

KOCAELİ ÜNİVERSİTESİ - MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ

FPGA ile OLED’de Anlık Sıcaklık Verisini Görüntüleme

FPGA ile Sayısal Tasarıma Giriş Dersi

Burak Yeniaydın

Bölümü: Elektronik ve Haberleşme Mühendisliği

Danışman: Doç. Dr. Anıl Çelebi

KOCAELİ, 2021

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR

I2C (Inter-Integrated Circuit), 1982'de Philips Semiconductors şirketi tarafından icat edilen senkronize, seri iletişim arayüzüdür. Birbirine yakın cihazlar arası iletişim sağlamak için uygun bir arayüzdür. Birçok sensör ve mikrodenetleyiciler bu arayüze sahiptir. Sadece tek bir hattan veri gönderir ve alır. Bu hattın dışında bir de saat hattı mevcuttur. Senkronizasyonun sağlanması için saat bilgisi master cihaz tarafından slave cihazlara gönderilir. Kablo sayısı düşük olması bir avantaj iken, karmaşıklık en büyük dezavantajlarından biridir.

Bu projede iki farklı sensör FPGA ile I2C hattı üzerinden sürülmüştür. Umarım bu çalışma daha sonra “FPGA ile Sayısal Tasarıma Giriş” dersini alan diğer öğrencilere faydalı olur.

Bu çalışma kapsamında yardımlarını bizden esirgemeyen Doç. Drç Anıl Çelebi Hocamıza teşekkürlerimi sunuyorum.

Mayıs 2021, KOCAELİ

Burak Yeniaydın

İÇİNDEKİLER

ÖNSÖZ ve TEŞEKKÜR.....	i
İÇİNDEKİLER	ii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	ii
TABLolar DİZİNİ	ii
1. I2C PROTOKOLÜ	5
1.1 Giriş	5
2. SİSTEM TASARIMI	6
2.1 TOP I2C MODÜLÜ	7
2.2 MASTER I2C DRIVER MODÜLÜ.....	8
2.3 DS3231 MODÜLÜ.....	9
2.4 OLED MODÜLÜ	10
3. BASKI DEVRE	14
SONUÇLAR ve ÖNERİLER.....	16
KAYNAKLAR	18
ÖZGEÇMİŞ	18

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 1 - I2C 1101000 adresli slave cihazın bir register'ına veri yazma [1]	5
Şekil 2 - I2C slave'den veri okuma [2].....	6
Şekil 3 - Genel sistem yapısı.....	6
Şekil 4 - FPGA Blok Tasarımı.....	7
Şekil 5 - I2C Master Driver Bloğu.....	8
Şekil 6 - i2c master driver testbench.....	9
Şekil 7 – DS3231 Modülü.....	9
Şekil 8 - Block RAM İçeriği.....	12
Şekil 9 - OLED'e yazılan sıcaklık değerinin piksel bölgeleri	13
Şekil 10 -OLED Driver Modülü	14
Şekil 11 - Devre Şematiği.....	15
Şekil 12 - PCB çizimi	15
Şekil 13 – tasarlanan PMOD ve PYNQ-Z2 board	16

TABLolar DİZİNİ

Tablo 1 - SSD1306 konfigürasyon tablosu.....	10
Tablo 2 - "2" karakterinin binary gösterimi	11

FPGA ile OLED’de Anlık Sıcaklık Verisini Görüntüleme

Burak Yeniaydın

Anahtar Kelimeler: FPGA, OLED, sıcaklık verisi, I2C.

Özet: I2C haberleşme protokolü elektronik cihazlar arası haberleşmeyi sağlamak için kullanılan en önemli protokollerden biridir. Bu protokolün en önemli kazancı ise kablo sayısını düşürmesidir. Bir tanesi veri, diğeri saat olmak üzere 2 hat ile haberleşme sağlanır. Bu çalışmada FPGA, DS3231 sensörü ve OLED kullanılmış olup, FPGA master olarak, I2C arayüzüne sahip DS3231 ve OLED ise slave cihazlar olarak kullanılmıştır. DS3231 sensöründen ortamın sıcaklık bilgisi alınmış olup alınan bu sıcaklık bilgisi OLED üzerinde anlık olarak kullanıcıya gösterilmiştir.

Displaying Temperature Data On OLED with FPGA

Burak Yeniaydın

Keywords: FPGA, OLED, temperature data.

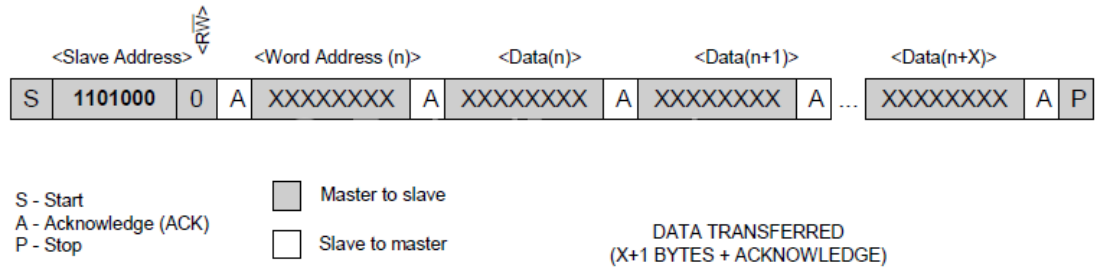
Abstract: The I2C communication protocol is one of the most important protocols used to provide communication between electronic devices. The most important gain of this protocol is that it reduces the number of cables. Communication is provided with 2 lines, one for data and the other for clock. In this project, FPGA, DS3231 sensor and OLED are used, FPGA is used as master, DS3231 and OLED with I2C interface are used as slave devices. The temperature information of the environment is taken from the DS3231 sensor and this temperature information is instantly displayed to the user on the OLED.

1. I2C PROTOKOLÜ

1.1 Giriş

Haberleşme protokolleri iki elektronik cihaz arasında veri aktarımını sağlamak için kullanılır. I2C protokolü en yaygın haberleşme protokolleri arasındadır. Genel avantajı sadece 2 hat ile birden fazla cihaz arasında haberleşmenin sağlanabiliyor olmasıdır. Buna karşılık karmaşıklığı biraz fazladır. I2C adres mantığıyla çalışır. Master cihaz hangi slave ile haberleşeceğini başlangıçta slave'in adresini göndererek belirler. 7 bitlik bir adresleme olduğu düşünülürse teorik olarak bir master 127 tane slave ile aynı hattan iletişim sağlayabilir.

SDA hattı veri alıp veri göndermek için çift yönlü olarak kullanılır. SCL hattı ise Master'dan slave'e doğru saat verisini göndererek sistemin senkronize olmasını sağlar. Master cihaz ile slave cihazın bir register'ına değer yazmak için aşağıda gösterilen protokol uygulanır.



Şekil 1 - I2C 1101000 adresli slave cihazın bir register'ına veri yazma [1]

İlk olarak start biti gönderilir. Bu bit clock logic 1'de iken veri hattının logic 0'a düşürülmesi ile oluşturulur. Veriler ise clock logic 0'da iken gönderilir. Start biti gönderildikten sonra 7 bitlik slave adresi gönderilir. Ardından "Write" komutu için 0 gönderilir. Buradan sonra slave dinlenir. Slave'den bir "Acknowledge" sinyali geri döndürülmesi beklenir. Slave bu sinyali gönderdiyse paket başarılı bir şekilde ulaşmış demektir. Acknowledge sinyalinin ardından master bu kez slave'in hangi register'ına yazacağını belirlemek için 8 bitlik bir register adres bilgisi gönderir. Ardından yazılacak veriler master'dan stop biti gönderilene kadar gönderilmeye devam eder.

Slave'in bir register'ından okuma yapmak için aşağıdaki protokol uygulanmalıdır.

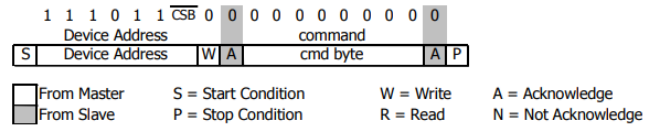


Figure 5: I2C ADC read sequence

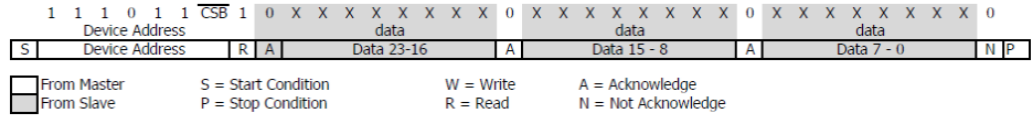


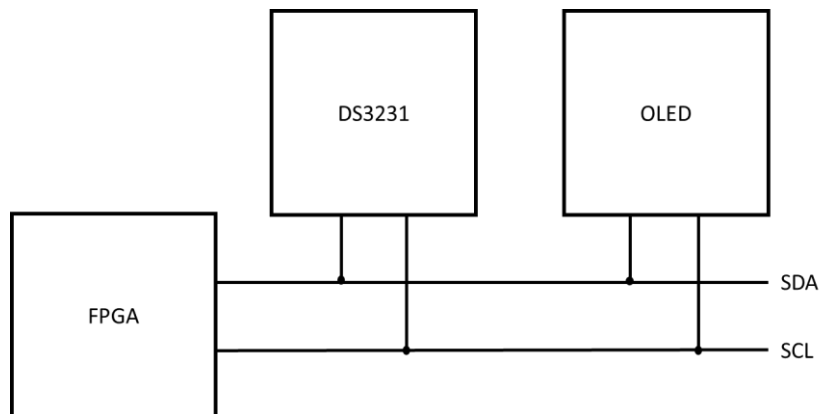
Figure 6: I2C pressure response (D1) on 24 bit from MS5803-14BA

Şekil 2 - I2C slave'den veri okuma [2]

Slave'den veri okuma için register adresini yazdıktan sonra sistem durdurulur tekrar başlatılır. Tekrardan slave'in adresi girildikten sonra RW bitine bu kez logic 1 yazılır. Ardından slave acknowledge sinyali ile birlikte datalarını göndermeye başlar. Her bir 8 bitlik veriden sonra bu kez master acknowledge gönderir. Master nack gönderip stop biti ile okuma işlemini sonlandırabilir.

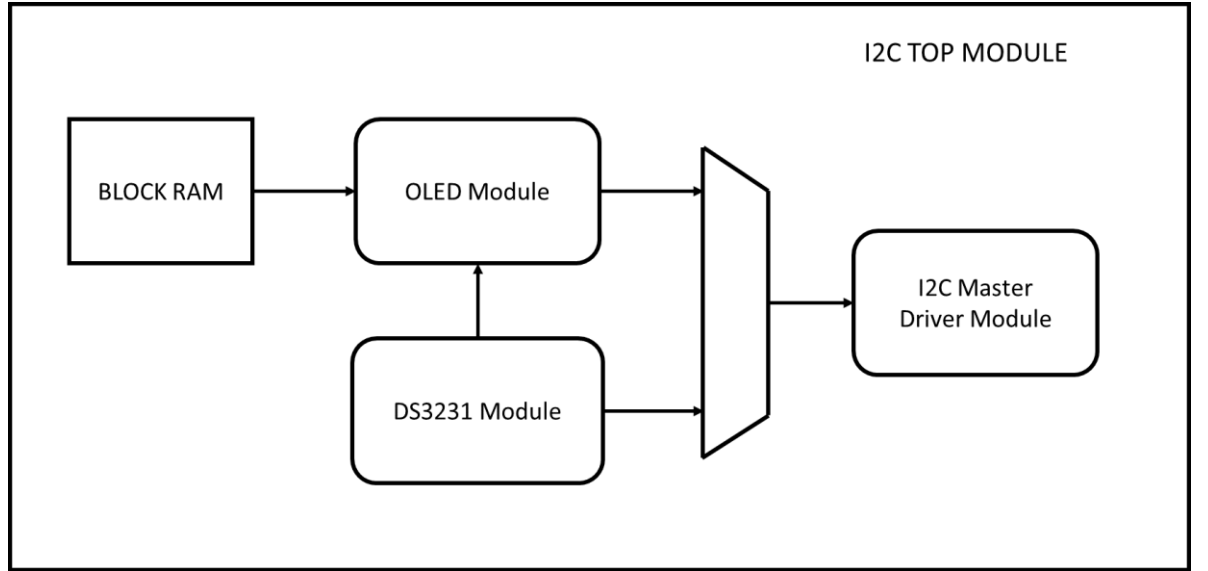
2. SİSTEM TASARIMI

Sistem FPGA, DS3231 sensörü ve OLED cihazlarından oluşmaktadır (Şekil 3). Burada FPGA I2C master görevi görmektedir. DS3231 slave cihazından alınan sıcaklık verisi OLED üzerinde anlık olarak gösterilmektedir.



Şekil 3 - Genel sistem yapısı

FPGA iç yapısı Şekil 4’te gösterildiği gibidir. I2C master driver, slave I2C cihazlarını sürmek için oluşturulmuştur. Bu modül OLED modülü veya DS3231 modülünden gelen verileri I2C hattı üzerinden slave cihaza ulaştırır. DS3231 modülü slave cihazdaki ilgili registerları okuyarak sıcaklık verisini elde eder. OLED modülü ise gerekli konfigürasyonları gerçekleştirdikten sonra DS3231 modülünden aldığı sıcaklık verisini ekrana bastırır. Burada OLED modülü okunan sıcaklık verisini basamaklarına ayırarak, içerisinde ekrana basılacak olan karakterlerin piksel değerleri yer alan blok ram’in ilgili yerindeki karakteri ekrana bastırır.



Şekil 4 - FPGA Blok Tasarımı

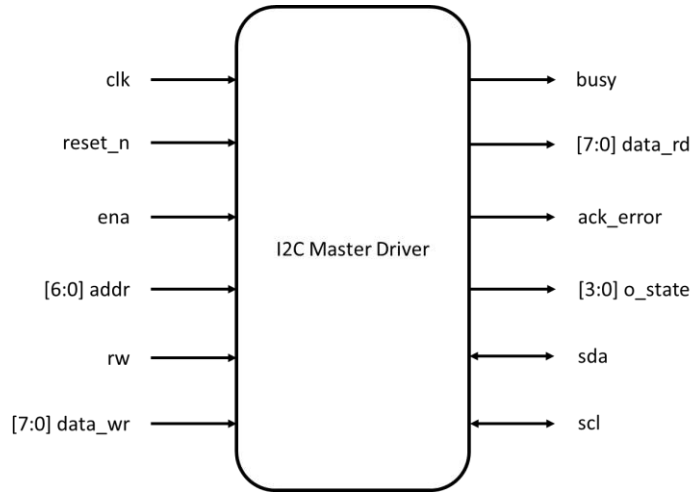
2.1 TOP I2C MODÜLÜ

Bu modül diğer tüm modülleri çevreleyen bir katman olarak görev yapar. Yani hiyerarşinin en tepesinde yer alır. FPGA’ın dış dünya ile bağlantısını sağlayan giriş ve çıkışlar bu modül ile sağlanmıştır. Bu giriş çıkışlar Şekil 4 gösterilmiştir. “clk” pini FPGA board’unun üzerinde bulunan 125 MHz’lik saat kaynağına bağlıdır. “rst_n” board üzerinde bulunan “sw[0]” anahtarına bağlıdır. “sda” ve “scl” I2C arayüzünü oluşturmaktadır. Slave cihazlar ile haberleşme bu sinyaller üzerinden sağlanmaktadır. “sda” veri taşınmasında görev alırken “scl” slave cihazlara 400 KHz’lik saat kaynağı sağlayarak senkronizasyonu sağlamaktadır.

Bu modül ayrıca hangi slave ile haberleşileceğini belirleyen bir sonlu durum makinesi içerir. Bu sonlu durum makinesi OLED ve DS3231 modüllerinden gelen ve çevrimin tamamlandığını belirten tetikleme sinyallerini kullanır. Bu sayede iki modülden birini I2C hattına bağlar.

2.2 MASTER I2C DRIVER MODÜLÜ

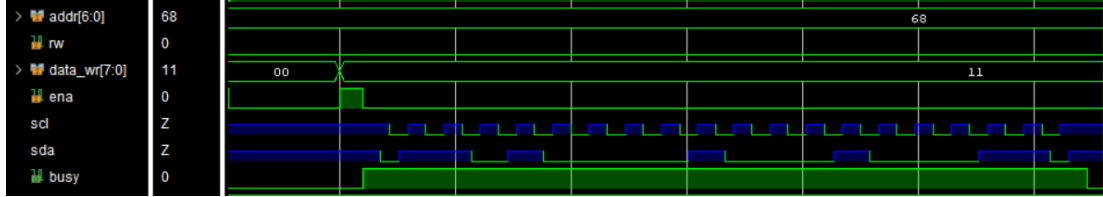
Oluşturulan I2C driver modülünün giriş ve çıkış portları Şekil 5'te gösterilmiştir. Burada “sda” ve “scl” pinleri çift yönlü olarak tanımlanarak FPGA'in pmod çıkışına gönderilmiştir. Bu modül i2c bus'ı üzerinden gönderilecek verileri “addr”, “rw” ve “data_wr” hatları üzerinden alır ve bunları i2c arayüzüne çevirir. Çevrimin başlayabilmesi için “ena” girişinin tetiklenmesi gerekmektedir. 7 bitlik adres verisi “addr” hattı ile modüle giriş olarak verilmektedir. 8 bitlik data_wr verisi i2c hattından gönderilecek olan veriyi/komutu temsil etmektedir. rw biti ise ilgili cihazdan okuma mı yazma mı yapılacağını belirlemek için kullanılmaktadır.



Şekil 5 - I2C Master Driver Bloğu

Şekil 6 i2c driver modülünün 0x68 adresli, DS3231 cihazının 0x11'inci registerına gerçekleşen yazma operasyonunu göstermektedir. (NOT: Bu gösterim testbench ortamında olduğundan acknowledge değeri “ACK” yerine “NACK” olarak gözlenmektedir). Çevrim boyunca modülün meşgul olduğunu belirten “busy” sinyalinin 1 olduğu gözlemlenmektedir. “ack_error” sinyali slave'in cevap vermediği durumun tespit edilmesi için kullanılır. “data_rd” sinyali ise sensörden veri okunması

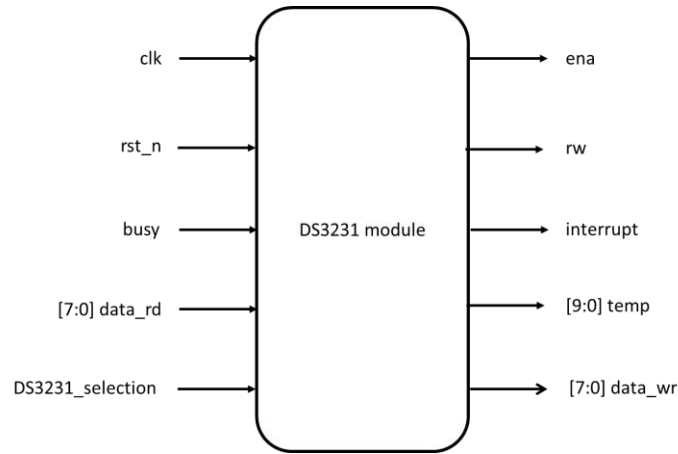
durumunda okunan verinin kaydedildiği registerdır. “o_state” sinyali ise sonlu durum makinasının mevcut durumunu OLED modülüne aktarmak için kullanılmaktadır. OLED bu sinyali çoklu yazma komutu göndermek için kullanılmaktadır. Bu modülde i2c hattının hızı 400 kHz olarak belirlenmiştir. Bu değer modüle parametre olarak verilmektedir.



Şekil 6 - i2c master driver testbench

2.3 DS3231 MODÜLÜ

Bu modül DS3231 cihazı ile olan haberleşmeyi sağlayabilmek için kullanılmaktadır. Modül içerisinde bulunan sonlu durum makinesi sensörün ilgili registerlarından okuma yapmak için tasarlanmıştır. Modülünün giriş ve çıkış portları Şekil 7’de gösterilmiştir.



Şekil 7 – DS3231 Modülü

Sonlu durum makinesi resetin ve DS3231_selection girişinin 1 olması durumunda 125 MHz’lik saatin her yükselen kenarında çalışmaktadır. i2c driverının meşgul olup olmadığını belirten busy sinyali bu modüle giriş olarak gelmektedir. Sonlu durum makinesinde bu sinyal kontrol edilerek datanın gönderilip gönderilmeyeceğine karar verilmektedir. DS3231 cihazından sıcaklık verisinin okunabilmesi için herhangi bir

konfigürasyon gerekmediği için bu modül i2c master driver modülüne sadece “read” komutu (“rw” = 1) göndermektedir. DS3231 sensörünün hangi registerının okunacağını “data_wr” sinyali ile belirlenmektedir. “ena” sinyali ise i2c master driverın sonlu durum makinesini tetiklemek için kullanılmaktadır. DS3231 sensörü sıcaklık verisini 10 bit olarak iki ayrı registerında tutmaktadır. Bu modül 8 bitlik her iki registerı okuduktan sonra anlamlı bitleri bir araya getirerek 10 bitlik sıcaklık verisini elde etmektedir. Elde edilen bu veri “temp” sinyali ile OLED modülüne aktarılır. Sıcaklık okuma işleminin bittiğini belirtmek için ise interrupt sinyali tetiklenmektedir.

2.4 OLED MODÜLÜ

Bu modül OLED ile olan haberleşmeyi sağlayabilmek için kullanılmaktadır. Modül içerisinde bulunan sonlu durum makinesi ile ilk olarak cihazı başlatmak için bazı konfigürasyonlar yapılmıştır. Bu konfigürasyonlar Tablo 1’de gösterilmektedir.

Tablo 1 - SSD1306 konfigürasyon tablosu

	Açıklama	Adres	Kontrol baytı	Değer baytı
1	Ekranı kapat	0x3C	0x00	0xAE
2	Osilatör Frekansını Ayarla	0x3C	0x00	0xD5
3		0x3C	0x00	0x80
4	Multipleks oranını ayarlı	0x3C	0x00	0xA8
5		0x3C	0x00	0x3F
6	Ekran ofsetini ayarla (128x32 veya 128x64)	0x3C	0x00	0xD3
7		0x3C	0x00	0x00
8	Ekran Başlangıç Çizgisini Ayarla	0x3C	0x00	0x40
9	Şarj pompa regülatörünü ayarla	0x3C	0x00	0x8D
10		0x3C	0x00	0x14
11	Bellek Adresleme Modunu Ayarla	0x3C	0x00	0x20
12		0x3C	0x00	0x00
13	Segment Eşlemesini Ayarla	0x3C	0x00	0xA1
14	COM Çıktı Tarama Yönünü Ayarla	0x3C	0x00	0xC8
15	COM Pins Donanım Yapılandırmasını Ayarla	0x3C	0x00	0xDA
16		0x3C	0x00	0x12
17	Kontrastı Ayarla	0x3C	0x00	0x81
18		0x3C	0x00	0xCF
19	Ön Şarjın Süresini Ayarlayın	0x3C	0x00	0xD9
20		0x3C	0x00	0xF1
21	V _{COMH} Seçimi Kaldırma Düzeyini Ayarla	0x3C	0x00	0xDB
22		0x3C	0x00	0x40
23	Tüm Ekranı Devre Dışı Bırak	0x3C	0x00	0xA4
24	Normal Ekranı Ayarla	0x3C	0x00	0xA6
25	Ekranı Aç	0x3C	0x00	0xAF

OLED toplam 8 satır bloğu ve 128 sütundan oluşmuştur. Temel konfigürasyon işlemlerinden sonra cihazın RAM’inde kalan gürültü değerlerinin ekrana basılmaması için tüm pikseller sıfırlanmalıdır.

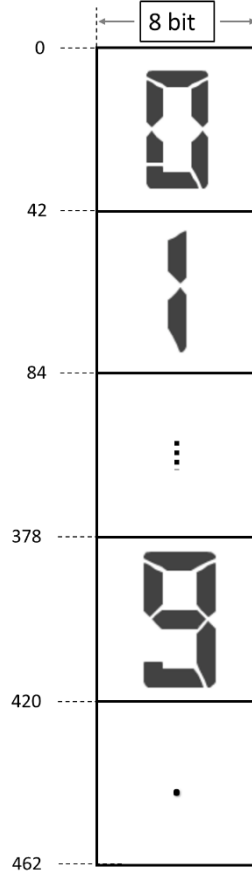
Bu projede rakamlar ve “.” (nokta) karakterinden oluşan bir veri seti kullanılmıştır. Bu veri setinde her bir karakter 42 byte’dan oluşmaktadır ve bu karakterler Tablo 2’de gösterildiği gibi 14 sütun, 24 satır (3 page) olmak üzere toplam 336 piksellik bir alana yayılmıştır.

Tablo 2 - "2" karakterinin binary gösterimi

0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
0	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0
0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0

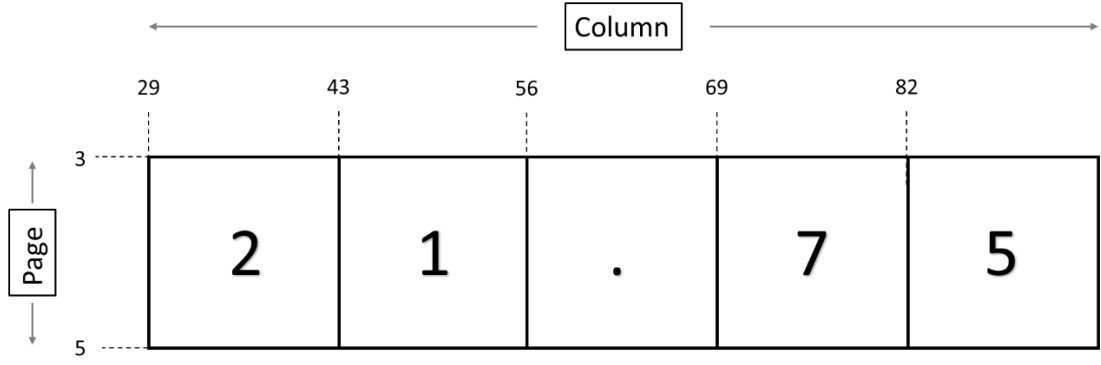
Kullanılan karakterleri barındıran veri seti Block Ram içerisine “.coe” uzantılı dosya ile kaydedilmiştir. Şekil 8 Block RAM içeriğini göstermektedir. DS3231 modülünden gelen sıcaklık verisi bölme ve mod işlemi ile basamak değerlerine ayrılmıştır. Daha sonra en değerlikli basamak değerinden başlamak üzere, her bir

basamaktaki değere karşılık gelen binary veri blok RAM'in ilgili adresinden okunmaktadır.



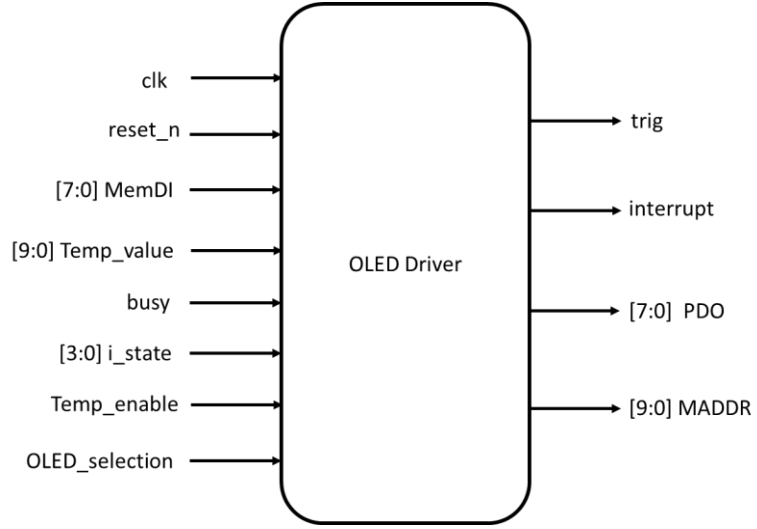
Şekil 8 - Block RAM İçeriği

Blok RAM'den okunan değerler sırasıyla OLED üzerindeki belirlenen bölgeye bastırılır. OLED üzerinde yazılacak bölge her bir basamak değeri gönderilmeden önce belirlenmelidir. DS3231 sensöründen gelen sıcaklık verisini OLED üzerinde tercihen 29. ve 96. sütunları ve 3. ve 5. sayfaları arasına yazılacaktır. O halde ilk basamak değeri Şekil 9'da da gösterildiği üzere 29 ile 43 sütunları ve 3 ile 5 sayfaları arasına yazılacaktır. Bu basamak OLED'e gönderilmeden önce ilgili sütun ve sayfa aralıkları başlangıç ve bitiş koordinatı olarak ayarlanmalıdır.



Şekil 9 - OLED'e yazılan sıcaklık değerinin piksel bölgeleri

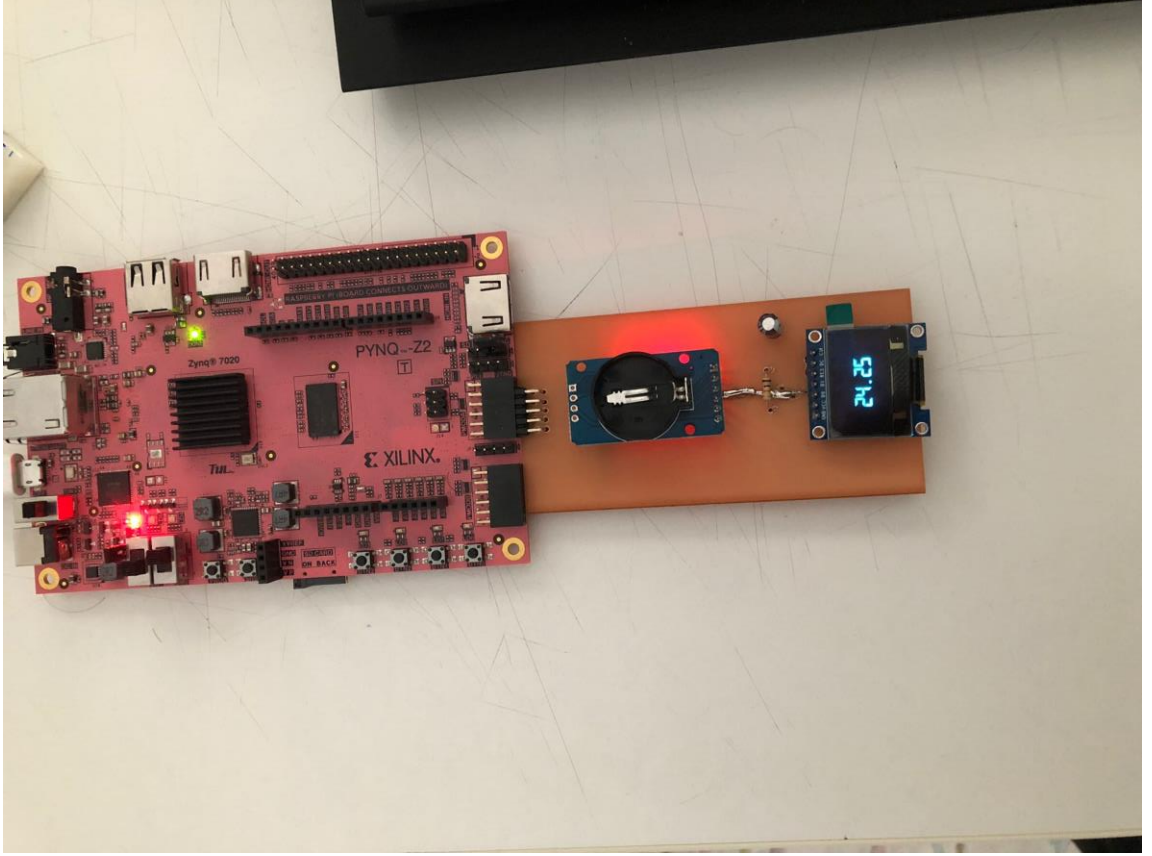
Şekil 10’da OLED driver modülünün giriş ve çıkışları gösterilmiştir. “MemDI” pinleri Blok RAM’den gelen veriyi almaktadır. “Temp_enable” sinyali DS3231 modülü sıcaklık okuma işlemini bitirdikten sonra tetiklenmektedir. Bu değer tetiklenmesi son sıcaklık verisinin tutulduğu “Temp_value” sinyalini okuyabileceğimiz anlamını taşır. “i_state” i2c ile çoklu veri gönderim yapabilmek için kullanılmıştır. I2C master driver’ın sonlu durum makinesinin durum bilgisi buradan alınmaktadır. OLED driverın içerisinde oluşturulan sonlu durum makinesi resetin ve OLED_selection girişinin 1 olması durumunda 125 MHz’lik saatin her yükselen kenarında çalışmaktadır. i2c driverının meşgul olup olmadığını belirten “busy” sinyali bu modüle giriş olarak gelmektedir. Sonlu durum makinesinde bu sinyal kontrol edilerek datanın gönderilip gönderilmeyeceğine karar verilmektedir. PDO çıkışı OLED’e gönderilecek olan verileri I2C master driver’a göndermektedir. 10 bitlik “MADDR” çıkışı ise Blok RAM’i adreslemek için kullanılmaktadır. “trig” çıkışı I2C driver’ını tetiklemek için kullanılırken, interrupt çıkışı çevrimin bittiğini Top I2C modülüne bildirmek için kullanılır.



Şekil 10 -OLED Driver Modülü

3. BASKI DEVRE

Bu aşamada elektronik bileşenler birleştirilerek baskı devre üzerine lehimlenmiştir. Baskı devre çizimi Altium programı ile gerçekleştirilmiştir. Kullanılan cihazların şematik ve PCB kütüphaneleri oluşturulmuştur. Devre Şematiği Şekil 11’de gösterilmiştir. OLED’in reset pini pull-up direnci ile logic 1 seviyesine çekilmiştir. PCB çizimi ise gösterilmiştir. PCB iki katlı olacak şekilde tasarlanmıştır. Şekil 13’te ise PYNQ-Z2 kartına PMOD-A konnektöründen bağlı, kendi tasarımı olan PMOD gösterilmiştir. PMOD üzerindeki OLED’de ortamın sıcaklık bilgisi yazmaktadır.



Şekil 13 – tasarlanan PMOD ve PYNQ-Z2 board

SONUÇLAR VE ÖNERİLER

Bu proje kapsamında içerisinde OLED modülü ve DS3231 sensörü bulunan PMOD arayüzüne entegre olabilen baskı devre tasarlanmıştır. Bu tasarım Altium programı ile çizilmiştir. FPGA ile bu modüller I2C arayüzü ile haberleştirilerek sıcaklık verisi OLED üzerinde görüntülendi.

FPGA gibi karmaşık ve paralel işlem yeteneğine sahip bir cihazın sadece bu tür seri haberleşme arayüzlerinin gerçekleştirilmesinde kullanılmasının çok maliyetli olduğu görülmüştür. Bu yüzden bu denli karmaşıklığın az olduğu sistemlerde, maliyetin daha düşük olduğu basit mikroişlemciler kullanılabilir. Ancak ders projesi kapsamında gerçekleştirdiğim bu proje I2C protokolünü detaylıca anlamama yardımcı olmuştur.

Bir sonraki çalışma olarak OLED üzerine yazılan karakterlerin boyutunun ayarlanabilir olması, bir başka I2C sensöründen alınan verinin de ek olarak bastırılması hedeflenebilir.

KAYNAKLAR

- [1] <https://embedjournal.com/two-wire-interface-i2c-protocol-in-a-nut-shell/>
- [2] <https://mbientlab.com/community/discussion/2694/sending-non-standard-i2c-command-to-external-i2c-slave-device>
- [3] <https://cdn-shop.adafruit.com/datasheets/SSD1306.pdf>
- [4] <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS3231.pdf>
- [5] https://www.mouser.com/datasheet/2/744/pynqz2_user_manual_v1_0-1525725.pdf

ÖZGEÇMİŞ

Öğrenimime Çağlayan İlk Öğretim Okulu ile başladım. Mevlana Anadolu Lisesi ile devam ettim. Şu aşamada Kocaeli Üniversitesi Elektronik Haberleşme Mühendisliği Bölümünde devam etmekteyim.