

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİP ÜZERİNE PROGRAMLANABİLİR SİSTEM TABANLI
KAPASİTİF ALGILAYICI TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Burak TAŞCI

(101113103)

Anabilim Dalı: Elektrik - Elektronik Mühendisliği

Programı: Elektronik

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Yavuz EROL

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25.02.2015

ŞUBAT - 2015

**T.C.
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÇİP ÜZERİNE PROGRAMLANABİLİR SİSTEM TABANLI
KAPASİTİF ALGILAYICI TASARIMI**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik Müh. Burak TAŞCI

(101113103)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih: 25.02.2015

Tezin Savunulduğu Tarih:18.03.2015

Tez Danışmanı: Yrd. Doç. Dr. Yavuz EROL
Diğer Jüri Üyeleri: Doç. Dr. Mustafa TÜRK
Doç. Dr. Davut HANBAY

ŞUBAT - 2015

ÖNSÖZ

Bu tez çalışması süresince yol göstererek beni destekleyen ve katkılarını esirgemeyen, değerli hocam Yrd. Doç. Dr. Yavuz EROL'a ve desteklerini her zaman hissettiğim tüm hocalarım ve arkadaşlarıma, her zaman ve her konuda beni destekleyen, güç veren ve sabır gösteren değerli aileme ve eşime teşekkür eder, saygılarımı sunarım.

Burak TAŞCI
ELAZIĞ-2015

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
ÖNSÖZ	I
İÇİNDEKİLER	II
ÖZET	IV
SUMMARY	V
TABLO LİSTESİ	VI
ŞEKİLLER LİSTESİ	VI
1.GİRİŞ	1
2. PSoC TEKNOLOJİSİ	3
2.1. Giriş.....	3
2.2. PSoC Avantajları.....	5
2.3. PSoC Mimarisi.....	5
2.4. PSoC ile İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar.....	7
3. KAPASİTİF ALGILAMA TEKNOLOJİSİ	11
3.1. Giriş.....	11
3.2. Kapasitif Algılama Metotları.....	13
3.2.1. Öz Kapasite.....	13
3.2.2. Karşılıklı Kapasite.....	14
3.3. Kapasitif Algılama Algoritmaları.....	15
3.4. Kapasitif Sensör Yapısı ve Tipleri.....	21
3.4.1. Butonlar.....	23
3.4.1.1. Basit Butonlar.....	23
3.4.1.2. Matris Butonları.....	23
3.4.2. Kaydırıcı Buton.....	24
3.4.2.1. Lineer Kaydırıcı Buton.....	25
3.4.2.2. İkili Kaydırıcı Buton.....	26
3.4.2.3. Radyal Kaydırıcı Buton.....	27
3.4.3. Yaklaşım sensörü.....	27
4. PSoC UYGULAMALARI	28

4.1 Giriş.....	28
4.2. PSoC Tabanlı Dokunmatik LED Dimmer Tasarımı	30
4.3. PSoC Tabanlı Dokunmatik Kabin Kaset Butonu Tasarımı.....	41
4.4. PSoC Tabanlı Dokunmatik Wallwasher Kontrolörü Uygulaması.....	47
5. SONUÇ VE TARTIŞMA.....	54
6. KAYNAKLAR	55
ÖZGEÇMİŞ	59

ÖZET

Gömülü Sistemler içinde bulundukları cihazı işleten özel amaçlı bilgisayarlardır. Bu cihazlar çok güvenilir ve emniyetli olması gerektiğinden gömülü sistemlerin hata oranları çok düşük olmalıdır. Cihazların çalışma ortamları elektronik sistemler için elverişli olmayan hava koşulları, sinyal gürültüsü, elektromanyetik karışım gibi bir dizi etken içerir. Tasarımcı bütün bu etkenleri önceden belirleyerek karşı önlemler almak durumundadır. Ayrıca sistem kaynakları gömülü uygulamaların hemen hemen hepsinde sınırlıdır. Tasarımcının, elindeki işlemci gücü ve bellek miktarını çok dikkatli kullanması ve güç harcamasını en az seviyede tutması gerekir. Birçok mikrodnetleyici çeşidi bulunmakta ve mikrodnetleyiciler her geçen gün gelişmektedir. Günümüzde kullanımı hızla yaygınlaşan PSoC (Çip Üzerine Programlanabilir Sistem), gömülü sistemler konusunda önemli bir yere sahiptir. Cypress tarafından geliştirilen PSoC, 8 bit mikrodnetleyici uygulamaları hedeflenerek tasarlanmış olup, M8C 8 bit CPU temel bloğu ile birlikte, fonksiyonu kullanıcı tarafından kolayca tanımlanabilen analog ve sayısal blokları sunmaktadır. Günümüzde farklı PSoC çeşitleri bulunmaktadır. Piyasada, PSoC 1 (8 bit M8C core – 24 MHz), PSoC 3 (Single-Cycle 8051 core – 67 MHz), PSoC 5 (32-bit ARM® Cortex™-M3 CPU – 84 MHz) ve serinin yeni elemanı olan PSoC 4 (32-bit ARM® Cortex™-M0 – 48 MHz) bulunmaktadır. Bu tez çalışmasında PSoC 4 mikrodnetleyicisi kullanılarak kapasitif algılama teknolojisi incelenmiş ve PSoC tabanlı çeşitli uygulamalar gerçekleştirilmiştir.

SUMMARY

Programmable System on Chip Based Capacitive Sensor Design

Embedded systems are specific purpose computers, operating devices in which they are. These devices need to be extremely reliable and safe therefore error rate of the embedded system should be very low. Operating environment of the devices includes a number of factors unsuitable for electronic systems such as weather conditions, signal noise, electromagnetic interference. Designers have to take precautions against all these factors by determining in advance. Also system resources almost are limited in all of the embedded application. It is required that designer use processor power and memory very carefully and keep power consumption at a minimum level. There are many types of microcontrollers and they are developing day by day. Nowadays, PSoC (Programmable System on Chip), whose usage rapidly spreads, has an important role in embedded systems. PSoC, developed by Cypress, is designed to target 8-bit microcontroller applications and offers analog and digital blocks, whose function can be easily identified by user, together with M8C 8-bit CPU basic block. Today, there are different types of PSoC. In the market, PSoC 1 (8-bit M8C core - 24 MHz), PSoC 3 (Single-Cycle 8051 core - 67 MHz), PSoC 5 (32-bit ARM® Cortex™ M3 CPU - 84 MHz) and PSoC 4 (32-bit ARM® Cortex™ M0 - 48 MHz), new member of series, are available. In this thesis, capacitive sensing technology is examined by using PSoC 4 microcontroller and various applications, based PSoC, are performed.

TABLO LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo 2.1. PSoC mikrodnetleyici çeşitleri.....	4

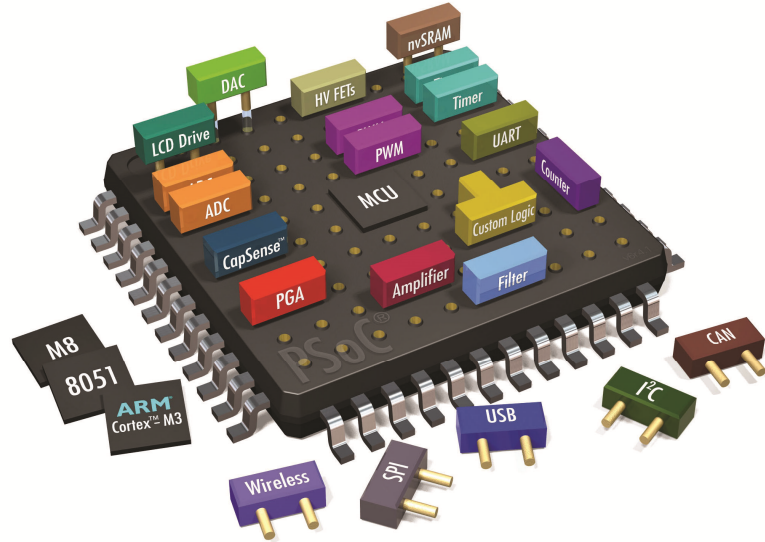
ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil 1.1. PSoC Mikrodenetleyici İç Yapısı.....	1
Şekil 2.1. PSoC blokları ve genel yapısı	6
Şekil 3.1. Kapasitif sensör uygulaması	11
Şekil 3.2. Nominal kapasite	12
Şekil 3.3. Parmağın yüzeyle oluşturduğu kapasite	12
Şekil 3.4. Eşdeğer kapasite	12
Şekil 3.5. Öz kapasite	14
Şekil 3.6. Karşılıklı kapasite	14
Şekil 3.7. C_p ve elektrik alan	15
Şekil 3.8. CY8C21X34 CSD blok diyagramı	16
Şekil 3.9. Sinyal ve gürültü	20
Şekil 3.10. Sensör yapısı	21
Şekil 3.11. RC filtre	22
Şekil 3.12. Kapasitif sensör tipleri	22
Şekil 3.13. Basit buton	23
Şekil 3.14. Matris buton	24
Şekil 3.15. Lineer kaydırıcı	25
Şekil 3.16. 16 Segment ikili kaydırıcı buton	26
Şekil 3.17. Radyal kaydırıcı buton	27
Şekil 3.18. Yaklaşım sensörü	27
Şekil 4.1. PSoC Creator çalışma ekranı	28
Şekil 4.2. PSoC Programmer programı ekran görüntüsü	29
Şekil 4.3. Dokunmatik LED dimmer sistemine ait bloklar	31
Şekil 4.4. LED sürücü devresi	32
Şekil 4.5. Pals genişliğinin değişmesinin ortalama gerilime etkisi	33
Şekil 4.6. Dokunmatik LED dimmer devre şeması	34
Şekil 4.7. Dokunmatik LED dimmer Creator program görüntüsü	34
Şekil 4.8. Capsense CSD ayarları	35

Şekil 4.9. Kapasitif algılama ayarları.....	36
Şekil 4.10. Dokunmatik LED dimmer sisteminin genel görünüşü	37
Şekil 4.11. Kaydırıcı Konumları.....	38
Şekil 4.12. LED parlaklığı %0 için PWM osiloskop görüntüsü.....	38
Şekil 4.13. LED parlaklığı %25 için PWM osiloskop görüntüsü.....	39
Şekil 4.14. LED parlaklığı %50 için PWM osiloskop görüntüsü.....	39
Şekil 4.15. LED parlaklığı %75 için PWM osiloskop görüntüsü.....	40
Şekil 4.16. LED parlaklığı %100 için PWM osiloskop görüntüsü.....	40
Şekil 4.17. Dokunmatik kabin kaset butonu sistemine ait bloklar.....	41
Şekil 4.18. Dokunmatik kabin kaset butonu devre şeması.....	42
Şekil 4.19. Optik izoleli sürücü devresi	43
Şekil 4.20. Dokunmatik kabin kaset butonu Creator program görüntüsü.....	43
Şekil 4.21. Capsense CSD ayarları	44
Şekil 4.22. Dokunmatik kabin kaset butonu sisteminin genel görünüşü	46
Şekil 4.23. Dokunmatik kabin kaset butonu uygulaması.....	47
Şekil 4.24. RGB wallwasher sistemine ait bloklar	48
Şekil 4.25. Işık Renk Karışımı.....	48
Şekil 4.26. Dokunmatik Wallwasher Kontrolörü devre şeması	49
Şekil 4.27. Wallwasher kontrolörü için Creator program görüntüsü.....	50
Şekil 4.28. Capsense CSD ayarları	50
Şekil 4.29. Dokunmatik wallwasher kontrolörü sisteminin genel görünüşü.....	53

1.GİRİŞ

Mikrodenetleyiciler, yapılacak işlemler için yetki veren ve onları denetleyen sistemlerdir. Elektronik sistemlerde mikrodenetleyiciler yaygın olarak kullanılmaktadır. Birçok elektronik elemanın yaptığı işi tek başına yapabilmesi ve küçük yapıda olması nedeniyle çok fazla talep görmektedir. Cypress firmasının ürettiği PSoC (Programmable System – On - Chip) mikrodenetleyici geliştirme ve programlama konusunda yepyeni bir konsepti temsil etmektedir. PSoC mikrodenetleyicilerin; yapısındaki analog-sayısal bloklarının aynı anda kullanımına izin vermesi, kişisel uygulamaların geliştirilebilmesi ve kolay kullanımı gibi önemli özelliklerinden dolayı kullanımı her geçen gün artmakta ve PSoC, mikrodenetleyiciler dünyasında önemli bir yer edinmeye başlamaktadır. Cypress tarafından geliştirilen PSoC, 8 bit mikrodenetleyici uygulamaları hedeflenerek tasarlanmış olup, M8C 8 bit CPU temel bloğu ile birlikte, tüm standart elemanlara ek olarak fonksiyonu kullanıcı tarafından kolayca tanımlanabilen dijital ve analog blokları sunmaktadır. Örneğin; Analog bloklar, analog filtreler, karşılaştırıcılar, AD(Analog Dijital) ve DA(Dijital-Analog) çeviriciler gibi PSoC mikrodenetleyicisinin içerisinde barındırdığı genel birimler Şekil 1.1’de gösterilmektedir.



Şekil 1.1. PSoC Mikrodenetleyici İç Yapısı

Günümüzde 4 çeşit PSoC bulunmaktadır. Bunlar PSoC 1 (8 bit M8C core – 24 MHz), PSoC 3 (Single-Cycle 8051 core – 67 MHz) , PSoC 5 (32-bit ARM® Cortex™-M3 CPU – 84 MHz) ve PSoC ailesine en son katılan PSoC 4 (32-bit ARM® Cortex™-M0 – 48 MHz)'tür.

Proje ihtiyaçları dikkate alınarak farklı PSoC çeşitleri kullanılabilir. PSoC aileleri arasındaki temel fark mevcut programlanabilir blok sayısı ve giriş / çıkış pin sayısıdır. PSoC çiplerinin programlanabilir 4-16 dijital blokları ve 3-12 analog blokları bulunmaktadır. Bileşenlerin sayısına göre mevcut programlanabilir blokların öncelikli bir fonksiyonu tasarlanabilir.

Bu çalışmada; PSoC teknolojisi hakkında ayrıntılı bir araştırma yapılmış, PSoC ile kapasitif algılama teknolojisi kullanılarak uygulamalar gerçekleştirilmiştir. Giriş bölümünde PSoC'ın genel yapısı incelenmiş ve önemi belirtilmiş; ikinci bölümde PSoC'ın yapısı, avantajları, dezavantajları, mimari yapısı ve son yıllarda yapılan çalışmalar incelenmiştir. Üçüncü bölümde kapasitif algılama teknolojisi, kapasitif algılama türleri ve sensör tipleri ayrıntılı olarak araştırılmıştır. Son olarak dördüncü bölümde ise PSoC ile yapılan kapasitif algılama özelliğine sahip uygulamalar yapılmıştır. Bu uygulamalarda, dokunmatik butonların hassasiyetleri incelenmiştir. Ayrıca gerekli ölçümleri ve testleri yapılmıştır.

2. PSoC TEKNOLOJİSİ

PSoC ailesi, çip üzerine programlanabilir sistem alt yapısına sahip olup, kullanıcının talebine göre tasarlanabilen çeşitli bloklardan oluşur. Dijital-Analog blokları, kolay kullanımı ve esnek tasarım imkânı PSoC'un en güçlü özelliklerinin başında gelmektedir. Bu özellikler sayesinde PSoC, başta PIC olmak üzere, diğer mikrodeneleyicilere karşı birçok üstünlüğe sahiptir. Sistem bünyesindeki ayarlanabilir analog ve dijital devre blokları, kullanıcıya istediği konfigürasyonları yapma imkânı sunar. Bu özelliklere ek olarak, hızlı bir CPU, flash program hafızası, SRAM data hafızası ve ayarlanabilir giriş/çıkış pinleri mevcuttur. Güçlü CPU yapısında yer alan 8 - 32 bit işlemleri donanımsal olarak gerçekleştirebildiğinden, DSP (Sayısal Sinyal İşleme) performansı gerektiren uygulamaların birçoğu için PSoC ideal çözüm olarak ortaya çıkmaktadır. 32 kHz'den 80 MHz'e kadar çok geniş bir aralıkta seçebileceğiniz sistem saati ile de harici bir osilatör gerektirmemektedir.

PSoC; Analog ve Sayısal Mantık Blokları, DAC (Digital Analog Converter - Sayısal Analog Çevirici), ADC, PWM (Pulse Width Modulator – Dalga Genişlik Modülasyonu), UART (Universal Asynchronous Receiver Transmitter – Evrensel Senkron Alıcı Verici), SRAM, EEPROM (Electrically Erasable Programmable Read-Only Memory - Elektronik Silinebilir Programlanabilir Salt Okunur Bellek), Filtreler ve OPAMP (Operational Amplifiers - İşlemsel yükselteçler)'lar gibi içerisinde barındırdığı birçok yapıyı, kullanıcının istediği gibi yapılandırmaya ve programlamaya olanak sağlamaktadır. Bu özellikleri, oldukça kolay tümleştirme ve tekrar yapılandırma bakımından, kullanıcıya çok büyük avantajlar sağlar.

2.1. Giriş

PSoC mikrodeneleyici, diğer mikrodeneleyiciler gibi, barındırdığı farklılıklardan dolayı birçok mikrodeneleyici ailesine sahiptir. Örneğin PSoC 1, PSoC 3, PSoC 4, PSoC 5, PSoC 5LP. PSoC ailesine ait mikrodeneleyicilerin temel özellikleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

	PSoC 1	PSoC 3	PSoC 4	PSoC 5
CPU	8-bit M8C 24 MHz, 4 MIPS	8-bit 8051 CPU (1CPI) 67 MHz, 33 MIPS	32-bit ARM Cortex-M0 CPU 48 MHz, 100 MIPS	32-bit ARM Cortex- M3 7 MHz, 84 MIPS
Flash	4 - 32 KB	8 - 64 KB	16 - 32 KB	32 - 256 KB
SRAM	256B - 2KB	2 - 8 KB	4 KB	16 - 64 KB
Çalışma Gerilimi	1.7V - 5.25V	0.5V - 5.5V	1.71V - 5.5V	2.7V - 5.5V
ADC	1 adet 6 – 14 bit Delta – Sigma	1 adet 8 – 20 bit Delta – Sigma	1 adet 12-bit SAR	1 adet 8 - 20 bit Delta – Sigma, 2 adet 12-bit SAR
DAC	2 adet 6 – 8 bit	4 adet 8-bit	2 adet 8-bit	4 adet 8-12 bit
Çalışma Akımı	2 mA	1.2 mA	1.6mA	2 mA
Uyku akımı	3 µA	1 µA,	1.3 µA	2 µA
I/O	USB 2.0, I2C, SPI, UART, LIN 64 adete kadar I/O	FS USB 2.0, I2C, SPI, UART, CAN, LIN, I2S 72 adete kadar I/O	4 adet 16-bit Timer bloğu 2 adet LP Karşılaştırmacı I2C, SPI, UART 1 adet CapSense 36 adete kadar I/O	FS USB 2.0, I2C, SPI, UART, LIN, I2S 70 adete kadar I/O

Tablo 2.1. PSoC mikrodnetleyici çeşitleri

Tablo 2.1’de de belirtildiği üzere içerisinde barındırdığı I2C, USB 2.0, CAN (Controller Area Network - Denetleyici Alan Ağı), SPI (Serial Peripheral Interface - Seri çevresel arayüz), I2S vb. haberleşme protokolleri sayesinde MIPS (Million Instructions Per Second – Saniyede Gerçekleşen Milyon İşlem Sayısı) ve analog ihtiyacının fazla olduğu birçok uygulamada, basit ve avantajlı bir kullanım sağlamaktadır.

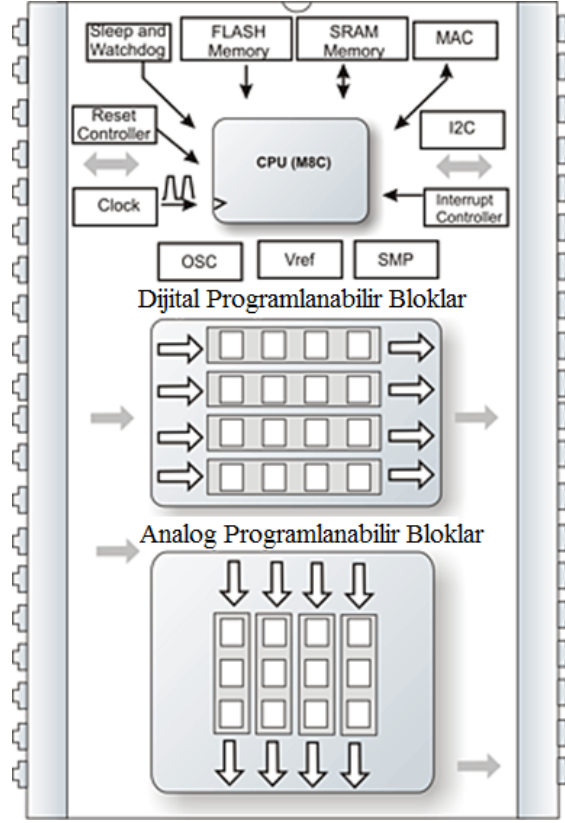
2.2. PSoC Avantajları

PSoC teknolojisine ait avantajlardan birkaçı aşağıda sıralanmıştır.

- Diğer mikrodnetleyicilerde olmayan programlanabilir, ters çeviren ve ters çevirmeyen yükselteçleri vardır.
- PSoC ailelerine özgü, rastgele kod (pseudorandom) ve CRC kod donanım jeneratörlerinin yanı sıra analog modölatörleri vardır.
- MAC dijital sinyal işlemcisi, dijital sinyal işleme algoritmalarına uygulama sağlayan vazgeçilmez bir parçadır.
- Değişken çalışma gerilimine sahiptir.
- Alçak gerilim kaynağı seçeneği (~ 1V) pille çalışan sistemlerde çok büyük bir avantajdır.
- Zamanlayıcılar, sayaçlar ve PWM birimleri klasik uygulamalardan daha kullanışlıdır.
- Kullanılan tüm çevre birimlerine erişmek için otomatik kod yazma özelliği vardır.
- Daha büyük dizi bileşenlerine ihtiyaç durumunda, yeniden yapılandırma seçeneği vardır. Çalışma esnasında çevre birimlerini değiştirmeye izin verilir.

2.3. PSoC Mimarisi

PSoC mikrodnetleyiciler 8-bit CISC mimarisine dayanmaktadır. PSoC temel blokları ve genel yapısı Şekil 2.1’de görölmektedir.



Şekil 2.1. PSoC blokları ve genel yapısı

CPU ünitesi: Program açıklamaları ve diğer blokların kontrol akışını yürüten mikrodnetleyicinin ana parçasıdır.

Frekans jeneratörü: CPU çalışma sinyalleri için gereken, programlanabilir blok tarafından kullanılan, frekansların üretilmesini sağlar.

Kontrolör Resetleyici: Mikrodnetleyicinin resetlenerek tekrar başlatılmasını sağlar.

Watch Dog timer: Programdaki yanlış döngüleri bulmak için kullanılır.

Uyku Zamanlayıcı: Düzenli olarak güç tasarrufu modunda mikrodnetleyiciyi çalıştırmak için veya normal bir zamanlayıcı olarak kullanılabilir.

Giriş-Çıkış Pinleri: CPU ünitesi, dijital ve analog programlanabilir bloklar ile dış dünya arasındaki iletişimi sağlar. Dış dünyadan bilgi alınması ve kendi dışındaki devrelere veri aktarabilmesi amacıyla kullanılır.

Dijital programlanabilir bloklar: Kullanıcı tarafından seçilen programlanabilir bileşenleri yapılandırmak için kullanılır.

Analog programlanabilir bloklar: Programlanabilir, ters çeviren ve ters çevirmeyen işlemsel kuvvetlendiriciler, AD ve DA dönüştürücüler, filtreler, DTMF alıcıları gibi analog bileşenleri yapılandırmak için kullanılır.

I²C kontrolör: I²C protokolü oldukça hızlı veri aktarımına sahiptir.

Gerilim referansı: Analog programlanabilir blokların içinde bulunan analog bileşenlerin çalışması için önem taşımaktadır.

MAC ünitesi: Donanım işlemlerinde kullanılan 8 bitlik sayıların çarpma işlemini yapar.

SMP: Gerilim regülatörünün bir parçası olarak kullanılabilecek sistemdir. Örneğin, 1.5V pilin PSoC mikrodeneleyiciye güç kaynağı olarak kullanılması mümkündür.

2.4. PSoC ile İlgili Literatürde Yapılan Çalışmalar

Literatürde PSoC mikrodeneleyici kullanılarak gerçekleştirilen bazı çalışmalar hakkında kısa bilgiler aşağıda verilmiştir.

Emre Uncuoğlu ve arkadaşlarının transistör tetiklemeli tesla bobini tasarımı ve yapımı konulu çalışmasının sinyal üretme katında PSoC mikrodeneleyiciler kullanılmıştır. Bu mikrodeneleyicinin içine 16 bitlik, 24 MHz ile 732,42 Hz arasında sinyal üretebilen PWM modülü yerleştirilmiştir. Bu PWM modülünün sürme devresi için gerekli olan eşlenik sinyalleri aynı kaynaktan üretebilmesi ve bu sinyallerin yükselen kenarlarının arasına istenildiği kadar ölü zaman eklenebilmesinden dolayı PSoC'u kullandıklarını belirtmişlerdir [3].

Chia-Chang Tong ve arkadaşları, PSoC içinde yapılandırılabilir analog bloklarla analog filtre tasarımı yapmıştır ve dijital sinyal işleme tasarım uygulamasında yazılım olarak MATLAB FDAT PSoC dijital filtre uygulaması gerçekleştirmişlerdir [4].

J. Sánchez ve arkadaşları PSoC platformunda ince film ruthenium sıcaklık sensörü ve entegre spin-valf sensörlerine dayalı akıllı elektrik akım dönüştürücü tasarımı yapmıştır. Bu çalışmada mikro imalat ile manyetik direnç sensörü (GMR) ve rezistif sıcaklık dedektörü (RTD) PSoC ile birleştirilerek akıllı bir elektrik akım sensörü tasarlanmıştır [5].

Fuminori Kobayashi ve Shin Taro Higuchi'nin verimli alan uygulaması için dinamik analog yeniden yapılandırma konulu çalışmasında PSoC, ikinci dereceden alçak geçiren filtre tasarımında kullanılmıştır [6].

Yuan-Hsiang Lin ve arkadaşları sürücü güvenliğinde akıllı fizyolojik izleme ve geri bildirim sistemi konulu çalışmayı yapmışlardır. Bu çalışmayla, sürüş esnasındaki ani hastalık durumunun ciddi trafik kazalarına sebep olmaması için sürücülerin gerçek zamanlı fizyolojik durumunun belirlenmesi ve hastalık durumundaki farklılığın algılanması hedeflenmiştir. Bu nedenle giyilebilir, küçük boyutlu, gerçek zamanlı ölçüm modülü ve akıllı telefondan oluşan fizyolojik izleme ve geri besleme sistemi geliştirilmiştir. Sürücünün kulak memesinden sensör aracılığı ile elde edilen sinyalin işlenmesinde PSoC kullanılmıştır [7].

Viktor Zavorotnyi ve arkadaşları akıllı sensörlerin tasarımında dinamik yeniden yapılandırma konulu çalışmada PSoC'ın, sistem donanım kaynaklarının gerçek zamanlı yeniden yapılandırması ve geniş bant ölçümü için en uygun devre olduğunu vurgulamışlardır [8].

Akihiko Kojima ve arkadaşları, mutlak basınç ve kuvvet algılama tekniklerine dayanarak yeni bir dokunmatik algılama cihazı tasarımını PSoC ile gerçekleştirmiştir [9].

Ryousuke Namba ve arkadaşları, mikrodenetleyici tabanlı güneş enerjisi depolama sisteminin geliştirilmesi konulu çalışmada PSoC'ı maksimum güç noktası izleme (MPPT) kontrolörü olarak kullanmıştır [10].

Tarief M. F. Elshafiey, IR proximity sensörle müze ve bankaların antenli güvenlik sisteminin tasarım ve uygulamasını PSoC ile gerçekleştirmişlerdir [11].

Y. C. Chin ve arkadaşları, 1/10 oranında ölçüm yapan potansiyometreye dayalı elektrikli açılör tasarımı analog-dijital (A/D) çevirici olarak PSoC'ı, maliyet ve yüksek güvenilirlik gibi avantajları nedeniyle seçmiştir [12].

Zhaohui Ye ve Chengying Hua, elektronik sistem tasarımı öğretiminde yenilikçi yöntem konulu çalışmada PSoC mikroişlemcisini elektronik sistem tasarımına uygun olduğu için seçmiştir [13].

Rakhee Mohiddin ve arkadaşları, 2.4GHz ISM bandında çalışan PSoC tabanlı sensör ağı tasarlamıştır [14].

Akhila Gollakota ve arkadaşları çok amaçlı tarım robotu (agribot) konulu çalışmada robotu kontrol etmek için PSoC kullanmışlardır [15].

Sharat Chandra ve arkadaşları, GSM tabanlı dağıtım sistemi otomasyonu konulu çalışmada PSoC ile GSM modem üzerine bir uygulama geliştirmiştir [16].

Chia-Chang Tong ve arkadaşları çift tekerlekli elektrikli bisiklet yazılım uygulaması konulu çalışmayı PSoC ile gerçekleştirmişlerdir [17].

Malvin Nkomo ve Michael Collier PSoC tabanlı RGB renk sıralama özellikli SCARA robot kolu uygulaması geliştirmiştir [18].

V. F. Zavorotnyi ve Yu. I. Yakimenko hava ve gazlar için geniş sınıf akış ölçer konulu çalışmayı PSoC ile gerçekleştirmişlerdir [19].

P. Raghavendra Pradyumna ve arkadaşları elektrik mühendisliğinde trafo boşa çalışma testlerinin uzaktan yapılması konusunda çalışmışlardır. Önemli bir deney olan trafo boşa çalışma testlerinin PSoC ve Labview kullanılarak uzaktan yapılması incelenmiştir. [20].

Dang Thanh Bui ve arkadaşları, elektro-optik modülatör kontrolü ile opto-elektronik osilatör kararlılığının iyileştirilmesi konulu çalışmada, PSoC mikrodenetleyici ile yeni bir kontrol sistemi tasarlamıştır [21].

Doru Ursuþu ve arkadaşları, düşük güç uygulamalarında mikroişlemci kullanımı konulu çalışma yapmışlardır. Ultra-düşük güç RISC karışık-sinyal mikroişlemciler olarak Cypress ve Texas Instruments karşılaştırılmış ve PSoC, programlanabilir ve yapılandırılabilir özelliği ile öne çıkmıştır [22].

Swati Keskar, Rahul Banerjee ve Rajkiran Reddy çift PSoC tabanlı programlanabilir giyilebilen EKG izleme tasarımında bir PSoC'ı veri toplama ve işlemede, ikinci PSOC'ı ise karar verme işleminde kullanmıştır [23].

Ramesh Sabu Chukka ve M. Srinivasa Rao, yol bilgisayarı tasarımı için otomatik test sistemi geliştirilmesi konulu çalışmada MEMS ve PSoC kullanarak otomatik test kurulum tasarımı yapmışlardır [24].

Wassim Mansour, Raoul Velazco ve arkadaşları PSoC'da SEU simülasyonu ile arıza enjeksiyonu konulu çalışmayı gerçekleştirmişlerdir [25].

Koji Sonoda ve arkadaşları, takılabilir fotopletizmografi sensör sistemi konulu çalışmada, kulak memesi üzerinde nabız dalga izleme sistemini Bluetooth modül ve PSoC ile gerçekleştirmişlerdir [26].

C. Samoilă, V. Nascov ve D. Ursuțiu, korozyon ölçümünde kullanılan sanal araçlarda yaygın olarak kullanılan PGstat aygıtına düşük maliyetli alternatif olarak PSoC kullanılan bir sistem tasarlamışlardır [27].

Ciaran Feeney ve arkadaşları yüksek frekans güç dönüştürücülerinde silikon üzerinde paralel bobinin avantajları konulu çalışmayı PSoC ile gerçekleştirmişlerdir [28].

Barylo G. I. ve arkadaşları ışıklı uyarıcı sistemi ile kontrollü dinlenme etkisi oluşturma konulu çalışmayı PSoC ile gerçekleştirmişlerdir [29].

A. Pîlat ve M. Zylă, manyetik levitasyon (Maglev) sistemi tasarımında, PSoC tabanlı bir kontrolör geliştirmiştir [30].

V. Naresh ve arkadaşları, konuşma tanıma sistemi konulu çalışmada ara yüzleri (API) kodlama hatalarını azaltmak ve daha az hata olacak şekilde çevre ile uygun etkileşimi kolayca sağlamak için PSoC kullanmıştır [31].

Burak Ovalı ve Tuncay Uzun bir radyo modem aracılığı ile kablosuz RS232 haberleşmesi konusunda çalışma yapmışlardır. Mikrobilgisayarlar ile elektronik cihazların haberleşmesinde en çok kullanılan kablo temelli elektriksel haberleşme protokollerinin başında RS232 standardında seri haberleşme gelir. RS232 standardı, sayısal veri transfer etmek üzere yalnız kablo ile kullanılacak şekilde tanımlanmıştır. Kablo yerine havanın iletim ortamı olarak kullanılması durumunda, telsiz modem olarak adlandırılan veri haberleşme cihazlarına gereksinim duyulur. Telsiz modemler genellikle maliyetleri ve güç tüketimleri göz önüne alındığında, kısa mesafeli düşük veri iletim hızlarına ihtiyaç duyan uygulamalar için kullanışlı olmamaktadır. Bu çalışmada bir ya da daha fazla sayıda gezgin robot ile bu robotlara internet ortamından erişimini sağlayan, RS232 arabirimi üzerinden telsiz veri haberleşmesi yapabilen, PSoC tabanlı bir dar bant modemin temel özellikleri ve tasarımı anlatılmıştır [32].

Barış Çoruh ve arkadaşları biyomedikal amaçlı basınç ölçüm cihazı tasarımı konusunda çalışmayı PSoC ile gerçekleştirmişlerdir [33].

K. Cüneray ve arkadaşları, elektronik uygulamalar için deney seti tasarımı ve gerçekleştirilmesi konulu çalışmayı PSoC ile gerçekleştirmişlerdir [34].

3. KAPASİTİF ALGILAMA TEKNOLOJİSİ

3.1. Giriş

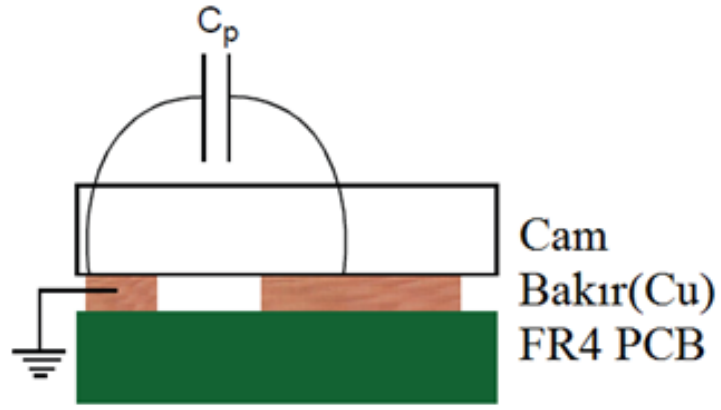
PSoC tabanlı mikrodenetleyicilerin bir kısmında kapasitif algılama birimi dahili olarak bulunmaktadır. Capsense olarak adlandırılan bu birim sayesinde yüksek performanslı bir dokunmatik algılayıcı gerçekleştirmek mümkün olmaktadır. Kapasitif algılama, dokunmatik bir yüzey üzerinde bir kişinin parmağının oluşturduğu ek kapasite ile giriş tarafında değişen kapasitenin ölçümüne dayanmaktadır. Bu algılama fonksiyonu donanım ve yazılım kombinasyonu kullanılarak elde edilmektedir [35]. Şekil 3.1’de kapasitif algılamanın temel uygulama şekli görülmektedir.



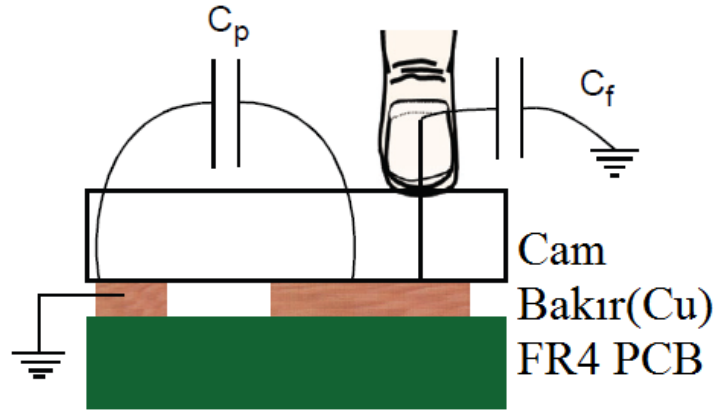
Şekil 3.1. Kapasitif sensör uygulaması

Kapasitif algılama için çeşitli teknikler kullanılmaktadır. Genellikle frekans veya görev periyodu (duty cycle) ölçümü kullanılır. Yük dengeleme veya yükselme-düşme zamanı ölçümü yöntemleri de kullanılmaktadır. Bu yöntem serbest çalışan RC osilatörün frekansının ölçülmesi mantığına dayanır [36].

Şekil 3.2.-3.3.-3.4’de, yüzeye dokunma sırasında parmakla toprak arasında oluşan kapasite ve eşdeğer kapasite yapısı gösterilmektedir.



Şekil 3.2. Nominal kapasite



Şekil 3.3. Parmağın yüzeyle oluşturduğu kapasite



Şekil 3.4. Eşdeğer kapasite

Yüzeye dokunma gerçekleştiğinde, parmak ile toprak arasında oluşan kapasite nominal kapasiteye paralel olur ve eşdeğer kapasite her iki kapasitenin toplamı olarak görülür. Bu değişiklik yüzdesel olarak ifade edilecek olursa Denklem 3.1 elde edilir [35].

$$\Delta C\% = ((C_p + C_f) - C_p) / C_p = C_f / C_p \quad (3.1)$$

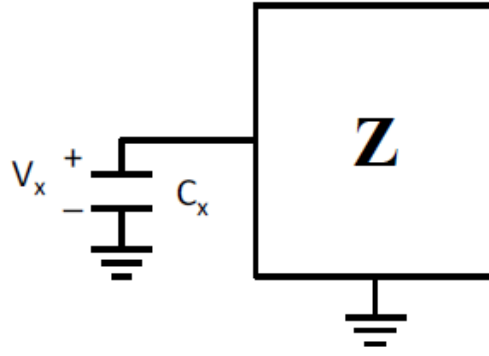
Parmağın yüzeye yaklaşmasıyla RC osilatörün zaman sabitinde bir kayma meydana gelir ve bu değişiklik kapasite değişimi hakkında bir fikir verir. RC zaman sabitinin artmasıyla, osilatör frekansı azalır ve mikrodenetleyici frekanstaki bu değişimi izleyerek algılamanın gerçekleştiğine karar verir. C_f değerinin çok küçük olduğu bilindiğinden dolayı, C_p değerinin de küçük olması arzu edilir. Küçük C_p değeri kapasite ve frekansta büyük bir yüzdesel değişim oluşturur. Parmak kapasitesi sabit ya da kesin bilinen bir değer olarak dikkate alınmaz. Parmağın yüzeye dokunması durumunda 5-15 pF arasında bir kapasitif değişim meydana gelir [35].

3.2. Kapasitif Algılama Metotları

Kapasitif algılamanın iki farklı metodu bulunmaktadır. Öz kapasite ya da karşılıklı kapasite metotlarını kullanarak iki nokta arasındaki kapasite ölçülebilir.

3.2.1. Öz Kapasite

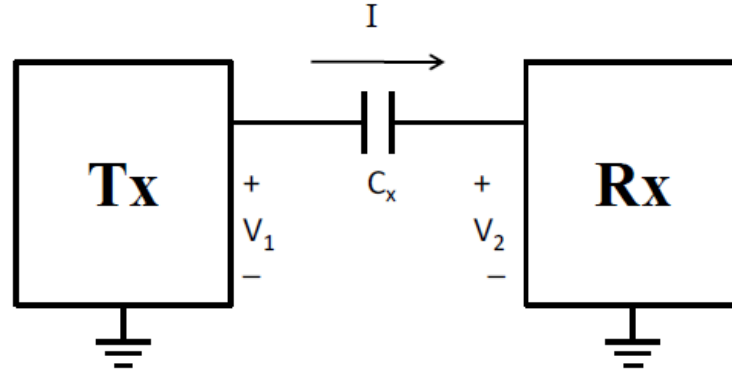
Öz kapasite yönteminde tek bir uç kullanılır. Şekil 3.5’de öz kapasite sistemi verilmiştir. Bu yöntem giriş ucu ve zemin (toprak) arasındaki kapasiteyi ölçer. Öz kapasite algılama sisteminde sensörün bağlı olduğu uç üzerinden akan akım ve gerilimin ölçülmesi mantığıyla çalışmaktadır. Parmak sensörün üzerine konulduğu zaman ölçülen kapasite artar. Öz kapasite yöntemi buton ve dokunmatik kaydırıcı buton (slider) gibi tekli dokunmatik sensör uygulamalarında kullanılır.



Şekil 3.5. Öz kapasite

3.2.2. Karşılıklı Kapasite

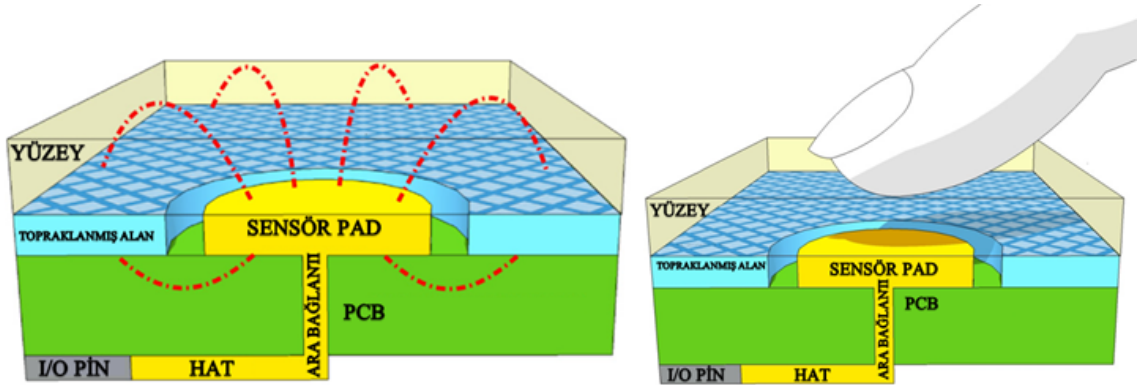
Karşılıklı kapasite yönteminde iki uç kullanılır. Bu uçlar arasındaki kapasite ölçülür. Karşılıklı kapasite sistemi, Şekil 3.6’da gösterildiği gibi verici uç üzerinden bir akım geçirilmesi ve alıcı uçtaki yük miktarının ölçülmesi mantığıyla çalışır. Alıcı ve verici uçlar arasına bir parmak yerleştirildiği zaman kapasite azalır. Karşılıklı kapasite etkisi dokunmatik ekran gibi çoklu dokunmatik sistemler için uygundur.



Şekil 3.6. Karşılıklı kapasite

Bir Capsense öz kapasiteli sistemde, kontrol ünitesi tarafından ölçülen sensör kapasitesi C_x olarak adlandırılır. Parmak sensör üzerinde değilse, C_x sistemin parazitik kapasitesine (C_p) eşittir. Parazitik kapasite pad (bağlantı ucu), via (ara bağlantı) ve track (hat) etkilerinin tamamını içerecek şekilde düşünülmelidir. C_p sensör pad’inin etrafındaki elektrik alanla ilgilidir. Şekil 3.7’de alan çizgileri sadece sensör pad’inin etrafında

gösterilmesine rağmen, gerçekte elektrik alan dağılımı çok daha karmaşık bir yapıya sahiptir [36].



Şekil 3.7. C_p ve elektrik alan

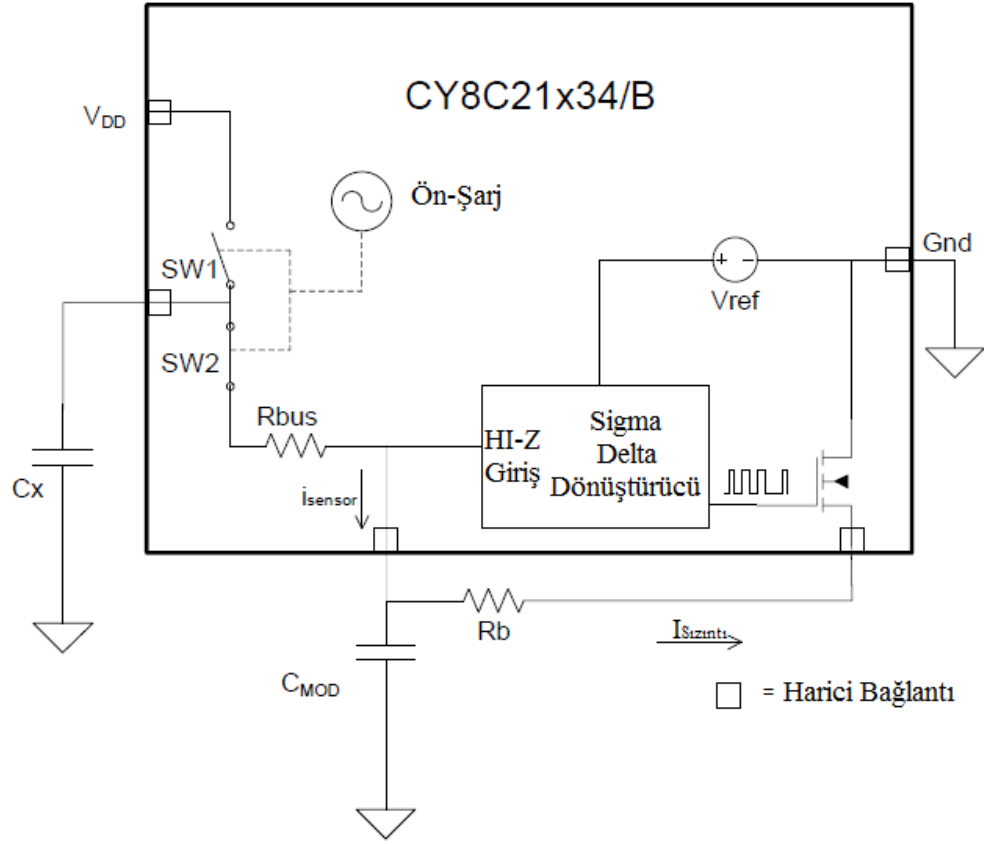
Denklem 3.2’de verilen algılayıcı yüzey üzerinde parmak olduğunda kapasite değeri (C_x), parazitik kapasite (C_p) ile parmak kapasitesi (C_F)’nin toplamına eşit olur.

$$C_x = C_p + C_F \quad (3.2)$$

3.3. Kapasitif Algılama Algoritmaları

Cypress firması tarafından üretilen kapasitif algılayıcılar Capsense olarak adlandırılır. Cypress’ın CSD metodu, sensör kapasitansını bir eşdeğer dirence dönüştürebilmek için sistemin girişinde anahtarlamalı bir kondansatör kullanır ve bir Sigma Delta modülatörü, eşdeğer dirençten ölçülen akımı dijital sayıma dönüştürür. Sensöre (parmak ile) dokunulduğunda kapasitans artar ve eşdeğer direnç düşer bunun sonucunda dirençten geçen akım artarak, dijital sayımda bir artışa neden olur.

CSD metodu, seçilen CapSense kontrolör ailesine göre, ya bir adet atanmış pin ile bir harici bileşene, C_{MOD} , veya iki adet atanmış pin ile iki harici bileşene, C_{MOD} ve R_B , ihtiyaç duyar.



Şekil 3.8. CY8C21X34 CSD blok diyagramı

Şekil 3.8’de CY8C21X34 CapSense kontrolör ailesi için CSD konfigürasyonu gösterilmiştir ve bu ailedeki kontrolörler için iki harici bileşen ile iki adet atanmış pin gereklidir. CY8C20XX6A/AS/H CapSense kontrolör ailesinde ise bir harici bileşen, C_{MOD} , ile bir adet atanmış pin kullanılır.

Cypress’ın CSA_EMC metodu da sensör kapasitansını bir eşdeğer dirence dönüştürebilmek için sistemin girişinde anahtarlamalı bir kondansatör kullanır. iDAC olarak adlandırılan dâhili sabit bir akım kaynağı, C_{MOD} kondansatöründe bir denge gerilimi oluncaya kadar ardışık yaklaşım prosedürü ile kalibre edilir ve bu denge gerilimi tek eğimli bir analog-dijital dönüştürücü (a single slope ADC) kullanılarak ölçülür. Sensöre (parmak ile) dokunulduğunda kapasitans artar ve bu artış C_{MOD} kondansatöründeki denge

geriliminin azalmasına, dijital sayımda bir artış ile sonuçlanacak şekilde de ADC çıkışının artmasına sebep olur.

CSA_EMC metodu, bir adet atanmış pin ile bir harici bileşene, tek eğimli bir analog-dijital dönüştürücü tarafından kullanılacak C_{MOD} entegrasyon kondansatörüne, ihtiyaç duyar. CSA_EMC CapSense algoritması, RF parazitlerinin olması durumunda bile iyi çalışacak şekilde geliştirilmiştir. Bu nedenle de CSA_EMC, CapSense'in bu tür parazitlere (AC gürültü ve inverter, transformatör ve güç kaynakları gibi diğer gürültü kaynakları) maruz kaldığı uygulamalarda kullanılır.

Tüm elektronik cihazlar FCC, CE, U/L tarafından belirlenen limitler içinde oluşan ve yayılan harici gürültüleri tolere edebilmelidir. Bir ürünün bu gürültü testlerini geçebilmesi için mükemmel bir PCB yerleşim, güç kaynağı ve sistem tasarımına sahip olması gerekir. Bazı durumlarda ideal tasarım uygulamalarına, ürünün fiziksel boyutları ve maliyeti nedeniyle uyulmayabilir.

En iyi CapSense sistem performansı, yerleşim planı, buton boyutları, aynı PCB'deki diğer malzemeler ve uygulama gereksinimlerine bağlıdır. Sağlam ve güvenilir bir performans için anahtarlama frekansı ve eşik değer seviyeleri dikkatlice seçilmelidir.

Capsense tuning (Capsense ayarlama), tüm bu parametreler için en uygun değerleri belirleme işlemidir. Ayrıca sensör kartında, diğer malzeme ve çevre şartlarında oluşabilecek değişimlere cevap verebilme ve yüksek temas hassasiyeti için ayarlama gereklidir.

Gürültü eşiği: Fark sayma gürültü eşiğinin altında ise referans hattı güncellenir.

Temas eşiği + Histerezis (ON eşiği): Fark sayma artarak “temas eşiği + histerezis” seviyesini geçtiği zaman sensör, OFF konumundan ON konumuna geçer.

Temas eşiği - Histerezis (OFF eşiği): Fark sayma azalarak “temas eşiği - histerezis” seviyesinin altına düştüğü zaman sensör, ON konumundan OFF konumuna geçer.

Capsense tuning işlemi ile ilgili Rav Count (İşlenmemiş Sayma), Baseline (Referans hattı) ve Difference Count (Fark Sayma) terimlerinin tanımları aşağıdaki gibidir.

İşlenmemiş Sayma (Raw Count): Şekil 3.9’da görüldüğü gibi CapSense algoritması ile sensör kapasitansı bir sayma değerine (sayısal değere) çevrilir. Ham saymanın işlenmesi, sensorün ON/OFF konumunu belirleyecek şekilde sonuçlanır.

Referans hattı (Baseline): Baseline, sensör kapalı (off) konumdayken, ortalama sensör sayma seviyesinin bir tahminidir ve sensörün açık (on) veya kapalı (off) konumda olduğunu karşılaştırmak için bir referans seviye belirlenmesini sağlar.

Fark Sayma (Difference Count): Açık (on) veya kapalı (off) konumuna karar verme sürecinde kullanılan fark sayma, ham saymadan işlenmemiş sayma seviyesinin çıkarılması ile elde edilir. Uygulama esnasında referans hattı, çevresel değişimlere cevap verebilmek için kullanıcı modülü tarafından dinamik olarak ayarlanır ve bu süreç referans hattı güncelleme olarak adlandırılır.

Sinyal-Gürültü Oranı (SNR) (Signal-to-Noise Ratio): Tuning Capsense sisteminin ana hedeflerinden biri dokunma ve dokunmama durumlarını iyi bir şekilde ayırt etmektir. Parmak, sensörün üzerinde değilken, referans seviyesi sürekli olarak güncellenmektedir. Sinyal-gürültü ölçümünde, herhangi bir parmak yüzeye değmiyorken mevcut olan işlenmemiş sayı seviyesi temel referans seviyesindedir.

Sensör off konumunda iken sayma, $X(t)$, bir ortalama sayma ve gürültü bileşeni olarak modellenebilir.

$$X(t)=X_0 + N_0(t) \quad (3.3)$$

Denklem 3.3’de sensörün off konumunda iken sayma değeri $X(t)$, $X(t)$ ’nin ortalaması X_0 ile $N_0(t)$ off konumunun t süresince gürültü bileşenin toplamına eşittir.

Aynı model sensör on konumunda iken de uygulanır.

$$X(t)=X_1 + N_1(t) \quad (3.4)$$

Denklem 3.4’de sensörün on konumunda iken sayma değeri $X(t)$, $X(t)$ ’nin ortalaması X_1 ile $N_1(t)$ on konumunun t süresince gürültü bileşenin toplamına eşittir.

$$S = X_1 - X_0 \quad (3.5)$$

Denklem 3.5’de S , X_1 ile X_0 arasındaki fark sinyalidir.

Gürültü bileşenleri, $N_0(t)$ ve $N_1(t)$, benzerdirler fakat özdeş değildirler. $N_1(t)$, $N_0(t)$ ile karşılaştırıldığında genellikle daha yüksek seviyede AC hat gürültüsü içerir. Bunun nedeni ise insan vücudunun 50 ve 60 Hz hat gürültüsüne bir nevi anten görevi görmesi ve sensör yerleşimi ile birlikte parmak temasıyla CapSense uygulamasındaki gürültünün ikiye katlanmasıdır.

Gürültü seviyesi, N , en kötü durumda off konumunda ölçülen pik olarak ifade edilir.

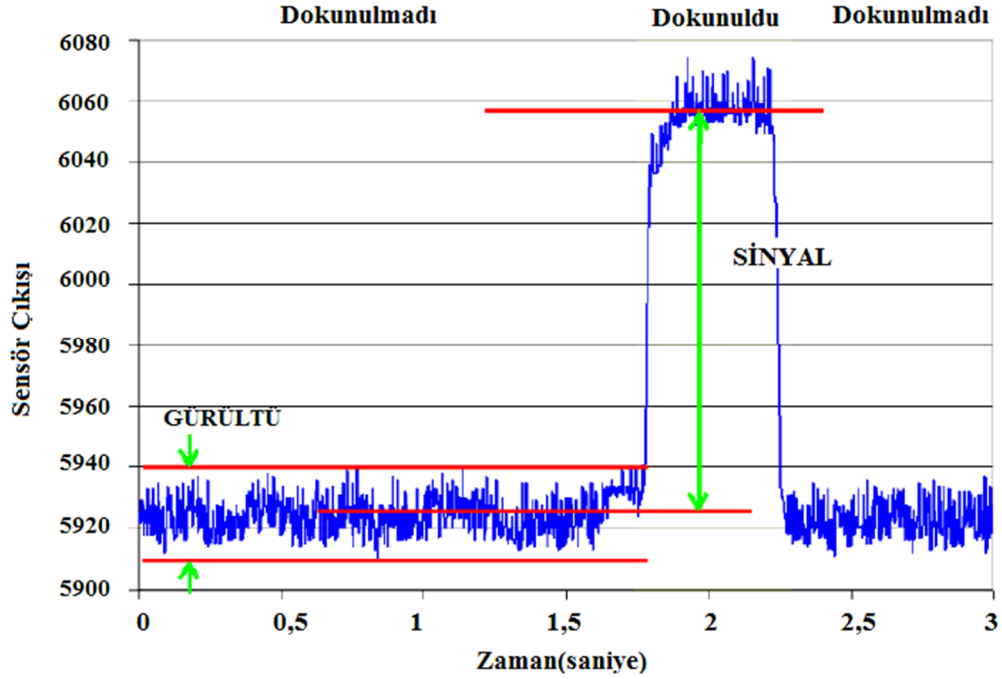
$$N = \max(N_0(t)) = \max(X(t)) - \min(X(t)) \quad (3.6)$$

Denklem 3.6’da Gürültü seviyesi N , maksimum sayma değeri ile minimum sayma değerinin farkına eşittir.

CapSense Sinyal-Gürültü Oranı, SNR, sinyalin gürültüye oranı olarak ifade edilmiş olur.

$$SNR = S/N \quad (3.7)$$

Denklem 3.7’de Sinyal-Gürültü Oranı, Sinyalin gürültüye oranına eşittir. CapSense’in sağlıklı olarak çalışması için minimum SNR 5:1 olması önerilir.



Şekil 3.9. Sinyal ve gürültü

SNR, CapSense'in kullanılması amaçlanan gürültülü ortamda ölçülmelidir. Başka bir deyişle sistem SNR'ı en kötü gürültü şartlarında ölçülür.

SNR ölçüm işleminde ilk basamak her bir sensör için işlenmemiş saymanın izlenmesidir. Sinyalin nasıl üretildiği, göz önünde bulundurulacak diğer bir faktördür.

SNR ölçümü yaparken en kötü koşul ON ve OFF senaryosu kullanılmasıdır. Eğer sistem sadece bir parmak varlığını algılayacak şekilde tasarlanırsa, sensör alanına hafif bir dokunuşla SNR ölçülür ve temas noktası merkezin hafif dışına konumlandırılır. Otomatik test yapmak için sıklıkla, küçük bir madeni para şekil ve boyutlarına eşdeğer, metal bir disk ile en kötü koşul parmak teması (0.1 pF) simüle edilebilir.

SNR ölçümüne bir örnek olarak Şekil 3.9'daki dalga şekli, işlenmemiş sayma olarak dikkate alındığında SNR değeri şöyle elde edilir:

$$X_0 = 5925 \text{ sayma}$$

$$X_1 = 6055 \text{ sayma}$$

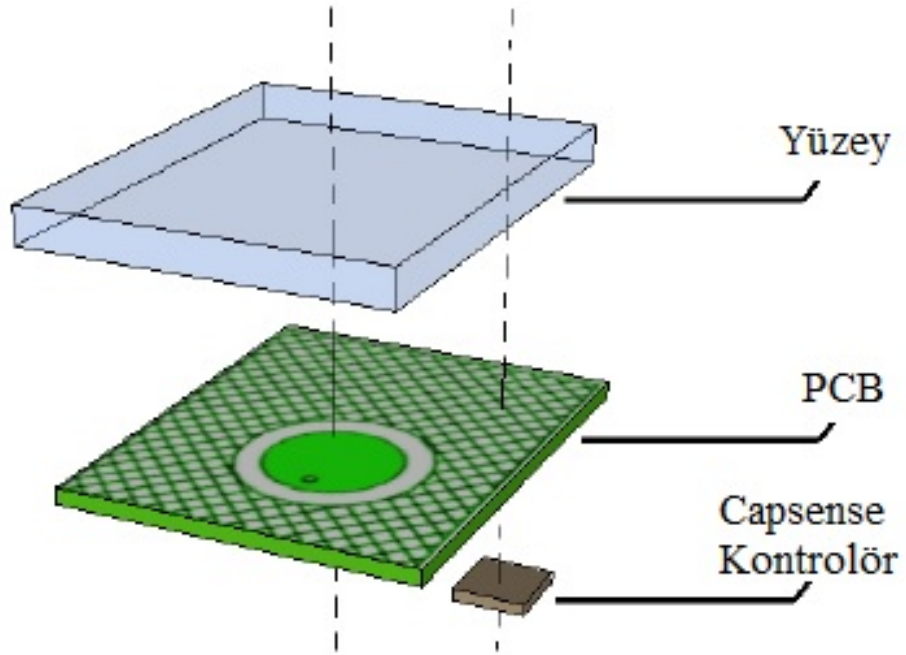
$$S = 130 \text{ sayma}$$

$$N = 5940 - 5925 = 15 \text{ sayma}$$

$$\text{SNR} = 130:15 = 8.6:1$$

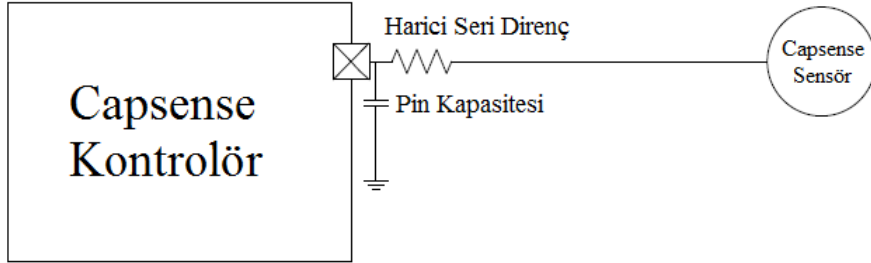
3.4. Kapasitif Sensör Yapısı ve Tipleri

Kapasitif sensörler Şekil 3.10'da verildiği gibi sensörün yapısı Capsense denetleyici, özel baskılı devre kartı (PCB), dokunmatik yüzey PCB bileşenlerinden oluşmaktadır.



Şekil 3.10. Sensör yapısı

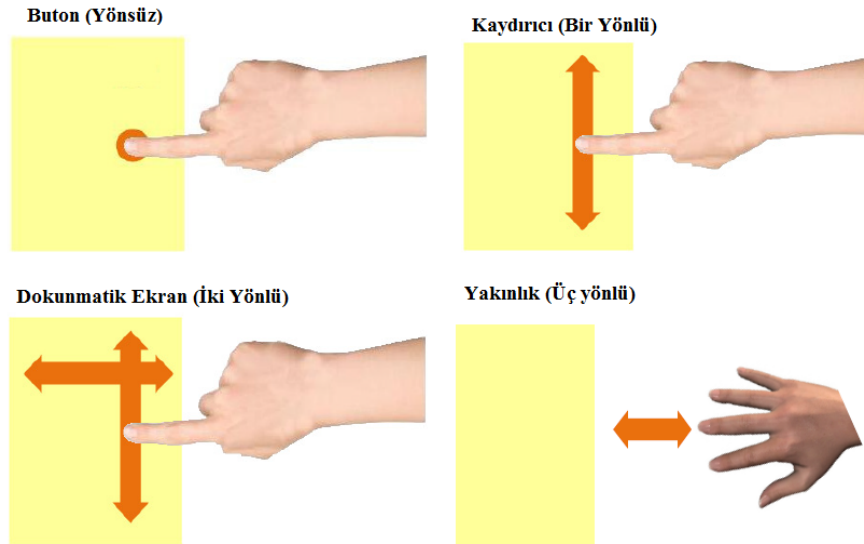
PCB üzerindeki toprak düzleminin sağlanması RF gürültüsünü azaltmasına yardımcı olur. Her capsense denetleyicinin pin bazında parazitik kapasitesi C_p değeri vardır. Harici bir direnç eklenerek RF gürültünün genliği azaltacak bir alçak geçiren RC filtre oluşturur.



Şekil 3.11. RC filtre

Şekil 3.11’de kapasitif sensördeki RC filtre verilmiştir. Capsense giriş hatlarında RC filtre oluşturmak için önerilen seri direnç 560 ohm'dur.

Kapasitif sensörler genel olarak dört kategoriye ayrılır: Butonlar, kaydırıcılar, dokunmatik ekranlar ve yakınlık sensörleridir. Farklı sensör tipleri farklı pazar segmentlerine hitap ederler. Şekil 3.12’de kapasitif sensör tipleri verilmiştir.



Şekil 3.12. Kapasitif sensör tipleri

3.4.1. Butonlar

Capsense butonları geniş bir uygulama alanında kullanılırlar. Bunlara; ev aletleri, tıbbi cihazlar, televizyonlar, monitörler, ses sistemleri, fotoğraf çerçeveleri, dizüstü bilgisayarlar, ev güvenlik sistemleri, beyaz eşya, endüstriyel ürünler ve aydınlatma kontrolörleri örnek olarak gösterilebilir. Buton kullanımında yüksek güvenilirlik, düşük maliyet ve daha cazip endüstriyel tasarım nedenleriyle mekanik butonlar yerine capsense butonlar tercih edilir.

3.4.1.1. Basit Butonlar

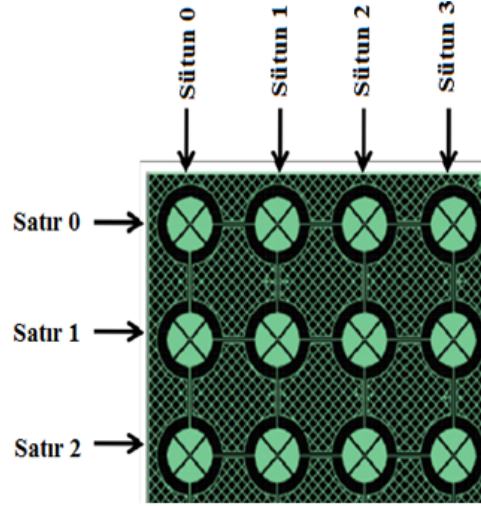
Basit kapasitif sensör bakır pad'den oluşturulan şeklin capsense denetleyicinin pinine bağlanmasıyla elde edilir. Buton, bakır sensörlü pad ve iletken olmayan kaplama malzemesinin birleşimi olarak tanımlanır. Buton dairesel bir boşluk ve topraklanmış bakır kapak ile çevrilidir. Her buton için capsense denetleyicide bir I/O pin gereklidir. Şekil 3.13'de basit buton örneği gösterilmiştir.



Şekil 3.13. Basit buton

3.4.1.2. Matris Butonları

Hesap makinesi tuş takımı ya da Q-klavye gibi fazla sayıda buton gerektiren uygulamalarda, kapasitif sensörler bir matris içinde düzenlenebilir. Bu tasarımda daha çok buton olmasına rağmen capsense denetleyicide daha az I/O pini kullanılır.



Şekil 3.14. Matris buton

Bir matris buton tasarımında kapasitif sensörler, satır sensörleri ve sütun sensörleri olmak üzere iki gruptan oluşur. Herhangi bir butona dokunulduğunda, hem satır hem de sütun sensörleri taranarak hangi butona basıldığı tespit edilir.

$$\text{Matris buton sayısı} = (\text{Satır sensör sayısı}) \times (\text{Sütun sensör sayısı}) \quad (3.8)$$

Bir matris buton tasarımı kullanarak gerekli I/O pin sayısında önemli bir azalma olur. Örneğin, Şekil 3.14’de matris buton 12 adet uygulama sensörü için Denklem 3.8’deki gibi 3 adet satır sensörü ile 4 adet sütun sensörü olmak üzere toplam 7 adet I/O pin gerektirir.

Matris butonları bir seferde sadece tek bir algılama yapabilir. Birden fazla satır veya sütun sensörü dokunma durumundayken, parmak konumu çözülemez ve durum geçersiz bir durum olarak kabul edilir. Bazı uygulamalarda Shift, Ctrl ve Alt tuşu gibi birden fazla butona basılması gerekebilir. Bu durumda butonlara aynı anda basıldığının algılanması gerekir. Shift, Ctrl ve Alt tuşları tek tek buton olarak tasarlanmış olmalıdır.

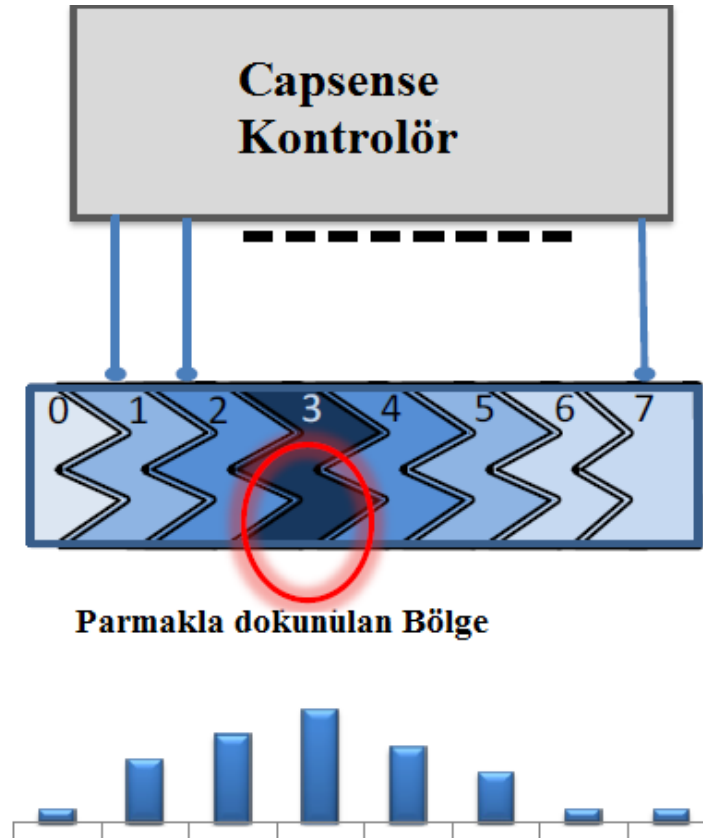
3.4.2. Kaydırıcı Buton

Kaydırıcılar kademeli ayarlama gerektiren kontroller için kullanılmaktadır. Aydınlatma kontrolü (dimmer), ses kontrolü, grafik ekolayzır ve hız kontrolü örnek olarak gösterilir. Bir kaydırıcı, birbirine bitişik yerleştirilen segmentler olarak adlandırılan

kapasitif sensörler kullanılarak oluşturulmuştur. Kaydırıcı segment sayısı artırılarak bir enterpolasyon yöntemi ile daha yüksek çözünürlükler elde edebilir. Yüksek çözünürlüklü bir kaydırıcı, parmağın kayması sonucunda ışık veya sese yumuşak geçişler yapar.

3.4.2.1. Lineer Kaydırıcı Buton

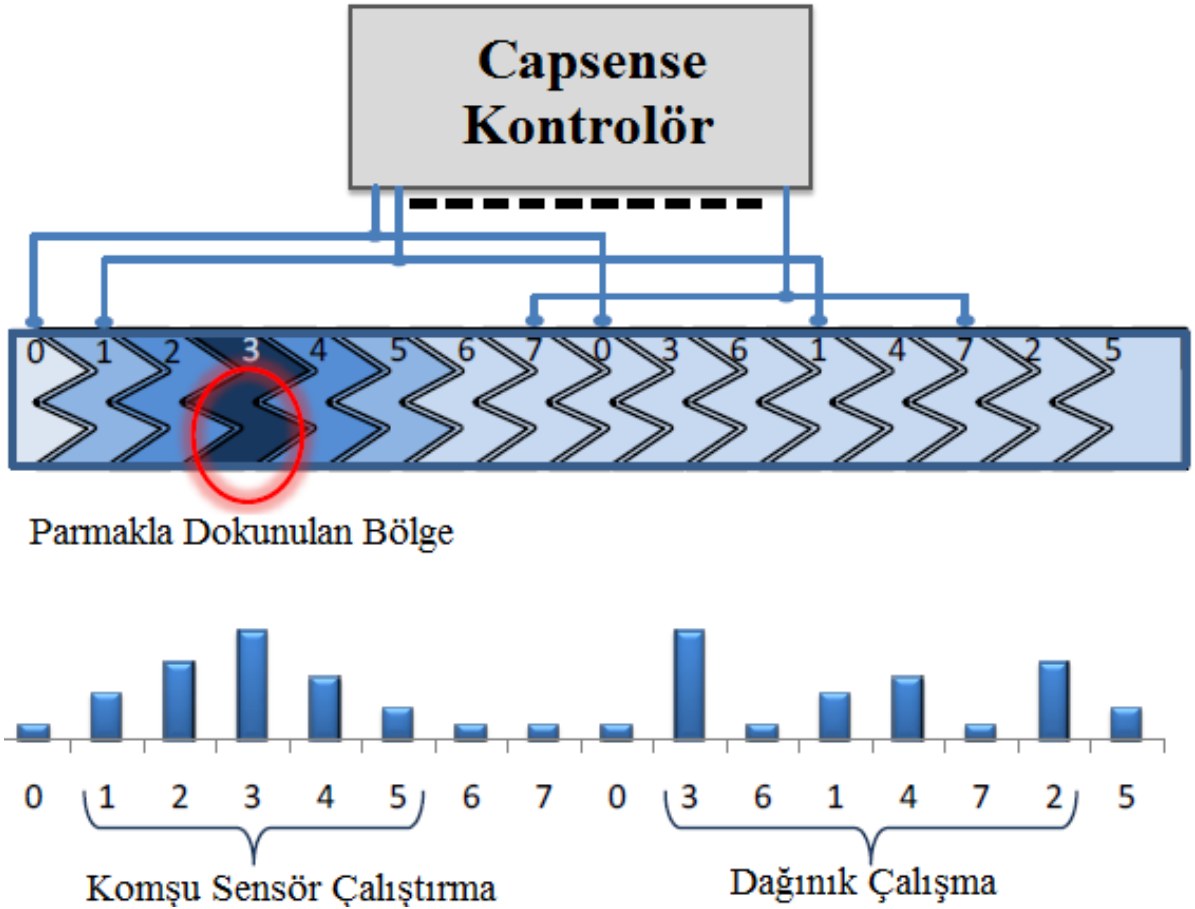
Doğrusal bir kaydırıcıda her capsense kontrolörü I/O pinli bir kaydırıcı parçasına bağlıdır. Şekil 3.15’de Lineer kaydırıcı segmentleri için önerilen zikzak deseni (çift Chevron) gösterilmiştir. Bu düzen, bir segmente dokunduğunda bitişik parçalara da kısmen temas edilmesini sağlar. Çoklu sensör verisi parmak pozisyonunun tahminini iyileştirir.



Şekil 3.15. Lineer kaydırıcı

3.4.2.2. İkili Kaydırıcı Buton

İkili kaydırıcı buton, capsense kontrolörün her I/O pininin iki farklı kaydırıcı segmentine bağlanmasıyla elde edilir. Bu tasarımda capsense kontrolörünün I/O pininin iki katı kadar kaydırıcı kullanılmasına olanak sağlar. Örneğin, 16 kademeli kaydırıcı buton tasarımını 8 adet capsense kontrolör I/O pini gerektirir.

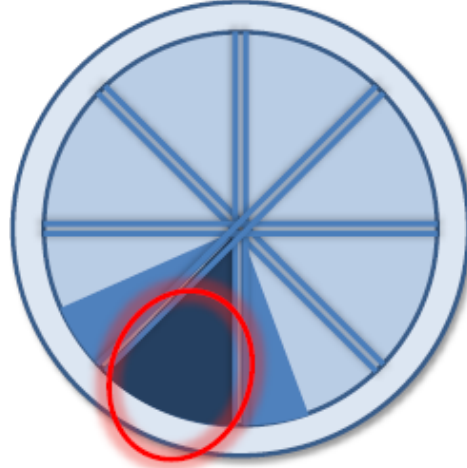


Şekil 3.16. 16 Segment ikili kaydırıcı buton

İkili kaydırıcı segmentleri, kaydırıcının doğru bir şekilde çalışması için belirli bir sırada capsense denetleyicinin I/O pinlerine bağlı olmalıdır. 0, 1, 2...7 segmentleri sırayla capsense denetleyicinin I/O pinlerine bağlanır ve doğrusal bir kaydırıcı gibi çalışır. İkinci yarıdaki segmentler de belirli bir sırayla aynı capsense kontrolörün I/O pinlerine bağlanır.

3.4.2.3. Radyal Kaydırıcı Buton

Şekil 3.17’de verilen radyal kaydırıcı buton, daire şeklinde olup lineer kaydırıcıya benzer. Bitişik sensörlerden gelen verileri kullanarak parmak pozisyonunun tahminini sağlar.

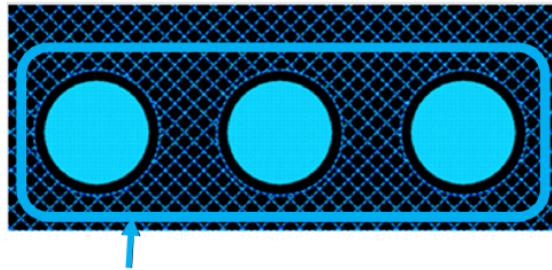


Parmakla Dokunulan Bölge

Şekil 3.17. Radyal kaydırıcı buton

3.4.3. Yaklaşım sensörü

Yaklaşım sensörleri, dokunmatik yüzey ile temas etmeden önce el veya diğer iletken nesnenin varlığını algılar. Şekil 3.18’de gösterildiği gibi yaklaşım sensörü kullanıcı arabirimi çevresi üzerinde uzun bir hat oluşturur. Bu hat sayesinde algıma işlemi sağlanır.



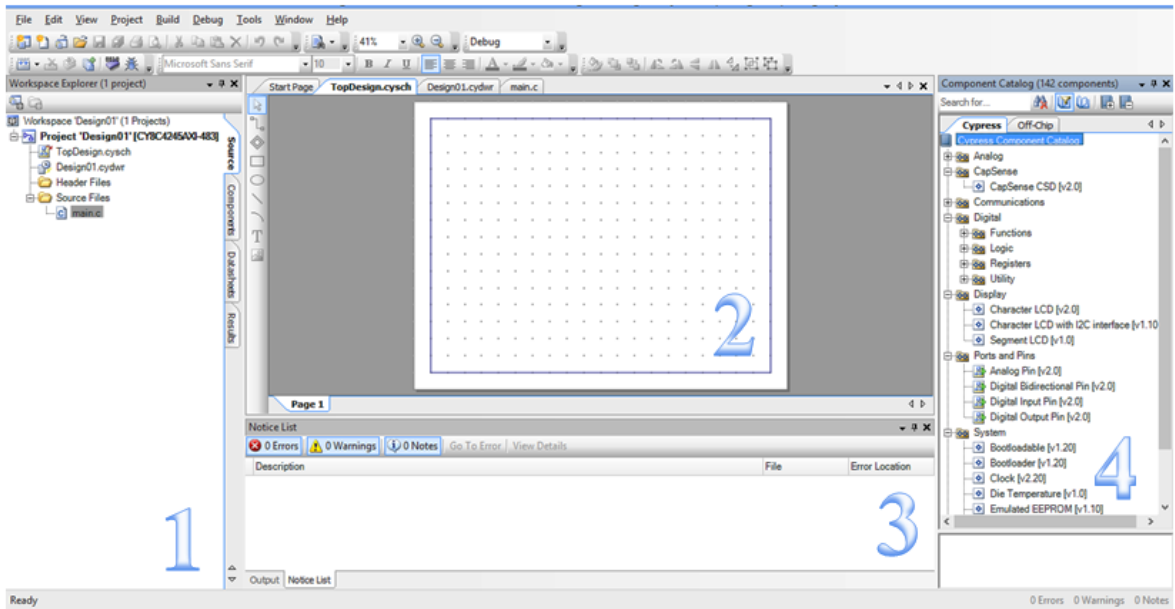
Proximity Sensör

Şekil 3.18. Yaklaşım sensörü

4. PSoC UYGULAMALARI

4.1 Giriş

Bu tez çalışmasında PSoC kullanılarak tasarlanan dokunmatik LED dimmer, dokunmatik kabin kaset butonu ve RGB wallwasher sistemleri için dokunmatik kaydırıcı uygulamaları gerçekleştirilmiştir. Programlama aşamasında PSoC Creator yazılımı kullanılmıştır. PSOC Creator, PSOC-3-4 ve 5LP ailesi için programların üretilmesini sağlayan Cypress firmasının yazılımıdır. Creator yazılımının kullanımı hakkında bilgiler aşağıda verilmektedir.



Şekil 4.1. PSoC Creator çalışma ekranı

PSoC Creator programının çalışma ekranı şekil 4.1’de görülmektedir. Bu ekranda;

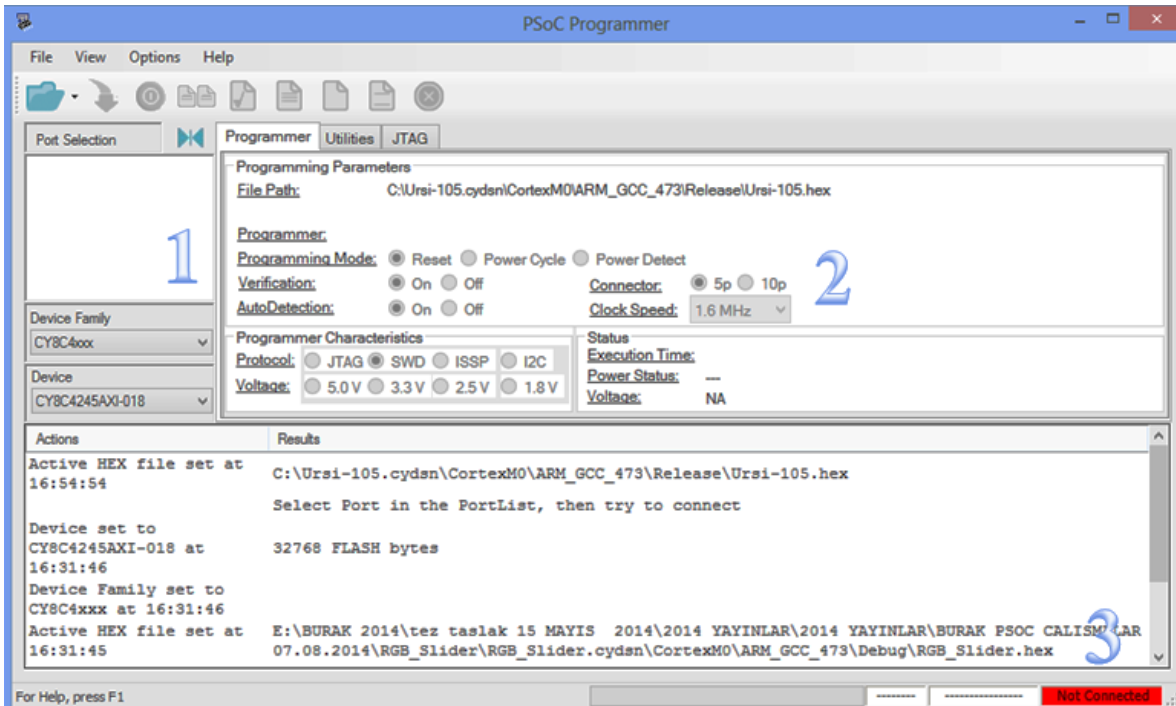
1- Workspace Explorer: Yapılan programlamanın ana dosyalarının bulunduğu bölümdür. Örneğin; main.c, dosyaadı.cydwr, topdesign.cysch v.b. kısımlar yer alır. Main.c, C dilinde yazılan komutların kaydedildiği bölümdür. Dosyaadı.cydwr, kullanılan PSoC pinlerinin giriş çıkış olarak ayarlandığı bölümdür. Topdesign.cysch, blokların yerleştirildiği ve bağlantılarının yapıldığı dosyadır.

2- Çalışma Sayfası: Programla aşamasında kullanılmasına karar verilen blokların birleştirilmelerinin yapıldığı sayfadır. Bu sayfaya, PSoC içerisinde bulunan blokların haricinde projede kullanılan LED, diyot, triyak, transistör v.b. elemanlar da eklenebilmektedir.

3- Description: Programlama, derleme gibi işlemler esnasında oluşabilecek durumların ve hataların yazıldığı bölümdür.

4- Component Catalog: Bu bölüm; PSoC içerisinde bulunan ADC, DAC, PWM, LCD v.b. tüm bloklar ve çip içerisinde bulunmayan LED, diyot, triyak, transistör v.b. elemanların seçilip kullanılabildiği bölümdür.

Program istenilen şekilde PSoC Creator'da tasarlandıktan sonra build (kısayol tuşu Shift+F6) ile derleme işlemi yapılır. Derleme işlemi sonucunda yapılan programın HEX uzantılı dosyası oluşur.



Şekil 4.2. PSoC Programmer programı ekran görüntüsü

PSoC Programmer programının çalışma ekranı Şekil 4.2'de görülmektedir. Bu ekranda;

1- Port selection: PSoC programlama pinlerinin bağlandığı Cypress Minipro, USB yardımıyla bilgisayara bağlanır. Minipro cihazının bağlandığı portun seçildiği bölümdür. Ayrıca bu bölümde kullanılan PSoC ailesinin ve çipinin seçilmesi gerekmektedir.

2- Programming Parameters: Bu bölümde programlama modu, çip'e bağlanan programlama kablo sayısı, Clock hızı, programlama protokolü ve programlama aşamasında belirlenen çalışma gerilimi seçilir.

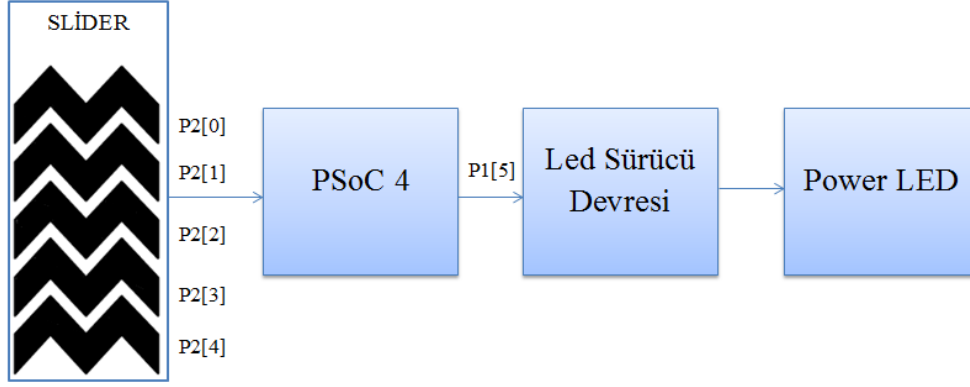
3- Actions, Results: Programın çip'e yüklenmesi aşamasında meydana gelen durumların, hataların ve sonuçların yazıldığı bölümdür.

Minipro programlayıcı yardımıyla bilgisayara bağlantısı sağlanan çip, PSoC Programmer'daki Toggle Power butonu yardımıyla enerjilendirilir. Oluşturulan HEX uzantılı dosyanın bulunduğu bölüm, Cypress PSoC Programmer'daki File menüsünden File Load (kısayol tuşu:F4) yardımıyla seçilir ve yine File menüsünde bulunan Program (kısayol tuşu:F5) ile çip'e kaydedilir.

Tez çalışması kapsamında geliştirilen PSoC tabanlı tasarımların ayrıntıları aşağıda verilmektedir.

4.2. PSoC Tabanlı Dokunmatik LED Dimmer Tasarımı

Tasarım aşamasında üstün özelliklerinden dolayı PSoC ailesine en son katılan PSoC 4 kullanılmıştır. Şekil 4.3'de sistemin blok diyagramı verilmiştir. PCB üzerine çizilen kaydırıcı yardımıyla kapasitif değişim sağlanmaktadır. Kaydırıcı üzerindeki kapasitif değişim PSoC 4 mikrodenetleyici vasıtasıyla algılanmaktadır. Kapasitif değişime bağlı olarak PSoC 4, PWM işaretinin görev periyodunu değiştirir. PSoC çıkışına bağlı LED sürücü devresi yardımıyla Power LED'in ortalama akımı ve dolayısıyla ışık şiddeti değiştirilebilir.



Şekil 4.3. Dokunmatik LED dimmer sistemine ait bloklar

LED Dimmer devresinin temel elemanı olan LED (ışık yayan diyet), elektrik enerjisini ışığa dönüştüren yarı iletken devre elemanıdır. LED'in en önemli kısmını yarı iletken malzemeden oluşan ve ışık yayan LED çipi oluşturur. LED çipi noktasal bir ışık kaynağıdır ve kılıf içine yerleştirilmiş yansıtıcı eleman sayesinde ışığın belirli bir yöne doğru yayılması sağlanır [37].

LED'ler klasik aydınlatma sistemlerine göre düşük enerji tüketimi, uzun ömür, sağlamlık, küçük boyut, hızlı anahtarlama, yüksek dayanıklılık ve güvenilirlik gibi avantajlara sahiptir. LED'ler elektronik piyasasına girdiği 1962 yılından itibaren büyük aşama kaydetmiştir [38]. Power LED'ler genellikle 0.5W, 1W, 3W, 5W olarak kullanıma sunulmaktadır. Beyaz ışık yayan Power LED'ler iç ve dış genel aydınlatma için kullanılmakta olup, mavi, kırmızı, sarı, yeşil ve RGB Power LED'ler Wallwasher (duvar boyama) uygulamalarında kullanılmaktadır.

LED'lerin sabit akımda sürülmesini sağlamak için piyasada çeşitli hazır sürücü devreler bulunmaktadır. PSoC tabanlı LED dimmer tasarımında LED sürücü olarak Şekil 4.4'de verilen sabit akımlı LED sürücü devresi kullanılmıştır. Bu sürücü Switch-mode güç devresi ile % 91'e varan verimlilik sağlar. Ayrıca hem AC hem de DC beslemede çalışabilen geniş bir giriş voltaj aralığına (9-30V) sahiptir. Bunlara ek olarak 350/500/700/1000/1400mA sabit akım seçenekleri, PWM sinyali ile dim edilebilme, yumuşatılmış başlangıç ile LED ömrünü artırma ve girişte ters polarizasyon koruması gibi özelliklere de sahiptir.



Şekil 4.4. LED sürücü devresi

PWM sinyali ile LED parlaklığının ayarlanması, LED'in ortalama akımının değiştirilmesi ilkesine dayanmaktadır. PWM sinyalinin ortalama değeri, denklem (4.1)-(4.4)'de verilmiştir.

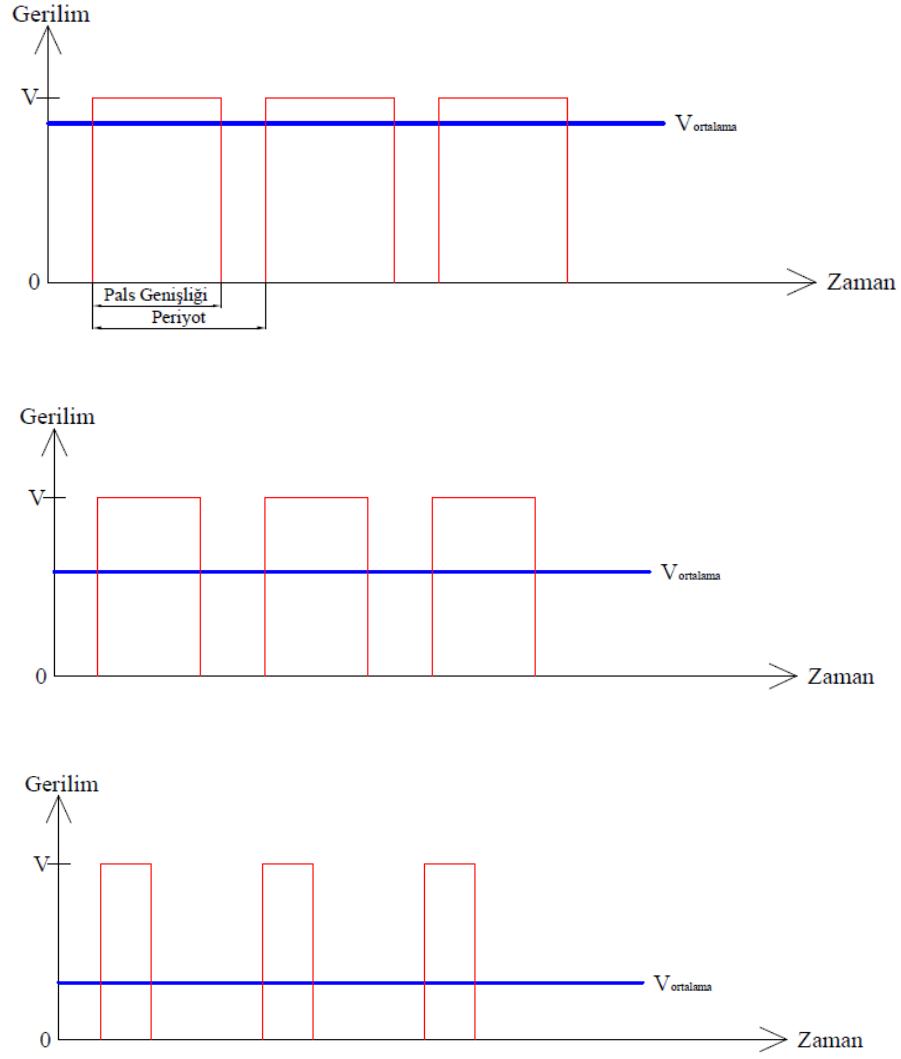
$$\bar{Y} = \frac{1}{T} \int_0^T f(t) dt \quad (4.1)$$

$$\bar{Y} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{D.T} Y_{max} dt + \int_{D.T}^T Y_{min} dt \right) \quad (4.2)$$

$$\bar{Y} = \frac{D.T.Y_{max} + T.(1-D).Y_{min}}{T} \quad (4.3)$$

$$\bar{Y} = D.Y_{max} + (1-D).Y_{min} \quad (4.4)$$

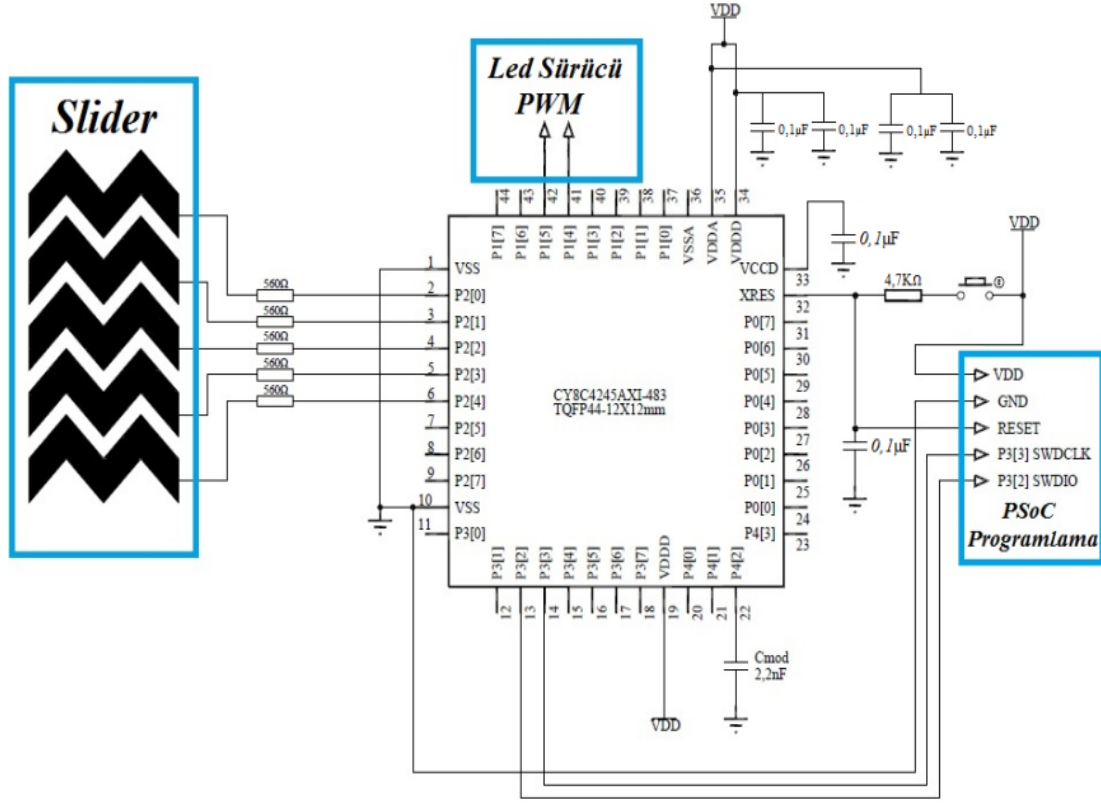
$Y_{min} = 0$ iken $\bar{Y} = D.Y_{max}$ haline dönüşür. Görüldüğü gibi elde edilecek ortalama değer, görev periyodu (D) parametresine direkt bağlıdır [39].



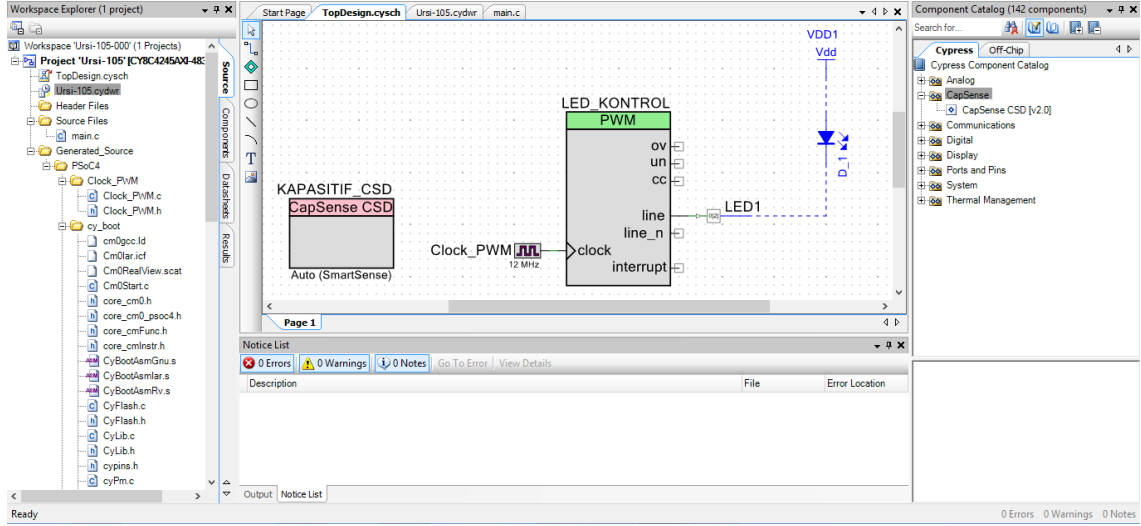
Şekil 4.5. Darbe genişliğinin değişmesinin ortalama gerilime etkisi

Şekil 4.5’deki grafiklerde görüldüğü gibi puls genişliğindeki değişime bağlı olarak ortalama gerilim değeri değişir. Darbe genişliği arttıkça ortalama gerilim değeri artar, azaldıkça ortalama gerilim değeri azalır.

Şekil 4.6’da elektronik devre şeması verilmiştir. Mikrodenetleyici olarak gömülü sistem yapısına sahip PSoC TQFP kılıflı CY8C4245AXI-483 kullanılmıştır. PSoC’den alınan PWM çıkışıyla Power LED’i sürmek için LED sürücü devresi kullanılmıştır. Ayrıca PSoC CY8C4245AXI-483 mikrodenetleyiciyi programlama işlemlerini kolaylaştırmak için ISSP programlama çıkışları alınmıştır.

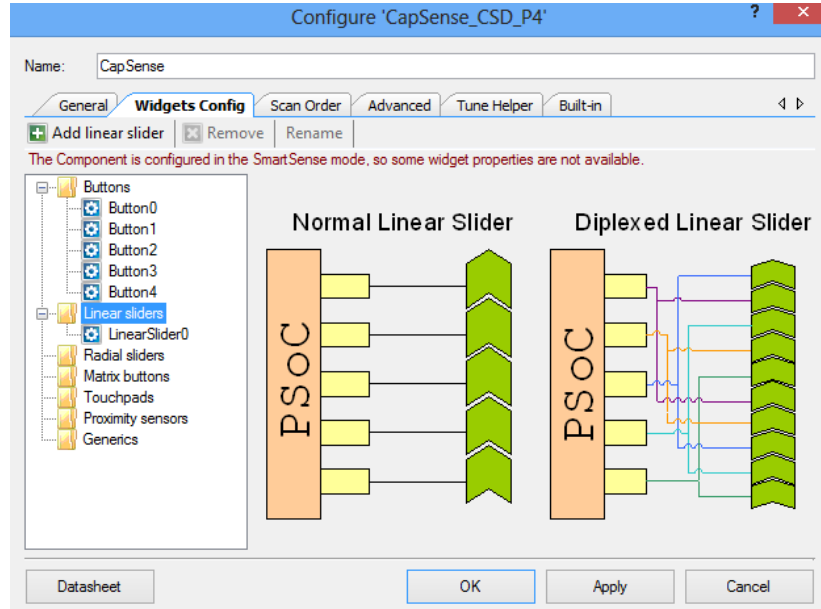


Şekil 4.6. Dokunmatik LED dimmer devre şeması



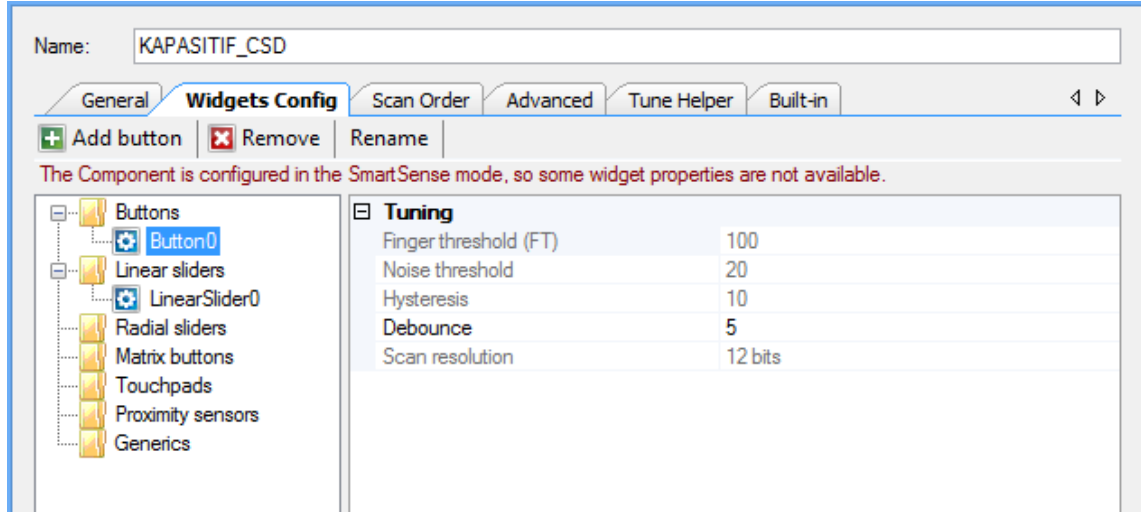
Şekil 4.7. Dokunmatik LED dimmer Creator program görüntüsü

Şekil 4.7’de görüldüğü gibi dokunmatik kaydırıcının oluşturduğu kapasite değişimini tespit etmek ve kapasitedeki değişime göre çıkış bilgisi üretmek için Capsense CSD bloğu kullanılmıştır.



Şekil 4.8. Capsense CSD ayarları

Şekil 4.8’de Capsense CSD bloğunun ayarlarının yapıldığı bölüm görülmektedir. Genel sekmesinden tarama yöntemi, filtreleme çeşidi gibi ayarlar yapılır. Tuş yapılandırması sekmesinde, kullanılacak olan kapasitif butonun çeşidi seçilir. Buton çeşidi; lineer kaydırıcı, radyal kaydırıcı, basit buton, matris buton v.b. olacak şekilde seçilir. Buton seçildikten sonra Şekil 4.9’da görüldüğü gibi parmak eşik değeri ile sensör tarama değeri belirlenir. Sensör tarama değeri, belirlenen bu eşik değerinde veya eşik değerinden daha büyük olduğunda dokunuldu bilgisinin alınmasını sağlar. Gürültü eşik değeri ile sensörün gürültü eşik sınırı tanımlanır. Bu bölümde girilen değerler yardımıyla butonların hassasiyeti ayarlanır.



Şekil 4.9. Kapasitif algılama ayarları

Dokunmatik LED dimmer C programı aşağıda verilmiştir.

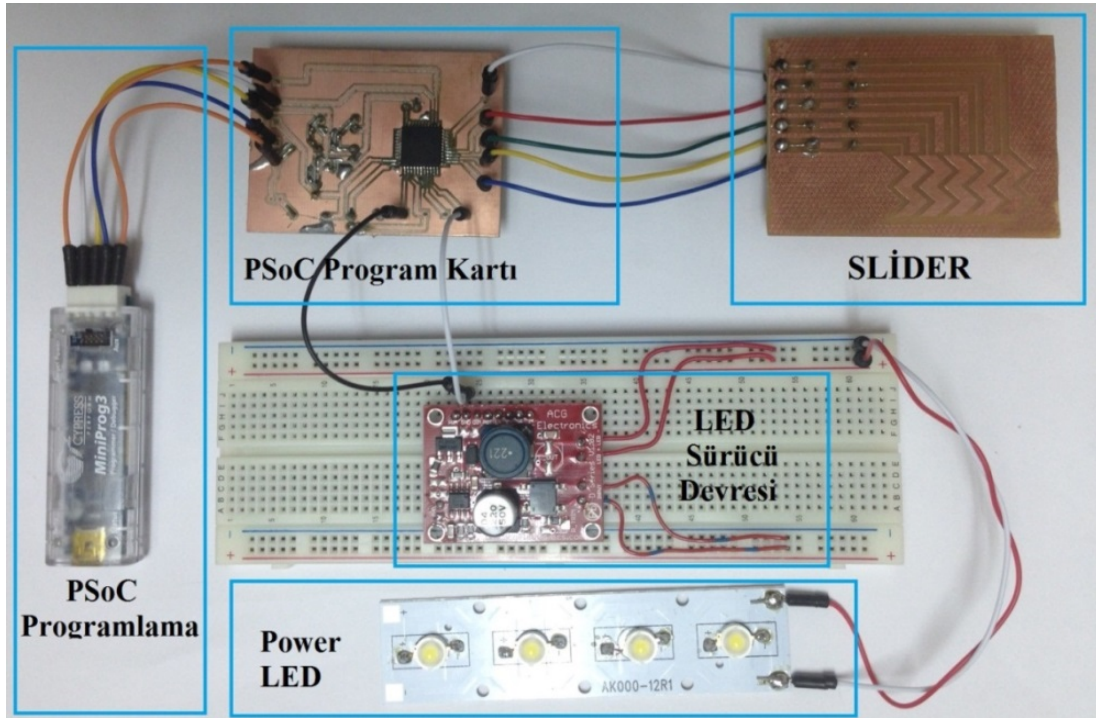
```
#include <project.h>
#define SLIDER_KARSILASTIR
uint16 SLIDERPOZISYON1, SLIDERPOZISYON2;
int main()
{
    CyGlobalIntEnable;
    LED_KONTROL_Start();
    /* PWM BAŞLAT */
    KAPASITIF_CSD_Start();
    /* CapSense BAŞLAT */
    KAPASITIF_CSD_InitializeAllBaselines();
    /* REFERANSLARI SIFIRLA */
    while(1u)
    {
        /* TÜM REFERANSLARI GÜNCELLE */
        KAPASITIF_CSD_UpdateEnabledBaselines();
        /* TUM SENSORLERI TARA */
        KAPASITIF_CSD_ScanEnabledWidgets();
        /* TARAMA DEVAM EDİYORMU MESGULMU? */
        while(KAPASITIF_CSD_IsBusy() != 0u);
        /* KAPASITIF DURUMU LEDLER ARACILIĞI İLE GÖSTER */
        KAPASITIF_CSD_DisplayState() } }
void KAPASITIF_CSD_DisplayState(void) {
    /*SLİDER POZISYONUNU BUL */
```

```

SLİDERPOZISYON1 = KAPASITIF_CSD_GetCentroidPos(KAPASITIF_CSD_LINEARSLİDER0__LS);
/* POZİSYONU SIFIRLA */
if(SLİDERPOZISYON1 == 0xFFFFu)
{
    SLİDERPOZISYON1=0u; }
    if(SLİDERPOZISYON1 != SLİDERPOZISYON2) {
        SLİDERPOZISYON2 = SLİDERPOZISYON1;
        if (SLİDERPOZISYON1 != 0u)
        {
            LED_KONTROL_WriteCompare((uint32)SLİDERPOZISYON1 << SLİDER_KARSILASTIR); } } }

```

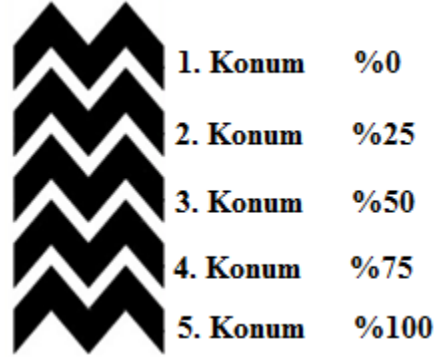
Şekil 4.10’da, tasarlanan sistemin genel görünümü verilmiştir. PSoC kontrol devresi ve kaydırıcı buton ünitesi için tasarlanan devreler epoxy bakır plakette yerleştirilmiştir. LED sürücü devresi ve Power LED devresi ise hazır kit olarak temin edilmiştir.



Şekil 4.10. Dokunmatik LED dimmer sisteminin genel görünüşü

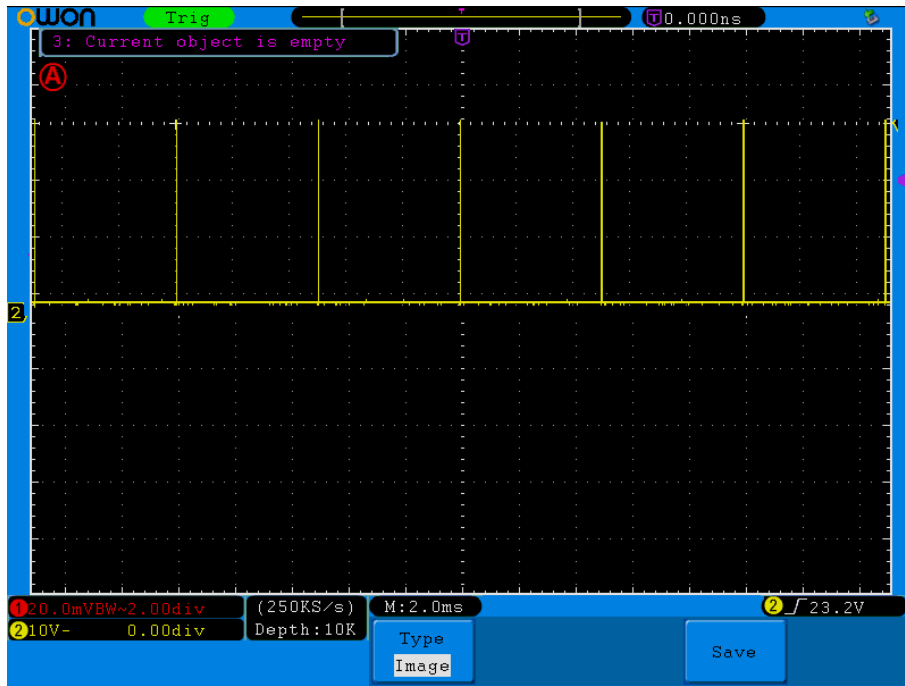
Tasarlanan sistemin testi için kaydırıcı buton üzerinde 5 kademeli yüzdelik tanımlaması yapılmıştır. Kaydırıcı konumları Şekil 4.11’de görülmektedir. Parmağın

kaydırıcı buton (slider) üzerindeki hareketi ile ışık şiddetinin %0 ile %100 arasında 5 kademedeki değiştirilmesi sağlanmıştır.

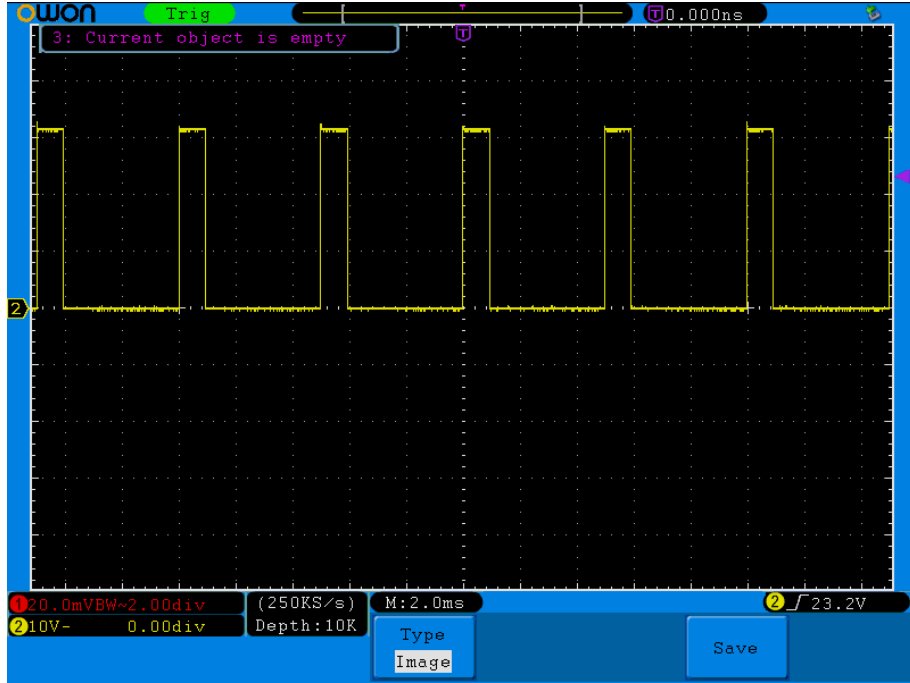


Şekil 4.11. Kaydırıcı Konumları

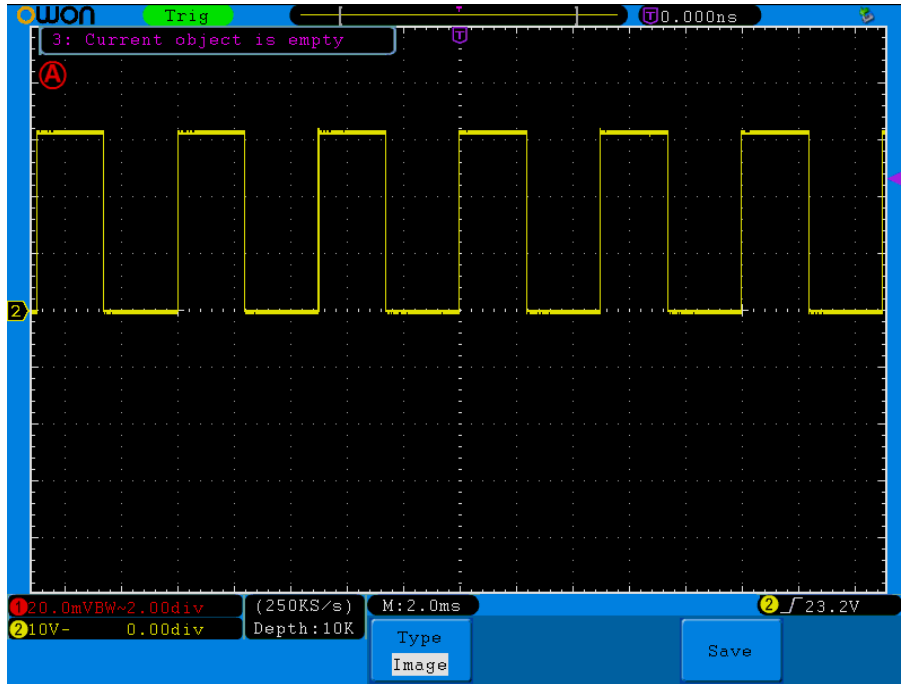
Kaydırıcı konumuna bağlı olarak PWM işaretinin değişimi dijital osiloskop ile gözlenmiş ve 5 kademe için osiloskop görüntüleri Şekil 4.12-4.16'da verilmiştir.



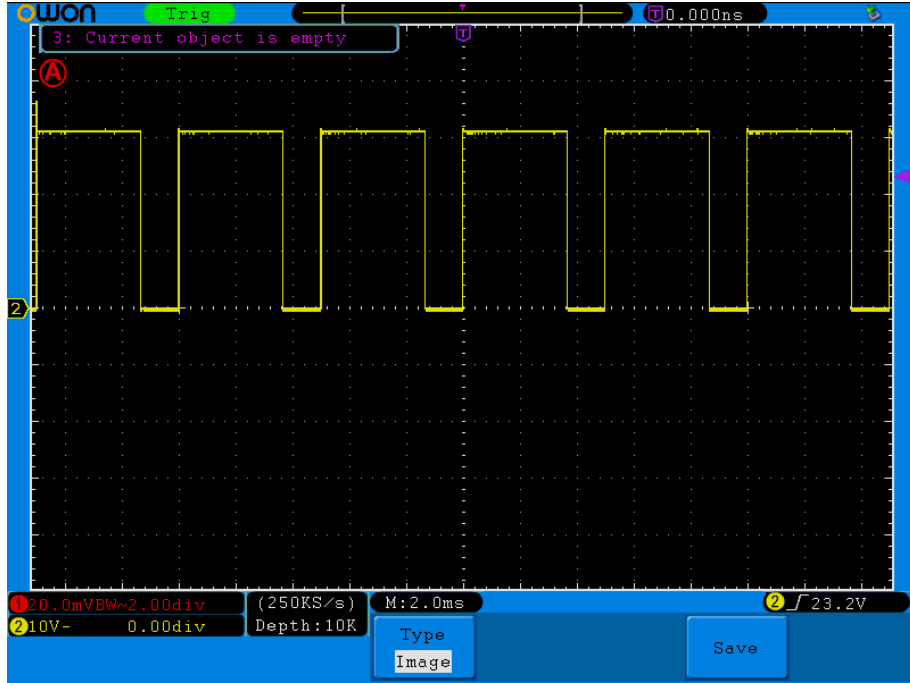
Şekil 4.12. LED parlaklığı %0 için PWM osiloskop görüntüsü



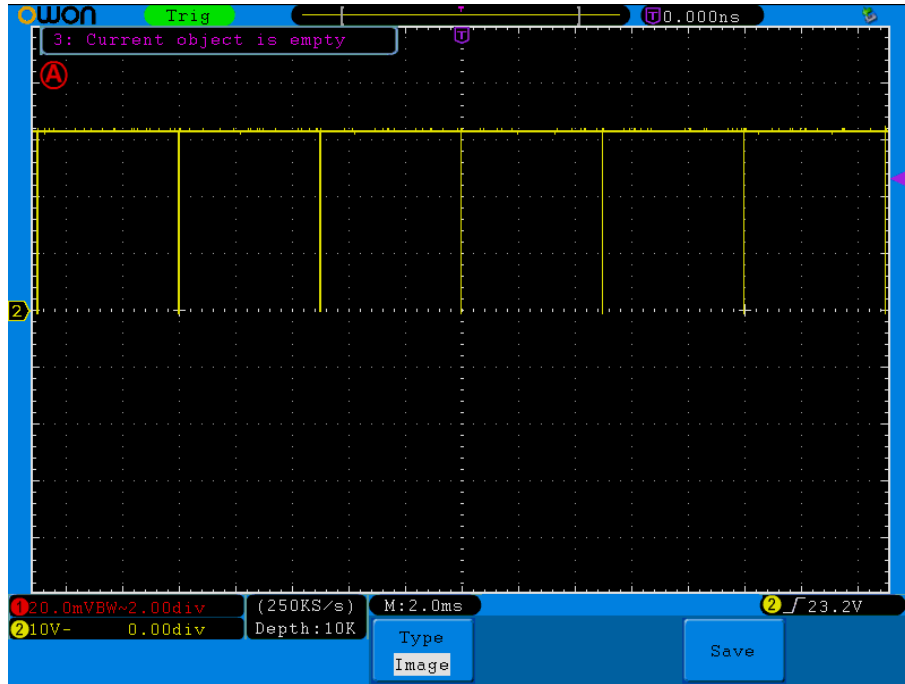
Şekil 4.13. LED parlaklığı %25 için PWM osiloskop görüntüsü



Şekil 4.14. LED parlaklığı %50 için PWM osiloskop görüntüsü



Şekil 4.15. LED parlaklığı %75 için PWM osiloskop görüntüsü

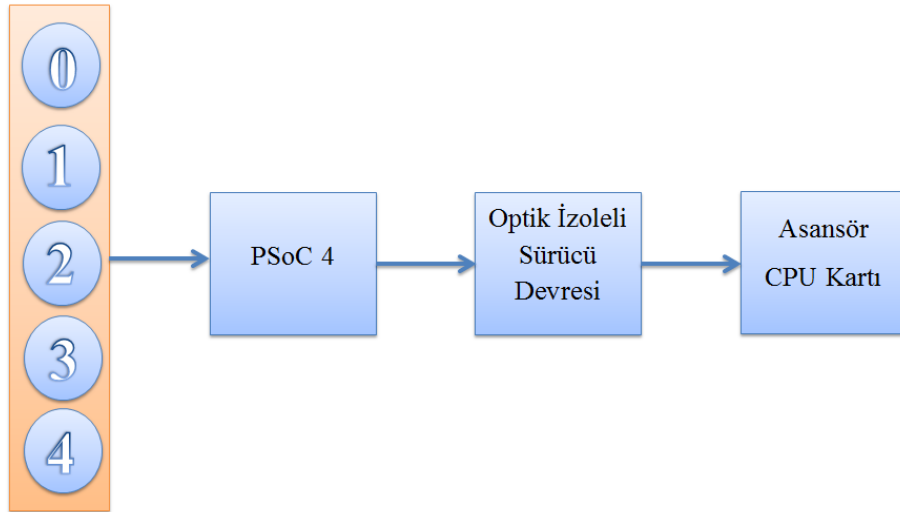


Şekil 4.16. LED parlaklığı %100 için PWM osiloskop görüntüsü

4.3. PSoC Tabanlı Dokunmatik Kabin Kaset Butonu Tasarımı

Asansör sistemlerinde dokunmatik buton kullanımı oldukça yaygındır. Asansör kabininde kullanılan bu birimler kabin kaset butonu olarak adlandırılır. Bu tez çalışmasında, günümüzde kullanımı hızla yaygınlaşan ve gömülü sistemler konusunda önemli bir yere sahip olan PSoC teknolojisi ile yenilikçi bir kapasitif algılayıcı tasarlanmış ve asansör sistemlerine uyarlanmıştır [41].

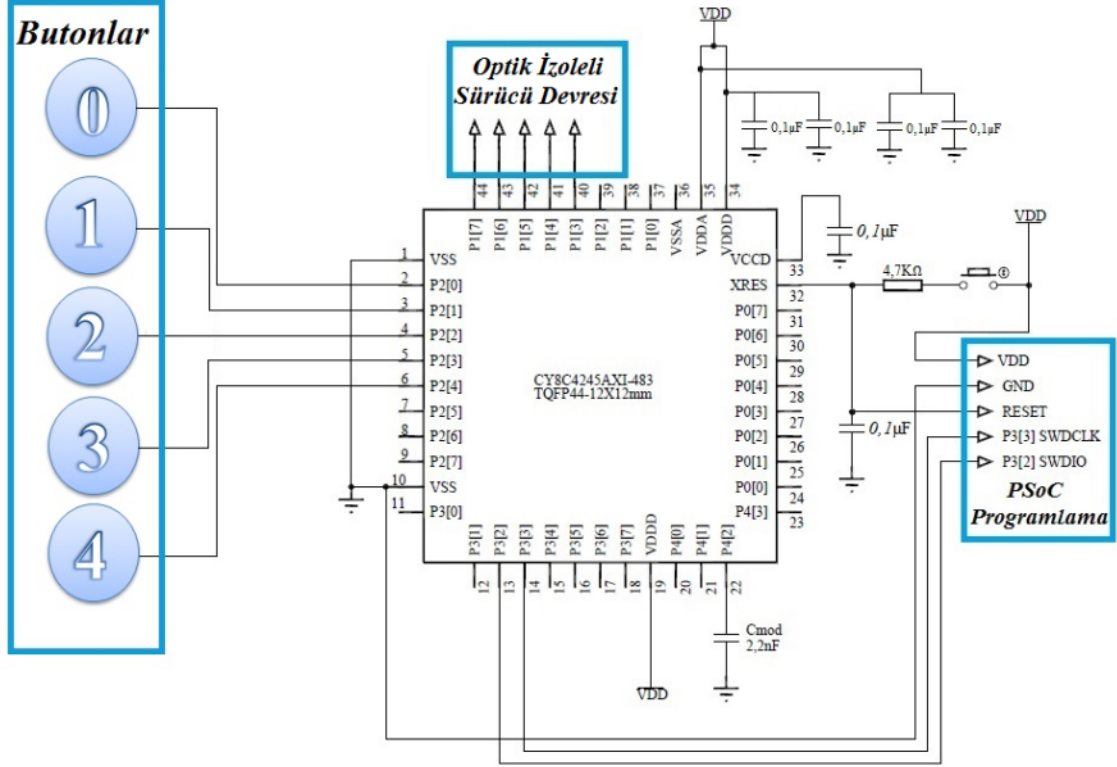
Şekil 4.17’de, tasarlanan sistemin blok yapısı verilmiştir. Algılama ünitesi olarak, PCB üzerine kat numaralarının yazıldığı bakır bir yüzey kullanılmıştır. Butonlara parmağın dokunmasıyla oluşan kapasitif değişim, PSoC 4 mikrodenetleyici vasıtasıyla algılanmaktadır. Dokunmatik butonun kapasitesindeki değişime bağlı olarak PSoC çıkışında TTL seviyesinde lojik 1 bilgisi üretilir. Asansör kart sistemleri 24V ile çalıştığından dolayı optik izoleli bir sürücü devresi kullanılarak 24V’luk çıkış bilgisinin asansör CPU kartına bilgi iletmesi sağlanır.



Şekil 4.17. Dokunmatik kabin kaset butonu sistemine ait bloklar

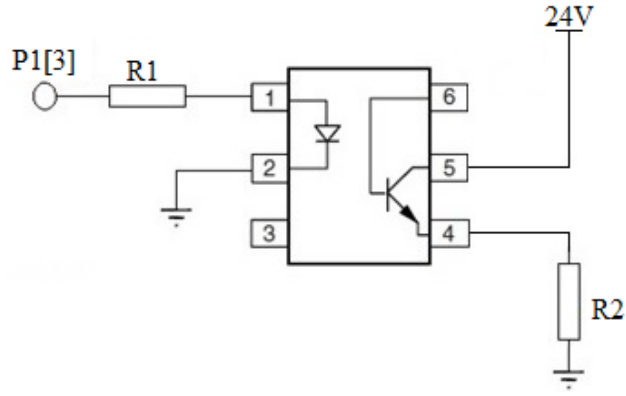
Şekil 4.18’de elektronik devre şeması verilmiştir. Mikrodenetleyici olarak gömülü sistem yapısına sahip PSoC TQFP kılıflı CY8C4245AXI-483 kullanılmıştır. Optik izoleli sürücü devresi bölümünde 4N25 optokuplör kullanılmıştır. Ayrıca PSoC CY8C4245AXI-

483 mikrodnetleyiciyi programlama işlemlerini kolaylaştırmak için ISSP programlama çıkışları alınmıştır.



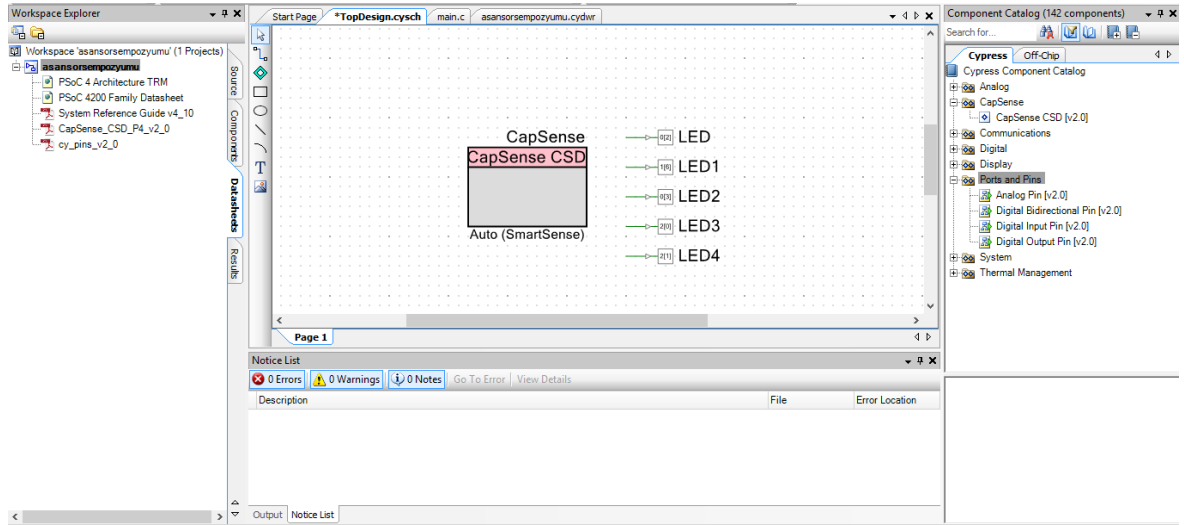
Şekil 4.18. Dokunmatik kabin kaset butonu devre şeması

Şekil 4.19’da 4N25 optokuplör yapısı görülmektedir. CY8C4245AXI-483 PSoC P2[0] giriş pinindeki kapasitif değişim sonucunda P1[3] çıkış pininde +5V lojik1 çıkışı üretilir. P1[3] pini 4N25 optokuplörün 1 nolu ucuna bağlıdır. Optokuplör girişine uygulanan 5V’luk gerilim, fototransistörün iletme geçmesini sağlar ve 5 nolu uçtan 24V’luk çıkış sinyali üretilir.

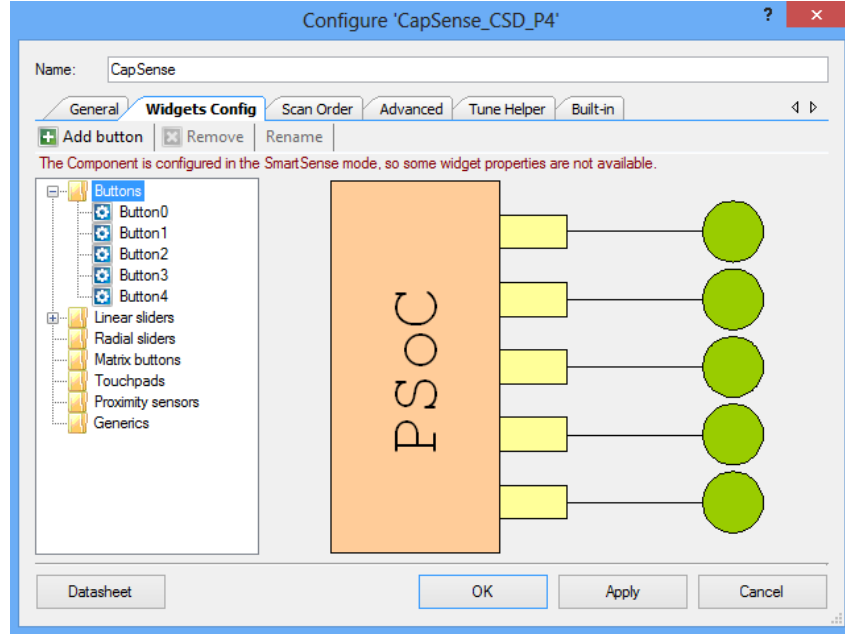


Şekil 4.19. Optik izoleli sürücü devresi

Şekil 4.20’de görüldüğü gibi butonlardaki kapasite değişimini tespit etmek için Capsense CSD bloğu kullanılmıştır. CSD bloğunun algıladığı kapasitif değişime bağlı olarak, LED0, LED1, LED2, LED3, LED4 pinleri çıkış seçilmiştir. Butonlardaki kapasite değişimine bağlı olarak ilgili çıkış pini lojik 1 olur.



Şekil 4.20. Dokunmatik kabin kaset butonu Creator program görüntüsü



Şekil 4.21. Capsense CSD ayarları

Şekil 4.21’de görüldüğü gibi sisteme 5 adet buton eklenmiştir. Butonların hassasiyeti için otomatik algılama özelliği kullanılmıştır.

Dokunmatik kabin kaset butonu C programı aşağıda verilmiştir.

```
#include <project.h>

int main()
{
    /* Kesmelerini etkinleştir */
    CyGlobalIntEnable;
    CapSense_Start();
    CapSense_InitializeAllBaselines();
    // Tarama süreci tüm sensör elemanlarının tanıtılması.//
    CapSense_EnableWidget(CapSense_BUTTON0__BTN);
    CapSense_EnableWidget(CapSense_BUTTON1__BTN);
    CapSense_EnableWidget(CapSense_BUTTON2__BTN);
    CapSense_EnableWidget(CapSense_BUTTON3__BTN);
    CapSense_EnableWidget(CapSense_BUTTON4__BTN);
    for(;;)
    {
        // Tercih edilen bir tarama yöntemi. Etkin widget tarama. //
        CapSense_ScanEnabledWidgets();
        while(CapSense_IsBusy());
        CapSense_UpdateSensorBaseline(CapSense_BUTTON0__BTN);
    }
}
```

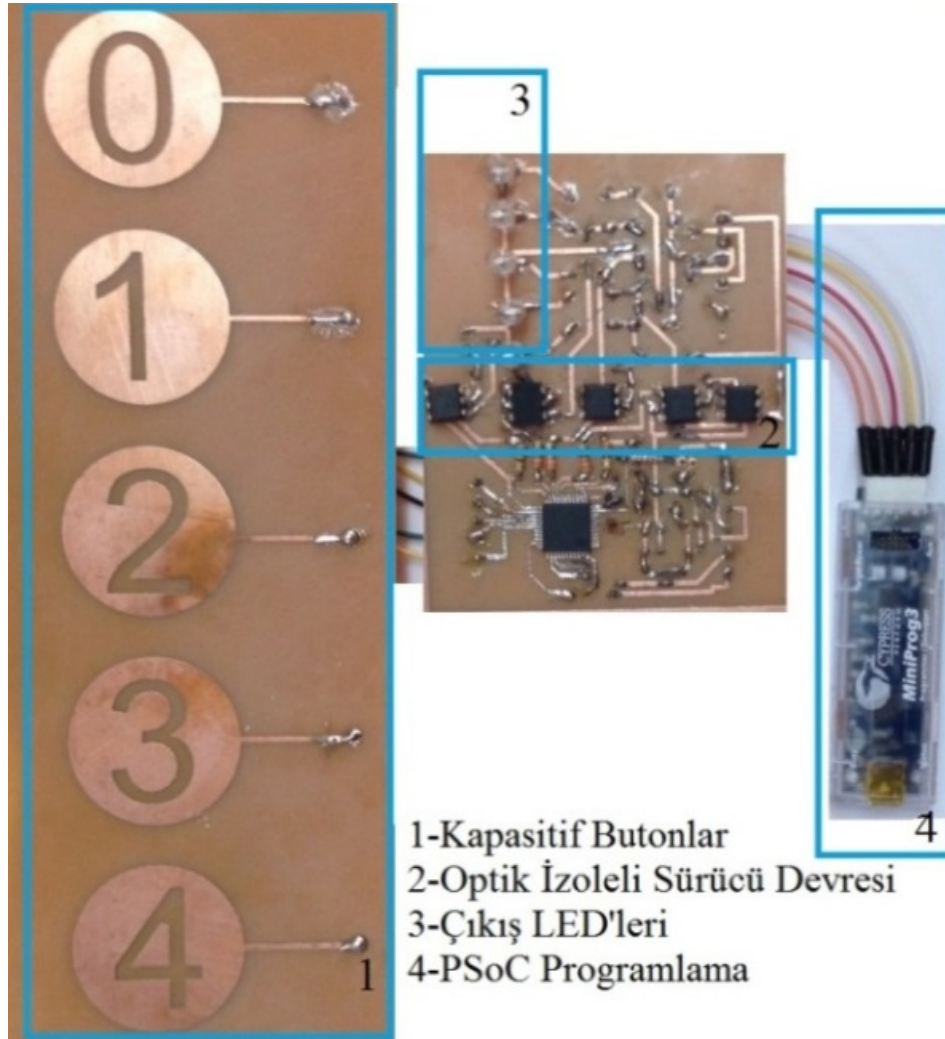
```

CapSense_UpdateSensorBaseline(CapSense_BUTTON1__BTN);
CapSense_UpdateSensorBaseline(CapSense_BUTTON2__BTN);
CapSense_UpdateSensorBaseline(CapSense_BUTTON3__BTN);
CapSense_UpdateSensorBaseline(CapSense_BUTTON4__BTN);
// 0. Nolu Butona basıldığında LED için çıkış ver //
if(CapSense_CheckIsWidgetActive(CapSense_BUTTON0__BTN))
{
    LED_Write(1);
}
else
{
    LED_Write(0);
} // 1. Nolu Butona basıldığında LED1 için çıkış ver //
if(CapSense_CheckIsWidgetActive(CapSense_BUTTON1__BTN))
{
    LED1_Write(1);
}
else
{
    LED1_Write(0);
} // 2. Nolu Butona basıldığında LED2 için çıkış ver //
if(CapSense_CheckIsWidgetActive(CapSense_BUTTON2__BTN))
{
    LED2_Write(1);
}
else
{
    LED2_Write(0);
}
// 3. Nolu Butona basıldığında LED3 için çıkış ver //
if(CapSense_CheckIsWidgetActive(CapSense_BUTTON3__BTN))
{
    LED3_Write(1); }
else
{
    LED3_Write(0);
}
// 4. Nolu Butona basıldığında LED4 için çıkış ver //
if(CapSense_CheckIsWidgetActive(CapSense_BUTTON4__BTN))
{

```

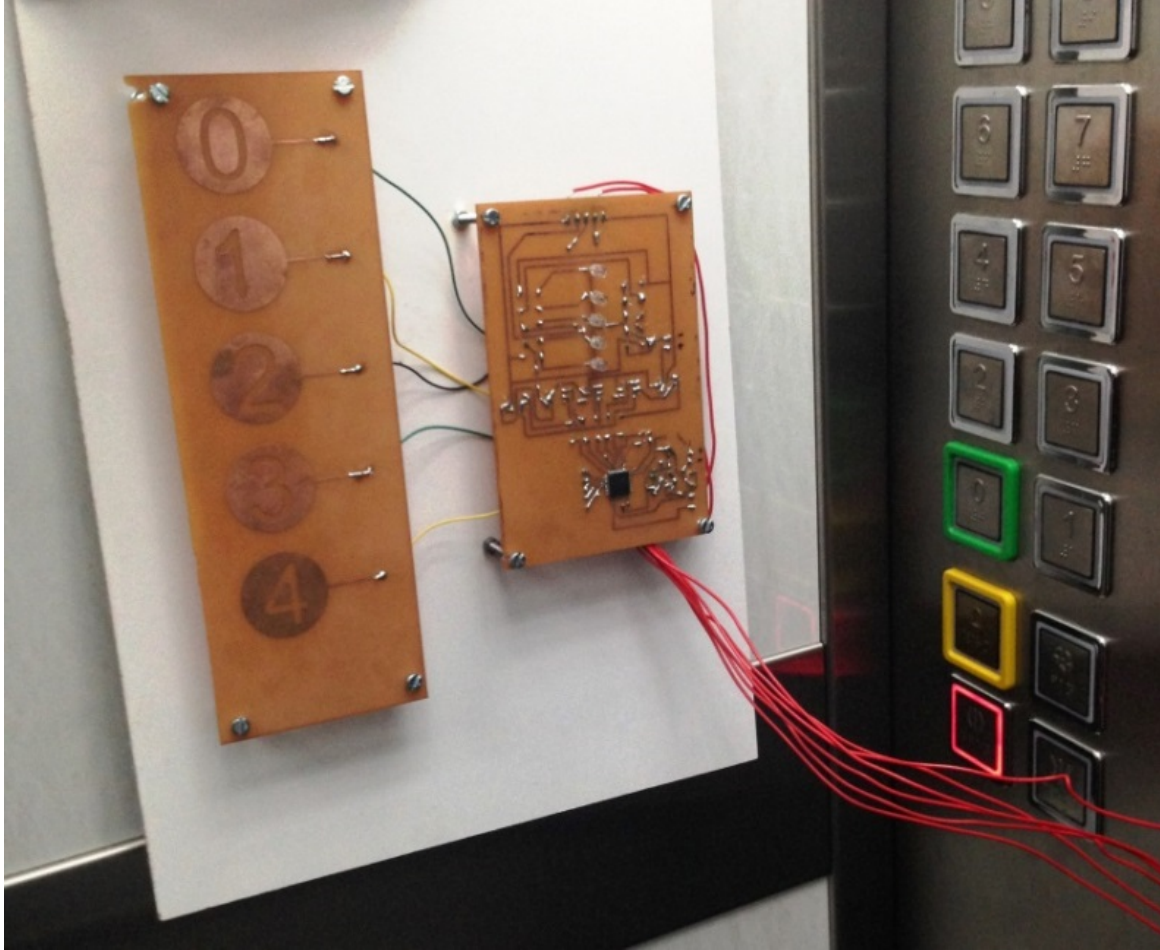
```
LED4_Write(1);  
}  
Else {  
LED4_Write(0); } } }
```

Şekil 4.22’de, tasarlanan sistemin genel görünümü verilmiştir. Kapasitif butonlar, PSoC kontrol devresi, optik izoleli sürücü devresi ve LED’ler epoxy bakır plaket üzerine yerleştirilmiştir. Kapasitif butonlar için tek yüzlü bakır plaket üzerine kat numaralarını gösteren rakam desenleri oluşturulmuştur.



Şekil 4.22. Dokunmatik kabin kaset butonu sisteminin genel görünüşü

Tasarlanan dokunmatik kabin kaset butonu sistemini test etmek için, mekanik butonla çalışan bir asansör kabininde revizyon yapılmıştır. Mekanik butonlar yerine kapasitif butonlar yerleştirilmiş, PSoC kontrol devresinin optik izoleli çıkışları asansör CPU kartına bağlanmıştır. Gerçekleştirilen testler sonucunda, PSoC tabanlı kapasitif algılayıcının mekanik butonlu sistemin görevini başarıyla yürüttüğü ve çağrı yapılan katlara sorunsuz şekilde yönlendiği görülmüştür.



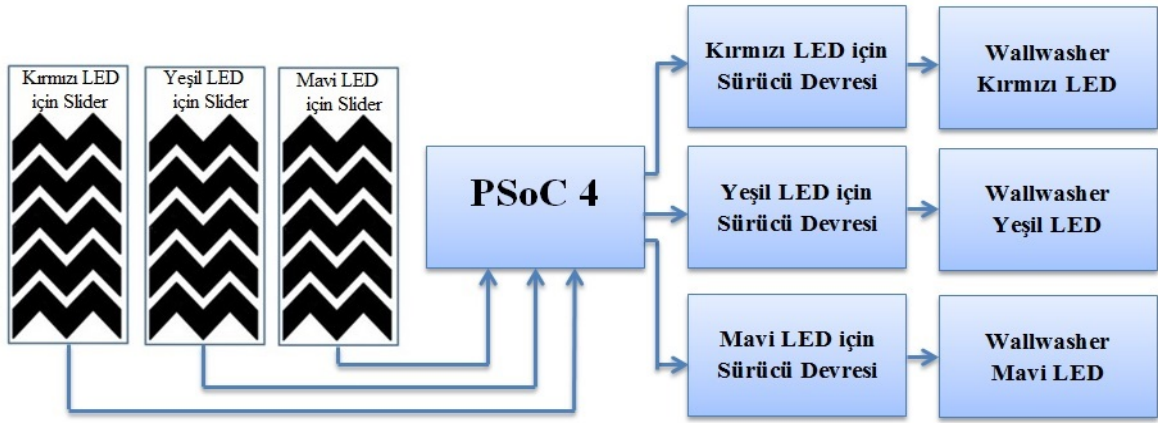
Şekil 4.23. Dokunmatik kabin kaset butonu uygulaması

4.4. PSoC Tabanlı Dokunmatik Wallwasher Kontrolörü Uygulaması

Wallwasher sistemleri dış mekan LED aydınlatma ve bina cephesi renklendirmede yaygın olarak kullanılmaktadır. Kontrol ünitesi olarak genellikle kızılötesi veya RF

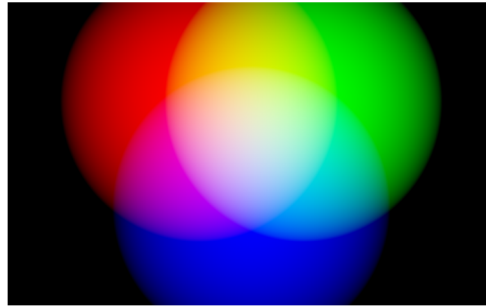
kumanda kullanılmaktadır. Bu tez çalışmasında dokunmatik kaydırıcı buton ve CY8C4245AXI-483 model PSoC mikrodenetleyicisi kullanılarak RGB wallwasher sistemleri için yenilikçi bir tasarım gerçekleştirilmiştir [42].

Tasarım aşamasında üstün özelliklerinden dolayı PSoC ailesine en son katılan PSoC 4 kullanılmıştır. Şekil 4.24’de sistemin blok yapısı verilmiştir. Aynı özellikteki 3 kapasitif kaydırıcı konumundan alınan bilgiye bağlı olarak PWM sinyalinin görev periyodunun (duty cycle) değişimi sağlanmaktadır. PWM çıkışları RGB (Red Green Blue) LED sürücünün girişlerine bağlanmıştır. Parmağın konumuna bağlı olarak PSoC4, PWM sinyalinin ortalama değerini değiştirmekte ve ilgili LED’in parlaklığı kontrol edilebilmektedir.



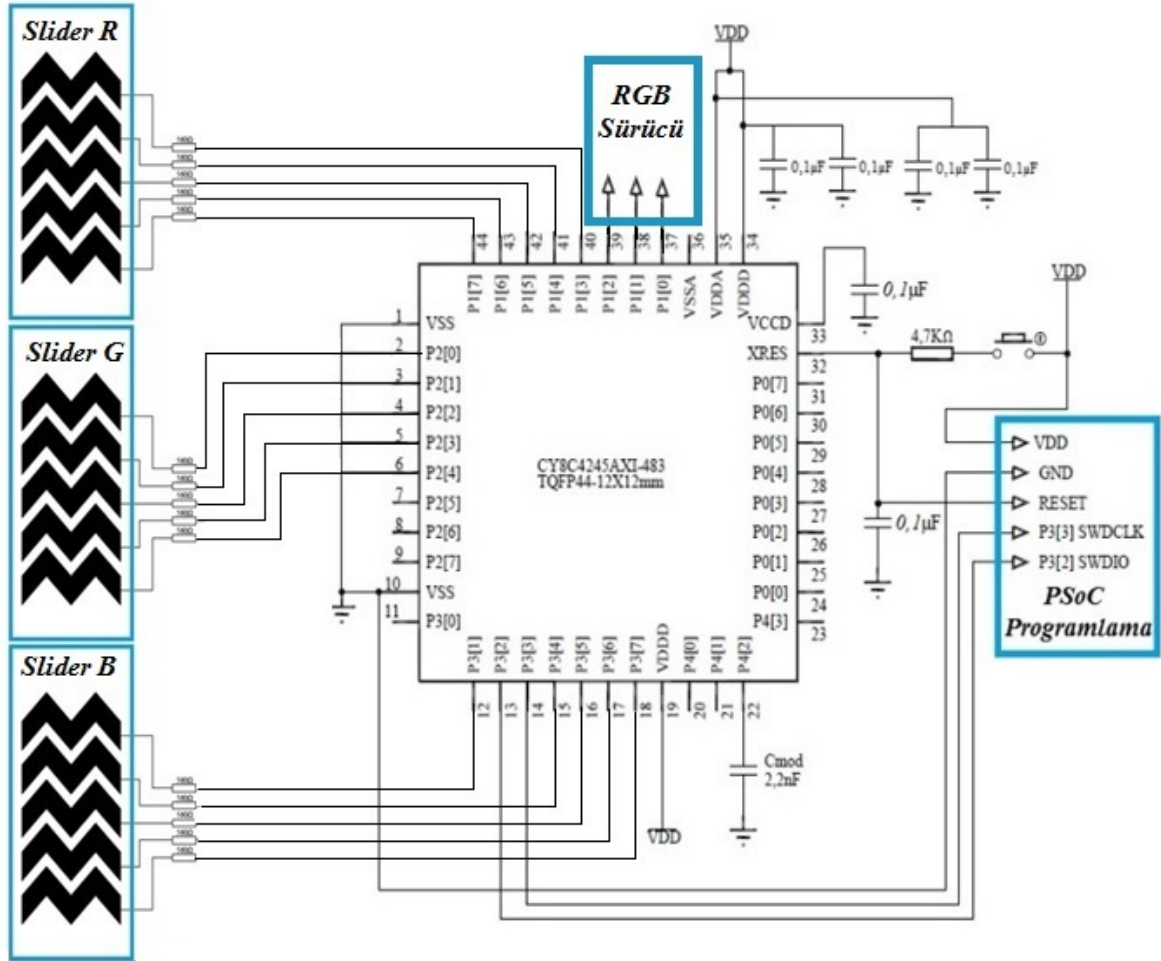
Şekil 4.24. RGB wallwasher sistemine ait bloklar

Kaydırıcı konumlarının kolayca ayarlanabilmesi sayesinde Şekil 4.25’deki ana ve ara renkler kolayca oluşturulabilmektedir.



Şekil 4.25. Işık Renk Karışımı

Şekil 4.26’da elektronik devre şeması verilmiştir. Mikrodenetleyici olarak gömülü sistem yapısına sahip PSoC TQFP kılıflı CY8C4245AXI-483 kullanılmıştır. PSoC’den alınan PWM çıkışıyla Power LED’i sürmek için LED sürücü devresi kullanılmıştır. Ayrıca PSoC CY8C4245AXI-483 mikrodenetleyiciyi programlama işlemlerini kolaylaştırmak için ISSP programlama çıkışları alınmıştır.



Şekil 4.26. Dokunmatik Wallwasher Kontrolörü devre şeması

Şekil 4.27’de görüldüğü gibi dokunmatik kaydırıcı butonlardaki kapasite değişimlerini tespit etmek için Capsense CSD bloğu kullanılmıştır. CSD bloğunun algıladığı kapasitif değişimlere bağlı olarak, PSoC çıkışından RGB Power LED sürücülere 3 farklı PWM sinyali uygulanmıştır.

RGB Wallwasher kontrolörü için C programı aşağıda verilmiştir.

```
#include <project.h>
#define SLIDER_KARSILASTIR (8u)
#define SLIDER_KARSILASTIR1 (8u)
#define SLIDER_KARSILASTIR2 (8u)
uint16 SLIDERPOZISYON1, SLIDERPOZISYON2,SLIDERPOZISYON3, SLIDERPOZISYON4,SLIDERPOZISYON5,
SLIDERPOZISYON6;

int main()
{
    CyGlobalIntEnable;
    /* PWM VE CapSense BAŞLAT */
    LED_KONTROL_Start();
    LED_KONTROL_Start();
    LED_KONTROL1_Start();
    LED_KONTROL2_Start();
    KAPASITIF_CSD_Start();
    /* REFERANSLARI SIFIRLA */
    KAPASITIF_CSD_InitializeAllBaselines();
    while(1u)
    {
        /* TÜM REFERANSLARI GÜNCELLE */
        KAPASITIF_CSD_UpdateEnabledBaselines();
        /* TUM SENSORLERI TARA */
        KAPASITIF_CSD_ScanEnabledWidgets();
        /* TARAMA DEVAM EDİYORMU MESGULMU? */
        while(KAPASITIF_CSD_IsBusy() != 0u);
        /* KAPASITIF DURUMU LEDLER ARACILIĞI İLE GÖSTER */
        KAPASITIF_CSD_DisplayState();
    }
}

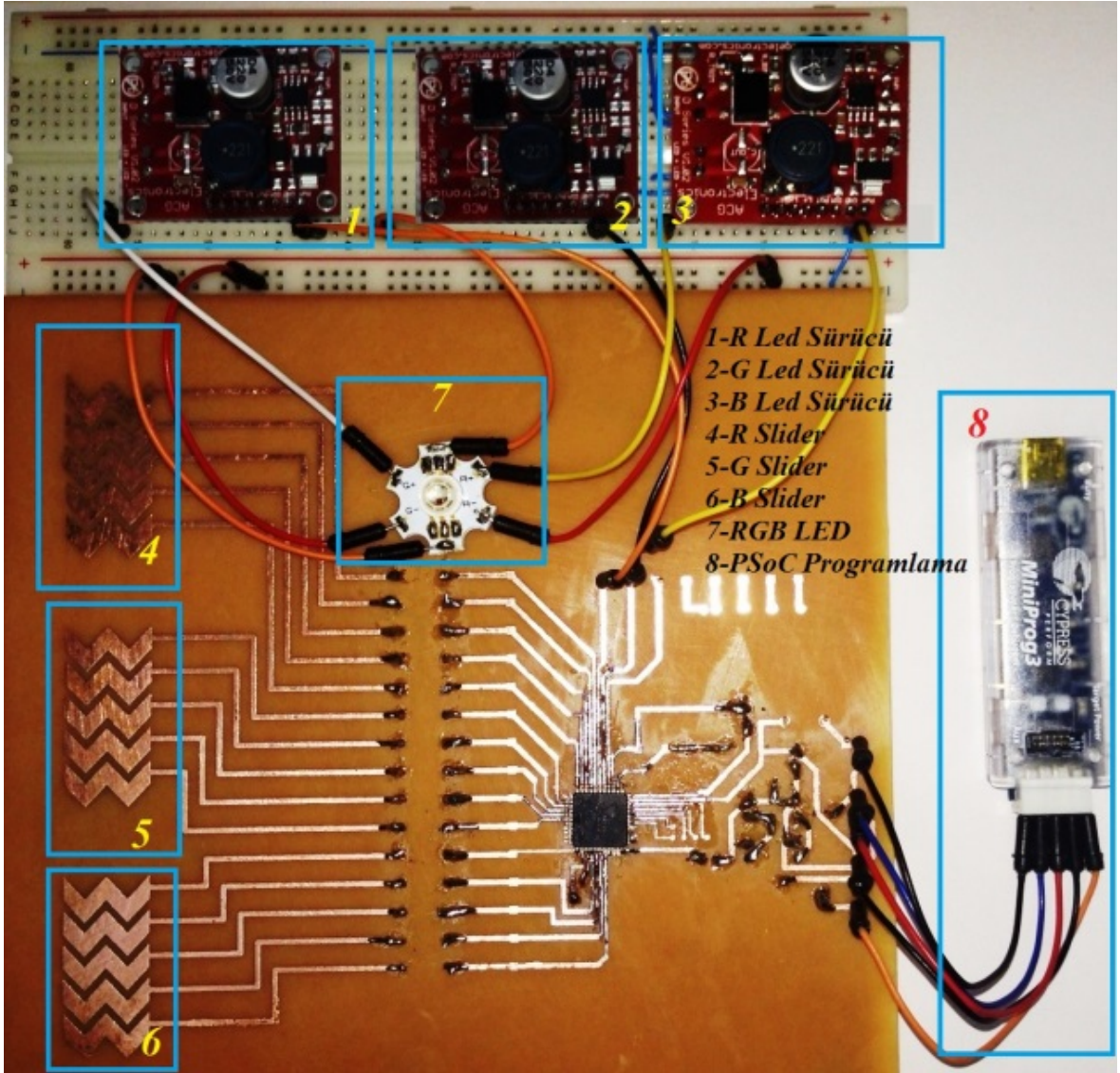
void KAPASITIF_CSD_DisplayState(void)
{
    /*SLIDER POZISYONUNU BUL */
    SLIDERPOZISYON1 =
    KAPASITIF_CSD_GetCentroidPos(KAPASITIF_CSD_LINEARSLIDER0__LS);
    SLIDERPOZISYON3 = KAPASITIF_CSD_GetCentroidPos(KAPASITIF_CSD_LINEARSLIDER1__LS);
    SLIDERPOZISYON5 = KAPASITIF_CSD_GetCentroidPos(KAPASITIF_CSD_LINEARSLIDER2__LS);
    /* POZİSYONU SIFIRLA */
}
```

```

if(SLIDERPOZISYON1 == 0xFFFF)
{
    SLIDERPOZISYON1 = 0u;
}
if (SLIDERPOZISYON1 != SLIDERPOZISYON2)
{
    SLIDERPOZISYON2 = SLIDERPOZISYON1;
    if (SLIDERPOZISYON1 != 0u)
    {
        LED_KONTROL_WriteCompare((uint32)SLIDERPOZISYON1 << SLIDER_KARSILASTIR);
    }
}
if(SLIDERPOZISYON3 == 0xFFFF)
{
    SLIDERPOZISYON3 = 0u;
}
if (SLIDERPOZISYON3 != SLIDERPOZISYON4)
{
    SLIDERPOZISYON4 = SLIDERPOZISYON3;
    if (SLIDERPOZISYON3 != 0u)
        LED_KONTROL1_WriteCompare((uint32)SLIDERPOZISYON3 <<
        SLIDER_KARSILASTIR1);
}
}
if(SLIDERPOZISYON5 == 0xFFFF)
{
    SLIDERPOZISYON5 = 0u;
}
if (SLIDERPOZISYON5 != SLIDERPOZISYON6)
{
    SLIDERPOZISYON6 = SLIDERPOZISYON5;
    if (SLIDERPOZISYON5 != 0u)
    {
        LED_KONTROL2_WriteCompare((uint32)SLIDERPOZISYON5 << SLIDER_KARSILASTIR2);
    }
} } }

```

Şekil 4.29’da, tasarlanan sistemin genel görünümü verilmiştir. PSoC kontrolörü ve 3 adet kaydırıcı buton FR4 PCB üzerine yerleştirilmiştir. RGB LED’in R, G ve B uçlarına 3 farklı LED sürücü bağlanmıştır. Böylece eş zamanlı olarak 3 PWM sinyalinin görev periyodunun değiştirilmesi ve bütün renk karışımlarının elde edilmesi mümkün olmaktadır.



Şekil 4.29. Dokunmatik wallwasher kontrolörü sisteminin genel görünüşü

Tasarlanan dokunmatik wallwasher kontrolörünü test etmek için, wallwasher kasası içine kırmızı, yeşil ve mavi renkli power LED'ler yerleştirilmiş ve her bir renk grubuna ayrı bir LED sürücü bağlanmıştır. Dokunmatik kaydırıcı butonlar üzerinde parmağın hareketiyle PWM sinyalinin görev periyodu değiştirildiğinde ana ve ara renklerin başarılı şekilde elde edildiği gözlenmiştir.

5. SONUÇ VE TARTIŞMA

Günümüzde kullanımı hızla yaygınlaşan PSoC (Çip Üzerine Programlanabilir Sistem), gömülü sistemler konusunda önemli bir yere sahiptir. Cypress tarafından geliştirilen PSoC, 8 bit mikrodenetleyici uygulamaları hedeflenerek tasarlanmış olup, M8C 8 bit CPU temel bloğu ile birlikte, fonksiyonu kullanıcı tarafından kolayca tanımlanabilen analog ve sayısal blokları sunmaktadır. PSoC mikrodenetleyicisi, içerisindeki kapasitif algılama birimi (CSD), A/D dönüştürücü, D/A dönüştürücü ve PWM gibi kullanıcıya özgü tasarım seçeneklerinden ötürü ön plana çıkmaktadır.

Bu tez çalışmasında, gömülü bir sistem olan PSoC mikrodenetleyicinin donanım ve yazılım mimarisi hakkında ayrıntılı bilgiler verilmiştir. Kapasitif algılamanın teorisi, algılama algoritmaları ve dokunmatik buton çeşitleri incelenmiştir. PSoC Capsense birimi kullanılarak çeşitli kapasitif algılayıcı tasarımları gerçekleştirilmiştir. Dokunmatik butonların tasarımı aşamasında parmak eşik değeri ve gürültü eşik değeri ayarlanarak butonların parmağı algılama seviyeleri değiştirilmiş ve hassasiyet belirlenmiştir.

Tez kapsamında PSoC tabanlı dokunmatik LED dimmer, dokunmatik kabin kaset butonu ve wallwasher kontrolörü tasarlanarak uygulama devreleri geliştirilmiştir. İlk tasarımda, kaydırıcı buton (slider) üzerinde parmağın konumuna göre Power LED'in parlaklığını değiştiren bir uygulama gerçekleştirilmiştir. İkinci tasarımda, asansör sistemlerine yönelik olarak mekanik buton yerine kullanılabilecek yenilikçi bir dokunmatik buton gerçekleştirilmiştir. Bakır plaket üzerine çıkarılan desenin kapasitif buton olarak kullanılması sayesinde dokunmaya duyarlı yeni bir buton mekanizması oluşturulmuştur. Üçüncü tasarımda, RGB wallwasher sistemlerine uygulanabilecek elektronik kontrol devresi geliştirilmiştir. Bu kontrol devresi sayesinde parmağın kaydırıcı buton üzerindeki konumuna göre RGB LED'lerin renk karışımı hassas bir şekilde ayarlanabilmektedir.

PSoC konusunda gerçekleştirilen bu tez çalışması, özellikle kapasitif algılama teknolojisine yönelik uygulamalar geliştirme konusunda önemli bir alt yapı sağlamıştır. PSoC mikrodenetleyicinin üstün özellikleri kullanılarak disiplinler arası yenilikçi projeler gerçekleştirilmesi mümkün görülmektedir. İlerleyen süreçte, özellikle opto-elektronik ve tıbbi elektronik alanlarında PSoC tabanlı çözümler üretilmesi planlanmaktadır.

6. KAYNAKLAR

- [1] www.easypsoc.com/book 4 Haziran 2011
- [2] **Ashby, R.**, 2005. Designer's Guide to the Cypress PSOC, Elsevier.
- [3] **Uncuoğlu, E., Kalenderli E., Kuntman H.**, 2009. " Transistör Tetiklemeli Tesla Bobini Tasarımı ve Yapımı", Elektrik-Elektronik-Bilgisayar ve Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi ve Fuarı, 23-26 Aralık 2009.
- [4] **Tong, C., Jwo, W., Lin, J., Li, S., Li, J.**, 2011. "The Firmware Design of Analogue And Digital Filters", Digital Signal Processing Workshop and IEEE Signal Processing Education Workshop (DSP/SPE), 2011 IEEE, 4-7 Ocak 2011.
- [5] **Sánchez, J., Morón, M., Ramirez, D., Casans, S., Navarro, E.**, 2011." An electrical current smart transducer based on PSoC platform and integrated spin-valve sensor with embedded thin film Ruthenium temperature sensor" Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC),2011 IEEE, 10-12 Mayıs 2011.
- [6] **Kobayashi, F., Higuchi, S.**, 2011. "Analog Dynamic Reconfiguration for Area-Efficient Implementation", Circuits and Systems (MWSCAS), IEEE 54th International Midwest Symposium 7-10 Ağustos 2011.
- [7] **Lin, Y. and C., Wu, C., Hsu, Y., You, H.**, 2011." Intelligent Physiological Monitoring and Feedback System for Driver Safety" Genetic and Evolutionary Computing (ICGEC), 2011 Fifth International Conference on, 29 Ağustos 2011- 1 Eylül 2011.
- [8] **Zavorotnyi, V., Yuriy, Y.**, 2011." Dynamic Reconfiguration in Smart Sensors' Design", Electronics Technology (ISSE), 2011 34th International Spring Seminar on, 11-15 Mayıs 2011.
- [9] **Kojima, A., Abe, Y., Kobayashi, K., Ohkubo, T., and Kurihara, Y.**, 2011. "A New Tactile Sensing Device Based on an Absolute Pressure Sensor and Force Sensing Register " SICE Annual Conference 2011 Waseda University, Tokyo, Japan, 13-18 Eylül 2011.
- [10] **Namba, R., Kobayashi, K., Ohkubo, T., Kurihara Y.**, 2011. " Development of PSoC Microcontroller Based Solar Energy Storage System", SICE Annual Conference 2011 Waseda University, Tokyo, Japan, 13-18 Eylül 2011.
- [11] **Tarief, M., Elshafiey, F.**, 2011." Design and Implementation of a Museum and Banks Security System Using Antenna as IR Proximity Sensor and PSoC Technology",

Wireless Technology and Applications (ISWTA), 2011 IEEE Symposium on , Langkawi ,25-28 Eylül 2011.

[12] **Chin, Y.C., Chu, F.H., Huang, S.C., Yang, H.Y., 2011.**” Based on PSoC Electric Angle Meter”, Robot, Vision and Signal Processing (RVSP), 2011 First International Conference on , 21-23 Kasım 2011.

[13] **Ye, Z., and Hua, C., 2012.**” An Innovative Method of Teaching Electronic System Design With PSoC”, IEEE transactions on education, vol. 55, no. 3 Ağustos 2012

[14] **Mohiddin, R., Kumar, M., Palakurty, S.K., Bothra, S., Phaneendra, S., Srinivas, M.B., 2011.** “Building a Sensor Network with PSoC”, 2011 Fifth International Conference on Sensing Technology, 28 Kasım 2011- 1 Aralık 2011

[15] **Gollakota, A., Srinivas, M.B., 2011.** “Agribot A multipurpose agricultural robot”, India Conference (INDICON), 2011 Annual IEEE, 16-18 Aralık 2011.

[16] **Chandra, S., Kar, S., Srinivasulu, A., MIEEEE, D., Mohanta, K., 2011.**” Distribution System Automation Based on GSM using Programmable System on Chip (PSoC)” Chennai and Dr.MGR University Second International Conference on Sustainable Energy and Intelligent System (SEISCON 2011) , Dr. M.G.R. University, Maduravoyal, Chennai, Tamil Nadu, India. 20-22 Temmuz 2011.

[17] **Tong, C., Jwo, W., Lin, J., Li, S., Tsai, Y.,2011.**” Firmware Implementing of a Dual-wheel Drive Electrical Bicycle” System Integration (SII), 2011 IEEE/SICE International Symposium on , 20-22 Aralık 2011.

[18] **Nkomo, M., Collier, M., 2012,**”AColor-Sorting SCARA Robotic Arm”, Consumer Electronics, Communications and Networks (CECNet), 2012 2nd International Conference on, 21-23 Nisan 2012.

[19] **Zavorotnyi, V.F., Yakimenko, Y., 2012,**” Wide-Range Flow Meter for Air and Gases” Electronics Technology (ISSE), 2012 35th International Spring Seminar on, 9-13 Mayıs 2012.

[20] **Pradyumna, P.R., CKS, T., Bhanot, S., 2012.**” Remote Experimentation of “No-load Tests on a Transformer” in Electrical Engineering” Engineering Education: Innovative Practices and Future Trends (AICERA), 2012 IEEE International Conference on, 19-21 Temmuz 2012.

- [21] **Bui1, D.T., Pham, T.T., Vu, V.Y., Journet, B.,** 2012. ” Improving Opto-Electronic Oscillator Stability by Controlling the Electro-Optic Modulator” Communications and Electronics (ICCE), 2012 Fourth International Conference on, 1-3 Ağustos 2012
- [22] **Ursuțiu, D., Samoilă, C., Nascov, V., Moga, M.,** ”Microcontroller Technologies in Low Power Applications”, Interactive Collaborative Learning (ICL), 2012 15th International Conference on, 26-28 Eylül 2012
- [23] **Keskar, S., Banerjee, R., Reddy, R.,** 2012.” A Dual-PSoC based ReconfigurableWearable Computing Framework for ECG Monitoring” Computing in Cardiology (CinC), 2012, 9-12 Eylül 2012
- [24] **Chukka, R.S., Rao, M.S.,** 2012, “Design and Development of Automatic Test Setup for On Board Computer using PSoC and MEMS” Parallel Distributed and Grid Computing (PDGC), 2012 2nd IEEE International Conference on, 6-8 Aralık 2012
- [25] **Mansour, W., Velazco, R., Falou, W.E., Ziade, H., Ayoubi, R.,** 2012, ” SEU Simulation by Fault Injection in PSoC Device: Preliminary Results”Advances in Computational Tools for Engineering Applications (ACTEA), 2012 2nd International Conference on, 12-15 Aralık 2012
- [26] **Sonoda, K., Kishida, Y., Tanaka, T., Higuchi, K.,** 2012, ” Wearable Photoplethysmographic Sensor System with PSoC Microcontroller” Emerging Trends in Engineering and Technology (ICETET), 2012 Fifth International Conference on, 5-7 Kasım 2012
- [27] **Samoilă, C., Nascov, V., Ursuțiu, D.,** 2013 “Virtual Instrumentation in Corrosion Measurements” Remote Engineering and Virtual Instrumentation (REV), 2013 10th International Conference on, 6-8 Şubat 2013
- [28] **Feeney, C., Duffy, M., Wang, N., O’Mathuna, C.,** 2013,” Advantages of Paralleling Inductors-on-Silicon in High Frequency Power Converters” Applied Power Electronics Conference and Exposition (APEC), 2013 Twenty-Eighth Annual IEEE, 17-21 Mart 2013
- [29] **Barylo G.I., Gotra Z.Y., Zazulyak A.M., Kozhuhar O.T., Kus N.I.,**” Stimulating Light System to Create a Controlled Effect Relaxation” 2013 IEEE XXXIII International Scientific Conference Electronics and Nanotechnology (ELNANO),16-19 Nisan 2013

- [30] **Pilat, A., Zyla, M.,** 2013,”Propulsion Control of the Semi-Magnetically Levitated Cart” Electrodynamic and Mechatronic System (SELM), 2013 International Symposium on, 15-18 Mayıs 2013
- [31] **Naresh, V., Venkataramani, B., Karan A., and Manikandan, J.,** 2013,”PSoC based isolated speech recognition System”, Communications and Signal Processing (ICCSP), 2013 International Conference on, 3-5 Nisan 2013
- [32] **Ovalı, B., Uzun, T.,** ” Bir Radyo Modem Aracılığı İle Kablosuz RS232 Haberleşmesi” Elektrik, elektronik, bilgisayar mühendisliği 11. Ulusal Kongresi ve Fuarı: Bildiriler 2 / 22-25 Eylül 2005.
- [33] **Cüneray1, K., Canal, M.R., Topaloğlu, N.,** 2011, ”PSoC 1 ile Elektronik Uygulamaları için Deney Seti Tasarımı ve Gerçekleştirilmesi” 6th International Advanced Technologies Symposium (IATS’11), 16-18 Mayıs 2011.
- [34] **Çoruh, B., Koçak, O., Koçoğlu, A., Koçum, C.,** 2009” Biyomedikal Amaçlı Basınç Ölçüm Cihazı Tasarımı”, Elektrik-Elektronik-Bilgisayar Ve Biyomedikal Mühendisliği 13. Ulusal Kongresi Ve Fuarı Bildirileri,23-26 Aralık 2009.
- [35] **Perme, T.,** “Introduction to Capacitive Sensing” Microchip AN1101 Datasheet
- [36] Cypress Getting Started with CapSense, Document No. 001-64846 Rev. *A
- [37] **Erol, Y.,**2010, “Akım Regüleli LED Test Cihazı Tasarımı”, ELECO’2010 Elektrik-Elektronik ve Bilgisayar Mühendisliği Sempozyumu, Bursa, 370-374, 2-5 Aralık 2010.
- [38] **Liu,S., Luo, X.,** LED Packaging for Lighting Applications: Design, Manufacturing, and Testing, John Wiley and Sons, 2011.
- [39] <http://www.antrak.org.tr/gazete/022007/tolga-tastan.html> (Erişim Tarihi : 16.05.2012)
- [40] **Taşcı, B., Erol, Y.,**“PSoC Tabanlı Dokunmatik LED Dimmer Tasarımı”, URSI-TÜRKİYE’2014 VII. Bilimsel Kongresi, Elazığ, 28-30 Ağustos 2014,.
- [41] **Taşcı, B., Erol, Y.,** “PSoC Tabanlı Dokunmatik Kabin Kaset Butonu Tasarımı”, Asansör Sempozyumu ve Sergisi 2014,İzmir, 25-27 Eylül 2014.
- [42] **Taşcı B., Erol Y.,**“RGB Wallwasher Sistemleri İçin PSoC Tabanlı Dokunmatik Kaydırıcı Uygulaması”, 5.LED Yarışması ve Konferansı”, İstanbul, 25-28 Eylül 2014.

ÖZGEÇMİŞ

Burak TAŞCI, 1985 yılında Elazığ 'da doğdu. İlk, orta ve lise eğitimini Elazığ 'da tamamladıktan sonra 2003 yılında Fırat Üniversitesi, Mühendislik Fakültesi, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Bölümünü kazandı. 2007 yılında mezun oldu ve 2010 yılında Fırat Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü, Elektrik Elektronik Mühendisliği Elektronik Anabilim Dalında yüksek lisans eğitimine başladı. 2013 yılından itibaren, Fırat Üniversitesi, Teknik Bilimler Meslek Yüksek Okulunda öğretim görevlisi olarak çalışmaktadır.