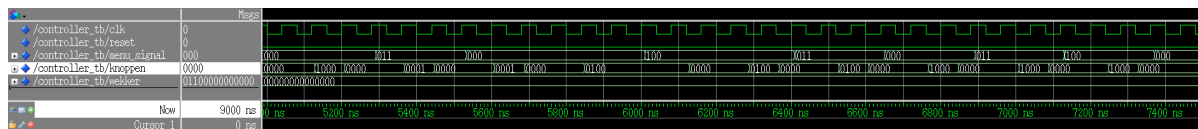
## C.2. SYNTHESIZE SIMULATIE



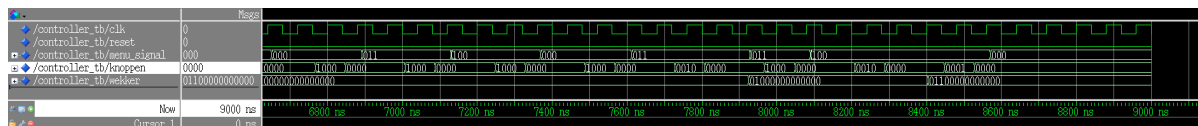
Figuur C.5: Simulatie van 0 tot 2500ns



Figuur C.6: Simulatie van 2500ns tot 5000ns

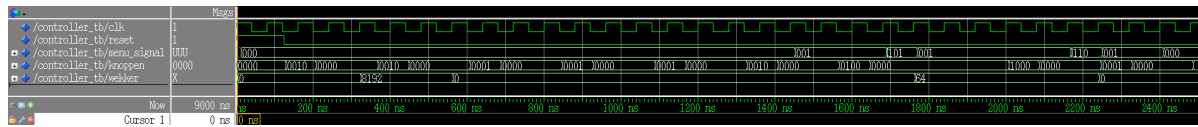


Figuur C.7: Simulatie van 5000ns tot 7500ns

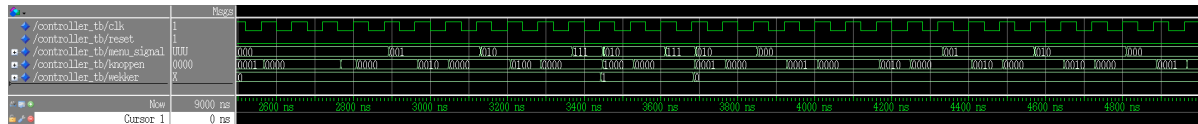


Figuur C.8: Simulatie van 7500ns tot het einde

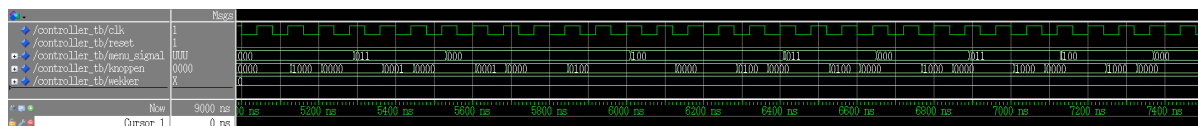
## C.3. EXTRACTED SIMULATIE



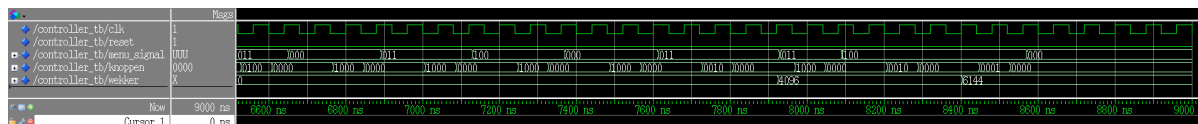
Figuur C.9: Simulatie van 0 tot 2500ns



Figuur C.10: Simulatie van 2500ns tot 5000ns



Figuur C.11: Simulatie van 5000ns tot 7500ns



Figuur C.12: Simulatie van 7500ns tot het einde



# BIBLIOGRAFIE

- [1] Wikipedia, [Dcf77](#), Geraadpleegd op 08-12-2014, url: [en.wikipedia.org/wiki/DCF77](http://en.wikipedia.org/wiki/DCF77).
- [2] Physikalisch-Technische Bundesanstalt (PTB), [Dcf77 zeitkode](#), Geraadpleegd op 08-12-2014, url: [www.ptb.de/cms/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-442/verbreitung-der-gesetzlichen-zeit/dcf77/zeitcode.html](http://www.ptb.de/cms/fachabteilungen/abt4/fb-44/ag-442/verbreitung-der-gesetzlichen-zeit/dcf77/zeitcode.html).
- [3] C. J. Wells, [Mathematics - number systems - binary-coded-decimal](#), Geraadpleegd op 12-12-2014, url: [www.technologyuk.net/mathematics/number\\_systems/binary\\_coded\\_decimal.shtml](http://www.technologyuk.net/mathematics/number_systems/binary_coded_decimal.shtml).