

# ETE441 FPGA Programmierung Projekt

**Projekt Name:**

Steuerung intelligenter Gewächshäuser mit FPGA

**Berater:**

Dipl.-Ing. Andrea Schwandt, M.Eng.

**Studenten:**

Hasan GÜZELMANSUR  
160501202  
8. Semester  
TMS

Efecan DEMİRKIRAN  
170504025  
7. Semester  
ETE

# 1. Einleitung

Die heute eingesetzten Technologien steigern die Lebensqualität des Menschen ständig. Diese Technologien werden in einer Vielzahl von Bereichen eingesetzt, von elektronischen Geräten zu Hause bis hin zu elektronischen Geräten am Arbeitsplatz. Als Beispiel für diese Produkte sind Waschmaschinen und Geschirrspüler, die wir zu Hause verwenden, oder Drucker oder Kaffeemaschinen am Arbeitsplatz. Alle Systeme arbeiten systematisch und sie haben Systeme, die dies ermöglichen. Im Allgemeinen werden diese Systeme als eingebettete Systeme bezeichnet.

Für eingebettete Systeme können viele Beispiele gegeben werden, und es werden viele Komponenten in diesen Systemen verwendet. Die in diesem Projekt zu verwendende Karte ist das Nexys A7 FPGA der Firma Xilinx. Auf diesem Board sind viele Komponenten verfügbar. Wir werden einige dieser Komponenten nach Bedarf in unserem Projekt verwenden. Dies sind der Temperatursensor ADT7420, RGB-LEDs und 7-Segment-Anzeigen.

Dieses Projekt hat sich für den landwirtschaftlichen Bereich entwickelt. Ziel ist es, Technologie für eine effizientere Landwirtschaft einzusetzen.

## 2. Motivation

Das Hauptziel dieses Projekts ist die Produktivitätssteigerung durch den Einsatz von Technologie in der Landwirtschaft. Heute nehmen die Entwicklungen im Bereich der Landwirtschaft und der Technologieeinsatz in der Landwirtschaft von Tag zu Tag zu.

Die durch die Digitalisierung unterstützte Landwirtschaft der neuen Generation wird als Landwirtschaft 4.0 bezeichnet. Unterschiede wie der Technikeinsatz, die Differenzierung von Werkzeugen, die Erneuerung der Einkaufsprozesse der Bauern und die Reduzierung der Abhängigkeit von externen Inputs setzen sich mit der neuen Landwirtschaft fort.

Im Rahmen des Kurses ETE 441 ist es unsere wichtigste Motivation, die unterschiedlichen theoretischen Kenntnisse, die wir sowohl im Unterricht als auch im Internet erworben haben, in die Praxis umzusetzen. Die Landwirtschaft spielt heute eine entscheidende Rolle. Gegen einen Faktor wie die globale Erwärmung sollte vorgesorgt werden, und in diesem Projekt soll ein intelligentes System entwickelt werden, indem FPGA als Prototyp in der Landwirtschaft verwendet wird.

# 3. Methode

Im Rahmen des Projekts wird der Temperatursensor ADT7420 verwendet, der in das Nexys A7 DDR-Board integriert ist. Die Daten in Celsius werden von diesem Sensor erhalten und auf zwei Arten angezeigt. Zunächst wird der Temperaturwert über die beiden RGB-LEDs auf dem Nexys A7 DDR Board angezeigt. D.h. Rot – Hohe Temperatur, Grün – Neutrale Temperatur. Das RGB wechselt je nach Temperatur zwischen den beiden Farben. Die zweite Methode zur Anzeige des Temperaturwerts besteht darin, drei der 7-Segment-Anzeigen zu verwenden, die in die Platine integriert sind.

Viele Themen, die in ETE441, Digital Logic Design behandelt wurden, wurden verwendet, um dieses Projekt zu erstellen. Für dieses Projekt wurden Konzepte und Designs aus früheren Labs des Kurses umgesetzt. Diese Designs umfassen einen Zähler, eine Finite State Machine (FSM), MUX, Hex-to-Seven-Display und Schieberegister. Weitere Themen, die wir selbst lernen mussten, waren die Steuerung der RGB-LEDs, die Konvertierung von Binär in BCD und die Verwendung des ADT7420-Temperatursensors, der in das Nexys A7 DDR-Board integriert ist.

Dieses Projekt könnte möglicherweise als Gewächshaussteuerungssystem verwendet werden. Die RGB-LEDs zeigen die Eignung der Gewächshaustemperatur für Züchter an. Das rote Licht zeigt an, dass das Innere des Gewächshauses eine unerwünschte Temperatur hat. Das grüne Licht zeigt an, dass es den entsprechenden Temperaturwert hat.

## 3.1 Blockschaltbild

Der Grundaufbau der Schaltung wurde aus einem Blockschaltbild erstellt. Dieses Diagramm enthält den einzelnen Eingang des Temperatursensors ADT7420. Es enthält auch die drei Hauptkomponenten der Schaltung, den RGB-Farbcontroller, den Binär-zu-BCD-Konverter und den HEX-zu-7-Segment-Anzeigedecoder. Schließlich sind die Ausgänge der Schaltung die RGB-LEDs und vier der 7-Segment-Anzeigen.

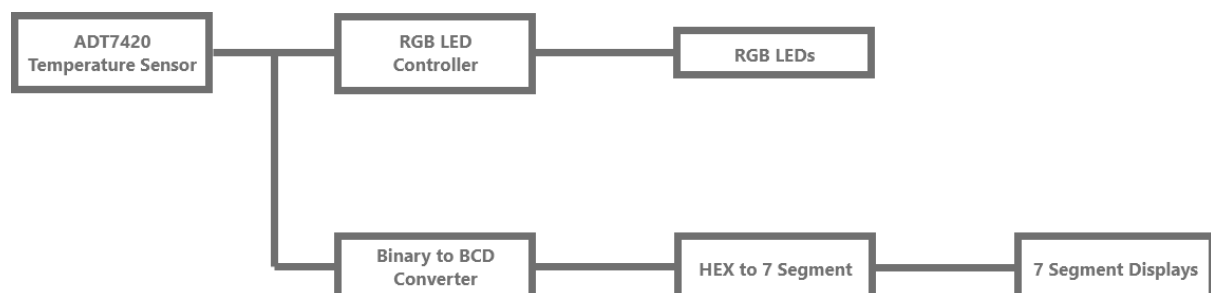


Abbildung 1 : Anfangsblockdiagramm

### 3.2 VHDL

Mit VIVADO IDE wurde ein für das Blockschaltbild geeigneter VHDL-Code generiert. Während der Arbeit an der Vivado-IDE haben wir viele Beispiele überprüft. Bei der Arbeit mit diesen Beispielcodes haben wir mit den Versionen 2021.2, 2020.1 und 2018.2 gearbeitet.

Die aus dem Blockschaltbild erstellte Schaltungsstruktur wird dann in eine VHDL-Projektdatei übersetzt. Die Projektdatei sollte einen Zähler, FSM, Hex to7 Segment Display, MUX, RGB Controller, Binary to BCD Converter, ADT7420 Register und ein TopFile enthalten.

### 3.3 Nexys A7

Das Nexys A7 Board ist eine komplette, gebrauchsfertige digitale Schaltungsentwicklungsplattform basierend auf dem neuesten Artix-7™ Field Programmable Gate Array (FPGA) von Xilinx®. Mit seinem großen FPGA mit hoher Kapazität, großzügigen externen Speichern und einer Sammlung von USB-, Ethernet- und anderen Ports kann das Nexys A7 Designs hosten, die von einführenden kombinatorischen Schaltungen bis hin zu leistungstarken eingebetteten Prozessoren reichen.

Die Komponenten, die wir in unserem Projekt verwenden möchten, sind der Temperatursensor (ADT7420) Nummer 3, der auf dem Foto an der Seite zu sehen ist, auf der FPGA-Karte, die RGB-LEDs Nummer 1 und der Anzeigebildschirm Nummer 2 zur Anzeige der Temperatur.

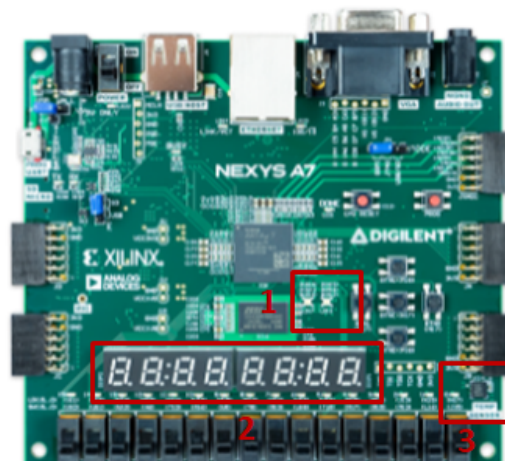


Abbildung 2 : Nexys A7

### 3.4 ADT 7420

Der Temperatursensor ADT7420 befindet sich auf der Unterseite rechte Ecke des Nexys A7 DDR Boards. Diese hohe Genauigkeit digitaler Temperatursensor arbeitet als I2C-Slave-Gerät. Über eine registerbasierte Schnittstelle können Daten gelesen oder geschrieben werden. Der Datenmenge, die man lesen/schreiben könnte, ist ein Byte oder zwei Byte pro Bustransaktion. Die Auflösung dieses Sensors kann vom Benutzer ausgewählt.

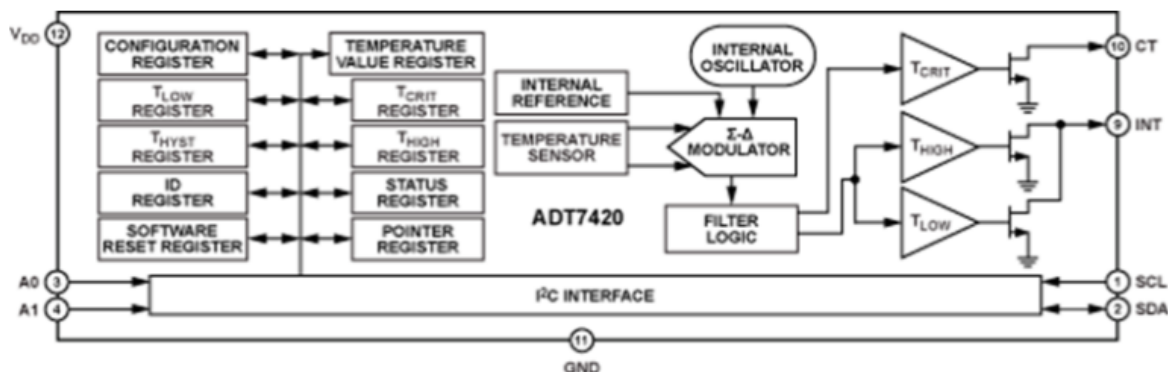


Abbildung 3 : Funktionsblockdiagramm

Das Nexys A7 enthält einen Temperatursensor ADT 7420 von Analog Device. Der Sensor bietet eine Auflösung von bis zu 16 Bit mit einer typischen Genauigkeit von besser als 0,25 Grad Celsius. Die Schnittstelle zwischen Temperatursensor und FPGA ist in Abbildung 4 dargestellt.

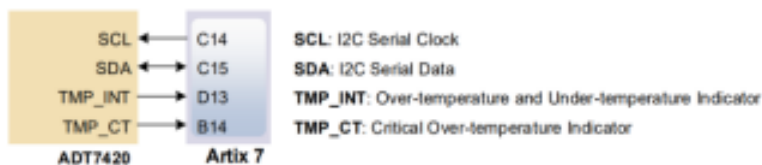


Abbildung 4 : Temperatursensor-Schnittstelle

### 3.5 I2C - Inter-Integrated Circuit

Wir haben das I2C-Kommunikationsprotokoll verwendet, um die Kommunikation zwischen Artix 7 und ADT7420 herzustellen. Wir haben kurz auf einige Informationen zum I2C-Protokoll eingegangen.

I2C (Inter-Integrated Circuit) ist ein serielles Kommunikationsprotokoll, das von Philips Semiconductor entwickelt wurde. Um die Nachteile eingebetteter Systeme zu überwinden, hat Philips das 2-Draht (2 Wired), I2C-Protokoll entwickelt, das mit geringer Bandbreite auf kurze Distanzen arbeitet. Das I2C-Protokoll verfügt über 2 Kommunikationskanäle, einen für

die Uhr und einen für die Daten. Diese Kanäle werden SCL (Serial Clock) und SDA (Serial Data) genannt. SDA wird für die Datenkommunikation verwendet, und mit SCL sorgen sendende und empfangende Parteien für die Datensynchronisation.

Auf SDA- und SCL-Bussen können viele Geräte vorhanden sein. Diese Geräte bilden Knoten. Der Partner, der die Kommunikation initiiert (CPU, Mikrocontroller), wird als Master bezeichnet, der andere als Slave. Der SCL wird vom Master gesteuert, aber der Slave kann bei Bedarf auch den elektrischen Pegel im SCL ändern. I2C unterstützt 3 verschiedene Geschwindigkeiten als Standard 100kHz, schnelle 400kHz und hohe Geschwindigkeit 3,4MHz.

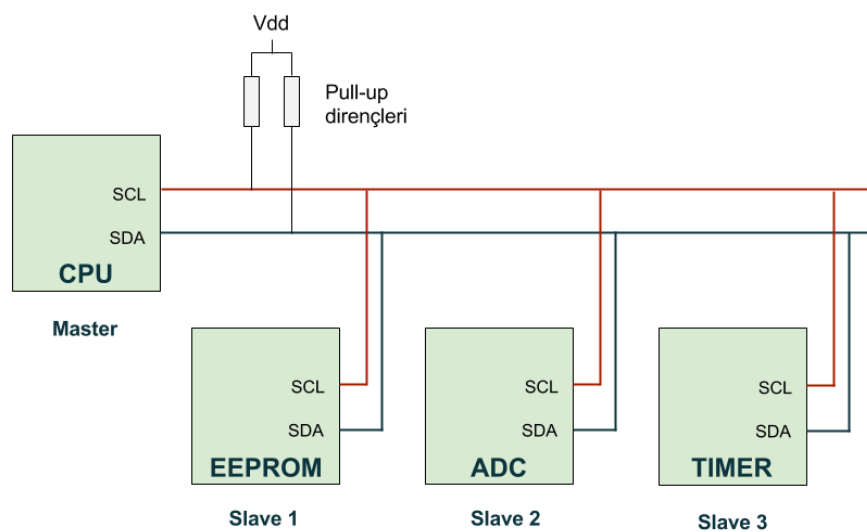


Abbildung 5: Beispiel für die Verwendung von I2C.

## Schreiben in ein Register in einem Gerät

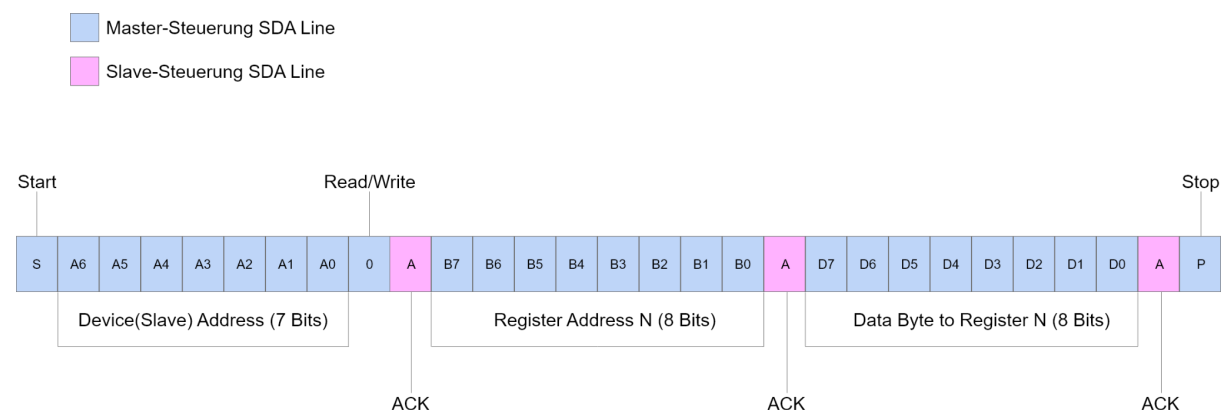


Abbildung 6: Schreiben auf Slave.

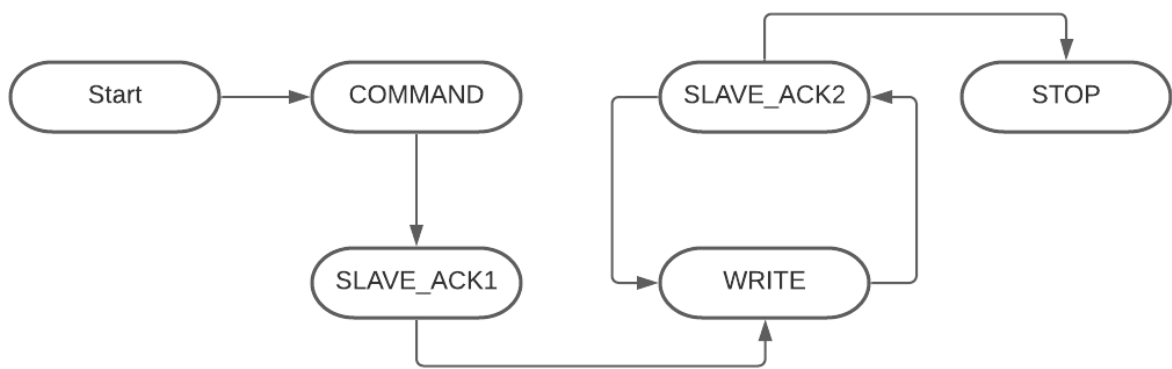
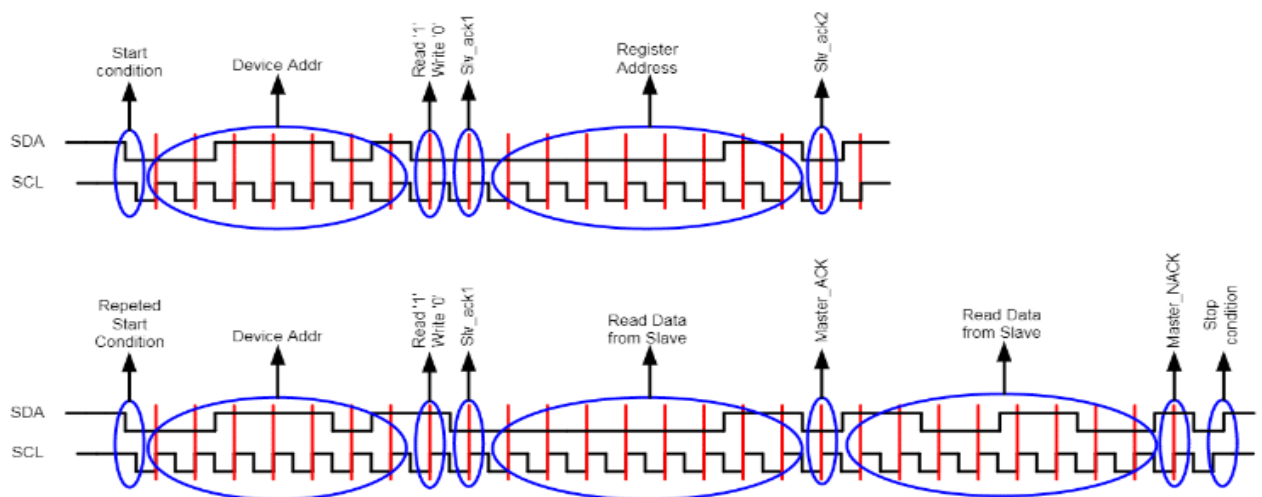


Abbildung 7: Zustandsmaschine für Schreiben an Slave

Device Address: 0011101  
 Register Address: 0x03  
 Read Data: 0x03CC  
 Data Size : 2 bytes



## Lesen von ein Register in einem Gerät

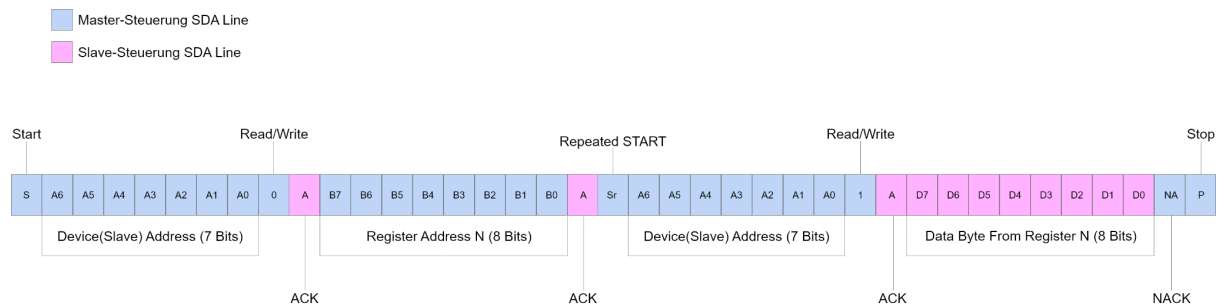


Abbildung 8: Lesen von Slave.

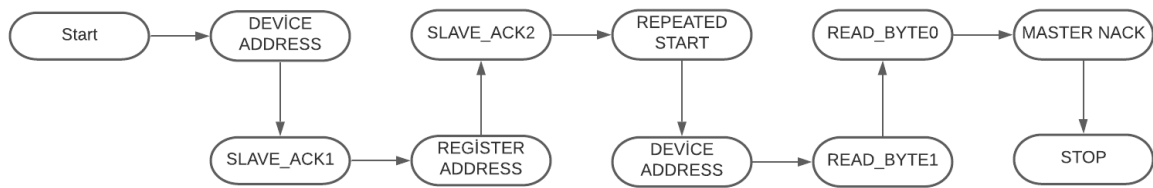


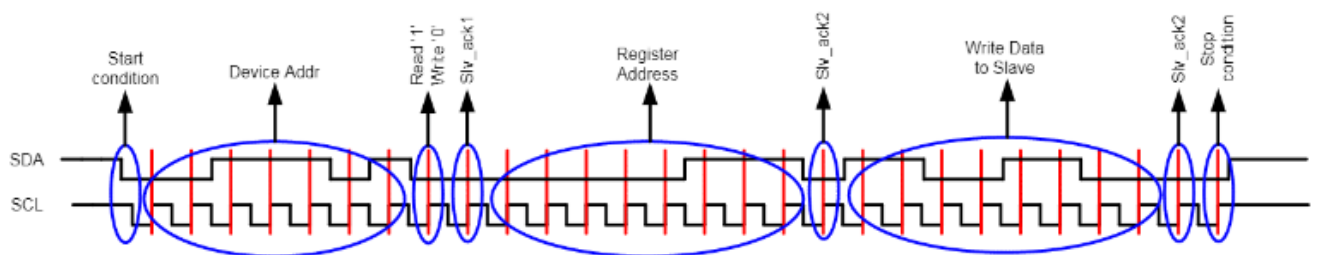
Abbildung 9: Zustandsmaschine für Lesen von Slave

Device Address: 0011101

Register Address: 0x07

Read Data: 0xCC

Data Size : 1 bytes



### 3.6 The Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

Wir haben das UART-Kommunikationsprotokoll verwendet, um die Daten zu lesen, die wir mit dem Sensor erhalten haben.

Das UART-Peripheriegerät (Universal Asynchronous Receiver/Transmitter) basiert auf dem asynchronen Kommunikationselement TL16C550 nach Industriestandard, das wiederum ein funktionales Upgrade des TL16C450 ist.

Der UART führt Seriell-Parallel-Umwandlungen an Daten durch, die von einem Peripheriegerät empfangen werden, und Parallel-Seriell-Umwandlungen an Daten, die von der CPU empfangen werden. Die CPU kann den UART-Status jederzeit lesen. Der UART umfasst eine Steuerfähigkeit und ein Prozessor-Interrupt-System, das angepasst werden kann, um die Softwareverwaltung der Kommunikationsverbindung zu minimieren.



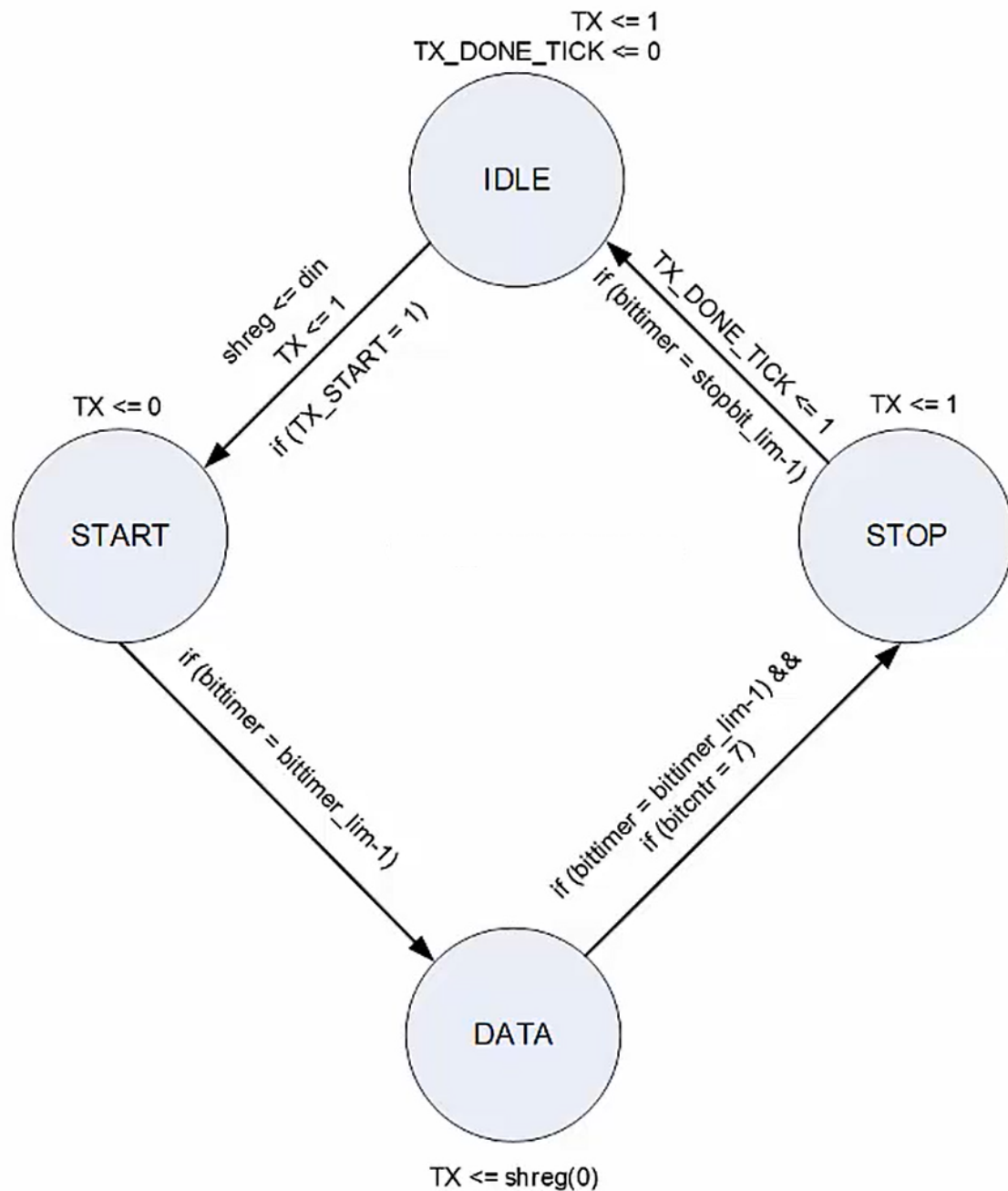


Abbildung 10 : Zustandsmaschine von UART

## 4. Änderungen

Im zuvor erstellten Projektentwurf war der Einsatz von Schrittmotor, Lüftermotor und externer LED vorgesehen. Außerdem wurden Backup-Pläne erstellt. Aufgrund der Lieferproblematik weltweit verfügbarer Elektronikprodukte wurde entschieden, anstelle der vorgesehenen Motoren RGB-LEDs auf dem FPGA zu verwenden. Das Aufleuchten von RGB-LEDs bedeutet praktisch, dass sich der Motor bewegt.

Es wurde entschieden, dass das im Methodenteil angestrebte Projekt aus den oben genannten Gründen nicht in der vorgegebenen Zeit realisiert werden konnte und der Übergang zum B-Plan erfolgte. Wir haben in unserem Backup-Plan die Kommunikationsprotokolle UART und I2C verwendet. Mit Hilfe des Temperatursensors haben wir die Umgebungstemperaturwerte erhalten, indem wir einige Änderungen an der Excel-Tabelle vorgenommen haben.

Zusammenfassend wurden in unserem Projekt unter Verwendung des I2C-Kommunikationsprotokolls die Daten des Temperatursensors in hexadezimaler Form erhalten. Später wurden diese Daten in der Excel-Tabelle verarbeitet und in Dezimalzahlen umgewandelt. Die Temperaturdaten in Celsius wurden durch Multiplikation des gemäß Datenblatt erhaltenen Dezimalwerts mit der Zahl 0,0625, die aus ADT7420 Datasheet kommt, erhalten. Im nächsten Schritt wurde beim Erhöhen der Umgebungstemperatur die Temperaturänderung nach der Tabelle kontrolliert.

## 5.Fazit

Wir wollten das gleiche Ziel erreichen, ohne so weit wie möglich von dem im Projektentwurf vorgestellten Projekt abzuweichen. Aus von uns nicht zu vertretenden Gründen mussten wir das Projekt ständig überarbeiten. Aufgrund der von uns vorgenommenen Änderungen haben wir die Umgebungstemperatur mit dem vorhandenen Temperatursensor ADT7420 auf dem im Projekt verwendeten Nexys A7-Board gemessen und in der Computerumgebung ausgelesen.

In diesem Zusammenhang haben wir bei der Entwicklung des Projekts die Version Vivado 2021.2 verwendet. Wir hatten die Möglichkeit, einige der im Rahmen des ETE441-Kurses erlernten Methoden anzuwenden. Außerdem haben wir den Umgang mit I2C- und UART-Protokollen gelernt und im Projekt eingesetzt. Wir haben den I2C-Master-Quellcode auf der Opencores-Site gefunden und die notwendigen Tests durchgeführt. Auf diese Weise haben wir gesehen, dass Open Source Code für die Verwendung in unserem Projekt geeignet ist.

Am Ende all dieser Studien haben wir die Kommunikationsprotokolle richtig verwendet und konnten die Umgebungstemperatur messen. Wir haben die Temperaturwerte in hexadezimaler Basis auf dem 115200-Band über die Hterm-Anwendung gelesen und aufgezeichnet. Wir haben die Daten, die wir in der Excel-Tabelle erfasst haben, verarbeitet und in Dezimalzahlen umgewandelt. Anschließend haben wir den Prozesswert in Celsius mit dem ADT7420 Informationsheft gedruckt und die abgelesenen Werte grafisch dargestellt.

zum Beispiel :

Wert gelesen mit Hterm (Heximal) = 01 9B  
von Heximal nach Decimal = 411  
Celsius Wert =  $411 \cdot 0,0625 = 25,6875 \text{ }^{\circ}\text{C}$

# Quellen

1. I2C Temperature Sensor - ADT7420 - Data Sheet
2. UM10204 - I2C-bus specification and user manual
3. Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) - Texas Instruments
4. I2C Temperature Sensor - ADT7420 - Data Sheet  
Artix-7 FPGAs Data Sheet: DC and AC Switching Characteristics - XILINX
5. FPGA Programming for Beginners, Frank Bruno
6. [Open Cores](#) (erreichsdatum: 12.12.21)
7. [GitHub - Digilent / Nexys-A7-100T-OOB](#) (erreichsdatum: 09.12.2021)
8. The I2C-bus and how to use it - Philips Semiconductors / 1995 update