**Comunicația dintre calculator și o**

**placă de dezvoltare FPGA prin portul serial**

Studenți: **Bagoly Szabolcs-Márton** și **Bánhidi Zoltán**

Îndrumător: **Mocan Cristi**

Grupa: **30234**

Cuprins

[1. Rezumat 3](#_Toc482025769)

[2. Introducere 4](#_Toc482025770)

[2.1. Clasificarea interfețelor de comunicare serială 4](#_Toc482025771)

[2.2. Caracteristicile generale ale interfeței UART 5](#_Toc482025772)

[2.3. Obiective 6](#_Toc482025773)

[3. Fundamentare teoretică 7](#_Toc482025774)

[3.1. FSM pentru transmisie de date serială 7](#_Toc482025775)

[3.2. FSM pentru recepție de date serială 8](#_Toc482025776)

[3.3. Standardul RS-232 9](#_Toc482025777)

[3.4. Senzorul de temperatură al plăcii FPGA Nexys4DDR 10](#_Toc482025778)

[3.5. Comenzi MS-DOS pentru portul serial 10](#_Toc482025779)

[4. Proiectare și implementare 11](#_Toc482025780)

[4.1. Baud Rate Generator 12](#_Toc482025781)

[4.2. FSM pentru transmisie UART 12](#_Toc482025782)

[4.3. FSM pentru recepția UART 13](#_Toc482025783)

[4.4. FSM pentru I2C Master 13](#_Toc482025784)

[5. Rezultate experimentale 14](#_Toc482025785)

[5.1. Simularea modulului TX\_FSM UART 14](#_Toc482025786)

[5.2. Simularea modulului RX\_FSM UART 15](#_Toc482025787)

[5.3. Simularea modulului I2C Master 16](#_Toc482025788)

[5.4. Testarea aplicației pe calculator 18](#_Toc482025789)

[6. Concluzii 20](#_Toc482025790)

[7. Bibliografie 21](#_Toc482025791)

[Anexe 22](#_Toc482025792)

# 1. Rezumat

# 2. Introducere

Tema proiectului de față este realizarea comunicării dintre calculator și o placă de dezvoltare FPGA, mai exact, Nexys4DDR. Comunicația serială este foarte des utilizată pentru a realiza comunicarea dintre două dispositive (de exemplu calculator, microcontroller, FPGA, sensor etc). Comunicarea serială are ca sarcină principală transmiterea de date între cele două dispozitive. Acest tip de comunicare este foarte des folosită, deoarece:

* necesită un număr redus de pini pentru a conecta dispozitivele
* este acceptat pe scară largă
* costul implementării și utilizării este una redusă
* cea mai mare parte din microcontrollere include această interfață
* software-ul pentru implementarea portului serial este ușor de implementat

## 2.1. Clasificarea interfețelor de comunicare serială

O primă metodă de clasificare a interfețelor de comunicare serială este după modul de sincronizare a transmisiei. Din acest punct de vedere, există două categorii:

* Sincronă: Folosește un semnal de ceas pentru a sincroniza cele două dispozitive. Nu se folosesc biți de sincronizare (START și STOP), ci fiecare mesaj (poate conține unul sau mai mulți octeți) transmis este precedat de un șir de caractere speciale de sincronizare. Exemple de astfel de sisteme sunt: SPI (Serial Periphera Interface) și I2C (Inter-Integrated Circuit).
* Asincronă: Nu folosește un semnal de ceas. Pentru asigurarea sincronizării dintre emițător și receptor se folosesc biți de sincronizare (un bit de START cu valoarea logică ‘0’ și unul sau doi biți de STOP cu valoarea logică ‘1’) pentru transmiterea unui caracter de lungime variabilă (5-8 biți de date). În această categorie se încadrează interfața UART (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter).

Interfața USART (Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter) implementează ambele categorii, permițând utilizatorului să aleagă modalitatea dorită.

O altă modalitate de clasificare este după direcția de transfer al informației și se disting următoarele categorii: [5]

* **Simplex**: Datele se pot transfera într-o singură direcție, de la emițător la receptor. Necesită un singur fir de tranmisie.
* **Half-Duplex**: Fiecare echipament terminal de date funcționează alternativ ca emițător, iar apoi ca receptor. Fiind transmis un singur mesaj la un moment dat, este suficient un singur fir de transmisie.
* **Full-Duplex**: Datele se transferă simultan în ambele direcții, astfel fiind necesare două fire de transmisie.

## 2.2. Caracteristicile generale ale interfeței UART

Adesea, când se face referire la comunicarea serială se utilizează diferite denumiri: Serial Port, RS-232 Interface, COM Port. Însă denumirea unanim acceptată este **UART** (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter). Aceasta este o interfață, care, de obicei, transmite un octet la un moment dat utilizând un singur fir de transmisie. Fiind o interfață asincronă, nu este dependentă de un semnal de ceas. [1]

Când este vorba despre UART, trebuie definiți următorii termeni, care caracterizează această interfață:

* **Baud Rate**:Este rata de eșantionare, indică cât de rapid se transmit biții. Este un număr care reprezintă *numărul de biți transmiși pe secundă.* Valorile standard (cele mai uzuale) sunt: 2400, 4800, 9600, 19200, 38400.
* **Data Frame** (pachetul de date): Fiecare bloc de date transmis este trimis într-un pachet de biți. Pachetul începe cu un bit de START și se termină cu unul sau doi biți de STOP. Între acești biți sunt situați biții de date propriu ziși (5-8 biți). Opțional se pot include biți de paritate a datelor.
* **Data chunk**: Reprezintă biții de informație efectivă, care urmează să fie transmiși. Dimensiunea acestuia variază între 5-8 biți, iar endianness-ul trebuie prestabilit (LSB first sau MSB first).
* **Biți de sincronizare**: Sunt biții de START și STOP. Ei marchează începutul și sfârșitul unui pachet de date. Semnul de START este un singur bit (trecerea de la ‘1’ logic la ’0’ logic), iar semnalul de STOP poate varia de la unul la doi biți de ’1’ logic.
* **Biți de paritate**: Sunt folosiți pentru validarea datelor transmise. Paritatea poate fi *pară (even* – bitul de paritate are valoarea ‘0’ logic*)* sau *impară (odd* – ‘1’ logic*).* Pentru a calcula paritatea unui șir de biți, se aplică operatorul *sau exclusiv* între toți biții de date.

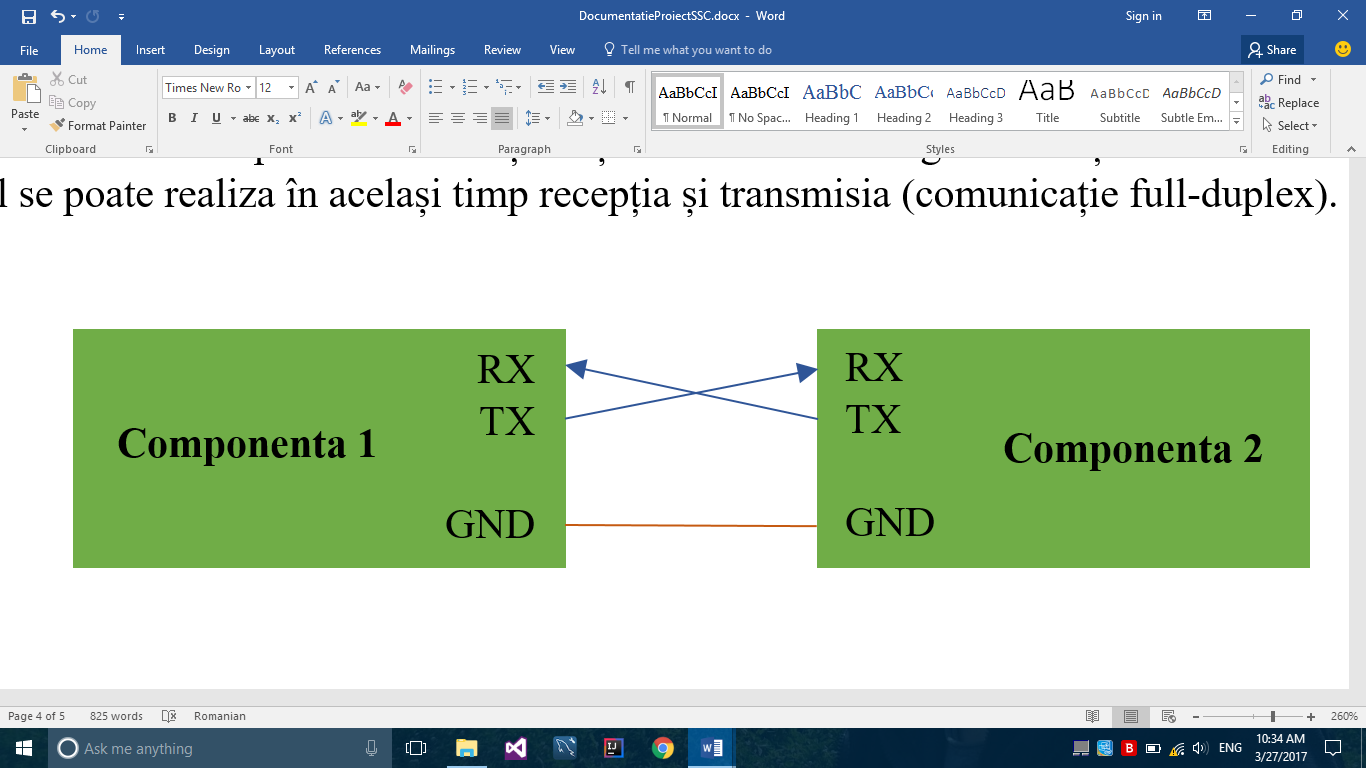


Figura 1. Conexiunile în interfața UART

**Figura 1** prezintă schema generală a conectării a două componente fizice care comunică prin interfața UART. Se conectează semnalul RX (recepție) al primei componente la TX-ul (transmisie) componentei cu numărul 2, astfel realizându-se comunicarea în direcția *Componenta 2 → Componenta 1.* Simetric, prin conectarea semnalului TX al primei componente cu RX-ul compnentei cu numărul 2 se realizează comunicarea în direcția *Componenta 1 → Componenta 2.* Pentru asigurarea referinței commune al nivelelor logice, se conectează *ground*-urile celor două componente.

## 2.3. Obiective

Pentru ilustrarea funcționării și a unui caz de utilizare al circuitului de comunicare UART, acesta va fi folosit pentru trimiterea temperaturii de la placa de dezvoltare FPGA la calculator. Temperatura se măsoară folosind senzorul de temperatură aflat pe placa Nexys4 DDR. Temperatura măsurată se trimite folosind circuitul UART la calculator, pe care rulează un program care preia datele trimise și le afișează pe ecran. Prin intermediul programului care ruleaz[ pe calculator, utilizatorul poate să aleagă o temperatură dorită. Calculatorul transmite comanda utilizatorului către FPGA, care va efectua acțiunea corespunzătoare (încălzire, răcire sau idle).

Proiectul este realizat folosind mediul de dezvoltare Vivado Design Suite și limbajul de descriere hardware VHDL. Circuitul realizat prin implementarea proiectului VHDL este încărcat pe plăcuța de dezvoltare FPGA Nexys4 DDR. Legarea celor două componente se va realiza utilizând un cablu USB. De menționat faptul că, la placa de dezvoltare Nexys4 DDR pentru comunicare serială putem utiliza același cablu USB prin care se face programarea plăcii și depanarea programelor.

În **Figura 2** se prezintă portul J6 al plăcii Nexys4 DDR, care are rol dublu în funcționarea plăcii de dezvoltare, după cum este specificat în manualul de referință al acesteia: în primul rând tool-urile Xilinx în mod tipic comunică prin placa de dezvoltare prin metoda JTAG. În timpul programării JTAG, fișierele *.bit* se transferă de la calculator către placa FPGA, astfel realizând încărcarea programelor; în același timp, tot acest port include și un FTDI FT2232HQ USB-UART bridge care permite comunicarea dintre aplicațiile pe calculator și FPGA, utilizând comenzi standard Windows COM. Funcțiile USB-UART și USB-JTAG, cu toate că utilizează același port al plăcii de dezvoltare, sunt complet independente una față ce cealaltă. Astfel se poate realiza comunicarea serială dintre calculator și FPGA utilizând același cablu prin care se face și programarea plăcii fără să se țină cont că ar exista interferențe între cele 2 controllere.

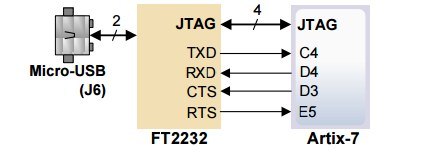


Figura 2. Nexys4 DDR Micro-USB connection [2]

În continuare se prezintă fundamentele teoretice pe care se bazează cele două module de transmisie și recepție a portului serial și se face o introducere în comenzile Windows COM standard și celelalte componente utilizate în cadrul aplicației cu sarcina de a comunica cu placa de dezvoltare FPGA. Apoi, se descriu etapele parcurse în faza de proiectare și implementare, urmând ca prin rezultatele experimentale să ajungem la concluzia proiectului.

# 3. Fundamentare teoretică

Interfața UART are la bază două module asemănătoare pentru recepția, respectiv transmisia de date. Aceste componente pot fi implementate ca și automate/mașini cu stări finite (Finite State Machine). În continuare se vor descrie automatele atât pentru recepție, cât și pentru transmisia de date. În descrierea componentelor considerăm următoarea structură a pachetului de date: 1 bit de START, 8 biți de date, fără bit de paritate și 1 bit de STOP. În cadrul segmentului de date, ordinea de transmitere a biților este de la cel mai puțin semnificativ la cel mai semnificativ (LSB first) ilustrată în **Figura 3**.

Bit de start

Biții transmiși

Bit de stop

70]0]

61]

[2]

[3]

[4]

[5]

[6]

[7]

**‘0’**

**‘1’**

[0] [1] [2] [3] [4] [5] [6] [7]

Figura 3. Pachetul de date transmis prin UART

## 3.1. FSM pentru transmisie de date serială

Automatul se află în starea *idle* cât timp nu apare un semnal, care indică începutul unei transmisii de date. La apariția semnalului de început al transmisiei, se trece în starea *start* și pe linia TX se pune bitul de start. În continuare se trimite octetul cu informațiile utile, repetând transmiterea de un bit de 8 ori, în starea *bit*. După ce datele au fost transmise, mai rămâne să se transmită și bitul de sincronizare de la sfârșitul pachetului, bitul de *stop,* după ce se trece din nou în starea *idle*, și se așteaptă începutul următoarea transmisiuni. Stările și tranzițiile automatului cu stări finite se prezintă și în **Figura 4**.

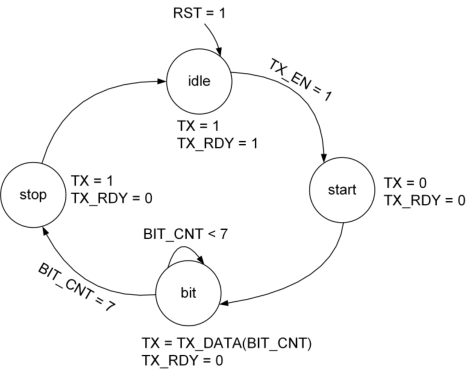


Figura 4. FSM pentru transmisie serială [3]

## 3.2. FSM pentru recepție de date serială

Pentru a recepționa în mod corect datele de pe linia serială, semnalul trebuie citit și eșantionat de pe linia serială, cunoscând rata de eșantionare al dispozitivului sursă. În cazul recepției se folosește supra-eșantionarea, adică cunoscând rata de eșantionare a sursei, semnalul de pe linia serială este citit la o rată mai mare decât baud rate-ul sursei. Astfel, se poate realiza detecția mijlocului bitului de start, și în continuare, eșantionarea se va face aprx. la mijlocul intervalului, unde semnalul este stabil cu certitudine. Cea mai folosită de supra-eșantionare este folosirea unei rate la recepție de 16 ori mai mare decât rata de eșantionare a sursei.

În **Figura 5** se prezintă automatul cu stări finite pentru recepție serială. Dacă pe linia serială apare semnal de recepție se trece din starea *idle* în starea *start*. În această stare se așteaptă până când BAUD\_CNT devine 7, adică se ajunge la mijlocul bitului de start. În continuare, se trece în starea *bit,* unde similar stării precedente, se citește mijlocul fiecărui bit recepționat, până când se înregistrează toți cei 8 biți de date. Se trece în starea *stop*, unde se așteaptă un interval de timp, în care ajunge un bit pe linia serială. Starea *wait* este esențială, pentru că mai este nevoie să așteptăm o jumătate de bit, fiindcă numărarea a fost începută de la mijlocul bitului de START. Apoi se trece în starea *idle*, așteptând să se repete procedura de recepție.

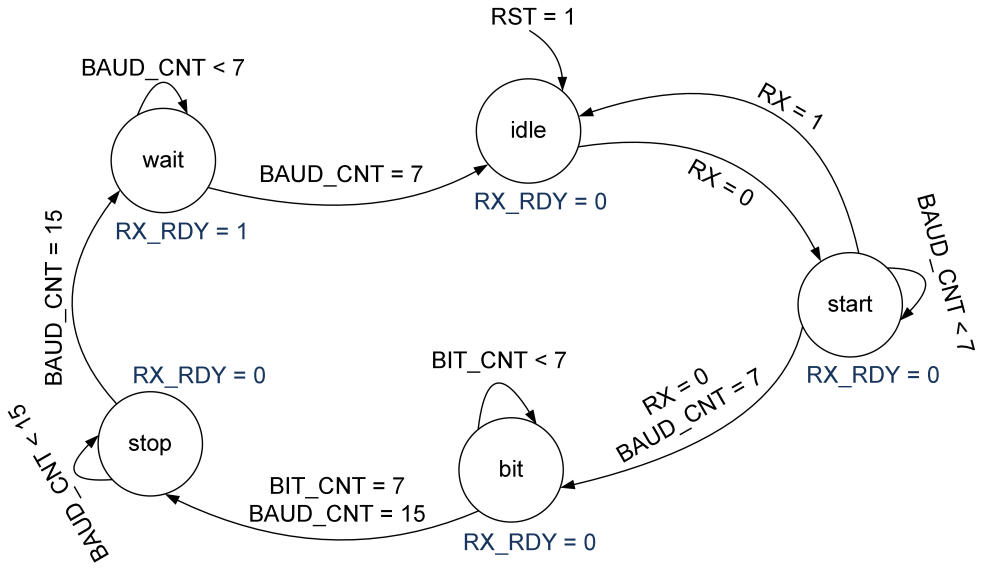


Figura 5. FSM pentru recepție serială [3]

## 3.3. Standardul RS-232

RS-232 (Recommend Standard number 232) este un standard de comunicare serială folosită la calculatoarele IBM PC. Acesta a fost elaborată pentru realizarea comunicației digitale între: [5]

* un calculator și un terminal aflat la distanță
* două terminale fără utilizarea unui calculator

Acest standard definește atât un mod sincron cât și un mod asincron de comunicare. Deși legătura de bază necesită doar 3 fire de conexiune (recepție - RxD, transmisie - TxD și masa electrică - GND), cele mai multe dispozitive conțin și alte semnale pentru controlul fluxului de date. Configurația pinilor unui port care respectă standardul RS-232 este ilustrată în **Figura 6**.

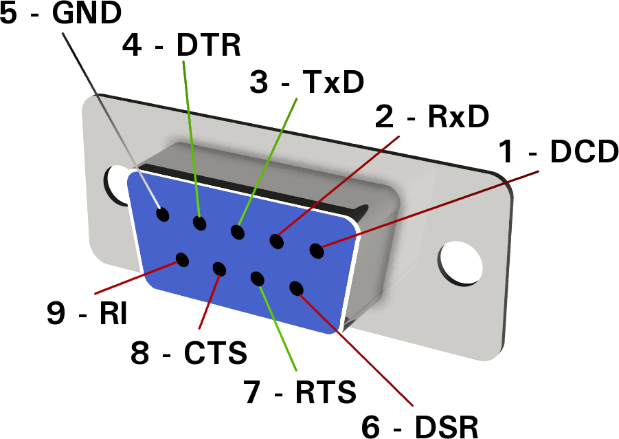


Figura 6. Configurația pinilor RS-232 [6]

## 3.4. Senzorul de temperatură al plăcii FPGA Nexys4DDR

Placa de dezvoltare FPGA Nexys4 DDR dispune de un dizpozitiv analogic pentru măsurarea temperaturii ambientale ADT7420. Senzorul poate măsura temperatura cu o rezoluție de pâna la 16 biți cu o acuratețe tipică de aproximativ *0,25 grade Celsius*. Transmitirea datelor dintre senzor și FPGA se realizează utilizând comunicație serială sincronă *I2C*. În **Figura 7** sunt prezentate legăturile dintre FPGA și senzor.

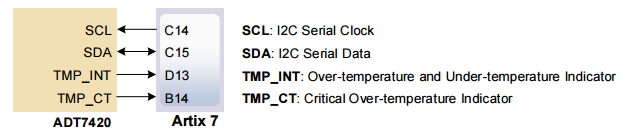


Figura 7. Interfața de comunicare FPGA - Senzor de temperatură [2]

## 3.5. Comenzi MS-DOS pentru portul serial

Pentru a realiza comunicarea dintre un calculator și FPGA, trebuie să fie cunoscută modalitatea prin care calculatorul comunică utilizând portul serial. Putem crea conexiuni seriale prin utilizarea interfeței *command line.* Sub sistemul de operare Windows, avem nevoie de următoarele comenzi[4]:

* *powershell* : pentru a intra în modul PowerShell
* *[System*.*IO.Ports.SerialPort]::getportnames() :* vizualizarea listei cu porturile COM active
* *$port= new-Object System.IO.Ports.SerialPort COM#,Baudrate,None,8,one :* inițializarea unui port nou cu caracteristicile specificate
* *$port.open() / $port.close() :* conectare/deconectare port
* *$port.WriteLine(“exemplu”) / $port.ReadLine() : scriere/citire date.*

# 4. Proiectare și implementare

În acest capitol se prezintă componentele proiectate și implementate pentru a realiza comunicația serială asincronă UART între placa de dezvoltare FGPA și calculator, respectiv comunicația folosint protocolul I2C între placa de dezvoltare FPGA și senzorul de temperatură, care se găsește atașat la placa FGPA Nexys 4 DDR.

În schema de mai jos se prezintă sistemul în ansamblu, cu principalele componente utilizate în cadrul acestui proiect. Sistemul poate fi împărțit în două module mai mari. Primul modul (cel din stânga) este responsabil pentru comunicația prin protocolul UART între placa de dezvoltare și calculator. Componentele esențiale din cadrul acestui modul sunt mașinile de stări finite pentru transmisia și recepția biților de date (TX\_FSM, respectiv RX\_FSM), generatorul de ratei de eșantionare și perifericele care permit interacția utilizatorului cu placa de dezvoltare. Modulul al doilea (din dreapta) este responsabil pentru comunicația prin protocolul I2C dintre placa de dezvoltare și senzorul de temperatură incorporat în aceasta. FPGA-ul ia rolul masterului, care cere informații în mod aleatoriu. Senzorul de temperatură îndeplinește rolul slave-ului care, la cerere, furnizează informații despre temperatura ambientală curentă sub forma a doi octeți de date.

În continuare se va prezenta în mod detaliat, specificând semnalele de intrare/ieșire și modul de implementare a componentelor, care fac parte din sistem prezentat anterior.

TX\_FSM

RX\_FSM

BAUD\_RATE\_GENERATOR

SSD

I2C\_MASTER\_FSM

TEMP\_SENSOR

SLAVE

BTN&LED

## 4.1. Baud Rate Generator

IN: CLK

BAUD

RATE

GENERATOR

OUT: TX\_BAUD\_RATE

OUT: RX\_BAUD\_RATE

Această componentă este responsabilă pentru generarea a semnalelor de eșantionare corespunzătoare. Există o singură intrare în această componentă, semnalul de ceas al plăcii de dezvoltare (în cazul Nexys 4 DDR, semnalul de ceas este de 100 Mhz) și la ieșire apar două semnale de ceas pentru cele două componente din care este alcătuit sistemul de comunicație UART. Componenta încorporează două divizoare de frecvență pentru cele 2 semnale de ieșire. Pentru transmisie, implementarea în proiectul curent presupune că este nevoie de un baud rate de 9600 bit/s, iar în cazul recepției, acest semnal trebuie multiplicat de 16 ori. Pentru a obține o rată de eșantionare de 16\*9600 bit/s, divizorul de frecvență trebuie să fie format dintr-un numărător, care numără 100.000.000 /16\*9600 = apr. 651 de tacți.

## 4.2. FSM pentru transmisie UART

IN: TX\_EN

IN: BAUD\_EN

IN: CLK

TX\_FSM

OUT: TX

OUT: TX\_READY

IN: RST

IN: TX\_DATA

Componente TX\_FSM este masina de stări finite responsabilă pentru transmisia biților de date de la placa de dezvoltare către calculator. FSM-ul este contruit pe baza diagramei prezentate la capitolul de Fundamentare teoretică. Semnalul Rst readuce sistemul în starea de repaus (idle). Începe o nouă transmisie în momentul în care TX\_EN are valoarea logică ‘1’. Acesta înseamnă că automatul iese din starea de repaus și începe transmisia biților la rata de eșantionare dată se semnalul de intrare BAUD\_EN. La portul de Clk se leagă semnalul de ceas intern al plăcii și este utilizat pentru sincroniza toate tranzițiile. Semnalul TX\_READY se activează în momentul în care tranziția curentă este terminată și se așteaptă începerea unei noi tranziții, adică automatul se află în starea *idle*. Pe semnalul de ieșire se pun biții corespunzători pachetului de date al protocolului UART, adică bitul de start, biții de date și bitul de stop.

## 4.3. FSM pentru recepția UART

IN: RST

IN: RX

IN: CLK

RX\_FSM

OUT: RX\_DATA

OUT: RX\_READY

IN: BAUD\_EN

Componenta RX\_FSM este mașina de stări finite responsabilă pentru recepția biților de date care provin de la dispozitivul cu care este legată placa de dezvoltare. Implementarea componentei are la bază diagrama prezentată în capitolul de Fundamentare Teoretică. Semnalul BAUD\_EN provine de la componenta Baud Rate Generator, reprezintă semnalul de eșantionare la recepție, care este de 16 ori mai mare decât rata de eșantionare la transmisie. Semnalul RST readuce sistemul în starea *idle*. Pe portul semnalului RX sunt plasate biții de date care provin de la transmițător. Acest port este citit la momente corespunzătoare și informațiile citite sunt salvate într-un registru intern. După terminarea unei citiri, conținutul registrului se pune pe portul de ieșire RX\_DATA și semnalul RX\_READY devine ‘1’ logic, indicând sfârșitul tranzacției și posibilitatea începerii unei noi recepții.

## 4.4. FSM pentru I2C Master

Protocolul I2C este un mecanism de comunicare serial și sincron. Frecvența semnalului de ceas este 100 kHz, dar există și versiuni care suportă frecvența de 400 kHz. Conexiunile protocolului I2C sunt constituite din două semnale cu colector în gol (conțin o rezistență pull-up care le menține mereu în starea ‘1’ logic; pentru a scrie valoarea de ‘1’ logic pe aceste semnale nu avem nimic de făcut, iar pentru a scrie ‘0’ logic trebuie să le conectăm la masă):

* SCL – Serial Clock este semnalul de ceas care sincronizează transferul de date
* SDA – Serial Data este semnalul prin care se realizează transferul efectiv

I2C este un protocol care permite participarea mai multor dispozitive. Există două categorii: dispozitive master și dispozitive slave. Masterul este cel care inițiază comunicarea, iar slave-ul trebuie să preia datele transmise de la master și să trimită răspuns la eventualele cereri ale master-ului. Fiecare dispozitiv are o adresă pe 7 biți, prin care poate fi identificat.

În cadrul acestui proiect vom folosi protocolul I2C pentru a citi temperatura măsurată de senzorul de temperatură ADT7420. Acesta este un dispozitiv slave, deci trebuie să implementăm un modul pe FPGA care să fie un dispozitiv master și să ceară senzorului temperatura măsurată, valoare pe care o va transmite la ieșire. Schema bloc a acestui modul este vizibil în **Figura 8**.

I2C Master

Clk100MHz

Start

Reset

TMP\_SCL

TMP\_SDA

Temperature

VALID\_OUTPUT

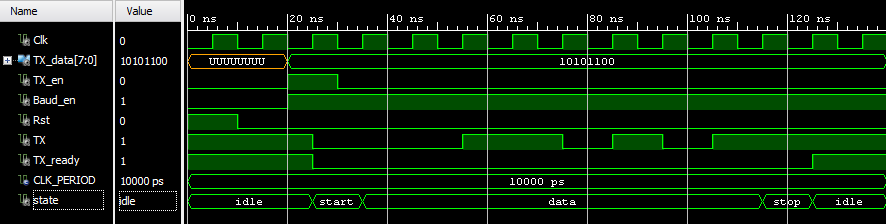
Figura . Componenta I2C Master

Trebuie să furnizăm la intrare un semnal de ceas de 100 MHz (coincide cu semnalul de ceas al placii Nexys4 DDR) care va fi divizat corespunzător la 100 kHz. Semnalul Reset readuce sistemul în starea de așteptare. Aplicarea unei valori de ‘1’ logic pe semnalul Start determină începerea unei transmisii către slave-ul cu adresa 4B16 (senzorul de temperatură), care citește temperatura măsurată, o stochează într-un registru intern și o pune pe semnalul de ieșire Temperature. Semnalul VALID\_OUTPUT are rolul de a marca validitatea semnalului Temperature (temperatura la ieșire este validă doar atunci când VALID\_OUTPUT are valoarea ‘1’ logic).

# 5. Rezultate experimentale

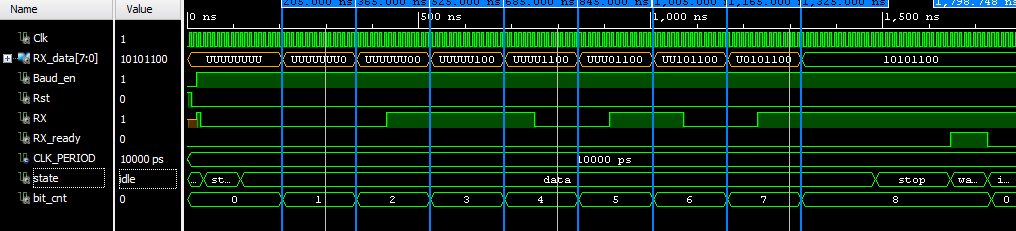
## 5.1. Simularea modulului TX\_FSM UART

În figura de mai jos se prezintă formele de undă generate prin rularea unui banc de test, pentru a testa funcționalitatea automatului cu stări finite pentru transmisia de date. Se poate observa modalitatea în care se modifică portul de ieșire TX al sistemului, luând pe rând valorile biților din vectorul TX\_DATA, începând cu bitul cel mai puțin semnificativ. Deasemenea, se observă comportamentul semnalului TX\_READY: înaintea începerii transmisiei și după terminarea acesteia are valoare logică 1, în rest este adusă la 0 logic.



## 5.2. Simularea modulului RX\_FSM UART

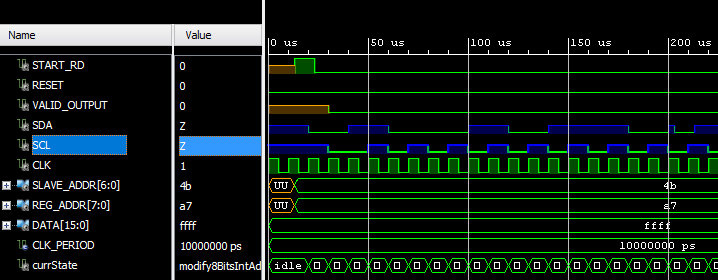
În figura de mai jos se prezintă formele de undă generate prin rularea unui banc de test, pentru a testa funcționalitatea automatului cu stări finite pentru recepția de date. Se observă faptul că inițial automatul se află în starea idle, iar la tranziția de la ‘1’ la ‘0’ pe portul RX automatul intră în starea *start*. Din această stare trece în starea în care se preiau datele efectiv, utilizând o rată de eșantionare de 16 ori mai mare decât la transmisie. Datorită așteptării introduse în starea *start*, datele de pe portul RX sunt citite aproximativ la mijlocul intervalului, undele datele sunt stabile cu siguranță. Acest aspect este ilustrat prin liniile albastre verticale. După recepția celor 8 biți de date, mai este recepționat și bitul de STOP, după care automatul intră într-o stare de *waiting* prin care se corectează așteptarea introdusă la începutul recepției, în starea *start.* În această stare se activează și ieșirea RX\_READY semnalând sfârșitul recepției. Pe portul de ieșire RX\_data se poate observa apariția șirului de biți “10101100”, care a fost recepționat. Automatul intră în starea *idle,* așteptând începerea unei noi recepții.



## 5.3. Simularea modulului I2C Master

În **Figura 9** se poate observa inițierea transmisiei I2C prin setarea semnalului *START\_RD*. Astfel modulul I2C Master începe transmisia printr-un bit de start, urmat de generarea semnalului de ceas *SCL* și transmiterea adresei slave-ului. Datele se modifică atunci când *SCL = ‘0’* și se citesc apriximativ la jumătatea intervalului de timp când *SCL = ‘1’*. După transmiterea adresei (7 biți) se transmite și bitul *R/W.* După transmiterea acestor biți se eliberează *SDA* dar se generează în continuare *SCL* și se citește un așa numit bit de *Acknowledgement*. Dacă bitul citit este ‘0’ atunci transmisia poate continua, dar dacă este ‘1’ atunci transmisia trebuie oprită (slave-ul nu a recepționat datele).

Figura . Transmiterea adresei slave-ului pe magistrala I2C



Bit de start 4B16 = 100 10112 R/W

În **Figura 10** este ilustrată transmiterea adresei unui registru intern pe care dorim să îl citim în continuare. În acest caz de test, vrem să citim valoarea registrului de la adresa A716. După transmiterea celor 8 biți trebuie să recepționăm un bit de *Acknowledgement*, după care transmitem un bit de stop.

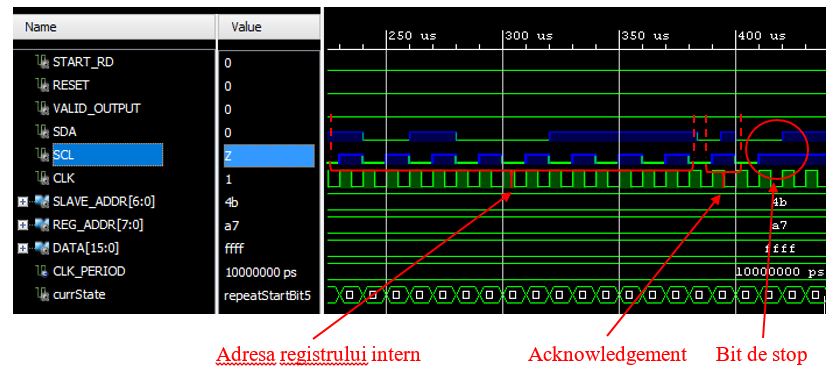


Figura . Transmiterea adresei registrului intern către slave

În **Figura 11** este reprezentată repetarea bitului de start, urmată de transmiterea adresei slave-ului a doua oară, dar de această dată cu *R/W = ‘1’*.Se eliberează apoi linia *SDA* pentru ca slave-ul să poată trimite bitul de *Acknowledgement*.

Bit de start Adresa slave-ului R/W Acknowledgement

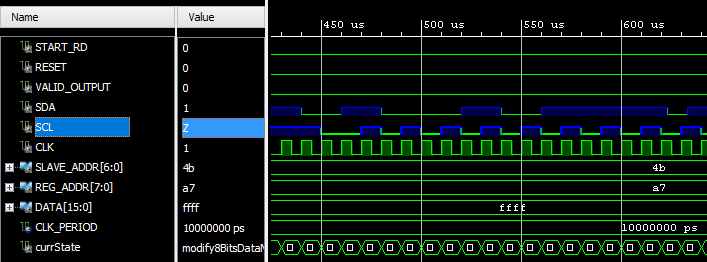
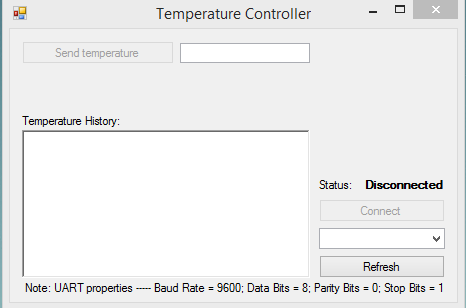


Figura 11. Repetarea bitului de start și transmiterea adresa slave-ului

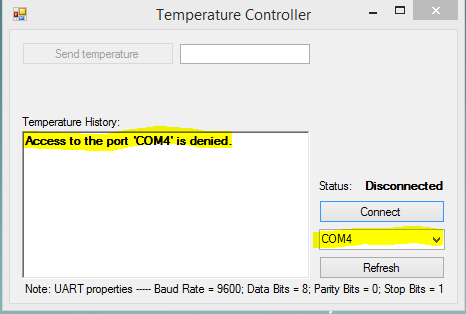
## 5.4. Testarea aplicației pe calculator

În prima fază a testării aplicației pe calculator scris în limbajul C#.NET utilizând Windows Forms, se testează transmisia de date de la placa de dezvoltare către calculator, apoi și recepția datelor.

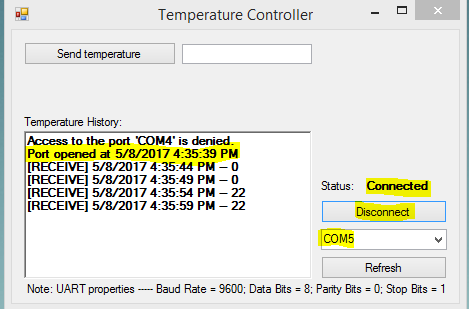
Inițial când se deschide aplicația mai multe opțiuni sunt dezactivate după cum se vede în figura de mai jos, fiindcă pornirea comunicației necesită câțiva pași de setare. Se poate observa că programul nu este conectat cu niciun dispozitiv, starea conexiunii fiind **Disconnected.**



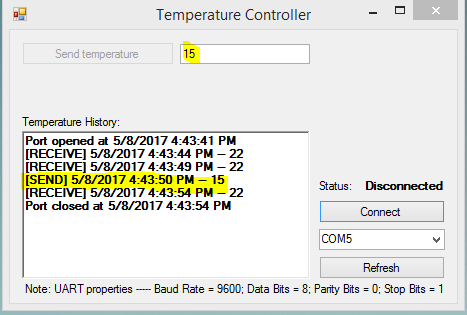
Apăsând butonul *Refresh,* se vor afișa porturile seriale disponibile. Observăm că butonul se vor afișa porturile seriale disponibile. Observăm că butonul *Connect* devine activ. Cu acest buton încercăm conectarea la un port serial. Când se încearcă conectarea la un port nepotrivit se observă apariția unui mesaj de informare, indicând faptul că conexiunea la portul selectat nu este posibilă.



Selectăm alt port disponibil și repetăm operația precedentă. Când operația se efectuează cu succes se observă mai multe modificări care apar în program. În primul rând starea sistemului devine **Connected**, iar butonul cu care mai înainte am efectuat operația de conectare, acum poate efectua operația de întrerupere a conexiunii. Se afișează mesajul care confirmă conectarea cu succes la dispozitivul conectat la portul selectat. Deasemenea, observăm că datele se recepționează periodic. Acesta se datorează faptului că unitatea principală din cadrul proiectului pus pe placa de dezvoltare conține un proces care trimite date prin modulul de transmisie într-un mod regulat (din 5 în 5 secunde).



Transmisia de date de la aplicație către placa de dezvoltare se realizează utilizând componentele grafice care apar în partea de sus a aplicației. În *TextBox* introducem o valoare întreagă pozitivă care încape pe 1 byte (0-255) și apăsând butonul *Send temperature* acesta se va trimite către placa de dezvoltare. La transmisie reușită se afișează un mesaj de confirmare în căsuța de istoric.



# 6. Concluzii

# Bibliografie

[1] <https://www.nandland.com/articles/what-is-a-uart-rs232-serial.html>

[2] Nexys4-DDR Reference Manual <https://www.xilinx.com/support/documentation/university/XUP%20Boards/XUPNexys4DDR/documentation/Nexys4-DDR_rm.pdf>

[3] Arhitectura Calculatoarelor: Lucrări de laborator, Florin Oniga, UTCN, 2016

<http://users.utcluj.ro/~onigaf/files/AC.html>

[4] <https://learn.sparkfun.com/tutorials/terminal-basics/command-line-windows-mac-linux>

[5] Sisteme de Intrare-Ieșire: Lucrări de laborator, Baruch Zoltan-Francisc

<http://users.utcluj.ro/~baruch/sie/labor/Port-Serial.pdf>

[6] <http://www.ethernut.de/en/documents/rs232primer.html>

# Anexe