

Programlanabilir CPLD tabanlı akıllı mikrodeneleyici eğitim seti tasarımı ve uygulaması

Selim Bakırcılar¹, Ahmet Turan Özcerit^{2*}

09.05.2012 Geliş/Received, 19.04.2013 Kabul/Accepted

ÖZ

Bu makalede geleneksel mikrodeneleyici eğitim setlerinin aksine, kullanım açısından daha kolay, verimli, zaman kazandıran ve arızalanma olasılığı düşük bir mikrodeneleyicili eğitim seti tasarımı gerçekleştirilmiştir. Geleneksel eğitim setlerindeki sorunu oluşturan nokta üzerinde yoğunlaşmış ve problemin çözümü noktasında muadil işlemi gerçekleştirebilecek bir analog anahtar matris kartı tasarlanmıştır. Bu kart kendisine bağlanan deney modülleri ile mikrodeneleyici geliştirme kiti arasındaki gerekli ayarları sağlamaktadır. Analog matris kartı analog anahtar entegreleri kullanılarak tasarlanmıştır. Bu kartın içerisinde barındırdığı analog anahtar entegrelerinin kontrolü için giriş-çıkış pin sayısı yüksek bir CPLD kullanılmıştır. CPLD için gerekli yazılımlar VHDL yazılmıştır ve CPLD, PC ile paralel port aracılığıyla programlanmaktadır. Mikrodeneleyici deneyleri için USB 2.0 üzerinden programlanabilen 8051 tabanlı bir mikrodeneleyicili ana kart tasarımı yapılmıştır. Anahtar matrisi üzerindeki CPLD ve anakart üzerindeki mikrodeneleyici bağımsız konfigürasyon yazılımları kullanılarak programlanmaktadır.

Anahtar Kelimeler: 8051, deney seti, CPLD, vhdl, analog anahtar

The design and implementaton of programmable CPLD based smart microcontroller education set

ABSTRACT

In this article, unlike traditional microcontroller training kit, a microcontroller experiment set is implemented to be easier to use, efficient, time-saving and low probability of failure. By focusing on the problem of traditional educational set, we have designed an analog switch matrix card that can perform the equivalent operation. This card provides the necessary connections between microcontroller and the modules of the development kit. Analog matrix board are implemented by using integrated analog switches. The analog switches in the analog matrix board is controlled by a CPLD with a high I/O pin count. The configuration code of the CPLD is written in VHDL and it is programmed via parallel port interface on a PC. An 8051-based microcontroller motherboard, which can be programmed via USB 2.0, has been designed for microcontroller experiments. The CPLD on the switch matrix and on-board microcontroller are programmed using their programming tools independently.

Keywords: 8051, experimental set, CPLD, vhdl, analog switch

* Sorumlu Yazar / Corresponding Author

1 Sakarya Üniversitesi, Fen Bilimleri Entitüsü, Sakarya – selim55@hotmail.com

2 Sakarya Üniversitesi, Teknoloji Fakültesi, Bilgisayar Mühendisliği, Sakarya - aozcerit@sakarya.edu.tr

1. GİRİŞ (INTRODUCTION)

Çağımızda teknoloji hızla ilerlemekte ve hayatın her alanına girmiş bulunmaktadır. Karmaşık problemlerin çözümlenmesi ve hayatın kolaylaşması için duyulan ihtiyaç bilgisayarların oluşmasına sebep olmuştur. Bilgisayarların beyni sayılan mikroişlemciler, elektronik ve bilgisayar alanında oldukça önemli yere sahiptirler. Mikrodenetleyiciler tek bir yapı üzerinde entegre edilmiş bir mikroişlemci, veri ve program belleği, lojik giriş ve çıkışlar, analog girişler ve işlevsellik katan diğer çevre birimleri (zamanlayıcılar, sayaçlar, kesiciler, analogtan sayısala çeviriciler gibi)barındıran mikrobilgisayarlardır.

Temelde mikroişlemci mimarisi iki çeşittir. Bunlar RISC (Reduced Instruction Set Computer: Azaltılmış komut seti) tabanlı işlemciler ve CISC (Complex Instruction Set Computer: Karmaşık komut seti) tabanlı işlemcilerdir. Mikrodenetleyicilerin de aynı şekilde RISC ve CISC mimarisine göre türleri vardır. Piyasada bulunan mikrodenetleyiciler bu iki işlemci sınıfından birine aittir. Mikrodenetleyici üretici firmalarının kullandıkları mimari türleri:

- Microchip firmasının PIC mikrodenetleyicileri (RISC),
- Intel firmasının MCS51 mikrodenetleyicileri (CISC),
- Atmel firmasını AVR mikrodenetleyicileri (RISC),
- Motorola FreeScale mikrodenetleyicileri,

Piyasada çok çeşitli mikrodenetleyicili eğitim seti bulunmaktadır. Mikrodenetleyicili merkezli bu sistemler, birbirlerinden farklı deney modülleri içermekte ve bu modüller ve kullandığı mikrodenetleyicilere göre birbirlerinden farklılaşmaktadırlar. Bu sistemlerin temel çalışma mantığı mikrodenetleyicinin giriş çıkış portlarına bağlı deney modüllerinin, uygulamaya göre kullanılan yazılım ile birbirleri arasında etkileşiminden ibarettir.

Bu sistemlerde bulunan deney modüllerinin deney uygulamalarında kullanılabilmesi için mikrodenetleyici ile arasında fiziksel bir bağlantı olması gereklidir. Eğitim setlerinde mikrodenetleyicinin giriş çıkış portlarının sayısından daha fazla sayıda deney modülü bulunmaktadır. Mikrodenetleyicinin sahip olduğu kısıtlı sayıda portları sebebiyle her deney modülü mikrodenetleyici ile yapılacak uygulamaya göre istenildiği zaman donanımsal olarak bağlı hale getirilir. Bu bağlantının yapılmasını sağlayan elemanlar anahtarlardır. Bu anahtarlar eğitim setleri üzerinde 8'li 10'lu sayıda DIP kılıfta birleştirilmiş olarak bulunmaktadır. DIP kılıfta birleştirilen bu anahtarların boyutları oldukça küçüktür. Yapılacak uygulamaya göre, ilk önce eğitim seti üzerinde kullanılacak deney modüllerinin seçimi için bu anahtarların gerekli konfigürasyonda ayarlanması gerekmektedir. Eğitim

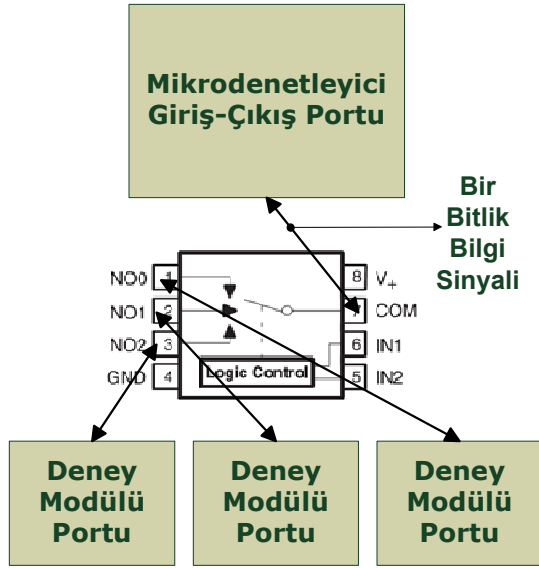
setlerinde bu anahtarlar en çok müdahale gören devre elemanları oldukları için sık sık bozulmaktadırlar. Tamir ve değiştirme için ayrıca zaman kaybedilmekte ve emek harcanmaktadır. Tüm bu özellikleri nedeniyle bu anahtarlar eğitim setleri üzerinde en fazla olumsuzluğa neden olan bileşenlerdir.

Tasarlanan sistemde bu anahtarlardan kurtulmanın yolları araştırılmış ve elektronik piyasasında bu anahtarların yerine aynı görevi gerçekleştirebilecek entegreler taranmıştır. Entegreler taranırken dikkat edilecek en önemli noktaların başında gelenler, entegrelerin tasarlanan sistemle uyumlu olarak çalışabilmesi ve sistemde meydana getireceği kaybın minimum düzeyde olmasıdır. Bu özellikler dikkate alındığında tasarlanan sistemde DIP anahtarlar ile muadil işlemi yapabilecek olan, Texas Instruments 'in üretmiş olduğu TS5A3359 single-pole triple-throw (SP3T) analog anahtar entegresinin kullanılmasına karar verilmiştir.

2. SİSTEMİN TASARIMI (THE DESIGN OF SYTEM)

Tasarlanan sistemin merkezinde tüm işlemleri yöneten mikrodenetleyici geliştirme kartı bulunmaktadır. Oluşturulan eğitim setinde yapılacak herhangi bir uygulama ilgili mikrodenetleyici kontrol yazılımı ile oluşturulmakta ve bu kart tarafından işlenmektedir. Bu yazılımları test etmek ve somutlaştırmak, sistem için tasarlanan deney modülleri ile sağlanmaktadır. Anlattığımız bu işlemin gerçekleştirilmesi için oluşturulan yazılım ile buna paralel ilgili deney modülleri ve mikrodenetleyici arasında gerekli donanımsal devre bağlantılarının yapılmış olması gerekmektedir. Mikrodenetleyicinin dış dünya ile iletişim kurmak için kullandığı portların sayısının az ve bunun aksine eğitim setinde kullanılacak deney modüllerinin sayısının çok daha fazla olması yapılacak bağlantı için bir anahtarlar zorunluluğu doğurmaktadır. Sistem için seçilen, bu işlemi yapmakla görevli Şekil 5'te iç yapısı gösterilen analog anahtar entegresi deneyler için gerekli bağlantıları gerçekleştirmektedir. Şekil 1'de bir adet analog anahtar entegresi mikrodenetleyici tarafından üretilen bir bitlik bilgiyi kendisine bağlanan üç adet deney modülünden herhangi birine götürebilmek için gerekli devre bağlantısını sağlamaktadır. Bu işlemi dışarıdan herhangi bir fiziksel müdahale ile değil, bu işlem için sistemde bulunan CPLD tarafından üretilen elektriksel kontrol sinyalleri ile gerçekleştirmektedir. Bu sadece bir bitlik bilgi için yapılan bir anahtarlamadır. Mikrodenetleyicinin bir adet Giriş-Çıkış portunun 8 bitlik bilgi oluşturabileceği düşünülürse bu port için 8 adet analog anahtar entegresi kullanılması gerekir ve sistemde kullanılmak için seçilen mikrodenetleyici 4 adet Giriş-Çıkış portuna sahiptir ki tüm bunlar göz önünde bulundurulduğunda herhangi bir donanımsal karmaşa

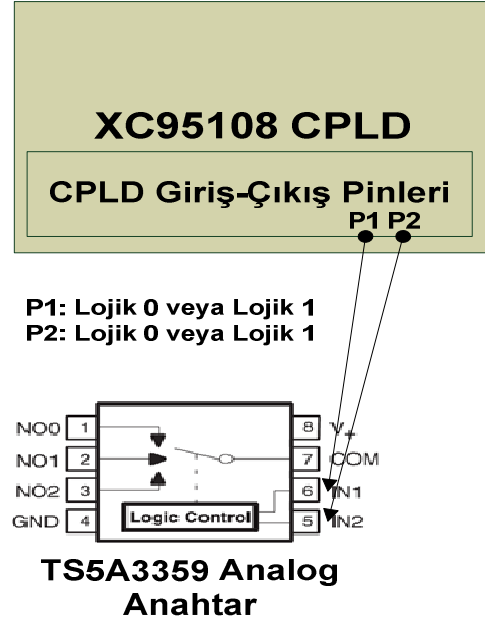
oluşmaması için ayrıca bir anahtarlama kartı tasarlanması düşünülmüştür. Bu anahtarlama kartı, oluşturulan eğitim setini piyasada bulunan diğer eğitim setlerinden farklı bir noktaya taşımaktadır.



Şekil 1. Analog Anahtarlama İşlemi (Analog Switching Function)

Analog anahtar kartında bulunan analog anahtar entegreleri sistemde kullanılan bir CPLD yardımı ile yapılacak deney için ilgili konumda ayarlanmaktadır. Kullanıcı eğitim setinde yapacağı bir uygulama için mikrodeneleyici kodlarını oluşturduktan sonra anahtarlama işlemi için CPLD kodlarını oluşturacaktır. Böylece yapılacak uygulama için gerekli devre bağlantıları otomatik olarak tamamlanmış olacaktır. Şekil-2’de bir adet analog anahtar entegresinin kontrolü gösterilmektedir.

Tasarlanan eğitim setinde deney çeşitliliği büyük önem arz ettiğinden analog anahtar kartı ile mikrodeneleyiciye bağlanan paralel iletişimli deney modüllerinin dışında mikrodeneleyici ile seri olarak haberleşebilen deney modüllerinde tasarlanması düşünülmüştür. Paralel haberleşen deney modüllerinin çeşitliliğini artırma noktasında mikrodeneleyicinin seri haberleşme veri yolunu paralel haberleşme veri yoluna dönüştüren 8 bit ve 16-bit olmak üzere genişletici devreler tasarlanmıştır.



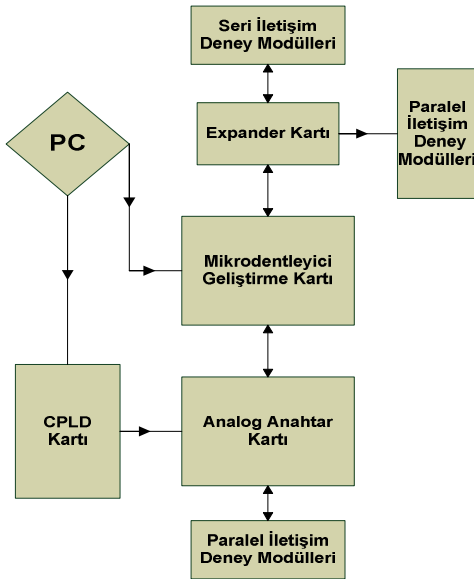
Şekil 2. Analog Anahtar Kontrolü (Analog Switch Control)

Eğitim setini oluşturan tüm parçaların tasarımda donanımsal olarak statik durumda ve bir bütünsellik oluşturması düşünülmüştür. Hedeflenen çalışma doğrultusunda, piyasada bulunan modüler, tak-çıkarmantığı ile kullanılan deney modüllerine sahip mikrodeneleyici eğitim setleri veya bütünsel fakat el ile ayarlamalı deney setlerinden uzaklaşmıştır.

Oluşturulan sistemin temelinde PC ile USB aracılığı ile haberleşen 89C5131 mikrodeneleyicili kart bulunmaktadır. Mikrodeneleyiciye bağlı olan ana modüller, Şekil-3’te görülen TS5A3359 analog anahtarların bulunduğu TS5A3359 analog anahtar kartı ve mikrodeneleyici geliştirme kartının I²C seri portunu paralel porta dönüştüren expander kartıdır. TS5A3359 analog anahtar kartın kontrolünün yapılması için XC95108 CPLD kullanılmıştır. CPLD kart’ın PC ile bağlantısı paralel port sayesinde kurulmaktadır. Tasarlanan sistemde bulunan paralel 8 bit ve 16 bit bilgi alışverişi gerçekleştirebilen deney modülleri bulunmaktadır. Bu deney modülleri expander kartı veya TS5A3359 analog anahtar kartına bağlanabilmektedir. Ayrıca bu deney modüllerinin dışında I²C seri iletişim protokolü ile kontrol edilebilen seri deney modülleride bulunmaktadır. Tüm deney modülleri çalışmaları için gerekli besleme gerilimini mikrodeneleyici geliştirme kartından almaktadır. Sistemin genel yapısını anlatan ve sistemin temel bloklarının birbirleri arasındaki bağlantılarını gösteren blok şema Şekil-3’te görülmektedir.

Öncelikle Şekil 3’te bütün olarak görülen sistemde yapılacak herhangi bir uygulama için bilgisayarda CPLD

ve mikrodeneleyici için gerekli yazılımın oluşturulması gereklidir. CPLD için oluşturulan yazılım bilgisayarın paralel portu yardımı ile CPLD'ye yüklenir. CPLD'ye yüklenen yazılım CPLD'nin çıkış pinlerine istenilen değerleri yükler böylece CPLD'nin çıkış pinlerine bağlı olan analog anahtar entegreleri yapılacak deney ile ilgili olarak paralel deney modülleri ile mikrodeneleyici arasında gerekli konfigürasyonu sağlar. Aynı zamanda bilgisayarda mikrodeneleyici için oluşturulan deney kodları USB portu aracılığı ile mikrodeneleyiciye yüklenerek deneyin gerçekleşmesi sağlanır. Ayrıca bilgisayarda mikrodeneleyicinin TWI (Two Wire Interface) portuna uygun olarak gerekli kodlar oluşturularak seri iletişim deney modülleri ile ilgili deneyler yapılabilmektedir. Şekil 3'te gösterilen, sistemin temelini oluşturan ana blokların donanımsal yapıları ve çalışmaları makalenin bir sonraki bölümünde detaylandırılarak irdelenmektedir.



Şekil 3. Sistemin Temel Mimarisi (Basic Architecture of the System)

3. SİSTEMİ OLUŞTURAN BİRİMLER (THE COMPONENTS OF THE SYSTEM)

Tasarlanan sistemi oluşturan Şekil 3'te de görüldüğü üzere dört birim bulunmaktadır. Bunlar mikrodeneleyici geliştirme kartı, analog anahtar kartı, CPLD kartı ve expander kartıdır. Çalışmada kullanıcıların oluşturulan sistemde çeşitli uygulamalar yapılabilmesi amacıyla da mikrodeneleyici ile paralel ve seri bus üzerinden iletişim kurabilen deney modülleri tasarlanmıştır. Tasarlanan tüm bu birimlerin donanımlarının oluşturulmasında Proteus programının Ares ve Isis yardımcı programlarından yararlanılmıştır. Mikrodeneleyici geliştirme kartı tarafından kontrol edilen deney modüllerinin program kodları Keil uvision derleyicisi kullanılarak C dilinde yazılmıştır. Mikrodeneleyiciye programın yüklenmesi

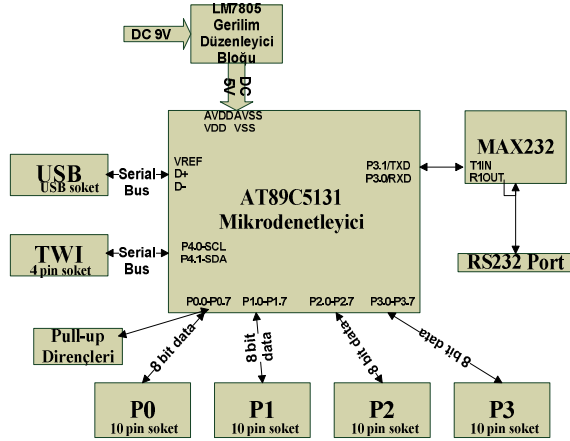
USB aracılığı ile Atmel Flip programı ile yapılmaktadır. Keil C derleyicisi mikrodeneleyicinin bellek kullanımı, kesme kullanımı gibi kaynaklarını kendisi yönetmektedir. Kullanıcı C dilinin sağladığı kontrol ve döngü yapılarını da kullandığı için daha kolay, düzenli ve geliştirilebilir programlar yazabilir. Analog anahtar kartının kontrolünü yapan CPLD kartın yazılımı Xilinx Ise Webpack programı kullanılarak VHDL donanım programlama dilinde yazılmıştır. CPLD kart için derlenen kodlar Xstools yazılımı ile CPLD'ye yüklenmektedir.

3.1 Mikrodeneleyici Geliştirme Kartı (Microcontroller Development Kit)

Mikrodeneleyici geliştirme kartı, Atmel firmasının üretmiş olduğu AT89C5131 mikrodeneleyicisi kullanılarak hazırlanmıştır. AT89C5131 mikrodeneleyicinin özellikleri:

- Maksimum çalışma frekansı 48 Mhz
- 3 adet 16-bit timer/counter
- 32 Kbyte programlama hafıza alanı
- 4 Kbyte EEPROM data (3 Kbyte Boot yazılımı için, 1 Kbyte Data için)
- 1024 Byte RAM
- TWI (Two Wire Interface) Saniyede 400 Kbit veri aktarım hızı
- 34 adet I/O pini
- Besleme gerilimi 2.7 – 5.5 V
- USB 1.2 ve 2.0 ile uyumlu olarak çalışabilme

AT89C5131 mikrodeneleyicisinin 8 bitlik I/O portları besleme gerilimleri ile birlikte toplam 10 pinlik soket olmak üzere 4 port şeklinde oluşturulmuştur. Bu şekilde bu portlara bağlanacak 8 bitlik deney modülleri için harici bir besleme kaynağı kullanımını ortadan kaldırmaktadır. Mikrodeneleyici geliştirme kartının besleme devresinde stabil bir kaynak elde edilmesi amacıyla LM7805 entegresi kullanılarak mikrodeneleyicinin ihtiyaç duyduğu 5V elde edilmiştir. TWI diğer bir adıyla I²C arayüzünün kullanımı için iki bitlik veri giriş-çıkışı ile birlikte besleme gerilimleri dahil 4 pinlik port oluşturulmuştur. Mikrodeneleyicinin osilatör girişlerine 20 Mhz ve 22.184 Mhz olmak üzere iki ayrı frekansta kristaller bağlanmıştır. Devrede bulunan anahtar sayesinde istenilen kristal seçilebilmektedir. Ayrıca devrede USB'ye alternatif olarak MAX232 entegresi kullanılarak RS232 seri portu oluşturulmuştur.



Şekil 4. Mikrodenetleyici Geliştirme Kartı (Microcontroller Development Kit)

MAX232 entegresinin 11 ve 12 numaralı pinleri (T1IN R1OUT) mikrodenetleyicinin P3 portunun 0 ve 1 numaralı pinleri olan RXD ve TXD pinlerine bağlanmaktadır. MAX232 entegresi içerisinde bulunan 4 adet gerilim dönüştürücüsü (iki verici ve iki alıcı olmak üzere toplamda dört adet) sayesinde PC RS232 portunun pinlerinden gelen gerilim seviyelerini 5V TTL/CMOS gerilim seviyelerine dönüştürerek çıkışına aktarmaktadır. Bu sayede mikrodenetleyiciye bağlanan bu çıkışlarla bilgisayarda derlenen kodlar mikrodenetleyiciye yüklenebilmektedir.

P0, P1, P2, P3 paralel 8 bitlik I/O portlarıdır. 9 ve 10 numaralı pinlerine besleme gerilimi bağlanarak toplamda 10 pinlik portlar halinde tasarlanmıştır. Ayrıca P0 portunun pinleri 1 kΩ dirençlerle +5 V çekilerek pull-up yapılmıştır. Diğer portlar mikrodenetleyici içerisinde dahili pull-up olduğu için pull-up yapılmasına gerek yoktur.

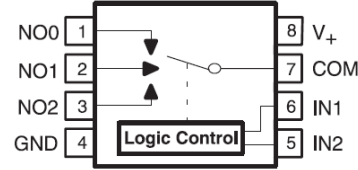
USB portu mikrodenetleyicinin 22, 23 ve 24 numaralı (D+, D-, VREF) USB haberleşme pinlerine bağlanmıştır. USB aracılığı ile kart bilgisayar tarafından algılanmaktadır.

3.2 Analog Anahtar Kartı (Analog Switch Board)

Analog anahtar kartı Texas Instruments firmasının üretmiş oldu TS5A3359 analog anahtar entegreleri ile hazırlanmıştır. Tasarlanan AT89C5131 mikrodenetleyici geliştirme kartına bağlanmakta olan analog anahtar kartının tasarımında 32 adet TS5A3359 entegresi kullanılmıştır.

TS5A3359 entegresi içerisinde bir adet single-pole triple-throw (SP3T) analog anahtar bulunduran bir entegredir. Entegrenin çalışma gerilimi 1.6 – 5.5 V tur. Çalışma durumunda iken entegrenin iç direnci 1 Ω gibi

oldukça düşük bir değerde olduğundan transfer edilmek istenen sinyalin herhangi bir distorsiyona uğramadan transferi gerçekleşebilmektedir. Entegre sahip olduğu oldukça düşük toplam harmonik bozulma özelliği ve düşük güçte çalışabilmesi nedeniyle ses uygulamalarında kullanımı oldukça uygundur.



Şekil 5. TS5A3359 Analog Anahtar Entegresi (Analog Switch IC)

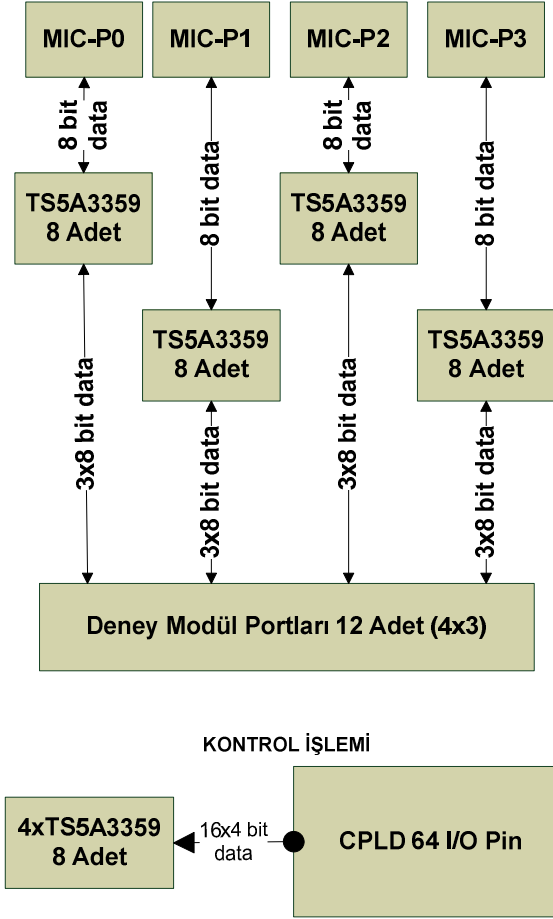
IN1 ve IN2 giriş değerlerinin alabileceği gerilim değeri 0 ile 5 V arasındadır. Verilen gerilim değerini entegre lojik olarak 'L' (low) veya 'H' (high) olarak algılamaktadır. Girişlere uygulanan gerilim değerinin low olarak kabul edilebilmesi için 0 – 0.8 V arası bir değer olması gerekmektedir. High olarak kabul edilmesi için ise girişlere 2.4 – 5.5 V arası gerilim uygulamak yeterlidir. Tablo 1'de görüldüğü üzere giriş değerlerinin oluşturduğu dört çıkış durumu bulunmaktadır. COM pini diğer 3 pin ile bağlantıda olabilir yada entegre hiç hiçbir pinle bağlantı kurmadan reset konumunda olabilir.

Tablo 1. TS5A3359 Fonksiyon Diyagramı (Function Diagram)

IN2	IN1	COM ile NO Arası Bağlantı
L	L	OFF
L	H	COM=NO0
H	L	COM=NO1
H	H	COM=NO2

AT89C5131 mikrodenetleyici geliştirme kartının dört adet paralel 8 bitlik I/O portlarına bağlanan bu kart I/O port sayısını 12 ye çıkarmaktadır.

MICPORT0, MICPORT1, MICPORT2, MICPORT3 portları 8 bit veri olmak üzere besleme gerilimleri dahil toplam 10 pinlik portlardır. Bu portların her biri için sekiz adet TS5A3359 analog anahtar entegresi kullanılmıştır. Yani her 1 bit için bir adet analog anahtar entegresi kullanılmıştır. Bu nedenle her bit tek tek kontrol edilebilmektedir. TS5A3359 entegresinin üç çıkışı (NO0, NO1, NO2) bulunduğundan MICPORT'ların her biti deney modül portlarının bir bitini oluşturmaktadır.



Şekil 6. Analog Anahtar Kartı (Analog Switch Board)

Örneğin MIC PORT0'nun 1 numaralı pini bir analog anahtar entegresi ile üç adet deney modül portunun 1 numaralı pinine bağlanabilmektedir. Bu şekilde dört adet MICPORT, 12 adet deney modül portuna çoğullanarak kontrol işlemleri gerçekleştirilmektedir.

Devre çalışması için gerekli besleme gerilimini mikrodenetleyiciye bağlı bulunan MICPORT'lardan almaktadır. Bu portların 9 ve 10 numaralı pinleri besleme gerilim pinleridir. Kartın üzerinde entegre haline getirilmiş CPLD kart besleme gerilimini analog anahtar kart üzerinden alabildiği gibi harici olarak beslenebilmektedir. Analog anahtar kart üzerinde deney modüllerinin bağlantısının yapılacağı deney modül portları üzerinde de dahili besleme bulunmaktadır. Bu portlar 8 biti veri olmak üzere 9 ve 10 numaralı pinleri GND ve +5 V olup toplamda 10 pinlik portlardır.

TS5A3359 analog anahtar entegrelerinin lojik kontrol uçlarının (IN1 ve IN2) toplandığı karşılıklı 42 pinlik olmak üzere toplam 84 pinden oluşan soket bulunmaktadır. Bu soket tasarımda kullanılan CPLD karta göre tasarlanmıştır. Böylelikle CPLD kart ile

TS5A3359 analog anahtar kart bütünleşmiş bir hale getirilmiştir.

3.3 CPLD Kart (CPLD Board)

Tasarımda CPLD olarak XILINX firmasının üretmiş olduğu XC95108 kullanılmıştır. CPLD'nin programlanması amacıyla XESS firmasının üretmiş olduğu XS95108+ kartı kullanılmıştır

XC95108 84-pin PLCC, 100-pin PQFP, 100-pin TQFP, ve 160-pin PQFP kılıflarında piyasada bulunmaktadır. Kılıflar pin sayılarına göre farklılık göstermektedir. Dolayısıyla I/O pin sayılarında farklıdır. Tasarımda kullanılan CPLD 84-pin PLCC kılıflı CPLD'dir. Bu CPLD'de 69 adet I/O pini bulunmaktadır. TS5A3359 analog anahtar kartı için gerekli olan 64 adet lojik kontrol girişi için yeterli olduğundan bu kılıf uygun görülmüştür.

Tasarımda XC95108 CPLD'nin programlanması amacıyla XS95108+ kart kullanılmıştır. Boyutunun küçük, kullanımının pratik ve fiyatının uygun olması nedeniyle bu kart tercih edilmiştir. Kart üzerinde XC95108 CPLD, SRAM ve mikrodenetleyici bulunmaktadır. Harici bir 9 V kaynaktan beslenebildiği gibi kart üzerinde bulunan pinler aracılığı ile 5 V gerilim uygulanarak beslenebilmektedir. Kendi yardımcı yazılımı sayesinde bilgisayarın paralel portu aracılığı ile programlanabilmektedir.

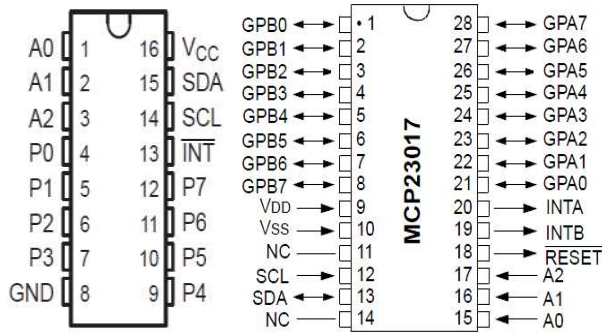
3.4 Deney Modülleri (Experiment Modules)

Mikrodenetleyici anakartına bağlantılı modüllerin her birisi aşağıdaki kısımlarda açıklanmıştır. Her bir modül anakarta analog anahtar matrisi ile bağlanmaktadır.

3.4.1 Genişletme Kartı (Expander Board)

Tasarlanan expander kartı sistemin temel birimlerinden birisi olarak düşünülebileceği gibi bir deney modülü olarak kabul edilebilir. Fakat sistem için tasarlanmasının asıl nedenlerinden bir tanesi de sisteme bağlanabilecek 8 bitlik deney modül sayısını artırarak yapılabilecek deney çeşitliliğini çoğaltmaktır. Genişletme kartı içerisinde Texas Instruments firmasının üretmiş olduğu I²C'den 8 bit paralel port genişletici PCF8574 ve Microchip firmasının üretmiş olduğu I²C'den 16 bit paralel port genişletici MCP23017 entegreleri kullanılmıştır.

PCF8574 entegresinin mikrodenetleyici I²C portuna bağlanan pinler, 14 ve 15 numaralı seri data ve seri clock pinleridir.



Şekil 7. PCF8574 ve MCP23017 Pin Tanımlamaları (PCF8574 and MCP23017 Pin Definitions)

I²C seri iletişim protokolüne uygun derlenen mikrodenetleyici kodları I²C aracılığı ile bu entegrenin SCL ve SDA girişlerine uygulanmaktadır. Entegre, girişlerine uygulanan seri bilgiyi 5 – 12 arası pinlerinden 8 bitlik paralel bilgiye çevirmektedir. P0 – P7 çift yönlü pinler direk olarak led sürebilmek için yüksek akımlı çıkışı üretebilmektedir. 13 numaralı INT pini entegrenin P0 – P7 pinlerinin giriş olarak kullanılması için mikrodenetleyicinin INT pinine bağlanabilmektedir. A0,

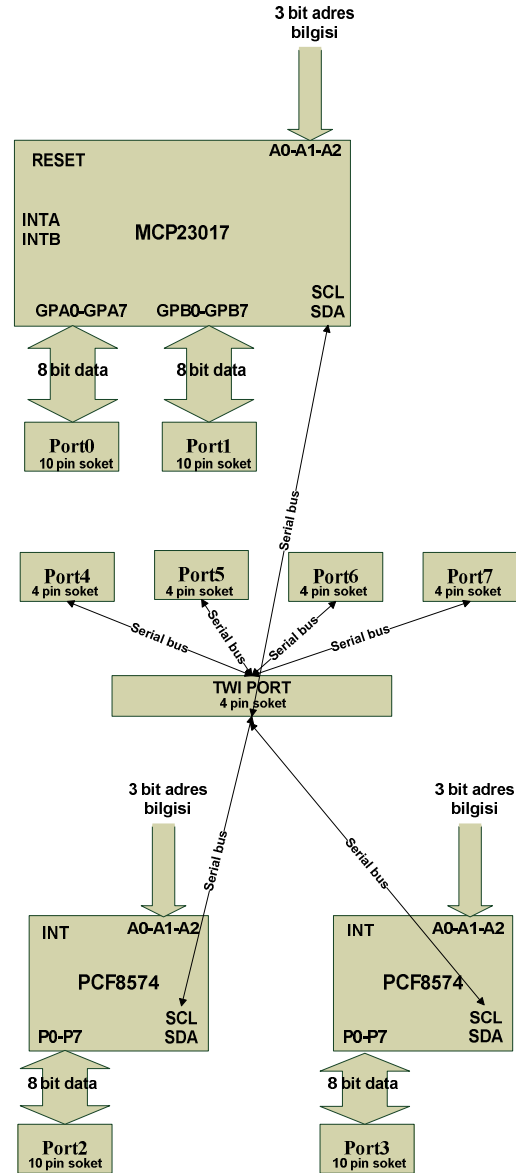
A1 ve A2 pinleri entegrenin adres pinleridir. I²C seri iletişim protokolünde cihazın seçilmesi ve bu cihaz ile ilgili işlem yapılabilmesi amacıyla kullanılmaktadır.

MCP23017, 12 ve 13 numaralı seri data ve seri clock pinlerinden gelen bilgiyi GPA0 – GPA7 ve GPB0 – GPB7 pinlerine genişletmektedir. INTA ve INTB beraber kullanılabilen gibi ayrı ayrıda kullanılabilir. Tasarlanan expander kartta INTA ve INTB pinleri için 2 pinli bir port oluşturulmuştur. İnterrupt çıkışları kullanılmak istendiğinde bu porttan interrupt çıkışları mikrodenetleyiciye verilebilir. A0, A1 ve A2 pinleri entegrenin adres pinleridir. Entegrenin tasarımda belirlenen adresine göre bu pinlere gerekli lojik değerler verilmektedir. 18 numaralı reset pini 9 numaralı VDD pinine bağlanmaktadır. Entegre besleme gerilimi verildiği zaman reset konumundan çıkmaktadır.

Şekil-9’da görüldüğü üzere PCF8574 ve MCP23017 entegrelerinin üçer bitlik adres pinleri bulunduğundan I²C ile kontrol edilebilecek diğer modüllerde düşünülerek adreslerin çakışmaması amacıyla entegrelerin adresleri 3er bit olarak verilmiştir. MCP23017’in adresi “100”, Port2’nin bağlı olduğu PCF8574’ün adresi “101” ve Port3’ün bağlı olduğu PCF8574’ün adresi “110” olarak belirlenmiştir.

3.4.2 Seri İletişim Deney Modülleri (Serial Interface Experiment Modules)

Seri deney modüllerinin tasarımı için kullanılacak entegreler, tasarlanan sistemin çalışma gerilimine uygun olması ve ayrıca ek gereksinim getirmemesi amacıyla araştırılmış ve seçim işlemi yapılmıştır. Mikrodenetleyicinin TWI portuna bağlı olan seri deney modüllerinin her biri için bir adres belirlenmiştir. Bu sayede kontrol edilmek istenen seri deney modülleri, adreslemelerine göre seçilebilmektedir.



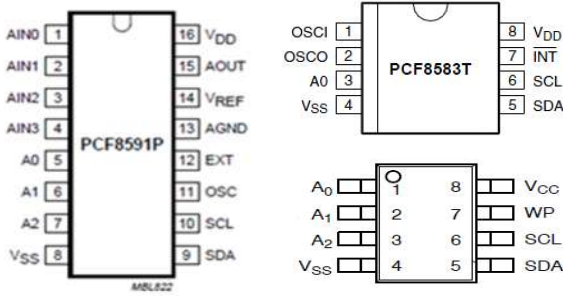
Şekil 8. Genişletme Kartı (Expander Board)

Bu çalışmada genişletme kartında bulunan Port4, Port5, Port6 ve Port7 portlarına (bkz Şekil 9) bağlanan, I²C ile kontrol edilebilen üç adet deney modülü tasarlanmıştır.

Bunlar RTC (Real Time Clock) deney modülü, 8 bit ADC/DAC (analog-dijital/ dijital-analog çevirici) deney modülü ve EEPROM deney modülüdür.

Şekil-9'da görüldüğü gibi 8 pinli olan PCF8583 entegresi, gerçek tarih ve zamana ilaveten üzerinde alarm devresi ve 256 bayt RAM bellek de bulunmaktadır. Normal olarak +5V ile çalışmaktadır. Güç kaynağı olmayan durumlarda tarih ve saatin bozulmaması için entegreyi pil ile çalıştırmak mümkündür.

PCF8583 entegresinin 1 ve 2 numaralı pinleri osilatör girişi ve çıkışı pinleridir. Bu pinlere bağlanan 32.768 Khz saat kristali entegre için referans saat üretici olarak çalışır. 3 numaralı pin entegrenin adres pinidir. Bu pin ile entegrenin adresi belirlenmektedir.



Şekil 9. PCF8583-RTC, CAT24C01-EEPROM ve PCF8591 ADC/DAC pin tanımlamaları (PCF8583-RTC, CAT24C01-EEPROM and PCF8591 ADC/DAC pin definitions)

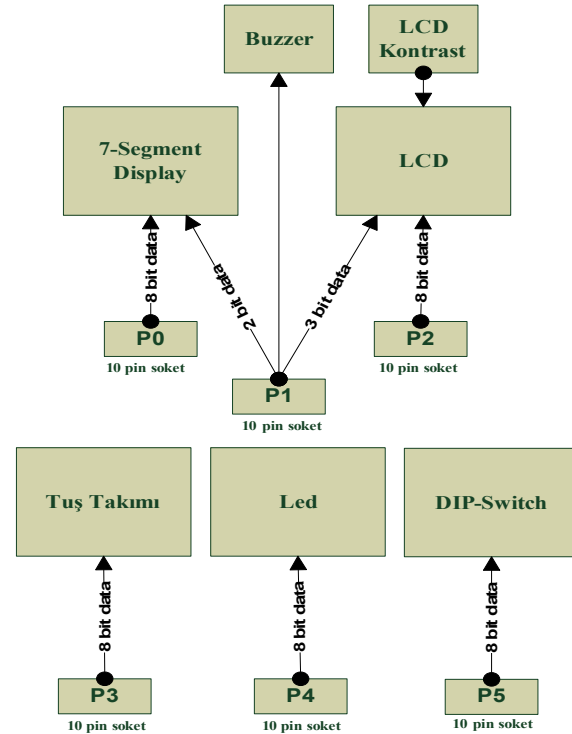
Entegrenin adres pini tek bitlik olduğu için adresi lojik 0 olarak belirlenmiş ve adres pini devrede şaseye bağlanmıştır. Entegrenin 7 numaralı pini interrupt çıkışıdır. Kullanılması gerekli durumlarda bu çıkış tek pinlik bir bir port oluşturulmuştur.

Şekil-9'da görüldüğü gibi 8 pinli olan CAT24C01 entegresi 1 Kbyte hafıza alanına sahiptir. I²C protokolünü kullanarak EEPROM'a veri yazılıp silinebilmektedir. Entegrenin 1, 2 ve 3 numaralı pinleri adres pinleridir. Genel tasarımda bu modülünde sabit bir adresi bulunmaktadır. Ve bu adres "010" belirlenmiştir. 4 ve 8 numaralı pinler besleme gerilim pinleridir ve DC 5 V ile beslenmektedir. 7 numaralı pin yani WP pini yazma ve silmeye karşı koruma pinleridir. Tasarımda bu pin özelliği kullanılmamış olup bu pin şaseye bağlanmıştır.

Şekil-9'da görüldüğü gibi 16 pinli olan PCF8591 ADC/DAC entegresinin 1,2,3 ve 4 numaralı pinleri [AIN0, AIN1, AIN2, AIN3] analog dijital çevirme işlemi için analog girişlerdir. Bu dört farklı kanaldan dört farklı analog sinyal entegreye uygulanabilmektedir. Analog sinyallerin şasesi 13 numaralı AGND (analog ground) pinine bağlanmaktadır. 5, 6 ve 7 numaralı pinler entegrenin adres pinleridir. Bu pinler ile entegrenin

tasarlanan sistemdeki adresi belirlenmiştir. Entegrenin adresi 3 bitlik olmak üzere "001" olarak verilmiştir. 8 ve 16 numaralı pinler besleme gerilim pinleri olmak üzere bu pinler normal olarak DC 5 V ile beslenmektedir. 9 ve 10 numaralı pinler I²C seri adres ve seri data pinleridir. 11 numaralı pin osilatör girişi veya çıkışı pinidir. Bu pin tasarımda kullanılmamış boş bırakılmıştır. 12 numaralı EXT pini ise dahili ve harici osilatör kullanmak için bir anahtar görevi görmektedir. Tasarımda harici bir osilatör kullanılmak istenirse bu pin besleme pinine bağlanması gerekir. Fakat tasarımda harici bir osilatör kaynağı kullanılmadığı için bu pin şaseye bağlanmaktadır. 14 numaralı pin yani VREF pini ADC/DAC işlemi yerine getirmek için referans voltajı girişidir. Tasarımda kullanılan LM336 2.5V entegresi, VREF pini için çıkışında 2.5 V gerilim oluşturmaktadır. Ve bu entegrenin çıkışı VREF pinine bağlanmaktadır. 15 numaralı pin dijital-analog çevirme işlemi için analog çıkışı oluşturmaktadır. Entegre I²C çift yönlü bus ile seri olarak data, kontrol ve veri transfer etmektedir.

3.4.3 Paralel İletişim Deney Modülleri (Parallel Interface Experiment Modules)

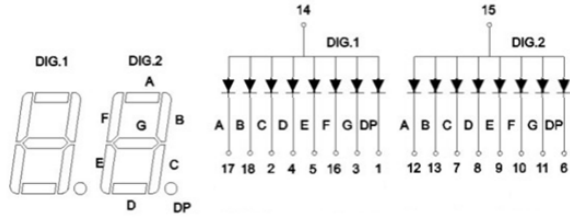


Şekil 10. Paralel Deney Modül Kartı (Parallel Interface Experiment Modul Board)

Paralel 8 bit olarak kontrol edilen ve bu şekilde tasarlanan deney modülleri LCD deney modülü, tuş takımı deney modülü, seven segment display deney modülü, DIP-anahtar deney modülü ve LED deney modülleridir. Bu modüller tek bir kart üzerinde toplanmış

olup her modüle bağlanmak için ayrı 8 bit data olmak üzere 10 pinlik soketler halinde portlar oluşturulmuştur. Bu portlar tasarımda oluşturulan TS5A3359 analog anahtar kartına bağlanmaktadır.

7-Segment gösterge modülünün tasarımında bir adet 2-rakam ortak anot gösterge kullanılmıştır. Kullanılan gösterge 16'sı data olmak üzere toplam 18 pinden oluşmaktadır.



Şekil 11. Ortak Anot Gösterge (Common Anode Display)

Ortak anot göstergelerde her bir parça ayrı bir katot pini ile kontrol edilir. Yakılmak istenen segmentin bağlı olduğu pine lojik 0 giriş uygulandığında ilgili segmentin LED i ışık verecektir.

Şekil 10'da gösterilen tasarımın blok şemasında P0, display için gerekli data sinyallerini göndermektedir. Şekil 11'de verilen tasarımda kullandığımız göstergenin ortak uçları birbirlerine bağlanmıştır. Yani 17-12, 18-13 ve aynı şekilde diğer pinler birbirlerine kısa devre durumdadır. P0 portunun 1 numaralı pini A segmentini, 2 numaralı pini B segmentini ve bu şekilde 8 numaralı pini DP yani nokta segmentini kontrol etmektedir. Yani P0 portunun 1 numaralı pini göstergenin 17 ve 12 numaralı pinleri ile bağlantılı durumdadır.

Göstergenin kontrolü için 14 ve 15 numaralı pinler BC237 kondansatörü ile tetiklenmektedir. BC237 transistörünün 3 nolu pinine displaylerin 14 ve 15 numaralı pinlerine bağlanmaktadır. Transistörde 1 nolu pine besleme gerilimi, ve 2 nolu pine ise kontrol sinyalimizi bağladığımızda. 2 nolu pindeki voltaj 0.6 volt değerini geçtiği andan itibaren 1 ile 3 nolu pinden bir akım geçişi meydana gelmeye başlar 2 ile 3 nolu pin arasındaki potansiyel fark arttıkça 1 ve 3 nolu pinler üzerinden geçen akım belirli sınırlar ve koşullar sağlandığı sürece artmaya devam edecektir. BC237 transistörlerinin kontrol pinleri yani beyz pinleri tasarımda bulunan P1 portunun 5 ve 6 numaralı pinlerine bağlanmaktadır. Bu şekilde displaylerin digitleri aktif hale geçerek kontrol işlemleri yapılabilmektedir.

Şekil 10'daki tasarımda kullanılan LCD 14 pinden oluşmaktadır. LCD'nin 1-8 arası pinleri P2 portunun 1 ve 8 numaralı pinlerine bağlanmaktadır. P2 portu LCD'ye

data gönderen porttur. LCD'nin 13 ve 14 numaralı pinleri besleme pinleridir. Sırası ile VDD ve GND olmak üzere P2 portunun 9 ve 10 numaralı pinlerine bağlanmaktadır. LCD'nin kontrolü P1 portu tarafından yapılmaktadır. LCD'nin kontrol pinleri (9-10-11 numaralı pinler) bu porta bağlanmaktadır. LCD'nin kontrast ayarının yapılabilmesi amacıyla LCD'nin 12 numaralı pinine bir potansiyometre bağlanarak besleme gerilimi verilebilmektedir. Ayrıca P1 kontrol portunun 1 ve 8 numaralı pinleri arasında bir buzzer ve led eklenmiştir.

Tuş takımı modülünün tasarımında 4x4 lük bir tuş takımı kullanılmaktadır. Bu tuş takımı 8 pinden oluşmaktadır. Tuş takımında basılan butonlara göre tuş takımının çıkış pinleri kısa devre olmaktadır. Her butona basıldığında üretilen data, tasarımda P3 portuna gönderilmektedir.

Tasarlanan paralel deney modül kartında bulunan Led modülünün tasarımı için sekiz adet led ve sekiz adet 1 kΩ direnç kullanılmıştır. Led modülünde bulunan her led Şekil 10'da gösterildiği gibi P4 portuna bağlanmaktadır. Her bir led 1 kΩ dirençlere seri bağlanmıştır. Bu modül P4 portundan gelen 8 bitlik dataya göre aktif hale geçmektedir.

DIP-switch modülünün tasarımında 8'li DIP-switch kullanılmıştır. Switchlerin pinleri Şekil 10'da gösterilen P5 portu ile şase arasına bağlanarak P5 portuna istenilen 8 bitlik veri gönderilebilmektedir.

4. SİSTEMİN YAZILIMI (SYSTEM SOFTWARE)

Tasarlanan AT89C5131 mikrodenetleyici geliştirme kartında 2'li anahtar yardımıyla seçilebilen iki kristal osilatör bulunmaktadır. Bu anahtar yardımıyla devredeki 20.000 Mhz'lik kristal osilatör seçilmelidir. Bu kristal seçildikten sonra diğer kristalin seçili olmadığına dikkat edilmelidir. Devrenin USB programlama kablosunu bilgisayara bağlamadan devreye enerji verilmelidir ve kart programlama moduna alınmalıdır. Kartın programlama moduna alınması için (ilk olarak RESET butonuna basılmalı, RESET butonu bırakılmadan PSEN butonuna basılmalıdır. İki butonda basılı iken ilk olarak RESET daha sonrada PSEN butonu bırakılmalıdır. Bu işlemin sonunda kart programlanma moduna alınmış olmaktadır.

Kart programlama moduna alınmadan bilgisayar bağlantısı yapılırsa, "USB Aygıtı Tanınmadı" hatası ile karşılaşılır. Bu durumda USB bağlantısı sökölüp, kartın programlama moduna alınması işleminin tekrar gerçekleştirilmesi gerekmektedir. Her programlanmada USB bağlantısı sökölümü, kart programlanma moduna alınmalı ve daha sonra USB bağlantısı tekrar yapılmalıdır. Flip yardımıyla derlenen kodların mikrodenetleyiciye yüklenmesi gerçekleştirilmektedir. Flip

programı bilgisayara kurulduğunda, kurulum yapılan klasörün içerisindeki “USB” klasöründe bulunan USB sürücü dosyalarında AT89C5131 mikrodenetleyicisinin sürücü dosyası “yeni donanım sihirbazından” yüklenmelidir. Atmel Flip programı mikrodenetleyicinin program hafızasını silebilmekte, mikrodenetleyiciyi test edebilmekte ve tasarım .hex dosyalarını mikrodenetleyiciye yükleyebilmektedir.

Tasarım kodlarının oluşturulması ve derlenmesi Keil uVision3 derleyicisinde yapılmıştır. Keil uVision derleyicisinde yeni proje oluşturup .c uzantılı olarak kaydederek proje sayfasında aşağıdaki yapıya göre program kodları yazılmaktadır.

```
#include <89c5131A.h>
#include <stdio.h>
sfr...
sbit...
int...
void alt_program()
{
.....
}
void kesme_0 ( ) interrupt 0
{
.....
}
main()
{
.....
}
```

Kütüphane dosyaları

Global Değişkenler

Alt program (Örneğin ana programda kullanılacak gecikme)

Kesmelerin tanımlanması

Ana program

Bu yapıya göre yazılan program sonrasında programda herhangi bir hatanın olmaması durumunda mikrodenetleyiciye yüklenecek hex kodu Keil uVision derleyicisinde başarı ile üretilebilir.

Tasarımda kullanılan CPLD kartın test edilmesi ve donanımının programlanmasında XSTOOLS yazılımı kullanılmaktadır. Bu yazılım ile CPLD'ye .svf .xsvf uzantılı program kod dosyaları yüklenebilmektedir.

CPLD'nin yazılımında VHDL donanım tanımlama dili kullanıldığından Xilinx ISE Webpack 10.1 programında tasarım kodları derlenebilmektedir. ISE Webpack programında XC95108 CPLD seçilerek proje oluşturulması gerekir. Programda proje oluşturulmasından sonra kodlar derlenip başarı ile sentezleme işlemi yapıldıktan sonra CPLD'nin istenilen I/O pinlerine derlenen kodlarda oluşturulan çıkışlar aktarılabilir. Bu işlemlerden sonra ISE Webpack programı CPLD'ye uygun .svf veya .xsvf dosyalarını üretebilmektedir. Aşağıdaki mimari yapıya göre program kodları yazılmaktadır.

```
entity mcport1_mport1 is
  Port ( p1 : out STD_LOGIC;
         p2 : out STD_LOGIC);
end mcport1_mport1;
architecture Behavioral of mcport1_mport1 is
  process
  begin
    p1 <= '1';
    p2 <= '0';
  end process;
end Behavioral;
```

Port tanımlamaları

Ana program

CPLD'ye yüklenen .svf veya .xsvf uzantılı dosyalar, TS5A3359 analog anahtar kartında yapılacak uygulamaya göre istenilen portların bağlantılarının aktif edilmesini sağlar. Böylece deney yapılmak istenen modüllerin bağlantıları otomatik gerçekleştirilir. TS5A3359 analog anahtar kartında bulunan 12(3x4) adet 8 bit I/O portunun her birinin ayrı ayrı mikrodenetleyici geliştirme kartına bağlantısı ve her iki portun ayrı ayrı mikrodenetleyici geliştirme kartına bağlanması noktasında 66 adet konfigürasyon ihtimali ortaya çıkmaktadır. Örneğin mikrodenetleyicinin P1 portuna bağlanan TS5A3359 anahtar kartında 3 adet port bulunmaktadır. Bunlar P1.1 P1.2 ve P1.3'tür. Bu portların her birinin mikrodenetleyicinin P1 portuna bağlanması üç olasılık doğurur. Bu portların her ikisinin birden P1 portu ile çalışmasının mümkün olmadığı için üç olasılık bulunmaktadır. Aynı şekilde mikrodenetleyicinin diğer portları içinde üç olasılık bulunmaktadır. Bunun dışında ikili olasılıklarla birlikte (P0.1'in P1.1 veya P2.1 veya P3.1 deney modül portu ile bağlantıları) toplamda 66 adet olasılık oluşmaktadır. Mikrodenetleyicinin üç portunun birden kullanıldığı konfigürasyon olasılıkları oldukça fazla olduğundan bu durumlarda gerçekleştirilecek deneyler için belirli deney senaryoları belirlenebilir. Fakat üç portun birden kullanıldığı deney uygulamalarının çok fazla sayıda olmaması ancak yapılmasının istendiği durumlarda bu senaryolarla oluşturulan bağlantılar kullanılabilir. Portların bağlantısında oluşan 66 adet konfigürasyon ihtimali için .svf dosyaları hazırlanmış ve deneylerde uygulamalarında kullanılmak üzere düzenlenmiştir.

Örnek olarak mikrodenetleyici geliştirme kartının P0 portuna bağlantısının yapılması istenen deney modül portunun P0.1 portu olduğunu kabul edersek Tablo 1'de gösterilen fonksiyon diyagramına göre CPLD pin numaralarının vermesi gereken çıkışlar;

Tablo 2. Konfigürasyon Olasılığı 1 (Configuration Probability 1)

P0 Pin No	P0.1 Pin No	SP3T Lojik Kontrol Pinleri	CPLD I/O Pin No	Alması Gereken Değer
8	8	IN1-IN2	23-24	lojik 1- lojik 0
7	7	IN1-IN2	25-26	lojik 1- lojik 0
6	6	IN1-IN2	31-32	lojik 1- lojik 0
5	5	IN1-IN2	33-34	lojik 1- lojik 0
4	4	IN1-IN2	35-36	lojik 1- lojik 0
3	3	IN1-IN2	37-39	lojik 1- lojik 0
2	2	IN1-IN2	40-41	lojik 1- lojik 0
1	1	IN1-IN2	43-44	lojik 1- lojik 0

Bu olasılık için tasarlanan VHDL kodları aşağıda gösterilmiştir:

```
entity mcport1_mport1 is
  Port ( p23, p24, p25 : out STD_LOGIC;
        p26, p31, p32 : out STD_LOGIC;
        p33, p34, p35 : out STD_LOGIC;
        p36, p37, p39 : out STD_LOGIC;
        p40, p41, p43, p44 : out STD_LOGIC
  );
end mcport1_mport1;
architecture Behavioral of mcport1_mport1 is
begin
  p23 <= '1'; p24 <= '0'; p25 <= '1'; p26 <= '0';
  p31 <= '1'; p32 <= '0'; p33 <= '1'; p34 <= '0';
  p35 <= '1'; p36 <= '0'; p37 <= '1'; p39 <= '0';
  p40 <= '1'; p41 <= '0'; p43 <= '1'; p44 <= '0';
end Behavioral;
```

Tasarlanan bu kod çalışmada P0.1.svf olarak kaydedilmiştir. Aynı şekilde P0.2.svf, P0.3.svf, P1.1.svf, P1.2.svf, P1.3.svf, P2.1.svf, P2.2, P2.3.svf, P3.1.svf, P3.2.svf, P3.3.svf olmak üzere toplam 12 konfigürasyon ve P0.1-P1.1, P0.1-P1.2, P0.1-P1.3 şeklinde ikili port bağlantıları için toplam 66-12=48 konfigürasyon için kodlar .svf olarak kaydedilmiştir.

5. SONUÇLAR (RESULTS)

Tasarlanan çalışmada teknolojinin her alanında oldukça yaygın olarak kullanılan mikrodenetleyicilerin eğitim alanında öğrenilmesini kolaylaştırmak amacıyla bir mikrodenetleyicili sistem ve uygulama devreleri tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir. Günümüzde kullanılan mikrodenetleyici eğitim setlerinde en çok şikayet edilen nokta olan uygulama devreleri ile mikrodenetleyici sistemin bağlantısının sağlanmasındaki işlemi basit ve hızlı bir şekilde çözen yeni bir sistem oluşturulmuştur. Oluşturulan sistem her yazılım için kurulması gereken donanımın hazırlanmasını ortadan

kaldırmakta ve Bu da donanımın hazırlanması noktasında oluşabilecek arızaları engellemektedir.

Ayrıca sistemin kullanımının kolaylaştırılması için gerekli paket programlar hazırlanarak kullanıcının ana konudan uzaklaşmadan sistemi kullanabilmesi sağlanmıştır.

Sistemin tasarımında oluşturulan analog anahtar kartı başka mikrodenetleyici eğitim setlerine de kolayca entegre edilebilmektedir. Tasarlanan sistem daha fazla deney modül kartları barındırarak deney çeşitliliği arttırılabilir.

Sistemin bilgisayar aracılığı ile programlanmakta olduğundan sistemin kararlı çalışabilmesi ve sistemin çalışmasını sağlayan yazılımların problem teşkil etmemesi için tasarım XP işletim sistemi kurulu bilgisayarlarda çalıştırılmalıdır. Windows 7’de sebebi anlaşılmayan bazı nedenlerden dolayı sistem kararlı çalışmayabilmektedir.

KAYNAKLAR (REFERENCES)

- [1] A.T. Özcerit, C. Bayılmış, M. Çakıroğlu, “8051 Mikrodenetleyici Uygulamaları”, Papatya Yayıncılık, 2011
- [2] T. Mc Calla, “Digital Logic And Computer Design”, Maxmillan Publishing Company, 1992
- [3] Tredennick N., “Microprocessor Logic Design”, Digital Press, 1987
- [4] <http://www.atmel.com/Images/doc4136.pdf> (AT89 C5131 8-bit Flash Microcontroller With Full Speed Usb Device Datasheet)
- [5] <http://www.atmel.com/Images/doc4287.pdf> (AT89C5131 USB Bootloader)
- [6] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/ts5a3359.pdf> (TS5A3359 Analog Switch Device Datasheet)
- [7] <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/pcf8574.pdf> (PCF8574 Remote 8-BIT I/O Expander For I²C Bus)
- [8] <http://ww1.microchip.com/downloads/en/developmentdocs/21952b.pdf> (MCP23017 16-Bit I/O Expander with Serial Interface)
- [9] http://www.nxp.com/documents/data_sheet/PCF8583.pdf (PCF8583 Clock and calendar with 240 x 8-bit RAM)
- [10] http://www.onsemi.com/pub_link/Collateral/CAT24C02-D.PDF (1-Kb CMOS Serial EEPROM)
- [11] http://astro.temple.edu/~cvecchio/PCF8591_6.pdf (8-bit A/D and D/A converter Device)