

Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca  
Facultatea de Automatică și Calculatoare  
Structura Sistemelor de Calcul

## Măsurarea și afișarea temperaturii cu senzorul de temperatură de pe placa Nexys 4 DDR

Profesor îndrumător:  
Daniela Fati

Student:  
Dunca Denisa Mihaela  
Grupa: 30237

2021-2022

## Cuprins

1. Rezumat .....	3
2. Introducere.....	4
2.1 Context.....	4
2.2 Domeniul de studiu .....	4
2.3 Problema de rezolvat.....	5
2.4 Soluția propusă.....	5
2.5 Secțiunile următoare .....	5
3. Fundamentare teoretică.....	6
3.1 Placa Nexys4 DDR .....	6
3.2 Inter-Integrated Circuit .....	6
3.3 Senzor de temperatură ADT740 .....	8
3.4 Afișor pe 7 segmente .....	9
4. Proiectare și implementare .....	10
4.1 Metoda experimentală.....	10
4.2 Soluția aleasă .....	10
4.3 Arhitectura generală a sistemului.....	10
4.4 Automatul de stări pentru I2C.....	13
4.5 Automatul de stări pentru temp.....	14
5. Rezultate experimentale .....	15
6. Concluzii.....	16
7. Bibliografie.....	17

## **1. Rezumat**

Proiectul de față a avut ca și scop măsurarea temperaturii de pe placa Nexys 4 DDR utilizând senzorul de temperatură de pe placă ADT7420 și afișarea acesteia pe afișorul pe 7 segmente de pe placă. Implementarea acestui proiect s-a făcut utilizând protocolul I2C (Inter-Integrated Circuit), iar obiectivele principale ale acestui proiectului au fost interconectarea mai multor circuite pentru a îndeplini scopul propus, colectarea și procesarea datelor venite de la senzorul de temperatura a plăcii și oferirea unui mod ușor de observare a datelor prin intermediul afișorului pe 7 segmente. Pentru obținerea scopului propus, a fost utilizat limbajul de programare VHDL, iar ca mediu integrat de programare a fost utilizată aplicația Vivado 2016.4. Rezultatele proiectului pot fi ușor observabile prin conectarea plăcuței la mediul de lucru și integrarea codului, astfel temperatura detectată de senzor poate fi ușor citită de pe afișor.

## **2. Introducere**

### **2.1 Context**

Proiectul -Măsurarea și afișarea temperaturii cu senzorul de temperatură de pe placa Nexys 4 DDR- este un proiect din cadrul materiei Structura Sistemelor de Calcul și are ca și principale puncte de reper utilizarea limbajului VHDL, a senzorului de temperatură ADT7420 și a interfeței I2C pentru comunicația cu senzorul. Desigur, implementarea trebuie făcută pe placa Digilent Nexys 4 DDR.

Ca și context pentru aplicația de față se poate considera implementarea interfeței I2C, întrucât, prin acest proiect se poate prezenta modul de utilizarea a unei astfel de interfețe exemplificat printr-o aplicație practică și anume observarea temperaturii. Citirea temperaturii de pe un afișor are diverse întrebuințări fiind des folosită în viața de zi cu zi și în diferite domenii de activitate.

### **2.2 Domeniul de studiu**

Structura sistemelor de calcul urmărește și introducerea de informații legate de electronica embedded care presupune interconectare de circuite pentru a crea un sistem simbiotic. Acest sistem se poate forma utilizând atât interfețe asincrone, cât și interfețe sincrone, cele din urmă fiind obiectul de studiu al acestui proiect. Interfețele sincrone, după cum sugerează și numele, sunt interfețe care au un semnal de ceas unic la ambele capete ale transferului de informații, este o interfață mai rapidă, dar are nevoie de un fir în plus pentru transmiterea semnalului de ceas. Principalele interfețe sincrone sunt SPI și I2C. Este important de luat în considerare scopul acestor interfețe și anume comunicarea între circuite de tip master și circuite de tip slave.

Plăcuța de FPGA, cea pe care este dezvoltat acest proiect este un circuit logic programabil după cum îi spune și numele Field-Programmable Gate Array, ce poate fi ușor programat atât în domenii importante cât și în cadrul studiului, printr-un limbaj de programare specific precum limbajul VHDL. [2] Plăcuțele de tip FPGA au mai multe versiuni și sunt de mai multe tipuri, cea pe care se dezvoltă proiectul de față este, după cum spune și titlul, versiunea Nexys4 DDR. Limbajul de programare VHDL este un limbaj folosit pentru programare hardware destinat descrierii arhitecturii diferitelor module electronice logice. Acronimul vine de la Very High Speed Integrated Circuit Hardware Description Language.

Senzorul de temperatura ADT7420 este un senzor digital de temperatură ce este implementat pe plăcuțele de FPGA, acesta este alcătuit dintr-o bandă internă, un senzor de temperatură și 16 biți ADC pentru a monitoriza temperatura și funcționează la tensiuni de alimentare între 2,7 V și 5,5 V. Interfața I2C ( Inter-Integrated Circuit) este o magistrală care transmite datele în serie de la circuite de tip master la circuite de tip slave. Busurile interfeței I2C sunt alcătuite dintr-un semnal de ceas SCL și un semnal de date SDA, iar semnalul de ceas este generat de bus-ul masterului. Câteva aspecte bune în ceea ce privește senzorul ADT7420 sunt: ușurința de utilizare, fără calibrare sau corecție necesară de utilizator, consumul redus de energie, stabilitatea și fiabilitatea pe termen lung și precizie ridicată.

## **2.3 Problema de rezolvat**

Problema de rezolvat a acestui proiect este realizarea unui sistem simbiotic de transmitere a datelor venite de la un senzor de temperatură spre utilizator, aceste date putând fii observate ușor direct de pe plăcuță prin intermediul afișorului. Rezolvarea acestei probleme s-a făcut cu ajutorul interfeței I2C deoarece utilizează două semnale de linie de magistrală, adică SDA (linie de date in serie) și SCL (linie de ceas serial). Prin natura sa SD este bidirecțională, iar SCL este unidirecțională. Magistrala I2C este o magistrală orientată pe 8 biți și este formată din unul sau mai multe circuite de tip master și poate avea multe dispozitive slave.

Cele 3 obiective principale ale acestui proiect sunt utilizarea senzorului de temperatură de pe placă, utilizarea interfeței de comunicație I2C și implementarea prin limbaj VHDL astfel încât informația venită de la senzor să fie vizibilă pe afișorul de 7 segmente al plăcii.

## **2.4 Soluția propusă**

Este necesară proiectarea într-un limbaj de programare specific hardware, pentru proiect a fost ales VHDL, s-a folosit protocolul I2C ca și circuit master și senzorul de temperatură ca și circuit de tip slave. Se face un proces de transmitere a datelor în care masterul citește de la registrul temperaturii și trimite spre afișorul de pe placă.

Implementând magistrala I2C pe placa de FPGA oferă mai multă simplitate pentru că aceasta necesită doar două fire și un număr mai mic de pini, astfel pentru problema cu citirea temperaturii, implementarea magistralei I2C se potrivește cât se poate de bine.

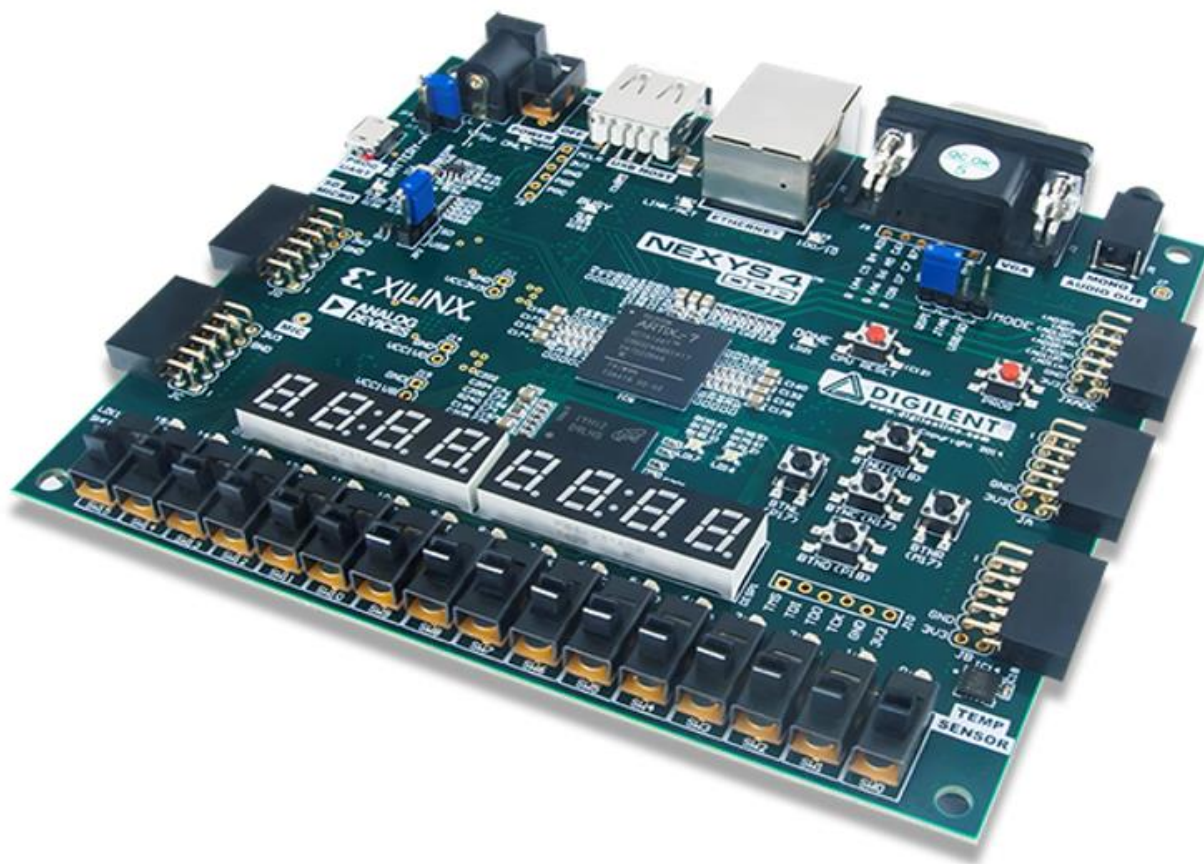
## **2.5 Secțiunile următoare**

Se vor explica în amănunt tot ceea ce înseamnă informație teoretică precum modele, metode și tehnologii utilizate în secțiunea Fundamentare teoretică. În secțiunea Proiectare și implementare sunt prezentate cele mai importante amănunte ale proiectului precum și descrierea fiecărei etape parcurse pentru a realiza proiectul. Rezultatele experimentale din secțiunea cu același nume cuprinde aplicarea proiectului, iar în secțiune Concluzii, câteva cuvinte sumative și eventualele îmbunătățiri care pot fi aduse proiectului.

### 3. Fundamentare teoretică

#### 3.1 Placa Nexys4 DDR

Placa Nexys4 DDR utilizată în acest proiect este o platformă de dezvoltare de circuite digitală bazată pe Artix 7 FPGA de la Xilinx. Placa este dotată cu memorii externe generoase, porturi USB și Ethernet, O mulțime de periferice încorporate printre care accelerometru, microfon, difuzor, dispozitive de intrare/ieșire și desigur, senzorul de temperatură utilizat în proiect. De asemenea, plăcuța are un 8 afișoare de 7 segmente, 16 switch-uri 5 butoane, 16 LED-uri. [1]



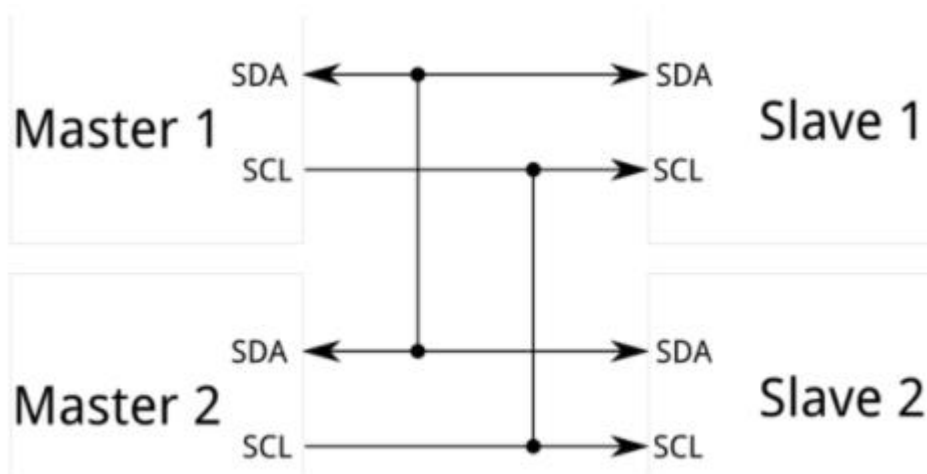
Figură 1: Plăcuța Nexys4

#### 3.2 Inter-Integrated Circuit

Un alt fundament teoretic pe care trebuie să se pună accent în cadrul acestei secțiuni este Protocolul Inter-Circuit. I2C combină cele mai bune caracteristici ale SPI și UART, și permite comunicația dintre un circuit master și unul sau mai multe circuite de tip slave. Acest tip de comunicare poate fi folosit doar pe distanțe mici de comunicare și are nevoie de 2 fire de semnal pentru a trimite și primi informații. [5]

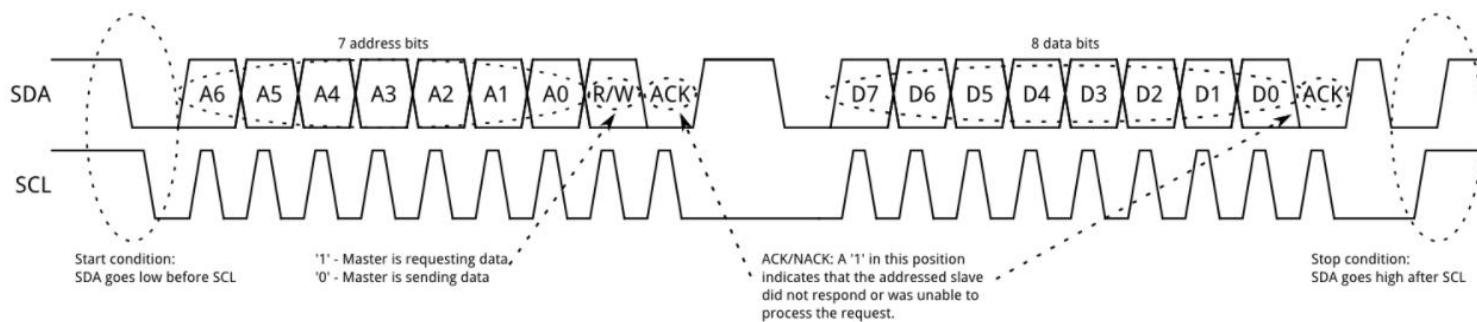
I2C necesită două fire pentru comunicare și poate suporta până la 1008 dispozitive de tip slave și pot exista mai multe dispozitive de tip master la un bus. Fiecare bus I2C este compus din două semnale SCL (semnal de ceas) și SDA (semnal de date). SCL este mereu generat de bus-ul masterului curent, iar fiecare bus suporta până la 112 dispozitive care trebuie să distribuie GND.

Mesajele transmise în cadrul acestui protocol sunt împărțite în două tipuri de cadre: cadre de date și cadre de adresa. Cadrele de date conțin mesaje pe 8 biți direcționale de la master spre slave și invers, iar cadrele de adresă conțin adresa dispozitivului de tip slave, la care master-ul trimite mesajul. Când SCL este pe low datele sunt puse pe linia SDA, când este pe high, datele sunt eșantionate, iar pentru a iniția cadrul de adresă master-ul pune SCL pe high și SDA pe low.



Figură 2: Comunicatie Master Slave I2C

Când începe o comunicare, cadrul de adresă este mereu primul. Se trimit sincron biții de adresă, apoi se trimite un semnal de tip r/w pe biți. Există și un bit destinat ambelor cadre, de adresă și de date numit NACK/ACK. După ce sunt trimiși primii 8 biți, dispozitivul receptor primește control asupra SDA-ului. Masterul va genera impulsuri de ceas regulate, iar datele vor fi plasate pe SDA, fie de master fie de slave în funcție de biții R/W trimiși.[5]



Figură 3: Protocol de comunicare I2C



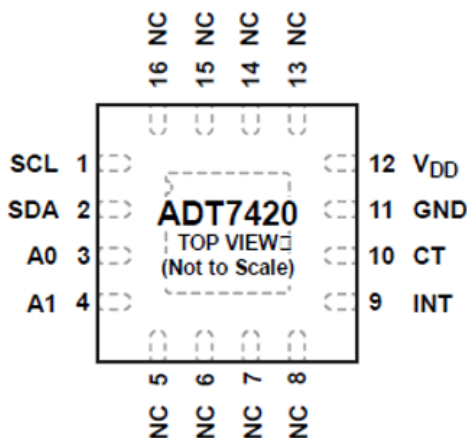
### 3.3 Senzor de temperatură ADT740

Senzorul de temperatură ADT7420 este un senzor digital de precizie ridicată ce conține o bandă internă de referință, un senzor de temperatură și un convertor analog la digital pe 16 biți. Acesta monitorizează temperatura la o rezoluție de  $+0.0078^{\circ}\text{C}$  este un mod programabil de utilizator care poate fi schimbat prin interfața serială.

Câteva dintre caracteristicile senzorului de temperatură sunt:

- Performanță ridicată: temperatură precisă
- Ușor de implementat: nu necesită corectare de la utilizator
- Compatibilitate cu protocolul I2C
- Economisire energie
- Domenii largi de operare
- Gama de tensiune: 2,7 V până la 5,5 V [2]

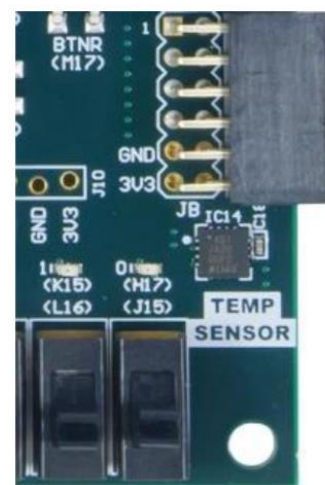
Configurarea pinilor



Figură 4: Pinii senzorului ADT720

Legendă:

- NC = No Connect
- SCL = Serial Clock Input
- SDA = Serial Data Input
- A0, A1 = pini de adresă
- Vcc = tensiunea (între 2.7 V și 5.5 V)
- GND = masă
- CT = Critical Overtemperature
- INT = Overtemperature și undertemperature [2]



Figură 5: Senzorul de temperatură pe placuta Nexys4DDR





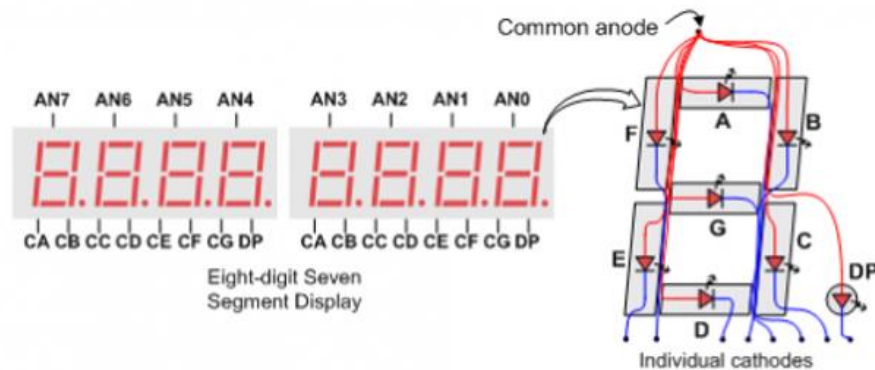
## UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA

Pentru a controla senzorul de temperatură ADT7420 este nevoie de o interfață serială precum I2C, senzorul este conectat la I2C ca și un dispozitiv de tip slave. Acesta are 7 biți de adresă din care 5 sunt MSB (most significant byte) care sunt conectați intern la 10010, iar ultimii 2 biți sunt LSB (least significant byte)

Protocolul serial bus are mai mulți pași, mai întâi masterul inițiază un transfer de date având desigur o condiție de start pe linia de date serială SDA, fiind o schimbare de la high la low, pe când pe linia de ceas serial, SCL rămâne mereu pe high indicând faptul ca este activ. Dispozitivele de tip slave răspund la starea de pornire și preiau 7 biți de adresă MSB și bitul de citire / scrie. Dispozitivul care are adresa corespunzătoare adresei trimise așteaptă să se scrie sau să se citească datele. (rw = 0, masterul scrie, rw=1 masterul citește). Când au fost citiți sau scriși toți biții de date, atunci se stabilesc condițiile de oprire. În modul de scriere, la cel de-al 10-lea impuls de ceas masterul pune sda pe high pentru a afirma condiția de oprire, iar în modul citire master-ul pune sda low înainte de cel de-al 10-lea impuls.

### 3.4 Afișor pe 7 segmente

Placa Nexys 4 DDR are și un afișor pe 7 segmente cu 8 cifre, fiecare dintre ele fiind activate semnal de anod activ pe 0 logic. Semnalele de catod controlează ledurile care se aprind pentru cifrele cu anodi activi. Fiecare dintre segmente care formează afișare sunt numite a, b, c, d, e, f și g sunt asamblate pentru a permite activarea fiecărui segment separat pentru a se obține o cifră.



Figură 6: Anodi afișor



Figură 7: Afișorul pe 7 segmente de pe placa Nexys4DDR

## 4. Proiectare și implementare

### 4.1 Metoda experimentală

Metoda experimentală utilizată este implementarea software utilizând codul VHDL, astfel în proiect au fost create mai multe surse pentru a defini întregul proiect: I2C reprezintă codul ce cuprinde modul de funcționare a automatului de stări specific interfeței, lucru implementat cu ajutorul organigramei din figura 14.

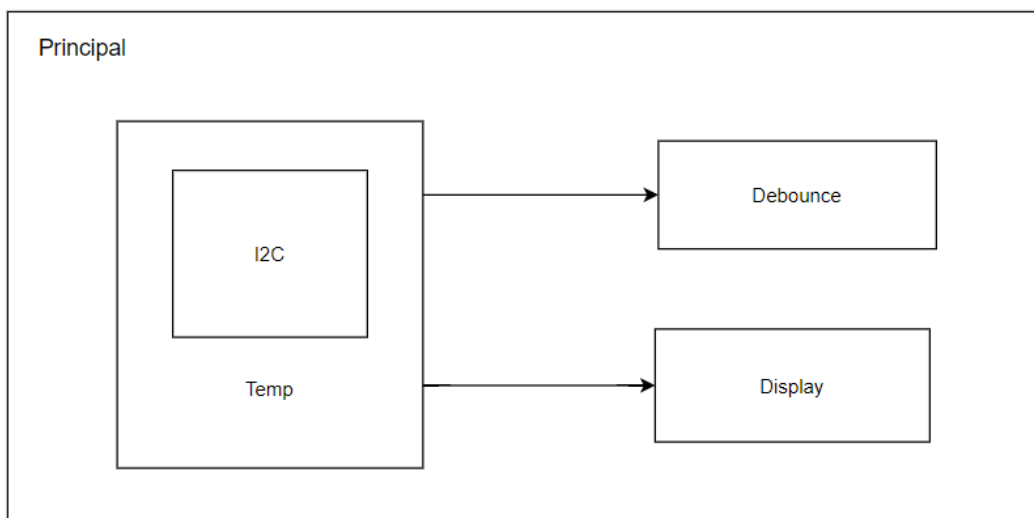
Modului temp care conține port map la I2C și codul pentru implementarea automatului de stări specific dispozitivului slave din proiect și anume senzorul de temperatura, implementare făcută după organigrama din figura 15.

Modulele displ7seg si debouncer importate din proiectele trecute, pentru afișorul cu 7 segmente de pe plăcuță, respectiv pentru debounce și butonul de reset, și, în final modulul principal care conține port map-urile celorlalte module.

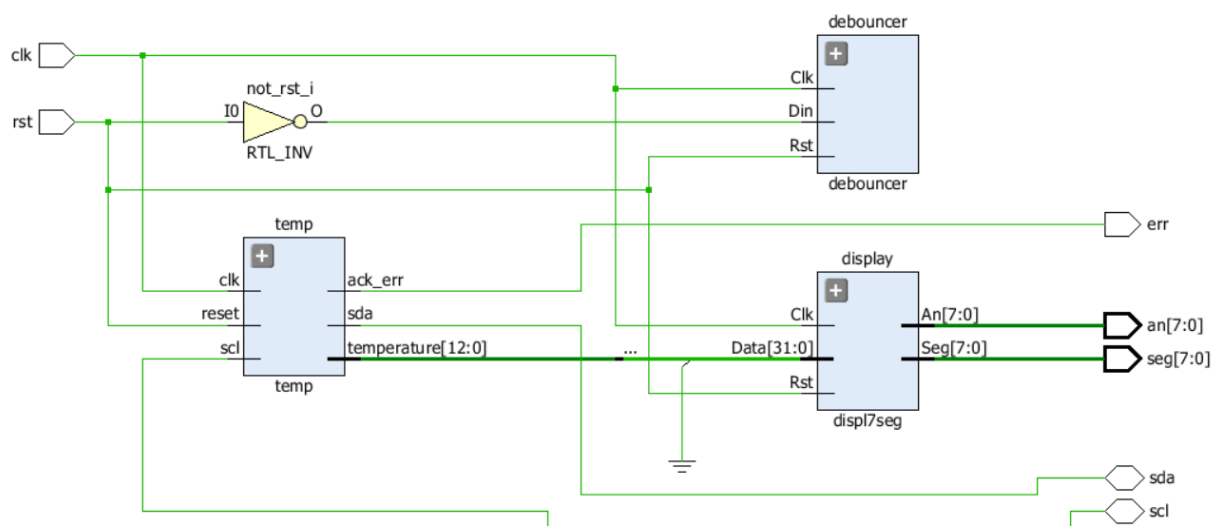
### 4.2 Soluția aleasă

Am ales implementarea senzorului de temperatură utilizând interfața I2C întrucât se poate observa în diferite datasheet-uri legătura stransă între acest tip de senzor și această interfață precum și eficiența oferită de această interfață datorită modului de comunicare între dispozitivele de tip master și cele de tip slave care se pliază foarte bine pe cerințele de implementare a senzorului ADT7420.

### 4.3 Arhitectura generală a sistemului



Figură 8: Schema bloc simplificată a proiectului



Figură 9: Arhitectura generală a întregului proiect (design)

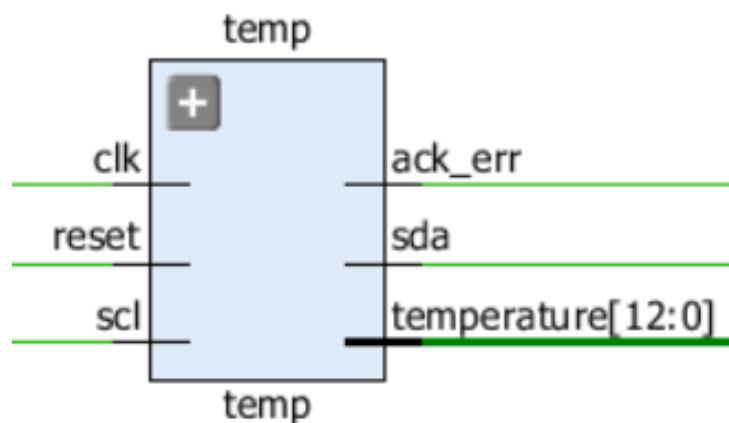
Arhitectura generală este alcătuită dintr-un modul de temperatura (cel care conține și modulul I2C), un debouncer și un display. În cele ce urmează se va vorbi despre fiecare modul în parte și la ce sunt utilizate intrările și ieșirile acestora. Toată schema are ca și intrări clk și reset la buton, iar ca și ieșiri bitul de eroare afișat la LED [0], SDA și SCL pentru comunicație precum și anozii și segmentii pentru afișor.

### Modulul Temp

Conține în interior o interfață I2C care permite comunicarea între master-slave, și cu ajutorul acestuia se transmite temperatura.

Ca și intrări sunt: clk, care este desigur clock-ul sistemului și reset care este folosit pentru resetare de la buton.

Ieșirile cuprind: SDA și SCL specifice interfeței I2C pentru comunicație, ieșirea pentru eroare și temperatura trimisă pe 13 biți.

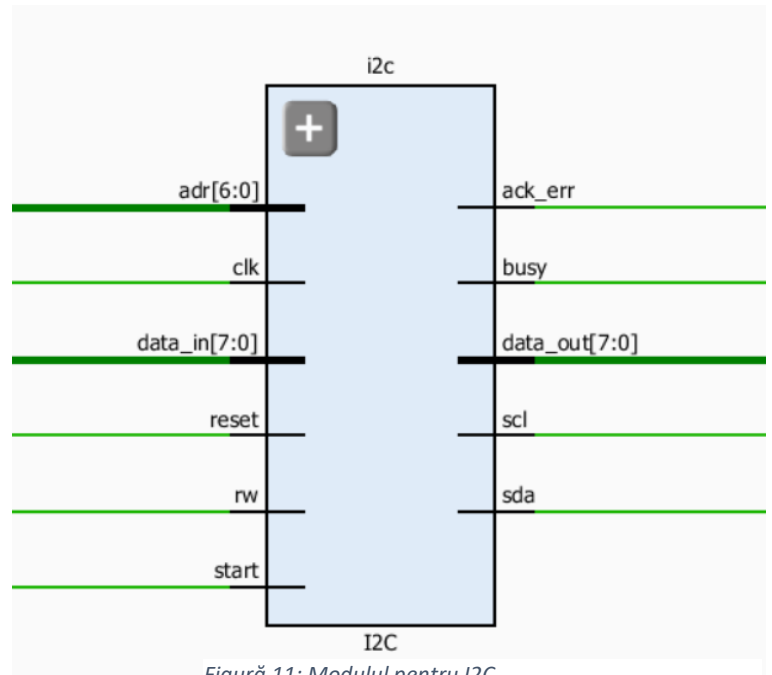


Figură 10: Modulul de sensor de temperatura

## Modulul I2C

Conține ca intrări: clk, reset, start (pentru a porni procesul), bitul de read-write, data\_in care este data care se scrie și este pe 8 biți și adr are este adresa specifică senzorului de temperatură și este pe 7 biți.

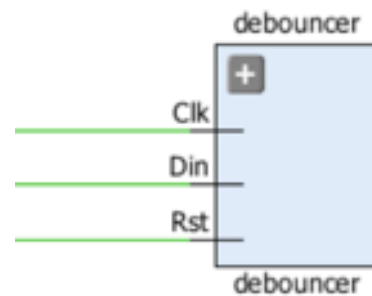
Ieșirile sunt: bitul de eroare, bitul de busy care arată dacă suntem sau nu în proces, data\_out care este data ce se citește de la slave, tot pe 8 biți și SCL și SDA, biții de comunicație.



Figură 11: Modulul pentru I2C

## Modulul de Debounce

Debouncing este orice tip de dispozitiv hardware sau software care asigură că numai un singur semnal va fi acționat pentru o singură deschidere sau închidere a unui contact. În acest proiect se folosește debounce pentru butonul de reset.



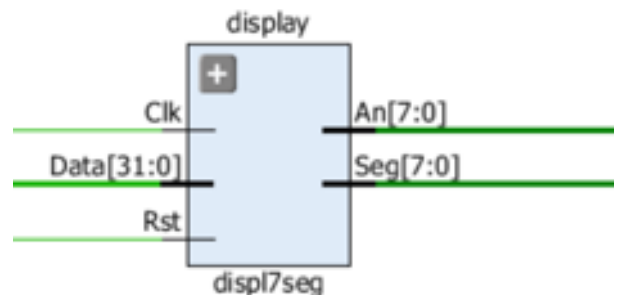
Figură 12: Modulul de debounce

## Modulul de display

Reprezintă legătura dintre temperatura calculată și afișorul cu 7 segmente de pe placă.

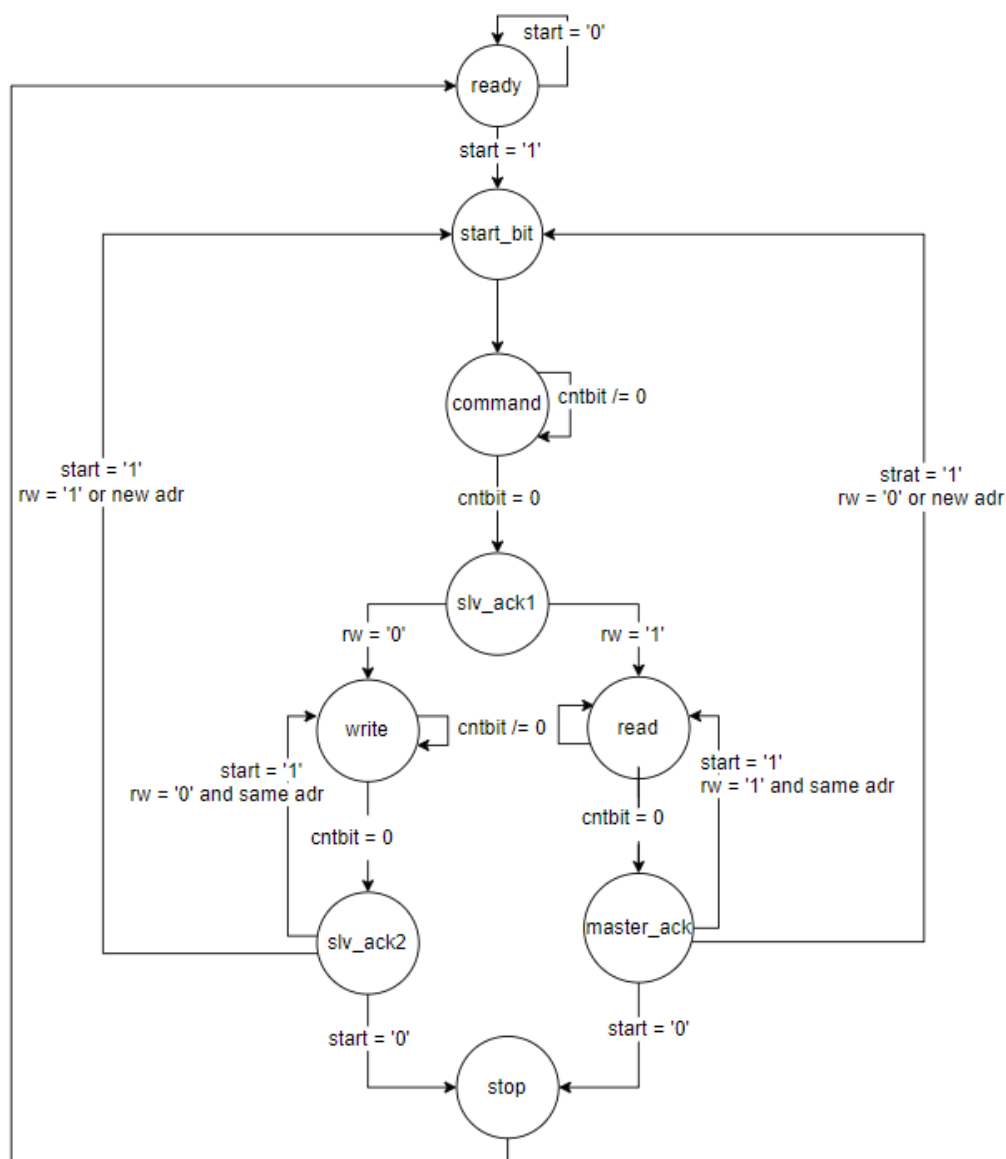
Are ca și intrări clock-ul, data care este pe 31 de biți, dar din care noi transmitem doar acei 13 biți veniți de la temperatură și rst pentru reset.

Ieșirile sunt desigur anozii și segmentele pe 8 biți fiecare.



Figură 13: Modulul de display

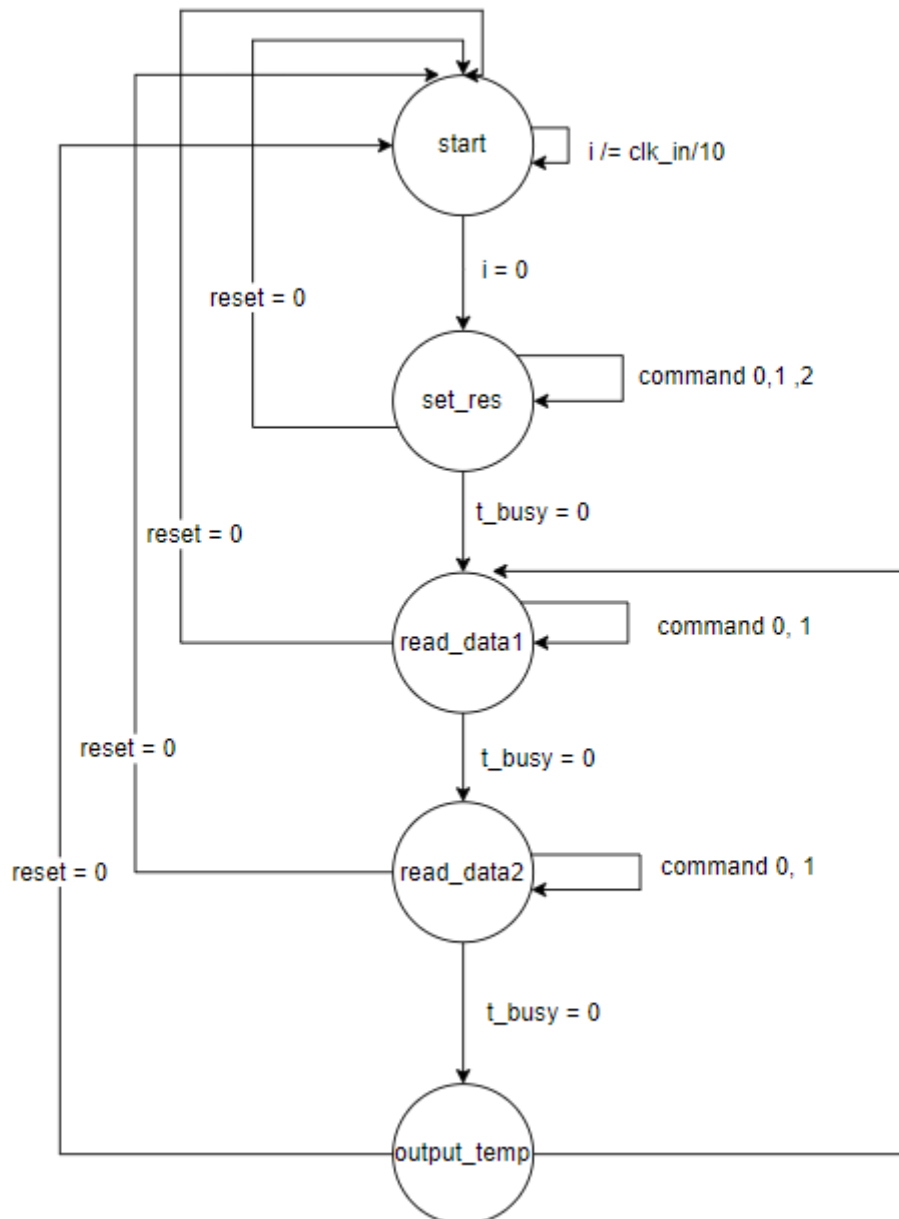
## 4.4 Automatul de stări pentru I2C



Figură 14: Automatul de stări pentru I2C

În starea ready se verifică bitul de start, dacă acesta este 1 se începe procesul și se trece în starea command. Aici se verifică bitul counter, dacă este diferit de 0 se rămâne în starea command, dacă este 0 se trece în starea slv\_ack1 unde se setează adresa senzorului de temperatură. Aici se așteaptă bitul de acknowledge de la senzor și în funcție de valoarea bitului rw 1 sau 0 se trece în starea de read, respectiv în starea de write. Atât în read, cât și în write se verifică bitul de acknowledge încă odată. Dacă bitul de start este 0 atunci se trece în starea stop care se întoarce la ready când se face reset, dacă bitul de start este 1 se trece înapoi în starea start\_bit.

## 4.5 Automatul de stări pentru temp



Figură 15: Automatul de stări pentru senzorul de temperatură

Se pornește din starea start, dacă  $i$  (un counter) este 0, se trece în set\_res, unde se setează cât de precisă să fie temperatura în funcție de rezoluțiile disponibile. Dacă  $t\_busy$  nu devine 1 și valoarea comenzii este 2, se trece în starea read\_data1, aici se citesc cei mai semnificativi biți a temperaturii (MSB), în funcție de valoarea comenzii știm în ce stare trecem, dacă aceasta devine





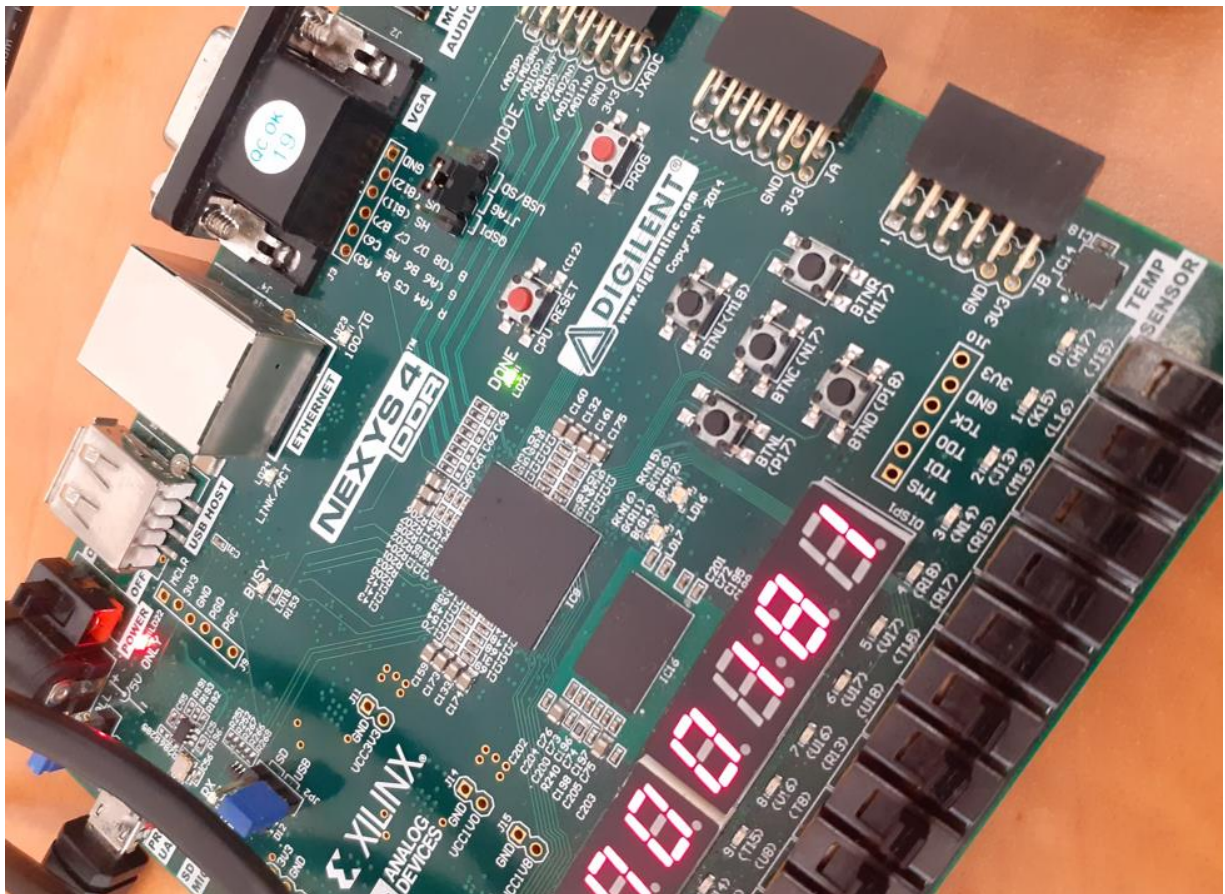
## UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA

1 se trece în starea `read_data2` unde se citesc biții mai puțin semnificativi a temperaturii (LSB). Ultima stare este `output_temp` stare care pune pe ieșire temperatura citită, datorită valorilor de la comandă se pot executa mai multe bucle pentru a se putea actualiza temperatura constant. De fiecare dată când `reset` devine 0, în oricare stare, ne întoarcem în starea de start.

### 5. Rezultate experimentale

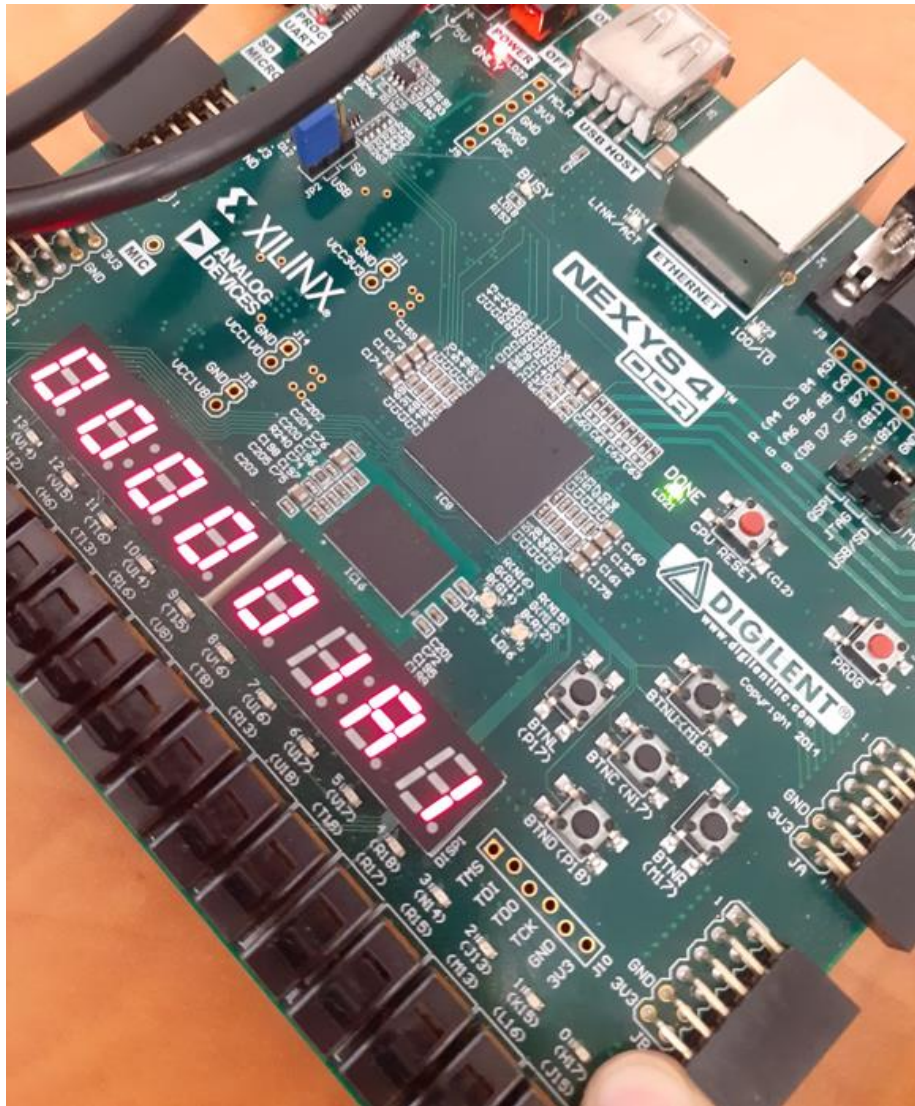
Instrumentele utilizate pentru a crea rezultate observabile sunt limbajul VHDL din cadrul mediului de programare Xilinx Vivado 2016.4 care pune la dispoziție o modalitate de simulare a proiectului prin bancuri de test și prin vizualizarea designului modulelor.

Pentru testare au fost utilizate două metode, crearea unui banc de test pentru simulare în VHDL, precum și testarea pe placa Nexys4DDR. Dacă proiectul prezentat în cadrul aceste lucrări este implementat corect ar trebui ca rezultatele să fie observate foarte ușor pe afișoarele de 7 segmente ale plăcuței. Temperatura este vizibilă în cifre hexazecimale și trebuie convertită la cifre din zecimal. Primele două cifre ar trebui să reprezinte partea întreagă a temperaturii, iar ultima cifră este ceea ce se află după virgulă.



Figură 16: temperatura este 18,1 in hexa = 24,1 grade





Figură 17: temperatura citita este 1A,1 in hexa = 26,1 grade

## 6. Concluzii

Aplicația de față a avut ca și scop principal implementarea și citirea temperaturii de la afișoarele unei plăci FPGA (Nexys4DDR) utilizând senzorul de temperatură de pe placă și interfața de comunicație Inter-Integrated Circuit.

Pentru a rezuma tot ceea ce proiectul de față a reușit să ofere se poate vorbi despre o bună înțelegere a modului de operare și comunicație pe care îl pune la dispoziție interfața asincronă I2C, modul în care se poate crea un automat de stări pentru un senzor de pe plăcuța Nexys4DDR. O înțelegere mai bună în ceea ce privește implementarea diferitelor module și modul prin care se pot



## UNIVERSITATEA TEHNICĂ DIN CLUJ-NAPOCA

crea legături între acestea și o modalitate prin care s-a putut exercita lucrul în limbajul de programare VHDL, dar și lucrul pe o plăcuță FPGA.

O dezvoltare ulterioară care poate fi propusă, ar fi un mod prin care utilizatorul să poată să utilizeze acest senzor de temperatura și cu scopul de a seta o anumită temperatură precum funcționează termostatul.

### 7. Bibliografie

- [1] Digilent, "Nexys 4 FPGA Board Reference Manual", 1300 Henley Court, Pullman, WA99163, [https://digilent.com/reference/\\_media/reference/programmable-logic/nexys-4/nexys4\\_rm.pdf](https://digilent.com/reference/_media/reference/programmable-logic/nexys-4/nexys4_rm.pdf)
- [2] V. Venkatesh, D. Dayanand, C. Padhy, "VHDL implementation for design of an I2C Interface for Temperature Sensor", IJARCET, 2015
- [3] Analog Devices, "I2C temperature sensor Data sheet ADT7420",  $\pm 0.25^{\circ}\text{C}$  Accurate and 16 bit Digital, <https://studylib.net/doc/18447101/%C2%B0.25%C2%B0c-accurate--16-bit-digital-i2c-temperature>
- [4] <https://app.diagrams.net/>
- [5] Scott Campbell, "Basics of the I2C communication protocol", Circuit Basics, DIY Electronics, <https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol/>