



**UNIVERSITATEA  
TEHNICĂ  
DIN CLUJ-NAPOCA**

---

**Măsurarea și afișarea temperaturii cu senzorul  
ADT740 pe Nexys 4 DDR**

*Structura Sistemelor de Calcul*

---

Autori: Fărcaș Tudor Ioan și Fekete Victor  
Grupa: 30235

FACULTATEA DE AUTOMATICA  
SI CALCULATOARE

06 Ianuarie 2024

# Cuprins

<b>1</b>	<b>Rezumat</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Introducere</b>	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>In Teorie</b>	<b>2</b>
3.1	Nexys 4 DDR	2
3.2	Protocolul I2C	3
3.3	Senzorul ADT740	3
3.4	Program PC	4
<b>4</b>	<b>Design si Rulare</b>	<b>5</b>
4.1	Module	5
4.2	Arhitectura si Organigramele	5
<b>5</b>	<b>Concluzii</b>	<b>8</b>
5.1	Manual	8
<b>6</b>	<b>Bibliografie</b>	<b>8</b>

# 1 Rezumat

Scopul proiectului actual a constat în măsurarea temperaturii de pe placa Nexys 4 DDR, folosind senzorul de temperatură ADT7420 încorporat în placa respectivă și în afișarea rezultatelor pe un program pe calculator. Implementarea proiectului s-a realizat prin intermediul protocolului I2C (Inter-Integrated Circuit), având ca obiective principale interconectarea mai multor circuite pentru a atinge scopul propus, colectarea și procesarea datelor furnizate de senzorul de temperatură al plăcii, precum și furnizarea unei modalități intuitive de vizualizare a datelor pe Calculator. Limbajul de programare utilizat în proiect a fost VHDL, iar mediul integrat de programare a fost aplicația Xilinx Vivado 2023.2. Rezultatele proiectului pot fi ușor observate prin conectarea plăcii la mediul de lucru și integrarea codului, permițând astfel citirea temperaturii detectate de senzor direct de pe afișor.

## 2 Introducere

Sistemele de calcul integrate, prin electronica embedded, utilizează interfețe sincrone precum SPI și I2C în acest proiect. Aceste interfețe oferă transfer rapid de date, dar necesită un fir suplimentar pentru semnalul de ceas. Scopul lor principal este facilitarea comunicării între circuite de tip master și slave, asigurând eficiență în transferul și coordonarea datelor în sistemele embedded.

Agitația moleculelor și atomilor generează căldură, adică energie cinetică, iar cu cât această mișcare este mai intensă, cu atât mai multă căldură este produsă. Măsurarea temperaturii în domeniul industrial prezintă o diversitate amplă de cerințe și aplicații. Pentru a satisface această varietate de necesități, au fost dezvoltate numeroase senzori și dispozitive specializate. Senzorii de temperatură cuantifică energia termică sau răcirea generată de un obiect sau un sistem, detectând fenomenele fizice și convertindu-le în semnale electrice ușor măsurabile.

ADT7420 este un senzor digital de temperatură integrat pe plăcuțele de FPGA. Acesta constă dintr-o bandă internă, un senzor de temperatură și un convertor analog-digital de 16 biți pentru monitorizarea temperaturii. Funcționează la tensiuni între 2,7 V și 5,5 V și utilizează interfața I2C pentru transmiterea datelor în serie între circuitele master și cele slave. Această interfață are semnalele SCL (semnal de ceas) și SDA (semnal de date), cu semnalul de ceas generat de bus-ul master. Senzorul ADT7420 oferă ușurință de utilizare, nu necesită calibrare sau corectare din partea utilizatorului, are un consum redus de energie, stabilitate și fiabilitate pe termen lung, precum și o precizie înaltă.

## 3 In Teorie

### 3.1 Nexys 4 DDR

Placa Nexys4 DDR, folosită în acest proiect, reprezintă o platformă de dezvoltare pentru circuite digitale, bazată pe FPGA Artix 7 de la Xilinx. Placa dispune de ample resurse de memorie externă, porturi USB și Ethernet, precum și diverse periferice încorporate, printre care accelerometru, microfon, difuzor, dispozitive de intrare/ieșire și, evident, senzorul de temperatură utilizat în proiect. De asemenea, placa include 8 afișoare cu 7 segmente, 16 switch-uri, 5 butoane și 16 LED-uri.

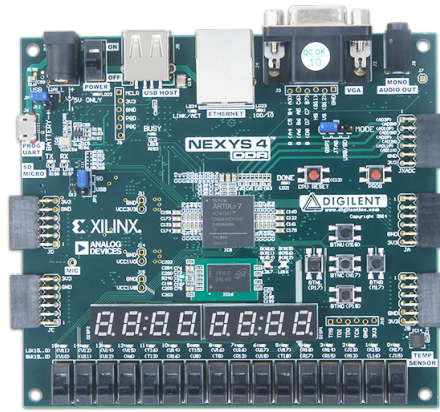


Figura 1: Placa pe care am dezvoltat

### 3.2 Protocolul I2C

I2C este un protocol de comunicație ce combină caracteristicile SPI și UART, facilitând schimbul de informații între un circuit master și unul sau mai multe circuite slave. Acest protocol este potrivit pentru distanțe scurte și utilizează 2 fire de semnal.

I2C permite conectarea a până la 1008 dispozitive slave pe un singur bus, cu posibilitatea de a avea mai mulți masteri. Fiecare bus I2C include două semnale principale: SCL (semnal de ceas) și SDA (semnal de date).

Comunicarea în cadrul I2C se bazează pe două tipuri de cadre: cadre de date și cadre de adresă. Cadrele de date conțin mesaje de 8 biți în ambele direcții, în timp ce cadrele de adresă indică destinația mesajului. SCL și SDA facilitează transferul datelor, iar inițierea unui cadru de adresă presupune setarea semnalului SCL pe high și SDA pe low.

În începutul comunicării, cadrul de adresă este întotdeauna primul. Sunt transmiși 8 biți de adresă sincron, urmați de un semnal de tip r/w. Un bit NACK/ACK indică acceptarea sau respingerea datelor. După aceasta, dispozitivul receptor preia controlul asupra semnalului SDA, iar transferul de date este realizat sub impulsuri regulate de ceas generate de master.

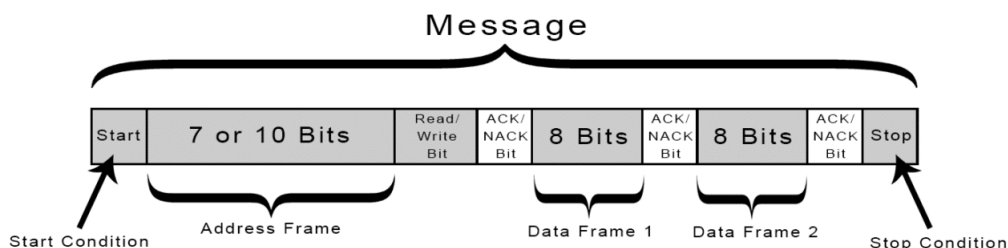


Figura 2: Cum sunt impartiti bitii in I2c

### 3.3 Senzorul ADT740

Senzorul de temperatură ADT7420 reprezintă un dispozitiv digital de precizie înaltă, dotat cu o bandă internă de referință, un sensor de temperatură și un convertor analog-digital de 16 biți. Acesta efectuează monitorizarea temperaturii la o rezoluție de  $+0.0078^{\circ}\text{C}$  și poate fi programat de utilizator prin interfața serială.

Principalele caracteristici ale senzorului de temperatură includ:

- Performanță ridicată, asigurând o măsurare precisă a temperaturii.
- Ușurință în implementare, fără necesitatea corectărilor din partea utilizatorului.
- Compatibilitate cu protocolul I2C pentru transmiterea datelor în serie.
- Eficiență energetică, contribuind la economisirea energiei.
- Domenii largi de operare, adaptându-se la diverse condiții de mediu.
- Gama de tensiune suportată este cuprinsă între 2,7 V și 5,5 V.

Pentru controlul senzorului de temperatură ADT7420 prin interfața serială I2C, senzorul funcționează ca un dispozitiv de tip slave, având o adresă de 7 biți (cu primii 5 biți stabiliți la 10010 și ultimii 2 biți variabili).

Protocolul I2C implică mai mulți pași. Masterul inițiază transferul de date cu o condiție de start pe linia SDA și menține linia SCL la nivel înalt constant. Dispozitivele slave răspund la condiția de start, preluând adresa și bitul de citire/scrie. Dispozitivul corespunzător așteaptă să se scrie sau să se citească datele ( $rw = 0$  pentru scriere,  $rw = 1$  pentru citire). După transmiterea/recepționarea tuturor biților de date, condițiile de oprire sunt stabilite. În modul de scriere, la al 10-lea impuls de ceas, SDA este ridicat pentru a indica oprirea, iar în modul de citire, SDA este coborât înainte de al 10-lea impuls.

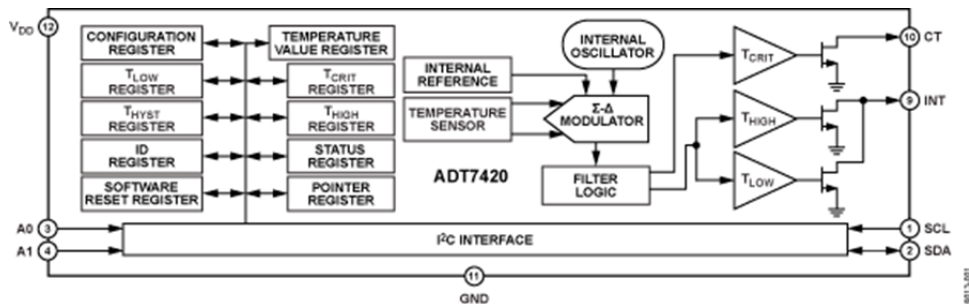


Figura 3: Schema senzorului ADT 7420

### 3.4 Program PC

Pentru a funcționa pe un calculator, avem nevoie de aplicații precum PuTTY, TerraTerm sau HyperTerminal, care necesita un UART

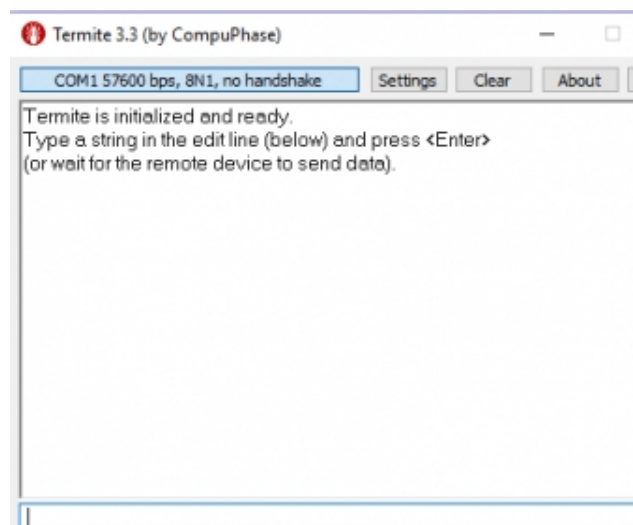


Figura 4: Termite App

## 4 Design si Rulare

### 4.1 Module

Metoda experimentală adoptată constă în implementarea software utilizând codul VHDL. În cadrul proiectului, au fost create mai multe surse pentru a defini întregul sistem: - Codul I2C cuprinde modulul de funcționare al automatului de stări specific interfeței, implementat conform organigramei prezentate mai jos în document.

- Modulul "Temperatura" include port map-ul la I2C și codul pentru implementarea automatului de stări specific dispozitivului

- Modulul principal conține port map-urile către celelalte module.

*slave* din proiect, în acest caz, senzorul de temperatură. Implementarea se realizează conform organigramei prezentate mai jos.

***Modulele de mai jos le folosim pentru testare, sa vedem ca functioneaza proiectul pe placa!!***

- Modulele "display-7seg" și "debouncer" au fost importate din proiectele anterioare și sunt utilizate pentru afișorul cu 7 segmente de pe plăcuță, respectiv pentru debouncing-ul butonului de reset.

### 4.2 Arhitectura si Organigramele

Un automat finit (AF) sau o "mașină cu un număr finit de stări" reprezintă un model de comportament complex compus din stări, tranziții și acțiuni. Starea în cadrul acestui model servește ca o entitate de stocare care reține informații despre trecut, reflectând schimbările în intrare de la momentul inițializării sistemului până în prezent.

Tranziția în cadrul unui automat finit indică o schimbare de stare și este guvernată de o condiție specifică care trebuie să fie îndeplinită pentru a declanșa tranziția. Aceasta reprezintă o modalitate de a gestiona evoluția sistemului în funcție de condițiile specifice întâlnite în timpul execuției.

În plus, acțiunile în cadrul unui AF sunt descrieri ale activităților ce urmează să fie executate la un anumit moment sau într-un anumit context. Aceste acțiuni contribuie la definirea comportamentului global al sistemului și pot include operații diverse sau reacții la anumite evenimente specifice. Astfel, un AF devine un instrument eficient pentru modelarea și înțelegerea comportamentului complex al sistemelor.

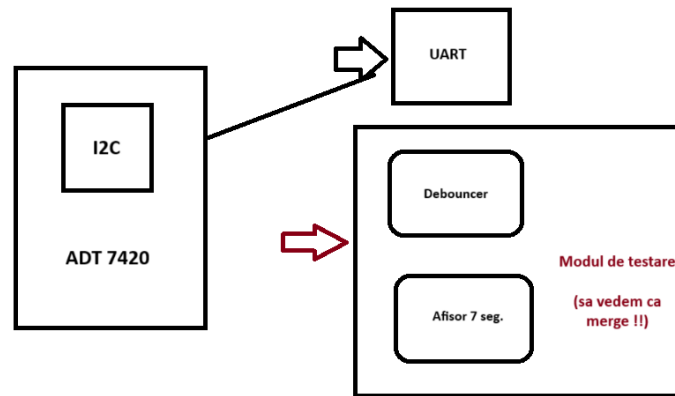


Figura 5: Schema Bloc a Proiectului

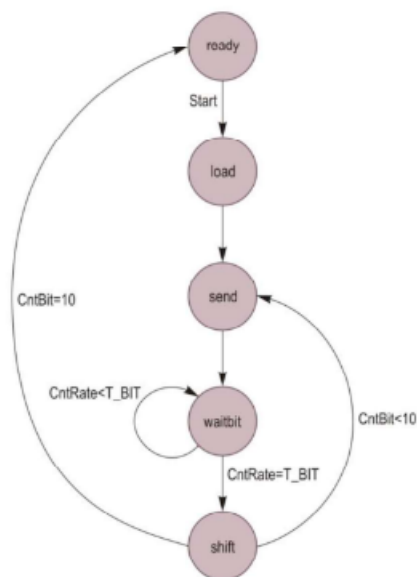


Figura 6: Organigrama UART, este cel din laborator..

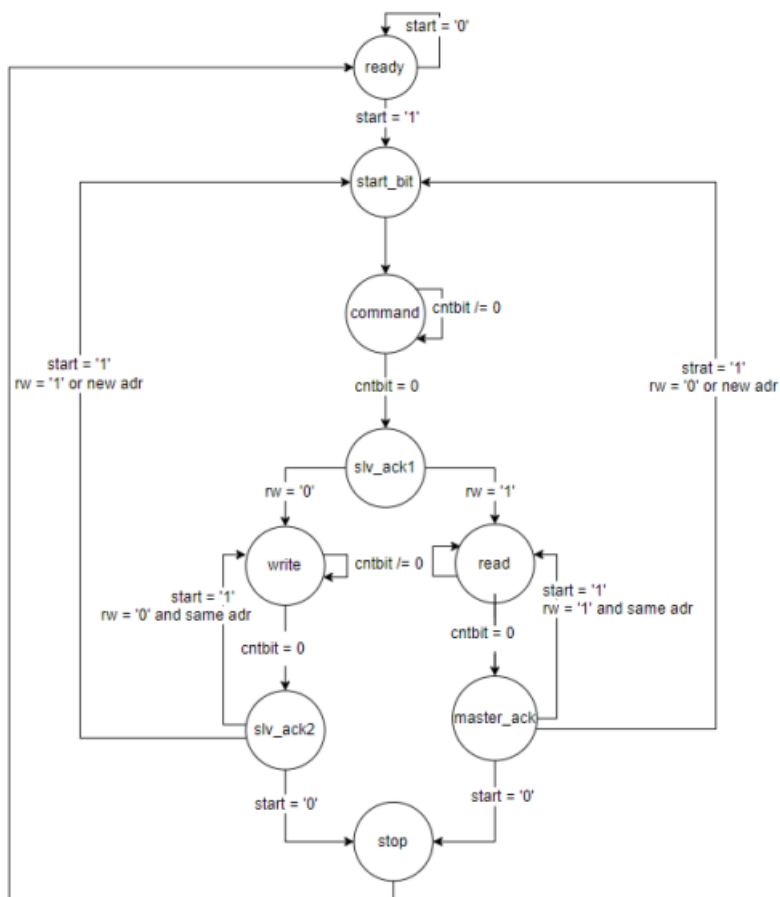


Figura 7: Organigrama I2C

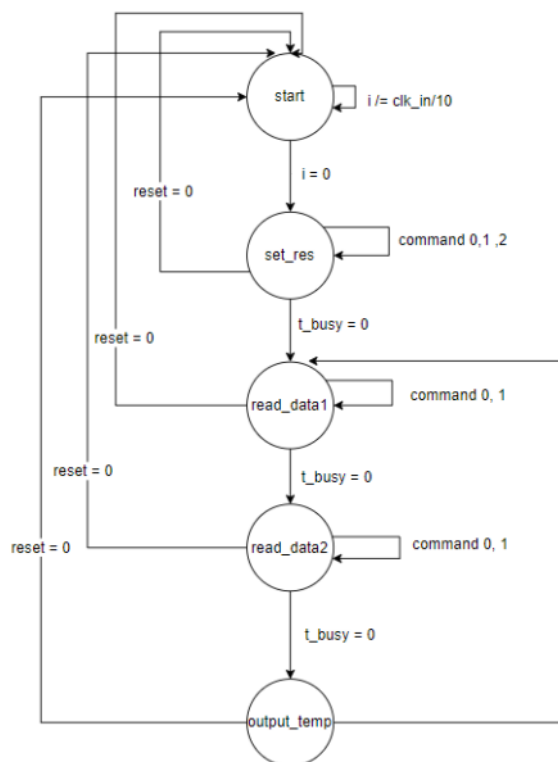


Figura 8: Organigrama Temperatura



### ***Organigrama I2C***

În starea de "ready," se efectuează o verificare a bitului de start. Dacă acesta este 1, procesul începe și sistemul trece în starea "command." În această fază, se examinează bitul "counter"; dacă este diferit de 0, sistemul rămâne în starea "command," iar dacă este 0, se trece în starea "slv-ack1," unde se configurează adresa senzorului de temperatură. În această etapă, așteptăm bitul de acknowledge de la senzor, și în funcție de valoarea bitului "rw" (1 sau 0), trecem în starea "read" sau "write." Atât în starea "read," cât și în "write," se efectuează o verificare suplimentară a bitului de acknowledge.

Dacă bitul de start este 0, sistemul trece în starea "stop," care revine la "ready" la resetare. În cazul în care bitul de start este 1, revenim la starea "start<sub>bit</sub>."

### ***Organigrama Temperatura***

Se inițiază din starea de start, iar dacă valoarea lui i (un contor) este 0, se face trecerea în starea set-res. În această etapă, se configurează precizia temperaturii în funcție de rezoluțiile disponibile. În cazul în care t-busy nu devine 1 și valoarea comenzii este 2, trecem în starea read-data1, unde se citesc cei mai semnificativi biți ai temperaturii (MSB). Starea următoare, în funcție de valoarea comenzii, poate fi read-data2, unde se citesc biții mai puțin semnificativi ai temperaturii (LSB).

Ultima stare este output-temp, în care temperatura citită este pusă pe ieșire. Datorită valorilor comenzii, pot fi executate mai multe bucle pentru a actualiza constant temperatura. Oricând semnalul de reset devine 0, în oricare dintre stările menționate, sistemul revine la starea de start.

## **5 Concluzii**

Dupa multe incercari, pe 7 seg display am reusit sa implementam I2C cu ADT 7420, insa transmiterea pe Calculator a fost o provocare mai complexa si ne-am lovit de niste probleme mai complexe, astfel nu transmite corect datele spre PC.

### **5.1 Manual**

Se incarca proiectul pe placa. Apasand butonul P18 de pe placa Nexys 4 DDR se va face resetarea. Pe 7 segments primele două cifre ar trebui să reprezinte partea întreagă a temperaturii, iar ultima cifră este ceea ce se află după virgulă. Pe PC va arata [00] din cauza problemelor.

## **6 Bibliografie**

Lucrarile de laborator de la Materia AC (Arhitectura Calculatoarelor) si SSC (Structura Sistemelor de Calcul).

<https://www.youtube.com/watch?v=oNYq31VKH7o>  
[https://github.com/Digilent/Nexys-4-00B?\\_ga=2.175368546.1581301594.1697539011-357686605.1697047391](https://github.com/Digilent/Nexys-4-00B?_ga=2.175368546.1581301594.1697539011-357686605.1697047391)  
<https://www.youtube.com/watch?v=4W9MQa3jBm8>  
<https://www.circuitbasics.com/basics-of-the-i2c-communication-protocol>