İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROİŞLEMCİ TABANLI BİYOLOJİK VERİ TOPLAMA SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Tolga Çırak

Anabilim Dalı : Elektronik ve Haberleşme Müh.

Programı : Biyomedikal Mühendisliği

Tez Danışmanı: Doç Dr. Mehmet Korürek

EYLÜL 2009

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

MİKROİŞLEMCİ TABANLI BİYOLOJİK VERİ TOPLAMA SİSTEMİ

YÜKSEK LİSANS TEZİ
Tolga Çırak
(504051408)

Tezin Enstitüye Verildiği Tarih : 07 Eylül 2009
Tezin Savunulduğu Tarih : 11 Eylül 2009

Tez Danışmanı : Doç. Dr. Mehmet Korürek (İTÜ)
Eş Danışman :
Diğer Jüri Üyeleri : Doç. Dr. Zümray Dokur Ölmez (İTÜ)
Prof. Dr. Serhat Şeker (İTÜ)

EYLÜL 2009

ÖNSÖZ

"Mikroişlemci Tabanlı Biyolojik Veri Toplama Sistemi" isimli yüksek lisans tez çalışmamı tamamlamış bulunmaktayım. Bu çalışmanın gerçekleştirilmesinde yardım, destek ve katkılarını eksik etmeyen değerli hocalarıma, arkadaşlarıma ve aileme sonsuz şükranlarımı sunarım. Tez çalışmamın her aşamasında büyük emeği bulunan, karşılaştığım her tür sorunu aşmamda sabırla yol gösteren, engin tecrübesi ve özverisi ile bilimsel düşünce ufkumu genişleten danışman hocam Sayın Doç.Dr. Mehmet Korürek'e; değerli fikirleriyle bana yol gösteren Sayın Ahmet İhsan Yüce'ye sonsuz şükranlarımı sunarım. Yaşantım boyunca her konuda desteklerini sürdüren, bugünlere gelmemde büyük vesile olan sevgili anneme, babama ve kardeşime sonsuz şükranlarımı sunarım.

Eylül 2009

Tolga Çırak

Elektronik ve Haberleşme Müh.

İÇİNDEKİLER

Sayfa

ÖNSÖZ ..... **iii**
İÇİNDEKİLER ..... **v**
KISALTMALAR ..... **vii**
ÇİZELGE LİSTESİ ..... **ix**
ŞEKİL LİSTESİ ..... **xi**
ÖZET ..... **xiii**
SUMMARY ..... **xv**
1. GİRİŞ **1**
1.1 Tezin Amacı 3
1.2 Literatür Özeti 3
2. LİNER DEĞİŞEN FARK TRANSFORMATÖRÜ **7**
2.1 Amaç 7
2.2 LVDT Algılayıcıların Çalışma Prensibi 7
2.3 LVDT Kuvvetlendiricilerin Çalışma Prensibi 10
2.4 Tasarlanan LVDT Kuvvetlendirici 11
3. KÖPRÜ KUVVETLENDİRİCİ **13**
3.1 Amaç 13
3.2 Gerinim Ölçerler 13
3.3 Köprü Kuvvetlendiricilerin Çalışma Prensipleri 14
3.4 Tasarlanan Köprü Kuvvetlendirici 16
4. ISILÇİFT KULLANILARAK HASSAS SICAKLIK ÖLÇÜMÜ **19**
4.1 Amaç 19
4.2 Sıcaklığa Bağımlı Direnç (RTD) 19
4.3 RTD Kuvvetlendiricileri Çalışma Prensibi 21
4.4 Tasarlanan Isılçift Sıcaklık Ölçme Devresi 23
5. EMG ELEKTROT TASARIMI **27**
5.1 Amaç 27
5.2 EMG İşaretlerinin Genel Yapısı 27
5.3 Kas (EMG) Gürültüsü 28
5.4 Elektronik Cihazlardan Kaynaklanan Gürültüler 29
5.5 Elektrokoter Gürültüsü 29
5.6 Hareket Gürültüsü 29
5.7 Tasarlanan Aktif EMG Filtre 30
6. SAYISAL VERİ TOPLAMA BÖLÜMÜ **33**
6.1 Amaç 33
6.2 Tasarlanan Merkez Ölçüm Sistemi 33
6.3 ADC Çevirici Devre Tasarımı 34
6.4 Mikroişlemci Devre Tasarımı 38
6.5 Güç Katı Devre Tasarımı 41
6.6 Cihaz İçerisinde Kullanılan Kartlar 42

6.7 Tasarlanan Cihazın Görünümü 44
6.8 Yazılım Tasarımı 45
KAYNAKLAR 47
EKLER 49

KISALTMALAR

LVDT : Linear Variable Differential Transformer
CMRR : Common Mode Rejection Ratio
ECG : Electrocardiogram
EMG : Electromyogram
ADC : Analog Sayısal Dönüştürücü
SMPS : Anahtarlamalı Güç Kaynağı
NTC : Negative Temperature Coefficient

ÇİZELGE LİSTESİ

Sayfa

Çizelge 4.1 : 10K NTC sıcaklık-ADC değeri tablosu. 20

ŞEKİL LİSTESİ

Sayfa

Şekil 2.1 : LVDT giriş ve çıkış işaretleri ... 8
Şekil 2.2 : LVDT çalışma prensibi. ... 9
Şekil 2.3 : Basit bir LVDT dedektörü. ... 10
Şekil 2.4 : Yön bilgisi elde etme, LVDT sürme ve işaret işleme düzeneği. ... 10
Şekil 2.5 : LVDT kuvvetlendirici devre şeması. ... 11
Şekil 2.6 : Analog bölme ve seviye kaydırma devresi ... 12
Şekil 3.1 : Yapıştırılabilir türden bir gerinim ölçer elemanı. ... 13
Şekil 3.2 : Kuvvet çubuğunun bir yüzüne yapıştırılmış köprü. ... 14
Şekil 3.3 : Kuvvet uygulama çubuğunun iki yüzüne yapıştırılmış ... 14
Şekil 3.4 : Kuvvet çubuğuna 4 adet yapıştırılmış köprü. ... 15
Şekil 3.5 : Tasarlanan köprü kuvvetlendiricisi blok şeması. ... 16
Şekil 3.6 : Enstrümantasyon kuvvetlendirici ... 17
Şekil 4.1 : NTC elemanının sıcaklık-ADC değeri grafiği ... 21
Şekil 4.2 : Isılçift kuvvetlendirici devre şeması. ... 22
Şekil 4.3 : NTC ölçme devresi ve pasif alçak geçiren filtre yapısı ... 22
Şekil 4.4 : NTC ölçme ve ısılçift ölçme blok diyagramı. ... 24
Şekil 4.5 : NTC ve ısılçift devre şeması. ... 25
Şekil 4.6 : NTC ve ısılçift devresi PCB çizimi. ... 26
Şekil 5.1 : EMG için tek fazlı ve çift fazlı ölçüm metotları 28
Şekil 5.2 : Kas gürültüsü. ... 28
Şekil 5.3 : Cihaz kaynaklı gürültüler. ... 29
Şekil 5.4 : Hareket gürültüsü. ... 30
Şekil 5.5 : Aktif EMG elektrot şeması. ... 31
Şekil 5.6 : Kaydıma ve seviye dengeleme devresi ... 32
Şekil 6.1 : Ölçme sistemi blok diyagramı ... 34
Şekil 6.2 : 8 kanal (+5V) - (–5V) ölçme sistemi şeması ... 35
Şekil 6.3 : 8 kanal (+5V) - (–5V) ölçme sistemi PCB çizimi ... 36
Şekil 6.4 : 16 kanal 0-5V ölçme sistemi şeması ... 37
Şekil 6.5 : 16 kanal 0-5V ölçme sistemi PCB çizimi ... 37
Şekil 6.6 : Mikroişlemci ARM926JE şeması. ... 38
Şekil 6.7 : NAND flash ve SDRAM şeması. ... 39
Şekil 6.8 : TFTLCD bağlantı şeması. ... 40
Şekil 6.9 : Besleme devre şeması ... 41
Şekil 6.10 : Besleme PCB çizimi ... 42
Şekil 6.11 : Anakart donanım tasarımı ... 43
Şekil 6.12 : Cihaz içerisindeki kullanılan kart tasarımları ... 43
Şekil 6.13 : Tasarlanan cihazın iç görünümü ve bağlantılar ... 44
Şekil 6.14 : Çoklu EMG işareti gösterim ekranı ... 44
Şekil 6.15 : Merkez ölçme sistemi yazılım yapısı ... 45
Şekil 6.16 : Uygulama yazılımı blok şeması ... 46

MİKROİŞLEMCİ TABANLI BİYOLOJİK VERİ TOPLAMA SİSTEMİ

ÖZET

Bu projenin amacı, tıpta, endüstride ve araştırma laboratuarların da ihtiyaç duyulan, genel amaçlı ve çok kanallı ölçme, işleme, görüntüleme ve saklama yapabilen, biyomedikal çalışmalar için kullanılabilecek biyopotansiyel kuvvetlendiricilerle sanayi ve araştırma laboratuarların da kullanılabilecek ölçme düzenlerini içeren, mikroişlemci destekli bir cihazın gerçekleştirilmesidir. "Veri toplama sistemi" olarak da bilinen bu ölçme ve eğitim sistemi, her türlü fiziksel, kimyasal, elektriksel ve biyolojik büyüklük ve işaretlerin ölçülmesi işleminde kullanılabilecektir. Bu işaretlerin işlenmesi için tasarlanan her kuvvetlendirici katı modül olarak seçilen sistem gözlerinden birine takılabilmektedir. Cihazın modüler olması, teknoloji ve araştırma laboratuar ve iş yerlerinde, sıcaklık, yer değiştirme, kuvvet, basınç, gibi reel büyüklüklerin aynı zamanda ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Bu cihaz, her türlü algılayıcının elektriksel işarete dönüştürülerek kullanılmasına imkan vermektedir.

Cihaz iki ayrı yapıdan oluşmaktadır. Analog Sayısal dönüştürme işlemlerinin gerçekleştirildiği bir dönüştürücü bölümü, sayısal olarak aldığı verileri işleme, saklama ve gösterme işlevlerini yerine getiren mikroişlemci bölümünden oluşmaktadır. Mikroişlemci olarak At91Sam9261 (ARM926JE core) işlemcisi kullanılmıştır. Bu işlemci seçimi, üzerinde entegre TFT kontrolör bloğu bulunması nedeniyle tercih edilmiştir. SPI üzerinden ve UART üzerinden aldığı sayısal verileri işleyerek göstermektedir. SPI üzerinden haberleşmede Texas Instrument analog sayısal dönüştürücüleri kullanılmıştır.

MICROPROCESSOR BASED BIOLOGICAL DATA COLLECTING SYSTEM

SUMMARY

In this project, a microcontrolled based general purpose and multichannel measuring, processing, monitoring and storing unit consisting of different kind of biopotential amplifiers which is used in Biomedical studies, addition with physical, chemical and electrical measuring units used in industrial and measuring laboratories was aimed to be realized. This training and measuring unit which is known as "data acquisition system", could be used to measure any kind of physical, chemical and electrical quantities and also biological signals. Each of the amplifiers designed for these signals can be plugged into one of the chosen system slotes. Thanks to modular instruction of the system, it is possible to measure temperature, displacement, force, pressure, velocity, acceleration and volume at the same time, as they are the real quantities in technology and research laboratories. This unit permits any kind of transducer to be used.

System is constructed with two different modules. A converter module in which all analog-digital conversion processes are done and a microprocessor module in which all functions are fulfilled in digital form and data storing, data displaying functions are performed. As microprocessor, At91Sam9263 (ARM926JE core) is used in the project. This microprocessor is chosed due to its capability to control the TFT's with its own TFT controller inside. It displays the datas that gathered from SPI and UART communication channels. For SPI communication, A/D converters of Texas Instruments are used.

1. GİRİŞ

Bu projede, biyomedikal çalışmalar da kullanılan çeşitli biyopotansiyel kuvvetlendiricileri ile sanayi ve ölçme laboratuarların da kullanılan fiziksel kimyasal ve elektriksel büyüklük ölçme dizenlerini içeren mikroişlemci tabanlı bir "genel amaçlı ve çok kanallı ölçme ve işleme sistemi" gerçekleştirilmeye çalışılmıştır. Kuvvetlendirici ve ölçme düzenleri, sistem gözlerinden istenilen birine takılabilmektedir. İstenildiğinde de amaca uygun başka ölçme düzenleri de, modül olarak, sistemin giriş-çıkış isteklerine uygun tasarlanmak koşuluyla, sisteme bağlanabilmektedir. Bu yönüyle sistem genel amaçlı bir ölçme sistemi olup isteklere göre de geliştirmeye açıktır. Sistem, analog kısım ve sayısal kısım olarak iki kısımdan oluşmaktadır. Sistemin analog kısmını, biyopotansiyel kuvvetlendiricilerle dönüştürücü kuvvetlendiricileri oluşturmaktadır. Modüllerin sayısal kısmını, mikroişlemci ve çevre birimleri oluşturmaktadır.

Biyopotansiyel kuvvetlendirici olarak, sistem gözlerinden birine takılabilen elektromiyogram (EMG) kuvvetlendiricisi tasarlanmıştır. Biyopotansiyel kuvvetlendiricileri, biyoelektrik işaretleri kuvvetlendiren küçük işaret kuvvetlendiricileri olup yüksek kazançlıdırlar. Biyoelektrik işaretlerden başlıcaları; kalp için olan elektrokardiyogram (EKG), kas için olan elektromiyogram (EMG) ve beyin için olan elektroensefalogramdır (EEG). Biyoelektrik işaretler, genelde fark işaretleri şeklindedirler ve düşük frekanslıdırlar. Bu nedenle biyopotansiyel kuvvetlendiriciler fark kuvvetlendiricileri, enstrümantasyon kuvvetlendiricileri, şeklinde tasarlanırlar ve çalışma frekans bölgeleri de düşüktür. Biyoelektrik (biyolojik) işaretlerin genlikleri çok küçük (luV-l00mV) olduğundan bunların gürültü işaretlerinden arınması olarak kuvvetlendirilmeleri büyük önem taşır. Özellikle EKG kuvvetlendiricilerinde işaretler hasta üzerinden yüzey elektrotları yardımıyla alındığından, ortamdaki şebeke kaynağından hasta üzerine kapasitif olarak 50 Hz'lik şebeke frekanslı işaretler kuple olur ve bunların süzülmesi için özel 50 Hz'lik çentik filtreler (notch filter) kullanılır.

Biyopotansiyel kuvvetlendiricilerde dikkat edilmesi gereken önemli bir nokta da ön kuvvetlendiricili olarak tasarlanan giriş katlarının, izolasyon kuvvetlendiricili olmasıdır. Elektrotlarla sisteme direkt olarak bağlı olan hasta, şebekeden beslenen gerilim kaynağından ve sistem çıkışına bağlanan diğer ölçme sistemlerinden gelebilecek olan kaçak akımlara karşı korunmaktadır.

Fiziksel büyüklüklerin ölçülmesinde kullanılan ölçme düzenleri, ölçülecek büyüklüğü genelde elektriksel büyüklüğe çeviren uygun dönüştürücülerle ölçülecek düzenlere bağlanırlar. Örneğin sıcaklık ölçme düzenleri, ısılçift, ısıl direnç gibi elemanlardan birini, yer değiştirme ölçme düzenleri ise değişken direnç, kapasitif ve endüktif dönüştürücülerden birini kullanabilir.

Tıpta ve ölçme laboratuarların da, sıcaklık, yer değiştirme, kuvvet, basınç, hız, ivme ve hacim ölçümleri için çeşitli dönüştürücüler kullanılmaktadır. Bir amaç için birden fazla teknik kullanan dönüştürücü bulunmaktadır. Bu nedenle dönüştürücüler daha çok, kullanıldıkları tekniklere göre (rezistif, endüktif, piezolektrik gibi) sınıflandırırlar. Fiziksel büyüklüklerin dönüştürülmesinde kullanılan tekniklerin birbirlerine göre üstünlükleri vardır. Bu üstünlükler; frekans cevabı, giriş empedansı, ölçme düzenine etkisi, lineerliği, doğruluğu (veya sınıfı), duyarlığı (veya çözünürlüğü), sıcaklık, nem ve basınç gibi değişken ortam şartlarında uzun süre kararlılığın korunması, fiyatı, ömrü, kullanım kolaylığı, boyutu, gürültüsü, nominal sınırları (veya dinamiği), güç harcama sabiti ve besleme kaynağı gerektirip gerektirmemesi gibi konuları kapsamaktadır.

Sistemde, fiziksel büyüklük ölçme düzenlerinden, sıcaklık, yer değiştirme, gerilme ölçme düzenleri gerçekleştirilmiştir. Biyolojik işaretlerden olarak EMG işareti ölçümlenerek bir ekranda çizdirilmektedir.

Sistemde toplam 24 adet analog giriş bulunmaktadır. Bunlardan 8 tanesi 8KHz örnekleme hızına sahiptir. Kalan 16 analog giriş ise 4KHz / kanal örnekleme hızına sahiptir. Sistemdeki 4 kanal EMG elektrot girişlerine ayrılmıştır. Sistemde aynı anda 4 EMG işareti izlenip kaydedilebilmektedir.

Dönüştürücü kuvvetlendiricileri de fark kuvvetlendiricileri şeklinde tasarlanarak dış ortam gürültülerinden kurtulmaya çalışılmıştır. Fark kuvvetlendiricisi şeklindeki tasarım, ayrıca modüllere daha kararlı ve lineer çalışma olanağı vermektedir. Gene de ortaya çıkacak olan sıcaklık etkileri ve lineerlikten olan sapmalar, bilgisayar

kullanmanın getirdiği üstünlüklerden yararlanarak, sıcaklık kompanzasyonu ve lineerlikten ayrılmaları kompanze edecek sayısal tablo kullanma yöntemleri ile giderilmeye çalışılmıştır.

1.1 Tezin Amacı

Bu projenin amacı, tıpta, endüstride ve araştırma laboratuarların da ihtiyaç duyulan, genel amaçlı ve çok kanallı ölçme, işleme, görüntüleme ve saklama yapabilen, biyomedikal çalışmalar için kullanılabilecek biyopotansiyel kuvvetlendiricilerle sanayi ve araştırma laboratuarların da kullanılabilecek ölçme düzenlerini içeren, mikroişlemci destekli bir cihazın gerçekleştirilmesidir.

"Veri toplama sistemi" olarak da bilinen bu ölçme ve eğitim sistemi, her türlü fiziksel, kimyasal, elektriksel ve biyolojik büyüklük ve işaretlerin ölçülmesi işleminde kullanılabilecektir. İşaretlerin işlenmesi için tasarlanan her kuvvetlendirici katı, sistemin analog girişlerinden ihtiyaca uygun olana bağlanabilmektedir. Cihazın modüler olması, teknoloji ve araştırma laboratuarları ve iş yerlerinde, sıcaklık, yer değiştirme, kuvvet, basınç, gibi reel büyüklüklerin aynı zamanda ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Bu cihaz, her türlü algılayıcının elektriksel işarete dönüştürülerek kullanılabilmesine olanak sağlamaktadır.

1.2 Literatür Özeti

Literatürde çok çeşitli örneklerini ve kullanım alanlarını bulmak mümkündür. Çok farklı tipte elektronik ölçme sistemleri bulunmakta olup birçok cihazı tek cihaz içerisinde toplayan modüler bir sistem oluşturulmaya çalışıldı. Cihazın en önemli avantajı herhangi bir bilgisayara ihtiyaç duymadan veri toplama ve gösterme işlevlerini yerine getirmesidir. Özellikle cep telefonları ve PDA cihazlarında yaygın olarak kullanılmakta olan ARM işlemci kullanılmıştır. ARM tabanlı işlemciler günümüzde yaygın olarak kullanıldığından geliştirme altyapısına kolayca erişilmektedir. Herhangi bir yazılım ücreti ödemeden Linux işletim sistemi üzerinde yazılım geliştirilmiştir. Yaygın olarak kullanılması nedeni ile fiyat açısından da oldukça avantajlıdır. Tercih edilen ekran ise 4.3” TFTLCD olacaktır. Ekran çözünürlüğü 480 x 272 pikseldir. Seçilen işlemcinin donanımın da TFT kontrolör modülü de mevcuttur. Bunun dışındaki EMG, LVDT ve ısılçift devreleri basit analog

devrelerdir. Anakartı oluşturan ARM işlemci bütün bu kaynaklardan aldığı verileri işleyip kaydetme görevini yerine getirecektir.

Literatürde (piyasada) çeşitli özelliklerde ısılçift (Isılçift) okuyucu ürünler bulunmaktadır. Örneğin Stanford Researh Systems tarafından üretilen SR630 Isılçift Monitor isimli ürün 16 kanaldan B,E,J,K,R,S ve T tipi ısılçiftleri 0.1°C çözünürlükle okuyabilmektedir. (-200°C) - (+1250°C) aralığındaki sıcaklık değerlerini algılayabilmektedir. Okunan sıcaklık değerlerini °C, °F, K veya DC gerilim seviyesi olarak üzerinde bulunan ekranda gösterebilmekte veya GPIB, RS232 iletişim protokolleri aracılığı ile dış cihazlara gönderebilmektedir. İletişimin olmadığı durumlarda 2000 sıcaklık örneğini hafızasında saklayabilmekte ve iletişim sağlandığında saklanan bu çevrimdışı bilgiyi de dış cihazlara gönderebilmektedir. Cihaz istenirse giriş kanallarından okunan sıcaklık değerlerinin bir lineer fonksiyonu olacak biçimde değişen 3 adet çıkış sinyali üretmektedir. Bu işaretler bir kontrol işareti olarak kullanılabilmektedir. Cihaz üzerinde bulunan tümleşik yazıcı sayesinde istenirse toplanan sıcaklık verilerine ait grafikleri kağıt üzerine dökebilmektedir. Ayrıca her bir kanal için kullanıcı tarafından tanımlanan limiti sıcaklık değerlerinin aşılması durumunda sesli alarm vererek kullanıcıyı uyarabilmektedir.

Benzer şekilde piyasada çeşitli özellikler de LVDT okuyucu sistemleri bulunmaktadır. Genel olarak otomasyon ve kontrol amaçlı olan ürünler DC veya AC uyarımlı olarak ayrılmaktadırlar. Örneğin Macro Sensor tarafından üretilen DMC-D2 serisi LVDT okuyucu 120-220V AC uyarımlı standart LVDT sensörleri okuyabilmekte üzerindeki ekranda çıkış değerlerini gösterebilmekte ve 0-10V veya 0-20mA çıkış işaretleri üretebilmektedir. Okunana değerler RS-232 veya ethernet arayüzü aracılığıyla dış cihazlara gönderilebilmektedir. 0 - 50°C aralığında çalışabilen cihazın çıkış işareti doğruluğu sıcaklıktan cihazın ±50 ppm/°C oranında etkilenmektedir. Maksimum örnekleme frekansı 10Hz olan cihazın çözünürlüğü çıkış işareti açıklığının 1/99999 da biridir.

EMG cihazlarının piyasadaki ürün ve üretici çeşitliliği, ısılçift okuyucu ve LVDT okuyucu gibi ürünlerle karşılaştırıldığında oldukça sayıda olduğu görülmektedir. EMG cihazlarının ısılçift ve LVDT okuyucular gibi otomasyon veya kontrol gibi genel amaçlı kullanım alanları bulunmamaktadır. Tıbbi araştırmalar, eğitim veya hastane kullanımı amacına yönelik son kullanıcısı EMG ile ilgili eğitimi olamayan insanlar için ürün çeşitliliği sınırlıdır ancak yine de piyasada çeşitli amaçlar için

üretilmiş ev tipi EMG cihazları bulunmaktadır. Örneğin Mind Media B.V. firması tarafından üretilen Anti RSI amaçlı boyun ve omuz bölgesi için el tipi bir EMG cihazı bulunmaktadır. Kibrit kutusu büyüklüğünde ve pil ile çalışan cihaz 2 giriş kanalına sahiptir ve kullanıcının ölçüm sonuçlarını bir eşik değer ile karşılaştırarak alınan EMG sinyalinin kullanıcı sağlığı açısından anlamını üzerinde kırmızı ve yeşil LED'ler ile kullanıcıya bildirmektedir. Cihaz beraberinde standart yüzey tipi EMG eletrotları da bulundurmaktadır.

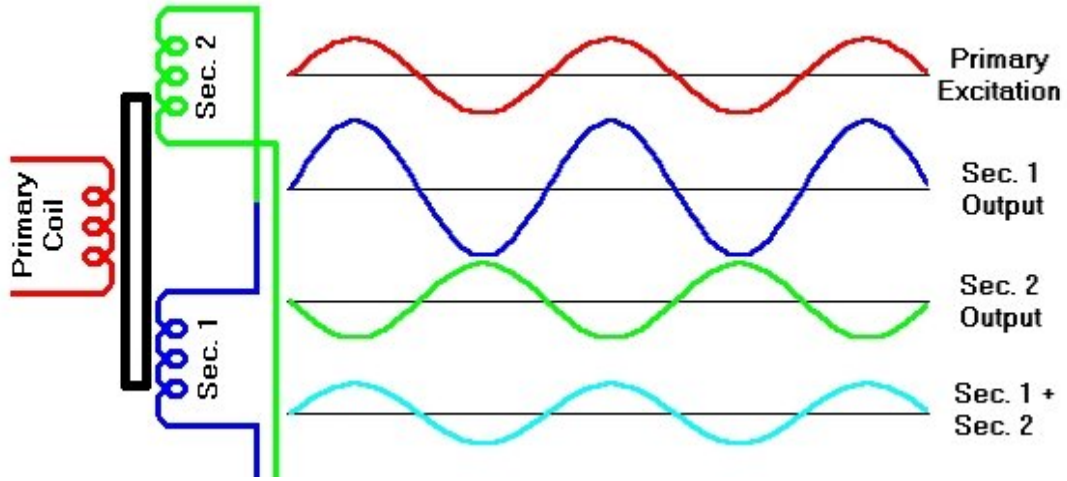
2. LİNER DEĞİŞEN FARK TRANSFORMATÖRÜ

2.1 Amaç

Doğrusal yer değiştirmelerin algılanması ve bunların görsel arayüz ile görüntülenmesi amaçlanmıştır. Doğrusal yer değiştirme dışında ilave düzenlerle ivme, hız, basınç, kuvvet ve açısal yer değiştirme büyüklüklerin ölçümü LVDT algılayıcılar kullanılarak gerçekleştirilebilmektedir. Ölçüm sonuçları biyomedikal alanlarda, robot kontrol sistemlerinde, servo motor kontrol sistemlerinde kullanılabilmektedir.

2.2 LVDT Algılayıcıların Çalışma Prensibi

LVDT algılayıcılar, endüktif dönüştürücüler sınıfına girer ve temelde yer değiştirme ya da uzunluk ölçümünde kullanılmaktadır. Şekil 2.1'de LVDT, şematik olarak çeşitli yer değiştirme miktarları için çıkış işareti değişimleri gösterilmiştir. Yer değiştirme sırasında hareketli manyetik çekirdek birincil bobin sargıları ve ikincil bobin sargıları arasındaki kuplajı değiştirir. Sec.1 bobininde endüklenen gerilim, birincil bobine uygulanan giriş gerilimi ile aynı fazda, Sec.2 bobininde endüklenen gerilim ise zıt fazda olacak şekilde ikincil bobinler birbirine seri olarak bağlıdır. Eğer manyetik çekirdek her iki ikincil bobine de aynı genlikte gerilim endükleyebilecek şekilde x=0 noktasında duruyorsa ikincil bobin sargılarında endüklenen gerilimlerin toplamı sıfır olur. Çekirdek (nüve), Sec.1 bobinine doğru hareket ettirilirse, bu bobinde endüklenen gerilim artacak, Sec.2 bobininde endüklenen gerilim azalacaktır. Çıkış giriş ile aynı fazda olacaktır. Çekirdek (nüve) Sec.2 bobinine doğru hareket ettirilecek olursa bir önceki durumun tam tersi meydana gelecektir. Çıkış işareti, giriş işareti ile 180° faz farklı olacaktır.



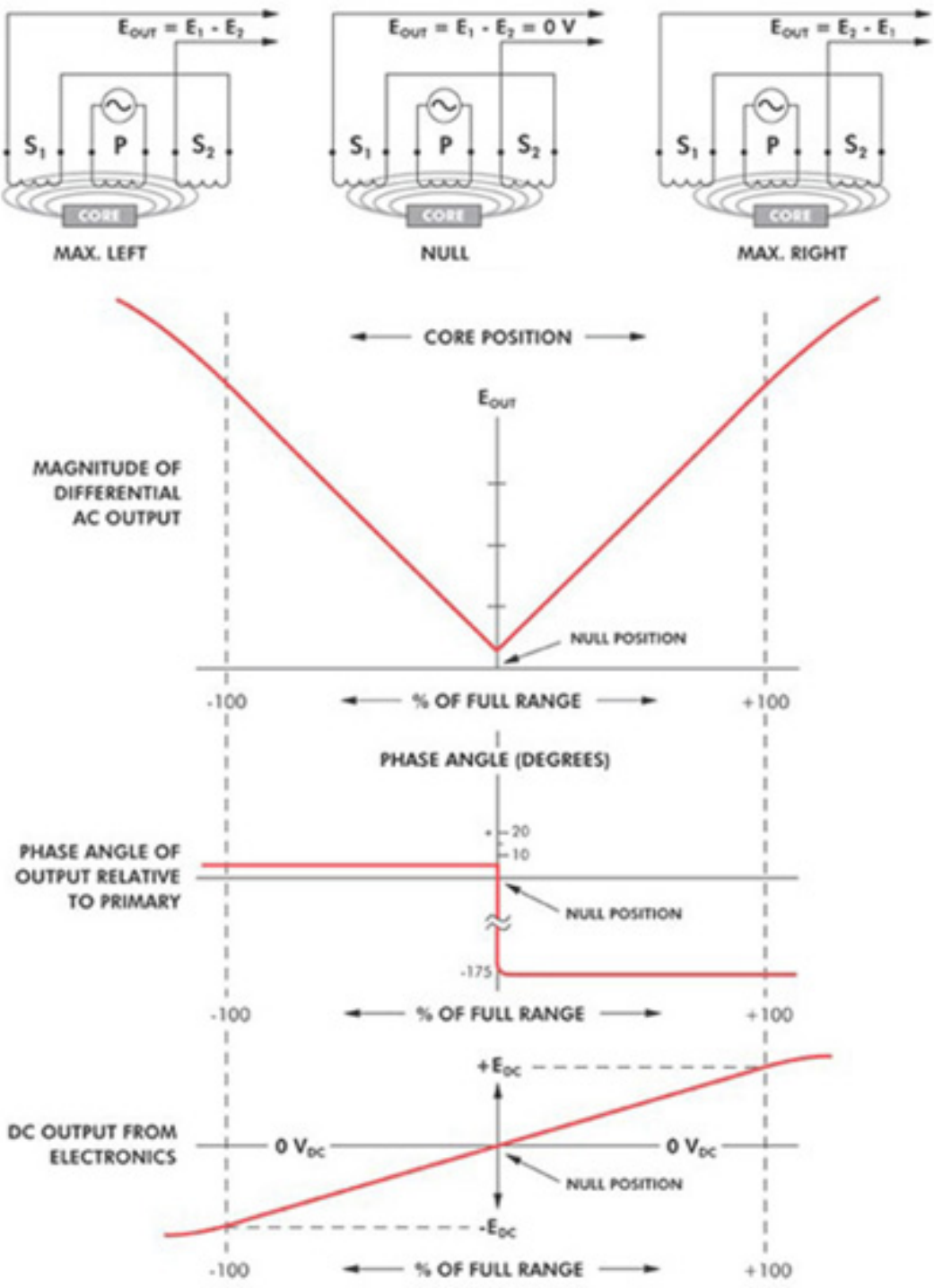
Şekil 2.1 : LVDT giriş ve çıkış işaretleri

LVDT algılayıcıların diğer endüktif dönüştürücülerden üstünlükleri; küçük yer değiştirme miktarlarına büyük genlikli çıkış işareti vermesi, duyarlılıklarının yüksek olması, Sec.1 ve Sec.2 olarak iki ikincil sargıya sahip olması doğrusallığının yüksek olmasını sağlamaktadır. LVDT algılayıcılar, çekirdeği hareket edebilen dönüştürücüler olmaları nedeniyle de büyük yer değiştirmelere cevap verebilmektedirler. LVDT algılayıcılarda çözünürlük, en küçük çekirdek yer değiştirme miktarını kararlı olarak ölçebilme yeteneği olarak tanımlanabilir. Nanometrik hassasiyette LVDT algılayıcılar da tasarlanabilmektedir. LVDT algılayıcının bobinleri ile manyetik çekirdeği arasında çok az bir sürtünme olması, ölçme düzeninin ölçüm yapılan sisteme etkisinin az olmasını sağlamaktadır.

LVDT algılayıcıda bobin ve çekirdeğin birbirinden ayrı olması, ikisinin arasının manyetik olmayan bir malzemeyle yalıtılmasını ve bu şekilde basınç veya aşındırıcı herhangi bir ortamdan bobin kısmının korunabilmesini sağlamaktadır.

LVDT algılayıcının birincil ve ikincil sargılarının birbirinden tamamen izole edilmiş olması bu algılayıcıların tampon veya yalıtım devre katlarına gerek duymadan kullanılabilmelerine olanak sağlamaktadır. LVDT algılayıcının yapısındaki doğal simetri, onun tekrarlanabilir denge özelliğinde olmasını sağlamaktadır. Bu yüzden LVDT algılayıcıdaki denge durumu son derece kararlıdır. Bu kararlılık, yüksek kazançlı kapalı çevrim kontrol sistemlerinde mükemmel bir denge durum göstericisi olarak kullanılmasına olanak sağlamaktadır.

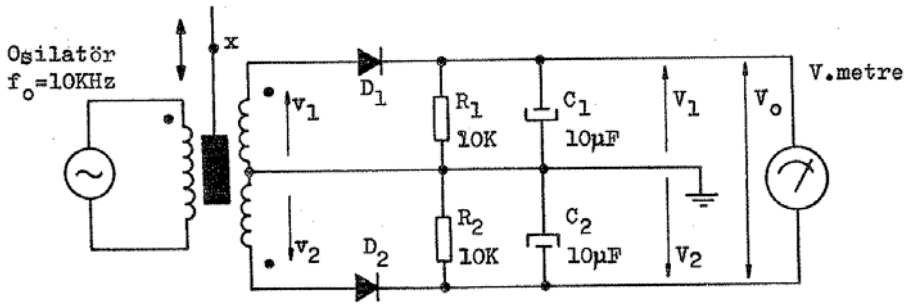
LVDT algılayıcıları çalışma şekli daha açık olarak Şekil 2.2'de gösterilmektedir.



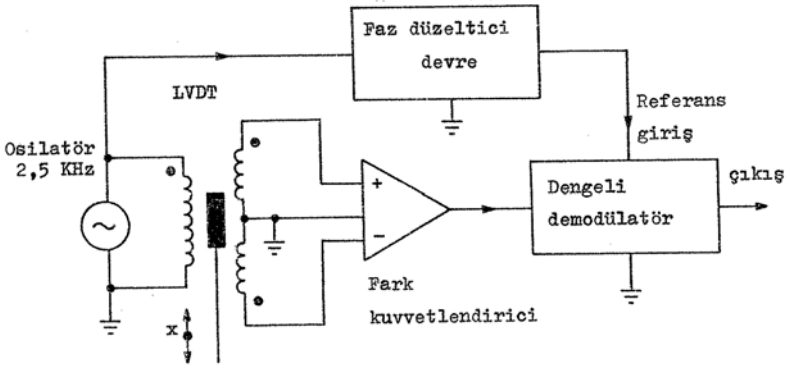
Şekil 2.2 : LVDT çalışma prensibi.

2.3 LVDT Kuvvetlendiricilerin Çalışma Prensibi

Yön bilgisinin de elde edildiği basit bir LVDT detektörü Şekil 2.3'de gösterilmiştir. Diyot, direnç ve kondansatör elemanları basit bir genlik demodülatörü olarak çalışmaktadır. V_1 ve V_2 DC gerilimlerinin farkı olarak voltmetreden okunacak V_O gerilimi çıkış büyüklüğü olarak elde edilecektir. Daha karmaşık bir LVDT kuvvetlendiricisi blok diyagramı Şekil 2.4'de gösterilmektedir. Birincil bobini besleyen ana osilatörün frekansı (taşıyıcı frekans) 2,5KHz kadardır. LVDT ikincil bobin çıkışları, bir fark kuvvetlendiricisine bağlıdır. Fark kuvvetlendirici çıkışı ise çekirdek hareketi ile modüle edilen taşıyıcı işaretteki genlik değişimi bilgilerini elde etmek üzere dengeli demodülatöre bağlıdır. Faz düzeltici devre, demodülatör için bir referans işaret fazı sağlamaktadır. Faz farkına da duyarlı olan demodülatör için bu referans işaretin önemi büyüktür. Faz düzeltici devre, ana osilatörden aldığı işaretin fazını çok az değiştirerek, ancak LVDT ikincil bobin sargılarında bozulan faz farkını yenmek üzere, demodülatörün referans girişine uygulamaktadır. Bu faz düzeltici devrenin fazı, sıfır yer değiştirme girişi için demodülatör çıkışında sıfır gözlenecek şekilde ayarlanmalıdır (sıfır ayarı).

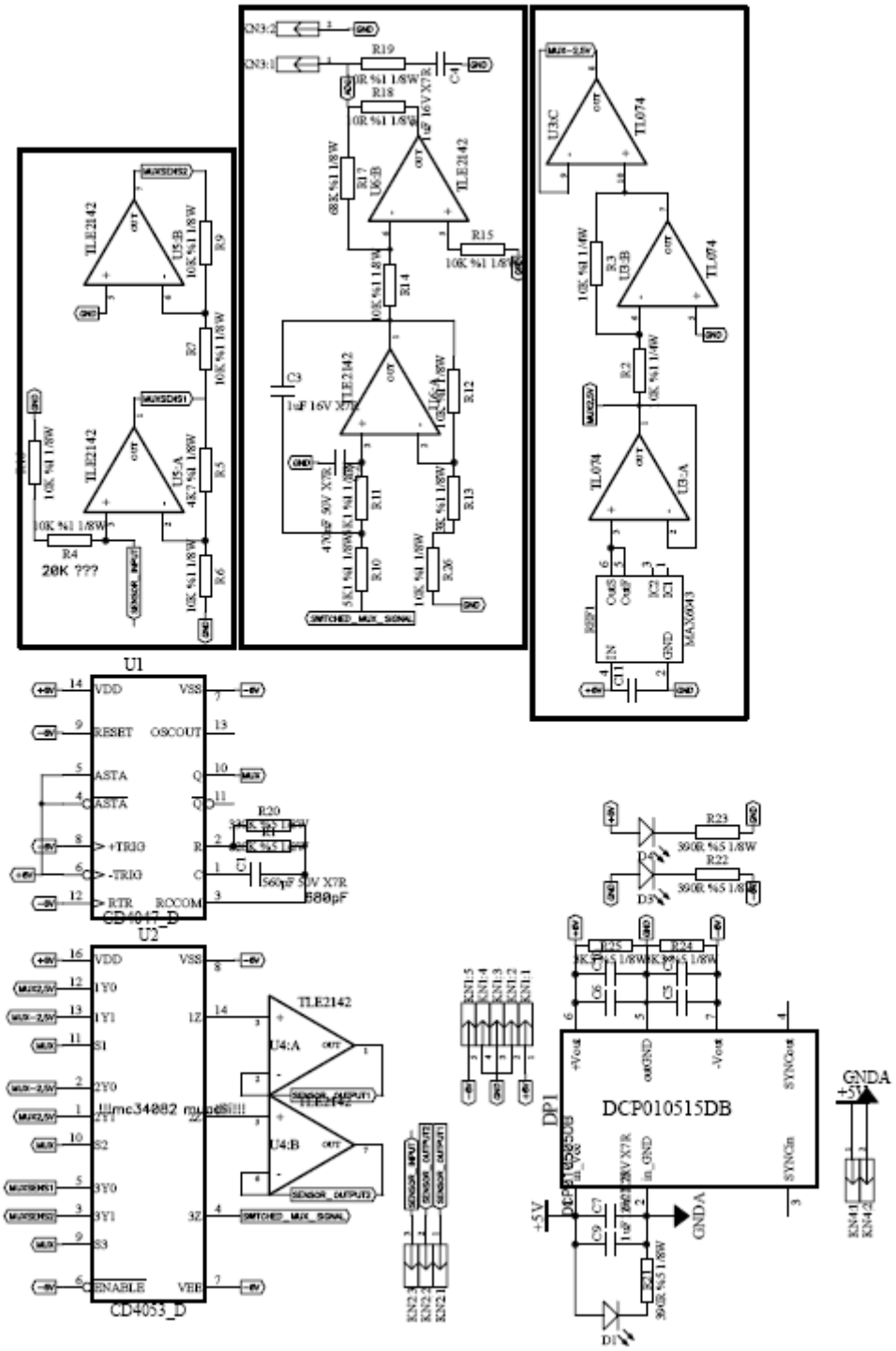


Şekil 2.3 : Basit bir LVDT dedektörü.



Şekil 2.4 : Yön bilgisi elde etme, LVDT sürme ve işaret işleme düzeneği.

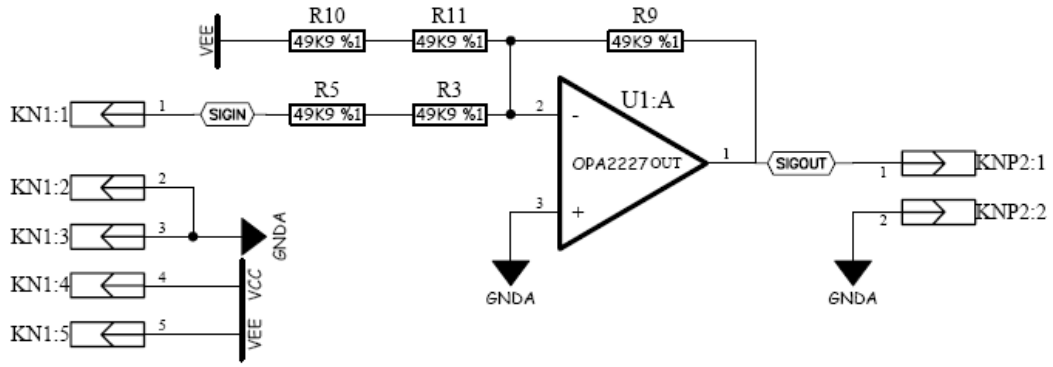
2.4 Tasarlanan LVDT Kuvvetlendirici



Şekil 2.5 : LVDT kuvvetlendirici devre şeması.

Şekil 2.5'de gösterilen devre şeması LVDT kuvvetlendirici için tasarlanmıştır. Devre girişinde DCP010505DB güç entegresi kullanılmaktadır. Bu entegre girişine verilen 0-5V gerilimi ±5V çıkış gerilimi olarak çevirebilmektedir. Girişte algılayıcının çalıştırılmasını sağlayan işaretin üretilmesi için CD4047 frekans üretici ve faz farkını

üretmek için CD4053 lojik entegreleri kullanılmıştır. Devre tamamen Analog olarak tasarlanmıştır. Devre içerisinde bir aktif filtre tasarımına da yer verilmiştir. Algılayıcının giriş uçlarına uygulanan AC işaret ile algılayıcı çıkışında bir seviye elde edilmektedir. İstenilen çıkış hassasiyeti göre kuvvetlendirme kazancı belirlenmektedir. Devrede ±3mm algılama yapabilmek bir çıkış ve daha geniş bir aralık ölçümü için bir çıkış daha yer almaktadır. Devrede TLE2142, TL074 düşük gürültülü işlemsel kuvvetlendirici kullanılmıştır. Bu devrenin çıkışında da ±6V düzeyinde bir çıkış elde edilmektedir. Burada da ADC girişine gelmeden önce kaydırma ve bölme için bir devre kullanılmıştır. Devre, Şekil 2.6'da gösterilmiştir.



Şekil 2.6 : Analog bölme ve seviye kaydırma devresi.

3. KÖPRÜ KUVVETLENDİRİCİ

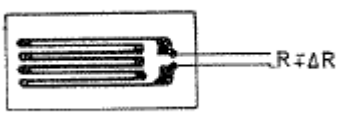
3.1 Amaç

Ağırlık, basınç gibi analog büyüklüklerin ölçümlenmesi için kullanılmaktadır. Gerinim ölçerler, germe yoluyla malzemenin elektriksel direncinin değiştirilmesi prensibini kullanarak çalışmaktadır.

3.2 Gerinim Ölçerler

Ağırlık ve basınç ölçme işlemlerinde kullanılan dönüştürücülerden biri de gerinim ölçerlerdir {"strain gage"lerdir). Gerinim ölçerler, germe yoluyla malzemenin elektriksel direncinin değiştirilmesi prensibini kullanırlar. Genellikle küçük işaret değişiklikleri oluşturduklarından bir köprü devresi ile yüksek kazançlı bir fark kuvvetlendiricisine (köprü kuvvetlendiricisi) gereksinim duymaktadırlar. Köprü devrelerinde kullanılmaları, bunların ısıl açıdan da kararlı çalışmalarını sağlamaktadır. Kullanılan malzeme, metal, yarıiletken veya iletken sıvı olmaktadır. Metal ve yarıiletken gerinim ölçerlere 30gr'lik bir kuvvet uygulandığında boylarında 50usi'lik bir uzama elde edilmektedir. Gerinim ölçerlerin bağıl boy uzamalarına (dL/L) karşı gösterdikleri bağıl direnç değişimi (dR/R), geyç faktörü veya gerinim duyarlığı, G, olarak tanımlıdır ve G = (dR/R) / (dL/L) olarak ifade edilir.

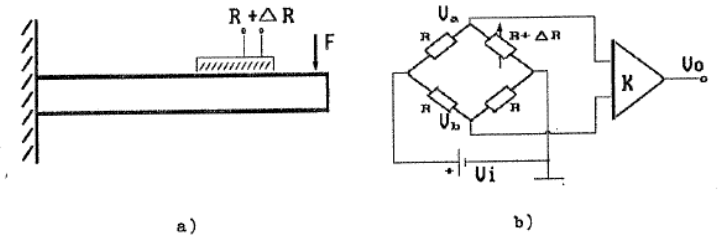
Şekil 3.1'de yüzeye yapıştırılabilen türden bir gerinim ölçer şematik olarak gösterilmiştir. Bunun yanında yapıştırma gerektirmeyen türden olanları da vardır. Bir kere gerinim ölçer yapıştırıldı mı yapıştırıldığı malzeme yüzeyinin bir parçası durumuna gelir ve yüzeyle birlikte aynı miktar gerilir ve gerinim ölçerdeki tellerin boyları uzar ve sonuçta seri bağlı tellerin toplam direnci artar.



Şekil 3.1 : Yapıştırılabilir türden bir gerinim ölçer elemanı.

3.3 Köprü Kuvvetlendiricilerin Çalışma Prensipleri

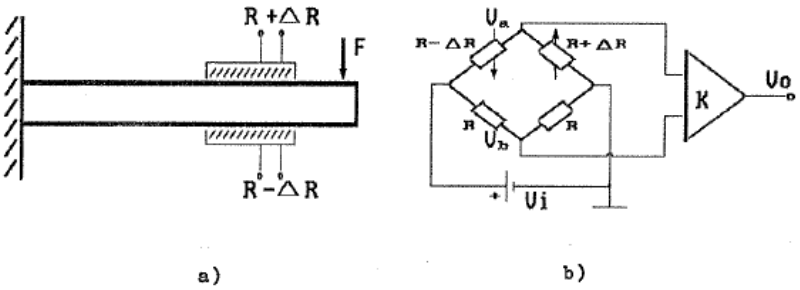
Gerinim ölçerler, genelde Wheatstone köprü devrelerinin kollarından en az birinde olacak şekilde kullanılırlar. Şekil 3.2'de, gerinim ölçerin, Wheatstone köprüsünün bir kolunda kullanılma şekli gösterilmiştir. Şekil 3.2'de köprüde kullanılan geyç elemanının, bir tarafından mesnetli kuvvet uygulama çubuğunun bir yüzüne yapıştırılmış olduğu temsili olarak gösterilmiştir. Köprü kuvvetlendiricisi çıkışındaki gerilim, köprü V± gerilimi ile beslendiğine ve kuvvetlendiricinin kazancı K olduğuna göre, (3.2) olarak hesaplanabilmektedir.



Şekil 3.2 : Kuvvet çubuğunun bir yüzüne yapıştırılmış köprü.

$$v_o = K.(V_a - V_b) = K.V_i.\left\{\frac{R+\delta R}{2R+\delta R} - \frac{1}{2}\right\} = \frac{K.V_i}{4}\frac{\delta R/R}{1+0{,}5.\delta R/R} \approx \frac{K.V_i}{4}\frac{\delta R}{R} \qquad \textbf{(3.1)}$$

Köprü kolunda Şekil 3.3'de gösterildiği gibi kuvvet uygulama çubuğunun biri alt yüzüne diğeri üst yüzüne yapıştırılmış iki geyç elemanı kullanıldığında kuvvetlendirici çıkış gerilimi ifadesi,

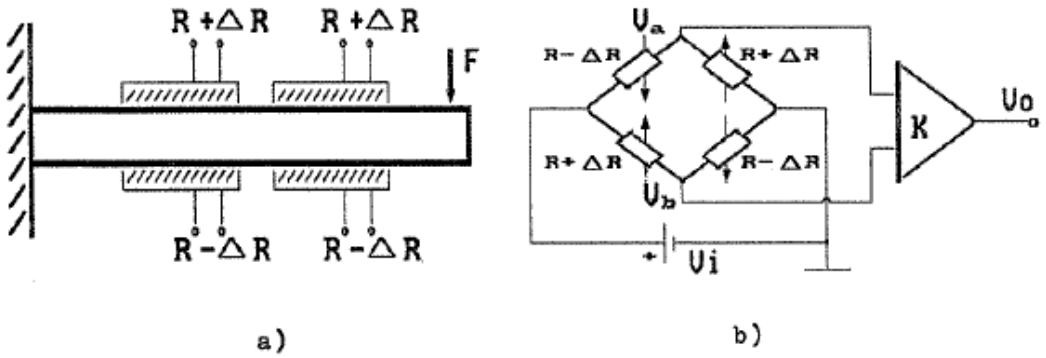


Şekil 3.3 : Kuvvet uygulama çubuğunun iki yüzüne yapıştırılmış

$$v_o = K.V_i.\left\{\frac{R+\delta R}{2R} - \frac{1}{2}\right\} = \frac{K.V_i}{2}\frac{\delta R}{R} \qquad \textbf{(3.2)}$$

olarak hesaplanabilecektir. İki gerinim ölçerli bu köprü montajı, yarım köprü montajı olarak da bilinmektedir.

Şekil 3.4'de gösterildiği gibi kuvvet uygulama çubuğunun, köprü kollarının dördünü de besleyecek şekilde dört gerinim ölçer elemanı yapıştırıldığında, köprü çıkış gerilimi, (3.4) formülündeki gibi olacaktır



Şekil 3.4 : Kuvvet çubuğuna 4 adet yapıştırılmış köprü.

$$v_o = K.V_i.\left\{\frac{R+\delta R}{2R} - \frac{R-\delta R}{2R}\right\} = K.V_i.\frac{\delta R}{R} \qquad \textbf{(3.3)}$$

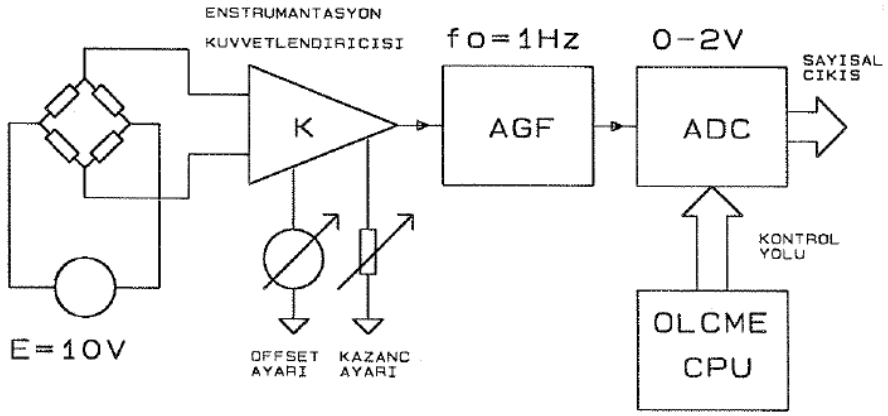
(3.2), (3.3) ve (3.4) eşitlikleri karşılaştırıldığında, dört kolda da geyç ekranı kullanan tam köprü montajı, iki kolda ve tek kolda geyç kullanan köprü montajlarına göre daha yüksek kazanca sahiptir. Tek kolda geyç kullanan köprü montajında, köprü çıkış gerilimi ile bağıl direnç değişimi arasındaki ilişki, diğer iki montajdakine göre daha az lineerdir ve lineerlik ancak R>>dR şartı altında geçerlidir. Gene de kuvvet uygulama çubuğunda tek geyç kullanma zorunluluğu olduğu durumlarda, sıcaklık kompanzasyonu için, bu aktif geycin bulunduğu kolun komşu kolunda, bu aktif geyç ile aynı ortamda olan ve üzerine gerilme gelmeyen aynı değerde ikinci bir geyç kullanılmalıdır. Bu durumda, sıcaklık değişimleri birbirine eş olan bu iki geyç elemanında da aynı direnç değişimine neden olacak ve köprü dengesi bozulmayacaktır. Üzerine gerilme gelmeyen ve sıcaklık kompanzasyonu için kullanılan bu ikinci geyç elemanına "dummy gage" adı verilmektedir. Ağırlık ölçmede kullanılan, özel forma sahip dört geyç elemanlı kuvvet uygulama çubukları da "load cell" (yük hücresi) olarak isimlendirilmekte ve sanayide ve ölçme ortamlarında kullanılmaktadır.

Köprü devrelerinde, köprü köşegenlerinde ortaya çıkan bağlantı noktalarında sıcaklık farkları nedeniyle ortaya çıkan termoelektrik etkilerden kurtulmak için doğru gerilim kaynakları yerine alternatif gerilim kaynakları kullanılmaktadır [1]. Bu durumda, köprü kuvvetlendiricileri, doğru gerilim bileşenlerini kuvvetlendirmeyecek şekilde

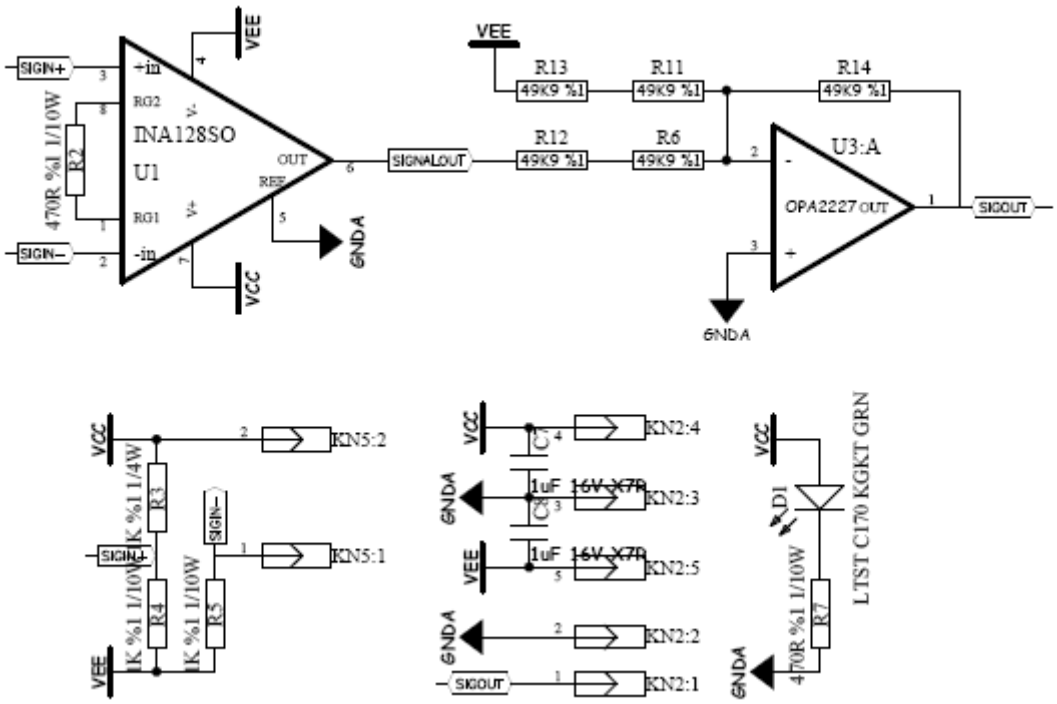
tasarlanmakta ve doğru gerilim olarak köprü kollarında bulunan termoelektrik potansiyeller etkisiz bırakılmaktadır.

3.4 Tasarlanan Köprü Kuvvetlendirici

Şekil 3.5'de, tasarlanan köprü kuvvetlendiricisinin blok şeması gösterilmiştir. Bu şemada, köprü besleme gerilimi olarak l0V'luk kararlı gerilim kaynağı kullanılmıştır. Köprü kuvvetlendiricisi, Şekil 3.5'de gösterildiği gibi enstrümantasyon kuvvetlendiricisi olarak tasarlanmıştır. Kuvvetlendiricinin sıfır ve kazanç ayarları birer ayarlı direnç yardımıyla yapılmaktadır. Yük hücresi (load cell) duyarlığı, mV/V cinsinden, tam skalada (maksimum ölçme değerinde), köprü besleme geriliminde 1V başına, köprü çıkış gerilimi olarak verilmektedir [8]. Köprü E=10V'luk bir gerilim kaynağı ile beslenmekte ve yük hücresi 2mV/V'luk duyarlığa sahipken, köprünün maksimum yükteki çıkış gerilimi 20mV olur. Bu gerilimin, maksimum çevirme gerilimi 2V olan Analog/Sayısal çeviriciye uygulanabilmesi için



Şekil 3.5 : Tasarlanan köprü kuvvetlendiricisi blok şeması.



Şekil 3.6 : Enstrümantasyon kuvvetlendirici

2V/20mV=100 kazanç ile kuvvetlendirilmesi gerekir. Şekil 3.6'da kazancı 100 olarak gerçekleştirilen enstrümantasyon kuvvetlendiricisi devre şeması gösterilmiştir. Enstrümantasyon kuvvetlendiricilerinin en temel özellikleri, giriş empedanslarının yüksek oluşu ve ortak mod gerilimini kuvvetlendirmeyen bir fark kuvvetlendiricisi olarak tasarlanmalarıdır.

Şekil 3.6'daki devrede düğüm denklemlerinden hareketle, devrenin kazancı bulunabilir. G, admitansı; V_{cm}, ortak mod gerilimini ve V_d, fark gerilimini göstermek üzere, devrenin düğüm denklemleri,

$$\begin{aligned}(G_3+G_4+G_o)v_2 &= G_4v_o+G_3v_7+G_ov_6\\ (G_2+G_1+G_o)v_6 &= G_ov_2+G_2v_7+G_1v_{ofs}\end{aligned} \qquad \textbf{(3.4)}$$

şeklindedir. Devrenin girişindeki gerilimler ise,

$$\begin{aligned}v_2 = v_3 &= v_{cm}+\frac{v_d}{2}\\ v_2 = v_3 &= v_{cm}-\frac{v_d}{2}\end{aligned} \qquad \textbf{(3.5)}$$

olarak yazılabileceğinden devrenin V_o çıkış gerilimi, (3.5) ve (3.6) eşitlikleri birleştirildiğinde,

$$v_o = \frac{R_4}{R_3}\left\{1+\frac{1}{2}\left(\frac{R_2}{R_1}+\frac{R_3}{R_4}\right)+\frac{R_2+R_3}{R_o}\right\}v_d - \frac{R_4}{R_3}\left\{\frac{R_3}{R_4}-\frac{R_2}{R_1}\right\}v_{cm} - \frac{R_4.R_2}{R_3.R_1}v_{ofs} \qquad \textbf{(3.6)}$$

olarak elde edilir. $R_3/R_4 = R_2/R_1$ şartı sağlandığında, V_o geriliminde, ortak mod gerilimine (V_{cm}'ye) ilişkin terim düşer ve (3.7) eşitliği,

$$v_o = \frac{R_4}{R_3}\left\{1+\frac{R_3}{R_4}+\frac{R_2+R_3}{R_o}\right\}v_d - \frac{R_4.R_2}{R_3.R_1}v_{ofs} \qquad \textbf{(3.7)}$$

durumuna gelir. (3.8) eşitliğinden görüldüğü gibi, V_o ile V_d arasındaki kazanç R_o ile ve çıkış ofset (doğru gerilim kayma) gerilimi de V_{ofs} gerilimi ile değiştirilebilmektedir.

$R_4 = 100\ K\Omega$,

$R_3 = 10\ K\Omega$,

$R_2 = 10\ K\Omega$,

$R_1 = 100\ K\Omega$

$R_O = 3K\Omega$

olarak seçilirse devrenin kazancı 100 olarak elde edilebilecektir.

4. ISILÇİFT KULLANILARAK HASSAS SICAKLIK ÖLÇÜMÜ

4.1 Amaç

Ortam sıcaklığını veya herhangi bir yüzey sıcaklığını algılamak amacıyla kullanılmaktadır.

4.2 Sıcaklığa Bağımlı Direnç (RTD)

Sıcaklık dönüştürücüleri, sıcaklıkla direncin değişmesi (termorezistif etki) veya sıcaklıkla gerilim üretme (termoelektrik etki) prensiplerine göre çalışırlar. Belli metal ve yarıiletkenlerin dirençlerinin sıcaklıkla değişmesi prensibini kullanan termorezistif elemanların sıcaklık-direnç karakteristiği lineer sayılabilir ve bu durumda,

$$R_T = R_O.[1 + \alpha(T - T_O] \quad \textbf{(4.1)}$$

bağıntısı geçerli olur ki bu eşitlikte RT, T sıcaklığındaki ve Ro, To sıcaklığındaki dirençler, a ise malzemenin %/°C cinsinden sıcaklık sabitidir. Malzemesi yarıletken olan termistörlerin sıcaklık sabitleri metallere göre oldukça yüksek (4 %/°C) olmasına rağmen lineerlikleri iyi değildir. Metaller içinde ise sıcaklık sabiti 0,4 %/°C olan platin, oldukça geniş bir sıcaklık aralığında (-180 °C ile +630 °C arasında) en mükemmel doğrusallığa sahip olan termik direnç elemanıdır. 0 °C ile 100 °C arasında kullanılan bir platin direnç termometresinde ±% 0,2 civarında bir lineerlik hatasına ve 0,001°C'lik bir doğruluğa erişilebilmiştir.

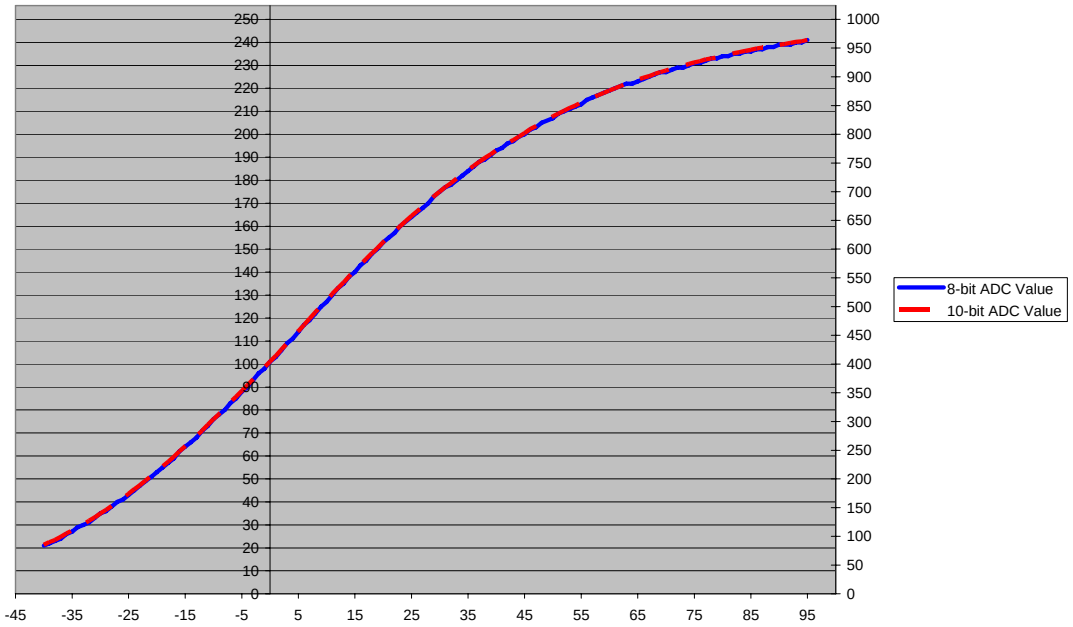
Çizelge 4.1 : 10K NTC sıcaklık-ADC değeri tablosu.

sıcaklık[°C]	ADC değeri
-20	83
-19	86
-18	88
-17	91
-16	94
-15	97
-14	100
-13	102
-12	105
-11	108
-10	111
-9	114
-8	117
-7	120
-6	123
-5	126
-4	129
-3	131
-2	134
-1	137
0	140
1	143
2	145
3	148
4	151
5	153
6	155
7	158
8	160
9	163
10	165
11	167
12	169
13	172
14	175

sıcaklık[°C]	ADC değeri
15	177
16	179
17	181
18	183
19	185
20	187
21	189
22	191
23	192
24	194
25	196
26	198
27	199
28	201
29	202
30	204
31	205
32	207
33	208
34	210
35	211
36	212
37	213
38	215
39	216
40	217
41	218
42	219
43	220
44	221
45	222
46	223
47	224
48	225
49	226

Bu bölümde, sıcaklığa bağımlı direnç elemanı olarak termik direnç veya kısaca NTC elemanı ele alınmış ve (25°C)'de 10KΩ'luk direnç değerine sahip olan NTC elemanı PT100, RTD kuvvetlendiricisi olarak tasarlanan devrede kullanılmıştır.

Çizelge 4.1'de, PT100 elemanının (1°C)'lik artımlarla (-45°C)'den (+100°C)'ye kadar olan sıcaklık değişimi aralığındaki direnç değişimi verilmiş ve bu değişimin eğrisi Şekil 4.1'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1 : NTC elemanının sıcaklık-ADC değeri grafiği

(-45°C) - (+100°C) gibi geniş bir sıcaklık aralığında çalışıldığında lineer sıcaklık-direnç ilişkisi,

$$R_T = R_O.[1 + k.(T)] \qquad \textbf{(4.2)}$$

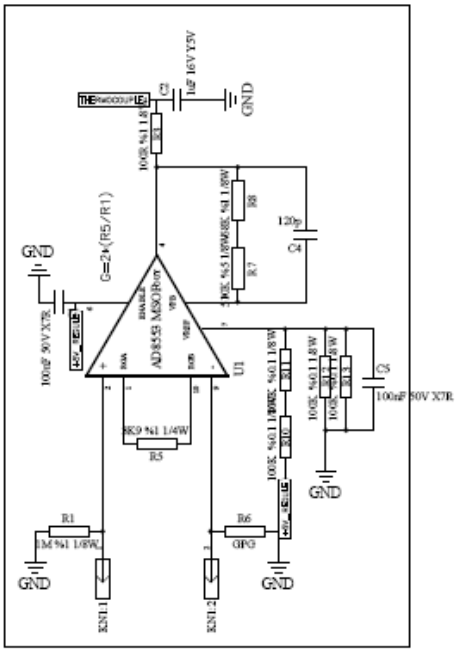
şeklinde de verilmektedir ki burada R_0, (25°C)'deki malzeme direncidir. Platin için k sabiti 0,000392 $°C^{-1}$ (USA standardı) kadardır .

4.3 RTD Kuvvetlendiricileri Çalışma Prensibi

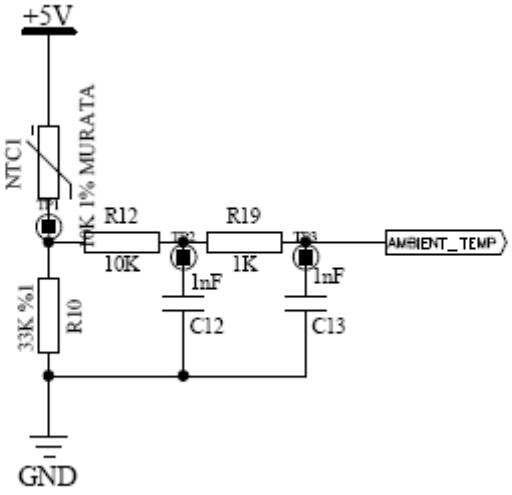
RTD elemanlarının sıcaklıkla olan direnç değişimleri genel olarak iki yolla algılanır; a) sabit akım kaynağının bu direnç üzerindeki gerilim düşümünü ölçmek ve b) bu direnç bir köprü kolunda kullanılıp, köprü çıkış gerilimini ölçmek [1]. Şekil 4.2'de, 1mA'lik kararlı akım kaynağı akımının RTD elemanı uçlarında oluşturduğu gerilimi kuvvetlendiren bir RTD kuvvetlendiricisi blok şeması gösterilmiştir. fo=1Hz köşe frekanslı AGF (Alt Bolum 3.3'de anlatıldığı gibi) 50Hz de dahil olmak üzere yüksek frekanslı gürültüleri bastırmak için kullanılmıştır. Bu devrede NTC elemanından, alınan analog gerilim değeri ADC dönüştürücü kartı ile sayısal değere

çevrilmektedir. Ana işlemci bu değeri ADC çeviriciden SPI haberleşmesi ile alarak tablo üzerindeki sıcaklık değerine eşitlemektedir.

NTC elemanı dört uçlu olarak gerçekleştirilip kuvvetlendiriciye giden gerilim uçlarının içerden seçilmesiyle hem akım bağlantı noktalarındaki dirençlerin gürültü etkilerinden ve hem de akım kaynağından NTC elemanına giden akım taşıyıcı iletkenlerde sıcaklık dağılımı nedeniyle oluşan direnç değişimlerinin etkilerinden kurtulmuş olunmaktadır.



Şekil 4.2 : Isılçift kuvvetlendirici devre şeması.



Şekil 4.3 : NTC ölçme devresi ve pasif alçak geçiren filtre yapısı

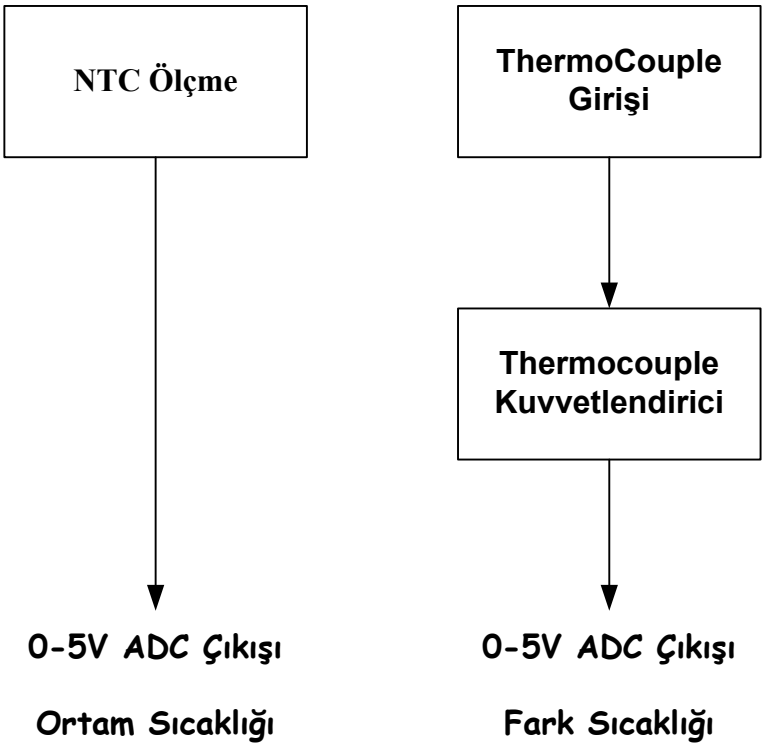
Şekil 4.3'de köprü tipi sıcaklık ölçme ünitesi blok şeması gösterilmiştir. Burada da sıcaklığa duyarlı NTC elemanı üç uçlu olarak gerçekleştirilmiştir. Bu durumda RL1 ve RL2 bağlantı iletkenleri komşu kollara bölüştürüldüğünden ve bu komşu kollardaki eş etkiler birbirini yok edeceğinden, bunların gürültü etkileri de köprü çıkışına yansımayacaktır.

Köprü kuvvetlendiricilerde hata kaynaklarından biri de çeşitli bağlantı noktalarında oluşan termoelektrik potansiyellerdir. Bu etki, tüm bağlantı noktaları aynı sıcaklıkta tutularak azaltılabilir veya köprü, alternatif (AC) gerilim kaynağı ile sürülerek giderilebilir. Isıl direnç dönüştürücülerde örnekli bir hata kaynağı da dönüştürücüden akan akımın (I) dönüştürücüde oluşturduğu $\mathbf{I^2R_T}$ gücüdür ki bu, dirençte ısı olarak açığa çıkar. Bu etkiden kurtulmak için köprü, darbe kaynağı ile sürülebilir veya daha basit bir yol olarak alternatif gerilim kaynağının gerilimi azaltılıp köprü kuvvetlendiricisinin kazancı artırılır. Dengeleme potansiyometresi ölçme aralığının başındaki, örneğin 0°C'deki, sıcaklıkta ayarlanarak sıcaklık ölçen devrenin sıfır ayarı yapılır. Ölçme sıcaklık aralığı çok fazla değilse, Şekil 4.3'deki RL_3 bağlantı iletkeni kaldırılacak biçimde, besleme kaynağının bağlantı noktası içeri, R_3 ile RL_2'nin bağlandığı noktaya, alınabilir. 0 - 100°C aralığı için direnç termometresinde lineerlik hatası maksimum +0,5°C olmaktadır.

4.4 Tasarlanan Isılçift Sıcaklık Ölçme Devresi

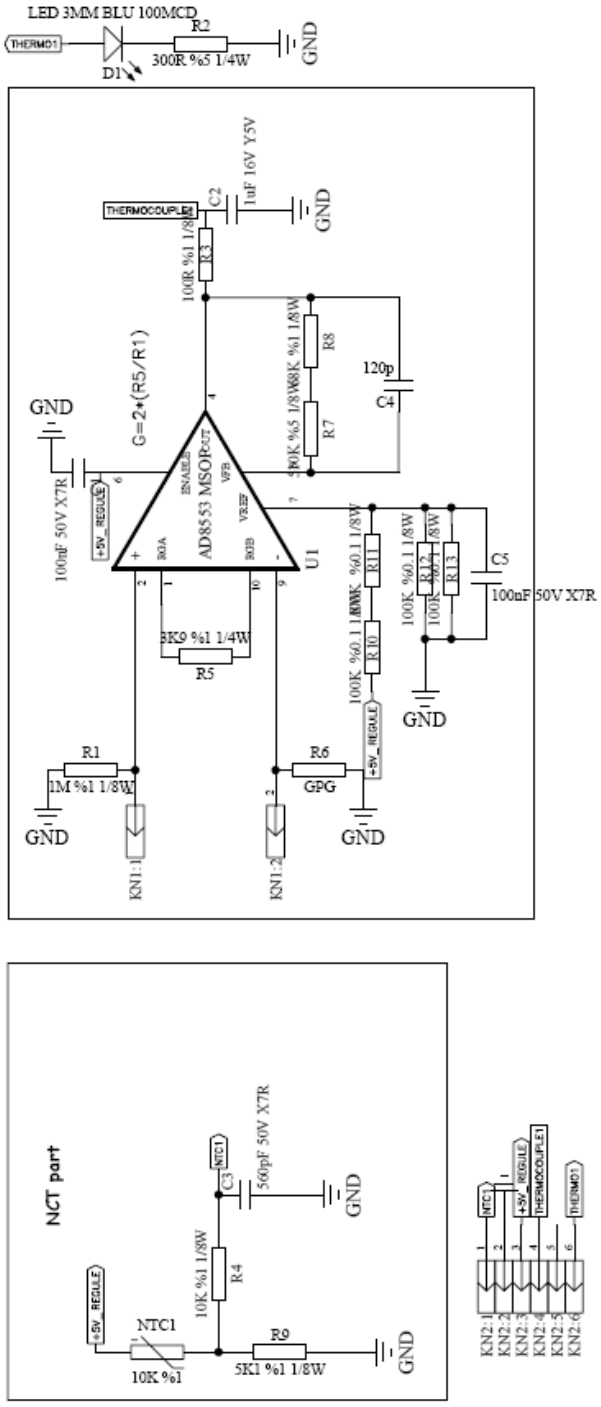
Tasarlanan ısılçift devresinin blok diyagramı Şekil 4.4'de verildiği gibidir. Ortam sıcaklığının ölçülmesi amacıyla bir NTC elemanı yerleştirilmiştir. Kullanılan NTC seçilen hassas dirençlerle birlikte 0-5V aralığında bir çıkış gerilimi sağlamaktadır. Okunabilecek seviyede bir çıkış elde edilebildiği için NTC çıkışına herhangi bir kuvvetlendirici tasarımı eklenmemiştir.

Isılçift çıkışında ise mikroVolt seviyelerinde çıkış elde edilebildiği için, çıkışında AD8553 enstrumantasyon kuvvetlendirici entegresi kullanılarak kuvvetlendime yapılmıştır. Devrede 500 kat kuvvetlendirme seçimi yapılmıştır. Devrenin tasarımında entegrenin kataloğunda verilmekte olan referans devre kullanılmıştır. Kazanç devresine göre kullanılabilecek dirençler katalokta belirtildiği gibi seçilmiştir. Hassasiyet için kullanılan dirençlerin %1 lik olmasına özen gösterilmiştir.



Şekil 4.4 : NTC ölçme ve ısılçift ölçme blok diyagramı.

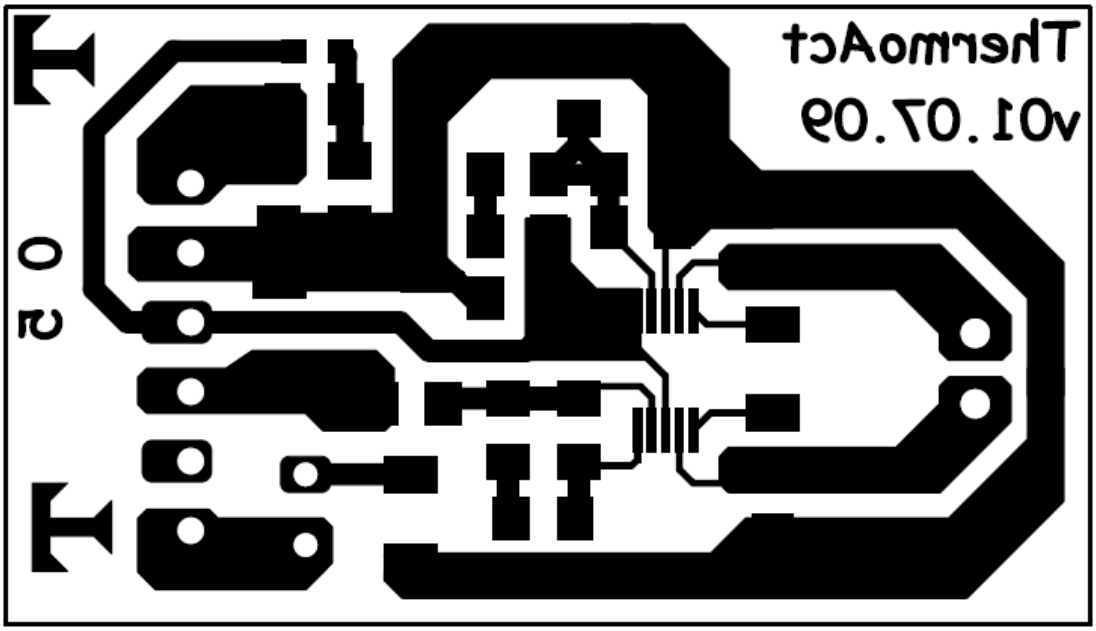
Tasarlanan devrenin üzerinde besleme bulunmamaktadır. Besleme ADC dönüştürücü devresi üzerinden sağlanacaktır. Tasarlanan devrenin şeması Şekil 4.5'de gösterildiği gibidir.



Şekil 4.5 : NTC ve ısılçift devre şeması.

Devrenin PCB çizimi Şekil 4.6'da gösterildiği gibidir. Devreye güç geldiğinin anlaşılması amacıyla bir LED eklenmiştir. Enerji verildiğinde iki çıkış da çalışmaya başlamaktadır. Merkez ölçme devresinde seçilen ADC girişlerinden biri NTC birisi de ısılçift olarak seçilir. Bu seçimlere göre merkez ölçme ve yorumlama devresindeki

algoritmalar çalışacaktır. Merkez ölçme ve yorumlama sistemi gösterge panelinde seçilen sistemlerin çıkışı gözlemlenebilmekte ve kayıt altına alınabilmektedir.



Şekil 4.6 : NTC ve ısılçift devresi PCB çizimi.

5. EMG ELEKTROT TASARIMI

5.1 Amaç

Kasılmalar ve bilgi transferine sebep olan kas ve sinir depolarizasyonu yarı geçirgen bir zardan bazı kimyasalların geçmesi ile oluşmaktadır. Bu iyonik hareket, bir potansiyel hareketine sebep olur. Uyarılabilir bir hücre depolarize olduğunda, hücre zarında hücreye yaklaştırılan iki elektrot ile gözlenebilecek geçici bir potansiyel farkı oluşur. Biyopotansiyel kayıt, sinir ve kasların bu elektriksel etkinlikleri sonucu oluşan hücre depolarizasyonlarının ölçülmesi işlemidir. Hücre zarı depolarizasyonu, kas ve sinirlerde benzer şekilde oluşmaktadır. Tepkinin genliği, kaslarda çok daha etkilidir (kalp kasının uyarılması sonucu oluşan sinyal genliği, nöral sinir darbesinin oluşturacağı sinyalden 1000 kat daha fazladır).

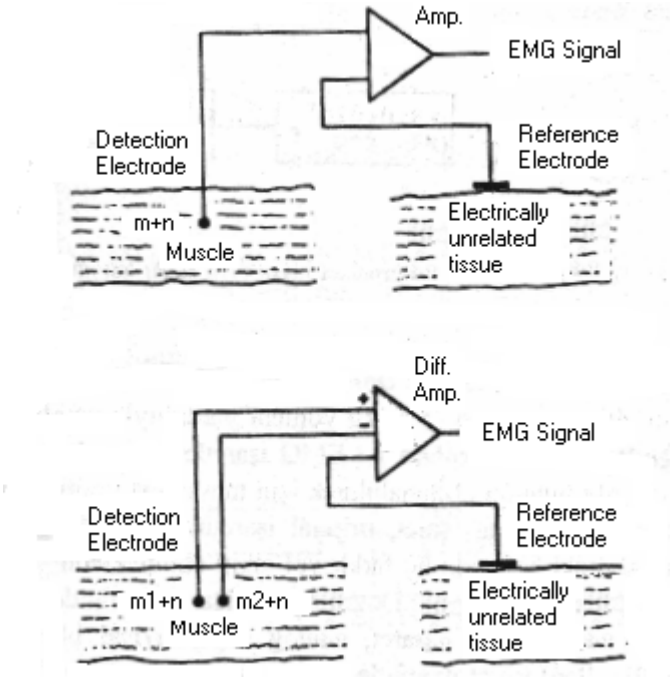
Kas kasılmaları sırasında potansiyel değişimlerinin ölçülmesine Elektromiyogram (EMG) ve kalbin elektriksel aktivitelerinin ölçülmesine Elektrokardiyogram (EKG).

5.2 EMG İşaretlerinin Genel Yapısı

EKG ölçümü, kalp kası nedeniyle oluşan potansiyel değişimlerinin ölçülmesidir. Elektromiyogram (EMG) ise kasın elektriksel aktivitesinin ölçülmesidir: Dolayısıyla EKG kaydı bir tür EMG ölçümüdür. EMG sinyalleri de, ECG ölçümü için kullanılan aynı ekipmanla ölçülmektedir. EMG sinyalinin boyutu doğrudan uyarılan kas tellerinin sayısı ile alakalı olmaktadır.

Klinik olarak travmanın ertesinde bir kas grubunun fonksiyonunu izlemek için kullanılmaktadır. Aynı zamanda şüphelenilen nörolojik bir hasarda kas grubunun fonksiyonunu yerine getirip getirmediği için de kullanılabilecek bir yöntemdir. EMG sinyalleri sinir depolarizasyonu sonucu oluşan sinyallerden daha büyüktür. Dolayısiyle EMG motor sinir bilgisinin gelmesini algılamak için de kullanılmakta böylece bir kas grubunun gevşemeyi takip eden kasılmasının algılanması mümkün olmaktadır.

Şekil 5.1'de EMG için kullanılan tek fazlı (Monopolar) ve çift fazlı (Bipolar) ölçüm metotlarını göstermektedir. Ortak mod sinyali minimize etmek Çift fazlı (Bipolar) yapıda mümkün olduğu için genellikle çift fazlı ölçümler kullanılmaktadır.



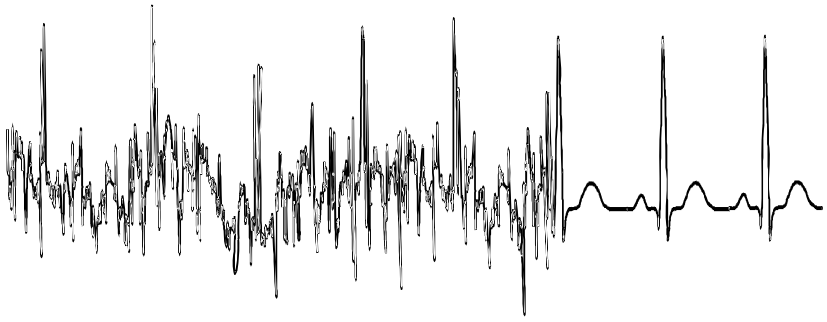
Şekil 5.1 : EMG için tek fazlı ve çift fazlı ölçüm metotları .

5.3 Kas (EMG) Gürültüsü

Kasların kasılması milivolt seviyesindeki gerilimlerin oluşmasına neden olmaktadır. EMG taban hattı genellikle mikrovolt mertebesindedir ve bu yüzden genellikle önemsizdir. Şekil 5.2'de de görüldüğü gibi kas kasılmasından oluşan işaret, sıfır ortalamalı band sınırlı Gauss gürültüsünün geçici değişimleri olarak kabul edilebilir. Bu gürültüye ait parametreler:

Standart sapma: EKG genliğinin tepe-tepe değerinin %10'u. Süre: 50ms.

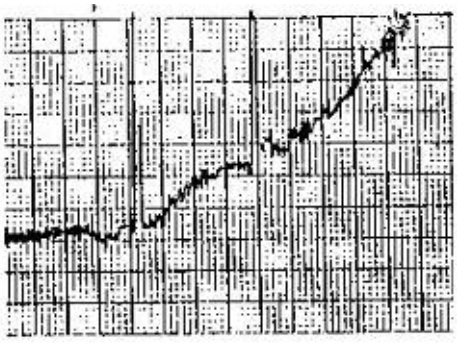
Frekans bileşeni: DC'den 10 000Hz'e



Şekil 5.2 : Kas gürültüsü.

5.4 Elektronik Cihazlardan Kaynaklanan Gürültüler

Elektronik cihaz kaynaklı gürültüler (Şekil 5.3) QRS algılama algoritmaları ile düzeltilemez. Giriş kuvvetlendiricisi doymadadır ve EKG hakkında herhangi bir bilgi detektöre ulaşmaz. Bu durumda sistem bir sesli uyarı vererek teknisyeni düzeltici faaliyet için uyarmalıdır.



Şekil 5.3 : Cihaz kaynaklı gürültüler.

5.5 Elektrokoter Gürültüsü

Elektro cerrahi gürültüsü EKG işaretini tümüyle bozar ve yaklaşık 100kHz ve 1MHz frekanslı yüksek genlikli bir sinüzoidal olarak temsil edilebilir. EKG işareti 250 ila 1000Hz gibi bir frekansla örneklendiğinde, bu örtüşen işaret de EKG işaretine eklenmektedir. Genlik, süre ve muhtemel örtüşme frekansı değişken olmalıdır. Tipik parametreler:

Genlik: EKG genlik tepe-tepe değerinin %200'ü.

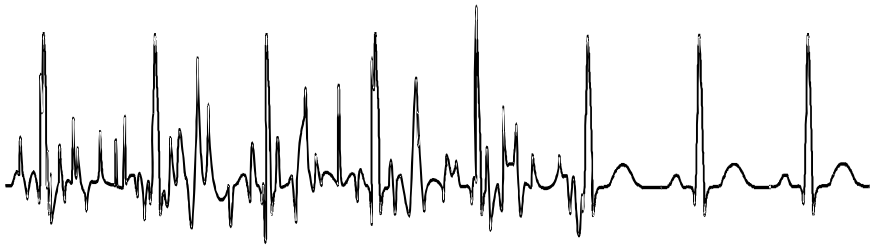
Frekans bileşeni: 100kHz-1MHz.

Süre: 1-10 s

5.6 Hareket Gürültüsü

Hareket gürültüsü, (Şekil 5.4) elektrot hareketinden dolayı deri-elektrot arası empedans değişimi nedeniyle taban hattında oluşan geçici (basamak şeklinde değil) artefaktlardır. Aşağıda bu gürültü ile ilgili şekil görülmektedir. Bu empedans değiştikçe, EKG kuvvetlendiricisi, kuvvetlendiricinin giriş empedansı ile gerilim bölücü oluşturan farklı bir kaynak empedansı görür. Dolayısıyla kuvvetlendiricinin giriş gerilimi, elektrot pozisyonunun değişimi ile değişen kaynak empedansına bağlıdır. Hareket artefaktının genel nedeni, nesnenin hareket etmesi veya titremesi

olarak kabul edilmektedir. Hareket artefaktından dolayı oluşan taban hattı bozulması, sinüs dalgasının bir çevrimine benzeyen iki fazlı bir işaret olarak kabul edilebilir. Bu gürültünün değişkenleri tepe genliği ve süresidir. (Süre 100-500ms arası, genlik ise EKG genliğinin tepeden tepeye değerinin %500 kadar olabilir.)



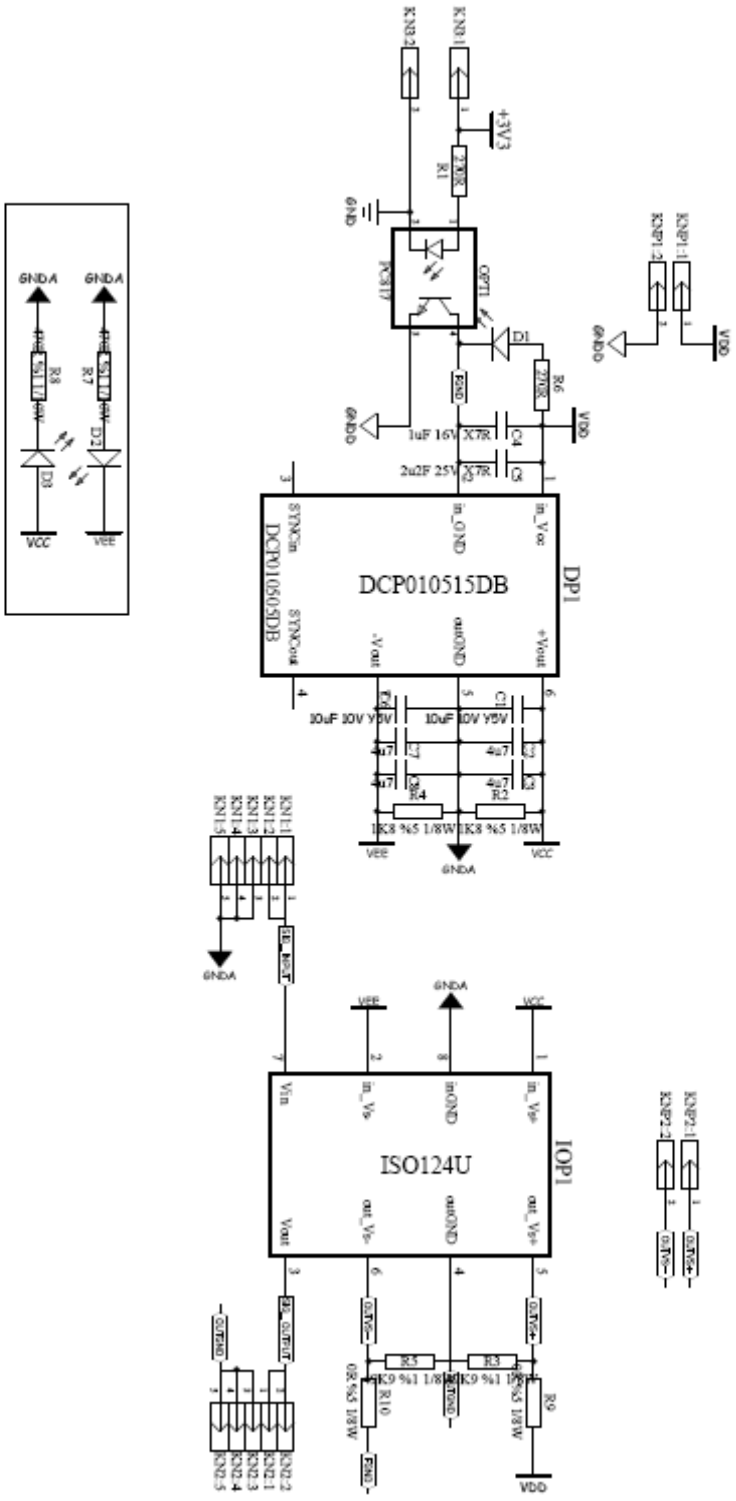
Şekil 5.4 : Hareket gürültüsü.

5.7 Tasarlanan Aktif EMG Filtre

Tasarım PCB üzerinde gerçekleştirilmiştir. Amaç, tasarlanmış olan aktif elektrot ile yapılan ölçümlerin piyasadan alınan bir aktif EMG elektrotuna göre doğruluğunun test edilmesi olmaktadır. EMG ölçümleri istenilirse yazılacak ek programlarla farklı görevlerde kullanılabilecektir.

Tasarım, üç bloktan oluşmakta; güç bloğu burada DCP010505DB çift kaynak kullanılmıştır. Bu entegre ile ±5V elde edilmektedir, enstrumantasyon kuvvetlendirici olarak INA128 kullanılmıştır. Çıkış filtresi için OPA2227 kullanılmıştır. Devre çıkışında ise Iso124 izole işlemsel kuvvetlendirici kullanılarak devre tamamen izole edilmiştir.

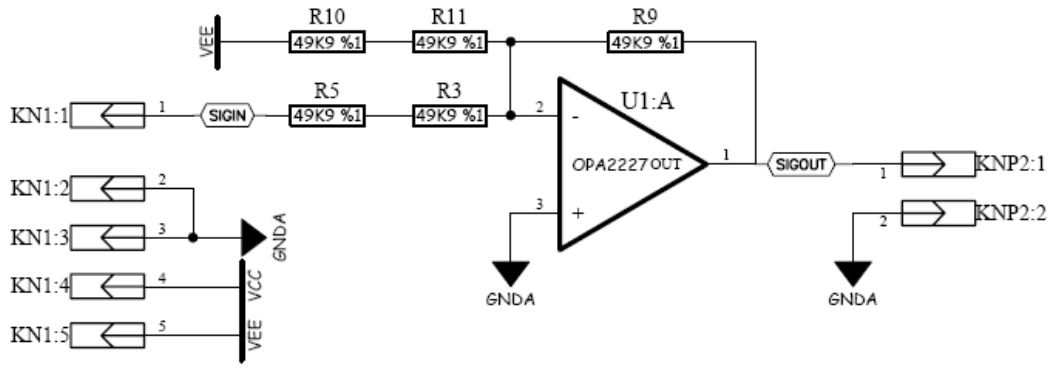
Iso124 izole işlemsel kuvvetlendirici entegresi girişine ve çıkışına izole iki kaynaktan besleme gerilimleri sağlanarak çalışmaktadır. Devre şeması Şekil 5.5'de gösterilmektedir.



Şekil 5.5 : Aktif EMG elektrot şeması.

ADC ölçme sistemi 0-5V aralığındaki gerilimleri ölçebilmektedir. EMG devresi ise ±5V aralığında çıkış vermektedir. Devre çıkışına Çıkış işaretini ikiye bölerek 2.5V

kaydıran bir işlemsel kuvvetlendirici devresi yerleştirilmiştir. Bu ek devre üzerinde OPA2227 entegresi kullanılmıştır. Devre Şeması Şekil 5.6'da gösterilmektedir.



Şekil 5.6 : Kaydıma ve seviye dengeleme devresi

Kaydırma devresinin çıkışında hassas bir çıkış elde edilebilmesi için %1'lik dirençler kullanılmıştır.

6. SAYISAL VERİ TOPLAMA BÖLÜMÜ

6.1 Amaç

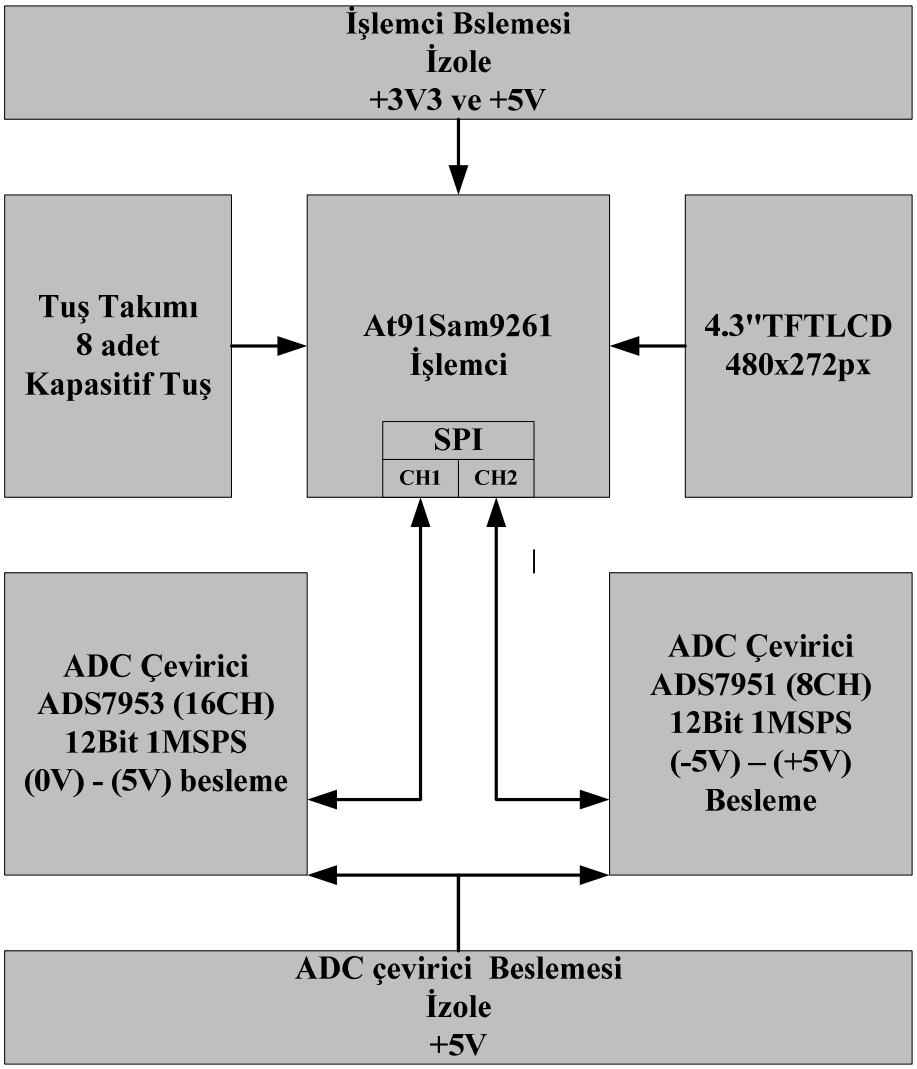
Analog işaret den sayısala dönüştürülmüş büyüklükleri saklanması işlenmesi görüntülenmesi görevlerini gerçekleştirecek olan blok tasarlanmıştır.

6.2 Tasarlanan Merkez Ölçüm Sistemi

At91SAM9261 ARM926JE mikroişlemcisi kullanılmaktadır. İşlemci üzerinde TFT kontrolör bloğu bulunmaktadır. ADC çevirici sistemleri ile haberleşmesi amacı ile devre üzerinde bir SPI çıkışı bırakılmıştır. İşlemcinin üzerinde TFT kontrolör bulunmaktadır. ADC üzerinden gelen analog büyüklükleri gösterge üzerinde gösterilmesi için 4.3" 480x272 piksel Bir TFT LCD kullanılmıştır. Ayrıca İşlemci üzerinde iki adet ana USB yer almaktadır. Bunlara bağlanacak bir USB ile istenilen veriler kayıt altına alınabilecektir. Devre 6 katlı PCB teknolojisi ile üretilmiştir. Tuş kontrolü içinde tasarlanan 8 adet kapasitif tuş kullanılmıştır.

Sistem üzerinde 24 adet ADC çevirici kanal bulunmaktadır. Bunlar seçimli olarak çalışmaktadır. Aynı anda 24 noktadan data almak mümkün değildir. 16 adet ve 8 adet olarak iki parça şeklinde tasarım gerçekleştirilmiştir. 8 adet çevirici üzerinde ±5V kaynak bulunmaktadır. Diğer 16 adet üzerinde ise 0-5V kaynak bulunmaktadır.

Sistemin Blok diyagramı şekil 6.1 de gösterildiği gibidir.



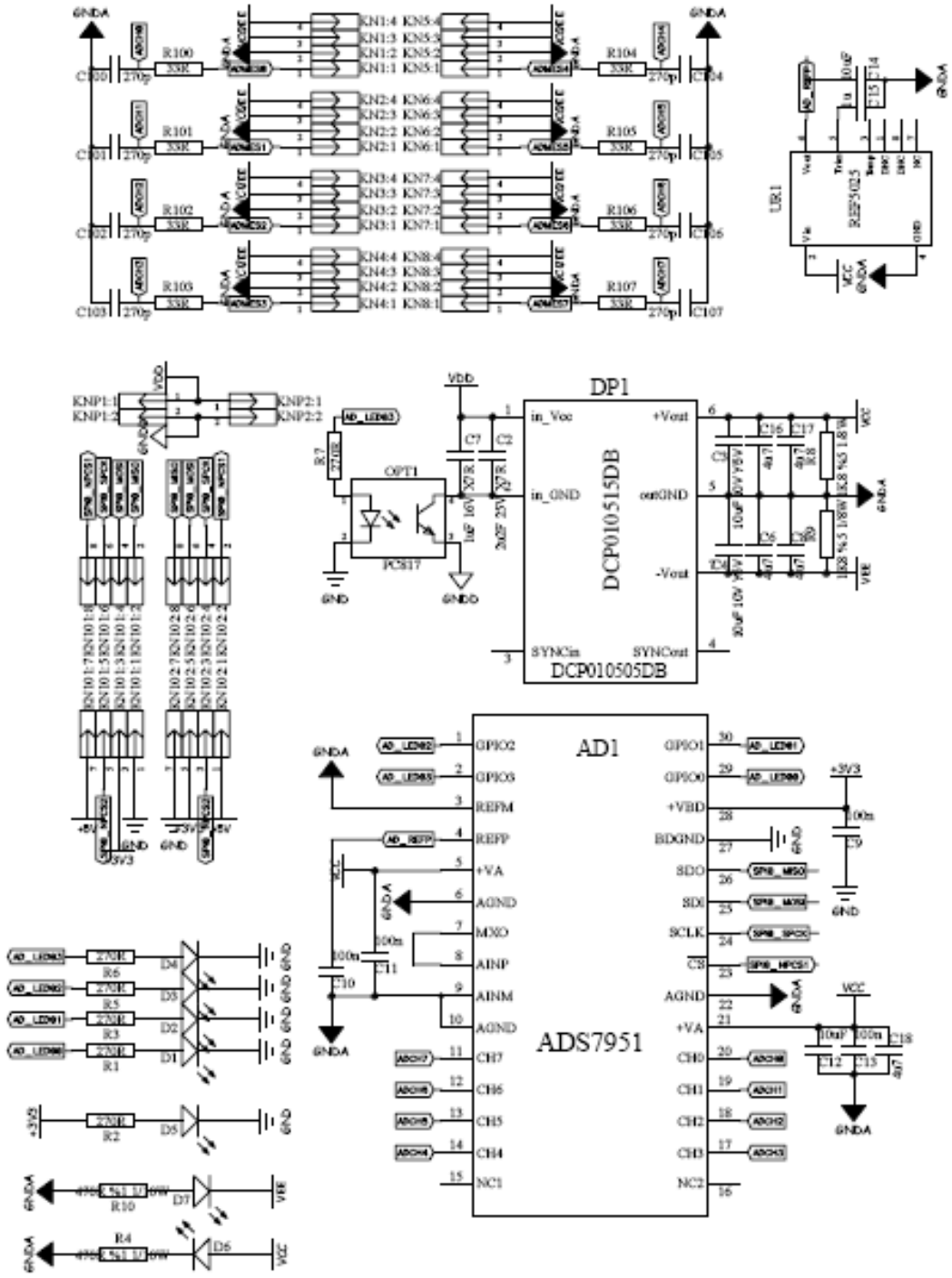
Şekil 6.1 : Ölçme sistemi blok diyagramı

6.3 ADC Çevirici Devre Tasarımı

1MSPS çevirme kapasitesine sahip ADS7951(8CH) ve ADS7953(16CH) ADC çevirici entegreleri kullanılmıştır. Devrede ayrı ADC çeviriciler kullanılmasının nedeni bu seviyedeki işlemciler üzerinde ADC bulunmaması ve devrenin iç gürültüsünden bağımsız bir devre olmasının avantajından yaralanılmasıdır.

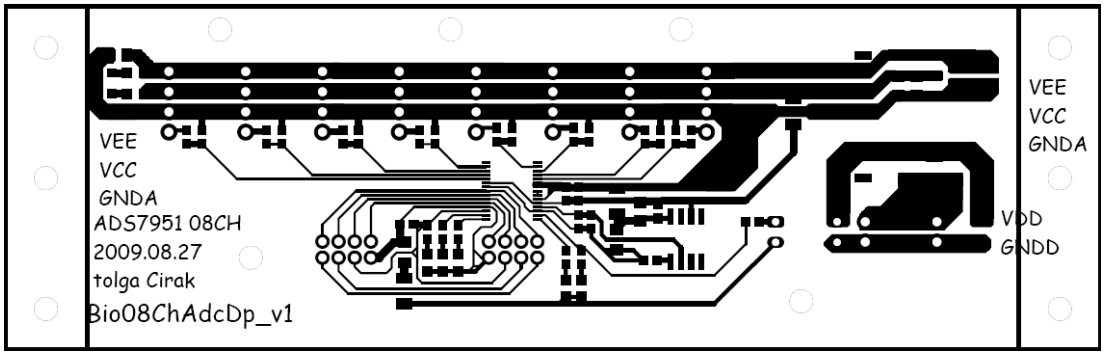
ADS7951(8CH) çevirici devresi üzerinde ±5V, GNDA ve ADC girişi olan konektörler ve entegreden oluşmaktadır. Devrelerin beslemesi izole 5V kaynaktan sağlanmaktadır. ±5V kaynak için DCP010505DB entegresi kullanılmıştır. Devrenin şeması Şekil 6.2'de gösterildiği gibidir. ADS7951(8CH) 12Bit çözünürlüğe sahip ADC dönüştürücü entegresi 1MSPS örnekleme hızına sahiptir. En yüksek hızda haberleşme gerçekleştirildiğinde kanal başına 125KHz/kanal örnekleme hızına

ulaşılabilmektedir. Okuyacağımız işaretlerin Nyquist frekansına göre 8KHz örnekleme hızı sistemimiz için yeterli olacaktır. Bu 8 kanal 8Khz/kanal örnekleme hızına sahiptir.



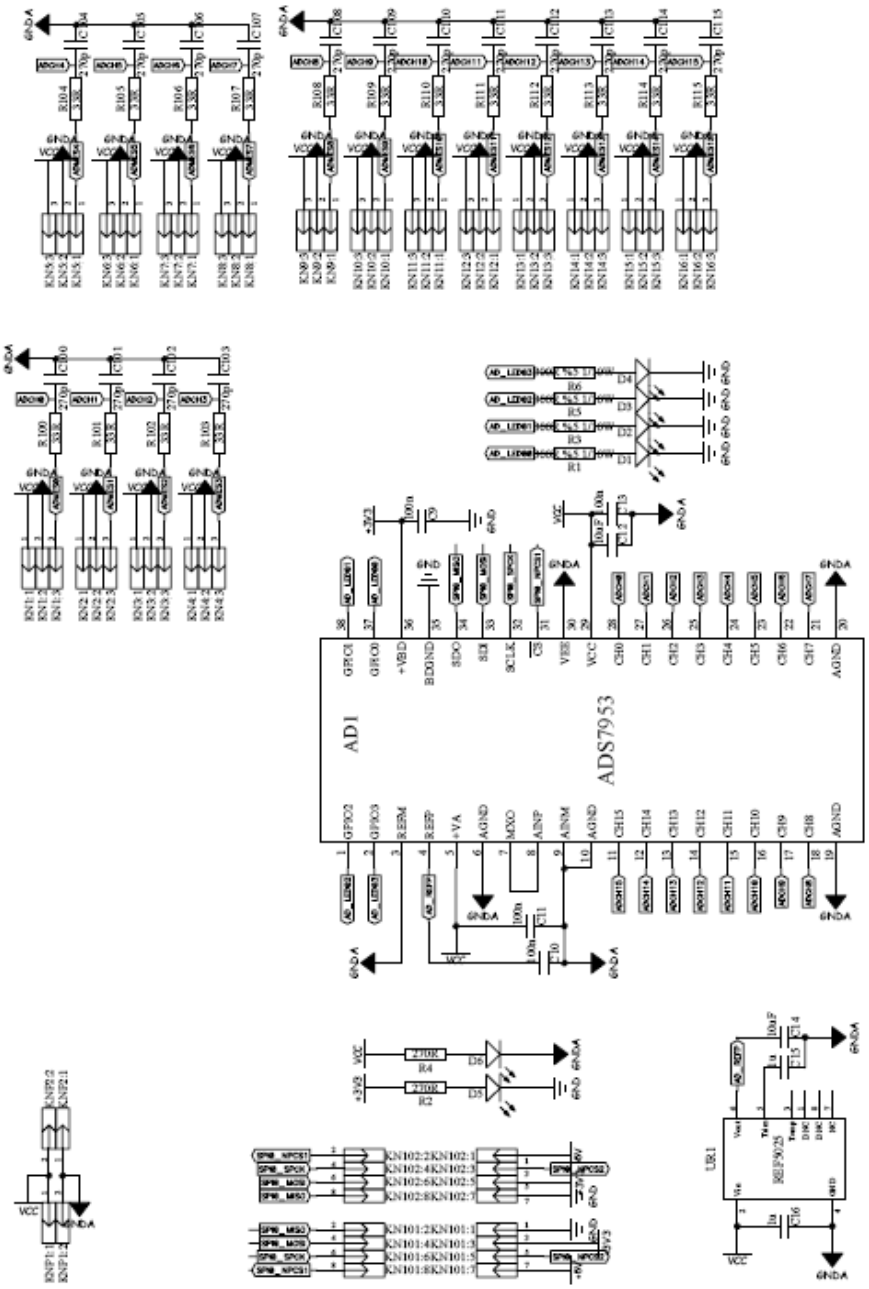
Şekil 6.2 : 8 kanal (+5V) - (–5V) ölçme sistemi şeması

Devrenin PCB çizimi şekil6.3 de gösterildiği gibidir.

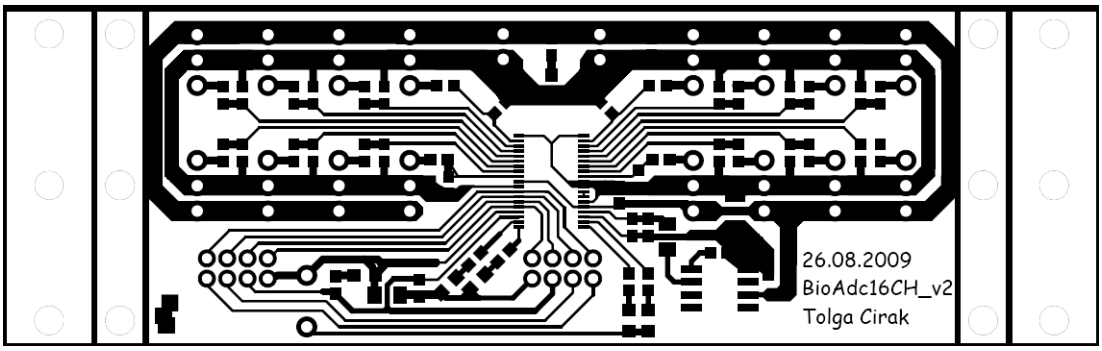


Şekil 6.3 : 8 kanal (+5V) - (–5V) ölçme sistemi PCB çizimi

ADS7953(16CH) çevirici devresi üzerinde 5V, GNDA ve ADC girişi olan konektörler ve entegreden oluşmaktadır. Devrelerin beslemesi izole 5V kaynaktan sağlanmaktadır. ADS7951(16CH) 12Bit çözünürlüğe sahip ADC dönüştürücü entegresi 1MSPS örnekleme hızına sahiptir. En yüksek hızda haberleşme gerçekleştirildiğinde kanal başına 62.5KHz örnekleme hızına ulaşılabilmektedir. Hazırlanan devrede kullanılan analog sayısal dönüştürme entegresinin çalışma yapısı nedeniyle örnekleme hızı kanal başına 4KHz/kanal olarak gerçekleştirilebilmiştir. Devrenin şeması şekil 6.4 de gösterildiği gibidir.



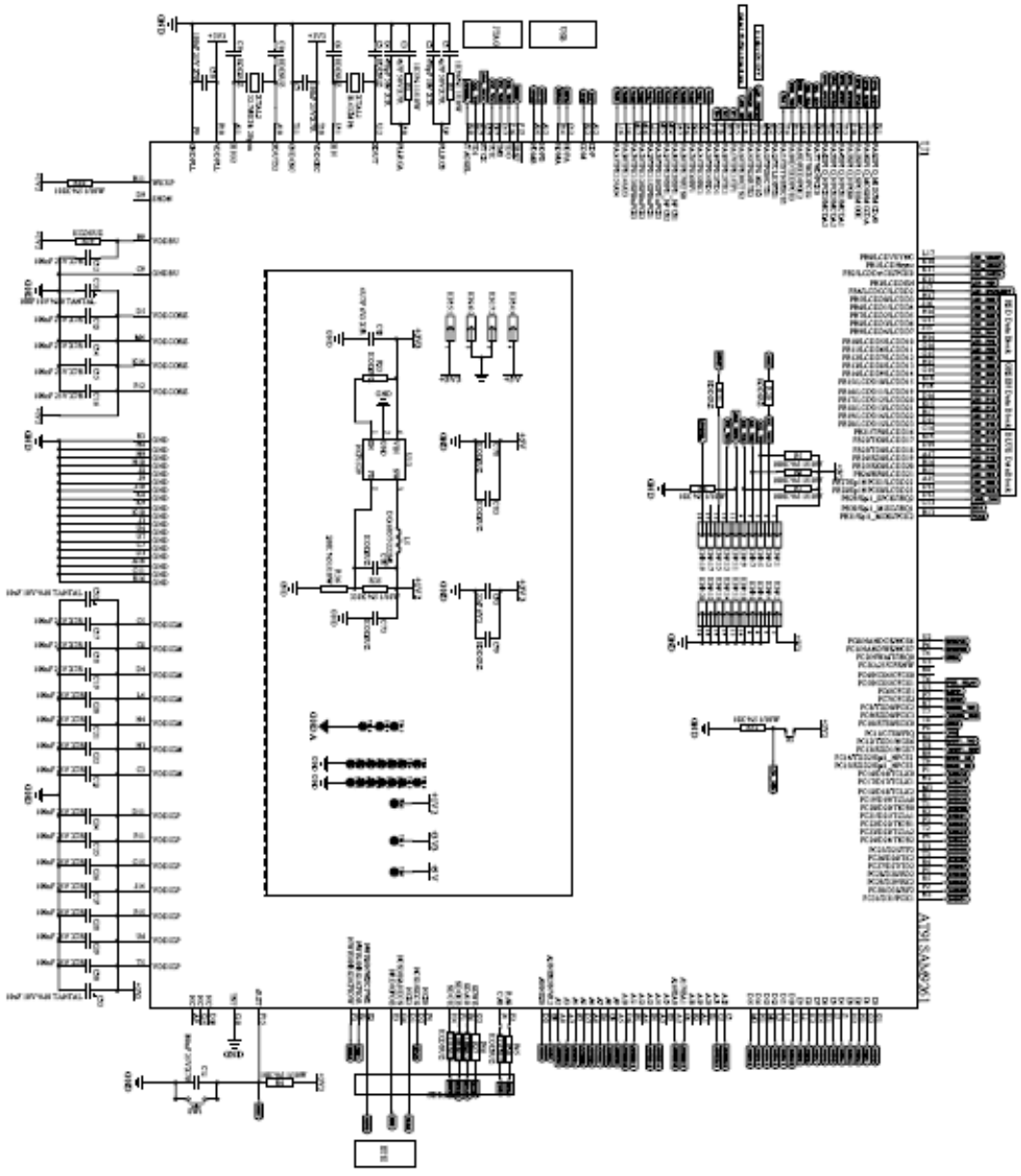
Şekil 6.4 : 16 kanal 0-5V ölçme sistemi şeması



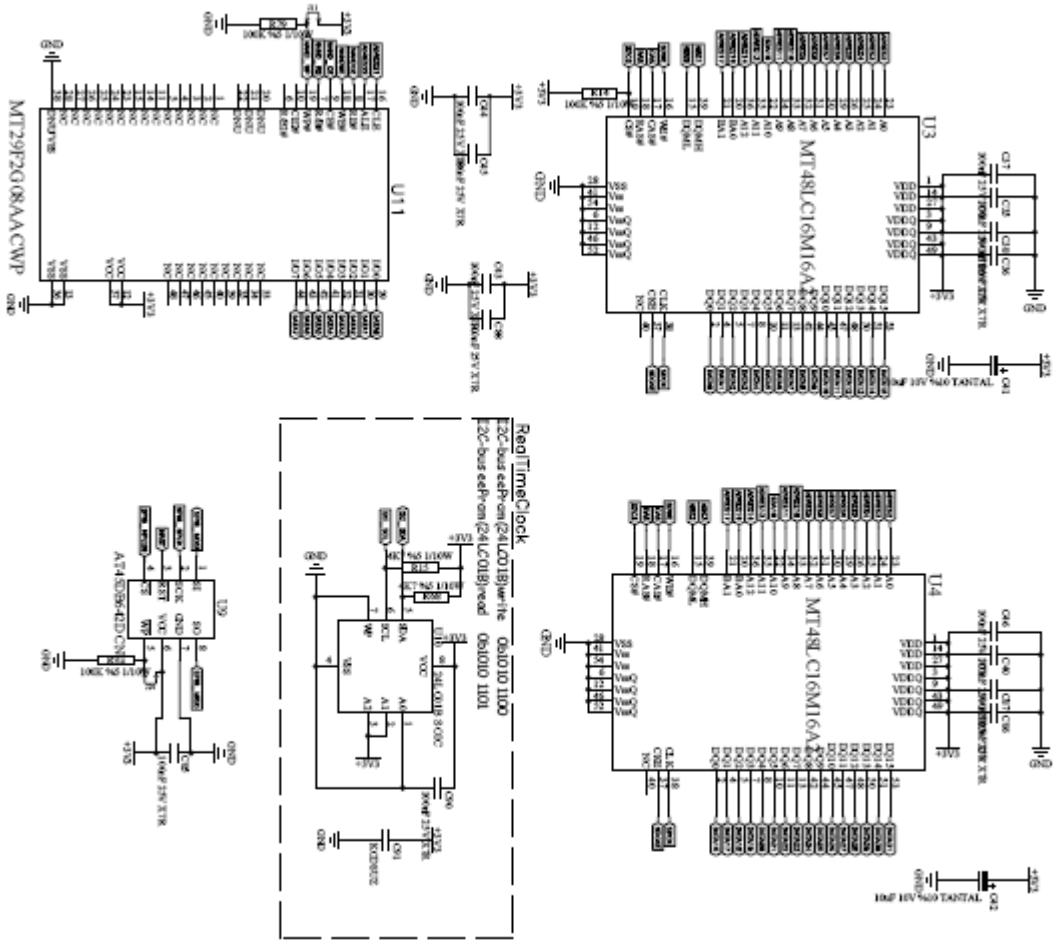
Şekil 6.5 : 16 kanal 0-5V ölçme sistemi PCB çizimi

6.4 Mikroişlemci Devre Tasarımı

Mikroişlemci Devre Tasarımı Bloklar halinde gerçekleştirilmiştir. Sırayla Mikroişlemci Bloğu, Bellek Bloğu ve TFTLCD bağlantı Bloğu olmak üzere üç Bloktan oluşmaktadır. ADC haberleşmesi için SPI ve iki tane CS pini bir konektöre çıkarılmıştır. Yazılım içerisinden seçilen moda bağlı olarak kanal seçimleri yapılır. İşaret çizme işlemi yaptırılacaksa 8CH ADS7951 ünitesi seçilmelidir.



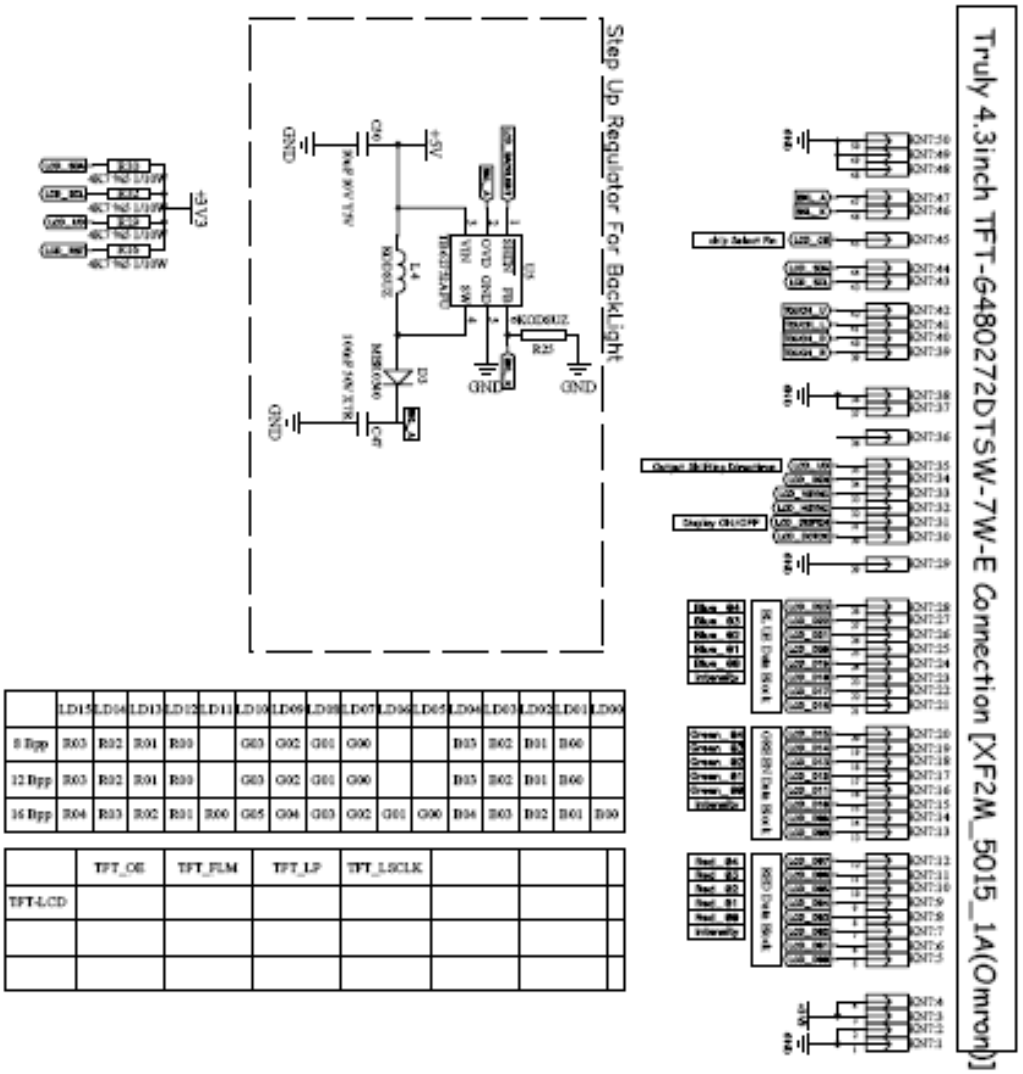
Şekil 6.6 : Mikroişlemci ARM926JE şeması.



Şekil 6.7 : NAND flash ve SDRAM şeması.

Şekil 6.7 de gösterilmekte olan devre tasarımı, 32bit adres basına sahip SDRAM geçici hafıza elemanı, NAND flash kalıcı bellek ve EEPROM hafıza elemanlarının bağlantılarını içermektedir.

SDRAM ve NAND flash ile ana işlemci arasındaki bağlantı PCB tasarımında çizilen yollara özellikle dikkat edilmesini gerekmektedir. Bu veri yolları ve adres yolları üzerindeki haberleşme hızı 100MHz olmaktadır. Yüksek frekans PCB bilgisayar yazılımları ile işaretler tasarım öncesinde mutlaka test edilmelidir.



Şekil 6.8 : TFTLCD bağlantı şeması.

Merkez Sistem Devre tasarımı AT91SAM9261 işlemcisi için yayınlanmış olan referanslar üzerinden hareket edilerek gerçekleştirilmiştir.

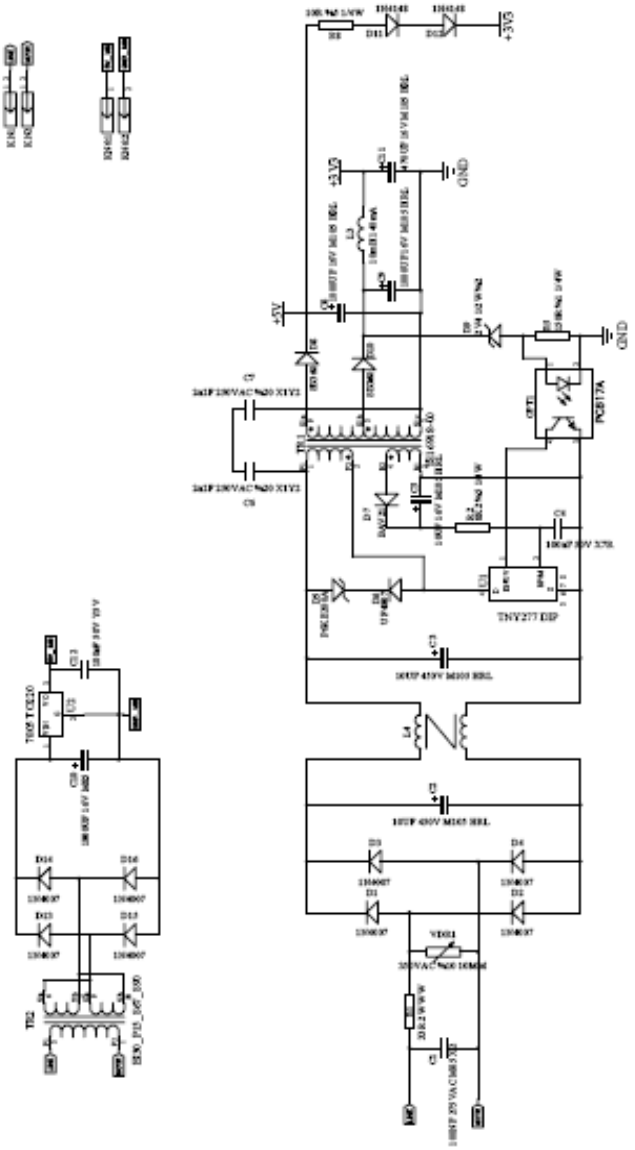
Devre üzerinde tuşlarla haberleşmeyi sağlayacak konektörler ve ADC çeviriciler için özel bir konektör bulunmaktadır.

İşlemci çalışmak için 3V3 ve 1V2 olmak üzere iki değişik kaynağa gereksinim duymaktadır. Bunun için güçlü ve izole bir SMPS tasarımı gerçekleştirilmiştir.

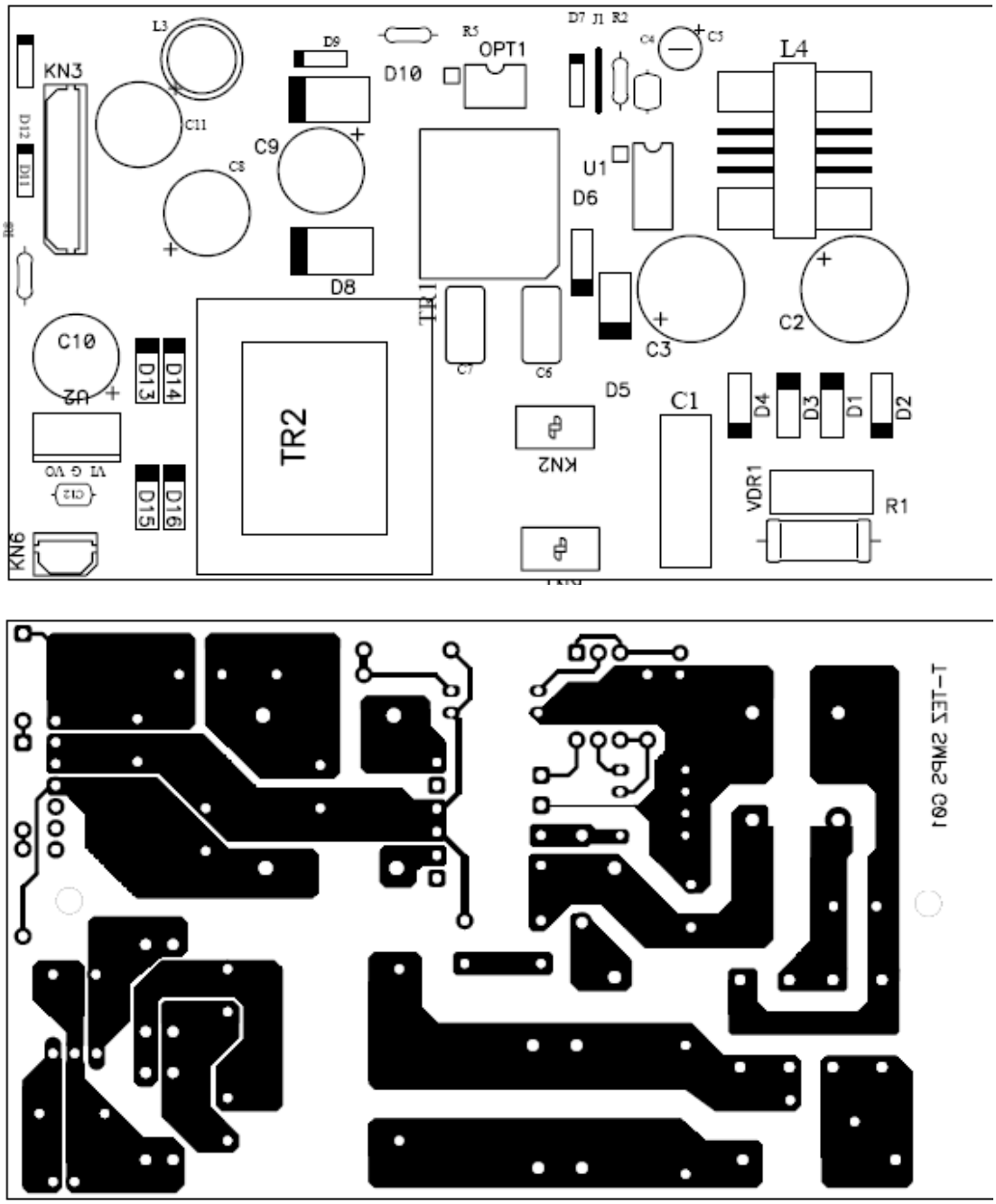
6.5 Güç Katı Devre Tasarımı

Güç katı iki bölümden oluşmaktadır. SMPS katı entegresi olarak TNY272 kullanılmıştır. SMPS katı çıkışında +5V ve +3V3 çıkış elde edilmektedir. İzole SMPS çıkışı mikroişlemci devresinin beslemesinde kullanılmıştır. Bu besleme aynı zamanda bağlanacak olan USB flash hafıza elemanı, klavye gibi çevre elemanlarını da beslemek için kullanılmaktadır. ADC çevirici katlarının beslemesi için trafolu bir tasarım kullanılmıştır. 5V çıkış vermektedir. Çıkışta bir LDO entegre kullanılmıştır.

Devre şeması ve PCB çizimleri Şekil 6.9 ve Şekil 6.10'da gösterilmektedir.



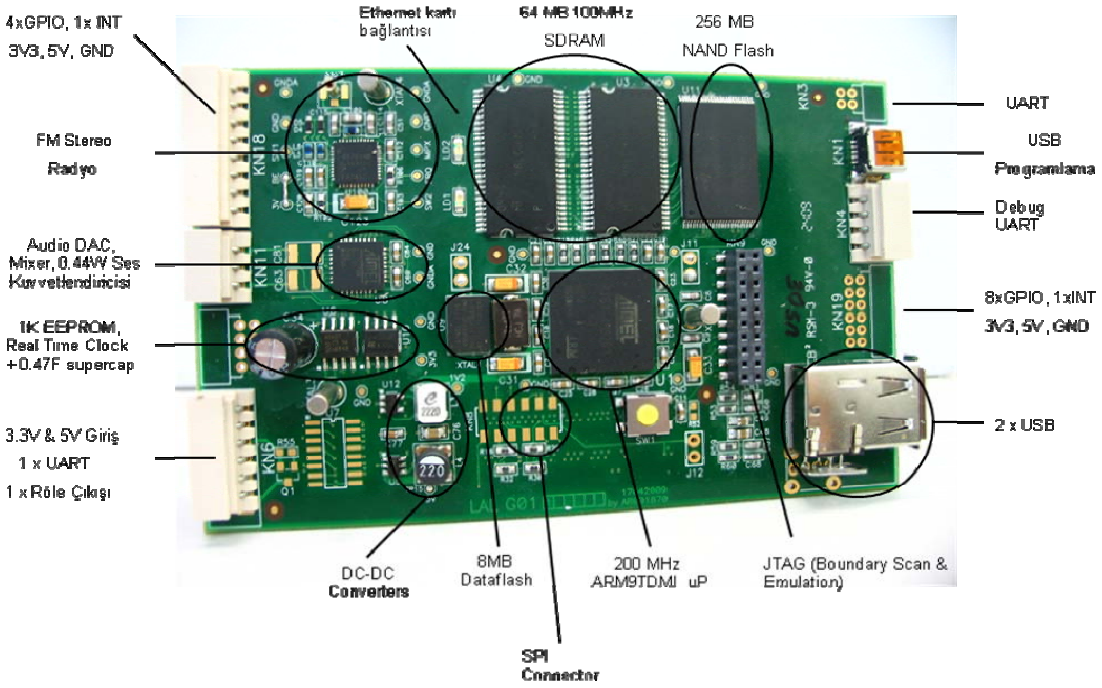
Şekil 6.9 : Besleme devre şeması



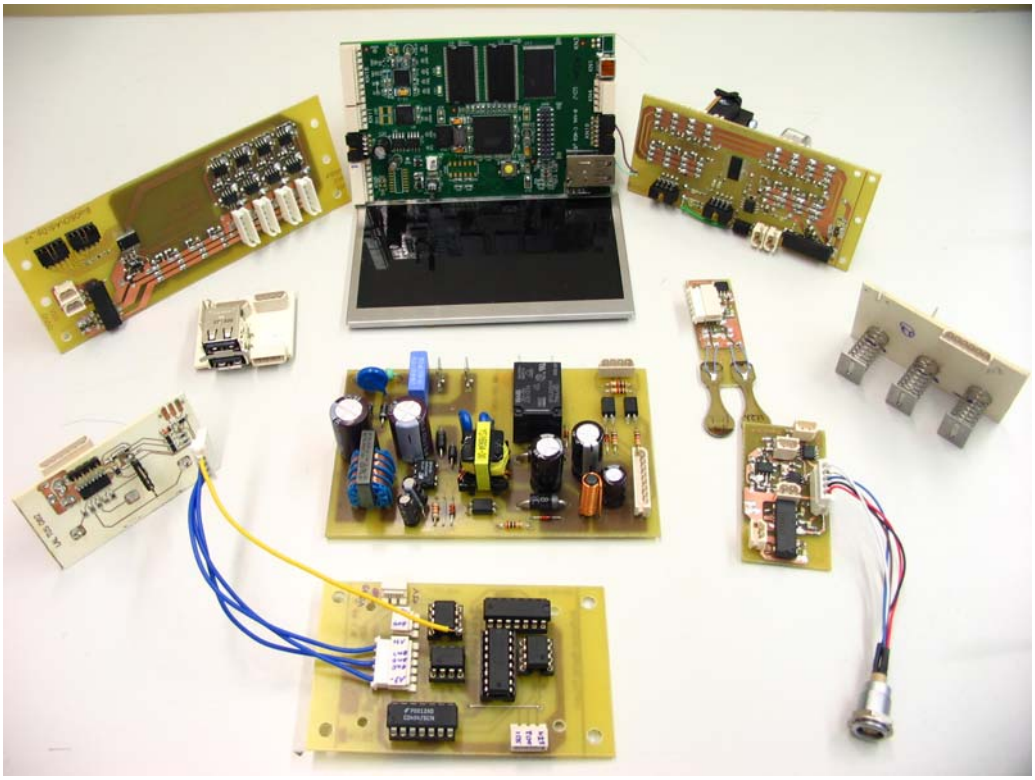
Şekil 6.10 : Besleme PCB çizimi

6.6 Cihaz İçerisinde Kullanılan Kartlar

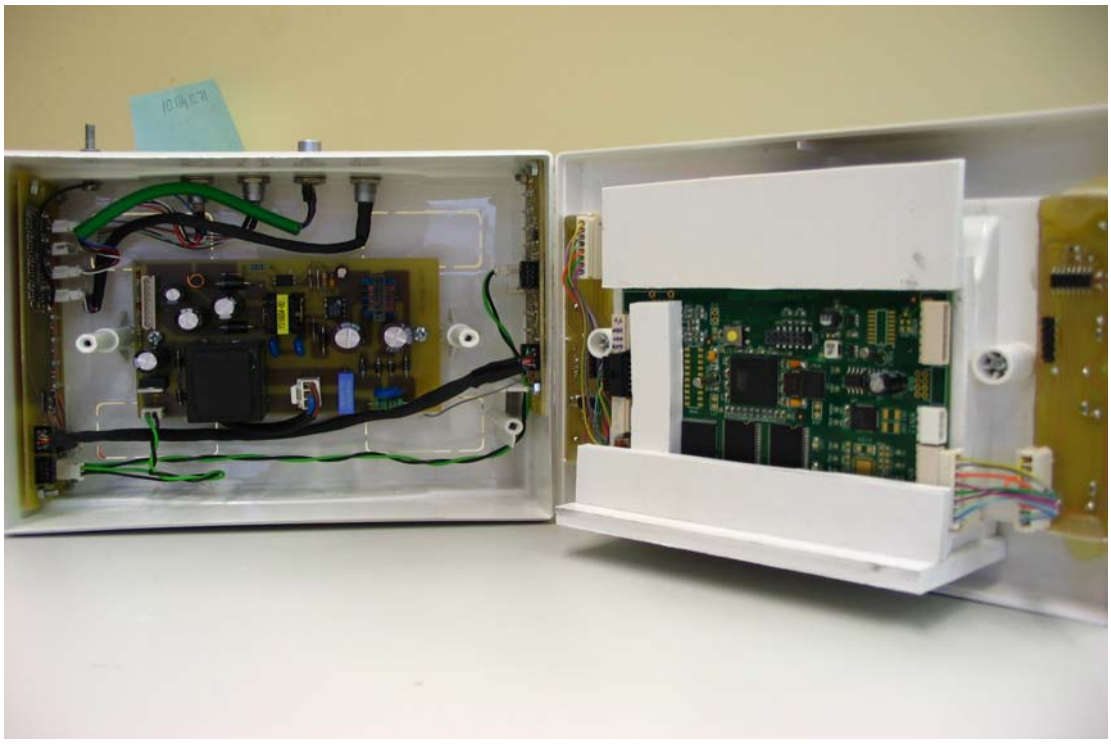
Cihazın içerisinde kullanılmak üzere tasarlanmış olan kartlar



Şekil 6.11 : Anakart donanım tasarımı



Şekil 6.12 : Cihaz içerisindeki kullanılan kart tasarımları



Şekil 6.13 : Tasarlanan cihazın iç görünümü ve bağlantılar

6.7 Tasarlanan Cihazın Görünümü

Cihazın EMG işaretinin, çizimi sırasındaki görünümü Şekil 6.14'de gösterilmektedir.

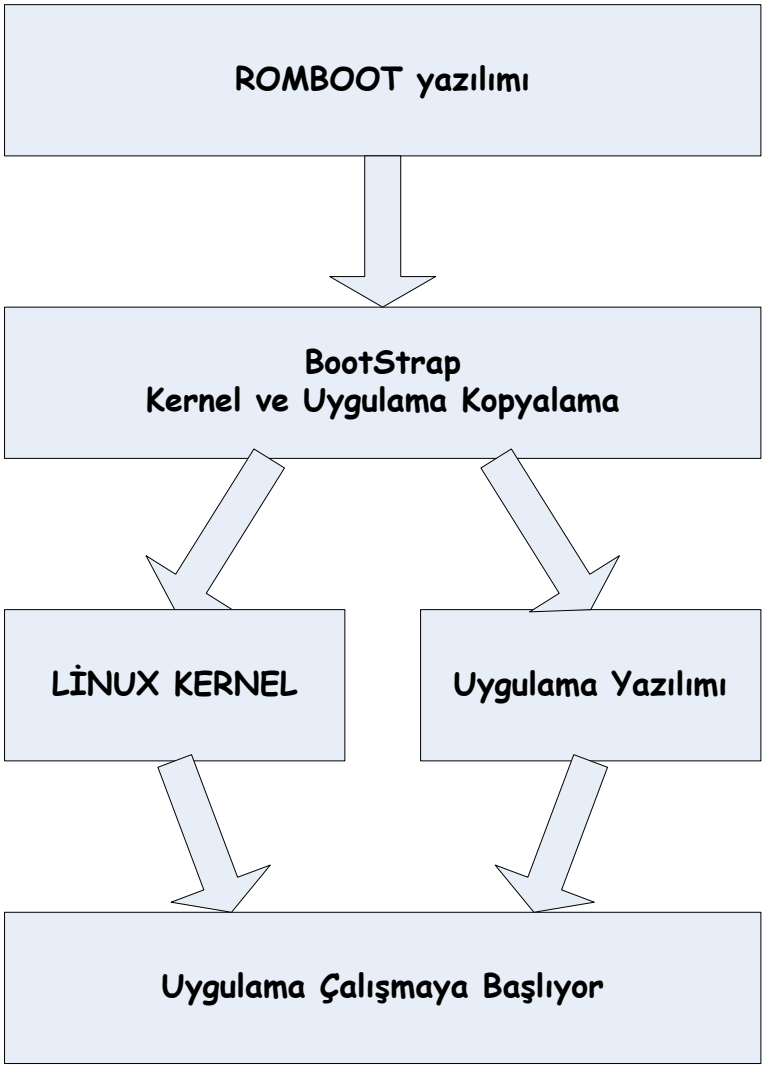


Şekil 6.14 : Çoklu EMG işareti gösterim ekranı.

6.8 Yazılım Tasarımı

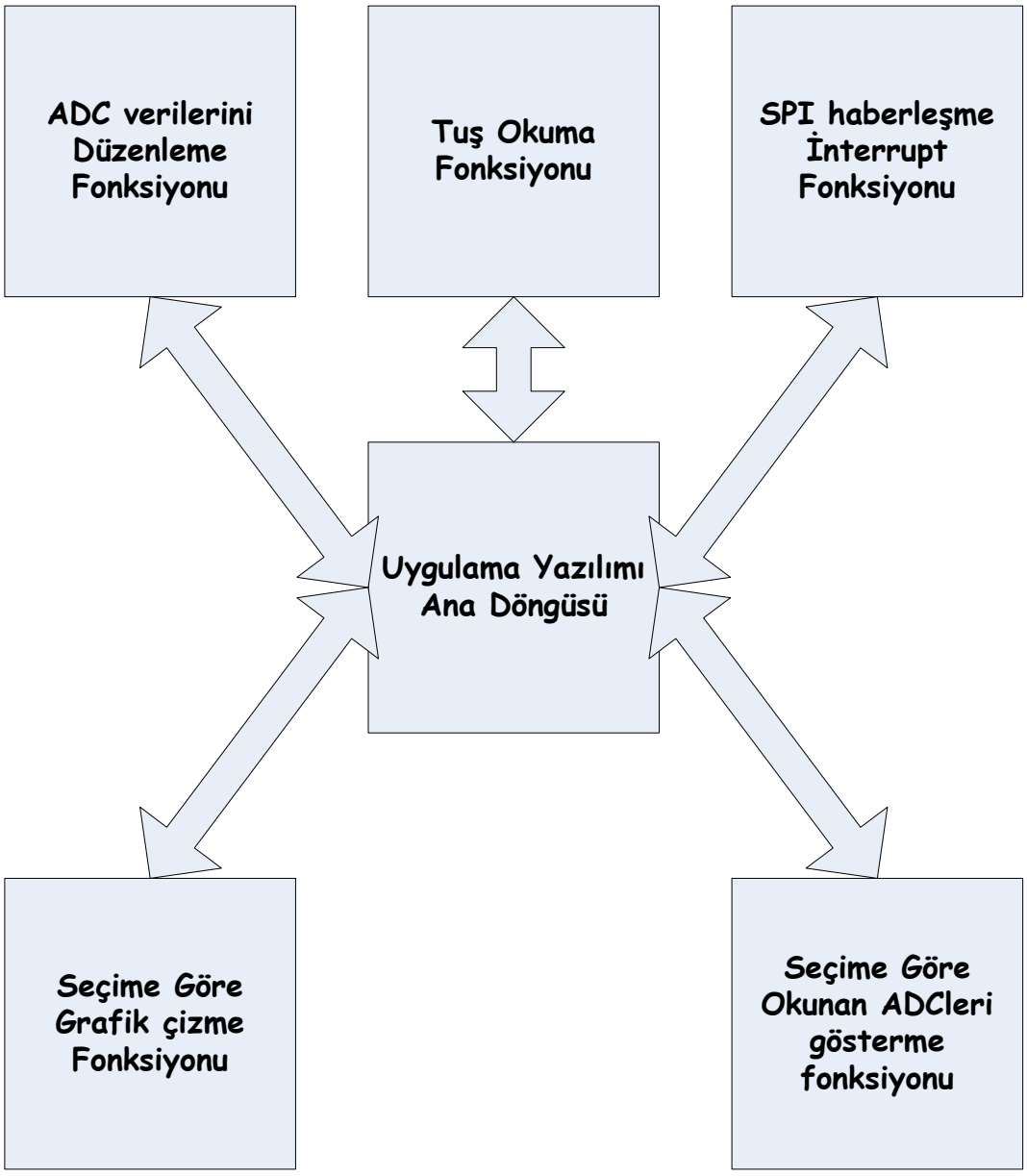
Yazılım tasarımı iki bloktan oluşmaktadır. Linux işletim sistemi ve SDL kütüphanesi kullanılarak yazılan Uygulama yazılımı olarak iki anan gruba ayrılmaktadır. Merkez ölçme sisteminin yazılım yapısı Şekil 6.14'de gösterilmektedir.

Linux kernel ihtiyaç duyulan özelliklere göre derlendikten sonra Dataflash içerisine kaydedilmektedir. Sistem enerjilendirildiğinde fabrika çıkışında yazılmış olan RomBoot yazılımı çalışmaya başlar ve BootUp işlemi başlatılır. BootUp yazılımının görevi Linux kernel yazılımı ve uygulama yazılımını dataFlash'tan kopyalayarak SDRAM üzerinde belirlenen adrese kopyalamaktır. Bu sürede işlemci ekranında bir açılış resmi gösterilmektedir.



Şekil 6.15 : Merkez ölçme sistemi yazılım yapısı

SDL kütüphanesi kullanılarak yazılan uygulama yazılımı içerisinde grafik çizme ekrana yazı yazma tuşları tarama haberleşmeyi yönetme gibi bloklar yer almaktadır. Uygulama yazılımı fonksiyonlarının blokları Şekil 6.16'de blok diyagram şeklinde gösterilmektedir.



Şekil 6.16 : Uygulama yazılımı blok şeması

KAYNAKLAR

[1] Cobbold, R.S.C., Transducers for Biomedical Measurements: Principles and Applications, John Wiley and Sons. Inc., 1974.

[2] Ellis, J.F. and Walstrom, P.L., "Moving coil linear variable differential transformer", Review Science Instrumentation, V.49, No.3, pp. 389-400, 1978..

[3] Korürek, M., Tip Elektroniğinde Kullanılan Kuvvetlendiriciler ve Dönüştürücüler, Ders Notu, I.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, 1988.

[4] Netting van Rijn, A.C. et. al., "High-quality recording of bioelectric events, Part 1 Interference reduction, theory and practice", Medical & Biological Engineering & Computing, 28, pp. 389-397, 1990.

[5] Nicholson, P.F. and Miller, S., The Bifet Design Manual, Texas Instrumentation, pp. 44-47, 1984-1985.

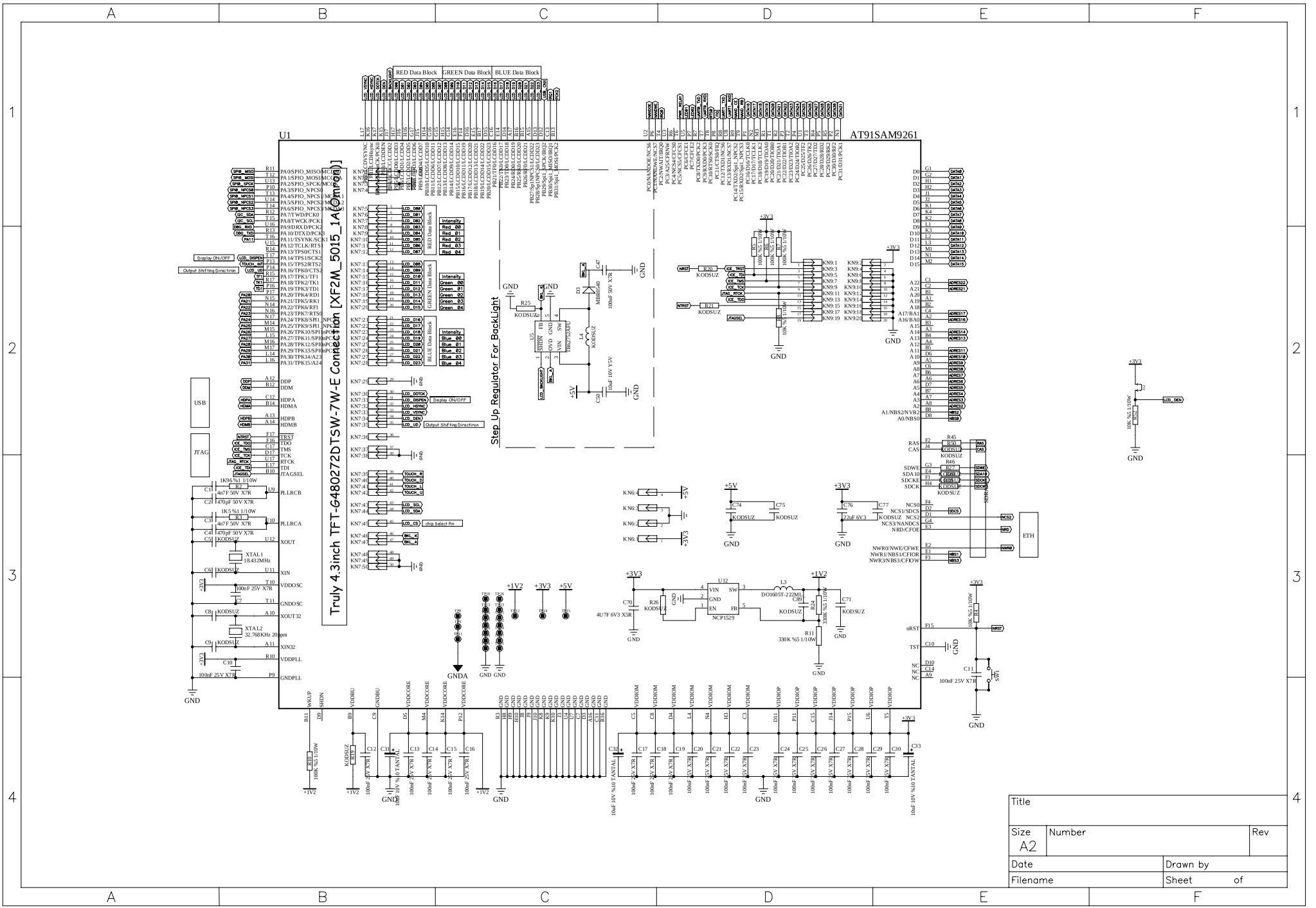
[6] Sheingold, D.H. ,(Ed.), Transducer Interfacing Handbook, Analog Devices Inc., pp. 135-143,1980.

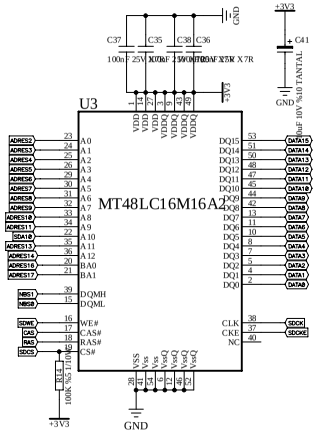
[7] Yazgan, E., Tip Elektroniğine Giriş, Ders Notu, I.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi, 1990-1991.**LePichon, X**., 1997. Kişisel görüşme.

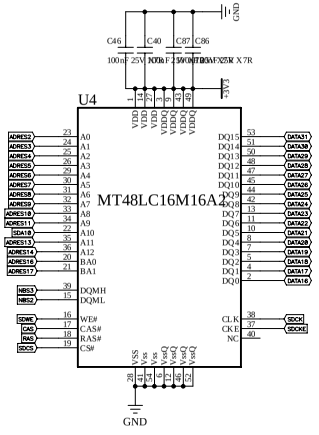
[8] Webster, J.G. (Ed.), Medical Instrumentation, Application and Design, Houghton Mifflin Company, pp. 273-309, 1978**Nelson, M.R**., 1988. Constraints on the seismic velocity structure of the crust and upper mantle beneath the eastern Tien Shan, Central Asia, *PhD Thesis,* MIT, Cambridge, MA.

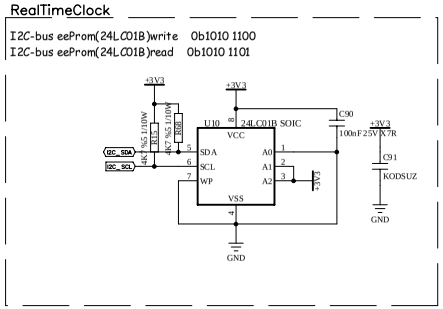
EKLER

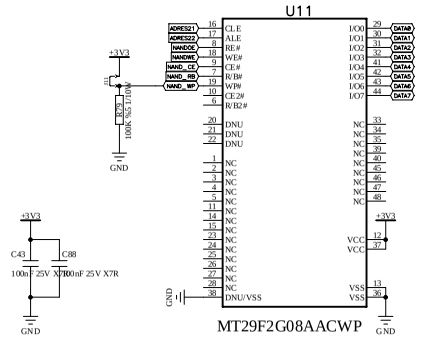
EK A.1 : Mikroişlemci Şematik Tasarımı

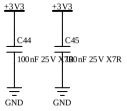

Truly 4.3inch TFT-G480272DTSW-7W-E Connection [XF2M_5015_1A(Mega)]
U1
AT91SAM9261
Step_Up_Regulator For_BackLight
RED Data Block
GREEN Data Block
BLUE Data Block
Intensity
Red_00
Red_01
Red_02
Red_03
Red_04
Green_00
Green_01
Green_02
Green_03
Green_04
Blue_00
Blue_01
Blue_02
Blue_03
Blue_04
Display ON/OFF
Output Shifting Direction
chip Select Pin
USB
JTAG
ETH
GNDA
Title
Size
A2
Number
Rev
Date
Drawn by
Filename
Sheet
of

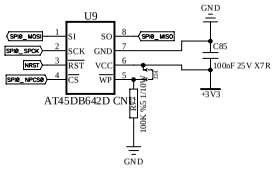








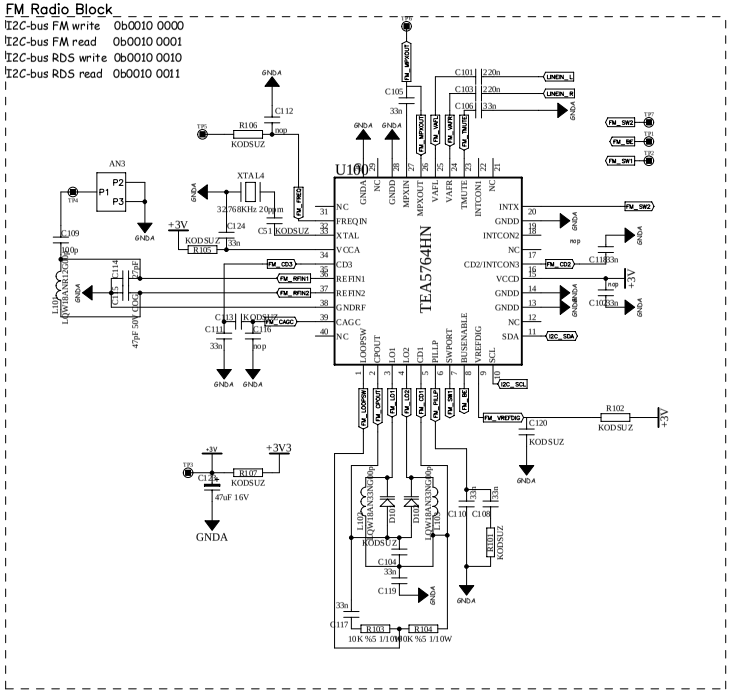




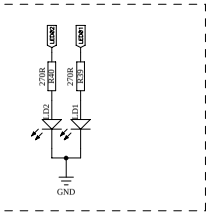
Title		
Size A2	Number	Rev
Date	Drawn by	
Filename	Sheet of	

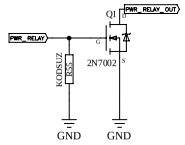
FM Radio Block

I2C-bus FM write 0b0010 0000
I2C-bus FM read 0b0010 0001
I2C-bus RDS write 0b0010 0010
I2C-bus RDS read 0b0010 0011

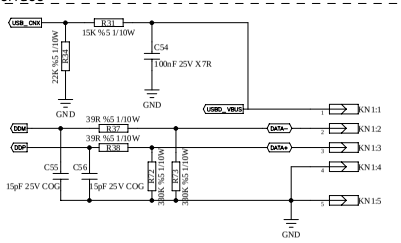


Button & LED

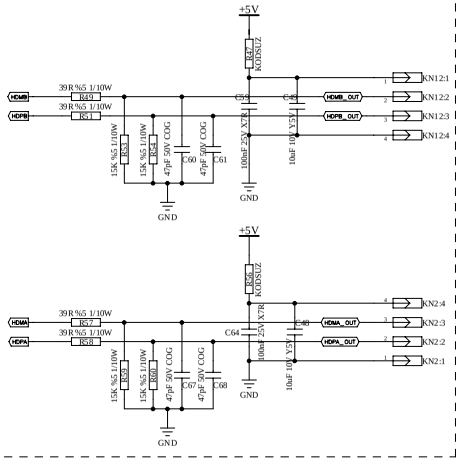




USB Device Interface

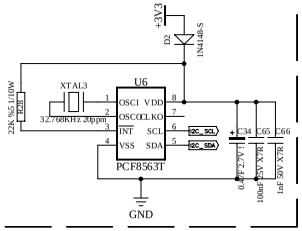


USB Host Interface

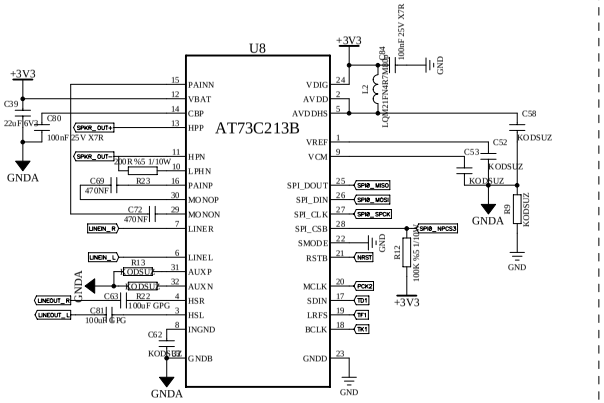


RealTimeClock

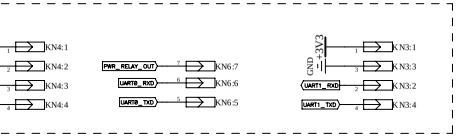
I2C-bus RTC (PCF8563)write 0b1010 0010
I2C-bus RTC (PCF8563)read 0b0010 0011



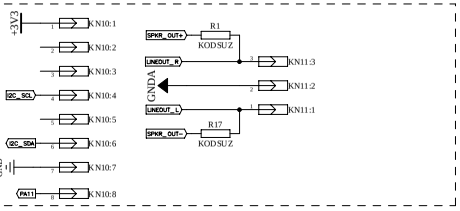
AUDIO DAC – OTL'ye cevrilecek



UATRs



AUDIO OUT & FM IN



Title		
Size A2	Number	Rev
Date		Drawn by
Filename		Sheet of

ÖZGEÇMİŞ

Ad Soyad:	**Tolga Çırak**
Doğum Yeri ve Tarihi:	**Afyon 21.09.1979**
Adres:	**Göztepe / İstanbul**
Lisans Üniversite:	**İstanbul Teknik Üniversitesi**
Yayın Listesi:	