

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Biyofizik Anabilim Dalı**

OPTİK TOMOGRAFİ SİSTEMİ İÇİN ELEKTRONİK DONANIM VE YAZILIMIN TASARIMI VE YAPIMI

Hüseyin Özgür KAZANCI

Yüksek Lisans Tezi

Antalya, 2009

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
SAĞLIK BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
Biyofizik Anabilim Dalı**

OPTİK TOMOGRAFİ SİSTEMİ İÇİN ELEKTRONİK DONANIM VE YAZILIMIN TASARIMI VE YAPIMI

Hüseyin Özgür KAZANCI

Yüksek Lisans Tezi

**Tez Danışmanı
Doç.Dr. Murat CANPOLAT**

Bu çalışma Akdeniz Üniversitesi Bilimsel Araştırma Projeleri Yönetim Birimi Tarafından Desteklenmiştir. (Proje No:2009.02.0122.003)

“Kaynakça Gösterilerek Tezimden Yararlanılabilir”

Antalya, 2009

Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Müdürlüğüne;

Bu çalışma jürimiz tarafından Biyofizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir. 16/06/2009

- Tez Danışmanı** : **Doç. Dr. Murat CANPOLAT**
Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi
Biyofizik Anabilim Dalı
- Üye** : **Prof. Dr. Oğuz Kerim BAŞKURT**
Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi
Fizyoloji Anabilim Dalı
- Üye** : **Yrd. Doç. Dr. Semir ÖZDEMİR**
Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi
Biyofizik Anabilim Dalı
- Üye** : **Yrd. Doç. Dr. Şükrü ÖZEN**
Akdeniz Üniversitesi
Elektrik-Elektronik Fakültesi
- Üye** : **Yrd. Doç. Dr. Uğur BİLGE**
Akdeniz Üniversitesi Tıp Fakültesi
Biyoistatistik ve Tıp Bilişimi Anabilim Dalı

ONAY:

Bu tez, Enstitü Yönetim Kurulunca belirlenen yukarıdaki jüri üyeleri tarafından uygun görülmüş ve Enstitü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih, ... / sayılı kararıyla kabul edilmiştir.

Prof. Dr. İsmail ÜSTÜNEL
Enstitü Müdürü

ÖZET

Bu çalışmada optik tomografi sisteminin veri toplama kısmı için gerekli olan elektronik donanım ve yazılım tasarlanmıştır. Elektronik donanım 2 kısımdan oluşmaktadır. Bunlar fotodiyotların üzerinde bulunduğu fotodiyot elektronik kartı ve mikrodenetleyicinin üzerinde bulunduğu ana elektronik kartıdır. Bu kartların dışında sistemde optik anahtarlama devresi ve anahtarlama sistemi bulunmaktadır. Yazılım olarak mikrodenetleyicinin içerisinde C dilinde yazılmış ve derlenmiş gömülü hex kod bulunmaktadır. Sistemi kontrol etmek amacı ile kullanıcı ara yüzey programı Delphi kullanıldı.

Anahtar Kelimeler : Optik tomografi sistemi, elektronik donanım ve yazılım.

ABSTRACT

In this study, electronics hardware and software for optic tomography system has been designed and implemented. Hardware consists of 2 boards. One of them is photodiode array board and the other one is main controller board has a microcontroller on it. Embedded C code has been compiled and loaded to microcontroller. Main PC program is Delphi based program which is master for all system.

Key words: Optic tomography system, electronics hardware and software.

TEŞEKKÜR

Bu alıőmanın gerekleŐmesine katkılarından dolayı, aŐaĐıda adı geçen kiŐi ve kuruluŐlara içtenlikle teşekkür ederim.

Sayın Doç.Dr. Murat CANPOLAT, tez çalıőmasının gerçekleŐmesi için beni yönlendirmiŐ ve gerekli ortamı saĐlamıŐtır.

Enelsa Elektronik alıőanlarından Sayın Ercan DURAN çalıőmamın elektronik donanım ve gömülü yazılım kısımlarında gerekli danıŐmanlıĐı ve katkıyı saĐlamıŐtır.

Enelsa Elektronik alıőanlarından Sayın Atilla YARALI çalıőmamın bilgisayar yazılımı kısmında gerekli danıŐmanlıĐı ve katkıyı saĐlamıŐtır.

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
ÖZET	iv
ABSTRACT	v
TEŞEKKÜR	vi
İÇİNDEKİLER DİZİNİ	vii
SİMGELER ve KISALTMALAR DİZİNİ	ix
ŞEKİLLER DİZİNİ	x
TABLolar DİZİNİ	xii
GİRİŞ	1
GENEL BİLGİLER	3
2.1. Dokunun Optiksel Özellikleri	3
2.1.1. Absorpsiyon	3
2.1.2. Saçılma	4
2.1.3. Absorpsiyon ve Saçılmanın Olduğu Durum	4
2.1.4. Farklı Doku Tiplerinin Optiksel Özellikleri	5
2.2. Meme Optik Tomografi Sistemi	6
2.2.1. Meme Optik Tomografi Sisteminin Elektronik Yapısı	8
GEREÇLER VE YÖNTEMLER	10
3.1. Optik Tomografi Sistemi Yapısı	10
3.1.1. Optik Tomografi Sistemi Blok Şeması	10
3.1.2. Optik Tomografi Sistemi Elektronik Yapısı	12
3.1.2.1. Fotodiyot Elektronik Kartının Yapısı	12
3.1.2.2. Ana Kartın Yapısı	28
3.1.3. Optik Tomografi Sisteminin Çalışma Prensibi	33
3.2. Optik Tomografi Sisteminde Kullanılan Malzemeler	34
3.3. VX500 Fiber Optik Anahtarlama Sistemi	34
3.4. Mekanik Aksam	37
3.5. Yazılım	42
3.5.1. Yazılım Algoritması	42
3.5.2. Gömülü Sistem Yazılımı	43
3.5.3. Bilgisayar Yazılımı	43

BULGULAR	45
TARTIŞMA	49
SONUÇLAR	51
KAYNAKLAR	52
ÖZGEÇMİŞ	56
EKLER	57
Ek 1. Gömülü Yazılım	
Ek 2. Elektronik Malzeme Listesi	

SİMGELER VE KISALTMALAR

NIR	:	Near Infrared
DOT	:	Diffüz Optik Tomografi
CW	:	Continuous Wave
FD	:	Frequency Domain
TD	:	Time Domain
ICD2	:	In Circuit Debugger2
MRI	:	Magnetic Resonance Imaging
A/D	:	Analog/Dijital
BGA	:	Ball Grid Array
CT	:	Computerized Tomography
AVDD	:	Analog Gerilim Kaynağı
DVDD	:	Dijital Gerilim Kaynağı
AGND	:	Analog Toprak
DGND	:	Dijital Toprak
VREF	:	Referans Gerilim
SMD	:	Surface Mounted Devices
MOSFET	:	Metal Oxide Silicon Field Effect Transistor
QGND	:	Quiet Analog Toprak
DVALID	:	Dijital Geçerli Çıkışı
DIN_CFG	:	Data Konfigurasyon İşareti
CLK_CFG	:	Saat Konfigurasyon İşareti
RESĖT	:	Sıfırlama Girişİ
CONV	:	Çevrim Kontrol Girişİ
DIN	:	Seri Veri Girişİ
DOUT	:	Seri Veri Çıkışı
NC	:	Bağlı Değil
CLK	:	Ana Saat Girişİ
DCLK	:	Seri Veri Saat Girişİ
NCONT	:	Non-Continuous
CONT	:	Continuous
INT	:	Integrate
CINT	:	Entegrasyon Kapasitesi
CCD	:	Chargely Coupled Device
FPGA	:	Alanda Programlanabilir Geçitler Kümesi
2D	:	İki boyutlu
3D	:	Üç boyutlu

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil		Sayfa
2.1.	Absorpsiyon katsayısı dalga boyu eğrisi	3
2.2.	Meme optik tomografi sistemi	6
2.3.	Meme optik tomografi sistemi kaynak ve fotodiyotlar	7
2.4.	Meme optik tomografi sisteminde kullanılan akımı gerilime çeviren analog devre	8
2.5.	Reset, entegrasyon, tutma zamanları	8
2.6.	IDSİ şirketinin yaptığı meme optik tomografi sisteminin blok diyagramı	9
3.1.	Optik tomografi sistemi genel yapısı	10
3.2.	Optik prob	11
3.3.	Optik tomografi sisteminin şematik görüntüsü	12
3.4.	Optik tomografi sistemi dedektör elektronik yapısı	13
3.5.	DDC232 tümdevresinin blok yapısı	15
3.6.	Seri bağlı DDC232 yapısı	16
3.7.	CONV'la ilgili zamanlama diyagramı	17
3.8.	DDC232 tümdevresi pin diyagramı	18
3.9.	DDC232 giriş katı	19
3.10.	DDC232 zamanlama diyagramı	20
3.11.	DDC232 işlemsel yükselteç konfigürasyonları	21
3.12.	DDC232'de konfigürasyon verisinin yazılması ve okunması	22
3.13.	Reset işareti	24
3.14.	DDC232 durum diyagramı	24
3.15.	OSD35-LR-D fotodiyotu üstten görünüşü	25
3.16.	DDC232 tümdevresi 8 katlı soketi	26
3.17.	Fotodiyot elektronik kartı	27
3.18.	Ana elektronik kart devresi	29
3.19.	OPA350 işlemsel yükseltecinin ana elektronik karttaki kullanım şeması	30
3.20.	Ana elektronik kartta kullanılan MAX232 tümdevresi	30
3.21.	Mikrodenetleyici ve giriş çıkış pinleri (DDC232 ve VX500 bağlantıları)	31
3.22.	Optokuplör bağlantı şeması	32
3.23.	DDC232 ve VX500 bağlantı konnektörleri	33
3.24.	VX500 fiber optik anahtar	35
3.25.	VX500 fiber optik anahtar elektronik soketi	35
3.26.	Paralel port bağlantısı	37
3.27.	Alimünyum fotodiyot kümesi pano kapağı iç kısım	38
3.28.	Alimünyum fotodiyot kümesi pano kapağı dış kısım	39
3.29.	Ana kart montaj yeri	39

3.30.	Dedektör fiberlerin fotodiyot kartı panosuna konnektörlerle olan bağlantısı	40
3.31.	100'lük fiber prob, optik anahtar, optik tomografi cihazı	41
3.32.	Yazılım algoritması	42
3.33.	Delphi programı arayüzeyi	44
3.34.	Analiz edilen kaynak-dedektörler	46
3.35.	0. Kaynaktan lazer gönderildiğinde dedektörlerden alınan ölçüm neticeleri	48

TABLolar DİZİNİ

Tablo		Sayfa
2.1.	Absorpsiyon ve saçılma katsayıları	5
3.1.	Pin konfigürasyonu ve tanımlamaları	18
3.2.	Konfigürasyon yazmacı	22
3.3.	Güç/Hız modları, saat frekansları ve maksimum veri hızı	23
3.4.	CLK işareti konfigürasyonu	23
3.5.	OSD35-LR-D fotodiyot özellikleri	25
3.6.	VX500 elektronik soket pin tablosu	36
3.7.	Lazer gönderildiği durumda farklı entegrasyon zamanlarında ölçülen değerler	46

GİRİŞ

Görünür ışığı kullanarak memenin görüntüsünü oluşturmak için ilk çalışma 1929 yılında Dr. M. Cutler tarafından yapılmıştır (1). Bu çalışmada karanlık bir odada memeye soğuk ışık gönderildikten sonra memeden geçen ışık çıplak gözle incelemiştir. Daha karmaşık bir düzeneğe sahip olan diaphanography sistemi 1980 yılında geliştirilmiştir (2). Diaphanography sisteminde kızıl ötesi ışık ve ona duyarlı olan 35 mm'lik kamera ile memeden geçen ışık kayıt edilerek memenin iç yapısı hakkında bilgi edinilmeye çalışılmıştır. 1990'lı yılların sonunda birçok gurup memenin görüntüsünü oluşturmak için bilgisayarlı tomografi teknikleri üzerinde çalışmışlardır (3). Meme diffüz optik tomografisi çalışmalarında kullanılan ışığın dalga boyu 700 – 900 nm arasında değişmektedir. Bu dalga boyu aralığına vücudun ışığı geçirgenliği en fazla olduğu için “body window” denilmektedir.

Meme lazer tomografi (MLT) sistemlerinin geliştirilmesinin nedeni mamografi sisteminin 40 yaşının altındaki bayanlarda duyarlılığı ve özgüllüğünün düşük olmasıdır. Bu nedenle, duyarlılığı ve özgüllüğü 40 yaşının altındaki hastalarda mamografiden daha yüksek ve tamamen güvenli olan MLT sistemlerinin geliştirilmesi için çalışmalar yapılmaktadır.

Meme diffüz optik tomografisinde memenin iki boyutlu (2D) veya üç boyutlu (3D) görüntüsünü oluşturmak için üç ayrı yöntem kullanılmaktadır. Optik tomografi çalışmalarında, sürekli ışık kaynağı kullanılıyorsa sistem “continuous wave” (CW), frekansa bağlı ışık kaynağı kullanılıyorsa “frequency domain” (FD) sistemi, ışık atımı (pulse) kullanılıyorsa “time resolved” (TD) sistemi olarak adlandırılmaktadır. CW yönteminde ışık şiddeti, FD’de ışık şiddeti ve faz, TD’de ise zamana bağlı olarak ışık şiddeti ölçülmektedir. Optik tomografi sistemleri ölçüm geometrilerine göre de iki sınıfa ayrılmaktadır. Bunlardan birincisinde ışık kaynağı ve dedektör ölçüm alınan dokunun iki ayrı tarafındadır, bu geçirgenlik geometrisi olarak adlandırılmaktadır. İkincisinde ise ışık kaynağı ve dedektör aynı taraftadır, bu ölçüm şekline de “geri yansıma geometrisi” denilmektedir.

Geri yansıma geometrisinde çalışan optik sistemler ağırlıklı olarak 2D (iki boyutlu) görüntü oluşturmak amacı ile kullanılmıştır. Bu amaç ile dokudaki kan hacmini ölçmek amacı ile ticari olarak kullanılan ürünler geliştirilmiştir (Hitachi Medical Corporation, <http://www.hitachi-medical.co.jp/english/product/opt-e/index.html>). Bu sistem ile sadece 2D görüntü oluşturulmakta ve derinlik hakkında bilgi verilmemektedir. Geri yansıma optik tomografi sistemleri ile ağırlıklı olarak beyin aktivasyonuna bağlı olarak beyindeki kanlanmayı ve OksiHb (oksihemoglobin)/DeoksiHb (deoksihemoglobin) oranlarındaki değişimi belirlemek amacı ile araştırmalar yapılmıştır (4,5). Geri yansıma geometrisinde meme tümörünü tespit etmek için el ile taşınabilen bir optik sistem tasarlanmıştır. Bu çalışmada optik prob tek bir kaynak ve dedektörden oluşmaktadır ve birden fazla dalga boyunda lazer kullanılmıştır (6). Geri yansıma optik tomografi çalışmalarında ağırlıklı olarak

simülasyon verileri kullanılmıştır. Bu simülasyon çalışmalarında insan serebral korteksindeki kan akışı ve hemoglobin oksijen saturasyonundaki değişimler 3D olarak görüntülenmiştir (7-8).

CW kullanılarak yapılan ilk çalışmalarda ölçümler geçirgenlik geometrisinde alınmıştır. Bu çalışmalarda ölçülen ışık şiddetleri difüzyon denkleminin çözümüne fit edilerek hesaplanmıştır. Bu hesaplamalarda kaynak-dedektör arasındaki mesafe parametre olarak kullanılmıştır (9-10). Geçirgenlik geometrisinde yapılan bir diğer çalışmada simülasyon verileri kullanılmıştır. Bu çalışmada bir küpün karşı yüzeylerine 25'er tane kaynak ve dedektör 5x5'lik matriks oluşturacak şekilde konulmuştur. Lazer ışığı 200 MHz ile module edilmiştir. Absorpsiyon ve saçılma katsayıları arka plandan (background) farklı olan küçük cisimcikler doku fantomunun içine konulmuş ve simülasyon sonucu cisimlerin konumları 3D görüntü oluşturularak belirlenmiştir. Bu çalışmada ölçüm sonuçlarını analiz etmek için "beamforming" filtreleme tekniğini kullanmışlardır (11). Geri yansıma geometrisinde yapılan bir in-vitro çalışmada da farklı dalga boylarındaki CW lazer ışıkları deri benzeri bir yapıya gönderilmiş ve yaklaşık 3 mm derinliğe kadar olan kalınlıktaki kanın dağılımı görüntülenmiştir (12).

CW lazerler kullanılarak yapılan in-vitro deneylerde optik tomografi ile tümör benzeri yapılar tespit edilmeye çalışılmıştır (13-18). Yapılan bu çalışmaların elektronik tasarımı beş kısımdan oluşmuştur. Bunlardan ilki sensör kısmı, ikinci ve üçüncü kısmı sensörden alınan akımın entegre edildiği ve yükseltildiği kısımdır, dördüncü ise sayısal değere çevirildiği kısımdır. Beşinci kısımda ise sayısal veriler bir tekilleyici üzerinden mikrodenetleyiciye aktarılmaktadır. Bu çalışmalarda her bir kısım için ayrı bir elektronik devre kartı kullanılmıştır.

Bu tez çalışmasında Diffüz Optik Tomografi (DOT) sisteminin elektronik donanım ve yazılımı tasarlandı ve yapıldı. Daha önce yapılan sistemlerin elektronik donanımları birçok karttan oluşup geniş bir alanı kapsamakta iken biz bu çalışmada yeni bir tümdevre kullanıp akımın entegre edilmesini ve yükseltilmesini, dijitize edilmesini, mikrodenetleyiciye aktarılan verilerin tekillenmesini aynı tümdevre üzerinde yaptık. Ayrıca tasarladığımız ana kart ile hem tümdevre üzerine gelen bilgileri alıp bilgisayar ortamına aktardık hem de optik anahtarlama sistemini akımın tümdevre üzerinde entegrasyonuna sekronize olarak kontrol ettik.

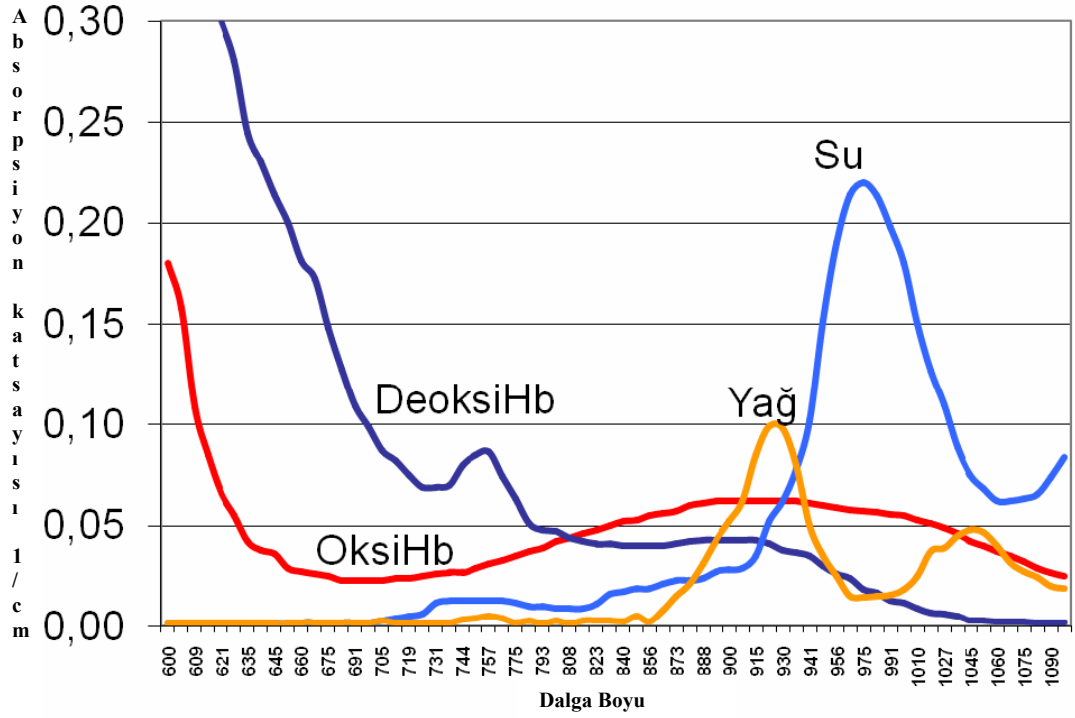
Bu tez çalışması DOT sisteminin elektronik donanımının ve yazılımının yapımını ve test edilmesini kapsamaktadır.

GENEL BİLGİLER

2.1. Dokunun Optiksel Özellikleri

Işığın doku içerisinde ilerlemesini etkileyen iki önemli özellik, dokunun absorpsiyon ve saçılma katsayılarıdır. Foton doku içerisine girdikten sonra dokunun biyokimyasal özelliklerinden dolayı birçok kez saçılır veya absorplanır. Absorpsiyon ve saçılma dokunun biyokimyasal yapısı ile ilişkili olarak fotonun dalga boyuna bağlıdır. Dokuya gönderilen ışığın dalga boyuna bağlı olarak doku içerisindeki fizyolojik yapının absorpsiyon değeri değişmektedir. Optik tomografi için kullanılan dalga doyu aralığında temel absorplayıcı hemoglobindir. Bu neden ile optik tomografi kanın dokudaki dağılımını incelemek için uygun bir sistemdir.

2.1.1. Absorpsiyon



Şekil 2.1. Absorpsiyon katsayısı dalga boyu eğrisi

Şekil 2.1.'de deoksiHb, oksihb, yağ ve su molekülleri için dalga boyuna bağlı olarak absorpsiyon katsayısı değişim grafiği görülmektedir.

Absorpsiyon katsayısı, μ_a ışık kaynağından gönderilen ışığın şiddeti I olmak üzere fotonlar dx kadar yol aldığı anda dI kadar bir ışık şiddeti farkı oluşmasına sebep olan büyüklüktür. Formül olarak μ_a 'nın etkisini göstermek gerekir ise Formül 1 kullanılır.

$$\partial I = -\mu_a I dx \quad (1)$$

Formülün x boyunca integrali alınırsa:

$$I = I_0 e^{-\mu_a x} \quad (2)$$

Formül 2 elde edilir. Formül 1 saçılmanın olmadığı bir ortamda ışık şiddetinin absorpsiyon katsayısına ve ışığın aldığı optik yola bağlı olarak değişimini vermektedir.

2.1.2. Saçılma

Biyolojik dokulardaki saçılma ışığın kırılma indisleri farklı olan iki ortamın ara yüzeyinden geçerken olmaktadır. Işık hücreler arası sıvıdan hücre zarına girerken, sitoplazmadan çekirdeğe veya diğer organellere geçerken saçılma olmaktadır. Saçılmaya bağlı olarak ışık şiddetindeki zayıflama Formül 3 ile ifade edilmektedir.

$$I = I_0 e^{-\mu_s x} \quad (3)$$

Bu eşitlikte μ_s saçılma katsayısı olup x kaynak ve dedektör arasındaki mesafedir. Saçılma katsayısı fotonların türbid ortamda saçılmadan aldığı yolun ortalamasının tersidir.

2.1.3. Absorpsiyon ve Saçılmanın Olduğu Durum

Biyolojik dokularda hem saçılma hem de absorpsiyon olmaktadır. Biyolojik dokularda ışığın yayılımı difüzyon eşitliği ile ifade edilmektedir. Difüzyon eşitliği, CW, FD ve TD sistemleri için yazılmakta ve farklı sınır koşulları için analitik olarak çözülmektedir. CW sistemi için geri yansıma sınır koşullarında difüzyon denkleminin çözümü:

$$I(\rho) = \frac{a'}{4\pi} \left[\frac{1}{\mu_t'} \left(\mu_{eff}' + \frac{1}{r_1} \right) \frac{\exp(-\mu_{eff}' r_1)}{r_1^2} + \left(\frac{1}{\mu_t'} + \frac{4A}{3\mu_t'} \right) \times \left(\mu_{eff}' + \frac{1}{r_2} \right) \frac{\exp(-\mu_{eff}' r_2)}{r_2^2} \right] \quad (4)$$

Bu eşitlikte a' "transport albedo" denilmekte ve $a' = \mu_s' / (\mu_a + \mu_s')$ olarak ifade edilmektedir. Aynı eşitlikte μ_{eff}' etkin zayıflama katsayısı olup $\mu_{eff}' = [3\mu_a(\mu_a + \mu_s')]^{1/2}$, ve μ_t' toplam etkileşme katsayısı olup $\mu_t' = \mu_s' + \mu_a$ dir. Uzaklığa bağlı katsayılar:

$$r_1 = \left[\left(\frac{1}{\mu_t'} \right)^2 + \rho^2 \right]^{1/2}, \quad r_2 = \left[\left(\frac{1}{\mu_t'} + \frac{4A}{3\mu_t'} \right)^2 + \rho^2 \right]^{1/2} \quad (5)$$

ile ifade edilmektedirler (Formül 5). Kaynak ve dedektör arasındaki mesafe ρ ile ifade edilmektedir. İfadedeki A ise doku ile ışığı dokuya ileten ortam arasındaki ışığı kırma indisleri farkından gelen bir sabit olup yaklaşık olarak değeri 3.23'dür. Kırılma indisleri arasında bir fark yok ise $A=1$ 'dir (35). Farklı kaynak ve dedektör uzaklıklarına sahip olan bir optik fiber prob ile alınan ölçüm sonuçları Formül 4'de kullanılarak ölçüm alınan ortamın ışığı absorplama ve saçma katsayıları belirlenebilmektedir (36).

2.1.4. Farklı Doku Tiplerinin Optiksel Özellikleri

Işığın doku içindeki yayılımı saçılmasına ve absorplanmasına bağlıdır. Tablo 2.1.'de farklı dokuların ışığı absorplama ve saçma katsayıları ışığın dalga boyuna göre verilmiştir.

Tablo 2.1. Absorpsiyon ve saçılma katsayıları

Doku	Örnek	$\lambda[nm]$	$\mu_a[mm^{-1}]$	$\mu_s'[mm^{-1}]$	Referans
Yeni doğan beyin gri cevher	in-vitro	650-900	0.04-0.08	0.4-0.9	van der Zee 1993
Yeni doğan beyin beyaz cevher	in-vitro	650-900	0.04-0.07	0.5-1.2	van der Zee 1993
Yetişkin beyni	in-vitro	700-900	0.1-0.2	2-5	Sterenborg 1989
Yetişkin beyin gri cevher	in-vivo	811	0.018-0.019	0.48-0.74	Bevilacqua 1999
Yetişkin beyin gri cevher	in-vivo	849	0.018-0.019	0.45-0.74	Bevilacqua 1999
Yetişkin beyin beyaz cevher	in-vivo	849	0.013	0.98	Bevilacqua 1999
Yetişkin kafatası	in-vivo	849	0.022	0.91	Bevilacqua 1999
Yetişkin beyin gri cevher	in-vitro	650-900	0.04-0.06	1.9-2.2	van der Zee 1993
Yetişkin beyin beyaz cevher	in-vitro	650-900	0.02-0.03	8-10	van der Zee 1993
Domuz beyni	in-vitro	630	0.026	5.7	Patterson 1997
Domuz kafatası	in-vitro	650-950	0.04-0.05	0.63-1.32	Firbank 1992
Sağlıklı meme dokusu	in-vitro	700-900	0.022-0.075	0.53-1.42	Peters 1990
Meme karsinoma	in-vitro	700-900	0.045-0.050	0.89-1.18	Peters 1990
Sağlıklı meme dokusu	in-vivo	800	0.002-0.003	0.72-1.22	Mitic 1994

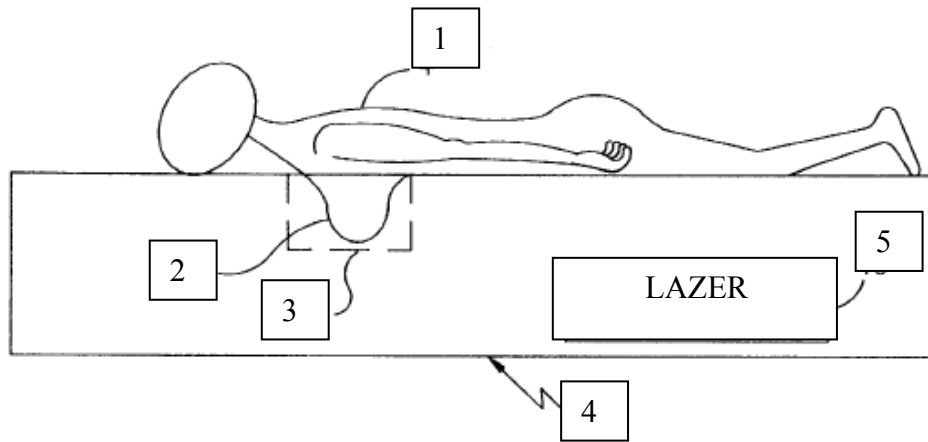
Optik tomografi sistemlerinde kullanılan yakın kızıl ötesi lazerlerin dalga boyları Tablo 2.1.'deki parametreler dikkate alınarak seçilmektedir. Tabloda da görüldüğü gibi dokuların ışığı absorplama ve saçma katsayıları farklılık göstermektedir. Dokuların absorpsiyon katsayıları dokuların biyokimyasal yapılarına bağlı olarak değişirken, saçılma katsayıları dokunun fiziksel yapısına bağlı olarak değişmektedir.

2.2. Meme Optik Tomografi Sistemi

İlk defa Dr. M. Cutler karanlık bir ortamda memeden geçen ışığı kullanarak tümörü tespit etmeye çalışmıştır. O zaman yeterli teknoloji olmadığından başarı sağlayamamıştır (1). Son 25 yılda, yarı iletken dedektör ve lazer teknolojilerinin gelişmesi sonucu NIR (Near Infrared) ışık kullanılarak meme tümörünü tespit etmek için yapılan çalışmalar artmıştır (19-21). NIR ile meme tümörünü tespit etmek için en yoğun akademik çalışmalar ABD ve İngiltere’de yapılmaktadır. ABD’de, memeden geçen lazer şiddetlerini ölçerek tümörü ve yerini belirlemek için memenin 3D (Üç boyutta) görüntüsünü oluşturmak için ilk çalışmalar Prof. Britton Chance yönetiminde University of Pennsylvania’da yapılmıştır (22 - 26). Başka grupların da çalışmaları olmak ile beraber aynı amaçlı çalışmalar ağırlıklı olarak Randall L. Barbour gurubunca City University of New York (27), E. M. Sevick-Muraca gurubunca Purdue University’de (28), David A. Boas gurubunca Harvard Medical School’da (29-31), Bruce J. Tromberg gurubunca University of California’da yapılmaktadır (32). İngiltere’de ise Simon R. Arridge gurubu optik tomografi ile meme kanserini teşhis etmek için University College of London’da çalışmasını yürütmektedir (33). Bu grupların amacı pratikte kullanılabilen ve ticari potansiyeli olan meme lazer optik tomografi sistemleri geliştirmektir.

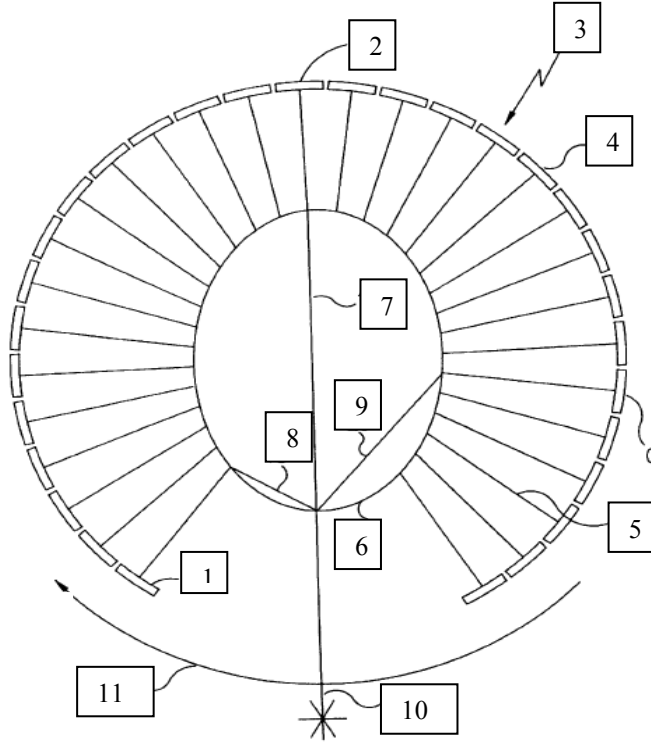
MLT ile meme kanserini teşhis etmek için çalışan ve FDA onayı almak için en fazla klinik çalışma yapan şirketlerden birisi Florida’da bulunan Imaging Diagnostic Systems, Inc. (IDSI)’dir. IDSI, memeden geçen 808 nm dalga boyundaki ışığı kullanarak memenin üç boyutlu görüntüsünü oluşturarak tümörün konumunu tespit etmeye çalışmaktadır. Diğer şirket ise Advanced Research Technologies Inc. (ART) olup Kanada’da bulunmaktadır. ART, memeden geçen NIR lazer şiddetini zamana bağlı olarak ölçerek tümörü tespit etmek için memenin 2D (iki boyutlu) görüntüsünü oluşturmaktadır.

Geçirgenlik geometrisinde çalışan bir optik tomografi sistemi ile hasta üzerinde ölçüm alma Şekil 2.2.’de şematik olarak gösterilmektedir (34). Burada hasta yüz üstü pozisyonda yatmakta ve meme bir boşluktan sarkmış görülmektedir. Memeye lazer gönderilmekte ve çıkan ışık da dedektörler tarafından toplanmaktadır.



Şekil 2.2. Meme optik tomografi sistemi

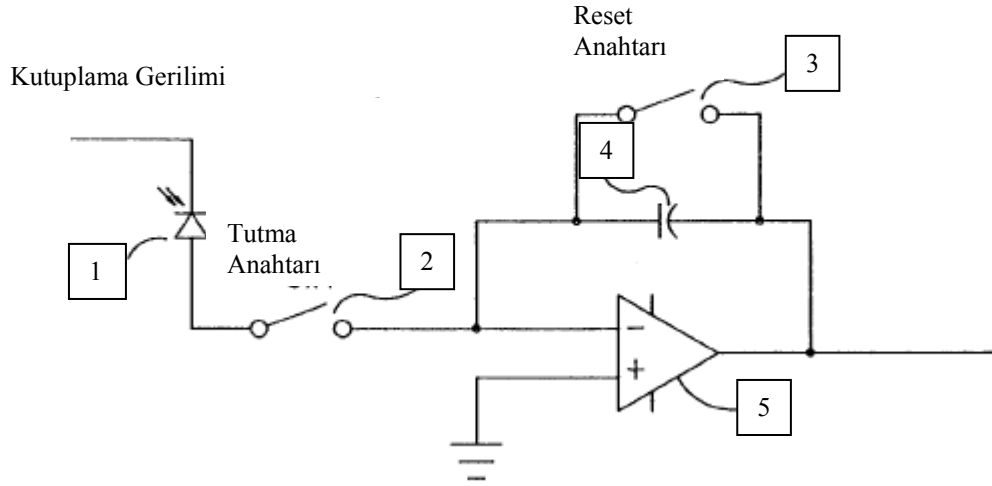
Bu resimde meme şematik olarak ortada oval bir şekilde görülmektedir. Memeden geçen fotonlar 64 tane fotodiyot ile toplanmaktadır. Daha sonra lazer ve dedektörler memenin etrafında dönerken 64 farklı kaynak pozisyonu için dedektörler ile veri alınmaktadır. Şekil 2.2.'de hasta 1 ile, meme 2 ile, memenin sarktığı boşluk 3 ile tüm sistem 5 ile ve lazer 4 ile gösterilmektedir. Memenin etrafında halka şeklinde bir yapı bulunmaktadır. Halka yapının üzerinde 64 adet fotodiyot bulunmaktadır. Dokudan geçen fotonlar fotodiyotların üzerine gelmektedir. Şekil 2.2.'deki sistemin dedektörlerinin dizilimi ve bir kaynak pozisyonu Şekil 2.3.'de görülmektedir. 3 numaralı kutu sistemin tamamını işaret etmektedir. Şekilde fotodiyotlar 1, 2 ve 4 ile gösterilmektedir. Fotodiyotlar ile meme arasında siyah renkli kolimatörler bulunmaktadır. Kolimatörler dokudan çıkan lazeri fotodiyotlar üzerine düşürmektedir. Şekilde kolimatörler 5 ile, meme 6 ile gösterilmektedir. Kaynak ve farklı dedektörlerin aralarındaki mesafeler 7, 8 ve 9 ile gösterilmektedir. Lazer kaynağı 10, kaynak-dedektör kümesinin dönüş yönü 11 ile gösterilmektedir. Kaynak-dedektör kümesi 64 defa belirtilen yönde dönmekte ve her pozisyonda veri alınmaktadır.



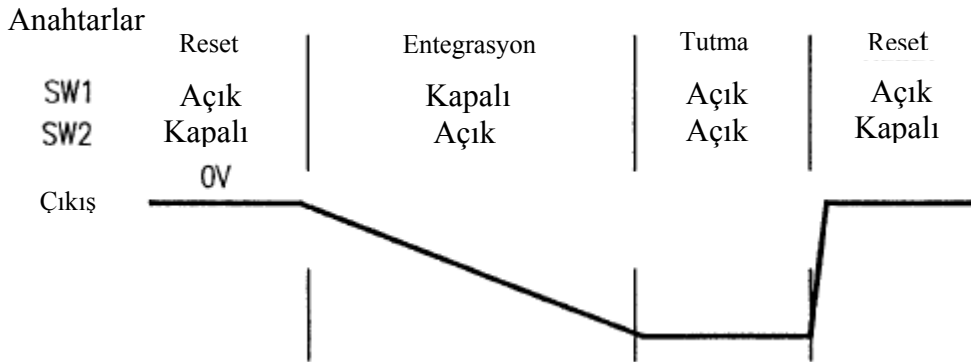
Şekil 2.3. Meme optik tomografi sistemi kaynak ve fotodiyotlar

2.2.1. Meme Optik Tomografi Sisteminin Elektronik Yapısı

Meme optik tomografi sistemlerinin elektronik düzeneği fotodiyot akımının gerilime çevrilmesi ile başlamaktadır. Şekil 2.4.'de fotodiyot akımını gerilime çeviren analog devre görülmektedir. Şekildeki iki anahtar kullanılarak devrenin çalışma durumları değiştirilmektedir. Buna göre devre, reset, entegrasyon ya da tutma durumlarından bir tanesinde bulunmaktadır. 1 numara ile fotodiyot, 2 numara ile tutma anahtarı, 3 numara ile reset, 4 numara ile entegrasyon kapasitesi, 5 numara ile işlemsel yükselteç gösterilmektedir. Anahtarlarla ilgili olarak durum diyagramı Şekil 2.5.'de görülmektedir. Burada 1 numaralı anahtar, fotodiyotu devreye almaktadır, 2 numaralı anahtar ise reset yapmakta, kapasitörün üzerindeki yükü boşaltmaktadır. Şekil 2.5.'de görüldüğü gibi birinci anahtar açık ikincisi kapalı iken devre reset konumunda, birinci anahtar kapalı ikincisi anahtar açık iken yük kapasitör üzerinde toplanmakta, her iki anahtar açık iken yükü tutma konumunda olmaktadır.

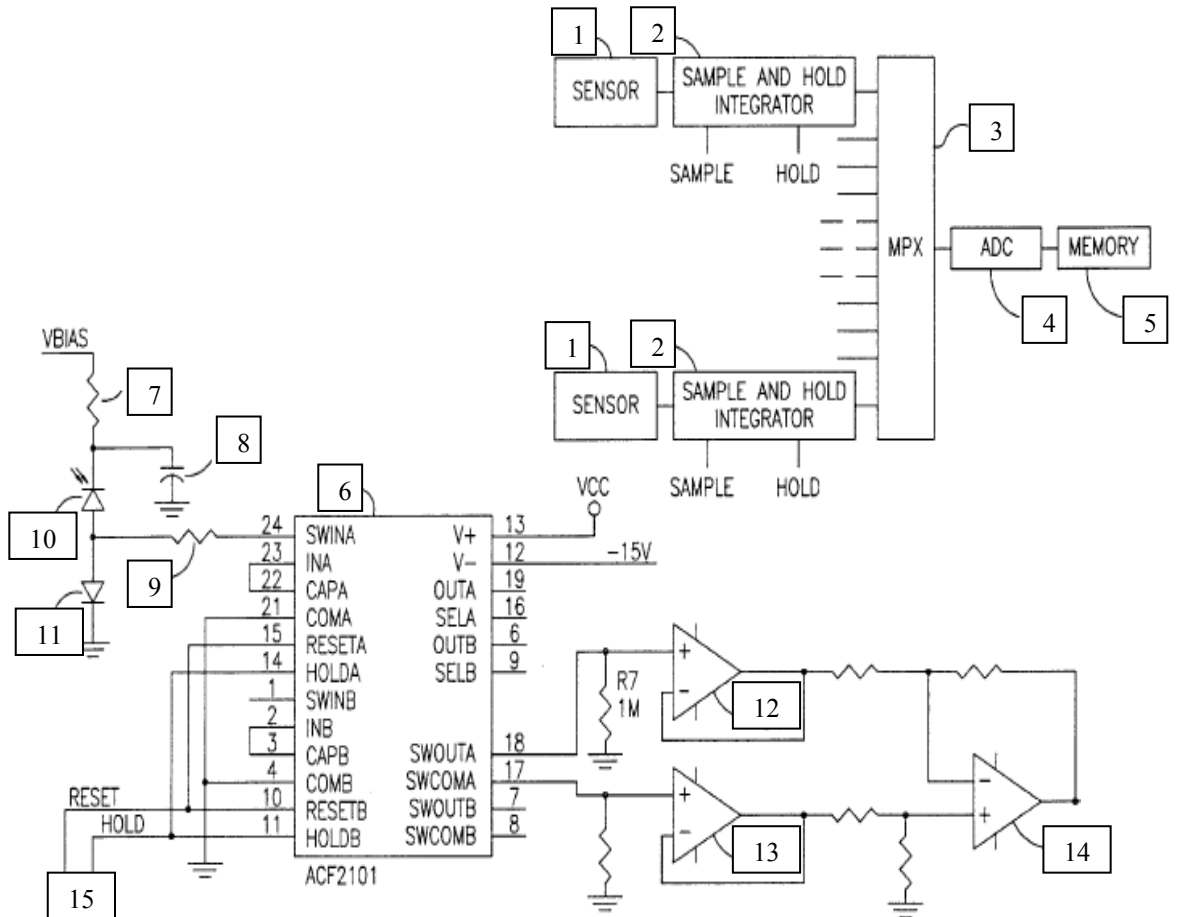


Şekil 2.4. Meme optik tomografi sisteminde kullanılan akımı gerilime çeviren analog devre



Şekil 2.5. Reset, entegrasyon, tutma zamanları

Bir optik tomografi sisteminin tek bir fotodiyot girişi için elektronik devresinin blok diyagramı Şekil 2.6.'da görülmektedir. Bu devrede fotodiyot akımı ACF2101 tümdevresine verilmektedir. ACF2101 tümdevresi daha önce Şekil 2.4.'de gösterilen akımı gerilime çeviren devredir. Reset ve hold girişleri kontrol lojiğinden gelmektedir ve reset ve hold anahtarlarını kontrol etmektedir. Çıkışında ise çıkartma işlemini yapan işlemsel yükselteçler vardır ve devre içi elektriksel gürültü işaretini asıl sinyalden çıkartmaktadır. Üstteki blok diyagramda ise oluşturulan analog gerilimlerin bir analog tekilleyiciye girdiği görülmektedir. Oluşturulan analog gerilimleri sırasıyla A/D çeviriciye iletmektedir. Dijital bilgiler ise daha sonra hafıza bloğuna aktarılmaktadır. Şekil 2.6.'daki 1 numara ile fotodiyotlar, 2 numara ile entegratörler, 3 numara ile analog tekilleyici, 4 numara ile A/D çevirici, 5 numara ile hafıza bloğu, 6 numara ile entegratör tümdevresi, 7 ve 8 numara ile alçak geçiren filtrenin direnç ve kondansatörü, 9 numara ile akım sınırlayıcı direnç, 10 numara ile fotodiyot, 11 numara ile aşırı akım koruma diyotu, 12 ve 13 numara ile gerilim takipçi işlemsel yükselteçler, 14 numara ile gerilim çıkartıcı işlemsel yükselteç, 15 numara ile reset ve tutma anahtarlarının kontrol lojiği görülmektedir. Meme optik tomografi sisteminde kullanılan temel elektronik devrelerin blok şekilleri sistem elektroniğinin anlaşılmasına yardımcı olmaktadır.

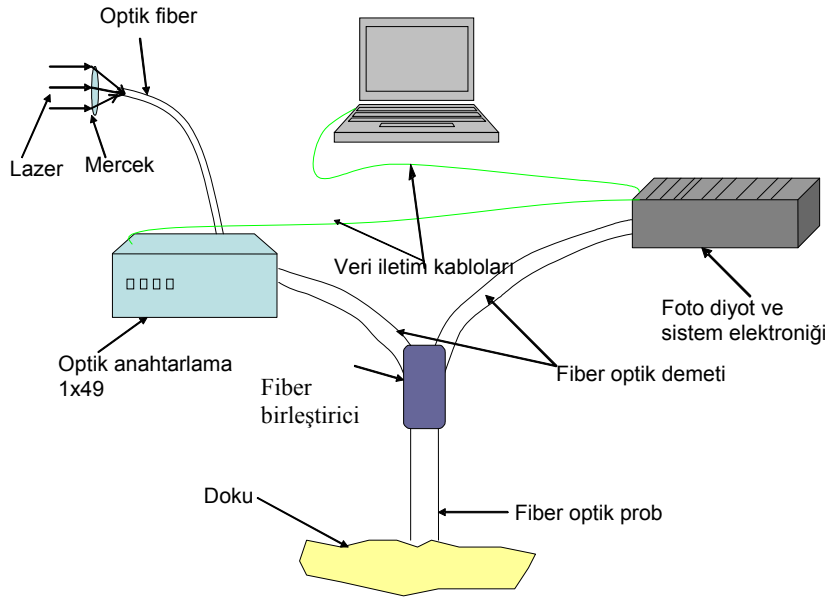


Şekil 2.6. IDSI şirketinin yaptığı meme optik tomografi sisteminin blok diyagramı

GEREÇLER VE YÖNTEMLER

3.1. Optik Tomografi Sistemi Yapısı

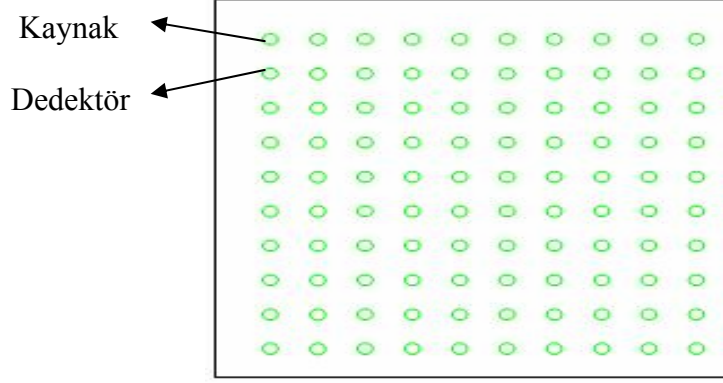
3.1.1. Optik Tomografi Sistemi Blok Şeması



Şekil 3.1. Optik tomografi sistemi genel yapısı

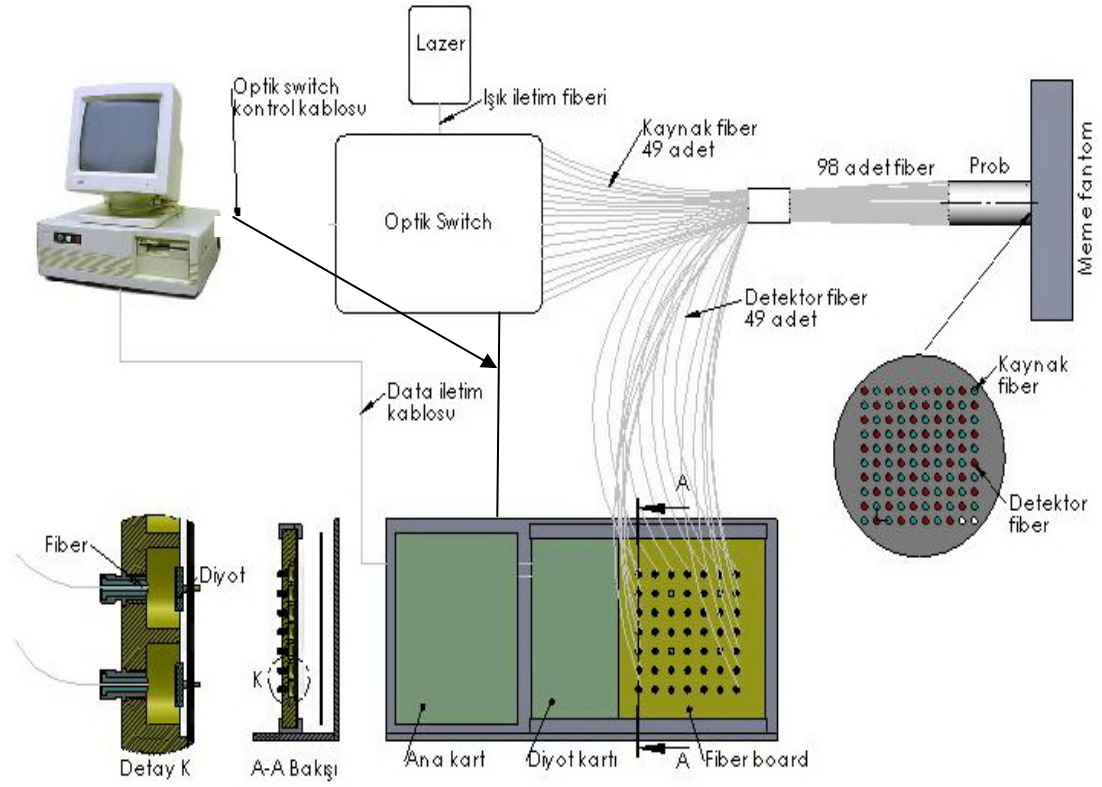
Yaptığımız sistem şematik olarak Şekil 3.1.'de görülmektedir. Sistem geri yansıma geometrisinde çalışmaktadır. Işık dokuya gönderildiği yüzeyde geri toplanmaktadır. Bizim tasarladığımız sistem sabit şiddette ışık veren bir veya birden fazla lazer ile çalışmaktadır. Bu sistemde doku içinde difüzyona uğradıktan sonra tekrar ön yüzeyden çıkan ışık şiddetleri ölçülmektedir. Şekil 3.1.'de görüldüğü gibi sistem bir lazer ışık kaynağından, 1x50'lik bir optik anahtardan, 98 tane 1x2 optik fiber birleştiriciden, 49 kaynak ve 49 dedektör optik fiberlerden oluşan bir probtan, bir bilgisayardan ve fotodiyot kartı ile sistem elektroniğinden oluşmaktadır. Işık kaynaktan optik anahtara bir optik fiber kablo ile taşınmaktadır. Optik anahtarlama sistemi girişinde bir kaynak fiber kablosu ve çıkışında ise 50 adet çıkış fiberleri bulunmaktadır. Optik anahtarlama sisteminin amacı istenilen zaman periyotları ile çıkışlara sırasıyla girişteki ışık kaynağını anahtarlamaaktır. Işık bir kaynak pozisyonundayken tüm dedektörlerden alınan ışık şiddetleri bilgisayar ortamına aktarılmakta ve ışık diğer kaynak pozisyonuna geldiğinde tüm dedektörlere gelen ışık şiddetleri yeniden ölçülüp bilgisayar ortamına iletilmektedir. Optik anahtarlama sistemi çıkışındaki fiber kablolar probun kaynak optik fiber kablolarına bağlanmaktadır. Optik prob 10x10'luk bir optik fiber matriksdir. Matriks üzerinde kaynak ve dedektörler kaynak-dedektör-kaynak sırasına göre tasarlandı ve yapıldı.

Bu yapıya göre kaynağın yanında dedektör fiber onun yanında tekrar kaynak; kaynağın altında dedektör, onun yanında kaynak olacak şekilde sıralama devam etmektedir. Probun üstten görünüşü Şekil 3.2.'de görülmektedir.



Şekil 3.2. Optik prob

Prob üzerindeki optik fiberlerin çapları 1 mm'dir. Merkezden merkeze optik fiberler arasındaki mesafe 3 mm'dir. Prob üzerinde toplam 49 tane kaynak olarak kullanılan optik fiber ile 49 tane ışığı toplamak amacı ile kullanılan dedektör optik fiber bulunmaktadır. Şekil 3.2.'deki son kaynak-dedektör kullanılmamaktadır. Bu prob tasarımı orijinaldir. Yaptığımız optik tomografi sistemi şematik olarak Şekil 3.3.'de görülmektedir. Sistemde iki adet elektronik kart vardır. Bunlardan ilki fotodiyot kartıdır. Dedektör fiberler fotodiyot kartı üzerindeki fotodiyotlara dokudan geri saçılan ışığı taşımaktadır. Fotodiyotların üzerlerine düşen ışık ile oluşan elektrik akımı gerilime dönüştürülüp sayısal değerlere çevrildikten sonra ana elektronik karta gönderilmektedir. Fotodiyotlardan ışık şiddeti bilgilerinin toplanması, sistem üzerindeki elektronik blokların kontrol edilmesi, optik anahtarlanmanın yapılması ve bilgisayar yazılımı ile haberleşme işlemlerinin tümü üzerinde bir mikrogenetleyicinin bulunduğu ana elektronik kart tarafından yapılmaktadır. Bilgisayar yazılımı olarak Delphi programı çalışmaktadır. Delphi yazılımı sistem kartlarının yöneticisi konumundaki mikrogenetleyici (PIC18f452, microchip) ile haberleşmekte ve mikrogenetleyiciyi çalıştırıcı görev üstlenmektedir. Mikrogenetleyiciye programı yüklemek için ICD2 (In Circuit Debugger 2, microchip) isimli yükleyici kartı kullanıldı. Ana elektronik kart seri port üzerinden Delphi bilgisayar yazılımı ile haberleşmekte ve gerekli seri port hız ayarları hem Delphi yazılımında hem de C gömülü sistem kodunda değiştirilebilmektedir. Sistem bilgisayarın seri portu üzerinden haberleştiği için tüm sistem seri haberleşme protokolüne göre çalışmaktadır.



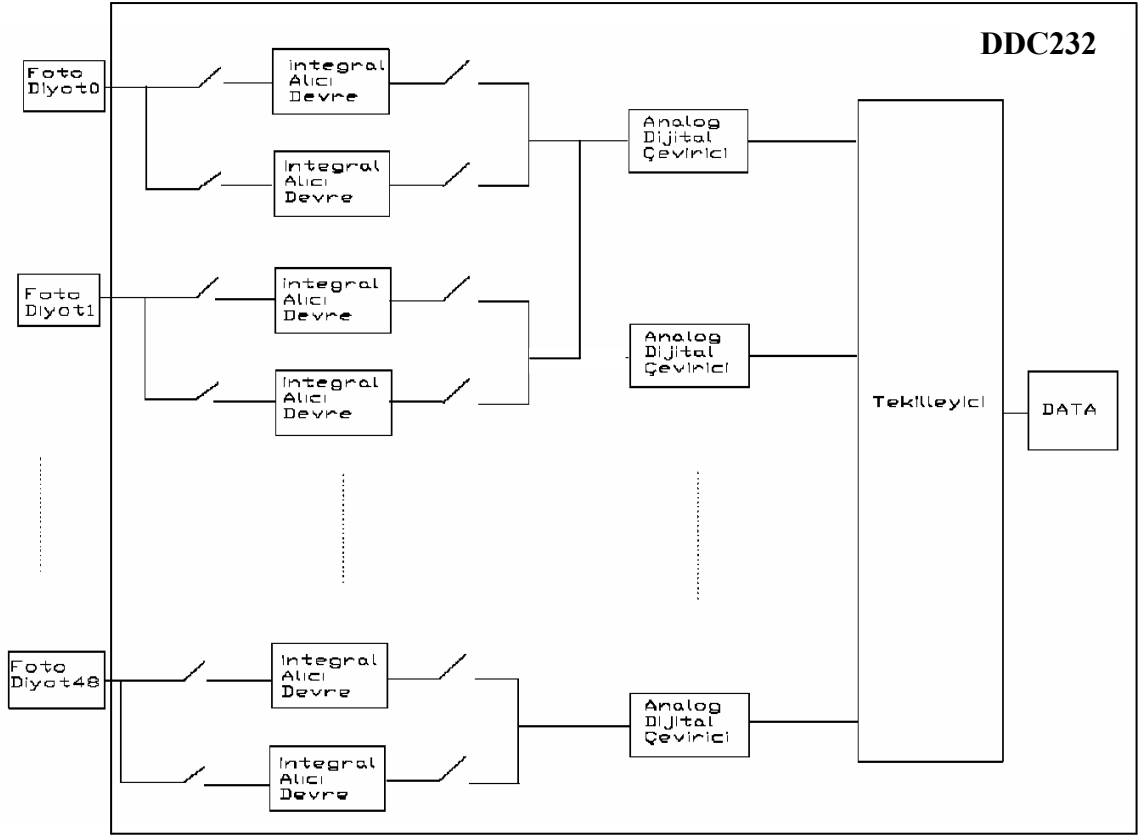
Şekil 3.3. Optik tomografi sisteminin şematik görüntüsü

3.1.2. Optik Tomografi Sistemi Elektronik Yapısı

Sistemde fotodiyot elektronik kartı ve ana elektronik kart bulunmaktadır. Fotodiyot elektronik kartında fotodiyotlar ve A/D (analog/dijital) çevirici tümdevreleri bulunmaktadır. Ana elektronik kartta ise mikrodenetleyici, konnektörler ve diğer elektronik elemanlar bulunmaktadır.

3.1.2.1. Fotodiyot Elektronik Kartının Yapısı

Optik tomografi sisteminin dedektör kısmına ait elektronik blok yapısı Şekil 3.4.'de görülmektedir. Fotodiyotlar ışığa duyarlı yarı iletken elektronik elemanlardır. Fotodiyotlar, üzerlerine düşen ışığın şiddetine göre akım oluşturmaktadırlar. Sistemde kullanılan OSD35-LR-D fotodiyotlar (OSI Optoelectronics) pn tipi yarı-iletken fotodiyotlarıdır. Dedektör kartındaki fotodiyotlar üzerinde oluşan akım DDC232 A/D çevirici tümdevrelerinde analog gerilim değerlerine entegre edilmekte ve yine aynı tümdevre üzerindeki A/D işini yapan delta-sigma modülatörler aracılığıyla sayısal değerlere çevrilmekte ve bu sayısal değerler daha sonra mikrodenetleyiciye gönderilmektedir.



Şekil 3.4. Optik tomografi sistemi dedektör elektronik yapısı

DDC232 tümdevresi A/D çeviricileri ile fotodiyotlar arasında her bir fotodiyot için iki adet DDC232 içi anahtar ve integral alıcı devre görülmektedir. Bu iki anahtar sayesinde sürekli zamanlı entegrasyon işlemi yapılmaktadır. Anahtarlardan bir tanesi iletim durumunda iken bu anahtara bağlı integral alıcı devre çalışmakta ve entegrasyon yapmakta; diğer devre ise analog değeri sayısala çevirmektedir. Anahtarların çalışma konumu değiştiğinde bu defa diğer anahtara bağlı devre entegrasyon yaparken, ilk durumda entegrasyon yapan devre analog değeri sayısala çevirme işlemi yapmaktadır. Bu şekilde sürekli zamanlı çalışılmaktadır. DDC232 tümdevresinin üzerinde entegrasyon işlemine ek olarak A/D çevirme işlemi ve sayısal bilgiyi tek bir hat üzerinden gönderebilme (tekilleme) ve entegrasyon zamanlarının kontrol edilebilmesi gibi işlemler de yapılmaktadır. Tümdevrenin BGA (Ball Grid Array) yapısında olması tümdevrenin boyutlarını olağanüstü küçülmüştür. Tümdevre bu nedenden dolayı hemen dikkat çekmekte ve sistem tasarımında bir anahtar rol oynamaktadır.

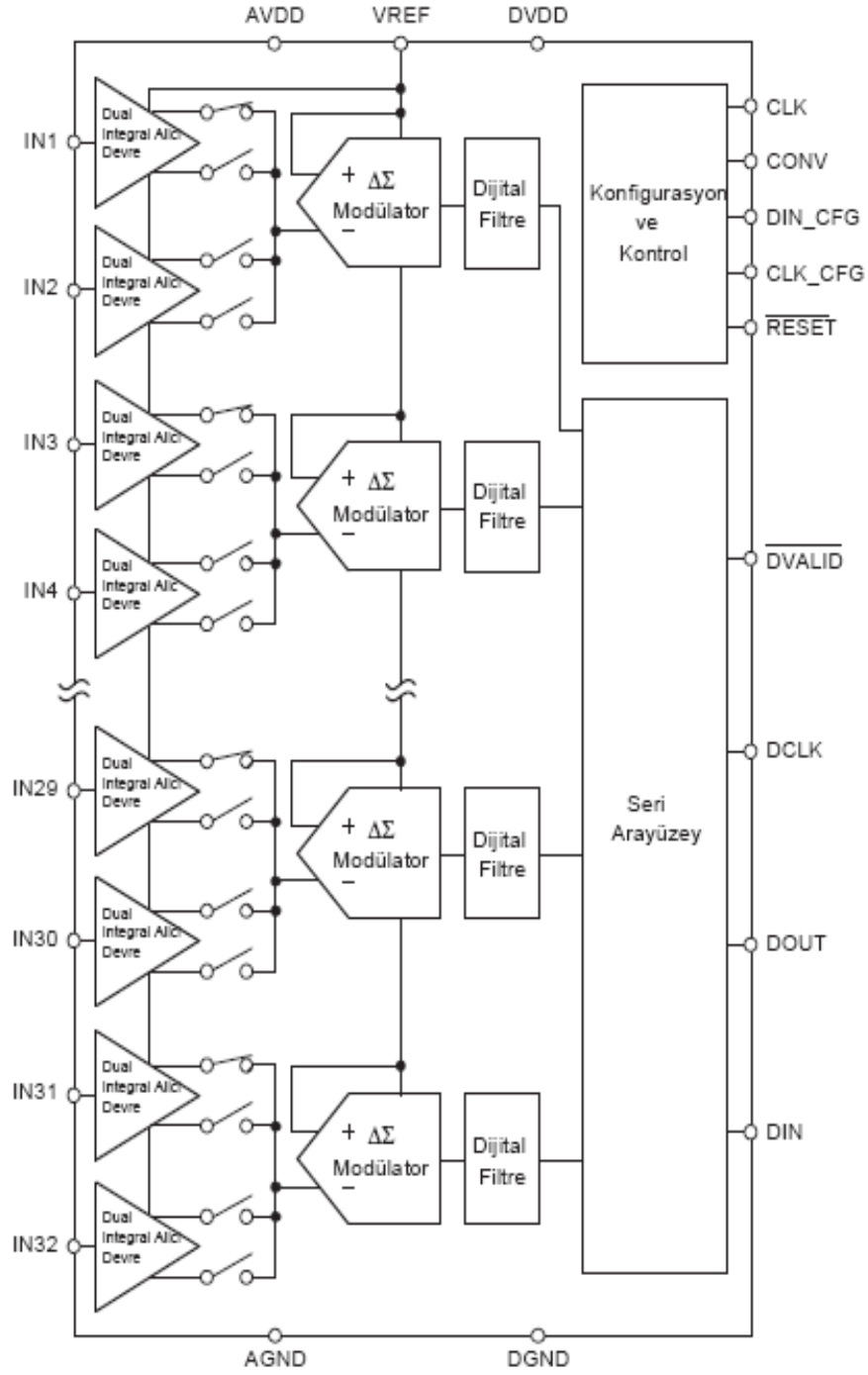
DDC232 A/D Çevirici Tümdevresi

DDC232 Tümdevresinin Fotodiyot Kartı Üzerinde Kullanımı

DDC232 (Texas Instruments, Texas) tümdevresi, girişlerine gelen analog akımları analog gerilimlere ve analog gerilimleri de sayısal değerlere dönüştüren bir A/D çeviricidir. Tek bir tümdevre içerisinde birçok özelliği barındırmaktadır. İlk giriş katında integral alıcı işlemsel yükselteçler (Dual switched integrator) ve sonrasında $\Delta\Sigma$ modülatör (A/D çevirici) ve dijital filtreler bulunmaktadır. Dijital işaretler, seri arayüzey sayesinde entegre dışına gönderilebilmektedir.

DDC232, 32 kanal girişli, 20 bitlik A/D çeviricidir. DDC232'ye düşük akım seviyeli fotodiyotlar doğrudan bağlanabilmektedir. DDC232 tümdevresinin 32 kanallı her girişinde çift yollu integral alıcı işlemsel yükselteç devreler bulunmaktadır. Bu şekildeki konfigürasyon sürekli olarak akım-gerilim entegrasyonunu mümkün kılmaktadır. Integral alıcı devrelerden bir tanesi A/D çeviriciler tarafından sayısala dönüştürme işleminde kullanılırken diğeri ise aynı zaman zarfında girişteki fotodiyotlardan gelen akım bilgisini gerilime entegre etmektedir. Entegrasyon zamanları 333 mikrosaniyeden 1 saniyeye kadar ayarlanabilmektedir. Akım değerleri de femtoAmper değerinden mikroAmper değerine kadar ölçülebilmektedir. Gürültü oranı çok düşük olup 5.3 ppm değerindedir. Kanal başına düşen güç tüketimi 7mW'dır. Saniyede 6000 örnek üretebilmektedir.

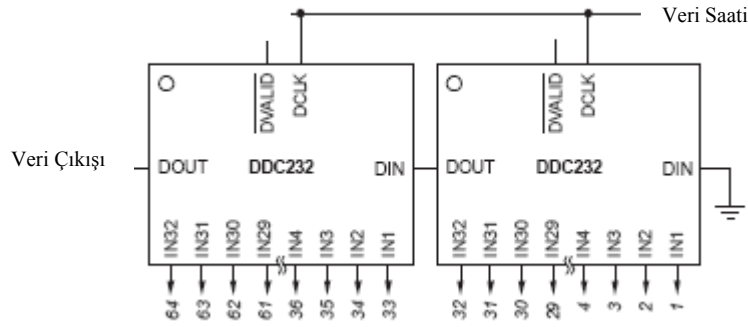
Fotodiyot akımlarını gerilimlere dönüştürmek ve bu analog gerilimleri de sayısal işarete çevirmek için DDC232 tümdevresini kullandık. Şekil 3.5.'de tümdevrenin blok yapısı görülmektedir. DDC232 tümdevresinin analog akım girişleri 32 adet olup bu sayı 49 girişli görüntüleme uygulaması için yeterli değildir. Bu sebepten dolayı 2 adet DDC232 tümdevresini Şekil 3.6.'da görüldüğü gibi seri bağladık. Fotodiyot akımı geri besleme kondansatörünün uçları arasında bir elektriksel gerilim oluşmasına sebep olur. Bu oluşan gerilim analog bir gerilimdir ve daha sonra bu analog gerilim DDC232 blokları içerisinde dijitalle çevrilmekte ve bağlı bulunduğu mikrodenetleyiciye gönderilmektedir. Bu çalışmadaki DDC232 tümdevreleri fotovoltajik modda çalışmaktadır. DDC232 tümdevresi özel amaçlı bir analog tümdevredir. İçerisinde entegrasyon işleminden sorumlu olan 64 adet işlemsel yükselteç bulunmaktadır. Her 4 işlemsel yükselteç çıkışı bir adet A/D çeviriciye gitmektedir. Toplam $64/4 = 16$ adet A/D çevirici vardır. A/D çeviriciler delta-sigma modülatör tekniğine göre tasarlanmıştır. A/D çevirici çıkışları dijital filtrelere gitmektedir. 16 adet dijital filtre bulunmaktadır. Dijital filtreler yüksek frekanslı anahtarlama gürültüsünü önlemek için kullanılıyor. Dijital filtre çıkışları seri arayüzey bloğuna girmektedir. Seri arayüzey bloğu ile dış dünya arasında DVALID, DCLK, DOUT ve DIN bağlantıları vardır. Bu bağlantılar dış dünyaya verileri gönderebilmek için gerekli olan bağlantılardır. Ayrıca tümdevrenin, konfigürasyon ve kontrolde kullanılan CLK, CONV, DIN_CFG, CLK_CFG ve RESET dijital girişleri bulunmaktadır. Bunlar sırasıyla tümdevre saat işareti girişi, entegrasyon zamanı ayarlama girişi, konfigürasyon verisi girişi, konfigürasyon verisi saat işareti



Şekil 3.5. DDC232 tümdevresinin blok yapısı

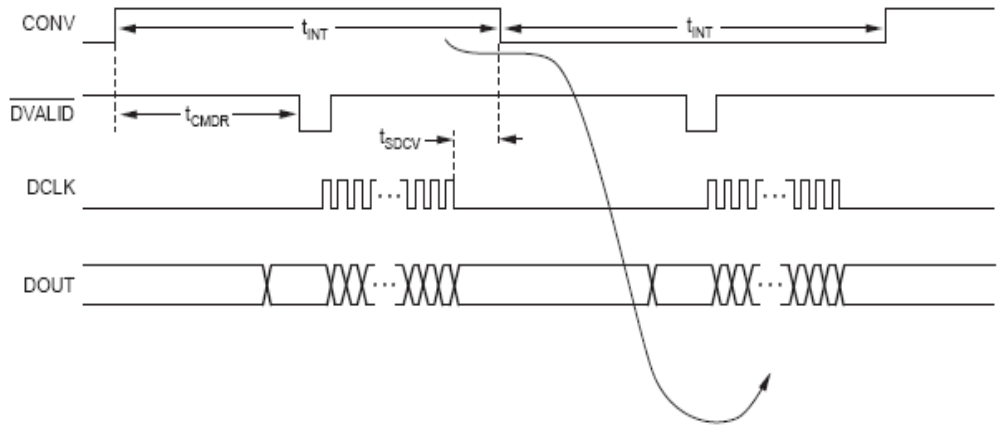
girişi ve tümdevreyi sıfırlama girişleridir. CONV dijital girişi DDC232 tümdevresinin entegrasyon zamanlarını ayarlamaktadır. Tümdevre üzerinde sürekli zamanlı olarak çalışmayı sağlayan çiftli entegratör girişi vardır. Çiftli entegratör sayesinde entegrasyon işlemi sonrasında A/D çevirme işlemi için entegratörü susturma zorunluluğu ortadan kaldırıldı. Tümdevrenin analog ve dijital olmak üzere 2 ayrı beslemesi vardır. İşlemsel yükselteç gibi analog katlar için analog besleme bloğu, konfigürasyon kontrol ve seri arayüz katları için ise dijital besleme kullanıldı.

Şekil 3.6.'da görüldüğü üzere In1-In32 arası analog fotodiyot akım girişlerinin bağlandığı DDC232 tümdevresinin DIN girişi toprağa bağlanmıştır. Bu birinci DDC232'nin DOUT çıkışı ikinci DDC232'nin DIN girişine bağlandı. Yapılan uygulamada 2 adet DDC232 yeterli olduğu için ikinci DDC232'nin DOUT çıkışı istenilen dijital çıkış işaretidir. DDC232'lerin DCLK girişleri ortak bağlandı.



Şekil 3.6. Seri bağlı DDC232 yapısı

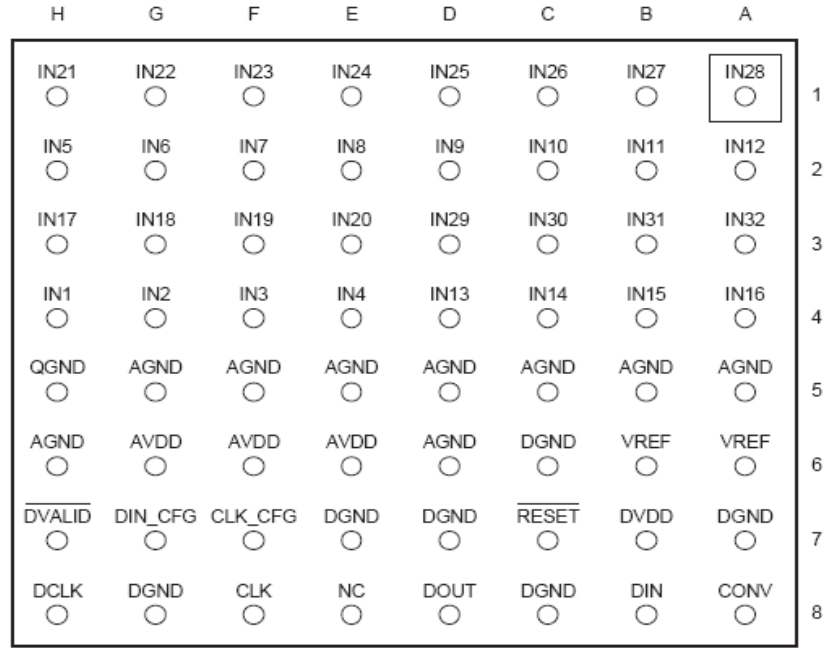
Şekil 3.7.'de CONV'la ilgili zamanlama diyagramında lojik seviyenin yüksek olduğu yani lojik 1 olduğu kısımda A girişlerinin entegrasyonu yapılmaktadır. Her bir fotodiyot girişinin A ve B şeklinde ikiye ayrılmasının sebebi şudur: Her bir analog akım girişi tümdevre içerisinde iki adet integral alıcı işlemsel yükseltece girmektedir. Böylelikle bir integral alıcı giriş yükünü entegre ederken diğer integral alıcı devre analog gerilimi A/D çeviriciye aktarmakta ve beklemektedir. Böylelikle sürekli zamanlı bir çalışma sağlanmaktadır. CONV'un düşük anlamlı kısmında da yani lojik 0 kısmında diğer integral alıcı işlemsel yükselteç devresi çalışmaktadır.



Şekil 3.7. CONV'la ilgili zamanlama diyagramı

Şekil 3.7.'de görülen DVALID işareti DDC232 tümdevresinin içerisinde üretilen bir sinyaldir. CONV işareti yüksek lojik seviyesine çıkartıldıktan bir zaman sonra DVALID işaretini lojik 0'a çeker ve seri arayüz işareti olarak mikrodenetleyiciye gönderir. Mikrodenetleyici DDC232 tümdevresinden gelen DVALID işaretini algıladığında DDC232'nin DCLK saat girişi için gerekli olan işareti sağlamak üzere gerekli olan dijital işareti gönderir. DCLK işareti seri çıkışın sağlanabilmesi için gerekli olan dijital saat giriş işaretidir. DCLK işaretini mikrodenetleyici içerisindeki zamanlayıcıyı kullanarak ürettik.

Tek DDC232 A/D çevirici tümdevresi 64 adet pinden oluşmaktadır ve paket yapısı BGA (Ball Grid Array) şeklindedir. Şekil 3.8.'de DDC232 tümdevresi pin diyagramı görülmektedir. Bu pin diyagramında üst yarım kısım tamamıyla fotodiyot girişleridir. IN girişleri olarak gösterilmiştir. QGND ile dijital toprak temsil edilmiştir. AGND girişleri analog toprak girişleridir. AVDD girişleri tümdevrenin besleme girişleridir. VREF, analog referans gerilim girişidir. Diğer dijital giriş ve çıkışlar kontrol ve seri arayüz bağlantılarıdır. Bu pin diyagramı devrenin üstten görünüşünü temsil etmektedir. En üst sağ taraftaki IN28 girişini içine alan kare çizim devre lehimlenirken fiziksel olarak zaten plastik kılıfın üzerinde işaretlenmiş olan çentiğin sağ üst tarafa gelecek şekilde lehimlenmesi gerektiğini işaret etmektedir. Üretimde baskı devre lehimlemesi yaparken buna dikkat etmek gerekmektedir.



Şekil 3.8. DDC232 tümdevresi pin diyagramı

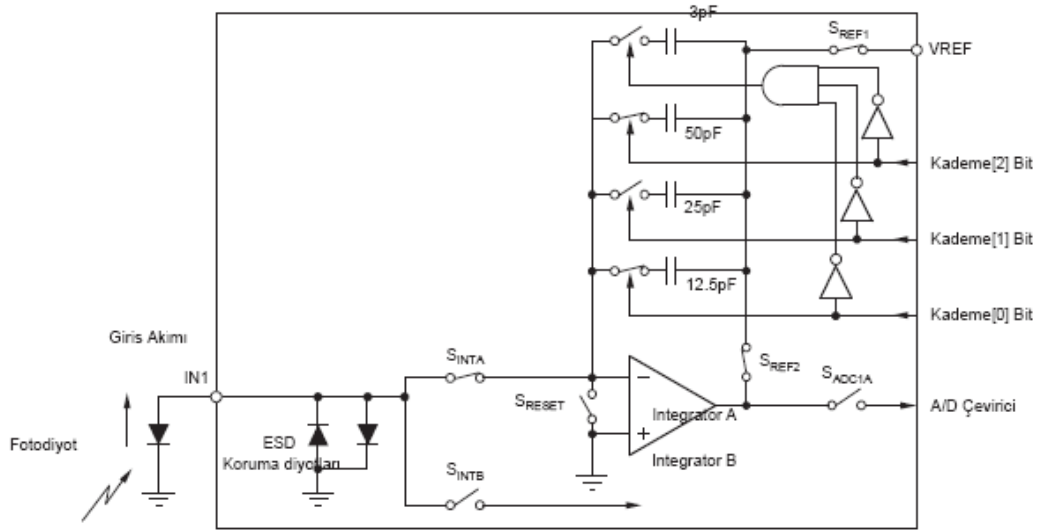
Tablo 3.1.'de pin konfigürasyonu ve tanımlamaları görülmektedir.

Tablo 3.1. Pin konfigürasyonu ve tanımlamaları

PİN	YERLEŞİM	FONKSİYON	TANIMLAMA
IN1-32	1-4. SATIRLAR	Analog Giriş	Analog Kanal Girişleri
QGND	H5	Analog	Quiet Analog Toprak
AGND	G5,F5,E5,D5,C5,B5,A5,D6,H6	Analog	Analog Toprak
DGND	A7,C6,D7,E7,C8,G8	Dijital	Dijital Toprak
AVDD	E6,F6,G6	Analog	Analog Güç Kaynağı Girişi 5V Normal
VREF	A6,B6	Analog Giriş	Referans Gerilim
DVALID	H7	Dijital Çıkış	Düşükte Aktif Veri Geçerli
DIN_CFG	G7	Dijital Giriş	Giriş Veri Konfigürasyon Yazmaç
CLK_CFG	F7	Dijital Giriş	Giriş Saat Konfigürasyon Yazmaç
RESET	C7	Dijital Giriş	Düşükte Aktif Dijital Reset
DVDD	B7	Dijital	Dijital Güç Kaynağı Girişi 3.3V Normal
CONV	A8	Dijital Giriş	Çevrim Kontrol Girişi
DIN	B8	Dijital Giriş	Seri Veri Girişi
DOUT	D8	Dijital Çıkış	Seri Veri Çıkışı
NC	E8	NC	Bağlı değil
CLK	F8	Dijital Giriş	Ana Saat Girişi
DCLK	H8	Dijital Giriş	Seri Veri Saat Girişi

DDC232 Çalışma Prensipleri

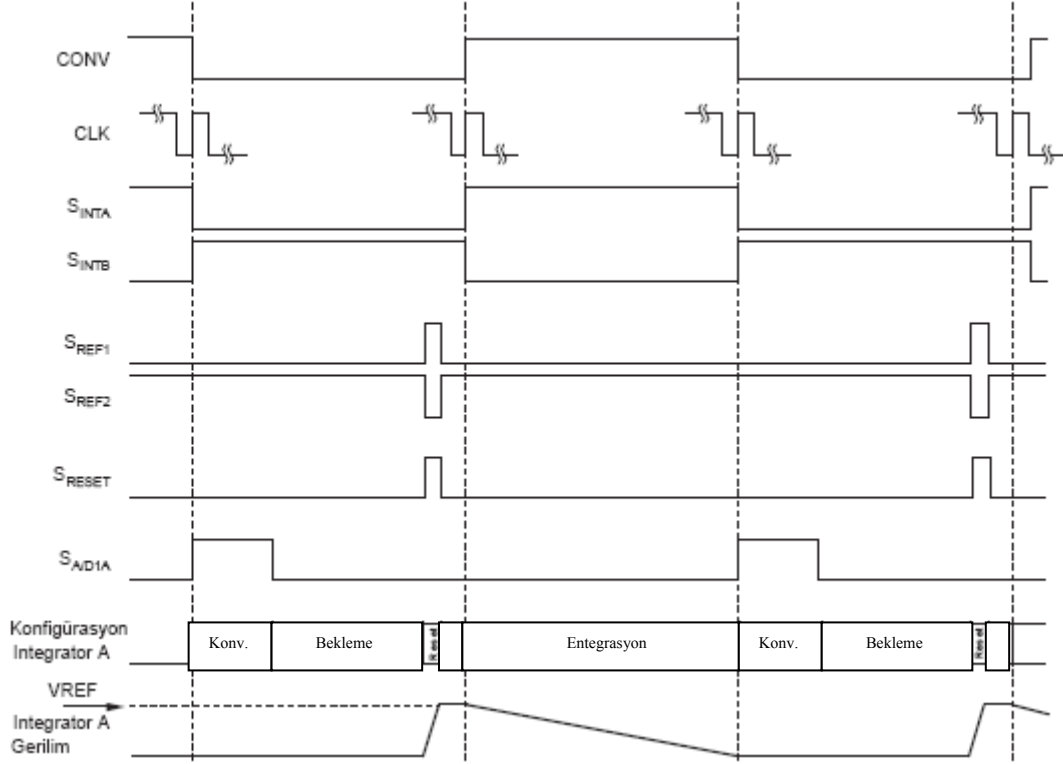
DDC232 entegresi 32 adet giriş kanalına sahiptir. Akımı gerilime, analog gerilimi de dijitalle çevirir. Her bir girişte iki adet integral alıcı devre bulunmaktadır. Sürekli zamanda akımı gerilime çevirmektedir. İntegral alıcı bloklarından bir tanesinde entegrasyon işlemi yapılırken, diğerinde ise sayısal çevirme işlemi gerçekleştirilmektedir. Entegrasyon ve A/D çevirme işlemi sistem saati tarafından kontrol edilmektedir. Eğer kaydedicide geçerli veri tutulursa \overline{DVALID} çıkışı pasif durumda olur. Şekil 3.9.'da görüleceği üzere giriş katı işlemsel yükselteç, geri besleme kapasiteleri ve farklı anahtarlar içermektedir.



Şekil 3.9. DDC232 giriş katı

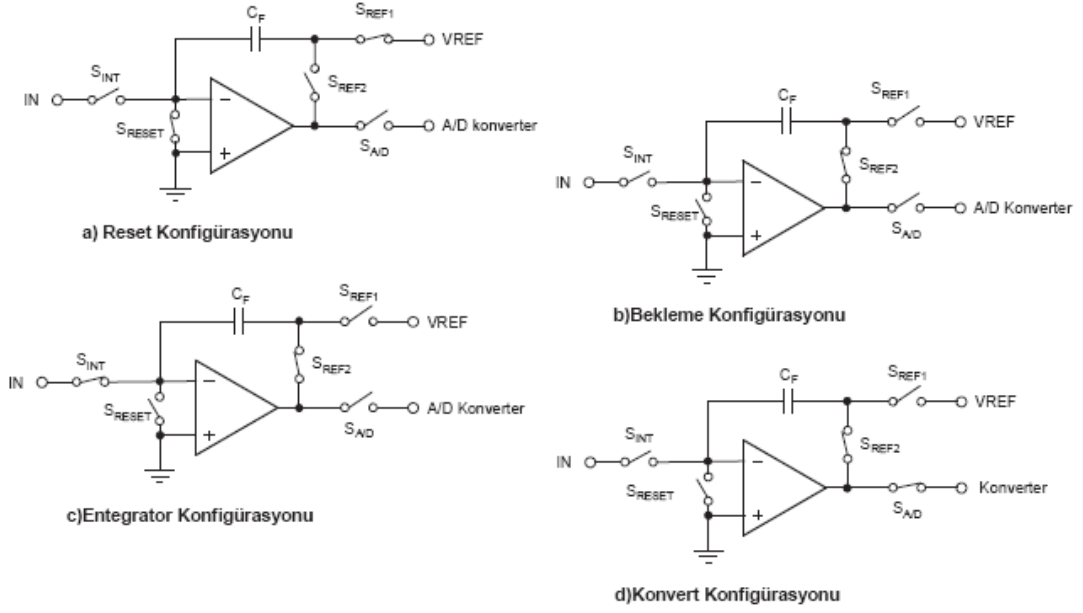
Şekil 3.9.'daki entegratör işlemsel yükselteç devresinin üzerindeki geri besleme kapasiteleri dijital olarak devreye sokulup çıkartılabilmektedir. Yan tarafta gösterilen kademe giriş seçenekleriyle bu yapılmaktadır. Kademe girişleri en üstteki kapasitenin kontrol anahtarına girmeden önce VE kapısının girişlerine gelmektedir. Eğer lojik olarak üç kademe girişinden de lojik 0 bilgisi gelirse o zaman lojik 0'lar eviricilerden geçerek lojik 1'lenir ve VE kapısına girer. Bu durumda üç giriş de lojik 1 olduğu için VE kapısı çıkışı lojik 1 olur ve en üstteki 3 pF kapasitesini kontrol eden normalde açık olan anahtarı kapatır. Böylece 3 pF kapasitesi devreye girer. En üstteki kondansatörün altındaki üç kondansatörün kontrol anahtarı girişleri ise doğrudan kademe girişleri tarafından kontrol edilmektedir. Şekil 3.9.'da sağ taraftaki en üstteki giriş VREF referans gerilim girişidir. VREF girişi entegrasyon aşamasında kullanılmaktadır. Devrenin ilk çalışmasında S_{RESET} anahtarı kapatılıp, S_{REF1} anahtarı kapatılıp kondansatörler üzerinde gerilim endüklendikten hemen sonra S_{RESET} ve S_{REF1} anahtarları açılıp, S_{INT} ve S_{REF2} anahtarları kapatılır. Bu andan itibaren entegrasyon işlemi başlar. Kondansatörlerin sağ tarafındaki giriş gerilimleri, kondansatörler gerilim kaynağı gibi davrandıkları için düşmeye başlar. Entegrasyon işlemi bittikten sonra S_{ADC} anahtarı kapatılır, S_{INT} anahtarı açılır. A/D çeviriciye analog gerilim aktarılmış olur.

Şekil 3.10.'daki zamanlama diyagramında, anahtarlarla ilgili çalışma şekli görülmektedir.



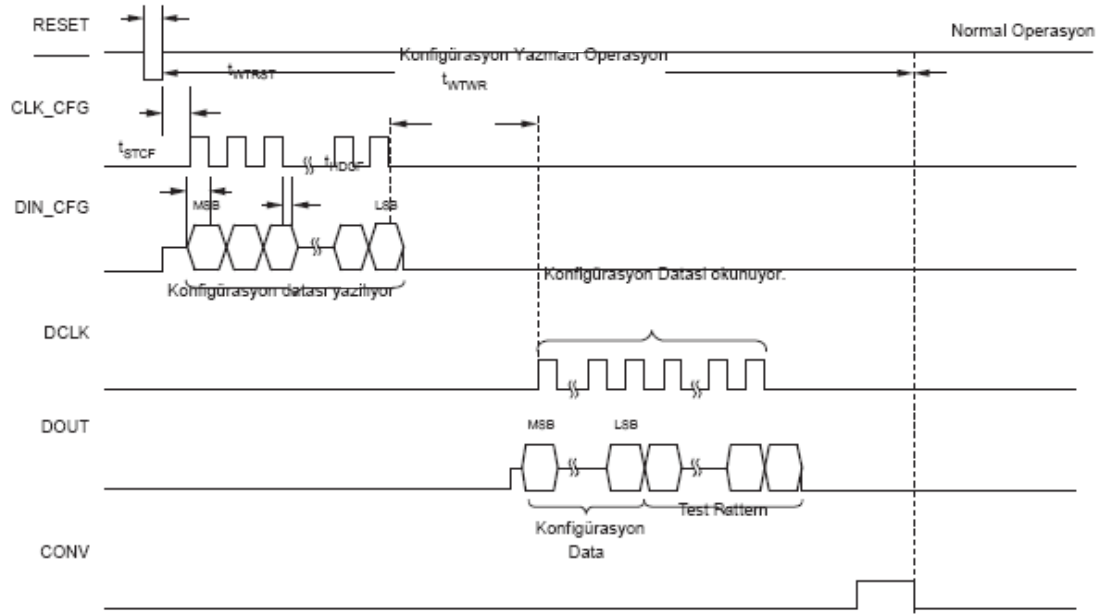
Şekil 3.10. DDC232 zamanlama diyagramı

Şekil 3.11.'de reset, bekleme, entegratör ve konvert durumlarının blok diyagramı görülmektedir. CONV ve CLK pini vasıtasıyla, harici olarak durumlar kontrol edilmektedir. Gürültü performansı açısından düşünüldüğünde, CONV, CLK'ın yükselen kenarı ile senkronize edilmelidir. Entegratörlerin evirmeyen girişi toprağa bağlanmıştır. Devredeki gerilim referansı, entegratör kapasitelerini yüklemek için kullanılmaktadır.



Şekil 3.11. DDC232 işlemsel yükselteç konfigürasyonları

Şekil 3.12.'de konfigürasyon verisinin yazılması ve okunması görülmektedir. Konfigürasyon kaydedicisi, DDC232'nin kullanımıyla ilgili olan en önemli kısımdır. DIN_CFG, CLK_CFG ve RESET pinleri bu kaydediciye yazmak için kullanılan pinlerdir. Yazma işlemi başında CONV düşükte tutulur ve RESET'leme yapılır, daha sonra DIN_CFG'e konfigürasyon bilgileri yazılır. En yüksek anlamlı bit öncelikli olarak yazılır. Veri, CLK_CFG'in her yükselen kenarında dahili olarak kaydediciye yazılır. Tüm 12 bitlik konfigürasyon ayarı bu şekilde yapılır. Seçime bağlı olarak veri konfigürasyon bitlerinin gönderilmesinden hemen sonra eğer istenilirse okuma yapılabilir ve bu şekilde test sağlanmış olur. Burada 12 bitlik konfigürasyon verisinin okunmasından sonra 4 bitlik id okunur. Okuma işlemi DOUT'a veriler gönderilerek yapılır. Konfigürasyon yazmacına yazma ve okuma işlemleri Şekil 3.12.'de gösterilmektedir. Öncelikli olarak veri, konfigürasyon yazmacına yazılır, daha sonra da test pateni ile birlikte okunur.



Şekil 3.12. DDC232’de konfigürasyon verisinin yazılması ve okunması

Tablo 3.2.’de konfigürasyon yazmacı görülmektedir. Dijital olarak entegrasyon kapasitelerinin değerleri seçilebilmektedir. 16 bitlik ya da 20 bitlik veri çıkışı modunda çalışılabilmektedir. Düşük güç ya da yüksek hız modu kullanılabilir. Sistem saati dahili olarak 4’e bölünebilmektedir.

Tablo 3.2. Konfigürasyon yazmacı

Bit 11	Bit 10	Bit 9	Bit 8	Bit 7	Bit 6	Bit 5	Bit 4	Bit 3	Bit 2	Bit 1	Bit 0
Kademe 2	Kademe 1	Kademe 0	Format	Pwr/Spd	Clk_4x	0	0	0	0	0	Test

Bit 11-9 : Kademe[2:0] Analog Giriş Kademeleri

000 : 12.5 pC	100 : 200 pC
001 : 50 pC	101 : 250 pC
010 : 100 pC	110 : 300 pC
011 : 150 pC	(Seçtiğimiz değer) 111 : 350 pC

Bit 8 : Format

- 0 = 16 bit Çıkış
- 1 = 20 bit Çıkış (Fabrika değeri, seçtiğimiz değer)

Bit 7 : Pwr/Spd

- 0 = Düşük Güç Modu (Fabrika değeri, seçtiğimiz değer)
- 1 = Yüksek Hız Modu (DDC232CK için sadece)

Tablo 3.3. Güç/Hız modları, saat frekansları ve maksimum veri hızı

Pwr/Spd Bit	MOD	Güç/Kanal(mW)	Max. Saat Frekansı	Max. Data Hızı(kHz)
0	Düşük Güç	7	5 MHz	3.125
1	Yüksek Hız	10	10 MHz	6

Bit 6 : Clk_4x (Sistem saat sürücüsü)

0 = Dahili saat bölücüsü = 1 (Fabrika değeri)
1 = Dahili saat bölücüsü = 4 (Seçtiğimiz değer)

Tablo 3.4. CLK işareti konfigürasyonu

Clk_4x Bit	CLK bölücü	CLK frekans	Dahili Saat Frekansı
0	1	5 MHz	5 MHz
1	4	20 MHz	5 MHz

Bit 5 -1 : 00000

Bit 0 : Test Mod

0 = Test Mod Kapalı
1 = Test Mod Açık

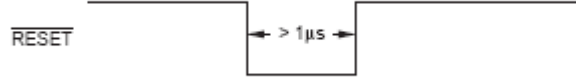
DDC232 Sayısal Arayüzey

DDC232'nin sayısal arayüzey pinleri, DCLK, DVALID, DOUT ve DIN pinleridir. DDC232'den sistem mikrodenetleyicisine DVALID bilgisi geldiğinde mikrodenetleyici DDC232'yi sürmeye hazırdır ve DCLK ile DDC232 veri saat girişini sürmeye ve DDC232'den bilgileri almaya başlar. CLK ve CONV işaretlerinin aynı fazda olması gerekmektedir. En iyi performans için aynı saat işareti kaynağından aynı faz farkı ile sürülmeleri tavsiye edilmektedir. Birden fazla DDC232'nin kullanıldığı durumda DIN pini de kullanılır. Aksi halde dijital toprağa bağlanmalıdır.

DDC232 Sistem ve Konfigürasyon Verisi Saatleri

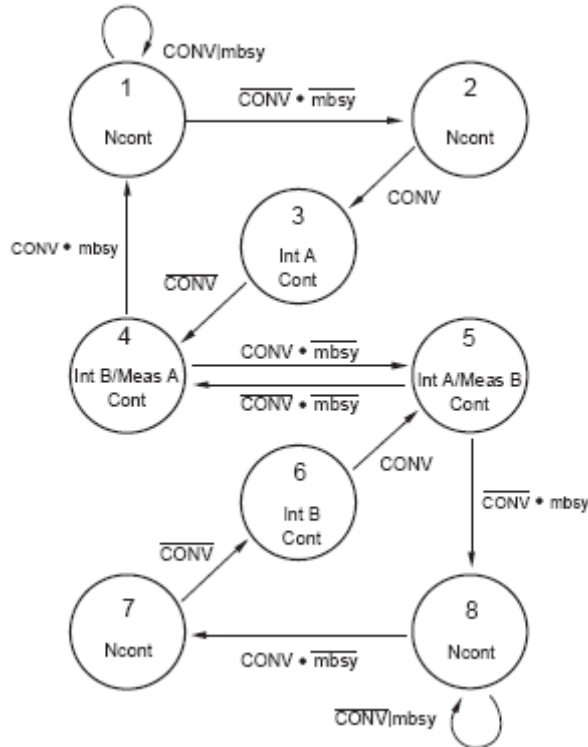
Sistem saati CLK girişinden verilir, veri saati ise DCLK girişinden verilir. Saat işaretlerinin temiz ve gürültüsüz olmasına dikkat edilmelidir. En iyi performans için aynı saat üreticinden temin edilmelidir. Veri gönderildikten sonra DCLK girişi pasif yapılmalıdır veya CONV geçişinde de pasif yapılabilir. DDC232 kullanılırken DCLK saat işareti dağılımına dikkat edilmesi gerekmektedir. DCLK'daki titreşimlere dikkat edilmesi gerekmektedir. DVALID sinyali, verinin hazır olduğunu işaret eder. DVALID sinyali pasife düştükten sonra veri alışı başlanabilir. Kullanıcının CONV ile CLK sinyallerini senkronize etmesi gerekmektedir. DVALID sinyali CONV ile rastgele bir faz ilişkisine sahiptir. DDC232 tümdevresi, RESET sinyalinin

düşüğe çekilmesiyle asenkron olarak sıfırlanabilir. RESET işaretinin en azından 1 mikrosaniye genişliğinde olması gerekmektedir. Şekil 3.13.'de reset işareti görülmektedir.



Şekil 3.13. Reset işareti

DDC232 resetlendikten sonra en azından 4 A/D çevrim zamanı kadar beklemek gerekmektedir. A/D çevrim zamanı temel olarak sistem saatinin bir fonksiyonudur. Çoğu durumda A/D çevrim zamanı, entegrasyon zamanından daha kısadır. Bu çalışma durumuna sürekli mod çalışma denilmektedir. Bazı durumlarda da A/D çevirme zamanı entegrasyon zamanından büyük olmaktadır. Bu durumlara sürekli olmayan durum denilmektedir. Durumları gösteren diyagram Şekil 3.14.'de verilmiştir. Bu diyagramdan görüleceği üzere entegrasyon zamanı ve A/D çevirme zamanı karşılaştırılmaktadır. Bu karşılaştırmalara göre ya sürekli mod ya da sürekli olmayan modda çalışmaktadır. Durum diyagramına göre 4 işaret kullanılmaktadır. Bunlar CONV, mbsy ve bunların tersleyenleri. CONV işareti dışarıdan uygulanmaktadır, buna karşın mbsy işareti tümdevrenin içerisinde üretilmektedir.

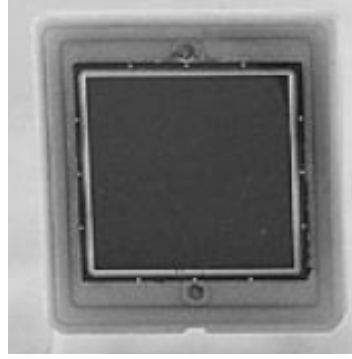


Şekil 3.14. DDC232 durum diyagramı

Fotodiyotlar

OSD35-LR-D Fotodiyot

Şekil 3.15.'de OSD35-LR-D fotodiyotunun üstten görünüşü var.



Şekil 3.15. OSD35-LR-D fotodiyotu üstten görünüşü

Aktif alanı büyük olan fotodiyotların yüksek hızda çalışabilmesi için mümkün olan en küçük jonksiyon kapasitesine sahip olması istenilmektedir. Çok hızlı zamanlarda çalışabilmesi için (fotodiyotlar için nanosaniye mertebeleri iyi derecelerdir) fotodiyotlar çoğunlukla ters gerilimle kutuplanırlar. OSD35-LR-D fotodiyotu da büyük jonksiyon alanı ve düşük jonksiyon kapasitesini gerçekleştirmek amacıyla ters kutuplama gerilimi ile kutuplamak mümkündür. Bu durumda p ve n jonksiyonlarının arasında oluşan fakirleşme bölgesi kapasitesi küçülür. Yüksek ters kutuplama gerilimi jonksiyon üzerinde yüksek bir elektrik alan oluşturur. Fakirleşme bölgesinde yük toplama zamanı da artar. Ters kutuplanmış fotodiyot modeli x-ray, gama-ray gibi medikal uygulamalarda kullanılmaktadır. Elektronlar, alfa-raylar ve ağır iyonları ölçmek için de kullanılır. Bu çeşit radyasyon ölçümleri doğrudan ya da dolaylı olarak yapılabilmektedir. Tablo 3.5.'de OSD35-LR-D fotodiyotunun özellikleri vardır.

Tablo 3.5. OSD35-LR-D fotodiyot özellikleri

Boyut	Kapasitans	Maks. Geçirgenlik Dalga Boyu
5.9 mm x 5.9 mm	1300 pF	830 nm

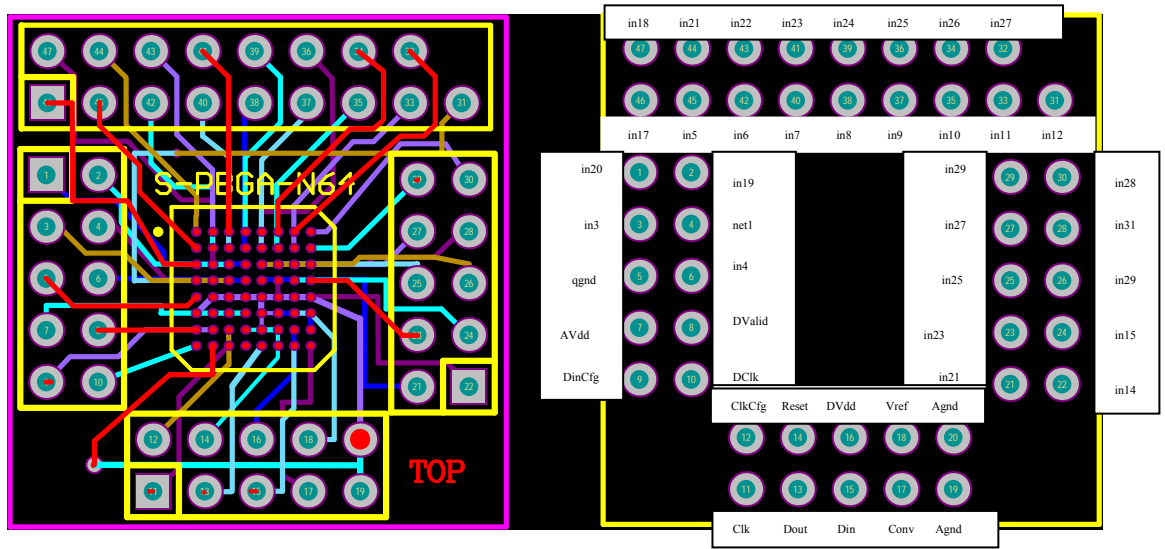
Sistemde kullanılan fotodiyotlar doğru yönlü bağlandı (Anodları entegratör girişlerine, katodları toprağa bağlandı). Akım girişi DDC232 A/D çeviricilerin işlemsel yükselteç girişlerine fotodiyotların anodları bağlandı. Pn tipi yarı iletken fotodiyotların p ve n tipi has yarı iletken aktif bölgeleri arasındaki difüzyondan kaynaklanan ters yöndeki sürüklenme elektrik alanı üzerine ek bir elektrik alan eklenmedi. İşlemsel yükselteçli integral alıcı yapısı çıkıştan girişe doğru olan entegrasyon kapasitesi ve ileri yönlü olan işlemsel yükselteç yapısı ile birlikte geri

beslemeli ve transfer fonksiyonu olan bir transempedans sistemi temsil etmektedir. İleri yönlü olan kazanç değeri transfer fonksiyonunun içerisinde işlemsel yükselteç kuvvetlendirme oranı kadar bir çarpımla gelmekte; öte yandan entegrasyon kapasitesi ise geri besleme kazanç çarpımı olarak gelmektedir. Transfer fonksiyonunun içerisindeki entegrasyon kapasitesinin değeri önemlidir. Programlama yoluyla kapasitenin değeri değiştirilebilmektedir.

Fotodiyot Kartı

BGA Soketi

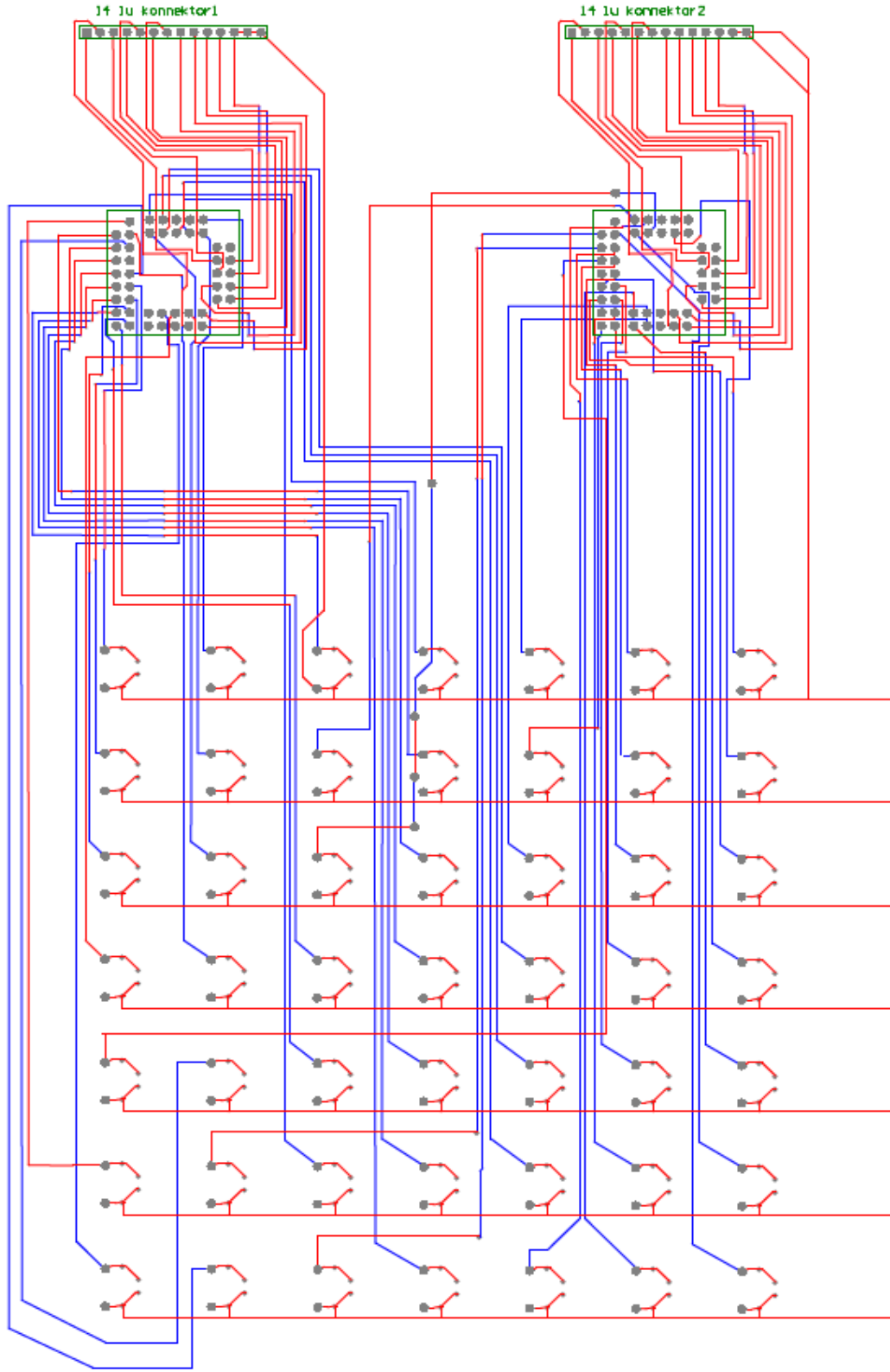
Şekil 3.16.'da DDC232 tümdevresinin fotodiyotlar ve mikrodenetleyici ile olan bağlantılarını sağlayan 8 katlı baskı devre soketi görülmektedir. Bu devre Altium elektronik devre programı kullanılarak çizildi ve gerçekleştirilmek üzere baskı devre üreticisine (Delron, Manisa) gönderildi ve yaptırıldı. DDC232 tümdevreleri bu soketlerin üzerine lehimlendi. Sistemde 2 adet DDC232 ve 2 adet bu soketten kullanıldı.



Şekil 3.16. DDC232 tümdevresi 8 katlı soketi

Fotodiyot ve DDC232 Yerleşimi

Şekil 3.17.'de fotodiyot elektronik kartı görülmektedir.



Şekil 3.17. Fotodiyot elektronik kartı

Şekil 3.17.'de iki konnektör, iki DDC232 tümdevresi soketi görülmektedir. Konnektörler fotodiyot kartı ile ana elektronik kart arasındaki bağlantıyı sağlamaktadır. Devrede çift katman kullanıldı. Kırmızı ile görülen yollar üst katmandaki yolları, mavi ile görülen yollar ise alt katmandaki yolları göstermektedir. Bu bağlantılar devrenin alt kısmında görülen fotodiyot pinlerine girmektedir.

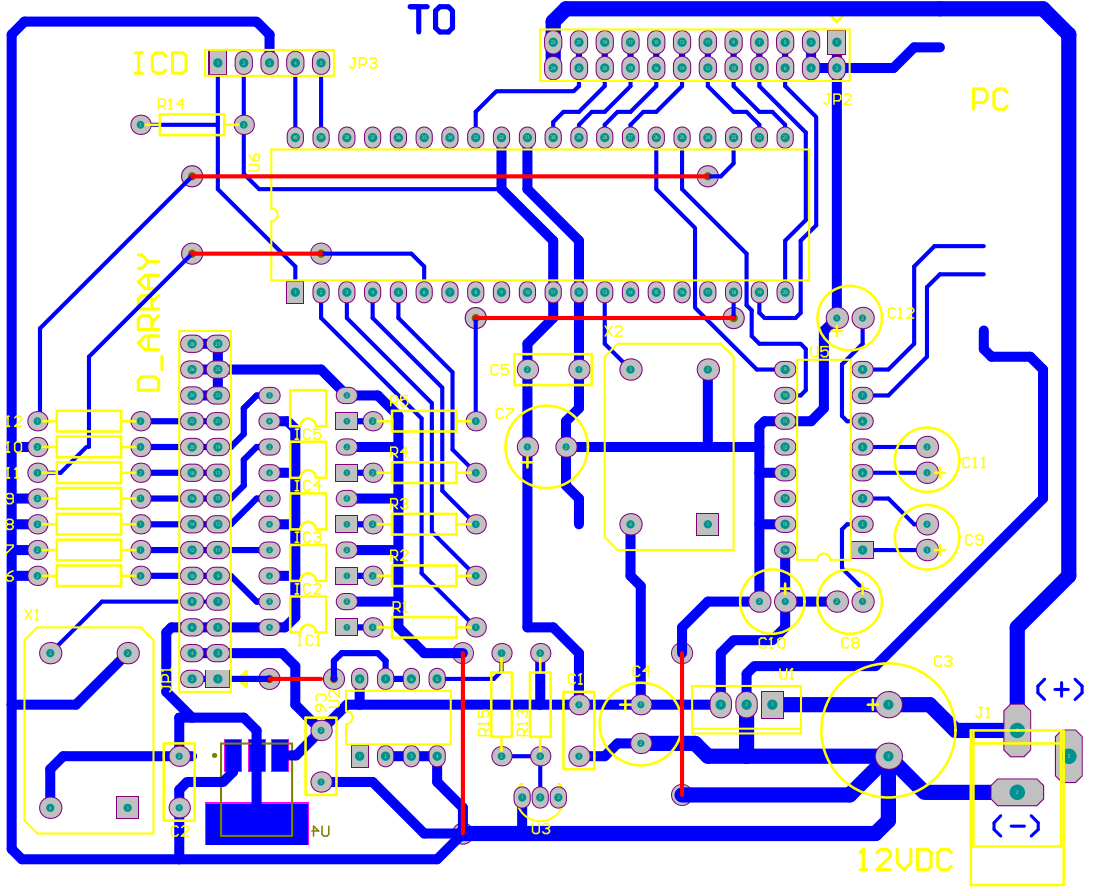
3.1.2.2. Ana Kartın Yapısı

Ana kartın görevi optik anahtarı kontrol etmek ve fotodiyot elektronik kartından sayısal verileri alarak bilgisayara aktarmaktır. Ana kart bir mikrodnetleyiciden, dijital ve analog referans gerilim üreteçlerinden, saat işareti üreten kristal osilatörden, 2 adet konnektörden, besleme soketinden ve direnç, kondansatör gibi pasif elemanlardan oluşmaktadır. Mikrodnetleyici yazılımı C programlama dili kullanılarak yazıldı. Mikrodnetleyici bilgisayar ile RS232 seri portu üzerinden seri port haberleşme protokolünü kullanarak haberleşmektedir.

Mikrodnetleyici yazılım kodu derlenmiş halde hex kodudur. Derlenmiş mikrodnetleyici hex kodunu Pic C (CCS firmasının derleyicisi) yazılımını MPLAB ortamında derleyerek elde ettik. Bunun için microchip firmasının MPLAB program ortamına Pic C yaması yerleştirdik. Mikrodnetleyici kodu ICD2 (In Circuit Debugger-2, microchip) isimli yükleyici elektronik kartı aracılığıyla devreye yüklendi.

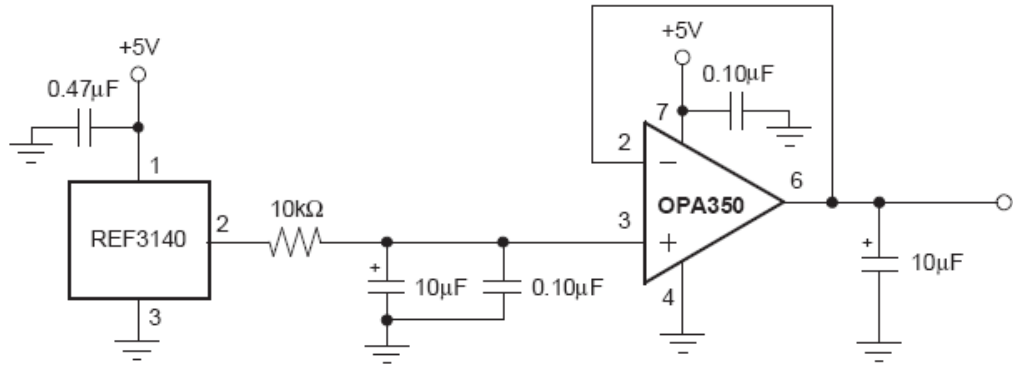
Ana Elektronik Kart

Şekil 3.18.'de ana elektronik kart devresinin Altium Designer programında çizilen görüntüsü var. Devre üzerinde mikrodnetleyici, VX500 fiber optik anahtarlama devresiyle olan bağlantı konnektörü, fotodiyot elektronik kartıyla olan bağlantı konnektörü, mikrodnetleyici ve DDC232 tümdevrelerini süren 20 MHz saat işareti osilatörü, DDC232 tümdevreleri için gerekli olan analog ve dijital besleme gerilimi üreteçleri, besleme soketi ve kapasitörler, optoizolatörler bulunmaktadır.



Şekil 3.18. Ana elektronik kart devresi

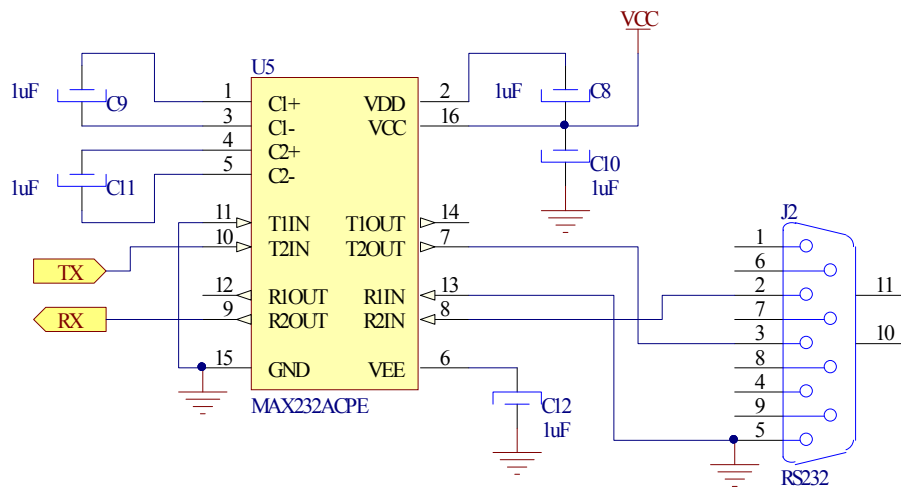
Şekil 3.19.'da OPA350 işlemsel yükselteç devresinin ana elektronik kartta gerilim izleyici devre olarak kullanılması görülmektedir. Bu devrenin kullanım amacı DDC232 tümdevrelerine V_{ref} referans gerilimini üretmektir. Şekil 3.19.'da REF3140 tümdevresi OPA350 işlemsel yükselteç tümdevresine referans gerilim sağlamaktadır. İşlemsel yükselteç devrelerinde girişlere sağlanacak olan referans gerilim çok önemlidir. Sıcaklık ve diğer dış etkenlerden çok az etkilenmesi gerekmektedir. Şekilde işlemsel yükseltecin pozitif girişine referans gerilim sağlanmıştır. İdeal işlemsel yükselteçler girişlerinden içeriye doğru akım akıtmazlar ve pozitif ve negatif giriş gerilimleri birbirine eşittir. Giriş empedansları çok yüksektir. Girişten içeriye doğru akım akamayacağı için akım referans gerilim üretici üzerinden toprağa akar.



Şekil 3.19. OPA350 işlemsel yükselticinin ana elektronik karttaki kullanım şeması

Pozitif giriş ile negatif giriş gerilimleri de birbirine eşit olacağı için pozitif girişteki gerilim aynen çıkışa aktarılır çünkü negatif giriş ile çıkış birbirine kısa devre edildi. Bu devre yapısı gerilim izleyici olarak adlandırılır ve elektronikte sıklıkla referans gerilimin gerekli olduğu uygulamalarda kullanılır. DDC232 tümdevresine referans gerilim bu devre vasıtasıyla sağlandı.

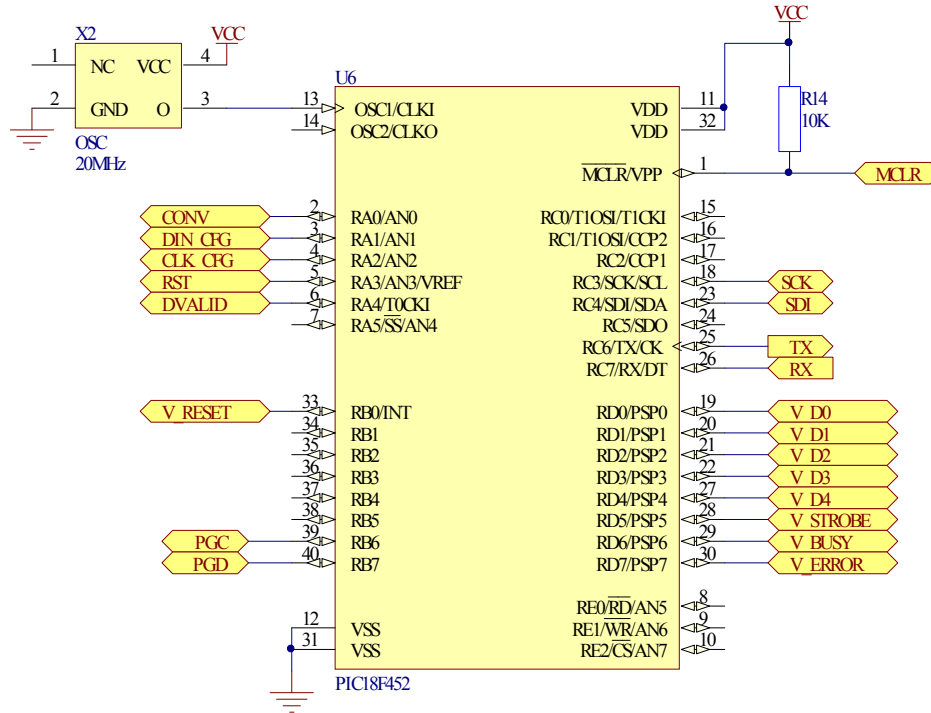
Şekil 3.20.'de MAX232 tümdevresinin mikrodenetleyici ile bilgisayar portu arasındaki sürücü iletişim devresi görülmektedir. Seri haberleşme yapmak isteyen tüm uygulamalar MAX232 tümdevresine ihtiyaç duymaktadır. Devrede seri portun sadece üç adet ucu kullanıldı. Bunlar, 2, 3 ve 5 numaralı uçlardır. 2 numara MAX232'nin R (receive) alma ucuna, 3 numara MAX232'nin T (transmit) verme ucuna bağlandı. 5 numara toprağa bağlandı. Gerek mikrodenetleyici yazılımından gerekse de bilgisayar yazılımından gönderme alma hızları ayarlandı. Baud hızı olarak adlandırılan hız birimi saniyedeki aktarılan bit sayısını temsil etmektedir. Baud hızı olarak 115200 değeri girildi. Ayrıca stop biti de eklendi.



Şekil 3.20. Ana elektronik kartta kullanılan MAX232 tümdevresi

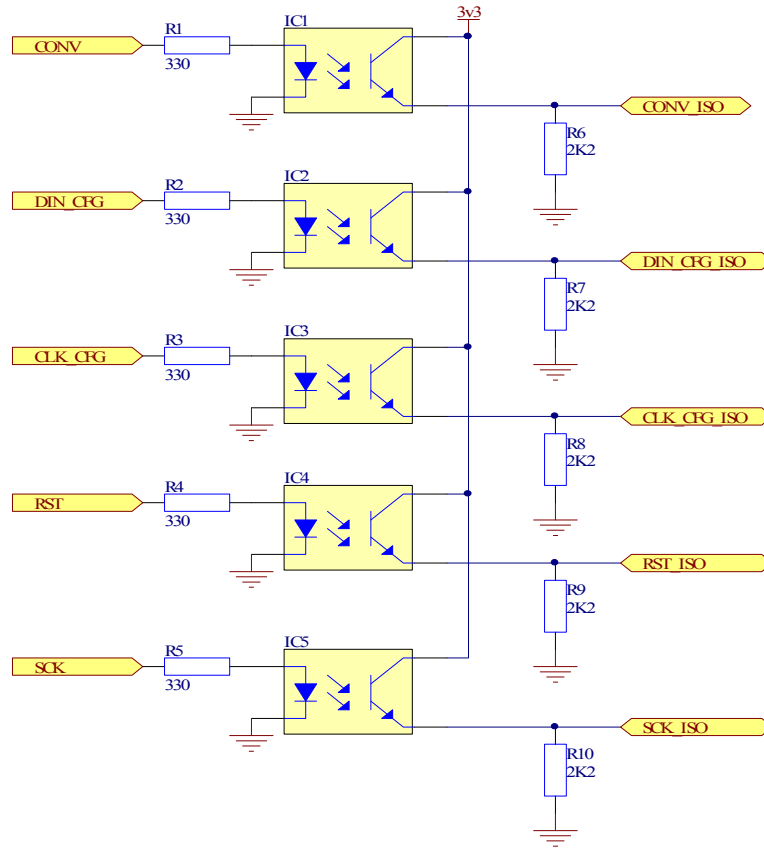
Mikrodenetleyici Bağlantı Şemaları

Şekil 3.21.'de mikrodenetleyici bağlantı pinleri görülmektedir. Sol en üstteki bağlantı saat işareti girişidir. 20 Mhz kristal saat osilatörü buraya bağlandı. Sol taraftaki CONV, DIN_CFG, CLK_CFG, RST, DVALID bağlantıları mikrodenetleyicinin A portuna bağlandı ve bunlar DDC232 tümdevrelerine gitmektedir. Mikrodenetleyicinin 33 numaralı V_RESET ucuna VX500 fiber optik anahtarlama sistemi bağlandı. Ayrıca 39 ve 40 numaralı bağlantılar PGC ve PGD mikrodenetleyiciyi devre üzerinde programlamayı sağlayan bağlantılardır. Sağ taraftaki 1 numaralı uç MCLR ucudur ve mikrodenetleyiciyi resetlemeye yarayan uçtur. 18 numaralı uç RC3 pinidir, DDC232'lerin ihtiyacı olan DCLK saat işaretini üretir. SDI girişi DDC232'lerden gelen DOUT veri giriş ucudur. Sayısal veriler mikrodenetleyicinin içerisine buradan giriş yapar. TX ve RX uçları mikrodenetleyici ile PC bilgisayar arasındaki RS232 seri haberleşmesini yapan uçlardır. V_D0, V_D1, V_D2, V_D3, V_D4, V_STROBE, V_BUSY, V_ERROR pinleri mikrodenetleyiciyle VX500 fiber optik anahtarlama sistemi arasındaki bağlantılardır.



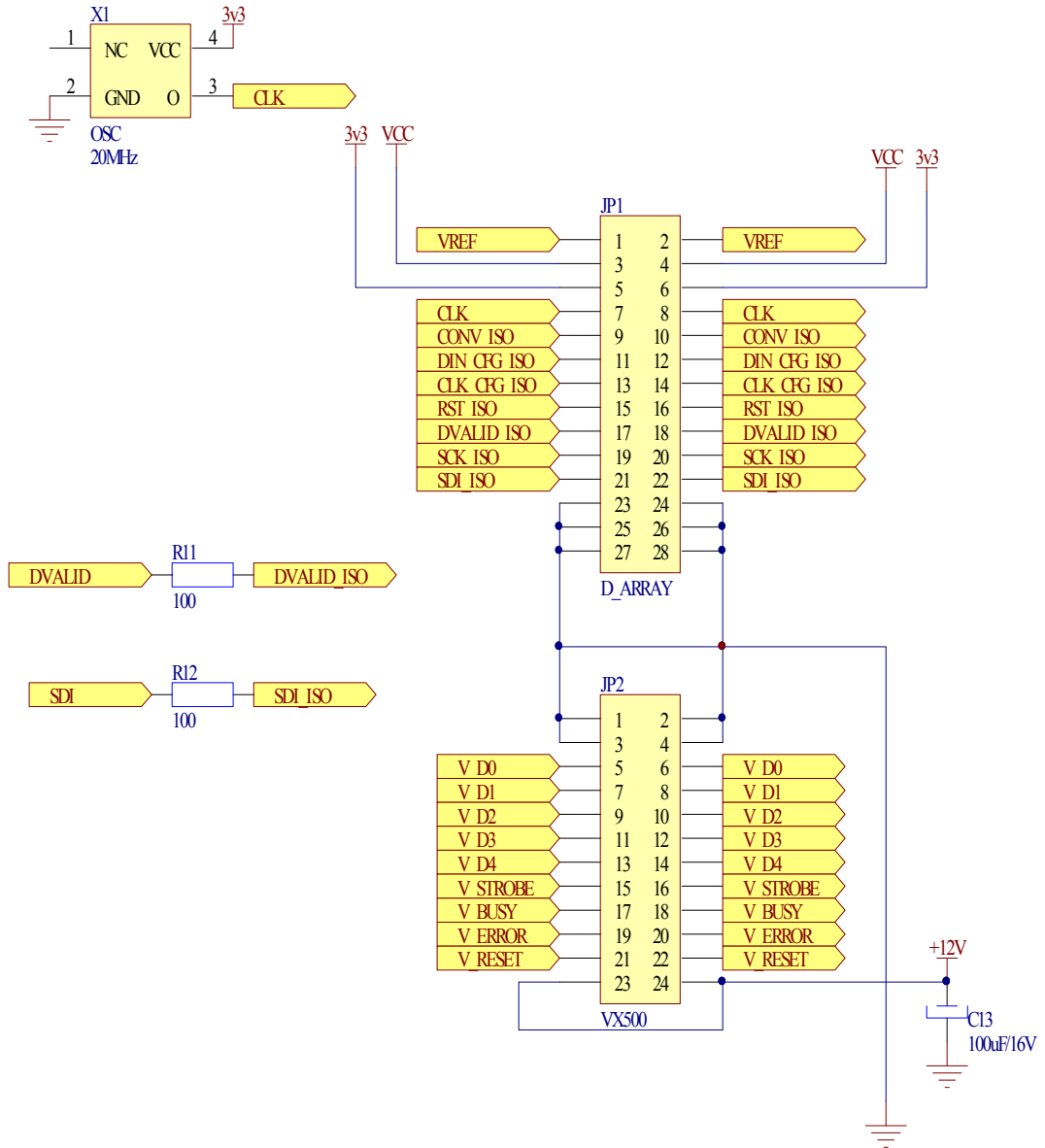
Şekil 3.21. Mikrodenetleyici ve giriş çıkış pinleri (DDC232 ve VX500 bağlantıları)

Şekil 3.22.'de 5 adet optokuplör bağlantısı görülmektedir. CONV, DIN_CFG, CLK_CFG, RST, SCK (DCLK) DDC232 bağlantıları optokuplörler üzerinden yapılmıştır. Bunun amacı saat işareti ve entegrasyon zamanlarının ayarlanmasını sağlayan bağlantıların daha sağlıklı bir biçimde yapılması ve gürültülerden etkilenilmemesini sağlamaktır.



Şekil 3.22. Optokuplör bağlantı şeması

Şekil 3.23.'de DDC232 ve VX500 bağlantı konnektörleri görülmektedir. D_ARRAY konnektörü DDC232'leri üzerinde bulunduran fotodiyot elektronik kartıyla mikrodenetleyici arasında olan bağlantıyı sağlamaktadır. VREF, referans gerilimi, VCC analog beslemeyi, 3v3 dijital beslemeyi, CLK saat işaretini, CONV_ISO conv bağlantısını, DIN_CFG_ISO Din_Cfg bağlantısını, CLK_CFG_ISO Clk_Cfg bağlantısını, RST_ISO Reset bağlantısını, DVALID_ISO Dvalid bağlantısını temsil etmektedir. SCK_ISO Dclk, SDI_ISO Dout bağlantılarıdır. VX500, fiber optik anahtar ile mikrodenetleyici arasındaki bağlantı konnektörüdür. D0, D1, D2, D3, D4 veri, strobe, busy, error, reset kontrol ve durum bağlantılarıdır.



Şekil 3.23. DDC232 ve VX500 bağlantı konnektörleri

3.1.3. Optik Tomografi Sisteminin Çalışma Prensibi

Optik tomografi sistemi Delphi kullanılarak yazılan arayüz programı ile kontrol edilmektedir. Sistemde lazer gönderildikten sonra belirlenen altı entegrasyon zamanında lazer şiddeti ölçülür. Mikrodenetleyici ilk olarak DDC232'leri resetler. Resetledikten sonra DDC232'lere konfigürasyon verilerini gönderir. Konfigürasyon ayarları yapıldıktan bir kaç mikrosaniye sonra mikrodenetleyici DDC232'nin sürekli lojik 0 olan CONV girişini 0-1-0 yapar ve DDC232 veri toplama işlemine başlar. Veri toplama işleminde entegrasyon zamanı süresince CONV işareti hep aynı pozisyonda kalmaktadır. DDC232'ler sürekli moda veriyi hazır ettiği zamanda lojik 1 olan DVALID işaretini lojik 1-0-1 yapar ve bu işaret dijital çıkış işareti olarak

mikrodenetleyiciye gider. Mikrodenetleyici DVALID işaretindeki değişmeyi algıladığında DCLK için gerekli olan 1280 bitlik süreyle (2xDDC232 64 giriş var) saat işaretini gönderir. DDC232 entegresi için dijital çıkış pini DOUT pinidir. Sayısal bilgiler DDC232 tümdevresinden mikrodenetleyiciye DOUT pininden gönderilir. Mikrodenetleyicinin geçici tamponlarında tutulan sayısal fotodiyot bilgileri seri port üzerinden Delphi yazılımı aracılığıyla bilgisayara aktarılır. Aktarma işlemi seri port üzerinden olduğu için haberleşme protokolü seri port haberleşme protokolüdür. Seri port haberleşmesinde haberleşme hızları hem mikrodenetleyici yazılımı üzerinden hem de Delphi bilgisayar arayüzey yazılımı üzerinden ayarlanmaktadır.

3.2. Optik Tomografi Sisteminde Kullanılan Malzemeler

Ana elektronik kartında kullanılan malzemelerin ayrıntılı detayları Altium programında hazırlanarak Ek 2.'de verildi.

Bu elemanlara ek olarak fotodiyot elektronik kartında 2 adet DDC232 tümdevresi ve 49 adet OSD35-LR-D tipi OSI Optoelectronics marka fotodiyot kullanıldı. Sistem fotodiyot kümesi üzerine mekanik olarak tasarım yapıldı ve fiber probalar fotodiyotların üzerine gelecek şekilde ayarlandı. Sistemde iki adet elektronik karta ilave olarak optik anahtarların yapıldığı VX500 optik anahtarlama sistemi vardır. VX500 optik anahtarlama sisteminin, ana kartın ve dedektör kümesinin beslemesi 12 Volt, 600 mA'lık bir güç adaptöründen sağlanmaktadır. Sistem tüm bloklarıyla birlikte düşünüldüğünde oldukça küçük ve az enerji harcayan bir sistem olarak ön plana çıkmaktadır. Özellikle fotodiyot kümesinin sürülmesini ve fotodiyot verilerinin toplanmasını sağlayan tümdevreli fotodiyot kümesi dikkat çekmektedir. Ana kart üzerinde 20 Mhz kristal osilatör kullanıldı. Osilatörler mikrodenetleyiciyi ve DDC232 tümdevrelerini sürmektedir. Mikrodenetleyici olarak microchip şirketinin PIC18F452 serisi mikrodenetleyicisini kullandık. DDC232'lerin dijital referans beslemesini temin etmek amacıyla reg1117 referans gerilim üretici devresi kullandık. Pasif elemanlar olarak kondansatör ve dirençler kullandık. DDC232 tümdevrelerine giden dijital saat işaretlerini olası gürültü tetiklemelerine karşı korumak amacıyla optokuplör devreler kullandık. Bu elemanlar sayesinde optik olarak devrenin bir tarafı ile diğer tarafı izole edilmiş oldu.

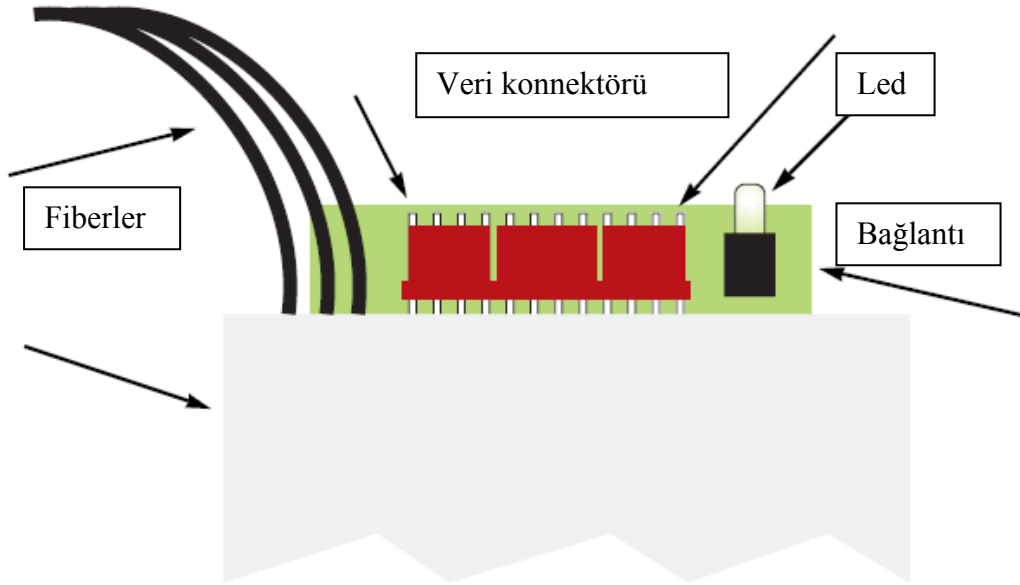
3.3. VX500 Fiber Optik Anahtarlama Sistemi

Şekil 3.24.'de VX500 fiber optik anahtarlama sisteminin fiziksel yapısı görülmektedir.



Şekil 3.24. VX500 fiber optik anahtar

Şekil 3.25.'de VX500 fiber optik anahtarlama sisteminin konnektör bağlantı şeması görülmektedir.



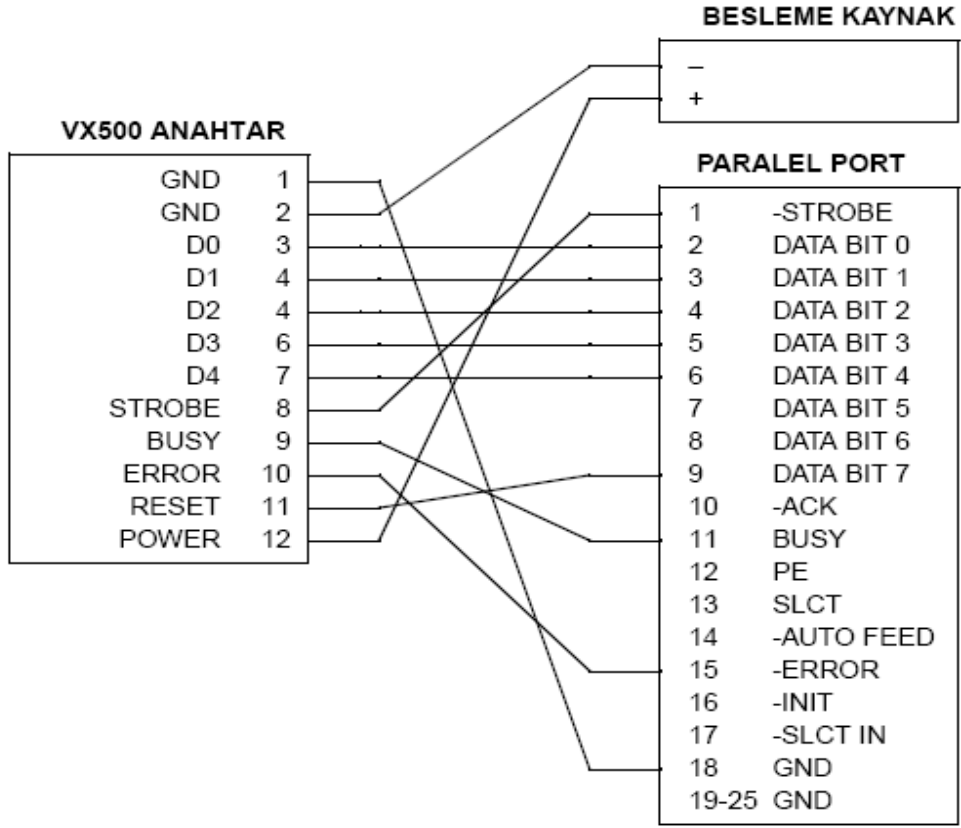
Şekil 3.25. VX500 fiber optik anahtar elektronik soketi

Tablo 3.6. VX500 elektronik soket pin tablosu

Pin	Sinyal	Sinyal Tipi	Fonksiyon
1	GND	Besleme	Toprak.
2	GND	Besleme	Toprak.
3	D0	Girdi	D0
4	D1	Girdi	D1
5	D2	Girdi	D2
6	D3	Girdi	D3
7	D4	Girdi	D4
8	STROBE	Girdi	STROBE
9	BUSY		BUSY
10	ERROR		ERROR
11	RESET	Girdi	
12	POWER	Besleme	+12VDC \pm 5%, 300mA

Tablo 3.6.'da VX500 optik anahtarlama sisteminin pinlerinin fonksiyonları görülmektedir. D0, D1, D2, D3 ve D4 girişleri veri girişleridir. Strobe kontrol girişidir. Busy ve Error durum girişleridir. 1,2 uçları toprak girişleridir. 12 numara besleme girişidir. Reset, D0, D1, D2, D3, D4 bitleri lojik 1 yapıldığı zaman VX500 optik anahtarlama sistemi resetlenir. VX500 optik anahtarlama sistemini 32. kanaldan sonra kullanabilmek için 11 numaralı RESET girişini lojik 1 yapmak gerekmektedir. Sistemimizde 49 kanal olduğu için tüm kaynaklara ışık gönderilmesi bu yolla sağlandı.

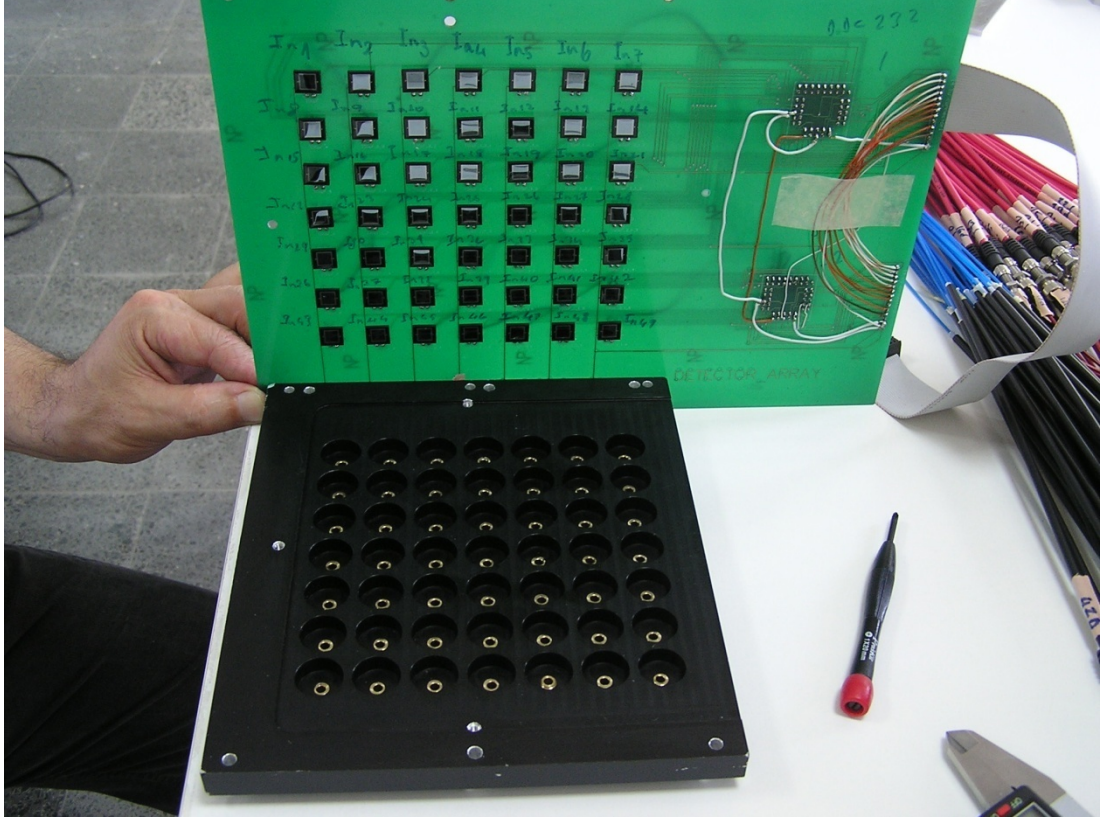
Şekil 3.26.'da VX500 optik anahtarlama sistemiyle besleme ünitesi ve paralel port bağlantısının nasıl yapılması gerektiği görülmektedir. Yaptığımız sistemde bilgisayarın paralel portunu kullanmadığımız için paralel porttan VX500 optik anahtarlama sistemine olan bağlantıyı mikrodenetleyiciden VX500 optik anahtarlama sistemine olacak şekilde ayarladık ve gömülü C yazılımı içerisine yükledik. Böylelikle paralel portu kullanmamıza gerek kalmadı. Fiber optik anahtarın anahtarlama gecikmesi 16 milisaniyedir.



Şekil 3.26. Paralel port bağlantısı

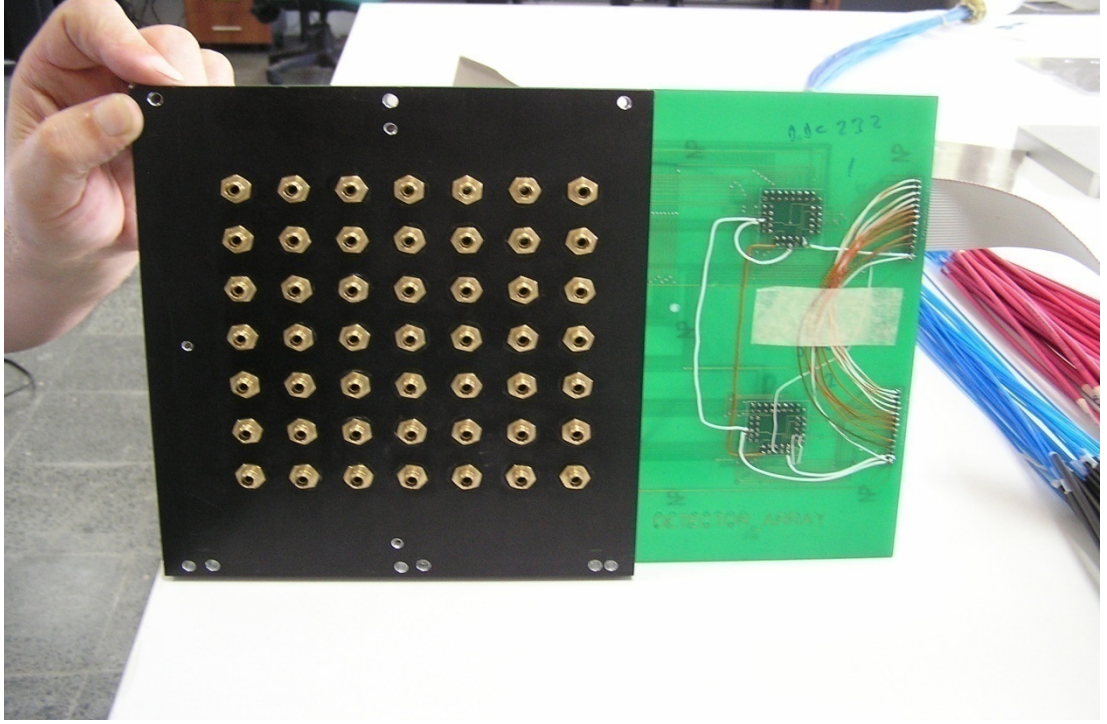
3.4. Mekanik Aksam

Şekil 3.27.'de fotodiyot kümesinin önünü kapatan siyah renkli alimünyum pano kapağı görülmektedir. Pano kapağında fotodiyotların tam önüne gelen kısımda fotodiyotların içine girebileceği kadar boşluk bırakıldı. Alimünyum kapak SolidWorks isimli mekanik çizim ve tasarım programı ile çizildi ve üretime gönderildi. Kapağın baskı devreyi tam olarak örtmesi sağlandı. Dışarıdan fotodiyotların üzerine ışık düşmesi engellenmeye çalışıldı.



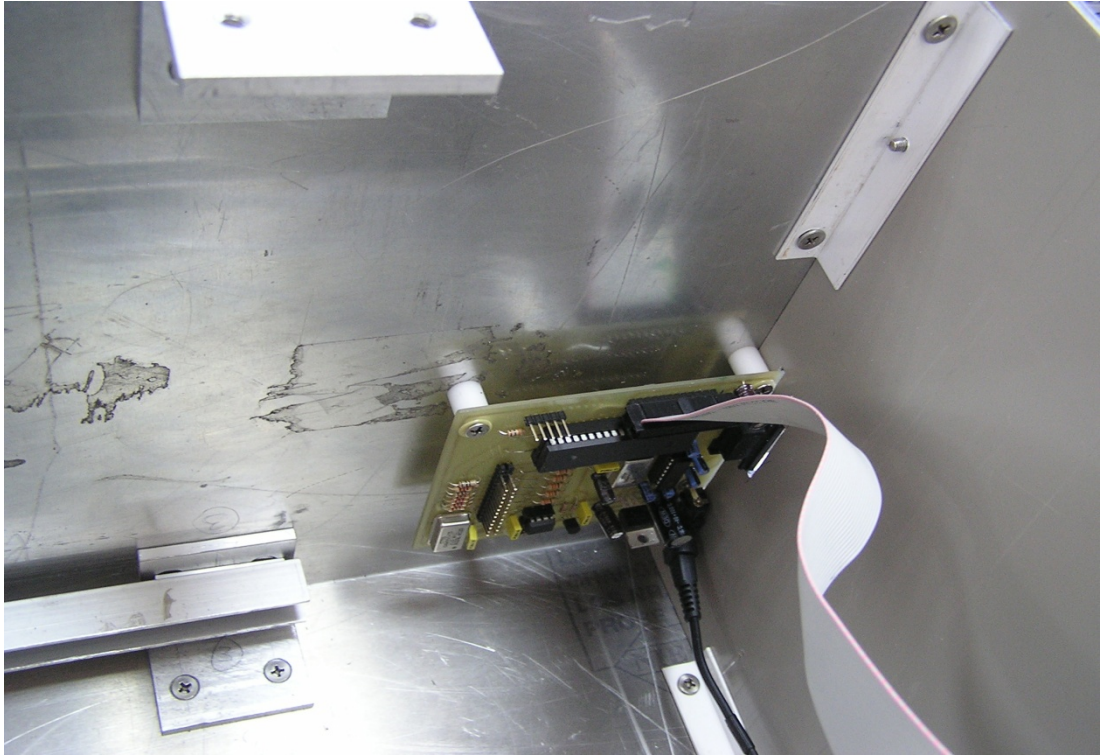
Şekil 3.27. Alimünyum fotodiyot kümesi pano kapağı iç kısım

Şekil 3.28.'de kapağın fotodiyot kartıyla olan bağlantısı görülmektedir. Alimünyum kapağın üzerindeki üç adet vida yeriyle baskı devreye olan bağlantı yapıldı. Şekil 3.28.'de dedektör fiberlerin kapağa bağlanabileceği vida konnektör yerleri görülmektedir. Toplam 49 adet konnektör var.



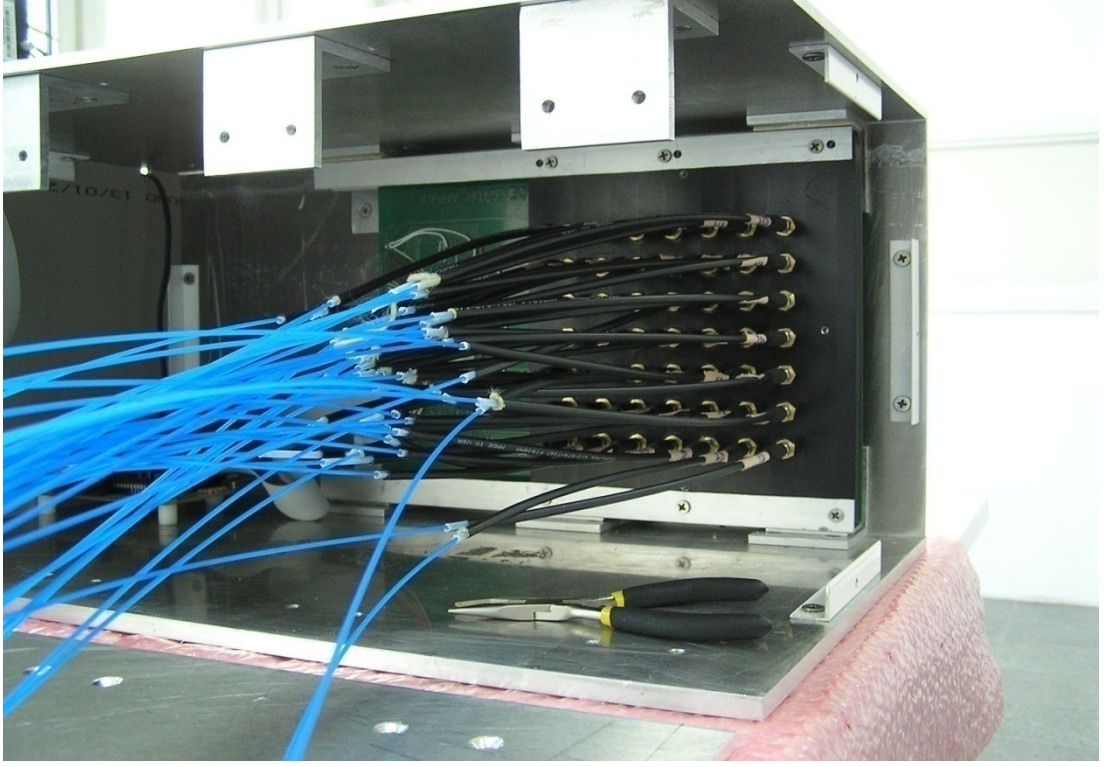
Şekil 3.28. Alimünyum fotodiyot kümesi pano kapağı dış kısım

Şekil 3.29.'da ana elektronik kartın kutu içerisine yerleşimi görülmektedir. Kart 2 cm yukarıda tutturuldu.



Şekil 3.29. Ana kart montaj yeri

Şekil 3.30.'da dedektör fiberlerin fotodiyot kartı panosuna konnektörlerle olan bağlantısı görülmektedir.



Şekil 3.30. Dedektör fiberlerin fotodiyot kartı panosuna konnektörlerle olan bağlantısı

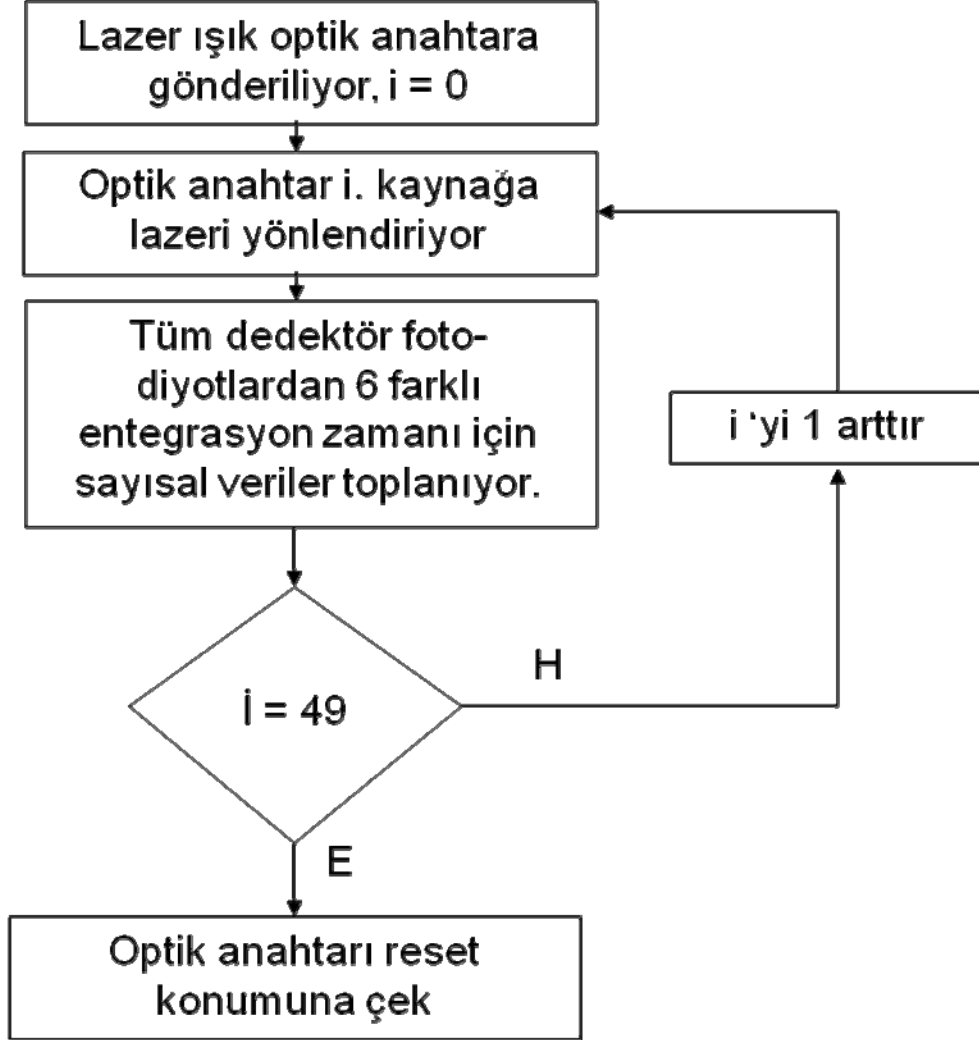
Şekil 3.31.'de tüm sistemin proba birlikte olan görüntüsü var.



Şekil 3.31. 100'lük fiber prob, optik anahtar, optik tomografi cihazı

3.5. Yazılım

3.5.1. Yazılım Algoritması



Şekil 3.32. Yazılım algoritması

Şekil 3.32.'de yazılım algoritması görülmektedir. Algoritma sistemin çalışmasını özetlemektedir. Optik anahtara gönderilen lazer, anahtar vasıtasıyla ilk kaynak fibere yönlendiriliyor. Lazer ilk kaynak probdayken doku içerisinde dönüp gelip fotodiyot üzerine düşen ışık fotodiyot elektronik kartında sayısal verilere dönüştürülüyor ve ana karta, oradan da bilgisayara aktarılıyor. Veriler 6 ayrı entegrasyon zamanı için toplanıyor. İlk kaynak pozisyonunda veri toplama işlemi bittikten sonra optik anahtar bir sonraki kaynak pozisyonuna lazeri yönlendiriyor ve veri okuma işlemi aynı şekilde tekrar ediliyor. 49 kaynak için de veri okuma işlemi yapılıyor. En son olarak optik anahtar reset konumuna çekiliyor. Burada bekleme pozisyonuna geliyor.

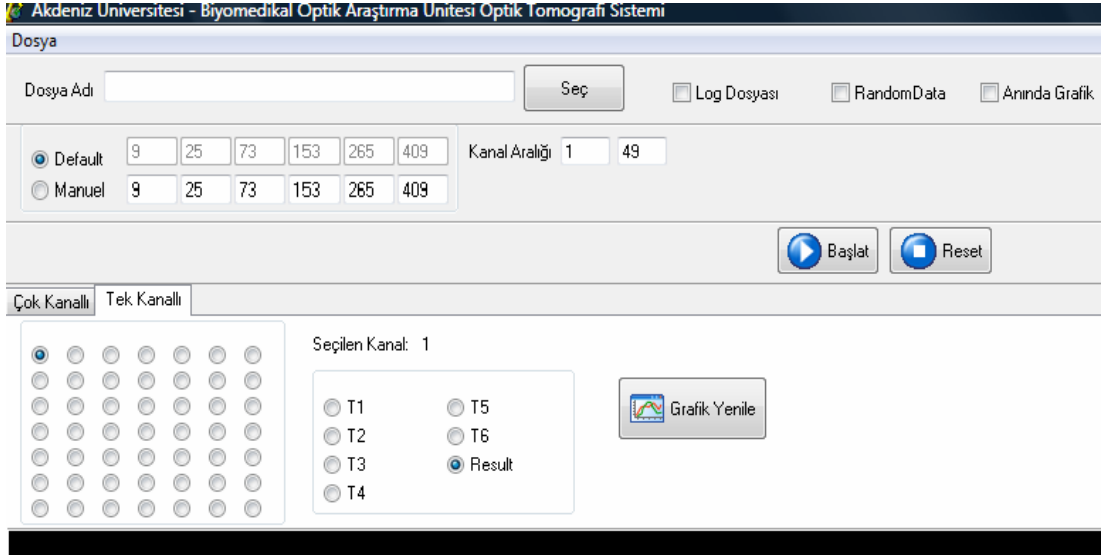
3.5.2. Gömülü Sistem Yazılımı

Gömülü sistem yazılımı bir ana program ve alt programlardan oluşmaktadır. Alt programlar ve ana programdan önce kullanılacak olan portlar ve hız bilgileri gibi bazı temel tanımlamaları yaptık. Kullanılan mikrodenetleyicinin kaynak kütüphane dosyasını çağırdık. Mikrodenetleyicinin hız, koruma, dahili saat ve güç ayarlarını yaptık. Saat frekansı için harici olarak 20 Mhz kristal osilatör kullanıldığından dolayı bu değeri koda girdik. RS232 seri port haberleşme ayarlarını girdik. Mikrodenetleyicinin kullanılacak olan portlarını girdik. A, B, C, D portlarını kullandık. A, B, C, D portlarındaki kullandığımız pinlere sistemin çalışmasıyla ilgili özel isimler verdik. Pin_A0'a CONV, Pin_A1'e DIN_CFG, Pin_A2'ye CLK_CFG, Pin_A3'e RESET gibi isimler verdik. Genel olarak kullanacağımız değişkenleri programın başında tanıttık. Kullandığımız 6 entegrasyon zamanını program başında girdik. Gömülü sistem yazılımı Ek 1.'dedir.

3.5.3. Bilgisayar Yazılımı

Bilgisayar ünitesi sistemde ana kontrolcü durumundadır. Ana kart ile RS232 seri haberleşme portu üzerinden iletişim kurmaktadır ve 115200 baud hızında veri transferi yapmaktadır. Bilgisayar yazılımı olarak Delphi 7 programlama dilini kullandık. Optik anahtarlama kanal aralığı 1-49 arasında seçilebilmektedir. Akım gerilim çeviricisi için toplam 6 adet entegrasyon süresi girilebilmektedir. Entegrasyon süreleri esas değerler olarak program çalıştığında 9, 25, 73, 153, 265 ve 409 milisaniye olarak gelmektedir. İstenildiğinde bu değerler değiştirilebilmektedir. Entegrasyon süreleri her bir kanal için entegrasyonun yapılma süresini belirlediği için önemlidir. Gelen sinyal ve giden sinyal ışıkları karşılıklı veri transferinin yapıldığı durumda yanmaktadır. Veriler hem tüm entegrasyon zamanları için hem de doyma öncesi entegrasyon zamanları için ayrı dosyalara yazdırılmaktadır.

Şekil 3.33.'de Delphi'de hazırlanmış arayüzey programı görülmektedir. Entegrasyon zamanları kaynak-dedektör mesafelerine göre ya da ortamın optik özelliklerine göre değiştirilmektedir. Asıl kaydedilen veriler ham dosya verileridir ve 6 entegrasyon zamanı için de verileri içermektedir. Sistem çok kanallı ve tek kanallı olarak çalıştırılabilmektedir. Test amaçlı olarak belirli kaynaklardan ışık gönderilmek istenilirse tek kanallı seçenek kullanılabilir. Işık gönderilmek istenilen kaynak Şekil 3.33.'deki panoda seçilir. T1, T2, T3, T4, T5 ve T6 butonları entegrasyon zamanlarını temsil etmektedir. Hangisi seçilir ise o zamana ait veriler elde edilir.



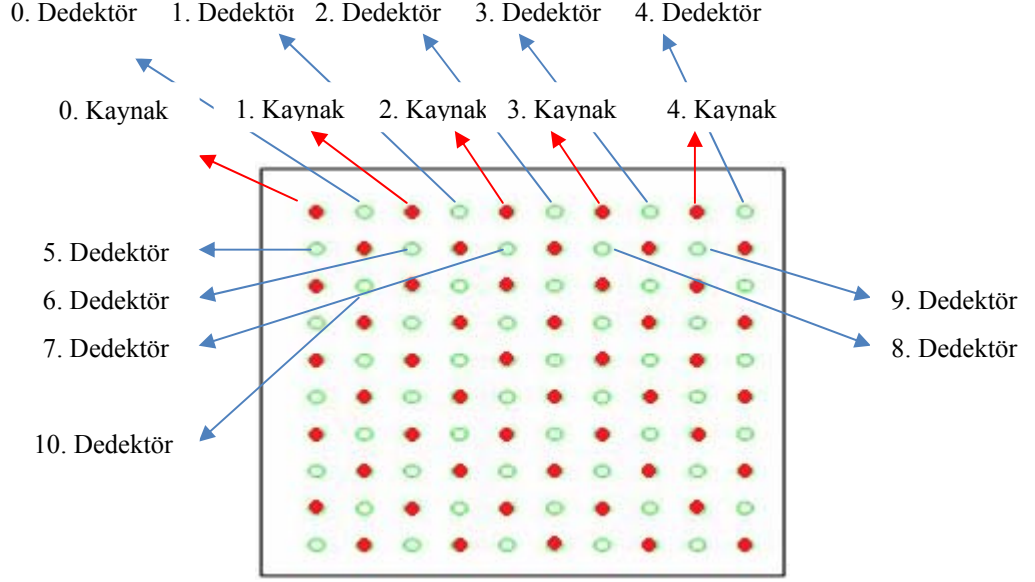
Şekil 3.33. Delphi programı arayüzeyi

Başlat butonuna basıldığı zaman Delphi programı seri port üzerinden mikrodenetleyicinin başlatma işini algılayabileceği heksadesimal bir kod gönderir ve mikrodenetleyici ilk olarak fiber optik anahtarları anahtarlar ve ışığı kaynak proba yöneltir. Aynı anda DDC232 tümdevresini de çalıştırır ve ilk entegrasyon zamanı için tümdevreden gelen verileri mikrodenetleyici geçici belleğine yazar. Bu şekilde mikrodenetleyici diğer entegrasyon zamanları için de gelen sayısal verileri geçici hafızasına alır ve buradan seri port aracılığıyla bilgisayar ortamına gönderir. Başlat butonuna bir kez basılıp veri alma işlemi başlatıldıktan sonra ikinci kez bu butona basılıp veri alma işlemi durdurulabilir. Reset butonu ile sistem sıfırlanabilir.

BULGULAR

Optik tomografi sisteminde fotodiyotlarda toplanan ışık şiddetleri tek bir dosyaya her bir dedektör için o dedektördeki ışık şiddetini temsil eden sayılar şeklinde yazılmaktadır. Verilerin yazıldığı dosyada kaynak numaraları satır indeksleri ile (6 farklı entegrasyon zamanı olduğu için her kaynağa ait satır sayısı 6 tane oluyor.) dedektör numaraları ise sütun indeksleri ile gösterilmektedir. Her bir satırdaki kaynak için 49 tane dedektör verisi bulunmaktadır. Çıktı dosyası 49x6x49 'luk bir matriks yapısındadır. Deneylerde kullandığımız ham uzantılı metin dosyasına tüm entegrasyon zamanlarında alınan ölçüm değerlerini kaydettik. Txt uzantılı metin dosyasına ise sadece saturasyon altındaki değeri kaydettik. Ölçülen ışık şiddetlerine karşı gelen sayısal verilerden 1044479 değerine eşit bir değer bulundu ise bu değer saturasyon üstü değeri olduğu için bu değer alındığı entegrasyon zaman diliminin bir altındaki entegrasyon zamanında alınan ışık şiddetine karşılık gelen sayısal veri esas değer olarak dosyaya kaydedildi. Böylelikle dosyadaki bir satıra yazılan değerler tek bir kaynaktan ışık gönderilirken saturasyonun bir altındaki entegrasyon zamanlarında alınan ışık şiddetlerini göstermektedir. Toplam 49 satır ve 49 sütun vardır. Tüm kaynaklar için tüm dedektörlerden alınan ışık şiddetleri tek bir dosyaya yazılmaktadır. Fotodiyotlarda hiç ışık toplanmadığı durum için sistem elektroniğinin ürettiği minimum değer bilgisine sahip olmak gerekmektedir. Bunun için kapalı kutunun içerisinde hiç ışık gelmediği durumda ölçümler yaptık ve fotodiyotlarda toplanan ışık şiddetlerinin sayısal verilerini ölçtük. Bu ölçümler deney sırasında alınan değerlerden çıkartılmaktadır. Şekil 3.33.' deki Delphi programı arayüzeyinde entegrasyon zamanları olarak esas değerler 9, 25, 73, 153, 265 ve 409 ms olarak girildi. Bu entegrasyon zamanları deney koşullarına göre değiştirilebilmektedir. Şekil 3.33.' de görüldüğü gibi program arayüzeyinde her bir deney için verilerin saklandığı bir dosya adı girilmektedir. Txt metin dosyasına kaydedilen veriler saturasyonun bir altındaki zamanda toplanan verilerdir. Bu dosyada her bir dedektör için sadece bir tane sayısal veri değeri vardır. Uzantısı ham olan dosyada tüm entegrasyon zamanlarında alınan veriler yer almaktadır. Entegrasyon zamanlarına göre veri analizi yapılabilmektedir. Random data seçeneği ile daha önce belirlenmiş olan saturasyon değerinin altındaki değer veri değeri olarak txt dosyasına kaydedilir. Grafik seçenekleri ile toplanan verilerin bar grafikleri çizilebilmektedir. Asıl istenen sayısal olarak veri değerleri olmakla beraber kontrol amaçlı bir kaynak bütün dedektörler için veri grafiği çizilmektedir. Bunu yapmanın amacı çalışma anında bütün fotodiyotların çalışıp çalışmadığını kontrol etmektir. Manuel olarak da entegrasyon değerleri seçilebilmektedir. Manuel radyo buton seçildikten sonra her bir entegrasyon değeri için istenilen entegrasyon değerleri girilebilmektedir. Çok kanallı ve tek kanallı olarak sistem çalıştırılabilmektedir. Sistem deney sırasında çok kanallı olarak çalışır. Test amaçlı olarak belirli kaynaklardan ışık gönderilerek bütün fotodiyotlardan alınan veriler incelenebilir. Entegrasyon zamanları T1, T2, T3, T4, T5, T6 ile gösterilmektedir. Burada "result" düğmesi ile saturasyonun altındaki değer alınarak bar grafik çizilir. Başlat butonu kullanılarak sistem çalıştırılmaktadır.

Deney odası karanlıkken sırasıyla tüm kaynak fiberlerden 30mW gücünde 800 nm dalga boyunda lazer gönderdiğimizde elde ettiğimiz ölçüm değerlerini yeni bir dosyaya yazdırdık. Bu ölçüm değerlerinden 5 kaynak için olanın şekli Şekil 3.34.'de, verileri Tablo 3.7.'de görülmektedir.



Şekil 3.34. Analiz edilen kaynak-dedektörler

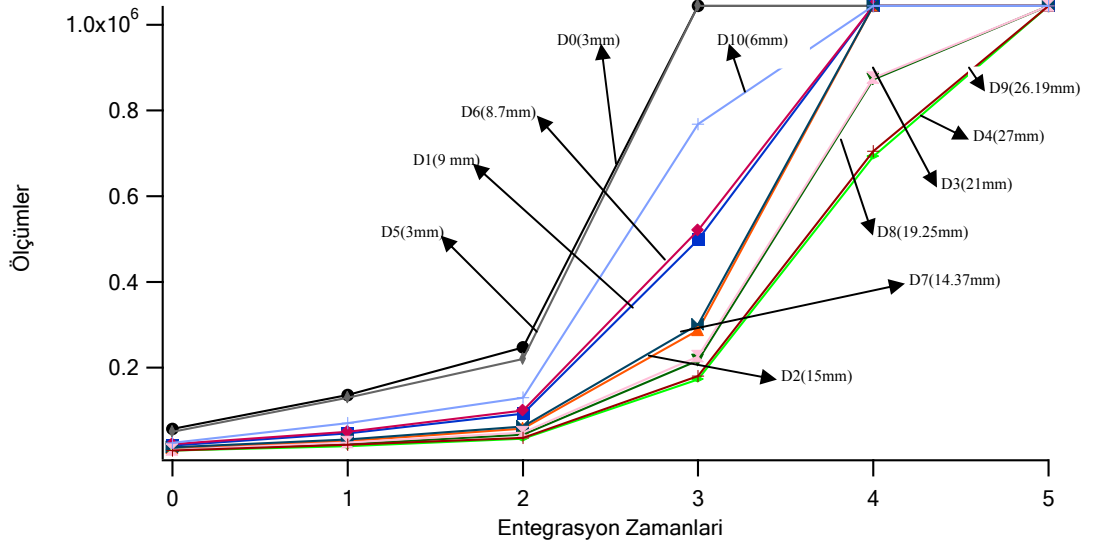
Tablo 3.7. Lazer gönderildiği durumda farklı entegrasyon zamanlarında ölçülen değerler

Kaynak No:0	T1=400 us	T2=1 ms	T3=2 ms	T4=10 ms	T5=40 ms	T6=100 ms
0.Dedektör	56774	135878	246906	1044479	1044479	1044479
1.Dedektör	18024	46035	92200	498372	1044479	1044479
2.Dedektör	11128	28345	57088	286745	1044479	1044479
3.Dedektör	8126	21285	43284	216306	872312	1044479
4.Dedektör	6424	16408	33896	172364	692442	1044479
5.Dedektör	54374	134996	246884	1044479	1044479	1044479
6.Dedektör	18144	46246	92842	498674	1044479	1044479
7.Dedektör	11232	28762	57264	286804	1044479	1044479
8.Dedektör	8232	21324	43668	216442	872118	1044479
9.Dedektör	6542	16622	33924	172486	693524	1044479
10.Dedektör	21096	62288	124600	768372	1044479	1044479
Kaynak No:1	T1=400 us	T2=1 ms	T3=2 ms	T4=10 ms	T5=40 ms	T6=100 ms
0.Dedektör	57226	136024	247128	1044479	1044479	1044479
1.Dedektör	57442	136278	247106	1044479	1044479	1044479
2.Dedektör	18224	46348	92412	498684	1044479	1044479
3.Dedektör	11256	28575	57294	287048	1044479	1044479
4.Dedektör	8126	21285	43284	216306	872312	1044479
5.Dedektör	21192	62463	124812	768594	1044479	1044479
6.Dedektör	57042	136087	247128	1044479	1044479	1044479
7.Dedektör	21296	63044	125312	768545	1044479	1044479
8.Dedektör	9664	24464	42328	226248	912328	1044479
9.Dedektör	6284	17465	32284	172045	704286	1044479

10.Dedektör	21096	62288	124600	768372	1044479	1044479
Kaynak No:2	T1=400 us	T2=1 ms	T3=2 ms	T4=10 ms	T5=40 ms	T6=100 ms
0.Dedektör	18145	46178	92287	498542	1044479	1044479
1.Dedektör	56026	135742	246645	1044479	1044479	1044479
2.Dedektör	56242	135668	246128	1044479	1044479	1044479
3.Dedektör	18284	46224	92325	498628	1044479	1044479
4.Dedektör	11228	28467	57166	286824	1044479	1044479
5.Dedektör	13024	32223	65244	302424	1044479	1044479
6.Dedektör	21028	62286	124628	768896	1044479	1044479
7.Dedektör	56896	109542	198452	1112384	1044479	1044479
8.Dedektör	21287	62324	125228	768968	1044479	1044479
9.Dedektör	13084	32268	65328	302568	1044479	1044479
10.Dedektör	15484	42368	84296	426286	1044479	1044479
Kaynak No:3	T1=400 us	T2=1 ms	T3=2 ms	T4=10 ms	T5=40 ms	T6=100 ms
0.Dedektör	11364	28522	57284	286968	1044479	1044479
1.Dedektör	18262	46224	92384	498625	1044479	1044479
2.Dedektör	56384	136245	247252	1044479	1044479	1044479
3.Dedektör	56366	136124	246262	1044479	1044479	1044479
4.Dedektör	18324	46362	92528	498824	1044479	1044479
5.Dedektör	9332	23524	47268	232342	924118	1044479
6.Dedektör	13364	34222	59284	301286	1044479	1044479
7.Dedektör	24028	62344	125328	769224	1044479	1044479
8.Dedektör	56124	136242	246824	1044479	1044479	1044479
9.Dedektör	23866	62296	124892	770142	1044479	1044479
10.Dedektör	9466	24284	48484	234128	925226	1044479
Kaynak No:4	T1=400 us	T2=1 ms	T3=2 ms	T4=10 ms	T5=40 ms	T6=100 ms
0.Dedektör	8194	21314	43468	216608	874228	1044479
1.Dedektör	11266	28584	57264	287224	1044479	1044479
2.Dedektör	18142	46128	92324	498584	1044479	1044479
3.Dedektör	56384	136245	247252	1044479	1044479	1044479
4.Dedektör	56366	136124	246262	1044479	1044479	1044479
5.Dedektör	6498	16284	33426	172168	692224	1044479
6.Dedektör	8098	21142	43168	216184	872198	1044479
7.Dedektör	11128	28345	57088	286745	1044479	1044479
8.Dedektör	23866	62296	124892	770142	1044479	1044479
9.Dedektör	56296	136128	247124	1044479	1044479	1044479
10.Dedektör	5784	15266	32584	170242	691286	1044479

Tablo 3.7.'deki verilerden kaynağın etrafındaki fotodiyotlardan elde edilen değerlerin, uzaktaki fotodiyotlardan elde edilen değerlerden daha büyük olduğu görülmektedir. Entegrasyon zamanı arttıkça ölçülen değerler de artmaktadır.

Şekil 3.35.'de 0. kaynak pozisyonu için dedektörlerden alınan ölçüm neticeleri görülmektedir.



Şekil 3.35. 0. Kaynaktan lazer gönderildiğinde dedektörlerden alınan ölçüm neticeleri

Şekil 3.35.'de lazerin gönderildiği kaynağın yakınındaki 1. komşu fotodiyotlarından daha büyük değerler elde edildiği görülmektedir (D0, D5). Kaynağın yakınındaki fotodiyotlar üzerine daha fazla foton geldiği için bu fotodiyotların akıttığı akım daha büyük ve bu fotodiyotlardan elde edilen ölçüm değerleri de bu sebepten dolayı büyük çıktı. Daha uzaktaki fotodiyotların ise üzerlerine daha az foton geldiği için bu fotodiyotların akıttığı akım daha küçük ve bunlardan elde edilen sayılar bu sebepten dolayı daha küçük oldu. Deneyde kullanılan lazerin şiddeti ve entegrasyon süreleri fotodiyotlardan alınan sayısal verileri doğru orantılı olarak etkilemektedir. Entegrasyon süresi arttıkça ölçülen değerler de büyüdü.

TARTIŞMA

Lazer optik tomografi cihazı vücuda giren ve difüzyona uğradıktan sonra tekrar aynı yüzeyden veya karşı yüzeyden çıkan fotonları toplayıp elektrik sinyaline dönüştüren ve daha sonra bu veriler ile ilgili organın üç boyutlu görüntüsünü oluşturan bir sistemdir. Bu çalışmada bir lazer optik tomografi sisteminin fotodiyot kartı, ana elektronik kartı ve program ara yüzey yazılımı yapıldı ve test edildi. Her fotodiyotta toplanan ışık sayılara dönüştürülerek dosyaya aktarılmaktadır. Sistem farklı entegrasyon zamanlarında, orantılı sayısal değerler vermektedir. Entegrasyon zamanları uzadıkça veriler büyümektedir. Karanlık ortamda sayısal verilerin değeri azalmaktadır. Lazer şiddeti arttıkça sayısal veri değerleri de artmaktadır. Prob tasarımı sayesinde üzerinde ölçüm yapılacak olan nesnenin optiksel özellikleri ölçülen lazer şiddetlerinin görüntü oluşturma algoritmasında uygun biçimde kullanılmasıyla elde edilecek. Şu ana kadar yapılan optik tomografi sistemlerinde de bu şekilde hem homojen hem de heterojen ortamlar için ölçümler alınıp pertürbasyon yapıp gerekli görüntü oluşturma algoritmaları kullanılarak görüntüler oluşturulmuştur. Bu çalışmada sadece lazer verisi toplanmıştır. Verilerin kullanılıp görüntünün oluşturulması bu çalışmanın dışındadır. Bu çalışmanın devamında görüntü oluşturma yapılacaktır. Veri toplama ve görüntü oluşturma aynı anda yapılacağı gerçek zamanlı bir sistem üzerinde daha sonra çalışılacaktır. Sistem lazer şiddetini orantılı olarak sayısal verilere dönüştürüp bilgisayar ortamına aktardı. Bundan sonraki çalışmalarda yapılacak gerçek zamanlı sistemler için bir örnek teşkil etmektedir.

Tasarım fotodiyot+kuvvetlendirici bloğunun birlikte gerçekleştirildiği tümleşik yapılarla daha da az yer kaplayabilir ve daha az enerji harcayabilir hale getirilebilir. Bir optik görüntüleme sisteminin en önemli kısmını oluşturan verilerin toplanması aşaması görüntünün oluşturulması için gerekli olan kısım olması bakımından önemlidir. Verilerin düzgün bir sıraya göre toplanması ve yığılması daha sonraki aşama olan görüntü oluşturma aşaması için zemin hazırlamaktadır. Bu kısmın mümkün olduğu kadar doğru ve seri olarak yapılması gerekmektedir. Bu sebeplerden dolayı günümüz teknolojisi ve ilerisi düşünüldüğünde teknolojinin mümkün merteye sistem tasarımlarının içerisine girmesi ve doğru biçimde kullanılması gerekmektedir. Bu çerçeveden bakıldığında yapılan çalışma önemli bir adım olarak görülmektedir. Gelecek tasarımlar için ışık tutmaktadır. Yapılan bu çalışmanın sürekli dalga çalışması olması, foton şiddetine bağımlı bir çalışmayla ölçümlerin yapılmasını sağlayacaktır. Elektronik malzeme listesinin fazla olmamasından anlaşılacağı üzere sistem tasarımı minimum malzeme kullanılarak gerçekleştirilmiş basite indirgenmiş bir çalışmadır. Zaman ve frekans domeni çalışmalarında sistem karmaşıklığı biraz daha artacak ve kullanılacak olan malzeme sayısında artış olacaktır.

Optik tomografi sisteminde kullanılan DDC232 tümdevresi fotodiyot akımlarını alıp gerilime çevirirken sürekli zamanlı ve hızlı çalışmaktadır. DDC232

tümdevresi saniyede 6000 örnek üretebilmektedir. Yapmış olduğumuz sistemde saniyede 64 veri aktarımı olmaktadır. Tümdevrenin her bir fotodiyot girişi için 2 farklı entegratöre sahip olması sayesinde devrenin sürekli zamanlı olarak çalışması sağlandı. Aynı girişe bağlı entegratörlerden bir tanesi entegrasyon işlemi yaparken diğeri ise A/D çevirme işleminden sorumlu olmaktadır. Anahtarlama yapılarak diğeri entegratöre entegrasyon işlemi yaptırılmakta bu kez ilk durumda entegrasyon yapan entegratör A/D çevirme işlemi yapmaktadır. Bu çalışma şekli yaptığımız araştırmalarda şimdiye kadar kullanılmayan bir çalışma şeklidir. Tümdevrenin getirdiği yeniliklerden bir tanesidir. Tümdevre fotodiyot girişi başına tam yükdeyken 7 mW gibi bir güç harcamaktadır. Toplam iki tümdevrenin tükettiği güç $7 \times 49 = 343$ mW değerindedir. Tümdevrelerin yaklaşık olarak 350 mW güç tükettiğini söyleyebiliriz. Yaptığımız araştırmalarda DDC232 tümdevrelerinin optik tomografi sistemlerinde kullanıldığına rastlamadık. DDC232 tümdevrelerinin optik tomografi sistemlerinde ilk kez kullanıldığı bir uygulama. Veri toplama sistemi olarak düşünüldüğünde oldukça ufak ve tümleşik bir sistem gerçekleştirildi.

Sistemde farklı entegrasyon zamanları için farklı sayısal veriler alındı. Entegrasyon zamanlarıyla orantılı olarak sayısal veriler alındı. Kaynak-dedektör uzaklıklarına göre de alınan sayısal veriler beklendiği gibi değişti. Kaynak-dedektör uzaklıkları arttıkça alınan sayısal verilerde azalma oldu. Kaynak-dedektör uzaklıkları azaldıkça alınan sayısal veriler arttı. Entegrasyon zamanlarındaki değişimler ve kaynak-dedektör mesafelerine göre alınan sayılar beklendiği gibi oldu. CW modunda çalışan optik tomografi sistemi veri toplama işlemini gerçekleştirmektedir.

Gelecekte yapılacak olan gerçek zamanlı lazer optik tomografi sisteminin veri toplama bloğunun nasıl yapılacağına dair bilgiler içermektedir. Günümüzde FPGA (Alanda programlanabilir geçitler kümesi) tabanlı mikroişlemcilerin gömülü sistemlerde ne kadar önemli roller aldığını düşünecek olursak gerçekleştirilen sistemin gömülü yazılımının da bu şekilde FPGA tabanlı bir Xilinx işlemcinin içerisine aktarılabilmesi mümkündür. Labview tabanlı bir sistemde de yazılan gömülü yazılımdan yararlanılabilir.

SONUÇLAR

Çalışmamızın sonucu şöylece özetlenebilir:

Vücuda zarar vermeyen, düşük maliyetli ve kullanımı kolay olan bir lazer optik tomografi veri toplama sistemi yapılmıştır. Cihazın elektronik donanımının ve sistemin kendisinin küçük olması taşınabilir olarak kullanılabilmesini mümkün kılmaktadır. Kaynak olarak yakın kızıl ötesi ışık kullanılabilir. Fotodiyotlarda toplanan ışık bilgisi veri dosyası olarak saklanmaktadır.

KAYNAKLAR

1. Cutler M., "Transillumination as an aid in the diagnosis of breast lesions". Surgery, gynecology and obstetrics. 48;72: 1-729, 1929.
2. Ohlsson B., Gunderson J. and Nilsson D.J., "Diaphonography: a method for evaluation of the female breast". World Journal of Surgery. 11: 76;15: 1425-1432, 1980.
3. Pogue B.W., Testorf M., McBride T., Osterberg U., Paulsen K., "Instrumentation and design of a frequency-domain diffuse optical tomography imager for breast cancer detection". Optics Express. 1;13: 391-403, 1997.
4. Becerra L., Harris W., Joseph D., Huppert T., Boas D., and Borsook D., "Diffuse optical tomography of pain and tactile stimulation: Activation in cortical sensory and emotional systems". Neuroimage. 41;2: 252-261, 2008.
5. Endoh R., Fuji M., and Nakayama K., "Depth-adaptive regularized reconstruction for reflection diffuse optical tomography". Optical Review. 15;1: 51-56, 2008.
6. Shah N., Cerrussi A., Eker C., Butler J., Fishkin J., Hornung R. and Tromberg B., "Noninvasive functional optical spectroscopy of human breast tissue". PNAS. 98;8: 4420-4425, 2001.
7. Gaudette R., Brooks D., DiMarzio C., Kilmer M., Miller E., Gaudette T., and Boas D., "A comparison study of linear reconstruction techniques for diffuse optical tomographic imaging of absorption coefficient". Physics in Medicine & Biology. 45;4: 1051-1070, 2000.
8. Endoh R., Suzuki A., Fuji M., and Nakayama K., "Fundamental study on diffuse reflective optical tomography". Physics in Medicine & Biology. 49;10: 1881-1889, 2004.
9. Colak S., Papaioannou D., Hooft G., Van der Mark M., Schomberg H., Paasschens J.C., Melisen J.B., and Van Asten NAAJ, "Tomographic image reconstruction from optical projections in light-diffusing media". Applied Optics. 36;1: 180-213, 1997.
10. Nishidate I., Maeda T., Aizu Y., Niizeki K., "Visualizing depth and thickness of a local blood in skin tissue using diffuse reflectance images". Journal of Biomedical Optics. 12;5: 1-12, 2007.

11. Cao N. and Nehorai A., "Tumor localization using diffuse optical tomography and linearly constrained minimum variance beamforming". *Optics Express*. 15;3: 896-909, 2007.
12. Colak S.B., Hooft G.W., Papaioannou D.G., van der Mark M.B., "3D Back Projection Tomography for Medical Optical Imaging". *Optical Society of America*. 2;1: 294-298, 1996.
13. Kepshire D., Davis S.C., Dehgani H., Paulsen K.D., and Pogue B.W., "Fluorescence tomography characterization for sub-surface imaging with protoporphyrin IX". *Optics Express*. 16;12: 8581-8593, 2008.
14. Çorlu A., Choe R., Durduran T., Rosen M.A., Schweiger M., Arridge S.R., Schnall M.D., and Yodh A.G., "Three-dimensional in vivo fluorescence diffuse optical tomography of breast cancer in human". *Optics Express*. 15;11: 6696-6716, 2007.
15. Ntziachristos V., Hielscher A.H., Yodh A.G., Chance B., "Diffuse optical tomography of highly heterogeneous media". *IEEE Transactions on Medical Imaging*. 20;6: 470 – 478, 2001.
16. Kilmer M. E., Miller E. L., Barbaro A., and Boas D., "Three-Dimensional Shape-Based Imaging of Absorption Perturbation for Diffuse Optical Tomography". *Applied Optics*. 42;16: 3129-3144, 2003.
17. Rahim R. A., Thiam C. K. and Rahiman M. H. F., "An Optical Tomography System Using a Digital Signal Processor". *Sensor*. 8: 2082, 2103.
18. Lin Y., Yan H., Nalcioglu O., and Gulsen G., "Quantitative fluorescence tomography with functional and structural a priori information". *Applied Optics*. 48;7: 1328-1336, 2009.
19. Pogue B.W., Poplack S.P., McBride T.O., Wells W.A., Osterman R.S., Osterberg U.L., and Paulsen K.D., "Quantitative hemoglobin tomography with diffuse near-infrared spectroscopy: pilot results in the breast". *Radiology*. 218: 261–266, 2001.
20. Zhu Q., Chen N., and Kurtzman S.H., "Imaging tumor angiogenesis by use of combined near-infrared diffusive light and ultrasound". *Optics Letters*. 28;5: 337–339, 2003.
21. Intes X., Ripoll J., Chen Y., Nioka S., Yodh A.G., and Chance B., "In vivo continuous-wave optical breast imaging enhanced with indocyaninegreen". *Medical Physics*. 30;6: 1039–1047, 2003.

22. Chen Y., Mu X.C., Intes and Chance B., "Signal-to-noise analysis for detection sensitivity of small absorbing heterogeneity in turbid media with single source and dual interfering source". *Optic Express*. 9;4: 212-224, 2001.
23. Chen Y., Zhou S., Xie C., Nioka S., Delivoria-Papadopoulos M., Enday E. and Chance B., "Preliminary evaluation of dual wavelength phased array imaging on neonatal brain". *Journal of Biomedical Optics*. 5;2: 194-200, 2000.
24. Szmedra L., Im J., Nioka S., Chance B. and Rundell K.W., "Hemoglobin/myoglobin oxygen desaturation during alpine skiing". *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 33;2: 232-236, 2001.
25. Chance B., Anday E., Nioka S., Zhou S., Long H., Worden K., Li C., Turray T., Ovetsky Y., Pidikiti D. and Thomas R., "A novel method for fast imaging of brain function, non-invasively, with light". *Optics Express*. 2;10: 411-423, 1998.
26. Chance B., Cope M., Gratton E., Ramanujam N. and Tromberg B.. "Phase measurement of light absorption and scatter in human tissues". *Review of Scientific Instruments*. 69;10: 3457-3481, 1998.
27. Bluestone A.Y., Abdoulaev G., Schmitz C.H., Barbour R. L., Hielscher A. H., "Three-dimensional optical tomography of hemodynamics in the human head". *Optic Expres*. 9;6: 272-286, 2001.
28. Sevick-Muraca E. M., Kuwana E., Godavarty A., Houston J. P., Thompson A. B., Roy R., "Near Infrared fluorescence imaging and spectroscopy in random media and tissue". *Biomedical Photonics Handbook*. Chapter 33, CRC Press., 66 pgs., 2003.
29. Joseph D. K., Huppert T.J., Franceschini M., and Boas D. A., "Diffuse optical tomography system to image brain activation with improved spatial resolution and validation with functional magnetic resonance imaging". *Applied Optics*. 45;31: 8142-8151, 2006.
30. Franceschini M. A., Joseph D. K., Huppert T. J., Diamond S. G., and Boas D. A., "Diffuse optical imaging of the whole head". *Journal of Biomedical Optics*. 11;5: 054007-1, 054007-10, 2006.
31. Stott J. J., Culver J. P., Arridge S. R., and Boas D. A., "Optode positional calibration in diffuse optical tomography". *Applied Optics*. 42;16: 3154-3162, 2003.
32. Raub C.B., Unruh J., Suresh V., Krasieva T., Lindmo T., Gratton E., Tromberg B.J., George S.C., "Image Correlation Spectroscopy of Multiphoton Images Correlates with Collagen Mechanical Properties". *Biophysical Journal*. 94;6: 2361-2373, 2008.

33. Arridge S.R., Lionheart R.B., "Nonuniqueness in diffusion based optical tomography". *Optical Society of America*. 23;11: 882-884, 1998.
34. Wake R.H., Grable R.J., "Detector array with variable gain amplifiers for use in a laser imaging apparatus". US Patent 6150649, 2000.
35. Farrell T.J., Peterson M.S., and Wilson B., "A diffusion theory model of specially resolved, steady-state diffuse reflectance for the non-invasive determination of tissue optical properties in vivo". *Medical Physics*. 19: 879-888, 1992.
36. Nichols M.G., Hull E.L., Foster T.H., "Design and testing of a white-light, steady-state diffuse reflectance spectrometer for determination of optical properties of highly scattering systems". *Applied Optics*. 36;1: 93-104,1997.

ÖZGEÇMİŞ

Hüseyin Özgür Kazancı, 1975 yılında KahramanmaraŐ'da doğdu, ilk, orta ve lise öğrenimini Antalya'da tamamladı. 1992 yılında İstanbul Teknik Üniversitesi Elektrik-Elektronik Fakültesi Elektronik ve Haberleşme Mühendisliđi bölümünde üniversite eğitime başladı. Lisans diplomasını 1997 yılında aldı ve 2007 yılında Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Anabilim Dalı'nda Yüksek Lisans eğitime başladı. Halen Akdeniz Üniversitesi Sağlık Bilimleri Enstitüsü Biyofizik Anabilim Dalı'nda eğitimini sürdürmektedir. Aynı zamanda Akdeniz Üniversitesi Elmalı Meslek Yüksek Okulunda Öğretim Görevlisi olarak çalışmaktadır. Yabancı dili İngilizce'dir.

Gömülü Yazılım

Programda koyu harflerle yazılanlar açıklamaların başlıklarıdır.

Tanımlamalar

Programın başında gerekli tanımlamalar ve ayarlar yapılıyor.

```
#include "18f452.h" //Pic18f452 serisi mikrokontrolcü kullandık.
#fuses HS, NOPROTECT, NOLVP, BROWNOUT, PUT //Yüksek hız, Koruma yok
#use delay(clock = 2000000) // Saat frekansı 20 MHz

#use rs232(baud=115200,xmit=PIN_C6,rcv=PIN_C7,BRGH1OK) //rs232 seri
haberleşme bağlantısı kullandık.

#use fast_io(A) //A portlarını hızlı giriş-çıkış olarak kullandık.
#use standard_io(B) //B portlarını standart giriş-çıkış olarak kullandık.
#use fast_io(C) //C portlarını hızlı giriş-çıkış olarak kullandık.

#include "ch_new.h" //DDC232 BGA yongalarda bazı girişlerin yerlerini değiştirdik.

#define CONV PIN_A0 //CONV çıkışı A0 portu.
#define DIN_CFG PIN_A1 //DIN_CFG çıkışı A1 portu.
#define CLK_CFG PIN_A2 //CLK_CFG çıkışı A2 portu.
#define RESET PIN_A3 //RESET çıkışı A3 portu.
#define DVALID PIN_A4 //DVALID girişi A4 portu.
#define V_RESET PIN_B1 //VX500 reset portu.
#define V_STROBE PIN_D5 //VX500 strobe portu.
#define V_BUSY PIN_D6 //VX500 busy portu.
#define V_ERROR PIN_D7 //VX500 error portu.

#define DCLK PIN_C3 //DDC232 yongaların DCLK girişi.
#define DIN PIN_C4 //DDC232 yongaların DOUT çıkışı.

#byte portd =0x0F83 //Portd'nin adresini tanımladık.

int32 BUF[64]; //32 bitlik 64 elemanlı BUF[64] değişkeni tanımladık.
int32 BUF_X[6][49]; //32 bitlik 6*49 elemanlı BUF_X[6][49] tanımladık.

long INT_TIME[6] = {0, 0, 0, 0, 0, 0}; //Entegrasyon zamanlarını tanımladık.

byte RxRcvCounter;
byte RxTimeOutTimer;

#byte RCSTA =0x0FAB
#byte INTCON =0x0FF2
```

```

#define T0IF          2
#define CREN          4
#define RX_TIMEOUT   100

//Tx ve Rx Statüsü
struct F
{
    byte DATA_READY :1;    // Data Ready To Send      Data Received
    byte FLOW_ON     :1;    // Data Receiving
    byte OVERFLOW    :1;    // Receive Overflow
}RxFlag;

#define BufferSize    14

```

Komut, Kanal ve Entegrasyon Zamanlarının Alındığı Yapı

Entegrasyon zamanlarını girebilmek için her bir entegrasyon zamanını iki bitten oluşturduk, düşük ve yüksek anlamlı bitler olmak üzere ikiye ayırdık. Yapısal olarak tanımladık. Delphi arayüzey programından girdiğimiz komut, kanal ve entegrasyon zamanları bilgilerini RxD yapısının içerisinde alıyoruz.

```

struct Buffer_Struct //Alma Verme Yazmacı
{
    int    COMMAND;
    int    CHANNEL;
    int    INT_TIME1_L;
    int    INT_TIME1_H;
    int    INT_TIME2_L;
    int    INT_TIME2_H;
    int    INT_TIME3_L;
    int    INT_TIME3_H;
    int    INT_TIME4_L;
    int    INT_TIME4_H;
    int    INT_TIME5_L;
    int    INT_TIME5_H;
    int    INT_TIME6_L;
    int    INT_TIME6_H;
};

UNION DATA_UNION
{
    struct Buffer_Struct B;
    int    BUF[BufferSize];
}RxD;

```

Veri Alma Kesmesi ve Alma Fonksiyonu

Mikrodenetleyiciyi veri almaya hazır hale getirmek için ilgili yazmacının sürekli olarak veri alan tamponunu açıp kapatılarak içeri temizledik. Böylelikle giriş tamponunun içeriği temizlenmiş oldu. Bunu yaptıktan sonra alma kesmesini de aktif yaptık ki herhangi bir veri gelme durumunda kesme oluşsun ve mikrodenetleyiciyi uyaralım.

```
void Init_Rx() //İşlemciyi veri almaya hazır hale getirdik.
{
    RxFlag.OVERFLOW      = False; //Taşmayı sıfırladık.
    RxFlag.DATA_READY    = False; //Veri hazırı sıfırladık.
    RxRcvCounter         = 0; //Alınan byte sayısını sıfırladık.
    bit_clear(RCSTA,CREN); //Continuous receive'i kapatıp açarak rx alma
    yazmacını temizledik.
    bit_set(RCSTA,CREN);
    enable_interrupts(INT_RDA); //Rx kesmesini aktif yaptık.
}
```

Alma pinine 1 byte'lık bilgi geldiği zaman alma kesmesi oluşur ve kesmenin hemen altındaki alma fonksiyonu çalışır. Ne zaman alma kesmesi oluşursa buraya dallanır ve alma tamponundaki bilgileri alma tamponunun içerisine alır.

```
//=====
#INT_RDA //Rx kesmesi (Rx pininden 1 byte'lık bilgi geldiği zaman kesme oluşur).
void rx_int() //İşlemci buradaki fonksiyonu çalıştırır.
{
    byte RxData;

    RxData=getc(); //UART'ın RX yazmacındaki veriyi okuduk.

    if(!RxFlag.DATA_READY) //Eğer daha önceden tamamlanmış (alınmış) bir
    data paketi hazır beklemiyorsa buraya dallanır.
    {
        RxFlag.FLOW_ON=True; //Akış var bitini aktif ettik.
        RxTimeoutTimer=0; //RxTimeoutTimer'ı sıfırladık.

        if(RxRcvCounter < BufferSize) //Eğer alınan veri sayıcısı buffer size'a
        ulaşmamışsa
        {
            RxDataBuf[RxRcvCounter] = RxData; //Veriyi RxData tamponuna koy.
            RxRcvCounter++; //Alınan veri sayıcısını bir arttır.
        }
        else
            RxFlag.OVERFLOW=True; //Taşma
    }
}
```

Timer0 Kesmesi

Timer0 taşma kesmesi ana programdan aktif hale geldiği zaman kesme fonksiyonuna dallanır. Timer0 kesmesi seri port üzerinden verilerin alınması için gerekli olan minimum sürenin belirlenmesinde kullanılır.

```
//=====
#INT_RTCC //RTCC Timer0 taşma kesmesi.
void tmr0_int()
{
    bit_clear(INTCON,T0IF); //Timer0 kesme bayrağını temizledik.

    if(RxFlag.DATA_READY || !RxFlag.FLOW_ON) //Daha önceden hazır
paket var ise veya akış devam etmiyor ise
        goto EndT0INT; //Kesmenin sonuna git.

    if(RxFlag.OVERFLOW) //Eğer taşma oldu ise.
        goto TrashRxData; //Gelen bilgiyi sıfırladık.

    RxTimeoutTimer++; //TimeoutTimer'ı bir arttırdık.

    if(RxTimeoutTimer < RX_TIMEOUT) //Eğer timeout belirlenen süreye
ulaşmadıysa
        goto EndT0INT; //Interruptın sonuna git.
    RxFlag.FLOW_ON=False; //Akış devam bitini sıfırla.
    if(RxRcvCounter !=BufferSize) //Gelen bit uygun sayıda değil ise.
        goto TrashRxData; //Gelen bilgiyi sıfırla.

    RxFlag.DATA_READY=True; //Data ready (veri hazır) bitini set et.
    goto EndT0INT; //Kesmenin sonuna git.

TrashRxData:
    Init_Rx(); //Veri almayı sıfırlama fonksiyonu.

EndT0INT:
    delay_cycles(1); //1 komut çevrimi süresi kadar bekle.
}
```

Veri Konfigurasyon Bitlerinin Okunması

Veri konfigurasyon bitleri DDC232'nin çalışma modlarını girmemizi sağlayan bitlerdir. Bu ayarlamayla DDC232'nin harici saat işareti osilatör frekansını, entegrasyon kapasite değerini, verinin kaç bitlik olacağını (16-20 bit) ayarlıyoruz.

```
int32 get_init() //32 bitlik get_init() fonksiyonu
{
    int i; //i lokal değişkeni tanımlanıyor.
    int32 data; //32 bitlik veri değişkeni

    data = 0; //Veri değişkeni 0'lanıyor.
    for(i=12;i>0;i--) //12 kere döngüye sokuluyor.
    {
```



```

        output_high(DCLK); //DCLK çıkışı lojik 1'e yükseltiyor.
        delay_cycles(1); //1 komut çevrimi süresi kadar bekleniyor.
        if(input(DIN)) //Eğer DOUT girişine lojik 1 işaret gelirse
            bit_set(data,(i-1)); //Data değişkeninin (i-1). bitini set et.
        delay_cycles(1); //1 komut çevrimi süresi kadar bekle.
        output_low(DCLK); //DCLK çıkışını lojik 0 seviyesine çek.
        delay_cycles(1); //1 komut çevrimi süresi kadar bekle.
    }
    return(data); //Data değişkenini kendisine çağırın fonksiyona geri gönder.
}

```

Mikrodenetleyiciden Bilgisayara Veri Transferi

Verinin okunması işlemini `get_data()` fonksiyonu ile gerçekleştirdik. `Get_data()` isimli 32 bitlik bir tamsayı değişken fonksiyon tanımladık. Okunmak istenilen veriyi 32 bitlik tamsayı değişken olarak tanımladık. Her bir fotodiyota ait sayısal veri 20 bitlik olduğu için 20 bitlik sayısal veriyi bu şekilde aldık.

```

int32 get_data() //32 bitlik get_data() fonksiyonu
{
    int i; //i tamsayı değişkeni tanımlanıyor.
    int32 data; //32 bitlik veri değişkeni tanımlanıyor.
    data = 0; //veri değişkeni 0'lanıyor.

    for(i=20;i>0;i--) //20 kere döngüye sokuluyor.
    {
        output_high(DCLK); //DCLK çıkışı lojik 1 seviyesine çıkartılıyor.
        if(input(DIN)) //Eğer DDC232 yongalarından DOUT lojik 1 bilgisi gelirse.
            bit_set(data,(i-1)); //Data değişkeninin (i-1). bitini lojik 1 yap.
        output_low(DCLK); //DCLK çıkışını lojik 0 seviyesine çek.
    }
    return(data); //Data değişkenini kendisini çağırın fonksiyona geri gönder.
}

```

Konfigurasyon Verilerinin Yazılması

Veri konfigurasyon ayarları için 12 bitlik konfigurasyon verisini mikrodenetleyiciye gönderdik. Veri değişkeni olarak, `0b0000111101000000` bitlerini kullandık. Bit0, bit1, bit2, bit3, bit4, bit5 bitlerini 0'ladık. Bit6=1 yaptık. DDC232'nin `Clk_4x` sistem saat bölücüsünü aktif hale getirdik ve böylelikle sistem saat frekansını dörde böldük. Sistem saat frekansı olarak dışarıdan `CLK = 20 Mhz` saat işareti uyguladık. 0 : dahili saat bölücü = 1 (esas değeri), 1 : dahili saat bölücü = 4. `Clk_4x` girişi dahili saat bölücüsünü devreye sokar. `Clk_4x = 1` olduğu zaman, sistem saati 4'e bölünür. Bit7=0 yapıldı. DDC232'nin `Pwr/Spd` seçeneği. 0: Düşük-güç kipi (esas değeri), 1: Yüksek-hız kipi (yalnızca DDC232CK üretimi için geçerli) bit8=1 yapıldı, 20 bit çıkış biçimi. Veri formatının 20 bitlik yapıda olmasını sağladık.

Bit9, bit10, bit11 = 0, 111: 87.5pF (esas değeri). Veri konfigürasyon bitlerini gönderdiğimiz fonksiyonun adı config().

```
void config() //DDC232 BGA yongalarının konfigürasyon ayarlarını yaptık.
{
int i;
int16 data = 0b0000111101000000;
//bit0_1_2_3_4_5 0'ladık, bit6=1 Clk_4x (System Clock Divider)
//0 = Dahili saat bölücü = 1 (esas değeri)
//1 = Dahili saat bölücü = 4
//Clk_4x girişı dahili saat bölücüsünü devreye sokar. Clk_4x = 1 olduğu zaman,
sistem saati 4'e bölünür. Bu 4 kat hızlı sistem saati ile çalışmayı mümkün kılar,
//daha iyi bir entegrasyon zamanına parçalamayı mümkün kılar.
//bit7=0 Pwr/Spd
//0= Düşük-Güç Kipi (esas değeri)
//1= Yüksek-Hız Kipi (yalnızca DDC232CK üretimi için geçerli)
//bit8=1 20 bit çıkış biçimi.
//bit9_10_11=1 111: 350pC (esas değeri)
output_low(DIN_CFG); //DIN_CFG çıkışını lojik 0 seviyesine çektik.
output_low(CLK_CFG); //CLK_CFG çıkışını lojik 0 seviyesine çektik.
output_low(CONV); //CONV çıkışını lojik 0 seviyesine çektik.
output_high(RESET); //RESET çıkışını lojik 1 seviyesine çıkarttık.
output_low(RESET); //Resetlemek için Reset'i lojik 0 seviyesine çektik.
delay_us(2); //2 mikrosaniye süresince bekledik.
output_high(RESET); //Reset işaretini lojik 1 seviyesine çıkarttık.

output_high(CLK_CFG); //CLK_CFG işaretini lojik 1 seviyesine çıkarttık.
delay_us(100); //100 mikrosaniye süresince bekledik.
for(i=12;i>0;i--) //12 kere döngüye soktuk.
{
if(bit_test(data,(i-1))) //En yüksek anlamlı bit olan 11. bitten başlanarak data
değişkeninin bitlerini test ettik ve eğer lojik 1 ise
output_high(DIN_CFG); //DIN_CFG çıkışını lojik 1 seviyesine çıkarttık.
else
output_low(DIN_CFG); //Eğer lojik 1 değil ise lojik 0 ise DIN_CFG çıkışını
lojik 0 seviyesine çektik.
delay_us(100); //100 mikrosaniye süresince bekledik.
output_low(CLK_CFG); //CLK_CFG çıkışını lojik 0 seviyesine çektik.
delay_us(100); //100 mikrosaniye süresince bekledik.
output_high(CLK_CFG); //CLK_CFG çıkışını lojik 1 seviyesine çıkarttık.
delay_us(100); //100 mikrosaniye süresince bekledik.
}
for(i=0;i<64;i++) // Konfigürasyon belleğini test amacıyla okuduk.
BUF[i] = get_init(); //Her bir döngüde get_init() fonksiyonunu çağırдық ve
değer BUF[i] tamponuna aktardık.
delay_us(100); //100 mikrosaniye süresince bekledik.
output_high(CONV); //CONV çıkış işaretini lojik 1 seviyesine çıkarttık.
```

```
delay_us(100); //100 mikrosaniye süresince bekledik.
output_low(CONV); //CONV çıkış işaretini lojik 0 seviyesine çektik.
}
```

Veri Okunma İşlemi

Farklı entegrasyon zamanlarını kullanarak verileri aldık. INT_TIME değişkeninin içerisindeki entegrasyon zamanları bilgisini çağırdık ve o kadar süreyle herbir entegrasyon periyodunda bekledik.

```
void read_data() //Non Continuous modda datalar okunuyor.
{
int i,j,p; //i,j,p tamsayı değerleri tanımlanıyor.
int32 temp; //32 bitlik temp değişkeni tanımlanıyor.

delay_ms(INT_TIME[0]);
while(input(DVALID)); //DVALID işareti lojik 0 gelene kadar burada bekler.
for(i=0;i<64;i++)
    BUF[ch_order[i-1]] = get_data();
    for(j=0;j<49;j++) //49 kere döngüye sokuluyor.
        BUF_X[0][j]=BUF[j]; //Veriler geçici hafızadan normal hafızaya aktarılıyor
output_toggle(CONV);
for(p=1;p<6;p++) //6 adet entegrasyon zamanı giriliyor.
{
    if(INT_TIME[p] > 655)
        delay_ms(INT_TIME[p]/10);
    else
        delay_us(INT_TIME[p]*100);
    output_toggle(CONV);
while(input(DVALID)); //DVALID işareti lojik 1 seviyesindeyken burada.
for(i=64;i>0;i--) //Verileri aldık.
    BUF[ch_order[i-1]] = get_data();
    for(j=0;j<49;j++) //49 kere döngüye sokuluyor.
        BUF_X[p][j]=BUF[j]; //Veriler geçici hafızadan normal hafızaya aktarılıyor.
}
}
```

PC İle El Sıkışma ve Verilerin PC'ye Gönderilmesi

PC bilgisayar yazılımına veri transferinin başlayacağını anlayacağı heksadesimal bir kod gönderdik (0x0C). Bu kodun hemen arkasından verileri her bir tampon için 8, 8, 8 bit toplam 24 bit olarak geçici hafızaya oradan da PC yazılımına aktardık.

```
void send_to_pc() //Verileri bilgisayara gönderdik.
{
int i,j,k; //i,j,k tamsayı değişkenlerini tanımladık.
int32 temp;
int tx;
```

```

    putc(0x0C); //PC'ye 0x0C gönderdik.
for(i=0;i<6;i++) //Entegrasyon zamanlarından dolayı 6 kere döngüye soktuk.
{
    for(j=0;j<49;j++) //BUF_X[6][49] değişken belleğinin ikinci 49
değişkeni için gerekli 49 kerelik döngüye soktuk.
    {
        for(k=0;k<3;k++) //BUF_X[6][49] değişken belleğinin ikinci
49 değişkeni için gerekli 3 kerelik döngüye soktuk. 3*8=24 bit gönderdik.
        {
            temp = BUF_X[i][j];
            temp >>= (k*8);
            temp &= 0x000000FF;
            tx = (int)temp;
            putc(tx);
        }
    }
}
delay_cycles(1);
}

```

VX500 Optik Anahtarlama Sistemi Hata Fonksiyonu

VX500 optik anahtarlama sisteminde bir hata olduğu zaman PC yazılımına 0x0A heksadesimal kodu gönderiyoruz.

```

void send_laser_error() //VX500 Optik anahtarlama sistemi hata fonksiyonu.
{
    putc(0x0A);
    printf("\n\n\r"); //İki satır ve enter kadar boşluk bırakır.
    printf("!!! Laser Error !!!\n\n\r"); //!!! Laser Error !!! yaz ve iki satır ve
enter kadar boşluk bırak.
}

```

VX500 Optik Anahtarlama Sistemi Reset Fonksiyonu

VX500 optik anahtarlama sistemini resetliyoruz. Anahtarın ucunu boşa çıkartıyoruz. VX500 optik anahtarlama sistemini sıfırlıyoruz.

```

void init_laser() //VX500 optik anahtarlama sistemi resetleniyor.
{
    delay_ms(1000); //1000 milisaniye süresince bekledik.
    output_high(V_STROBE); //V_Strobe çıkışını lojik 1 seviyesine çıkarttık.
    portd = 0b00111111; //Reset pozisyonu.
    output_high(V_RESET); //V_Reset çıkışını lojik 1 seviyesine çıkarttık.
    output_low(V_STROBE); //V_Strobe çıkışı lojik 0 seviyesine çekiliyor.
    delay_us(3); //3 mikrosaniye süresince bekleniyor.
}

```

```
output_high(V_STROBE); //V_Strobe çıkışı lojik 1 seviyesine çıkartılıyor.  
while( input(V_BUSY));  
}
```

VX500 Optik Anahtarlama Sisteminin Çalıştırılması

VX500 optik anahtarlama sistemini istenilen kaynak sırasına göre çalıştırdık.

```
int set_laser(int ch) //VX500 optik anahtarını çalıştırdık.  
{  
int temp; //Temp tamsayı değişkeni tanımladık.  
while(input(V_BUSY)); //V_Busy lojik 1 seviyesindeyken (meşgulken) bekler.  
    delay_us(10); //10 mikrosaniye bekledik.  
    temp = ch & 0b00011111; //Ch tamsayı değişkeni ile b'00011111' bitlerini  
    VE'ledik. Sonucu temp değişkenine aktardık.  
    temp = temp | 0b00100000; //Temp değişkeni ile 0b'00100000' bitlerini  
    VEYA'ladık. Böylelikle V_Strobe çıkışını da lojik 1 seviyesine getirdik. Sonucu  
    temp değişkeninin içerisine aktardık.  
    portd = temp; //Temp değişkeninin içeriğini portd'ye aktardık.  
    if(ch<32) //Eğer ch tamsayı değişkeninin değeri 32 sayısından küçük ise  
        output_low(V_RESET); //V_RESET çıkışını lojik 0 seviyesine çektik.  
    else  
        output_high(V_RESET); //Eğer ch tamsayı değişkeninin değeri 32 ve daha  
        yukarısı ise V_Reset çıkışını lojik 1 seviyesine çıkarttık.  
  
    delay_us(3); //3 mikrosaniye süresince bekledik.  
    output_high(V_STROBE); //V_Strobe çıkışı lojik 1 seviyesine getiriliyor.  
    delay_us(3); //3 mikrosaniye süresince bekleniyor.  
    output_low(V_STROBE); //V_Strobe çıkışı lojik 0 seviyesine düşürülüyor.  
    delay_us(3); //3 mikrosaniye süresince bekleniyor.  
    output_high(V_STROBE); //V_Strobe çıkışı lojik 1 seviyesine getiriliyor.  
    delay_us(3); //3 mikrosaniye süresince bekleniyor.  
  
    while( input(V_BUSY) && !input(V_ERROR) ); //V_Busy lojik 1 ve  
    V_Error lojik 0 seviyesindeyken bu satırda beklettik.  
    delay_us(10); //10 mikrosaniye beklettik.  
    if(input(V_ERROR)) //Eğer V_Error girişi lojik 1 seviyesindeyse  
        return(0); //Fonksiyon gerçekleşmeyip çağırıldığı yere dönülüyor.  
    else //Eğer V_Error girişi lojik 0 seviyesinde ise  
    {  
        return(1); //Fonksiyon gerçekleşip çağırıldığı yere dönüyor.  
    }  
    delay_us(1); //1 mikrosaniye süresince bekleniyor.  
}
```

Ana Program

Ana programın içerisinde en üstte kullanılacak olan tamsayı değişkenlerini dahili olarak tanımladık, mikrodenetleyicinin kendi A/D çeviricisini devre dışı bıraktık. A, B, C, D portlarının pinlerini eğer giriş ise giriş olarak; eğer çıkış ise çıkış olarak kurduk. Tüm portları sıfırladık.

```
void main() //Ana program.
{
int i,j; //i,j tamsayı değişkenlerini tanımladık.
int temp;
setup_adc( ADC_OFF ); //ADC kipini devre dışı bıraktık.
setup_adc_ports( NO_ANALOGS ); //ADC portları ADC amaçlı kullanılmıyor.
    set_tris_a(0b00010000); //RA0,RA1,RA2,RA3,RA5,RA6,RA7 portları çıkış
olarak, RA4 portu (DVALID) giriş olarak tanımladık.
    set_tris_b(0b00000000); //PortB'nin tamamını çıkış olarak tanımladık.
    set_tris_c(0b10010000); //RC4 portunu (DDC232'lerin DOUT çıkışı) ve RC7
portunu giriş olarak, diğerlerini çıkış olarak tanımladık.
    set_tris_d(0b11000000); //RD6 portunu (VX500' ün Busy çıkışı), RD7
portunu (VX500' ün Error çıkışı) giriş olarak, diğer portları ise çıkış olarak
tanımladık.
    output_a(0); //PortA' yı tamamıyla sıfırladık.
    output_b(0); //PortB' yi tamamıyla sıfırladık.
    output_c(0); //PortC' yi tamamıyla sıfırladık.
    output_d(0); //PortD' yi tamamıyla sıfırladık.

for(i=0;i<6;i++) //6 entegrasyon zamanı için döngüye soktuk.
for(j=0;j<49;j++) //49 fotodiyot bilgisi için 49 kere döngüye soktuk.
BUF_X[i][j] = 0; //BUF_X tamponunu tüm döngüler için sıfırladık.
for(j=0;j<64;j++) //64 kere döngüye soktuk.
    BUF[j] = 0; //BUF tamponunu tüm döngüler için sıfırladık.

init_laser(); //VX500 optik anahtarlama sistemini resetledik.
config(); //DDC232 yongalarının konfigürasyon fonksiyonunu çağırdık.
setup_timer_0 (RTCC_8_BIT | RTCC_DIV_16|RTCC_INTERNAL);
enable_interrupts(INT_TIMER0);
enable_interrupts(GLOBAL);
Init_Rx();
for(;;) //Sonsuz döngüye soktuk.
{
    if(RxFlag.DATA_READY)
    {
        switch(RxD.B.COMMAND)
        {
case 0x0D:
if(set_laser(RxD.B.CHANNEL)) //Fiber optik anahtar, lazeri kanala anahtarlıyor.
{
for(i=0;i<6;i++)
{
```

//Alınan seri bilginin Low ve High Byte'ları birleştirilip 16 bit'e dönüştürülerek INT_TIME'a yazıldı.

```
INT_TIME[i] = RxD.BUF[2+i*2+1]; //High Byte yazmaçtan alınarak INT_TIME[i]'a yazıldı.
```

```
    INT_TIME[i] <<=8; //INT_TIME[i] 8 bit sola kaydırıldı.  
temp = RxD.BUF[2+i*2]; //Low Byte yazmaçtan alınarak temp'e yazıldı.  
    INT_TIME[i] &= 0xFF00; //INT_TIME[i]'nin low byte'ı sıfırlandı.  
INT_TIME[i] |= (long)temp; //INT_TIME[i] temp ile OR işlemi ile birleştirildi. 16 bit entegrasyon zamanı bilgisi elde edildi. 255 sayısından daha büyük bir sayı değeri gelebileceği için 2 byte kullanıldı.
```

```
    }  
    read_data(); //Read_data() fonksiyonu çağırılıp veriler okundu.  
    send_to_pc(); //Veriler bilgisayara gönderildi.
```

```
    }  
    else //Eğer set_laser() fonksiyonu 0 ile dönüyor ise  
send_laser_error(); //send_laser_error() fonksiyonu çağırıldı.  
    break;
```

```
        case 0x0E : portd = 0b00111111;  
output_high(V_RESET); //V_Reset çıkışı lojik 0 seviyesine çekiliyor.  
output_low(V_STROBE); //V_Strobe çıkışı lojik 0 seviyesine çekiliyor.  
delay_us(3); //3 mikrosaniye süresince bekleniyor.  
output_high(V_STROBE); //V_Strobe çıkışı lojik 1 seviyesine çıkartılıyor.  
while( input(V_BUSY));  
    break;
```

```
    }  
RxFlag.DATA_READY = False; //Eğer command yanlış ise DATA_READY sıfırlanır.
```

```
Init_Rx(); //Tekrar işlemci veri almaya hazır hale getirildi.
```

```
    }  
}  
}
```

Elektronik Malzeme Listesi

Elektronik Malzeme Listesi

Tanımlama	Numara	Ayak Şeması	Kütüphane	Miktar	Değer
Kutupsuz Kondansatör	C1	C NP 200 7.5 x 3	C NP 200 7.5 x 3	1	100nF
Kutupsuz Kondansatör	C2	C NP 200 7.5 x 3	C NP 200 7.5 x 3	1	100nF
Kutuplu Kondansatör	C3	C P 5 - 13	C P 5 - 13	1	2200uF/16V
Kutuplu Kondansatör	C4	C P 3.5 - 8	C P 3.5 - 8	1	100uF/16V
Kutupsuz Kondansatör	C5	C NP 200 7.5 x 3	C NP 200 7.5 x 3	1	100nF
Kutupsuz Kondansatör	C6	C NP 200 7.5 x 3	C NP 200 7.5 x 3	1	100nF
Kutuplu Kondansatör	C7	C P 3.5 - 8	C P 3.5 - 8	1	10uF
Kutuplu Kondansatör	C8	C P 2.5 - 6.3	C P 2.5 - 6.3	1	1uF
Kutuplu Kondansatör	C9	C P 2.5 - 6.3	C P 2.5 - 6.3	1	1uF
Kutuplu Kondansatör	C10	C P 2.5 - 6.3	C P 2.5 - 6.3	1	1uF
Kutuplu Kondansatör	C11	C P 2.5 - 6.3	C P 2.5 - 6.3	1	1uF
Kutuplu Kondansatör	C12	C P 2.5 - 6.3	C P 2.5 - 6.3	1	1uF
Kutuplu Kondansatör	C13	C P 3.5 - 8	C P 3.5 - 8	1	100uF/16V
Opto İzolatör	IC1	DIP4	PC817	1	
Opto İzolatör	IC2	DIP4	PC817	1	
Opto İzolatör	IC3	DIP4	PC817	1	
Opto İzolatör	IC4	DIP4	PC817	1	
Opto İzolatör	IC5	DIP4	PC817	1	
Besleme Soketi	J1	JACK	JACK	1	
RS232 Konnektörü	J2	DSUB1.385-2H9	D Connector 9	1	
14-Pinli Molex Konnektör	JP1	HDR2X14	Header 14X2	1	
12-Pinli, Çiftli Molex Konnektör	JP2	HDR2X12	Header 12X2	1	
5-Pinli Molex Konnektör	JP3	HDR1X5	Header 5	1	
1/4 Watt Direnç	R1	Res .25 W - 10	Res .25W	1	330
1/4 Watt Direnç	R2	Res .25 W - 10	Res .25W	1	330

1/4 Watt Direnç	R3	Res .25 W - 10	Res .25W	1	330
1/4 Watt Direnç	R4	Res .25 W - 10	Res .25W	1	330
1/4 Watt Direnç	R5	Res .25 W - 10	Res .25W	1	330
1/4 Watt Direnç	R6	Res .25 W - 10	Res .25W	1	2K2
1/4 Watt Direnç	R7	Res .25 W - 10	Res .25W	1	2K2
1/4 Watt Direnç	R8	Res .25 W - 10	Res .25W	1	2K2
1/4 Watt Direnç	R9	Res .25 W - 10	Res .25W	1	2K2
1/4 Watt Direnç	R10	Res .25 W - 10	Res .25W	1	2K2
1/4 Watt Direnç	R11	Res .25 W - 10	Res .25W	1	100
1/4 Watt Direnç	R12	Res .25 W - 10	Res .25W	1	100
1/4 Watt Direnç	R13	Res .25 W - 10	Res .25W	1	2K5
1/4 Watt Direnç	R14	Res .25 W - 10	Res .25W	1	10K
1/4 Watt Direnç	R15	Res .25 W - 10	Res .25W	1	10K
Pozitif Gerilim Regülatörü	U1	SFM-T3/A4.7V	LM7805CT	1	
Düşük Güçlü Çiftli İşlemsel Yükselteç	U2	DIP-8	OPA350	1	
Referans Gerilim Enregresi	U3	BCY-W3/E3.7	REF3140	1	
800mA ve 1A Dijital Pozitif Gerilim Regülatörü 2.85V, 3.3V, 5V ve ayarlanabilir	U4	DSO-G3/X1.1	REG1117-3.3	1	
+5V Çok Kanallı RS232 Sürücü Arayüzey tümdevre	U5	DIP-16/X1.5	MAX232ACPE	1	
CMOS Mikrodenetleyici	U6	DIP-40/D53	PIC18F452	1	
Kristal Osilatör	X1	OSC	OSC	1	20MHz