T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

LAZER TAKİP SİSTEMİ TASARIMI VE PROTOTİP UYGULAMASI

Hazırlayan
Hasan ÖZDEM

Danışman
Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Yüksek Lisans Tezi

Ocak 2012
KAYSERİ

T.C.
ERCİYES ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
MEKATRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

LAZER TAKİP SİSTEMİ TASARIMI VE PROTOTİP UYGULAMASI

Hazırlayan
Hasan ÖZDEM

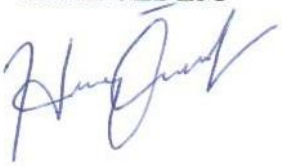
Danışman
Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Yüksek Lisans Tezi

Ocak 2012
KAYSERİ

Bu çalışmadaki tüm bilgilerin, akademik ve etik kurallara uygun bir şekilde elde edildiğini beyan ederim. Aynı zamanda bu kural ve davranışların gerektirdiği gibi, bu çalışmanın özünde olmayan tüm materyal ve sonuçları tam olarak aktardığımı ve referans gösterdiğimi belirtirim.

Hasan ÖZDEM



"**Lazer Takip Sistemi Tasarımı ve Prototip Uygulaması**" adlı Yüksek Lisans, Erciyes Üniversitesi Lisansüstü Tez Önerisi ve Tez Yazma Yönergesi'ne uygun olarak hazırlanmıştır.

Tezi Hazırlayan
Hasan ÖZDEM

Danışman
Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Mekatronik Mühendisliği ABD Başkanı
Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

Prof. Dr. İbrahim UZMAY danışmanlığında Hasan ÖZDEM tarafından hazırlanan " **Lazer Takip Sistemi Tasarım ve Prototip Uygulaması** " adlı bu çalışma, jürimiz tarafından Erciyes Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik ve Elektronik Anabilim Dalında **yüksek lisans** tezi olarak kabul edilmiştir.

03/02/2012

JÜRİ:

Danışman : Prof. Dr. İbrahim UZMAY

Üye : Prof. Dr. Şahin YILDIRIM

Üye : Yrd. Doç. Dr. Muzaffer KANAAN

ONAY:

Bu tezin kabulü Enstitü Yönetim Kurulunun 07/02/2012 tarih ve 2012/08-24 sayılı kararı ile onaylanmıştır.

07/02/2012

Prof. Dr. Necmettin MARAŞLI

Enstitü Müdürü

TEŞEKKÜR

"Lazer Takip Sistemi Tasarımı ve Prototip Uygulaması" konulu tez çalışmasının seçiminde, yürütülmesinde, sonuçlandırılmasında ve sonuçlarının değerlendirilmesinde maddi ve manevi destek ve yardımlarını esirgemeyen değerli hocam sayın Prof.Dr. İbrahim UZMAY'a teşekkür ederim.

Yapılan analizlerde, kart ve yazılım tasarımlarında her türlü deneyim, bilgi ve önerilerini benimle paylaşan M. Uğur GÜNER'e; tasarım ve sistem yapılandırmasında özgün fikirlerinden ve yardımlarından ötürü Abdulkadir ÖZSAR'a ve hayatımın dönüm noktalarında bilgelikleri ile rehberlik eden Yrd. Doç. Dr. Gürsel ÇINAR ve Prof. Dr. Mustafa ALÇI'ya, tüm hayatım boyunca daima bana destek veren hayat arkadaşım Özlem ÖZDEM'e ve aileme teşekkür ederim.

Hasan ÖZDEM

Kayseri, Ocak 2012

LAZER TAKİP SİSTEMİ TASARIMI VE PROTOTİP UYGULAMASI

Hasan ÖZDEM
Erciyes Üniversitesi, Fen Bilimleri Enstitüsü
Yüksek Lisans Tezi, Ocak 2012
Tez Danışmanı: Prof. Dr. İbrahim UZMAY

ÖZET

Savunma sanayinde kullanılan güdüm sistemleri ileri teknoloji ve araştırmayı bünyesinde barındırmakta olup, mekanik ve elektronik disiplinlerini bir arada barındıran sayılı uygulamalardandır.

Askeri şartlarda (soğuk, nemli, engebeli arazi, aşırı ya da yetersiz ışık …v.b.) yüksek hassasiyetle ve yüksek isabet oranları ile hedefi bulan ve maliyet olarak da optimum seviyede olan güdüm sistemleri halen gelişimini sürdürmektedir.

Günümüzde daima daha üst teknoloji ve disiplinler geliştirilen güdüm sistemlerinde (daha uygun fiyat, daha üstün ve her koşulda hayatta kalabilecek sağlamlıkta, yüksek hız, yüksek isabet oranı, …v.b) parametrelerlerin iyileştirilmesi arzu edilen değişkenlerdir.

Sonuç olarak; hassas güdümlü lazere duyarlı bir füze sisteminde en yüksek maliyet (%50-60) ve en önemli teknolojik birimi (mekatronik teknoloji) olan arayıcı (seeker) sistemi, füzenin hayati elemanı olup tezimizde en uygun şartlardaki arayıcı ünitesi tasarlanacak ve bu değerlere göre prototip oluşturulup test edilecektir.

Anahtar Kelimeler: Hassas güdüm sistemi, arayıcı sistemi, arayıcı sistemleri ve gereksinimleri, füze kontrol sistemleri

GUIDED LASER TRACKING SYSTEM AND PROTOTYPE IMPLEMENTATION

Hasan ÖZDEM

Erciyes University, Graduate School of Natural and Applied Sciences

M. Sc. Thesis, January 2012

Thesis Supervisor: Prof. İbrahim UZMAY

ABSTRACT

Guidance systems used in the defense industry are harboring with in the advanced technology and research, that hosts a combination of mechanical and electronic applications in the disciplines.

Military conditions (cold, wet, rugged terrain, excessive or inadequate light ... etc.) with thegoal of high precision and high hit rates and the cost of finding the optimum level in thedevelopment of guidance systems are still continuing.

Nowadays, technology and disciplines developed guidance systems is always higher (morefavorable price, superior in strength and can survive in all conditions, high-speed, highaccuracy rate, ... etc.), the desired improvement of the parameters are variables.

As a result, precision-guided misilse system, the high cost of a laser-sensitive (50–60%) and themost important technological unit (mechatronics technology), the seeker (seeker) system, the misilse is avital element of our thesis, the most suitable conditions and thecaller unit designed according to these values prototype will be created and tested.

Keywords: Precision guidance systems, laser seekers, laser seekers and requirements, control systems of missiles

İÇİNDEKİLER

LAZER TAKİP SİSTEMİ TASARIMI VE PROTOTİP UYGULAMASI

Sayfa

BİLİMSEL ETİĞE UYGUNLUK i
YÖNERGEYE UYGUNLUK. ii
KABUL ONAY iii
TEŞEKKÜR iv
ÖZET v
ABSTRACT vi
İÇİNDEKİLER vii
TABLOLAR LİSTESİ xi
ŞEKİLLER LİSTESİ xii
KISALTMALAR VE SİMGELER xiv

GİRİŞ 1

1. BÖLÜM
LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Literatür Taraması 7

2. BÖLÜM
GÜDÜM SİSTEMLERİNDE LAZERİN YERİ VE TERMİNOLOJİ

2.1. Lazer Çeşitleri 10
2.1.1. Katkılı Yalıtkan Lazerler 11
2.1.2. Yarı İletken Lazerler 11
2.1.3. Gaz Lazerler 11
2.1.4. Kuru Lazerler 11
2.2. Nd-Yag Lazer Blok Diyagramı 11
2.3. Yag Serisi Lazerlerin Mutlak Tepki Aralıkları 12
2.4. Son Lojik Darbe (Last Pulse Lojik) Mantığı 13

2.5. Yanlış Darbe (False Pulse) ve İlk Lojik Darbe (First Pulse Lojik) Mantığı 14
2.6. Lazer Kodlama 16
2.7. Lazerlerin Algılanması ve Çözümlenmesi 17

3. BÖLÜM
ALGILAMA TEKNİKLERİ

3.1. Algılama Teknikleri 19
3.1.1. Bang-Bang Sensörü 19
3.1.2. Orantısal Sensör 20
3.1.3. Lineer Bölgeye Geçişte Kullanılan Yöntemler 21
3.1.3.1. Orantısal Sinyale Pürüzsüz Geçiş 21
3.1.3.2. Gölge Dedektörü 22
3.2. Tekrar Odaklanmış (Defocused) Spotun İşlenmesi 23
3.3. Pitch ve Yaw Hata Sinyali 23
3.4. Algılama Metotları ve S/N (SNR) Oranı 24

4. BÖLÜM
SENSÖR ANALİZİ VE SİSTEM GEREKSİNİMLERİ

4.1. P-I-N Foto Diyot 26
4.2. Çığ (Avalanche) Foto Diyotlar 27
4.3. Silikon P-I-N Dört Bölmeli (Quadrant) Foto Diyotlar 28

5. BÖLÜM
SİNYALLERİN İŞLENMESİ VE TASARIM PARAMETRELERİ

5.1. Sinyal Hesaplamaları 30
5.2. Foto Hassasiyeti 39
5.3. Karanlık Akımı (Dark Current) 40
5.4. Tepki Süresi (Response Time) 40
5.5. G Etkisi Dayanıklılığı 40
5.6. Aero-Thermodynamic Isınma 41
5.7. Arayıcı Ünitelerde Kilitlenme Menzil Hesaplamalarında Nomografi 42
5.8. Maliyet 43

6. BÖLÜM
GÜDÜM SİSTEMİNDE KULLANILAN DEVRE YAPILARI VE YARDIMCI ÜNİTELER

6.1. Lazer Algılama ve İşleme Adımları 45
6.1.1. Örnekleme ve Tutma 45
6.1.2. Fast Sample (Hızlı Örnekleme) And Hold (Tutma) Devre Yapısı 46
6.2. Pik (Peak) Dedektör 48
6.3. Threshold Seviyesi ve Önemi 49
6.4. Sensör Seçimi ve Sebepleri 50
6.5. Ataletsel Ölçüm Ünitesi (IMU-Inertial Measurment Unit) 51
6.6. Füze Burunları (Dome) 53
6.7. Optik Elemanlar ve Tasarım Parametreleri 54
6.7.1. Gövdeye Sabit Optik Ünite 54
6.7.2. Optik Parametreler 55
6.8. Bant Geçiren Dielektrik Filtreleme 56
6.9. Tasarıma Genel Bakış ve Değerlendirme 56

7. BÖLÜM
TASARIMIN GENEL YAPISI

7.1. Sistemdeki Elektronik Yapılara Genel Bakış 59
7.2. Sistemdeki Elektronik Devreler ve Çalışma Prensipleri 60

8. BÖLÜM
KONTROL SİSTEMİ VE KUMANDA ELEMANLARI

8.1. Kontrol Kartı Tasarımı 70
8.1.1. Kullanılan PİC programı 70
8.1.1.1. Manuel Menü 71
8.1.1.2. Otomatik Menü 72
8.1.1.3. Test menüsü 73
8.2. Arayüz Program Kullanımı İle Kumanda 73

9. BÖLÜM
CAD TASARIM VE SİSTEMİN TEST EDİLMESİ

9.1. Mekanik Parçaların Tasarımı 78
9.2. Oto Pilot İle Kumanda Sistemi 80
9.3. 6 Serbestlik Dereceli Test Düzeneği (6 DOF) 81

10. BÖLÜM
TARTIŞMA, SONUÇLAR VE ÖNERİLER

10.1. Tartışma, Sonuç ve Öneriler 83
KAYNAKLAR 84
EKLER 86
ÖZGEÇMİŞ 88

TABLOLAR LİSTESİ

Tablo 5.1. Tipik lazer işaretleyici özellikleri 30
Tablo 5.2. Örnek yansıtıcı ve absorbe edici yüzeyler 33
Tablo 5.3. Çevre şartlarının dikkate alındığı hesaplama metotlarının kıyaslaması 34
Tablo 5.4. Dedektör gürültü hesaplaması için foto diyot karakteristik değerleri 38
Tablo 5.5. Hamamatsu PSD sensör sonuçları (5 km yatay; 2 km dikey) 39
Tablo 5.6. Hamamatsu APD sensör sonuçları (5 km yatay; 2 km dikey)..... 39
Tablo 5.7. Çalışma esnasında kabul edilen yüzey sıcaklıkları 42
Tablo 6.1. Tasarımda kullanılabilecek olan dört bölmeli sensör performans değerleri (2008 yılı) 51
Tablo 6.2. Tasarımda kullanılabilecek IMU performans özellikleri..... 52

ŞEKİLLER LİSTESİ

Şekil G.1. Lazer güdümlü sisteminde bulunan genel elemanlar 2
Şekil G.2. Lazer dalga boyları 2
Şekil 2.1 Nd-Yag serisi lazer blok diyagramı 12
Şekil 2.2. Nd-Yag serisi lazerlerin mutlak ve bağıl tepki eğrileri 13
Şekil 2.3 Son darbe lojik mantığı ve uygulama senaryosu 14
Şekil 2.4. İlk darbe lojik mantığı ve senaryosu 14
Şekil 2.5. Yanlış alarm senaryosu 15
Şekil 2.6. Lazer kodlama PRF ve PIM kodlama mantığı 16
Şekil 2.7. Değişken periyod sinyali kullanılarak elde edilmiş kod örnekleri 17
Şekil 2.8. Lazer kodlama ile birden fazla mühimmat kontrol etme 18
Şekil 3.1. Bang-Bang kontrolde yaw ve pitch sensör çıkışı 19
Şekil 3.2. Limit çevrim diyagramı 20
Şekil 3.3. Orantısal sensör voltaj karakteristiği 21
Şekil 3.4. Tekrar odaklama metodunda sensör çıkış voltajı 22
Şekil 3.5. Gölge sensör şematize hali 22
Şekil 3.6. a) Odaklanmış sensör b) Dört bölmeli diyot şematize hali 23
Şekil 3.7. Dört bölmeli dedektör hata sinyali formülüze hali 24
Şekil 3.8. Algılama tekniklerinde S/N oranının etkileri 25
Şekil 4.1. PIN diyot karakteristik yapısı 26
Şekil 4.2. Çığ diyot (Avalanche Diot) yapısı 28
Şekil 4.3. PIN foto diyot geometrisi 28
Şekil 5.1. Basitleştirilmiş lazer sinyalinin arayıcıya ulaşması 31
Şekil 5.2. Lazer ışınındaki zayıflamanın bağıl neme göre değişimi 32
Şekil 5.3. Lambertian ve kısmi yansıtıcı yüzeyler 33
Şekil 5.4. Katı açılar (Solid Açılar) şematize hali 34
Şekil 5.5 İzleme iz düşümlerinin kıyaslaması 36
Şekil 5.6. Nomografi ile tasarım parametrelerinin seçimi 43
Şekil 6.1. Örnekleme ve tutma durumlarının şematize hali 45
Şekil 6.2. Logaritmik yükseltici çıkış eğrisi 46
Şekil 6.3. Hızlı örnekleme ve tutma devre yapısı 47
Şekil 6.4. Pik değer algılama devre yapısı 48
Şekil 6.5. Lazer güdüm devrelerinde threshold seviyesi uygulaması 49

Şekil 6.6. Threshold seviyesi oluşturmak için kullanılan devre 50
Şekil 6.7. Füze burun geometrileri 53
Şekil 6.8. Füze burnunda (Dome) oluşan basınç ve hız dağılımı 54
Şekil 6.9. Sabit optik yapısı 55
Şekil 6.10. a) Optik elemanın parametreleri b) FOV açısının lens çapı ile değişim grafiği 55
Şekil 7.1. Ön yükseltici (Pre-amplifier) devresi 61
Şekil 7.2. Darbe şekli düzeltici ve Threshold devresi 62
Şekil 7.3. Örnekleme ve tutma (Sample and Hold) devresi 63
Şekil 7.4. Darbe genişliği arttırıcı darbe sündürme devresi 64
Şekil 7.5. Otomatik kazanç kontrol ve buffer yükseltici devresi 65
Şekil 7.6. Lazer toplama-yükseltme, Feed-Back ve güç yükseltme devresi 66
Şekil 7.7. Oto pilot mikro kontroller devre yapısı 67
Şekil 7.8. Analog PWM motor sürücü devresi 68
Şekil 7.9. Güç transistör katı 69
Şekil 8.1. Kontrol kartı için hazırlanan program simulasyonu 70
Şekil 8.2. Simulasyon ekranında sola manuel dönüş 71
Şekil 8.3. Simulasyon ekranında otomatik ekranın aktif hale getirilmesi 72
Şekil 8.4. Arayüz programın ana sayfası 74
Şekil 8.5. Hareket ve kenetlenme komutlarını aktif hale getiren ünite 74
Şekil 8.6. Verilen değerlere göre konum-voltaj değişimini gösteren ekran 75
Şekil 8.7. Dedektör üzerine gelen ışının konumunu gösteren ikon 76
Şekil 8.8. Dedektörün kenetlenme anındaki ekran değerleri ve spot konum simulatörü 76
Şekil 8.9. Program ile çeşitli ayarlamaların yapıldığı ekran 77
Şekil 9.1. Ele alınan sistemin CAD tasarımı 78
Şekil 9.2. Prototip uygulaması ve temel iç yapısı 79
Şekil 9.3. Prototip uygulaması ve kontrol kumanda kartları 80
Şekil 9.4. 6 Dof test düzeneği 81

KISALTMALAR VE SİMGELER

6 DOF	6 Serbestlik Derecesi
AOA	Saldırı Açısı
HE	Baş Hatası
RH	Bağıl Nem
E	Enerji (W)
tp	Darbe Süresi
CAD	Computer Aided Design; Bilgisayar destekli tasarım
GHz	Giga Hertz (10^9)
PL	Lazer Gücü
FOV	Sensör Görüş Alanı
Rm	Sensörden Alınan Dik Mesafe
PRF	Lazer Darbe Tekrarlama Oranı
SNR	Sinyal/Gürültü Oranı
Is	Sensör Atış Gürültüsü
Ij	Johnson Gürültüsü
k	Boltzman Sabiti (1.38x10^-23)
e	1.602×10^{-19} Coulombs
T	Sıcaklık (Kelvin)
R	Sensör Şhönt Direnci (Ohm)
NEP	Gürültü Eşdeğer Gücü
APD	Çığ Foto Diyot
PSD	Silisyum Foto Diyot
IMU	Ataletsel Ölçüm Ünitesi
PIM	Değişken Darbe Modülasyonu
F	Optik Eleman Numarası
F	Odak Uzaklığı
D	Optik Açıklık
x	Sensör Boyutu
H	Arayıcı Hassasiyeti
R	İrtifa Değeri
σ	Atmosferik Zayıflatma Sabiti

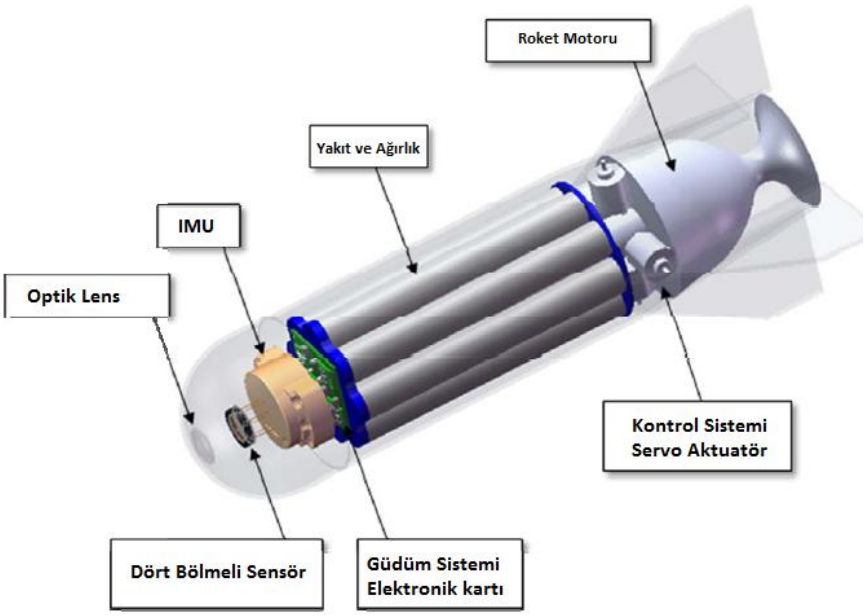
H	Yaklaşma yüksekliği
Rv	Meteorolojik görünürlük
Ts	Füze burunun yüzey sıcaklığı
Ta	Füzeyi çevreleyen ortam sıcaklığı
M	Mach Hızı (1078 m/s)
Id	Karanlık Akımı
Δf	Bant Genişliği (Hz)
$E\lambda$	Dünya Yüzeyine Ulaşan Işınların Radyasyonundaki Azalma
$\Delta\lambda$	10 nm'lik dalga genişliği
B	Alıcının Optik Ünitesinin Görüş Alanı
D	Alıcı Gözün Çapı
Tr	Alıcının Optik İletim Katsayısı
Tf	Filtrenin Optik İletim Katsayısı

GİRİŞ

Silah sistemlerinde kullanılan güdüm teknolojisinde lazer arayıcı sistemi (laser seeker) ve işaretleyici (designator) uyumu önem arz etmektedir. Güdümlü bir silahta arayıcı ünitesi neredeyse silah maliyetin yarısına karşılık gelmektedir. Bu sebeple çok dikkatli bir şekilde seçilmeli ve tasarlanmalıdır. İşaretleyici ise arayıcıya uyum gösterecek özellikte olmalıdır. Bu uyumum bozulması halinde sistem kontrolsüz duruma gelir ve çok maliyetli olan silah sistemi istenen hedefi vuramaz.

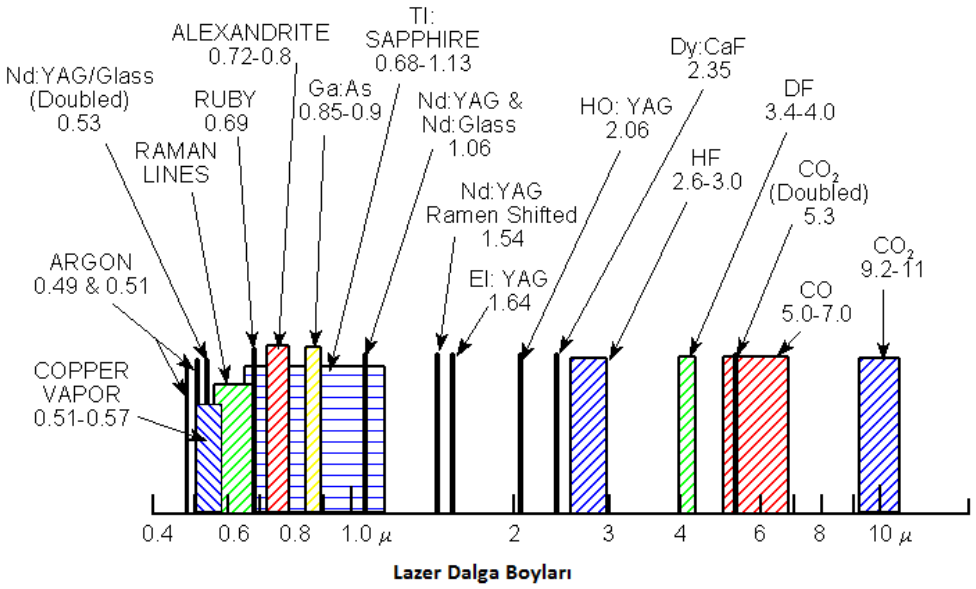
Güdüm tekniklerinin tarihi gelişimi I. Dünya Şavaşı'nın başlangıcına dayanır. İlk kez II. Dünya Savaşın'da V-2 adlı füzede görülmektedir. Güdüm sistemi esasında kullanılan tekniğe göre IR, lazer, NIR v.b. kullanılan metoda bağlı olan takip elemanını izler ve istenilen hedefe ulaşır. Bu metoda ihtiyaç duyulmasının esas sebebi çok maliyetle oluşturulan silahların tamamen insan duyularına göre ateşlenmesi ve şansa göre isabet etmesi ihtimallerini ortadan kaldırılması amaçlanmaktadır. Lazerli güdüm sistemlerinde temel olarak arayıcı sistemi ve bununla birlikte çalışacak olan işaretleyici (lazeri ile birlikte) üniteleri, kontrol, oto pilot ve geri besleme elemanları, savaş başlığı (patlayıcı) ve yakıt bölümü (itki kuvvetleri) ve son olarak optik üniteden oluşmaktadır. Tezimizde esas maliyeti oluşturan ve ileri teknoloji ihtiva eden ünite olan arayıcı kısmı ele alınacaktır. Bu elemanlar şekil.1'de görülmektedir.

Arayıcı ünitesi lazer tipi, optik eleman ve işaretleyici birimleri birbirine tamamen bağlı ve birlikte değerlendirilmesi gereken unsurlardır. Arayıcı ünitesi belirli kodlarla ve hesaplara dayalı enerji ihtiva eden lazerlere duyarlı olan ve sadece bu kodlara cevap veren sistem olarak tanımlanmaktadır. İlerleyen bölümlerde bu sistem daha detaylı olarak izah edilecektir.



Şekil G.1. Lazer güdümlü sisteminde bulunan genel elemanlar [1].

Lazerler; ilk kez C. H. Townes (1953) tarafından mikrodalga bölgesinde geliştirilen ve Microwave Amplification by Stimulated Emission and Radiation (Kamçılanmış Işıma ile Mikrodalga Yükselticikelimelerinin ilk harflerinden yararlanarak kısaca maser adı verilen düzenekler daha sonra T. H. Miaman (1960) tarafından Laser (Lazer) (İngilizce LASER (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation)) olarak adlandırılmıştır. Lazerler, fotonları uyumlu bir hüzme şeklinde oluşturan optik kaynaklardır. Şekil.2'de lazer dalga boyları yer almaktadır.



Şekil G.2. Lazer dalga boyları [6].

Tezimizde lazer güdümlü bir roketin arayıcı ünitesinin tasarım adımları ve optimum değerlere göre bir tasarım yapılarak; sistemin prototip uygulaması gerçekleştirilecektir. Tasarımda lazer tipi olarak infrared tipe en yakın olan neodymium Nd-YAG lazeri referans alınmıştır.

Lazerlerin çevre şartlarından etkilenmeleri [8,9,10] ve çeşitli değişkenlere göre gösterdiği davranış şekli güdüm sisteminin doğrudan etkilemektedir. Bu sebeple gerek tasarım aşamasında gerekse uygulamada lazer kullanımında dikkat edilmesi gereken bazı durumlar vardır. Bunlar tezimizde bölüm 2.'de detaylı olarak yer verilecektir. Bölüm 2.'de bahsedilen konular lazerin güdüm sistemindeki önemi ve yanlış kullanım sonucu başarılı çalışabilecek olan arayıcı ünitesinin lazerden ötürü başarısız atışla sonuçlanabilmesi muhtemeldir. Bu sebeple bazı metotlar geliştirilmiştir. Bu metotlar genel olarak lazerin kodlaması ve çözümlenmesi, lazerle işaretlemedeki başarı, çevre faktörlerinin lazer üzerinde daha az etki etmesi v.b. şeklinde özetlenebilir.

Sistemin ve dolayısıyla füzenin başarısını etkileyen lazer ve seçim parametrelerine karar verilmesinin ardından; tezimizin ana konusu olan arayıcı (seeker) ünitesi için gerekli olan bir algılama elemanı seçilecektir. Bu elemanın seçiminde maliyet, performans, hassasiyet, kullanım kolaylığı ve diğer sistemlerle uyumu, zorlu şartlardaki kullanım örnekleri bölüm 3.'de incelenerek uygun bir sensör seçimi yapılacaktır. Bu seçim yapılırken "Sidewinder" [12] füzesinde kullanılmış ve başarı göstermiş olan "Hamamatsu Quadrant Dedektör" [13] teknik özellikleri referans alınacaktır. Bu şekilde şayet bu özellikleri maliyet, hassasiyet ve teknik açılardan yerine getiren daha üstün bir sensör seçilirse; tasarımda bu eleman kullanılarak diğer şartlar araştırılacaktır.

Sensör seçimi; lazerler gibi mühimmatın başarısında doğrudan belirleyici bir etkendir. Füze maliyetlerinde en yüksek oran ve en ileri teknoloji arayıcı ünitesinde yoğunlaşmaktadır. Bu sebeple seçimi ve tasarımı çok dikkatle yaklaşılması gereken bir hususdur. Sensör seçiminin tamamlanmasının ardından sensörle birlikte çalışacak olan diğer elemanlara karar verilecektir. Sensör özellikleri belirlendikten sonra bölüm 4.'de sensörlerin yapı elemanlarınında bölüm 3.'de yer verilen özelliklere doğrudan etki etmesi sebebiyle tezimizde yer verilecektir.

Bölüm 5.'de seçilecek olan elemanların çalışma ortamları ve kullanılacak lazeri bekleyen şartlar araştırılacaktır. Bu şartlar kontrol sistemlerinde genel olarak bozucu etken olarak isimlendirilen ve sistemde istenmeyen unsurlardır. Bu unsurların mühimmatın çalışması gereken zorlu şartlardaki etkilerine karşı sistemi hazırlamak amacıyla tasarımında dikkate alınması gerekli parametreler ve hesaplamaları bölüm 5.'de oluşturulacaktır. Tezimizde verilen bozucu etkenlere bakıldığında her sensörde olduğu gibi gürültü oluşumu, işaretleme lazerinin dünyanın değişken optik yapısına karşı düzgün çalışabilmesi, enerji kayıplarının nerelerde olacağı, lazerin hedefe ulaşması için gerekli olan enerji miktarı, çevre şartlarında bulunan nemin ışınlar üzerindeki olumsuz etkileri, menzil ve irtifa mesafeleri bu bölümde dikkate alınacak ve tasarım için istenen değerler elde edilecektir. [1,7,8]

Bölüm 6.'da belirlenen değerler göre sistem için gerekli olan yardımcı elemanlara karar verilebilmesi açısından sistemin ihtiyaç duyduğu elemanlar sıralanacaktır. Ayrıca elemanların seçiminde dikkate alınması gereken parametreler ve elemanlarında çalışacağı ortam koşulları yerine getirmesi gerekli olan şartlarda ele alınacaktır.

Bu elemanlar sistemin kodlanması ve çözümlenmesi, sinyallerin dünya üzerinde mevcut olan bozucu etkenlerden sistemin korunması ve bu etkilerin bastırılması ya da filtrelenmesi, çok yüksek hızlarda çalışacak olan arayıcı ünitesinin çevreden kaynaklı maruz kalacağı yüksek basınç ve kuvvet değerlerine karşı korunması, bu hızlarda sistemin çok hızlı tepki verebilmesi için gerekli alt elemanların oluşturulması, optik şeklindedir.

Bölüm 7.'de tasarım parametreleri belirlenen sistemimiz için gerekli olan analog ve dijital değerlerin algılanması, çözümlenmesi ve bölüm 8.'de verilecek olan kontrol yapısının işleyebileceği şekle getirilmesi amacıyla özgün tasarım olan devre yapılarına yer verilecektir. Bu yapılar genel olarak sensör çıkışlarının analog olması ve günümüz teknolojisinde ağırlıklı olan dijital teknoloji yapıları söz konusu olması sebebiyle dijital karaktere dönüştürülmesi ya da eş değer hale getirilmesi amaçlanmaktadır.

Devre yapılarımızla; "Ekartometri" olarak adlandırılan Yaw (yunuslama hareketi) ve Pitch (sol-sağ hareketi) eksen hareketleri oluşturulmuştur.

Sistemde bulunması gerekli durumlardan biri de otomatik kazanç ayarlamadır. Bu durum lazerin doğrultulduğu hedefe çok yaklaşması sonucu arayıcının, gelen enerji büyüklüğünün kapasitesinin üzerinde bir değer aldığı anda körelme yaşanarak sensörün çıkış verememesine karşı alınan tedbirdir. Bu devre op-amp çıkışlarını kazanç değerini küçülterek alınan enerjiyi kısmasını sağlamaktadır.

Ekartometri ve kazanç ayarlama devrelerine rağmen sistemler genellikle çarpışmaya yakın bir zaman diliminde sensör ve algılama elemanlarından mahrum hareket etmek zorundadır. Daha önce izah edilmiş olan körelme kısmen engellense de fırlatmanın belirli bir süre sonrasında enerji op-ampların saturasyon değeri olan besleme voltajına eşit hale gelerek sinyaller işlenemez hale gelir. Bu durumda sistem bünyesindeki en son doğru değerlere göre otomatik pilot ile uçmak zorundadır. Şayet bu devre yapısı olmazsa sistem bu andan itibaren tamamen kontrolsüz şekilde kalır ve hedefe dahi yaklaşamaması söz konusudur.

Sistemde olması gereken anahtar-kilit mantığına benzer şekilde, bölüm 2.'de anlatılacak olan kodlanmış lazer koduna sahip arayıcı ile birlikte çalışabilmesi amacıyla Örnekleme ve Tutma (Sample and Hold) devresi gereklidir. Bu devre yapısı arayıcıya ulaşan lazerlerin (birden fazla lazer ya da şaşırtma amacıyla doğrultulmuş lazerler) kodlarına bakabilmek için örnek alır ve içinde bulunan kod aralıklarında darbelerle karşılaştırır. Bu şekilde kendine ait lazeri ayırarak o lazere doğru yönelmesi sağlanır.
Devrelerden diğeri ise; çevre durumlarından etkilenen lazerin karakteristik darbe formunun bozulması ve diğer gürültülerle karışarak; karmaşık sinyalin daha kolay yorumlanabilmesi amacıyla lazerin kendi haline geri getirebilmek ve örnekleme darbe aralığına sürükleyerek yakalanabilmesi adına shaper devresine yer verilmiştir. Ayrıca gürültüleri bastırmak adına dinamik threshold seviyesi oluşturularak gürültüler sistemden yalıtılmıştır.

Bölüm 8.'de sistemde devre yapıları ve elemanlarla oluşan yapının tamamlanabilmesi amacıyla kontrol ünitesi anlatılmıştır. Normal şartlarda füze sistemlerinde bu ünite daha hızlı ve boyutsal olarak da daha küçük yapıda olan bilgisayarlarla sağlanmaktadır. Ancak sistemimiz uçarak test edilemeyeceği için bu ünite sistem içi yerine dışına yerleştirilmiştir. Ayrıca tez konumuzun gerçek zamanlı olarak test ve simulasyonu amacıyla kontrol ünitesi sistem içinde yer almaktadır.

Kontrol ünitesi opsiyonlu birkaç seçenek mevuttur. Bunun sebebi RS 232 yapısıyla dışarıdan bir bilgisayarla arayüz program ve sensör çıkışları için analog kart, sinyalleri işleyebilmesi amacıyla da işlemci kartlarına ihtiyaç duyulmaktadır. Bu opsiyonun arayüz programı visual basic v.3.0 ile gerçekleştirilmiş ve ihtiyaç duyulan kartlar hazırlanmıştır. Ancak günümüzdeki bilgisayar yapılarındaki anakartlar ilave yapıları desteklemek için ilave slot sayıları ya da slot tipleri bakımından uygun olmaması sebebiyle kartlarla sistem konrolü yapılamamıştır. Bu sebeple diğer alternatif olan mikro kontroller yapıları ile oluşturulan kontrol kartı üzerinde Pic 16F877A entegresi programlanmış ve sistem gerçek zamanlı olarak çalıştırılmıştır. Bu bölümde bu yapıların ayrıntıları ve fonksiyonel kullanımları izah edilmiştir.

Bölüm 9.'da sistem elemanlarının hazırlanması sonrasında bu yapıları barındıracak ve çevre etkenlerden koruyacak olan metalik yapı Cad programları ile tasarlanmıştır. Bu yapılar ve sistemin çalışabilmesi adına montajı yapılmıştır. Ardından genel çalışması Proteus ve Matlap programları ile test edilecektir. Bu testler sonrasında gerçek zamanlı olarak 6 dof test mantığı ile çalışması test edilecektir.

Bölüm 10.'da hazırlanan tezin; genel olarak hedefleri ve gelecekte bu konu ile alakalı yapılacaklar veya eksik yanları sunularak tez tamamlanacaktır.

1. BÖLÜM

LİTERATÜR TARAMASI

1.1. Literatür Taraması

Lazer güdüm sistemleri ile ilgili olarak çalışmalar II. Dünya Savaşı sırasında ihtiyaçlar sonucu olarak ortaya çıkmıştır. Bu durum savaşta çok önemli rolü olan silahlarla daha kesin ve daha yüksek isabet oranlarını yakalamak için geliştirilen tekniktir. Bu teknik temelinde yüksek bir teknoloji ihtiva etmekte olup; ciddi ve maliyetli bir çalışmadır.

Lazer güdüm sistemleri ile ilgili olarak literatüre geçmiş patentlere bakıldığında genel olarak arayıcı ünitesine lazer spotunun düşürülmesi için geliştirilmiş olan optik üniteler çoğunluktadır. Sebebi ilk etapta dış ortamdan istenen algılamanın çok geniş alanlarda gerçekleşeceği gerçeği ile bu sorunun çözümü sonucu oluşmuştur.

İşaretleyici sistemleri genel olarak askeri uygulamalarda kullanılmakta olup; bu konu ile ilgili en uygun ve kullan askerlere de en az zarar verecek olan lazer oluşu sebebiyle 1.06 nm'lik dalga boyuna sahip lazer tercih edilmektedir. Bu dalga boyundan farklı işaretleyici oluşturmak mümkün olsa da tüm sistemin birbiri ile olan ilişkisi sonucu tüm elemanların bu dalga boyunda çalışması gerekli hale gelir ve bu da maliyet ve zaman anlamına gelir.

Sistemsel olarak; maliyet, performans, uygulanabilirlik, tekrarlanabilirlik ve tasarım parametreleri bazı çalışmalarda ele alınmıştır. Ancak makalede yer verilmeyen konu sistemin gerçek soyut tasarımdan ayrılarak; gerçek tasarımının gerçekleştirilmemesidir. [1]

Diğer çalışmalardan olan [2-3] Zarchan ve Siouris'in çalışmalarında aerodinamik şartlar, rigid body analizleri ve terminolojik olarak güdüm sistemi ve kontrolü çok

kapsamlı bir şekilde izah edilmiştir. Ancak bu çalışmalarda elektronik üniteler ve tasarımdaki değişkenlere yer verilmemiştir.

DeSpirito, Vaughn ve Wahington ortak olarak Canard kontrol adı verilen özelleşmiş metot ile füzenin çevrenin etkisi ile oluşacak olan zorlu koşullara uyum sağlayarak daha az basınç ve direnç oluşmasına olanak tanımaktadır. Bu yöntem üzerine yapılan araştırmada diğer kontrollere nazaran daha başarılı bir uçuş gözlenmiştir. [4]

Li [5], araştırmasında farklı bir yöntem olan "Kalman" filtreleri ile güdüm sisteminin başarısını arttırma çalışmalarını yürütmüştür. Filtrenin sisteme kattığı en önemli husus; yayılan ışınımların daha aktif bir şekilde filtrelenmesi ile standart güdüm sistemlerinde kullanılan ve nispeten daha ucuz olan kimyasal ve optik unsurlar içeren filtrelerden daha dar bir bantı geçirerek yüksek hassasiyet amaçlanmaktadır.

Akkal ise tezimizde izah edilecek olan 6 Serbestlik Derecesi (DOF) test düzeneğini daha önceki mekaniksel ve matematiksel çalışmalarda elde edilen eşitliklere göre; füze eşdeğer sistemini yapay sinir ağları kullanarak öğrenme algoritması hazırlamıştır. Bu çalışmanın diğer bir özelliği çalışmalarda ele alınan matematiksel ya da teorilerin yanı sıra düzeneklerde kullanılması gereken test unsurudur. Çünkü sistemler her ne kadar hassas ve düzenli olursa olsun test edilerek çalışırlığı sorgulanmalıdır. Ancak bu çalışmada tezimize göre eksik kısmı ise sistemin gerçek zamanlı eşdeğer olarak hesaplanmış sisteme uyarlanmadan direk olarak soyut tasarım safhasında yürütülmesidir. [6]

Marietta ise; hassas lazer güdüm sistemlerinde kullanılabilecek tasarım parametrelerine daha çok elektronik platformda ele almıştır. Sistemsel gerekliliklerle birlikte bazı ipuçları ve diyagramlarla arayıcı sistemlerinde seçim kriterlerini oldukça basit hale getirmiştir. Ancak sunduğu bilgiler yüzeysel kalmıştır ve diğer literatür bilgileriyle desteklenerek ideal arayıcı tasarımı gerçekleştirilebilir. [7]

Barbaric ve Manojlovic çalışmalarında ağırlıklı olarak lazerin alıcı ya da arayıcıya ulaşmasında etki eden faktörleri araştırmıştır. Bu çalışmada çevre şartları, yüzey pürüzlülüğü gibi konuları optik tabanlı olarak irdelenmektedir. Bu çalışma ile güdüm sisteminde kullanılacak olan lazerin tipi, gücü ve optimum verimlilik hususlarına karar verilecektir.[8]

Knestrick, Cosden ve Curcio yaptıkları deneysel çalışma sonucu atmosferik şartlardaki bağıl nemle, 1.064 μm'lik dalga boyuna sahip lazerin ışının değişimini Beer yasası ile birleştirerek; hedefe ulaşabilmesi için gerekli olan lazer ışını enerjisi eşitliğini elde etmiştirler. [9]

Mecherikunnel ve Duncan deneysel olarak $E\lambda$ değeri olan güneşten dünya yüzeyine doğru oluşan ışınım enerjisini elde ederek; güneş sebebiyle oluşan gürültü sinyalini veren ifade üzerinde çalışma yapmışlardır. [10]

Ginneken, Stavridi ve Koenderink çalışmalarında ışınımların her yöne ve eşit miktarda yansımaya gösterdiği kabul edilen "Lambertian Yüzey" ile füzenin ulaşması hedeflenen cismin yüzeyinde designatör ile doğrultulan lazere karşı nasıl bir yansıma göstereceği üzerine araştırma yapmışlardır. Ayrıca dağınık yansıma gösteren cisimler ve bu cisimlerdeki ışın absorbe edebilme kabiliyetlerine yer verilmiştir.[11]

Blanchard hazırladığı çalışmada hassas güdüm sisteminin "Hamamatsu" dedektör ile yapılmış ve başarılı sonuçlar elde edilmiş olan füze uygulamalarından "Sidewinder" hakkında teknik bilgilere yer verilmiştir. Tezimizde bu bilgi doğrultusunda maliyeti de düşük olan quadrant dedektör seçiminde referans oluşturmuştur.[12]

Blanchard'ın çalışmalarından yola çıkılarak ele alınan "Hamamatsu" quadrant dedektör için teknik araştırma yapılmış ve diğer dedektörlerin performanslarının kıyaslanmasında kullanılmıştır.[13] Ayrıca silikon esaslı dedektörlerle diğer malzemelerden yapılan dedektörler arasındaki farklılıkların daha açık belirtilebilmesi için çok üstün performans değerlerine sahip Indium Gallium Arsenide malzemeli tip dedektör bilgilerine tezde yer verilmiştir. [14,15]

Son olarak; güdüm sistemini çevre şartlarından ve zararlı ışınımlardan koruyan "Dome" elemanının referansta belirtilmiş olan analiz değerlerinde çok yüksek basınç ve kuvvet etkilerine maruz kalması sonucu tasarımında daha dikkatli davranılması gerektiği gözlemlenmiştir. [16]

2. BÖLÜM

GÜDÜM SİSTEMLERİNDE LAZERİN YERİ VE TERMİNOLOJİ

2.1. Lazer Çeşitleri

Lazerler; darbeli (pulse) sinyallerle yayılan yüksek güce sahip olan ve genellikle gözle görülemeyen dalga boylarında çalışan ışınlardır. Tezimizde yer alan designator (işaretleyici) sisteminde oluşturularak istenilen hedefi işaretleyen bu ünitede kullanılacak olan lazer tipi, dalga boyu ve gücü sistemin seçimde doğrudan etkili bir unsurlardır. [7]

Lazerler kendi içinde temel olarak 4 gruba ayrılır:

1. KATKILI YALITKAN
    - Ruby
    - Nd Glass
    - Nd YAG
    - Er YAG
2. YARI ILETKEN
    - Gatts
    - Hetrojunction GaAs/GaAIAs
    - Quantum Well
3. GAZ LAZER
    - He-Ne
    - Ion-Argon
    - CO2
4. KURU LAZERLER

2.1.1. Katkılı Yalıtkan Lazerler

Dar ve paralel atomlara sahip orta düzeyde aktif halde olan lazerlerdir. Bu tip lazerlerin ortak özellikleri sağlam, bakımı kolay ve yüksek pik voltajlarına sahiptirler. Bu tip lazerler işaretleyici sistemlerde kullanılır.

2.1.2. Yarı İletken Lazerler

Hafif ışık yayan diyotların çalışma mantığına çok yakın bir şekilde çalışmaktadır. P-n jonksiyonu orta bölgede aktif olmasını sağlamaktadır ve optik geri beslemeye ve çeviricilere ihtiyaç duyulmaktadır.

Yarı iletken lazerler; lazer arayıcı testleri için düşük güçlü olmaları sebebiyle kullanılır.

2.1.3. Gaz Lazerler

En sık kullanılan lazer tiplerindendir. He-Ne tipleri genellikle eğitim laboratuarlarında endüstriyel uygulamalarda kullanılan yüksek güçlü CO2 lazerler yerine kullanılır. Bu lazer tiplerinde isteğe göre uygun enerji seviyeleri belirlenmeli ve bu doğrultuda kullanılmalıdır.

2.1.4. Kuru Lazerler

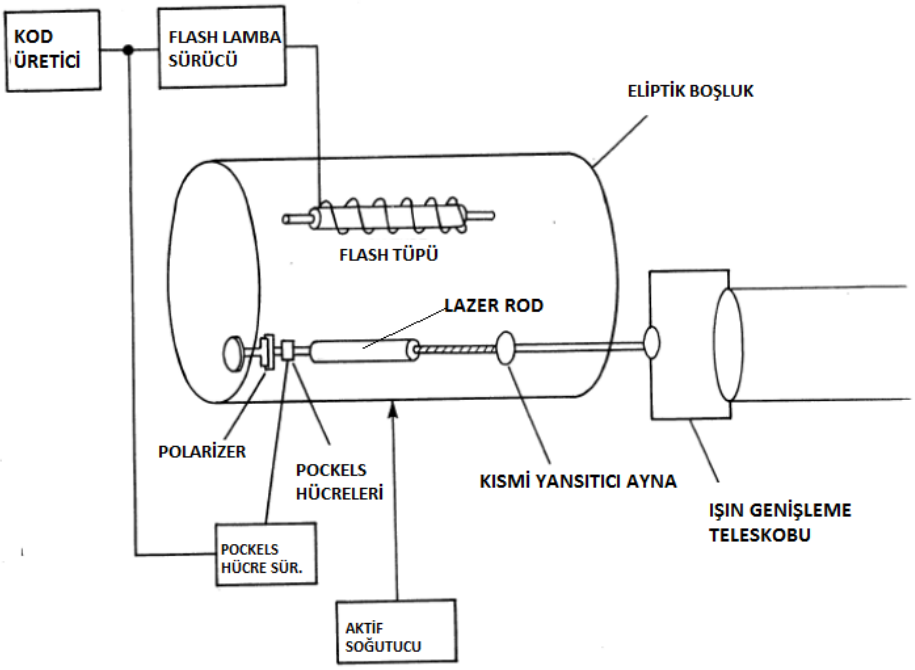
Kuru lazerler katı ve gaz lazerlerin avantajlarını birlikte taşır. Katı tip lazerleri optik homojenlikte ve istenen sıcaklıklarda tutmak zordur. Ayrıca ısı sebebiyle kalıcı zararlara yol açabilir. Gaz lazerlerin dezavantajı ise; atom yoğunlukları düşüktür ve istenen penedrasyonu sağlamayabilir.

Bu sebeple geliştirilen kuru tip lazerler özellikle ayarlı bant genişliklerine sahip oldukları için kimyasal reaksiyonlarda ve spectroscopy uygulamalarında kullanılır.

2.2. Nd-Yag Lazer Blok Diyagramı

Şekil 2.1.'deki Blok diyagramda tipik bir işaretleyici sistemini göstermektedir. Neodymium yalıtkanlı yttrium alüminyum kristalli lazer rod eliptik cavitenin odağında

konumlanmıştır. Xenon flash ampülü ise diğer odakta yer alır. Lazer geçişinde bozunarak 1.06 mikronluk foton üreten Lazer kod üreticisi; flash ampülü şarj devresini ve pockels hücreleri sürücüsünü sürebilmek için sinyal üretir. Pockell hücreleri sürücüsü enerji yükselmesini tetiklediğinde lazer oluşur. Çiğ lazer huzmesi lazer rotun genişlemesiyle teleskopa ilerler. Oluşan lazerde %2'lik bir başarı söz konusudur çünki flash ampülde enerjini çoğu ısıya dönüşür ve bu ısı soğutucu akışkan ile atılır. [7]



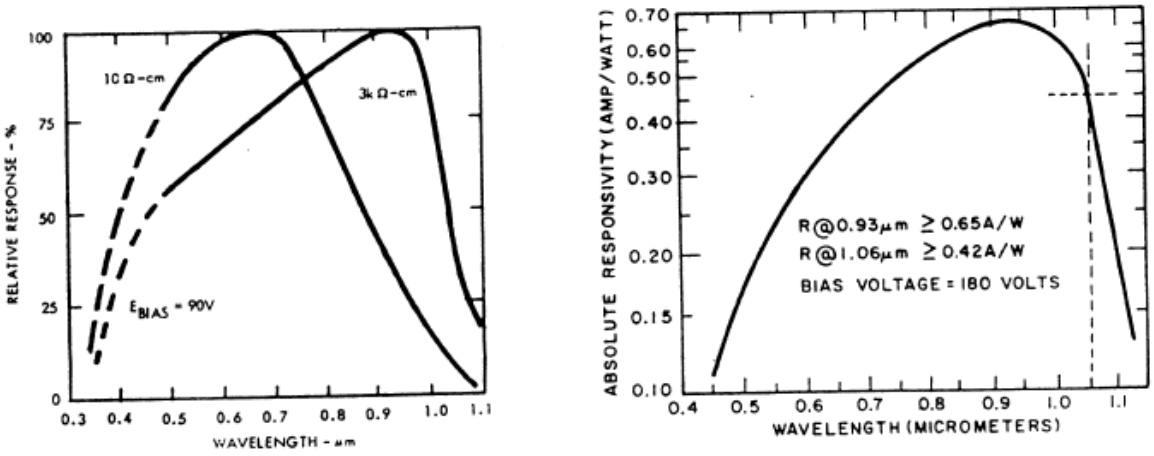
Şekil 2.1 Nd-Yag serisi lazer blok diyagramı [7].

2.3. Yag Serisi Lazerlerin Mutlak Tepki Aralıkları

YAG lazerler askeri alanda sık kullanılan lazer tipi olması sebebiyle erişilebilirliği en kolay lazer tipidir. Ayrıca bu lazer tipinin işaretleyici operatörü ve silah operatörü gibi sağlık açısından da uygundur !. Bu sebeple ele alınacak lazer tipi YAG serisinden seçilmelidir. Bu kategorideki lazerlerden tezimiz için seçilen lazer çeşidi Nd-YAG lazerdir.

YAG lazerlerinin algılanabilir ışınım dalga boyları 1.06 mikron olabilmesi için kullanılan silikonun yüksek saflıkta ve yüksek levha direncine sahip olması gereklidir. Şekil 2.2.'de görülen karakteristik eğrilere göre; diyotun pik değeri yaklaşık olarak 0.93 mikrondur ve bu değerin altında hızla düşmektedir. Dalga boyu 1.06 mikrona düştüğü

an yaklaşık olarak başlangıç değerine göre %70 gibi bir tepki değerine gerilemektedir. Silikon malzeme oda sıcaklığında 1.15 mikron dalga boyuna sahiptir ve saydam bir yapıdır. Bu haliyle üzerine düşen görevi yerine getirememektedir. İlave olarak silikon malzeme 77 K değerinde 1.06 mikron dalga boyuna sahiptir. Bu sıcaklık-dalga boyu hassasiyeti değişimlerine karşı düşük sıcaklıklardaki çalışmalarda ısıtma gereksinimlerine gerek duyulabilir.



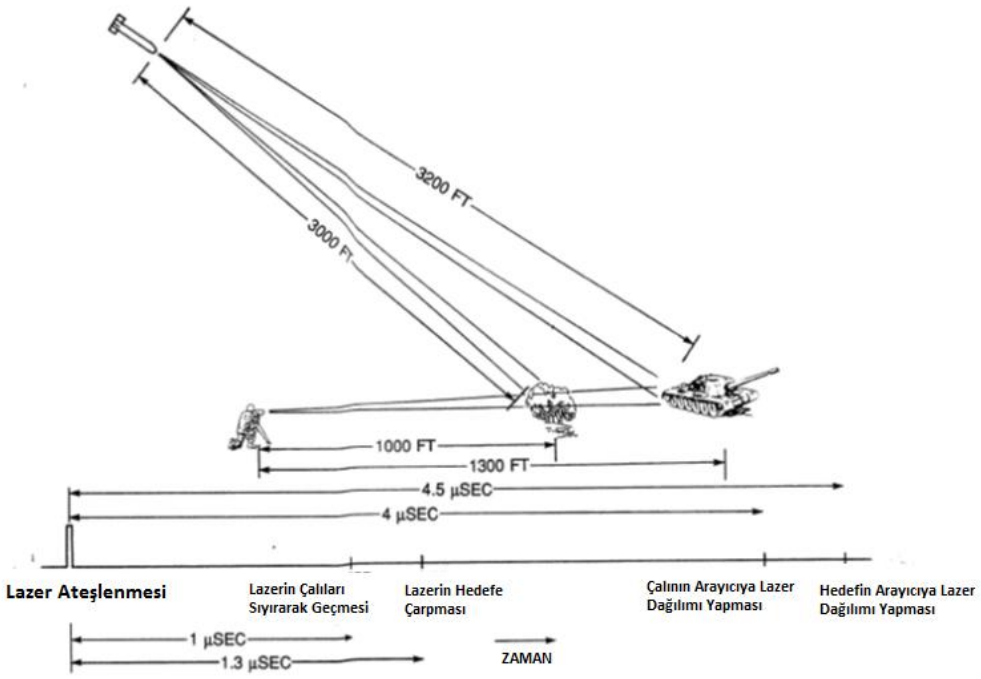
Şekil 2.2. Nd-Yag serisi lazerlerin mutlak ve bağıl tepki eğrileri [7].

2.4. Son Lojik Darbe (Last Pulse Lojik) Mantığı

Son lojık darbe işlem tekniği olup lazer-hedef yolunda kısmen aydınlatılmış olan objelere yanlışlıkla silahın kilitlenmesini önlemek için kullanılır. Lazer pulsu nanosaniyede 1 feet yol alarak ilerlemektedir. Şekil 2.3.'deki zaman diyagramına bakıldığında silahla hedef arası 4000 feet ve silah asıl hedef arası ise 4500 feet mesafede olduğu görülmektedir. Silah ateşlendiğinde zaman "0" saniye olarak kabul edilirse; lazer çalılığa çarparak dağılım gösterir ve silahta bulunan arayıcı ünitesine ulaşması için toplam 4 μs, esas hedeften ise 4.5 μs geçmesi gereklidir.

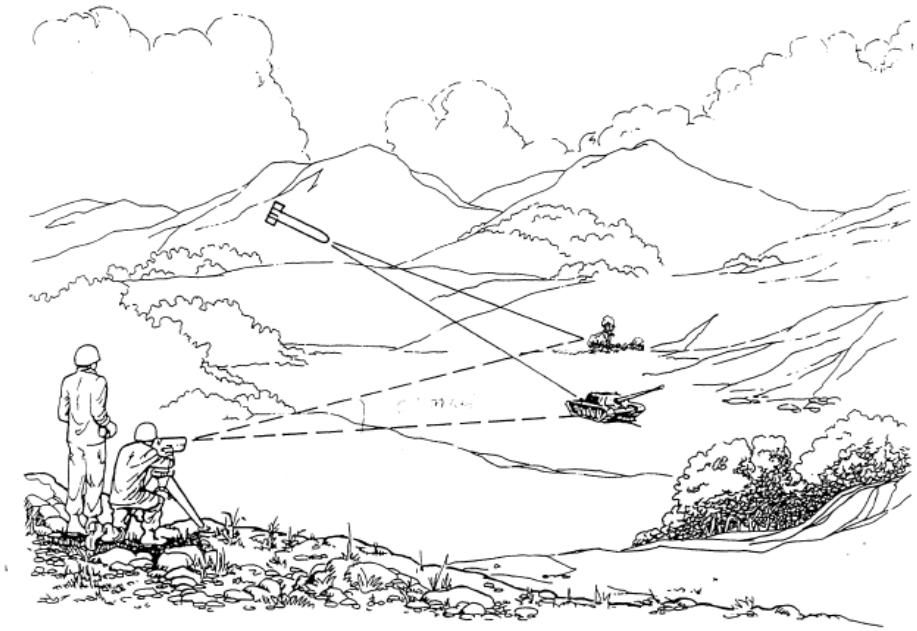
Görüleceği üzere 4< 4.5 sn olduğu için çalılık yansıması daha önce arayıcı modülüne ulaşacağı için silah onu hedef olarak algılayacaktır. Ancak bu teknik ile hedeflenen; arayıcı modülüne gelen (aynı kaynaktan yayılan lazere sahip oldukları için ikisine de kilitlenebilir) farklı zamanlardaki algılamalardan en son gelene yönelmesidir.

Bu teknik genellikle havadan karaya atışlarda ve yer düzleminden yapılan işaretlemelerde sıkça kullanılmaktadır.



Şekil 2.3 Son darbe lojik mantığı ve uygulama senaryosu [7].

2.5. Yanlış Darbe (False Pulse) ve İlk Lojik Darbe (First Pulse Lojik) Mantığı

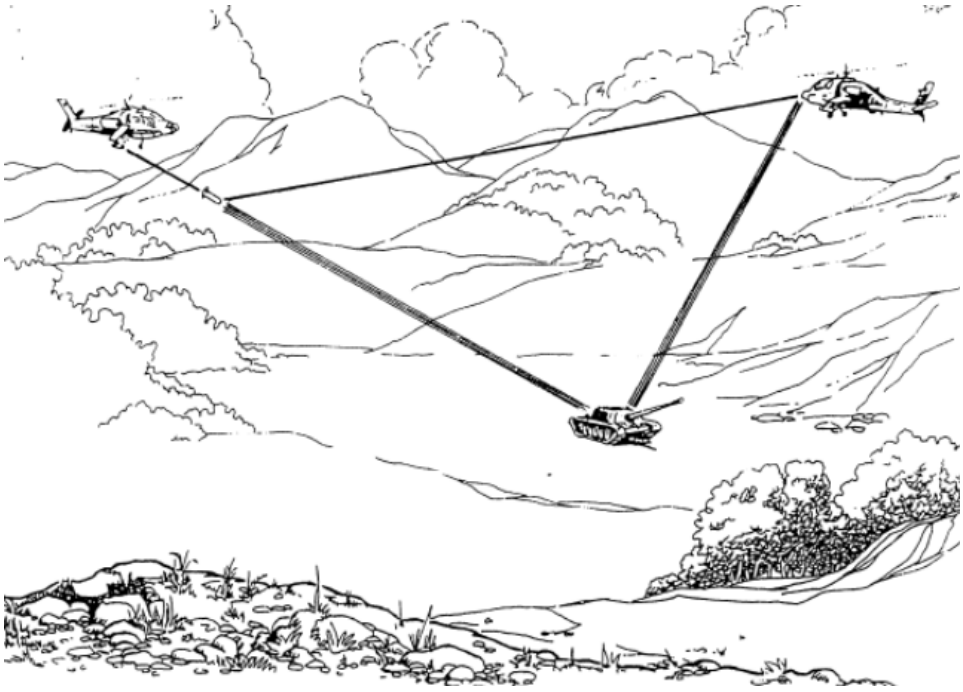


Şekil 2.4. İlk darbe lojik mantığı ve senaryosu [7].

Şekil 2.4.'de gösterilen durum senaryosuna göre; yer düzleminde bulunan cisim ve hedef arasında bakış düzlemine göre çok küçük bir açı mevcuttur. Bakış düzlemine göre işaretlenmek için lazer doğrultulduğunda lazer bu küçük açı değeri kadar saparak cisme de isabet edecektir. Mesafelerin çok yüksek olması sebebiyle (0.1 rad/m bile olsa) cisim tamamen ışıklandırılmış olacaktır. Bu sebeple roket Son Lojik Darbe mantığına göre cisme kilitlenecektir. Çünkü aynı lazer koduna sahiptir. Bu durum "Yanlış Darbe" ya da "Hatalı Pencere" adı ile bilinir. [7]

Bu durumu önlemek için İlk Darbe Mantığı geliştirilmiştir. Bu teknik ile daha önce anlatılan Son Darbe Mantığının tersine; lazerin isabet ettiği ilk sinyali referans alınır ve roket o nesneye kilitlenir. Bu sinyalden sonraki gelen lazer sinyalleri yansıma olarak kabul edilir ve dikkate alınmaz.

Çoğu işaretleyicide bu durum dikkate alınarak operasyon çeşidine göre seçim şansı tanımaktadır. İsteğe göre bu metotlardan biri seçilebilir. Ancak hangi operasyonun seçileceği tecrübe ile belirlenmelidir.

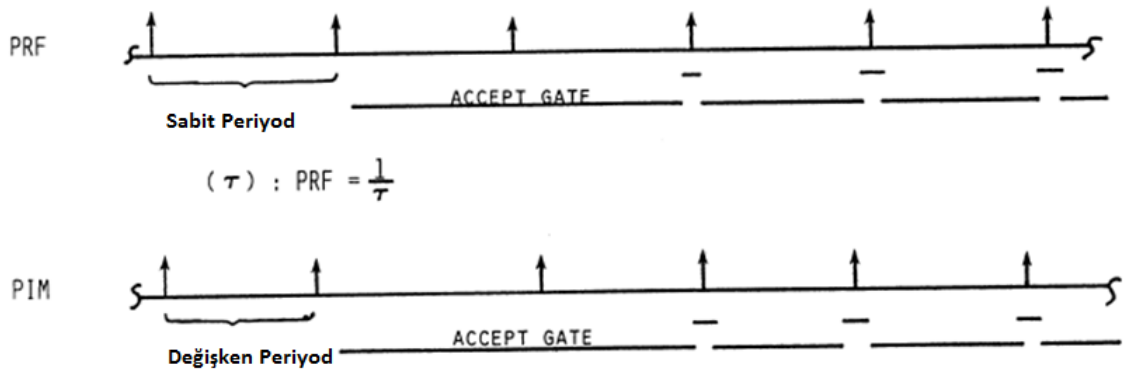


Şekil 2.5. Yanlış alarm senaryosu [7].

Şekil 2.5.'deki senaryoya bakılacak olursa; iki helikopter ve aralarında hedef mevcuttur. Hava araçlarından biri işaretleyici ve diğeri ise silahı taşıyandır. Hedef ilk araç tarafından işaretlendikten sonra yansıma ile kendi üzerine de lazer huzmesi geleceğinden; Son Darbe Mantığına göre hedeften roketi taşıyan araca ilk sinyal ve yansıyan lazerin yanlışlıkla işaretlediği ilk arac ise ikinci sinyali gönderecektir. Bu durumda son sinyal işaretleyici araçtan geldiği için roket hava aracını vuracaktır. Bu sebeple bu senaryoda İlk Lojik Darbe Mantığı seçilmelidir.

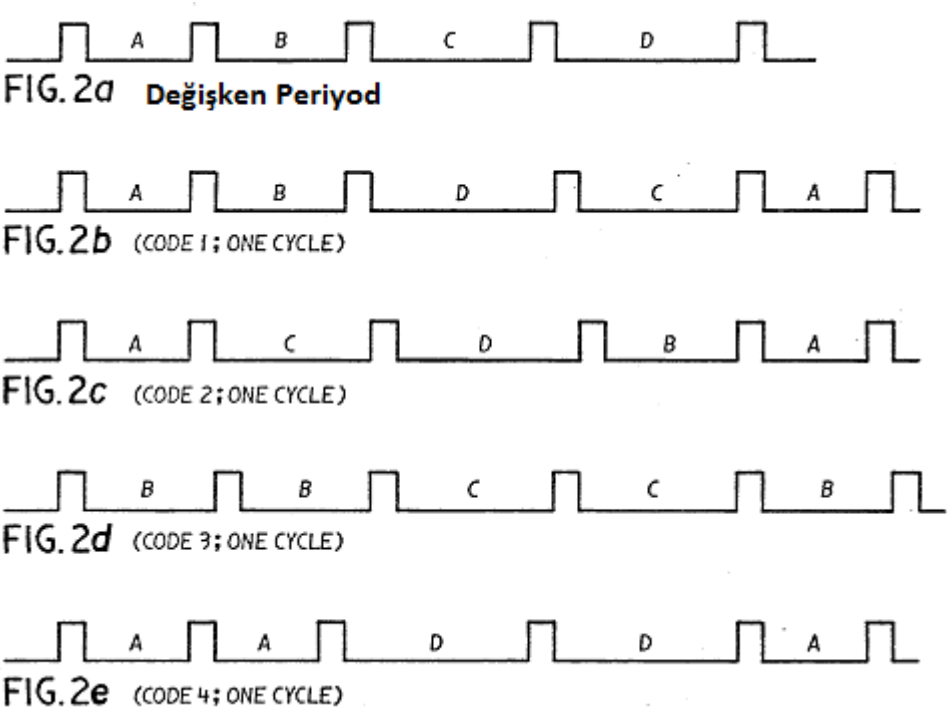
2.6. Lazer Kodlama

Operasyonlar; birden fazla işaretleyici lazerin aynı anda kullanılmasına izin verse de her bir lazer benzersiz şekilde kodlanmıştır. Kodlama mantığı bireysel olarak her lazer için farklı zaman çevrimleri ile devamlı darbeler şekildedir. Şayet sıralı darbe ile bir önceki darbe arasındaki zaman dilimi sabit kalıyorsa bu kotlamaya Tekrar Eden Frekans Darbesi PRF (Pulse Repetition Frequency) denir. Şayet sıralı darbe ile bir önceki darbe arasındaki zaman dilimi değişkense bu kotlamaya Değişken Modülasyon Darbesi PIM (Pulse Interval Modulation) denir. Şekil 2.6.'da iki sinyal tipi gösterilmiştir. [7]



Şekil 2.6. Lazer kodlama PRF ve PIM kodlama mantığı [7].

Şekil 2.6.'da görüldüğü üzere kodlamada kullanılabilecek iki tip sinyal mevcuttur. Değişken periyod sinyali kullanılarak şekil 2.7.'de verilen bazı kodlama örnekleri ile istediğimiz lazer koduna sahip arayıcı ve işaretleyici elde edilebilir.



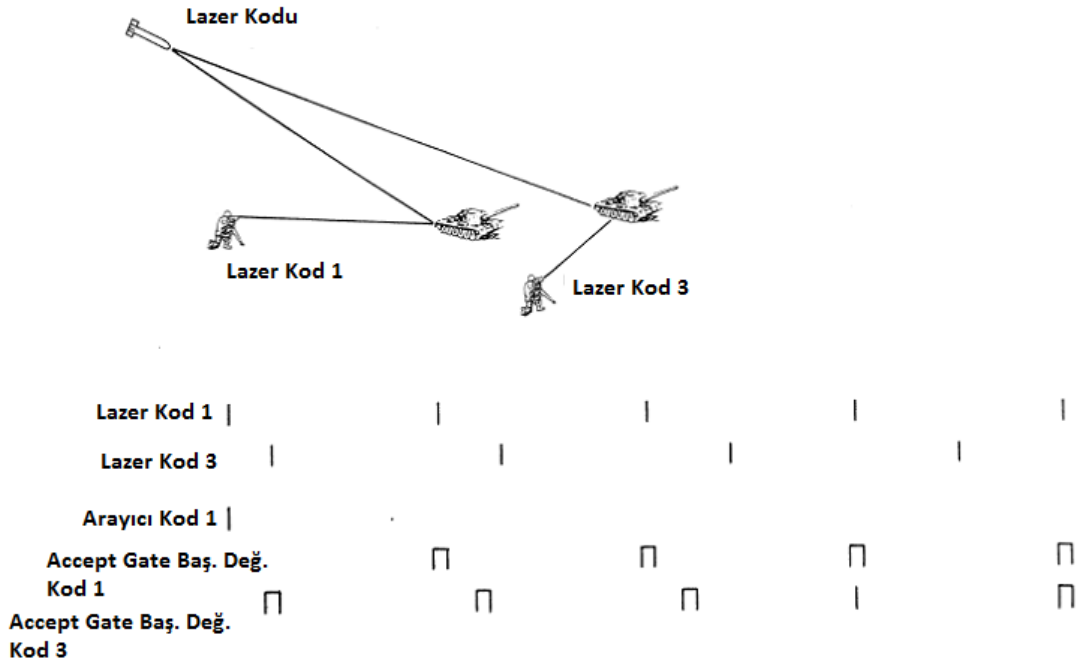
Şekil 2.7. Değişken periyod sinyali kullanılarak elde edilmiş kod örnekleri [8].

2.7. Lazerlerin Algılanması ve Çözümlenmesi

Şekil 2.8.'deki canlandırmada görüldüğü üzere; iki işaretleyiciden birincinin interpuls periyodu 0.1 saniye ve diğerinin interpuls periyodu ise 0.11 şeklindedir. Silaha tanımlanmış olan lazerin interpuls periyodu ise 0.1 saniyedir. Kodlama mantığı olarak PRF yani sabit periyot seçilmiştir.

İnterpuls periyodu 0.1 olan birinci lazer darbesi accept gate olarak gösterilen lojik kapıyı kapatarak ikinci lazerin sonradan gelecek olan darbesini kabul ettirmez. Aynı şekilde ilk lazerin sonraki darbesinden hemen önce lojik kabul kapısı açılır ve darbe ile birlikte kapanarak ikinci lazer darbesinin geçişine izin vermez.

Şayet interpuls periyodu 0.11 olan ikinci lazer ile lojik kabul kapısı açılırsa; herhangi bir darbe gelemeyeceğinden kapı otomatik olarak resetlenir ve bir periyod sonrasında aynı karakteristikte olan birinci lazerle birlikte lojik kapı açılacağından silah lazeri periyodu 0.1 saniye olan lazere kilitlenecektir.



Şekil 2.8. Lazer kodlama ile birden fazla mühimmat kontrol etme [7].

Tezimizde lazerler tasarımda gerekli olan hassasiyet ve optik unsurlar için yer verilmiştir. Bu sebeple sistemin çalışmasında önemli bir yere sahiptir. Diğer bölümlerde yapılacak olan seçimler bu bölümdeki bilgiler referans alınacaktır.

3. BÖLÜM

ALGILAMA TEKNİKLERİ

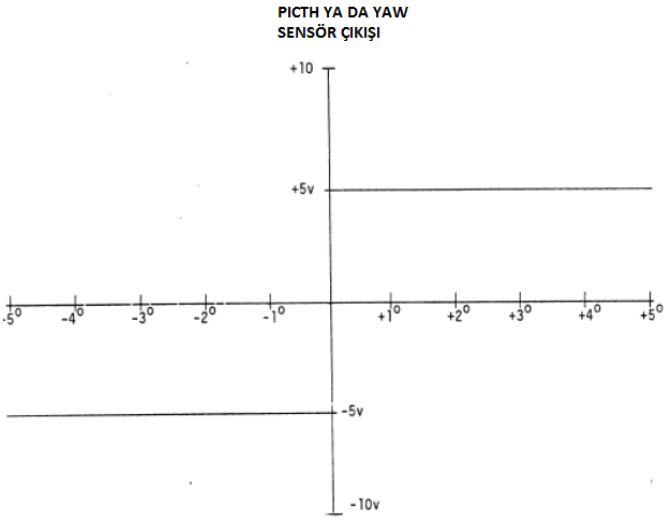
3.1. Algılama Teknikleri

Kabul edilen 3 tür algılama tekniği mevcuttur.

1- Bang-bang:
2- Orantısal
3- Tam Orantısal

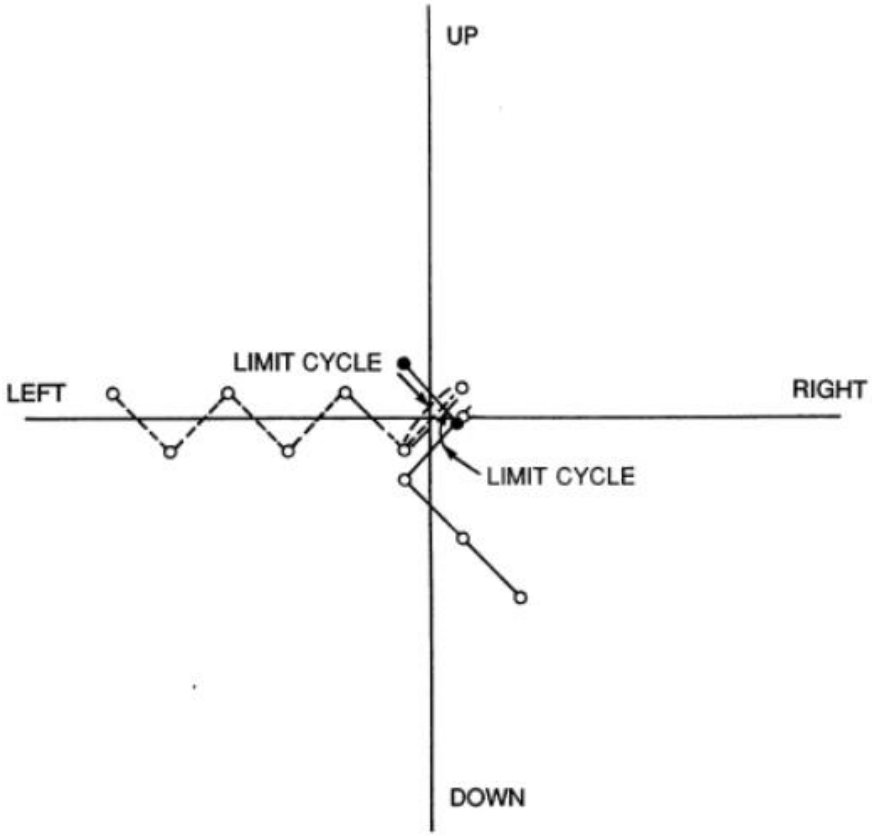
3.1.1. Bang-Bang Sensörü

Bang-bang algılaması şekil 3.1.'de görülen çıkış voltajı karakteristiği oluşturur. Sensör çıkışı ya sabit pozitif ya da sabit negatif voltaj oluşturur. Sensör giriş darbesini algıladığında zıt yöne doğru sürülür. Eğer darbe algılanırsa yukarı-sol istikametine doğru sürülecektir. Bu sebeple diğer algılamada sol-aşağı yönüne sürülecektir ve bu şekilde iki durum arasında gidip gelecektir.



Şekil 3.1. Bang-Bang kontrolde yaw ve pitch sensör çıkışı [7].

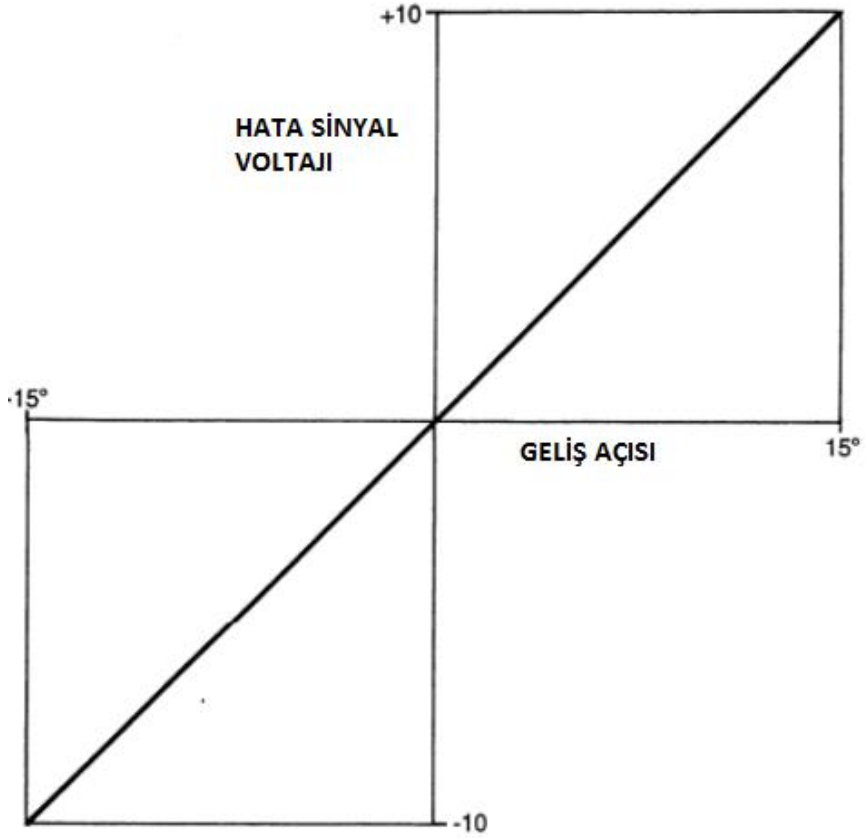
Sensör çevrimi asla durmayacaktır ve bu artık "limit çevrim" güdüm için içsel bir hata oluşturacaktır. Şekil 3.2'deki durum her iki yön olan aşağı-sağ ve yukarı-sol arasındaki limit çevrimi (hatayı) göstermektedir.



Şekil 3.2. Limit çevrim diyagramı [7].

3.1.2. Orantısal Sensör

Tam orantısal sinyali; orantısal güdüm sistemine uyarlayabilmek için gövde sabitleyici sensörler gerekmektedir. Lineer hata sinyalinin, beklenen tüm geliş açılarını ihtiva edecek şekilde olması gerekmektedir. Şekil 3.3.'de 15 derecelik geliş açısı farklılıklarına karşı 10 V değerini oluşturabilmektedir.



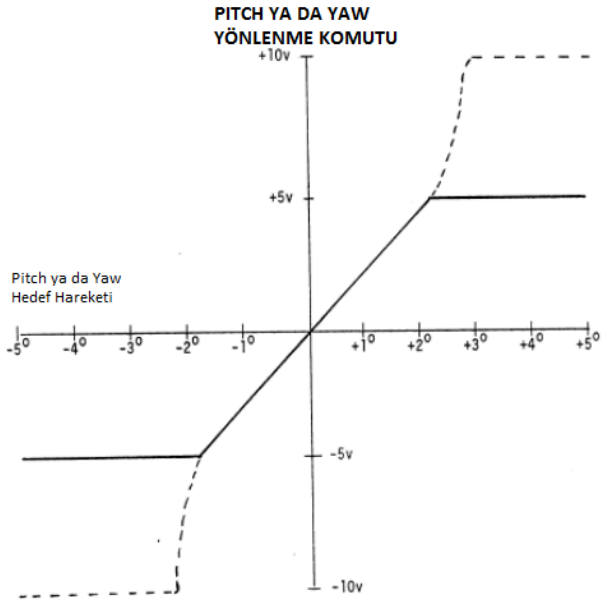
Şekil 3.3. Orantısal sensör voltaj karakteristiği [7].

3.1.3. Lineer Bölgeye Geçişte Kullanılan Yöntemler

3.1.3.1. Orantısal Sinyale Pürüzsüz Geçiş

Sensör ya da optik eleman hedefi noktasallaştırarak kardan (yalpa yapacak şekilde) yapısıyla yerleştirilerek bang-bang işlemi ile oluşan limit çevrim hatası ayıklanabilir. Buradaki ana fikir sensörün yerleştirilme noktası ve enerjini odaklanmasıdır.

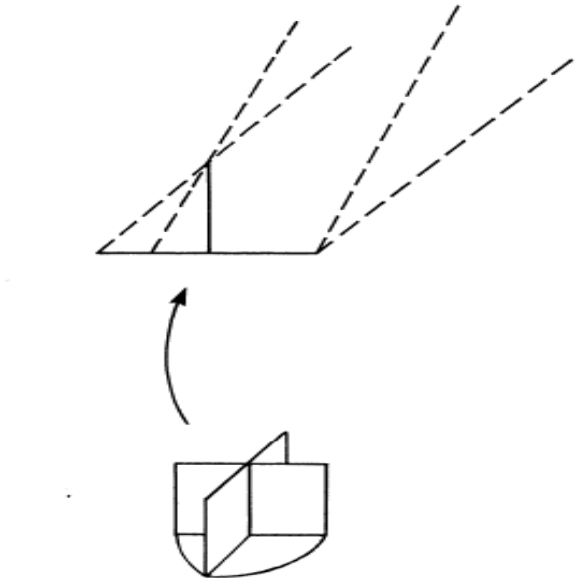
Nokta yerine dairesel spot; dedektör üzerinde bir forma sahiptir. Bu form eksenlerde birbirine eşit enerjiye sahiptir ve her iki istikamet için geçerlidir. Enerji miktarı eksenlerden 2 dereceden fazla çıkardığında enerji tamamen tek eksende yer alır. Bu form bize limit çevrim hatlarının diskalifiye ederek orantısal sinyal geçişini daha yumuşak şekilde geçişe imkan tanır. Şekil 3.4.'de bu durum 2 derecelik zonelarda nasıl gerçekleştiği gösterilmiştir.



Şekil 3.4. Tekrar odaklama metodunda sensör çıkış voltajı [7].

3.1.3.2. Gölge Dedektörü

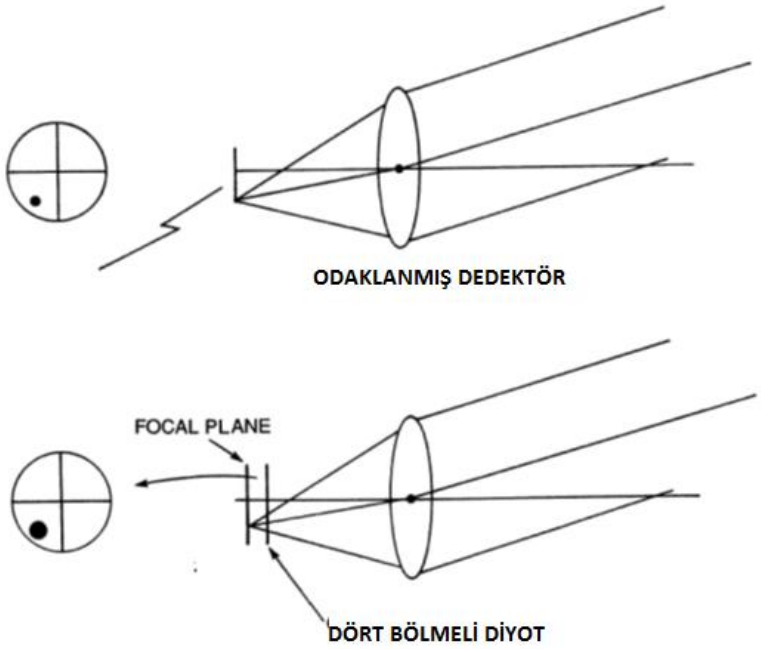
Tamamen orantısal sinyal elde etme metotlarından biri de geniş bir sensör ve gölge etkilerini kullanmaktır. Enerji eksenlerden gelirken gölge oluşmaz ve her bir sensör bölmesine eşit miktarda enerji gelir. Eğer enerji eksenler dışında bir yerden gelirse; şekil 3.5.'de görülen plaka zıt istikamette bir açı ile gölge oluşturmaya başlar. Gölge hata sinyali oluşturarak dört bölmeli (quadrant sensör) sensördeki enerjiyi azaltır.



Şekil 3.5. Gölge sensör şematize hali [7].

3.2. Tekrar Odaklanmış (Defocused) Spotun İşlenmesi

Şekil 3.6.-a'da görülen durum bang-bang metodundan farklı olarak limit çevrim hatasını sıfıra yaklaştırmak için yapılır. Sensör enerjilerinin -2 ve +2 derecelik eksenlerden dışarıda aynı karaktere sahiptir. Ancak merkez bölgede Şekil 3.6.-b'deki metotlarla geçiş keskin değil, daha lineer olmaktadır. Bu şekilde hatayı spot büyüklüğü ile oynanarak sıfıra yaklaştırılabilir.



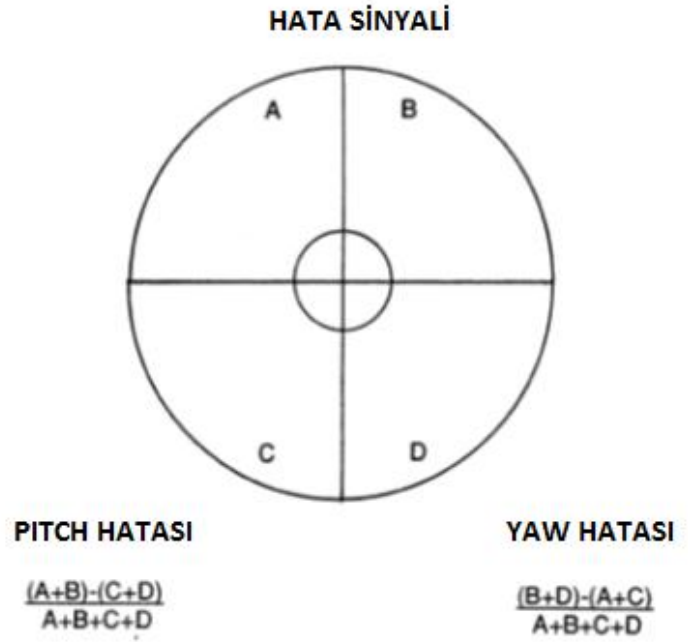
Şekil 3.6. a) Odaklanmış sensör b) Dört bölmeli diyot şematize hali [7].

3.3. Pitch ve Yaw Hata Sinyali

Hata sinyalleri genel olarak daha önce izah edilen hata sinyallerinin toplamları ve farkları mantığı ile oluşturulmaktadır. Pitch hata sinyali şekil 3.7.'de gösterilen (A,B,C ve D) dört parçalı dedektör üzerindeki A ve B sinyal toplamının C ve D sinyal toplamından çıkarılması ile elde edilebilir. Buna ilave olarak pitch hata sinyali spot pozisyonu, geliş açısı ya da enerji sinyali yoğunluğu ile doğru orantılıdır. Picth sinyal hatası sonuç olarak tüm parçalardaki enerji olan A+B+C+D 'ye bölerek bulunabilir.

Benzer şekilde yaw sinyal hatası ise; sağ ikili olan B+D'den sol ikili olan A+C enerjilerini çıkarır ve toplam enerji miktarı olan A+B+C+D 'ye bölerek bulabiliriz.

Şekil 3.7.'de tüm durumlar gösterilmiştir.

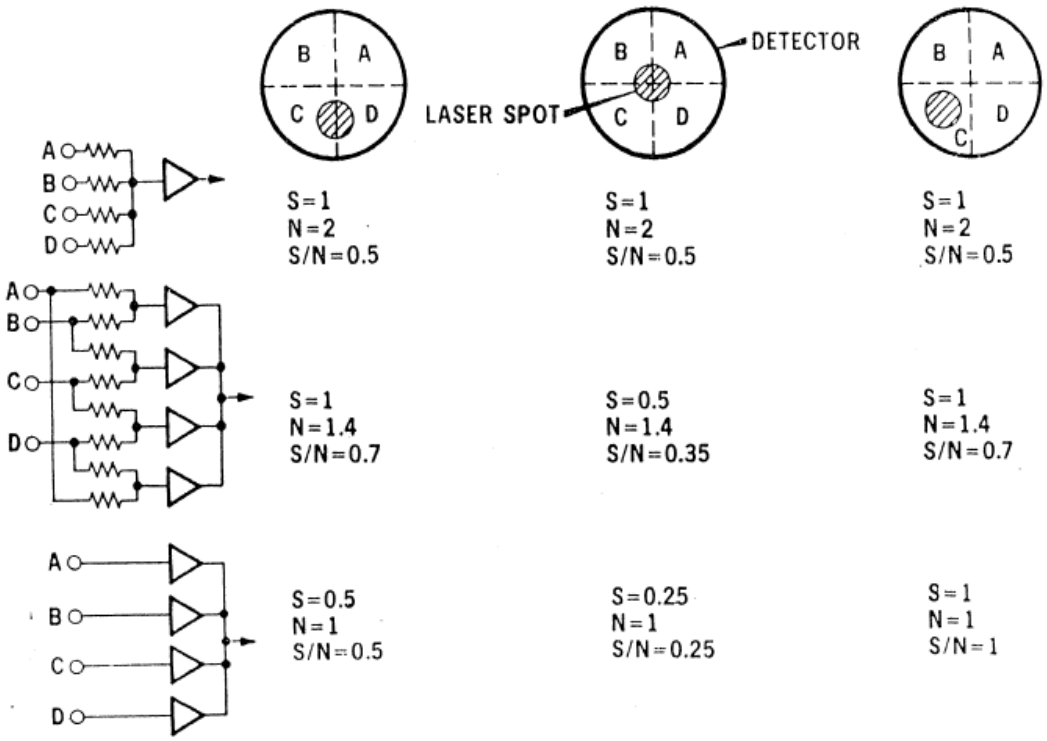


Şekil 3.7. Dört bölmeli dedektör hata sinyali formülüze hali [7].

3.4. Algılama Metotları ve S/N (SNR) Oranı

Odaklanmış ışık (defocused spot) arayıcılarında kullanılan prosese göre sinyal gürültü oranı değişiklik göstermektedir. Sinyal gürültü oranı mantıksal toplama işlemine maruz ise tüm durumlarda 0.5 değerini alır. İkinci metotta; odaklanmış ışık eksen üzerinden gelir ve 0.35 S/N oranını verir. Çünkü karekök içinde karelerinin oranında 1.4 gürültü ve 0.5 sinyal değerlerini alır. Eğer sinyal eksen dışından gelirse; iki quadrantlar toplamı ya da 1 sinyal değeri alır ve buna karşılık gürültü 1.4 değerinde olur. Sonuç olarak S/N oranı ise 0.7 olur.

Bang-bang prosesine göre; toplamda iki metot vardır. Bunlardan ilki eksen üzerinden gelen sinyaller de sensör bölmeleri eşit enerji alır yani 0.25 ve gürültü değeri ise birim alınır ve S/N oranı 0.25'dir. ikini metot ise; eksenler dışında bir enerji gelmesi halinde her bir sensör bölmesinde 0.5 enerji değeri oluşur ve birim gürültüye karşılık olarak sonuçta S/N oranı 0.5 değerini alır. Şekil 3.8.'de, anlatılan tüm durumlar toplu halde gösterilmiştir.



Şekil 3.8. Algılama tekniklerinde S/N oranının etkileri [7].

Tasarımı düşünülen sistemde kullanılacak olan kontrol tipi Bang-bang tiptir. Ayrıca bu bölümde yer alan hususlar yunuslama ve sal-sağ eksen hareketlerinin işlenebilmesi adına önemlidir.

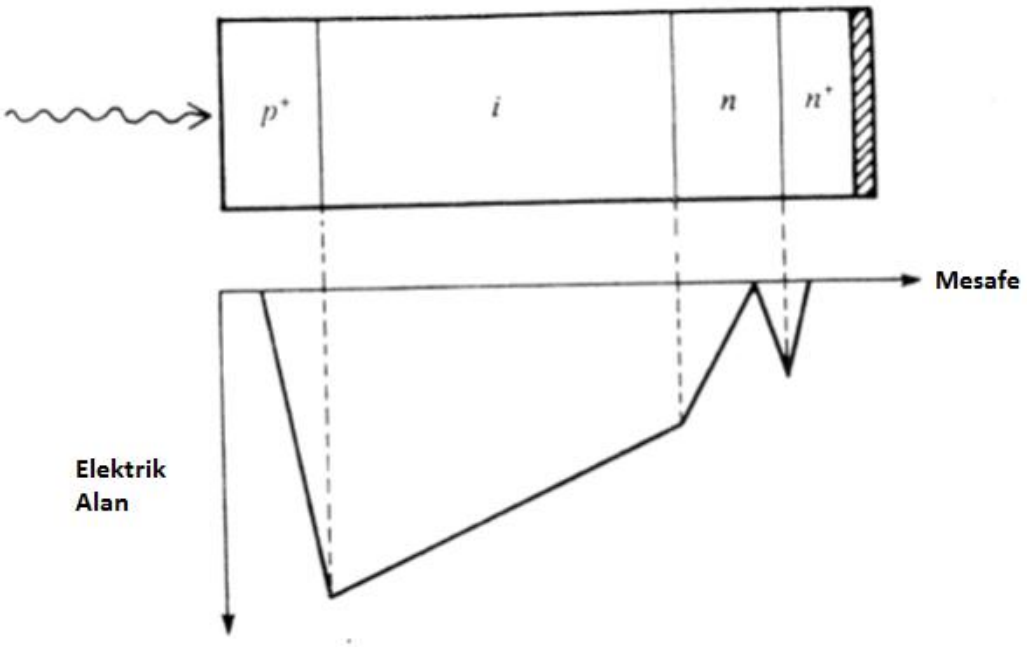
4. BÖLÜM

SENSÖR ANALİZİ VE SİSTEM GEREKSİNİMLERİ

Optik sensör seçimi arayıcı sistem için her şey demektir. Odak düzlemi, uçuş hareketini düzeltebilmek için hedeften gelen sinyali alabilmeli ve buna göre işaret üretebilmelidir. Ayrıca hareket hızlarına bakılırsa tepki süresinin de çok hızlı olması ve doğru işaretleyiciyi seçebilmek için dış ortamdaki gürültü ve bozucu etkileri de elimine etmelidir.

4.1. P-I-N Foto Diyot

Geniş dalga boylarına düşük bias seviyelerinde tepki veren bir yapı olan PIN yapısı şekil 4.1.'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. PIN diyot karakteristik yapısı [7].

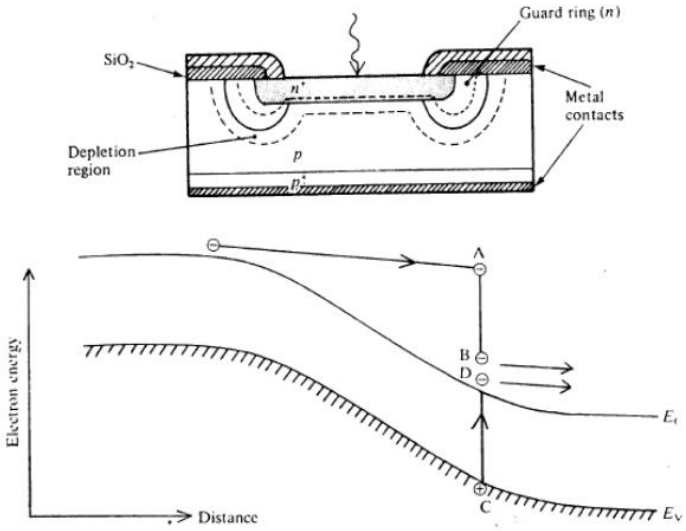
Gerçek bölge olan i bölgesi çok resistiftir. Bu nedenle çok düşük bir ters bias voltajında kendi sınırlarını tüketerek n bölgesine doğru voltajın ilerlemesine sebep olur ve böylece çok geniş hassas bir hacim oluşturur. Pratikte; bias seviyeleri minimum seviyelerin üzerinde tutulur ve gerçek bölgenin (i bölgesi) yüksek voltajlarda tamamen bölgesini tüketmesi sağlanır.

Bölgeler, taşıyıcı bölge olarak bilinen yüksek iç elektrik alanlardan oluşturan hareketli taşıyıcılardan oluşur. Eğer elektron deliği bu bölgede foton absorbe ederek kutuplanırsa; içsel alan elektron ve deliğin ayrılmasına sebep olur.

Bu ayrılmayı iki şekilde algılayabiliriz. Eğer sol tarafta açık bir devre varsa p ve n bölgeleri arasında dışarıdan görülebilen potansiyel fark oluşur. Bu durum foto voltaik operasyon olarak adlandırılır. Diğer taraftan; ters bias yani dışarıdan kısa devre yapılarak kullanılırsa bu durumda dışarıdan p bölgesinden n bölgesine doğru akım akar ve bu operasyona foto kondaktif operasyon denir. Şekil 4.1.'de oluşan voltaj elektriksel alan şematize edilmiştir.[7]

4.2. Çığ (Avalanche) Foto Diyotlar

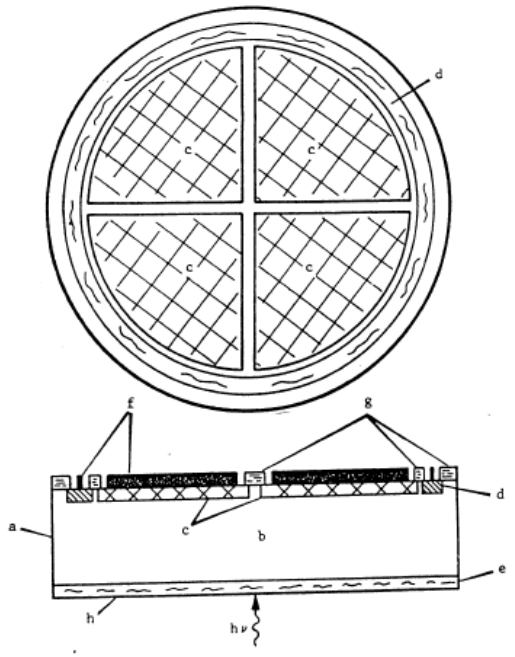
Avalanche fotodiyot: yüksek bir ters kutuplama gerilimi uygulandığında içsel bir kuvvetlendiriciye sahipmiş gibi çalışan foto detektördür. Avalanche ismi ise, bir kartopu yamaçtan yuvarlanırken nasıl çığa dönüşürse, zayıf şiddetteki ışık sinyallerini yaklaşık 100 kat kuvvetlendirerek çok az bir gürültü oranıyla elektrik sinyallerine çevirmesinden gelir. Bu tür algılayıcılar genellikle fiberoptik sistemlerde ve ışık şiddetinin düşük olduğu görüntüleme birimlerinde kullanılır. Şekil 4.2.'de şematize durum gösterilmektedir.



Şekil 4.2. Çığ diyot (avalanche diot) yapısı [7].

4.3. Silikon P-I-N Dört Bölmeli (Quadrant) Foto Diyotlar

Şekil 4.3.'de gösterilen silikon pin dört bölmeli diyot modeli üzerinde bölge adları yer almaktadır. Enerji diyota (h bölgesinden) anti yansımaya sahip katmandan giriş yapar. Diyot P tip anot (e bölgesi), iç bölge (b) ve N tip quadrant elektrotlardan (c) oluşmuştur. N tip elektrotlar Gard Halkaları (Guard Ring) olarak davranır. Son olarak görülen elemanlar ise yalıtım ve koruma amacıyla diyotu çevrelemektedir. Bunlar silikon dioksit ve metal kontaklardır.



Şekil 4.3. PIN foto diyot geometrisi [7].

Sensör seçiminde dikkate alınması gereken belki de en önemli unsur olan yapı elemanı; bu bölümde izah edilmiş olup ilerleyen bölümlerde özellikle seçimlerin yapıldığı bölümlerde sistemin doğrudan hassasiyetini etkileyen sensör seçiminde yapı elemanının maliyet ve performans üzerindeki etkisi daha açık görülebilecektir.

5. BÖLÜM

SİNYALLERİN İŞLENMESİ VE TASARIM PARAMETRELERİ

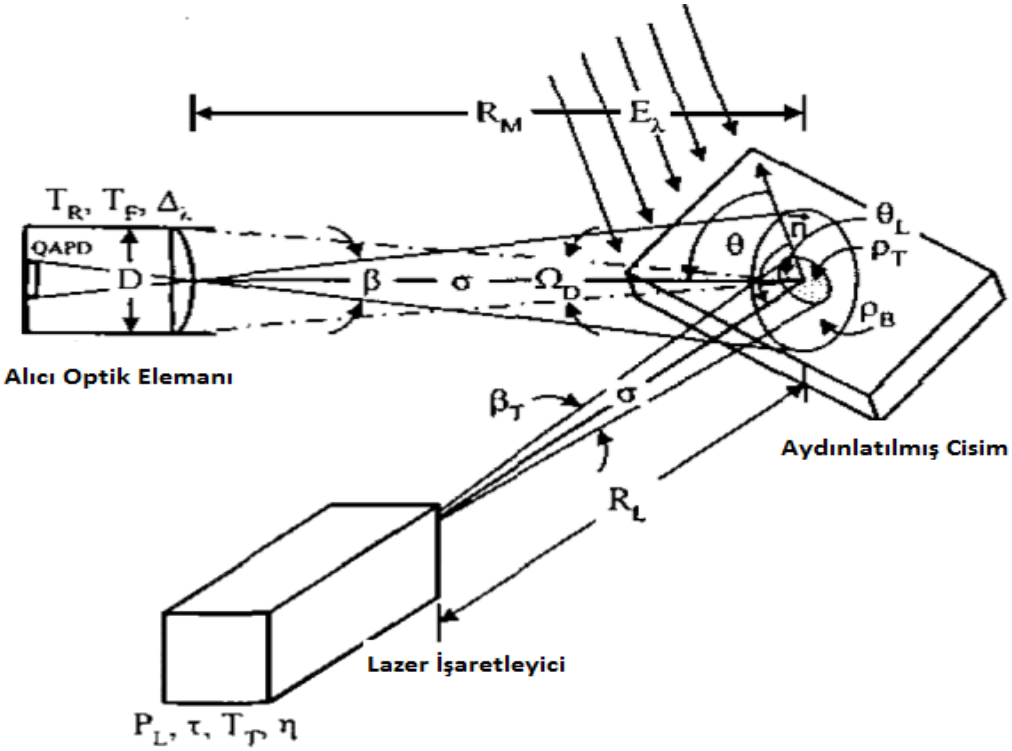
5.1. Sinyal Hesaplamaları

Odak düzlemine gelen radyasyon etkisinin iyi hesaplanması gerekmektedir. Çünkü darbeli lazer sinyalinin yanı sıra aynı enerjili radyasyon etkisi çevreden gelerek gerçek sinyali gölgeleyebilir.

Tablo 5.1. Tipik lazer işaretleyici özellikleri [1].

Output Wavelength, λ	1.06 - 1.54 μm
Bandwidth	0.00045 μm
Output Energy, E	80 - 100 mJ
Pulse Duration, tp	1.0E-08 s
Beam Divergence	0.15 - 0.30 mrad

Tablo 1'de işaretleyici için tipik değerler yer almaktadır. Bu değerlerle birlikte yapılacak olan kabul ise; işaretleyiciden çıkan lazer demetinin etraftan gelebilecek radyasyon etkilerinden çok daha büyük olduğudur. Bu şekilde istenen lazer gölgelenmemiş olacaktır. Şekil 5.1'de basit halde lazerin arayıcıya ulaşması şematize edilmiştir.

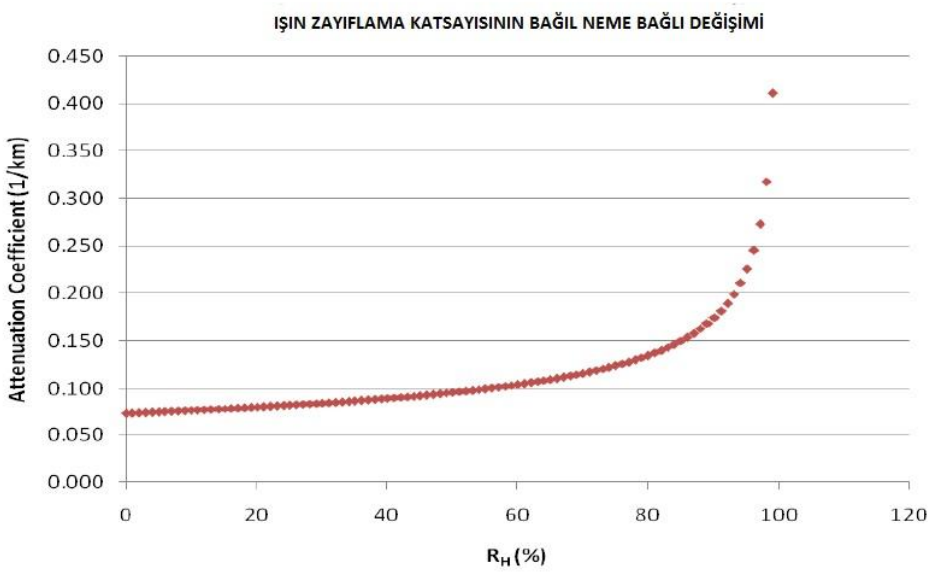


Şekil 5.1. Basitleştirilmiş lazer sinyalinin arayıcıya ulaşması [1].

Lazerin çıkış gücünü; lazer çıkış enerjisini (mJ) darbe süresine bölerek birimi Watt elde edilebilir. Eşitlikte bu değer ifade olarak eşitlik 1'de gösterilmiştir.

$$P_L = \frac{E}{t_P} \tag{5.1}$$

Sinyal gücü işaretleyiciden hedef yüzeyine gelinceye kadar atmosferik azalmaya uğrar. [8] Eşitlik 2'de Beer yasasına göre; kaybedilen enerjinin kaynaktan hedefe olan mesafenin ve atmosferik zayıflatma katsayısına bağlı eşitliği görülmektedir.[9] Grafikten anlaşılacağı üzere IR dalgasına yakın olan dalga boylarında (Near IR-NIR) lazer ışını üzerinde, su molekülleri çok yüksek mertebede absorbe ve yayılmaya sebep olmaktadır [8]. Bu sebeple lazer ışınının zayıflaması kendisini çevreleyen ortamın bağıl nemine (Relative Humudity-RH) bağlıdır. Naval araştırma laboratuarının "Atmospheric Attenuation Coefficients in the Visible and Infrared Regions", başlıklı deneysel araştırmasında gama zayıflamanın RH bağıl nemle exponansiyel değiştiği incelenmiştir. Şekil 5.2.'de bu araştırma sonuçları gösterilmiştir.



Şekil 5.2. Lazer ışınındaki zayıflamanın bağıl neme göre değişimi [9].

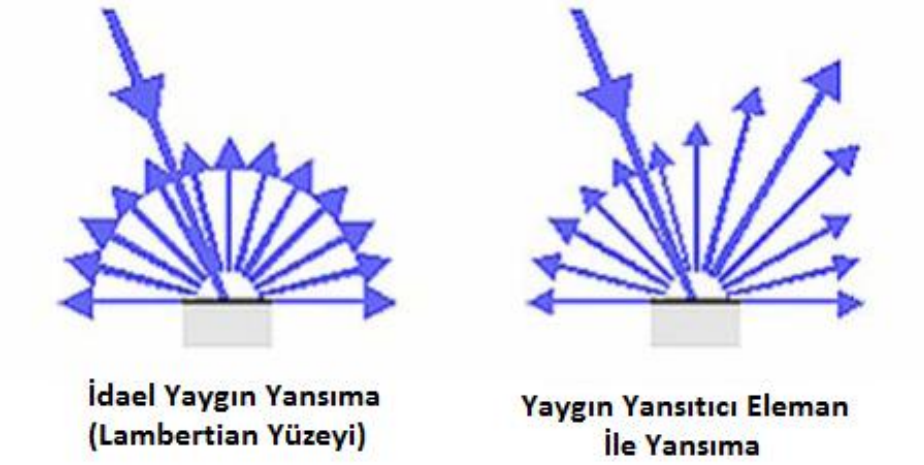
Bu verilere dayanarak;

$$\Upsilon = 0.074216.(1-RH)^{-0.3717} \tag{5.2}$$

Eşitlik 2 elde edilir. Sonuç olarak bu ifadelerle birlikte Beer Yasası ;

$$P_T = P_L.e^{-\Upsilon.R_L} \tag{5.3}$$

Eşitlik 3 haline gelir ve bu ifade hedef yüzeyindeki lazer ışınının zayıflamasını ifade eder. Tezimizde yapacağımız diğer bir kabul ise hedef yüzeyinin genel tam yansıtıcı kabulüdür. Diğer bir değişle Lambertian [10]. Çünkü yüzeyler tamamen tüm yönlerde yansıtıcı ya da eşit ve tüm doğrultularda soğurucu olabilir. Bu yüzey çeşitleri şekil 5.3.'de gösterilmiştir.



Şekil 5.3. Lambertian ve kısmi yansıtıcı yüzeyler [1].

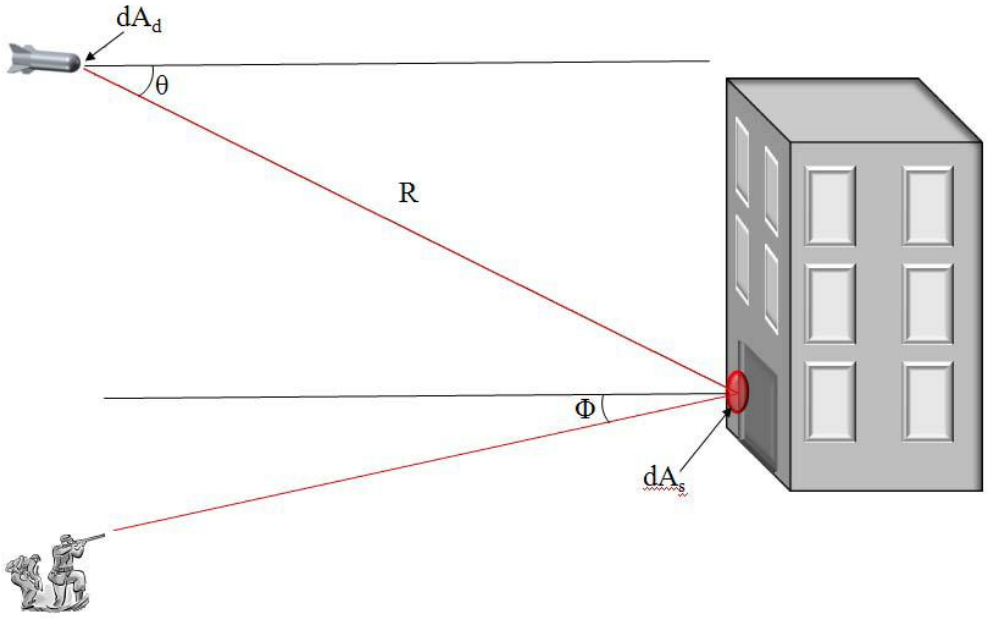
Lazer güdüm sistemini şayet ideal şartlarda olsaydı; hemen hemen her malzeme yüzey olarak kabul edilebilirdi. Ancak senaryo çevresel şartlara göre dizaynı içermektedir. Bunun yanı sıra her malzemenin karakteristik yansıtıcılığı sonucu minimum saçılma/yayılma enerjisini alarak hesaplamada yer verilmemesi için Tablo.2'deki listede bulunan malzemelerden seçilmesi yararlı olacaktır.

Tablo 5.2. Örnek yansıtıcı ve absorbe edici yüzeyler [11].

Material/Surface	Pt
Beton	10 - 20%
Asfalt	10 - 25%
Cilasız Alüminyum	55%
Bitki Örtüsü	30 - 70%
Tuğla	55 - 90%
Kireç, Kil	60-75%
Karbonlu Kum (Kuru)	57%

Verilen zayıflama enerjisi ve hedef yansıtma karakteristikleri; katı açılar fonksiyonu ile hesaplanmış ve dedektörün absorbe ettiği enerji eşitlik 4'deki hale gelmiştir. [10] Şekil 5.4.'de (Solid Angle) katı açıların hesaplanması şematize edilmiştir. [1]

$$dP_T = \frac{PdA_s.\cos(\Phi).dA_d.\cos(\theta).\rho_T}{\pi.R^2} \tag{5.4}$$



Şekil 5.4. Katı açılar (solid açılar) şematize hali [11].

Dedektör odak düzlemine gelene kadar lazer ışınında meydana gelen azalmayı; Eşitlik 5.2'de belirtilen üstel haldeki ifade kullanılarak algılanan enerji seviyesinin atmosferik şartlardaki durumu yansıtılmıştır.

Bu bölümde açıklanan metodoloji listelenen bazı diğer yöntemlerle karşılaştırıldığında literatürde seçilen yaklaşımın geçerliliği olduğu görülmektedir [9]. Ortak bir jenerik senaryo için çeşitli yöntemlerin kullanıldığı örnek bir hesaplama yapıldı. Tablo 'de belirtilen sonuçlar büyük ölçüde birbirleri ile tutarlıdır.

Tablo 5.3. Çevre şartlarının dikkate alındığı hesaplama metotlarının kıyaslaması.

	Algılanan Güç (W)	% Fark
Seçilen Metod	2.30E-05	N/A
Yayınlanan Metod #1	2.30E-05	0.00 %
Yayınlanan Metod #2	2.62E-05	14.01 %
Yayınlanan Metod #3	2.70E-05	17.54 %

Çalışan sistemde; dedektör gürültü ve bozucu etkilerin arasından gelen sinyali çözümleyebilecek kabiliyette olmalıdır. Genel olarak iki çeşit gürültü mevcuttur. Bunlar:

1- Arka planda çevresel şartlarda oluşan gürültü
2- Dedektörün doğası gereği oluşturduğu içsel gürültü

Çevresel gürültü; hedefi çevreleyen ortamda bulunan sıcak objeler ya da radyasyon ışınlarını yansıtabilen cisimler sebebiyle oluşabilir. Bu durum arzu edilen dedektör sinyal çözünürlüğünü düşürür.

Dedektör gürültüsü; iki sebeple artış gösterir. İlki lazerin ateşlenme gürültüsüdür ve dedektördeki "karanlık akımı" dalgalandırır. İkincisi ise Johnson gürültüsüdür ve dedektörün çalıştığı termal çevreden ötürü oluşmaktadır.[10]

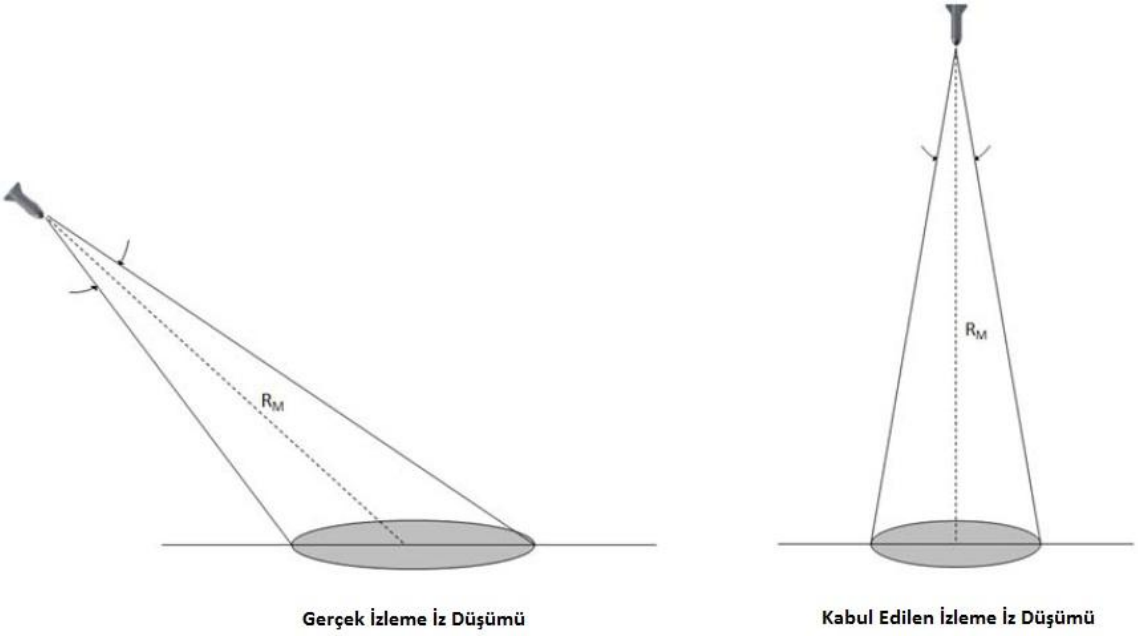
Tezimizde sıcak objelerin oluşturacağı radyasyon gürültüsü ihmal edilecektir. Çünkü oluşan dalga boyları 3,7μm'nin üzerindedir ve bu değer 1.064 μm'lik lazer ışını dalga boyunu ilgilendirmeyen bölgededir.[ref 20,21] Bu sebeple çevreden solar ışın saçılması sonucu dedektörün topladığı 10 nm'luk dar bir dalga genişliğine sahip ışının gürültüsü dikkate alınacaktır. Hesaplaması ise eşitlik 2'ye çok benzer. Tek ve en önemli fark ise; lazer kaynağın sahip olduğu radyasyon ve kaynağın sahip olduğu alandır ki bu da dedektörün gördüğü kesit alanına eşittir. Arka plan gürültü ise Eşitlik.5 ifadesi ile hesaplanabilir [11].

$$P_B = \frac{\pi}{16} E_\lambda \Delta\lambda . \rho_B . \beta^2 . D^2 . T_R . T_F . e^{-\sigma . R_M} \tag{5.5}$$

Burada;

Eλ: Dünya yüzeyine ulaşan ışınların radyasyonundaki azalma,
Δλ: 10 nm'lik dalga genişliği,
β: Alıcının optik ünitesinin görüş alanı,
D: Alıcı gözün çapı,
TR: Alıcının optik iletim katsayısı,
TF: Filtrenin optik iletim katsayısını

ifade etmektedir. Kalan değişkenler daha önceki bölümlerde izah edilmiştir. Eλ değeri için spesifik değerleri [12,13] işaret edilen referanslarda mevcuttur. Arka plan sinyali hesaplanmadan önce belirtilmelidir ki bu nokta da bir kabul mevcuttur ve bu kabule göre RM olarak adlandırılan değer; dedektörün görüş alanından alınan dik mesafedir. Şekil 5.5.'de canlandırması görülen sistemde görüş alanı (Field of View- FOV) ve RM değerlerine bakılacak olursa; soldaki resim gerçek durumu ifade eder ve görüş alanı (FOV) elips şeklindedir. Ancak sağdaki resimde; bahsettiğimiz kabule göre ideal durum gösterilmiştir ve görüş alanı iz düşüm (dairesel) şekillidir.



Şekil 5.5 İzleme iz düşümlerinin kıyaslaması [10].

Bu hesaplamada ikinci dikkat edilecek husus darbe tekrarlama oranı dikkate alınması gerektiğidir. Doğru biçimde arka plan gürültü seviyelerinin hesaplanmasında dikkate alınmalıdır. Referans [10] sensör sistemleri, sensör ve işaretleyicinin işbirliği ile çalışmaktadır. Bu sebeple sensöre gelecek dağınık lazer ışınlarını ya da anti-lazer ışınlarından özelleşmiş lazer darbe tekrarlama oranını (PRF Code) kullanarak hedefini ayırt eder. Böylece birden fazla mühimmatın kullanılmasına olanak sağlar. Bu şekilde Sinyal/Gürültü Oranını (SNR) arttırarak sadece 10 ns darbe genişliğinde sinyal toplamaya olanak sağlar.

5.5 denklemi; gürültü sinyalinin düzemli olarak toplandığı varsaymaktadır. Gerçekte ise sensör; perde gibi lazer işaretleme sinyallerinin yayılmadığı süre boyunca periyodik olarak gürültüyü engellemektedir. Bu gerçeğe göre gelen gürültü sinyalinin tamamı toplanarak sensöre ulaşmaz. Arka plan güç denklemi Eşitlik 5.5'de hesaplanan değeri (1×10^−8) ile çarparak kullanmak gerekir.

Sensörün yapısında bulunan gürültü maksimum etkili menzilinin hesaplanmasında çok önemli bir parametredir. Photokonductif modunda ters bir bias gerilimi ile çalışan fotodiyotlarda gürültü düzeyleri atış (shot) gürültü ve Johnson gürültüsü hakimdir.

Foto sensör atış gürültüsü [10] Eşitlik 5.6'daki gibi hesaplanır.

$$I_S = \sqrt{2.e.I_D.\Delta f} \tag{5.6}$$

Burada e başlangıç elektron yüklenmesi (1.602 ×10 ^−19 Coulombs), ID dedektörden dedektöre değişen karanlık akımı, Δf Hz biriminde bant genişliğini ifade eder.

Johnson gürültüsü ise[10] eşitlik.7 şeklindedir;

$$I_J = \sqrt{\frac{4.k.T.\Delta f}{R}} \tag{5.7}$$

Burada; k Boltzman sabiti $1.38.10^{-23}\ \frac{kg.m^2}{s^2.K}$,

T Kelvin cinsinden operasyon sıcaklığı,

R ise ohm biriminde sensör shönt direncidir.

Sinyal gücü eşitliği, arka plan ve sensör gürültü eşitliklerinin elde edilmesinin ardından seçilmesi gereken maksimum menzilli sensör tasarımı yapılabilir. Maksimum menzil seçilecek sensöre oldukça bağlı değişecektir.

Tasarım aşamasında tecrübe ve deneyimlere dayanarak başlangıçta Hamamatsu Firmasının ürettiği sensör baz alınarak araştırmaya başlanacaktır. Daha sonraki incelemelerde şayet bu sensöre göre daha olumlu sonuç çıkarsa o sensör son karar aşamasında seçilecektir.

İlk etapda sinyal ve gürültü seviyelerinin sonuçların tam olarak gerçeğe yakın olabilmesi için tüm bağıl nem oranlarındaki test sonuçları incelenmiştir. Kabullerden diğeri ise; odak düzleminin görüş açısı (focal plane's field of view) 30 derece ve sensör açıklığı 1'' (inch) olarak alınmıştır. Ayrıca sinyal düşüşü % 10 ve tüm ışınımların hedeften yansıdığı kabul edilmiştir.

Analizlerde Si foto dedektör olan hamamatsu sensörü foto hassasiyeti 0.4 A/W ve 1.064 μm ve Si APD 30 A/W kullanılmıştır. [13] Tablo.4'de bu değerler görülmektedir.

Tablo 5.4. Dedektör gürültü hesaplaması için foto diyot karakteristik değerleri.

Dark Current, ID	50	nA
System Bandwidth, Δf	45	kHz
Shunt Resistance, R	175	MΩ
Operating Temperature, T	323	K

Her iki tip sensör için; sensör gürültü sinyalleri Eşitlik 5.6 ve Eşitlik 5.7 kullanılarak shot gürültüsü 2.7 ×10^−11 A ve Eşdeğer Gürültü enerjisi [Noise Equivalent Power (NEP)] ise 4.5×10^−11W olarak hesaplanmıştır. Bu değer; Eşitlik.5'e göre mümkün olabilecek en yüksek değer olan 1.6×10^−13 W ile kıyaslanabilir. Görüleceği üzere esas sensör gürültüsünden daha yüksek bir değerdir. Bunun anlamı lazer sensörü lazer ışınımları sonucu shot gürültüsüne eşdeğer bir enerjiye ulaşabilecek bir thresold enerjisi oluşturabilir.

Tüm bağıl nem değerlerine karşılık artan mesafe eşleşmelerinin sinyal gücü üzerindeki etkilerinin değerlendirilmesi sonucunda; arzu edilen sinyali oluşturabilecek eşik mesafe değeri yaklaşık olarak 35,5 km (35 km yatay ve 5 km dünya yüzeyinden yukarı) olarak tespit edilmiştir.

Tezimizde 35 km'lik mesafe değeri için yeterli araştırma veya referans olacak kaynak bulunmadığı için 5 km'lik dikey mesafe ve buna karşılık olarak 2 km yatay mesafe baz alınacaktır. Tablo.5 ve Tablo.6 'da [1] bu veriler yer almaktadır.

Tablo 5.5 Hamamatsu PSD sensör sonuçları (5 km yatay; 2 km dikey).

Bağıl Nem (RH) %	Sinyal Akımı (µA	Gürültü Akımı (µA	Sinyal Gürültü Oranı (dB)
30%	9.22E-01	2.68E-05	90.72
40%	8.91E-01	2.68E-05	90.42
50%	8.53E-01	2.68E-05	90.05
60%	8.06E-01	2.68E-05	89.55
70%	7.43E-01	2.68E-05	88.85
80%	6.52E-01	2.68E-05	87.72
90%	4.96E-01	2.68E-05	85.34

Tablo 5.6 Hamamatsu APD sensör sonuçları (5 km yatay; 2 km dikey).

Bağıl Nem-RH %	Sinyal Akımı (µA	Gürültü Akımı (µA	Sinyal Gürültü Oranı (dB)
30%	6.92E+01	2.68E-05	128.22
40%	6.68E+01	2.68E-05	127.92
50%	6.40E+01	2.68E-05	127.55
60%	6.04E+01	2.68E-05	127.05
70%	5.57E+01	2.68E-05	126.35
80%	4.89E+01	2.68E-05	125.22
90%	3.72E+01	2.68E-05	122.85

Sonuçlara bakıldığında 1-1,5 km üzerindeki tüm menzillerde her iki tip sensörde kullanılabilir durumdadır (10 sn süreli ortalama uçuş mesafesi). APD (Avalanche diyotlu Photo Dedector) tipli sensörde kazanç parametresi oldukça yüksektir. Diğer tip sensör olan PSD (Silisium Dedector) ‘de ise kazanç parametresi düşüktür. Buradaki kazanç değerine gereksinim iki tip sensörde istenen değerleri sağladığı için gerekmemektedir. Bu sebeple daha maliyetli olan APD yerine PSD tip kullanılacaktır. Hatırlatılmalıdır ki; daha yüksek menziller için analiz yapıldığında kazanç parametresi gereksinimleri olabilir ve dolayısıyla APD model sensör kullanımı söz konusu olabilir.

5.2. Foto Hassasiyeti

Tipik silisyum sensörlerdeki 1.064 µm’deki dalga boyu 0.3-0.4 A/W’dır. Bazı değişiklikler yapılarak Fotosensitivite arttırılabilir. Advanced Photonix firmasının sensörü arzu edilen 0.5 A/W’lık değeri Si quadrant sensör ile başarmıştır.[ref. 25] Indium Gallium Arsenide (InGaAs) tipleri ise 0.7-0.8 A/W şeklinde değerlere sahiptir. Burada ki farkın sebebi artan elektron hızlarıdır.

5.3. Karanlık Akımı (Dark Current)

Karanlık akımı (Dark Current) tamamı ile cihazın aktif bölgesiyle alakalıdır. Çok geniş bir aktif bölgede daha büyük karanlık akımı ve daha dar diziler oluşturur. İstenen değer olarak 0.05 nA/mm2 ile 2 nA/mm^2 arası uygundur. Mümkün olduğu karar düşük karanlık akımları arzu edilmektedir.

5.4. Tepki Süresi (Response Time)

Tepki/Cevap süresi (güdümlü mühimmat pazarındaki adı yükselme zamanı) çok yüksektir. Fiili olarak tüm sensör üreticileri ürünlerinin 10-15 ns'lik tepki sürelerinin olduğunu öne sürmektedir. Ayrıca hızlı sensörlere nazaran daha yavaş tepki sürelerine sahip olanlar ise 5-10 μs gibi hızlara sahiptir.

Bu hızlardaki farklılıklar InGaAs (Indium Gallium Arsenide) [14] malzeme kullanımı sonucu oluşmaktadır. Bu malzemelerdeki elektron hızları Si malzemedeki elektron hızlarına göre daha yüksektir. Bu sebeple tepki sürelerinde farklılıklar gözlenmektedir. Ancak maliyet olarak yüksek hız yanında yüksek maliyeti de getirmektedir. Tezimizde ele aldığımız mesafe değerleri olarak her iki sensör tipi de istenen değerleri sağlamaktadır. Bu sebeple ilave maliyet değerlerinin oluşmaması için Si tip seçilecektir.

5.5. G Etkisi Dayanıklılığı

Mühimmat yön ve algılama istihdam sensörleri sert bir çalışma ortamına maruz kalacaktır. Bu nedenle odak düzlemi atış esnasındaki şok darbelerinin yanı sıra, uçuş dinamikleri tarafından zorlanan yüksek g kuvvetlerinin çevrelediği ortamlarda tatmin edici şekilde görevini yerine getirebilmelidir.

Ampirik veriler benzer platformlarda kullanılan tipik ticari fotodiyot tiplerinin bu tarz uygulamalarda kullanılabilmek için yeterince esnek olduklarını göstermektedir. Quadrant (Dört bölmeli tipleri) sensörler oldukça uzun bir süredir hassas güdümlü silahlar ile başarılı bir şekilde çalışarak bu tip uygulamalarda başarılı olduğunu ortaya koymuştur. AIM-9 Sidewinder, A.B.D. ordusunun Paveway II roketi, yine Orduya ait Gelişmiş Hassas Öldürücü Silah Sistemi (Advanced Precision Kill Weapon System) v.b. dört bölmeli sensörlerin başarıyla uygulanmış örneklerinden bazılarıdır[15,16]. Bu

uygulamalarda kullanılan dört bölmeli sensörler yaklaşık olarak Mach 3 hızında (3.564 km/sa) helikopter ya da benzer hava araçlarından atılmaktadır.

5.6. Aero-Thermodynamic Isınma

Tasarımcı oluşabilecek olan termodinamik ısınmalardan soğutma sistemsiz olan çoğu odak düzleminin dayanabileceği ısı aralığı olan -20 ile 60 C (253 K ile 333 K) derece aralığında tutabilmesi gereklidir. Ancak soğutma sistemlerinin kullanılması durumunda maliyet artacak ve kompleks tasarım oluşturulmak zorunda kalınacaktır. Çünkü çok kıymetli olan kullanılabilir alan daha verimli olarak değerlendirilebilecektir. Ancak soğutma hususunun da göz ardı edilmeden çözülmesi gerekmektedir.

Arayıcı sistemleri genel olarak roket ya da füzenin burun kısmındaki boşluğa monte edilir. Bu yüzden burun bölgesinde sıcaklık, uçuş sırasında düzgün çalışmasını sağlamak için önerilen sınırları aşmamalıdır. Uçuş sırasında meydana gelen baskın sıcaklık dalgalanmaları; mühimmat hızı ve roket burun geometrisinin bir fonksiyonu şeklinde bir değişim göstermektedir. Tezimizde genel olarak kullanılan geometri diğer füze geometrilerine benzer seçilecektir.

Füze burun dışyüzeyi aerothermodynamic ısınma nedeniyle sıcaklığı denklem 5.8.'deki ifade kullanılarak hesaplanır[17]:

$$T_S = T_a.(1+0.17.M^2) \tag{5.8}$$

Bu ifade de;

TS: Füze burunun yüzey sıcaklığı (Kelvin),
Ta: Füzeyi çevreleyen ortam sıcaklığı (Kelvin),
M: Mach hızıdır.

Denklem.8'deki ifadelerden anlaşılacağı üzere; yüzey sıcaklığı ortamdaki hızın artışıyla arttığını göstermektedir. Bu ısınma artışı süpersonik ve hipersonik hızlarda oluşabilmektedir. Tezimizde 0.2 M ve 0.6 M hızları arasında yer alan bir senaryo düşünülerek tasarım yapıldığı için bu hızlardaki ısınmaların çok düşük olduğu kabul

edilecektir. Tablo 5.7'de 37.8 ° C (100 ° F, 310,8 K) çevre şartları için sıcaklık değerleri yer almaktadır.

Tablo 5.7 Çalışma esnasında kabul edilen yüzey sıcaklıkları.

Speed	Max Acceptable Temp	Surface Temp (Ts)
Mach 0.6	~ 60 ° C	56.8° C
Mach 0.4		46.3° C
Mach 0.2		39.9° C

Sidewinder, Deniz Kuvvetleri Paveway II ile birlikte, her iki soğutmasız odak düzleme sahip sensör uygulamaları başarıyla uygulanmıştır [12].

5.7. Arayıcı Ünitelerde Kilitlenme Menzil Hesaplamalarında Nomografi

Nomografi kilitlenme menzili hesaplamalarında kullanılmaktadır. Bu hesaplamada arayıcı hassasiyeti, atmosferik şartlar, irtifa değerleri kullanılır. Bu hesaplamayı şekil 5.6.'daki diyagram üzerinden iki örnek ile izah etmek gerekirse;

Değerler:

Hedef yansıtması : 0.2,
Enerji yansıtma açısı: 60
İşaretleyici-hedef mesafesi: 2 Km
Lazer gücü: 10 MW
Arayıcı hassasiyeti: H,
İrtifa değeri: R,
Atmosferik zayıflatma sabiti : σ ,
Yaklaşma yüksekliği: h,
Meteorolojik görünürlük: Rv,

Durum 1:

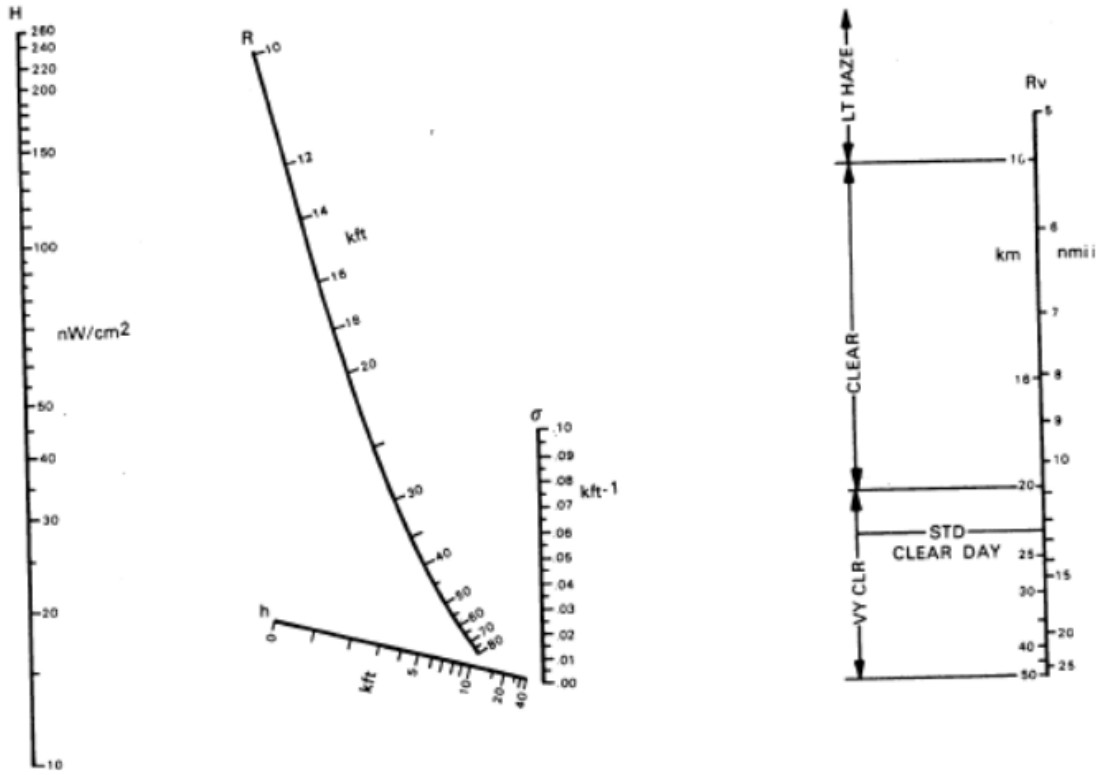
Arayıcı hassasiyeti= 50 nW/cm^2 , Atmosferik zayıflatma sabiti= 0.02 bilinmekte ise;
Diyagramdan H ve σ arasından geçen çizgiler bize değerleri verecektir. Yani; İrtifa değeri yaklaşık olarak 46000 ft şeklindedir.

Durum 2:

Yüksek değeri= 8000 ft , Meteorolojik görünürlük= 10 nautical mil değerleri bilinmekte ise;

Diyagramdan

Diyagramdan h ve Rv arasından geçen çizgi belirlersek bize değerleri verecektir. Atmosferik zayıflatma sabiti=0.02 olarak bulunur.[7]



Şekil 5.6. Nomografi ile tasarım parametrelerinin seçimi [7].

5.8. Maliyet

Genel olarak görülmektedir ki Si tabanlı sensör birimlerinin maliyetleri InGaAs tabanlı malzemelere göre daha düşüktür. Bunun yanı sıra sadece hassas lazer güdümlü yapılar için tasarlanmış yapılarda mevcuttur ve fiyatları son derece yüksektir. Bu bilgilere ilave olarak sadece uygun maliyeti bulabilmek için fiyat kriteri yeterli olmamakla birlikte en az dökümante edilmiş ve en istikrarsız parametre olarak karşımıza çıkmaktadır.

Son olarak; maliyet oluşturma hususunun son aşaması ise tasarımına karar verilmiş olan sistemin testidir. Çünkü bu test; sisteme özel olarak uyarlanmakta ve ciddi maliyetlere sebep olabilmektedir.

6. BÖLÜM

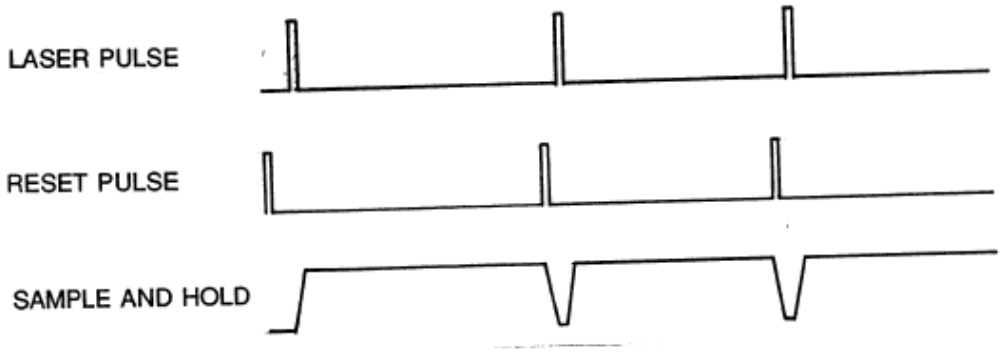
GÜDÜM SİSTEMİNDE KULLANILAN DEVRE YAPILARI VE YARDIMCI ÜNİTELER

6.1. Lazer Algılama ve İşleme Adımları

6.1.1. Örnekleme ve Tutma

Tipik bir örnekleme ve tutma devresi şekil 6.1.'de görülmektedir. Şematize edilmiş olan üst kısımda görülebileceği üzere devre lazer kod şartlarına uygun olan dalga boyundaki sinyali örnekler ve 15 nanosaniye boyunca kapasitör üzerinde tutarak bir atım sonrasındaki çözme işlemine tabii tutar. Şayet kodlandığı gerçek lazer sinyali ise takibe başlar aksi halde reset darbesi ile sıfırlanarak üzerinden bırakır.

Mantıksal olarak; örnekleme ve tutma devresi iki lazer darbesi arasındaki zamanı belirler. Bu zaman dilime periyot denir ve reset darbesi bu aralıkta kendini tekrarlar. Lazer sinyali bu aralıkta geldiğinde belirli bir gecikme ile başlar. Lazer devre kapasitörü sayesinde tutulur ve periyoda göre ayarlı reset darbesi tutulan sinyali sıfırlar ve devre çevrime girer.

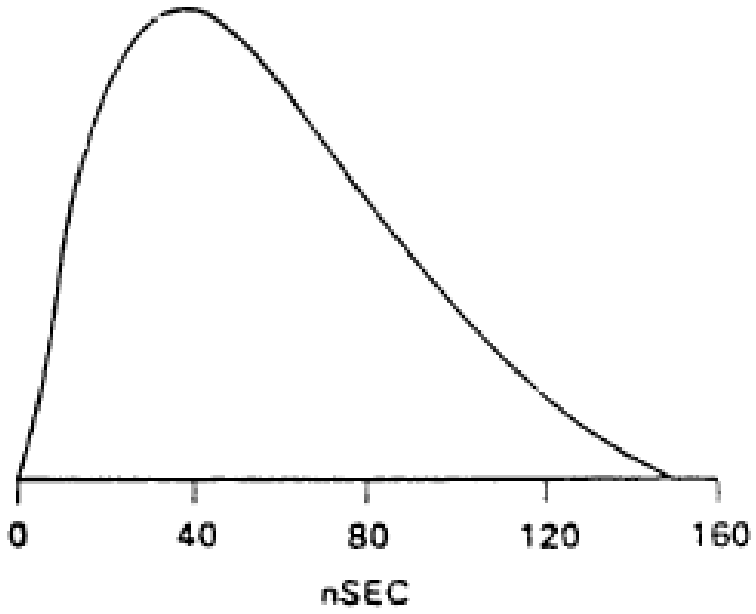


Şekil 6.1. Örnekleme ve tutma durumlarının şematize hali [7].

Örnekleme ve tutma devrelerine ihtiyaç duyulmasının esas sebebi; kare ve düzgün görülen sinyaller daima bu şekilde ideal halde görülmez. Özellikle zor ve yoğun gürültünün olduğu çevre şartlarında; yayılma ve ışınımın sonucu yaşanan bozulmalar da göz önüne alındığında sinyaller gürültülü ve testere ağzı şeklinde bozuk sinyallere dönüşür. Bu sebeple bu sinyallerin işlenmesi oldukça zorlaşır. Bu sebeple belirli bir filtreden geçirerek ve örnek alarak işlem yapmak daha sağlıklı değerler elde etmeye yarayacaktır.

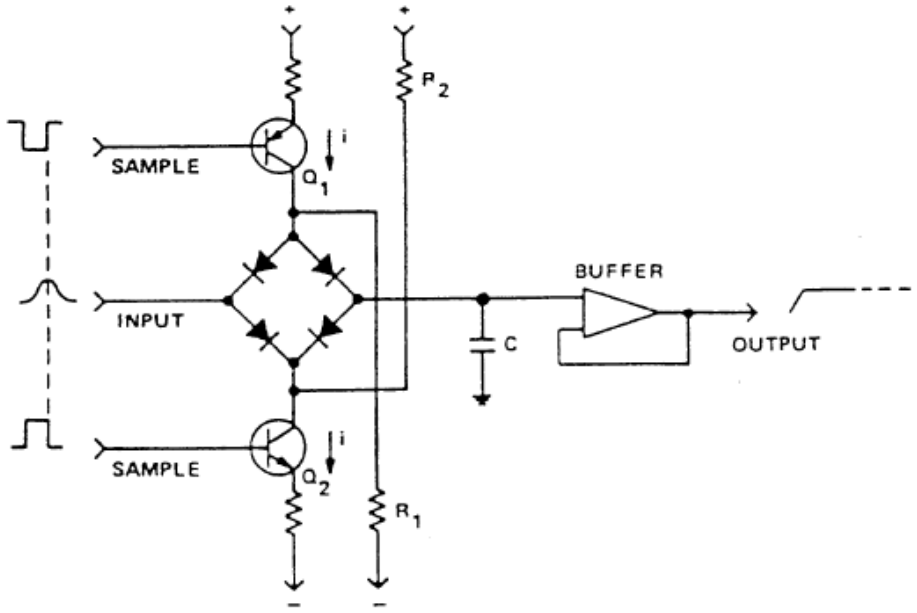
6.1.2. Fast Sample (Hızlı Örnekleme) And Hold (Tutma) Devre Yapısı

Logaritmik yükselticiler ön yükseltici çıkışlarındaki sinyali yayar ve bozarlar. Şekil 6.2.'de logaritmik yükseltici çıkışı görülmektedir.



Şekil 6.2. Logaritmik yükseltici çıkış eğrisi [7].

Şekilde görülen en yüksek değer 40 ns'de gerekleştiği görülmektedir. Ancak bu değeri sinyalden ayırt etmek için threshold seviyesi ile diğer değerleri süzmek gerekir ardından pik değerlerini yakalamak için pik yakalama devresi gereklidir. Genel olarak tasarımı etkileyen parametreleri olarak gereken zaman, girişteki genliğin kaç periyod ta elde edilebileceği ve eşleşerek uygun olup olmadığı önemlidir.



Şekil 6.3. Hızlı örnekleme ve tutma devre yapısı [7].

Hızlı örnekleme ve tutma devresi şekil 6.3.'de gösterilmiştir. Devrede; köprü diyot 2 adet transistorü akım kaynağı kontrollü anahtarlama yapmaktadır. Akım kaynağı açık olduğunda, köprü girişindeki voltaj değeri kollarda dengesizliğe sebep olur ve ya kapasitör üzerinde ya da kollardan tekrar eşitlenene kadar akım akar. Akım kaynağı kapandığında köprü diyotu R1 ve R2 üzerinden ters bias voltajı ile yüklenir. C kapasitörü üzerinden sarj olur. Kapasitör konumu oluşturduğu yüksek empedans ile yükü izole eder. Kapasitör sarj olunca kapasitör köprü diyota akım gönderir. Girişten akım gelmez. Bu bilgilerle gereken zaman;

$$T = C.\frac{V}{J} \tag{6.1}$$

Burada;

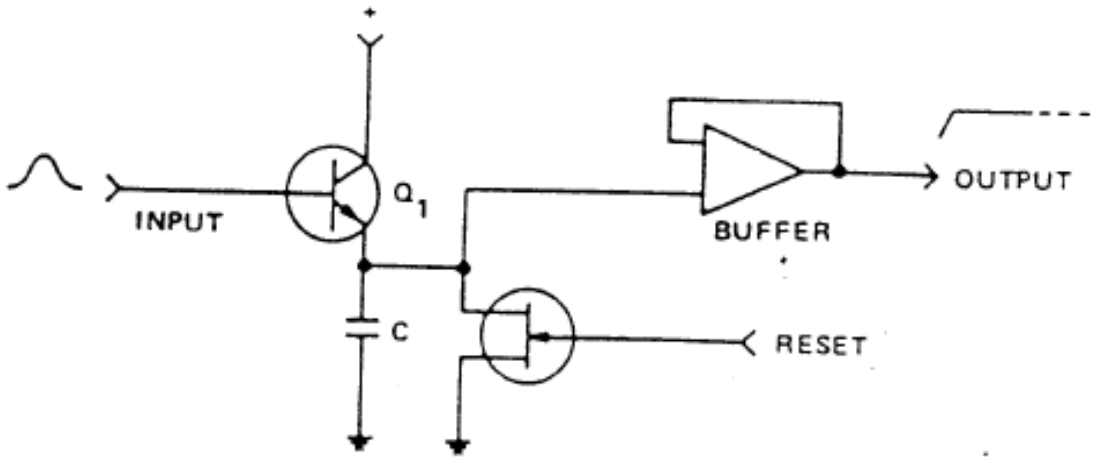
V: Giriş voltaj büyüklüğü,
C: Toplam kapasitans (köprü çıkışından bakıldığında),
J: Çıkış akımı – (iR1 ve iR2) [bu akım resistanslar çok yüksek olduğu için ihmal edilir.]

R1 ve R2 değerleri çok yüksek olması sebebiyle üzerinden geçen akım ihmal edilebilir. Sistemde bu durum arzu edilen haldir. Ancak gerçekte bu şekilde olmaz. Çünkü kritik eleman olan köprü diyot sıcaklık ile değişken empedans göstermektedir. Bu sebeple

ofset değerleri oluşması kaçınılmazdır. Örneğin 10 ohm'luk giriş kaynağı empedansı 1mA'lik akım ve 10 mV'luk bir ofset voltajına sebep olacaktır. Bu sebeple diyotlar bu şartlara uygun ve hızlı tepki verebilmelidir. Lazer arayıcılar için tasarlanan bu devreler 40 ns hızında, 7 mV ve altı genliğe sahip ve 100 mV-1,5 V sinyal aralığında işletilebilmelidir.

6.2. Pik (Peak) Dedektör

Şekil 6.4.'de görülen pik dedektör devresinde lineer olmayan eleman bu kez Q1 olarak tanımlı BJT transistordür. Çalışması ise Q1 transistörü giriş sinyali ile "on" konumuna geçer ve C kapasitörü sarj olur ta ki Q1 emiter voltajı; giriş sinyalinden transistör açma voltajı farkına eşit olana kadar. Eşitlik durumunda transistör "off" durumuna geçer ve C kapasitörü desarj oluncaya ya da giriş sinyal genliği artana kadar off durumunda kalır.

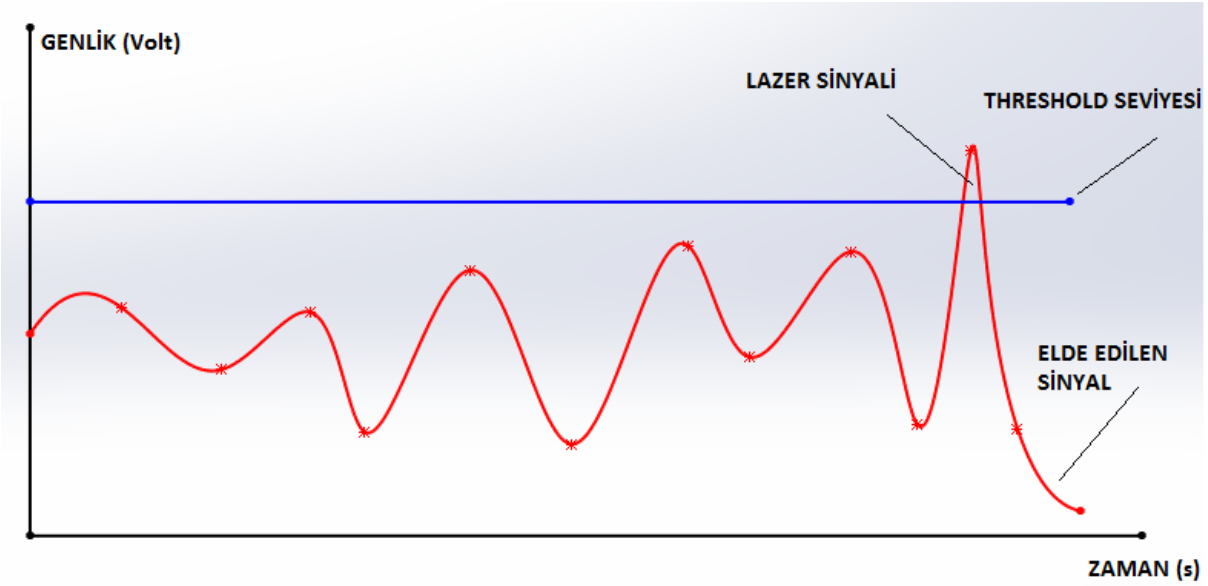


Şekil 6.4. Pik değer algılama devre yapısı [7].

Alan etkisi Q2 FETelemanı; C kapasitörünü desarj etmek ve reset verme için kullanılır. Ayrıca Q2; kapasitörün çıkış çıkışa olan etkisini izole eder. Bu şekilde gelen pik değer yakalanabilir. Tipik olarak; 50 ns genişliğinde giriş darbesini 0,35-4,5 V sinyal aralığı ve reset zamanı 50 ns şeklinde değerlere sahiptir.

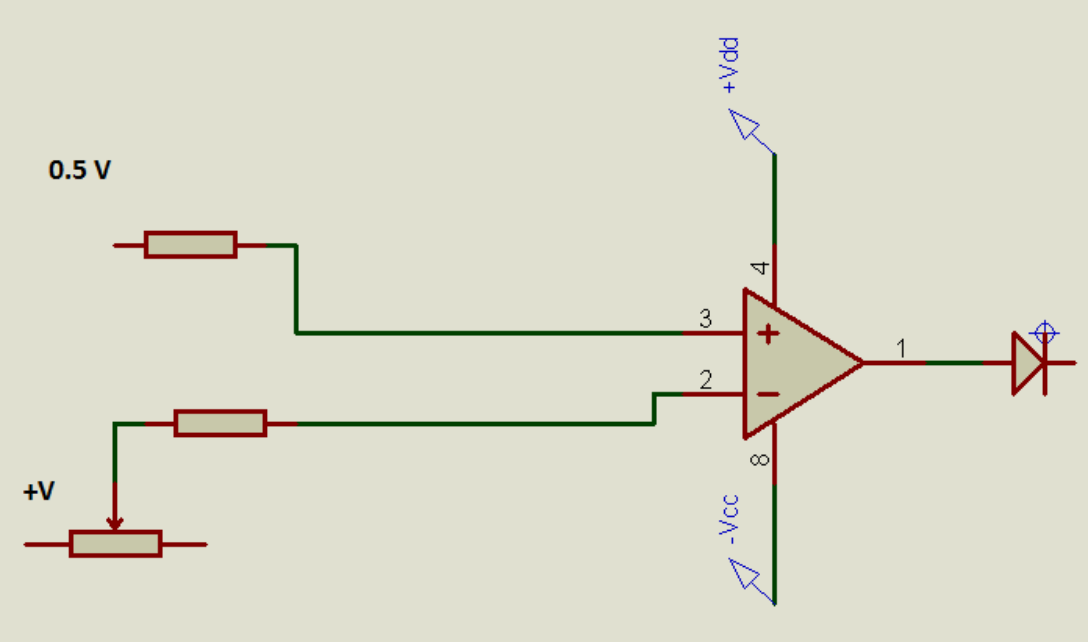
6.3. Threshold Seviyesi ve Önemi

Threshold seviyesi elektronikte sıkça kullanılan ve yoğun bozucu etkenin gözlendiği şartlarda kullanılır. Bu seviye ile birlikte istenmeyen seviye altında kalan sinyaller direk olarak izole edilerek bozucu etkiler azaltılır. Bu şekilde daha sağlıklı bir sinyal elde edilir ve dolayısıyla daha doğru bir sonuç elde edilebilir. Bu seviyenin lazer uygulamalarında kullanımı şekil 6.5.'de gösterilmiştir.



Şekil 6.5. Lazer güdüm devrelerinde threshold seviyesi uygulaması.

Şekil 6.5.'de görüldüğü üzere (ideal durumda) lazer darbesi; threshold seviyesi ile çok net şekilde elde edilebilir. Ancak gerçekte böylesi mükemmel bir değeri o an için belirlemek çok zordur. Bu sebeple elde edilen sinyali daha iyi incelemek için threshold seviyesi sistemin hassasiyetini ve isabet yüzdesini arttırır. Şekil 6.6.'yı da kullanarak örnekle anlatırsak;



Şekil 6.6. Threshold seviyesi oluşturmak için kullanılan devre.

Görüldüğü üzere op-ampın eviren ve evirmeyen uçlarına girilen threshold değeri ve sinyal görülmektedir. Burada ayarlanabilir direnç ile voltaj seviyesine değişkenlik kazandırılmış olur. Bu şekilde sinyal değeri threshold seviyesinin altında ya da üstünde olması sağlanmış olur. Şekil.31'de görülen mavi çizgili seviye 0.7 V seviye kabul edilsin. Kırmızı sinyalin genlik değeri ise 0.5 V olsun. Bu durumda şekil.32'deki + V değeri ayarlanarak threshold seviyesi 0.5 genlik değerinin üzerinde tutulmuş olur. Çıkıştaki diyot ise sadece pozitif alternansın geçmesini sağlar. Bu şekilde 0.5 seviyesinin altındaki değerler yalıtılır.

6.4. Sensör Seçimi ve Sebepleri

Tezimizin bu kısmına kadar izah ettiğimiz konular ve parametrelere dayanarak önemli elemanlardan olan foto dedektörü seçmemiz gereklidir. Bu sebeple Tablo.8'de bu parametrelere göre kullanılabilecek durumda olan dedektörler listelenmiştir [1].

Tablo 6.1. Tasarımda kullanılabilecek olan dört bölmeli sensör performans değerleri (2008 Yılı).

Firma Adı	Malzeme	Aktif Alan (mm2)	Min λ	Maks λ	Pik λ	PS @ 1.06	ID (nA)	Tmin (°C)	Tmax (°C)	Ünite Fiyatı
Advanced Photonix	Si	5.4	300	1100	950	0.3	6.5	-40	125	$90.50
Advanced Photonix	Si	17.8	300	1100	950	0.3	27	-40	125	$207.10
Advanced Photonix	Si	38.5	300	1100	1064	0.48	40	-40	125	$1300.00
Melles Griot	Si	100	350	1100	900	0.35	110	N/A	N/A	$775.00
ThorLabs	InGaAs	3.14	900	1700	1550	0.68	5	-40	85	$1386.00
Judson Tech	Ge	100	800	1800	N/A	0.5	N/A	-20	60	N/A
Hamamatsu	Si	16	320	1100	960	0.4	10	-20	60	$23.00
Hamamatsu	Si	81	320	1100	960	0.4	50	-20	60	$58.00

Tablo 6.1.'de verilen kullanılabilir dört bölmeli (quadrant) sensör listesinde fiyat, çalışma sıcaklığı, karanlık akım değerleri, hassasiyeti .. v.b. değerler mevcuttur. Bu değerlerden tümü için optimum olacak sensörde aranacak özelliklerin hepsi daha önce de belirttiğimiz üzere InGaAs malzemeden yapılan foto dedektörde mevcuttur. Ancak fiyatı; yine bu değerleri daha az karşılayan Hamamatsu Dedektöre bakacak olursak yaklaşık 60 kat daha fazladır. Tablo.8'deki değerlere bakıldığında bu maliyet arışına rağmen feda edilebilecek özellikler değiştiği görülmektedir. Ancak kullanım şartlarına tamamen bağlı olduğu unutulmamalıdır. Bazı durumlarda sadece InGaAs kullanımı gerekebilir. Örneğin askeri şartlardan en sert olan Sibirya, Rusya, Çöller v.b. ortamlarda sıcaklık şartları doğrudan InGaAs malzemeli olanı seçmeyi gerektirebilir. Bu sebeple maliyet/kullanılabilirlik oranı oluşturulursa bu oran en yüksek olarak Hamamatsu dedektöründe görülmektedir.

6.5. Ataletsel Ölçüm Ünitesi (IMU-Inertial Measurment Unit)

Pahalı olmayan ve hassas bir arayıcı ünitesi oluşturulması IMU performansı ve maliyeti ile ayrılmaz bir bütündür. Tüm sistemin belirleyici maliyet kalemini IMU oluşturmaktadır. Ticari olarak uygulamalarda kullanılan IMU sistemleri oldukça üstün performans ve fiyat değerlerine sahiptir. Arayıcı sistemlerinde tasarımın başarısı ve sonucunu tasarım parametresi olarak etkileyen IMU elemanı çalışmaların başarısına doğrudan etkendir.

IMU sistemi mühimmatın fırlatılışından 50 s ya da daha az bir süre zarfında uçuş sergilemektedir. Bu kısıtlı sürenin yaklaşık %80'i IMU tarafından uçuş rotasına kumanda eder bu sebeple IMU performansı başarılı bir hedef isabeti açısından hayati önem kazanmaktadır. Bu sebeple başlıklar halinde verilecek olan hususlarda başarılı bir IMU sisteminin sahip olması gereken özellikleridir.

Sistem tasarımında IMU ünitesi arayıcıya bağlı olarak füzenin dinamik haldeki ataletsel etkilere göre hareketini ayarlamaktadır. Tezimizde; tasarımını düşündüğümüz sistemde hareket unsuru yer almadığı için ataletsel özellikler de buna bağlı olarak oluşmayacaktır. Ancak tezimizin devamı ya da devamında düşünülebilme ihtimaline karşı Tablo 6.2.'de kullanılabilecek özelliklerde olan IMU üniteleri yer almaktadır. [1]

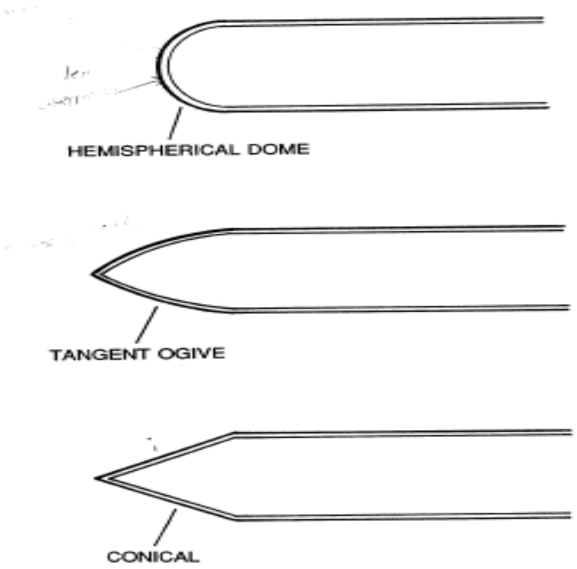
Tablo 6.2. Tasarımda kullanılabilecek IMU performans özellikleri.

System Volume (in^3)	**Hacim**	**Mass (lbs)**	**Yaklaşık Maliyet (K$)**	**Gyro Bias (°/hr) 1σ**	**İvmelenme Bias (mili-g) 1σ**
Honeywell HG1930	4	0.35	3.5	20	4
Honeywell HG1700AG	33	1.6	N/A	1	1
AIS SiIMU02	7.3	0.463	4.5	6.5	0.5
AIS SiIMU04	10.35	0.5512	4.5	8	3
Xbow IMU440CA	28.125	1.3	2	7200	15
Xbow IMU700CB	120	3.5	11.5	20	12
MEMSense µIMU	5.53	0.0294	2.5	2016	2.1
Systron Donner MMQ50	9	0.5	5	50-200	2.5
Xsens Mti	4.52	0.1102	3	18000	2.04
Litton LN200	32	1.54	30	10	1000
Draper MMIMU	8	0.62	30	10	3000
Micro-Aero MASIMU01	7.7	0.1764	4	60	N/A

Görüleceği üzere sistemde IMU ünitesi ile hareketin kontrolü oluşturulması ile birlikte, maliyetler göz önüne alındığında çok ciddi değerler ortaya çıkmaktadır. Bu sebeple prototip ve yerli tasarım yapabilmek adına sistemimizde IMU yerine; daha az performans değerlerine sahip olmak üzere kart tasarımı ve ilave ünitelerle bu engel aşılmıştır.

6.6. Füze Burunları (Dome)

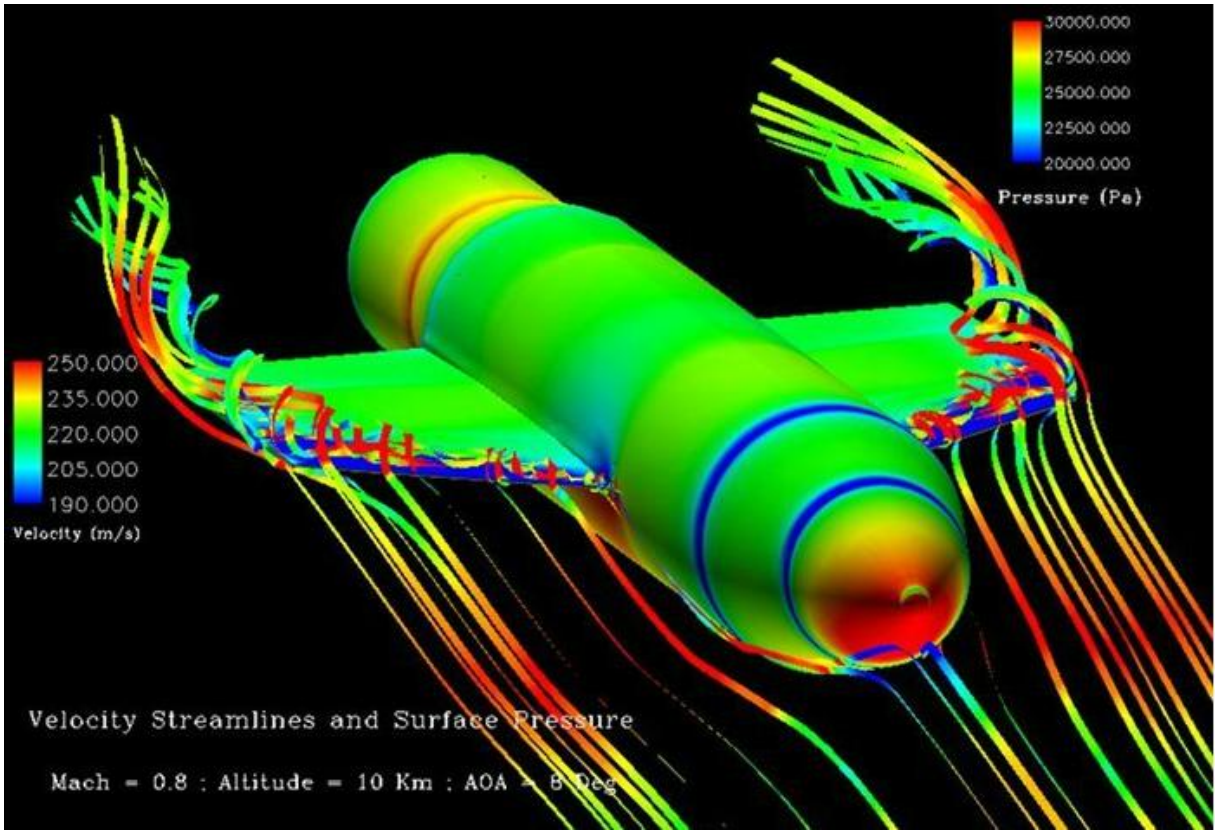
Burun ünitesi (Dome) optik kısımları ve arayıcı elemanları dış çevre şartlarından korumak için kullanılmaktadır. Çoğu optik arayıcı yarı küre ya da tam küre geometriye sahip burunlara ihtiyaç duymaktadır. Çünkü burun elemanı da optik bir eleman gibi davranmaktadır.



Şekil 6.7. Füze burun geometrileri [7].

Burun elemanın öneminin daha iyi anlaşılabilmesi için şekil 6.8.'de görülen değerlere dikkat edilmelidir. Yapılan analiz 0.8 Mach hızında, 10 km yükseklikteki durum için gerçekleştirilmiştir ve burun bölgesindeki hava hızı en yüksek 250.000 m/s ve basınç ise 30 MPa olarak kaydedilmiştir.

Bu sebeple burun elemanı çok kritiktir. Aksi halde IMU ve dedektör çalışamaz ve tüm füze işe yaramaz hale gelir. Diğer bir hususta burun elemanı doğru geometride seçilmez ise bu kez doğru yansıtma ya da dedektöre doğru görüş alanını veremediği için hassasiyeti çok kötüleşebilir. En kötü ihtimalle hatalı izleme yapabilir.

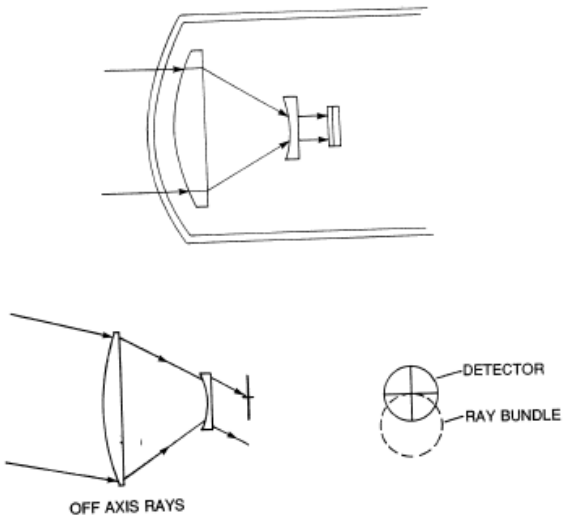


Şekil 6.8. Füze burnunda (Dome) oluşan basınç ve hız dağılımı [16].

6.7. Optik Elemanlar ve Tasarım Parametreleri

6.7.1. Gövdeye Sabit Optik Ünite

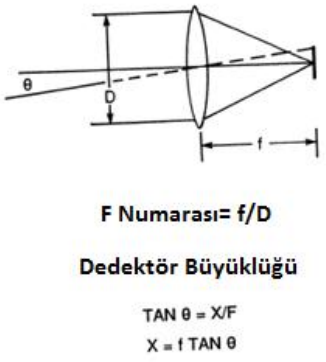
Fotoğraf makinesi tarzda açıklığına sahip gövdeye sabit olan optik ünite; arayıcının geniş bir alandan ışınımları alabilmesi ve dolayısıyla da hedefe isabet oranını yükseltmesine olanak sağlar. Şekil 6.9.'da görülen şematize edilmiş resimde de görülebileceği üzere pozitif bir burun (dome) yapısına sahip olması sebebiyle hemen alt kısmında bulunan optik elemanın da pozitif olması akla yatkın olan seçim olacaktır. Ancak negatif olması da sağlanabileceği hatırlatılmalıdır. Sistemde görülen elemanlardan diğeri ise negatif kenarlıdır ve hemen sonrasında özelleşmiş filtre mevcuttur. Şekilde görülen eksen dışından 10 ile 30 dereceler arasında gelen ışınımlar sonucu; gelen ışınım seçilmiş olan sensörün 1/3'lük kısmını aydınlatabilmektedir. Bu durumda optik üniteye ulaşan ışınımın geliş açısıyla orantılı olarak sensör bölmeleri aydınlanmaktadır. Bu şekilde sensör yönelme bilgisini algılayabilecektir.



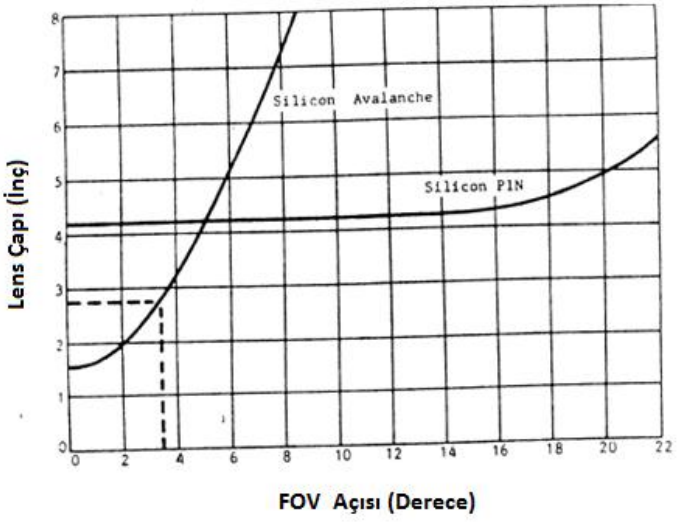
Şekil 6.9. Sabit optik yapısı [7]

6.7.2. Optik Parametreler

Şekil 6.10.'da görüldüğü üzere seçilecek dört bölmeli sensör yapısında lazer ışının odaklayarak doğrudan sensör üzerine düşmesini kolaylaştıracak optik sistem tasarımı adına bilgiler yer almaktadır. Bunlar : **(F)** Numarası, **(f)** Odak uzaklığı, **(D)** Optik açıklık ve **(x)** sensör boyutudur. Sensör boyutu ile "θ" FOV açısı ve sensör tipinin hassasiyeti arasında doğrudan bir ilişki mevcut olması tasarımda göz önünde bulundurulmalıdır. Optik malzeme seçiminde 1.06 mikron lazer için en genel kullan malzeme cam ya da polykarbonattır.



Şekil .6.10. a)



Şekil .6.10. b)

Şekil 6.10. a) Optik elemanın parametreleri b) FOV açısının lens çapı ile değişim grafiği [7].

Son olarak optik yakalama için bilgisayar destekli ışınım takibi yapan yazılımlar ile tasarım optimum ışınımı bünyesine alabilir ancak bu durumda tasarımın içinde bir de yazılım dahil olacağı için tezimizde bu durum atlanacaktır.

6.8. Bant Geçiren Dielektrik Filtreleme

Tasarımı yapılacak olan arayıcı ünitesinde kullanılacak olan dalga boyu 1.06 mikrondur. Bu sebeple diğer dalga boyundaki sinyallerin yalıtılabilmesi için arayıcının hemen önünde özelleşmiş bir filtre sisteminin olması gereklidir. Bu filtrenin olmaması halinde tüm dalga boylarındaki sinyaller arayıcıyı ya kör etme (sinyalleri işleyememe) ya da bozulmasına sebep olur.

Bu tip bant geçiren filtreler genel amaçlı kullanılan gümüş filmli aynalardaki gümüş film yerine dielektrik malzeme kullanılarak yapılır. Genel yapıda 5 katmanlı yapı sonrasında boşluk ve tekrar 5 katmanlı yapı şeklinde dizilime sahiptir. Uygulamaya özel olarak üretilerek imal edilir.

6.9. Tasarıma Genel Bakış ve Değerlendirme

Tasarımı düşünülen devre yapısı ile ilgili olarak sistemde kalıcı ve çalışma şartlarına doğrudan bağlı olan parametreler direkt olarak seçilmiştir ve bu parametreler kısaca şu şekildedir.

1. Menzil hususunda yapılan çalışmalarda genel en kabul edilebilir olan 5 km'lik dikey mesafe ve buna karşılık olarak 2 km yatay mesafe olarak erişilebilmiştir. Bu sebeple menzil olarak bu kriterlerle sınırlı kalınacaktır.[1]
2. Burun (Dome) yapısı olarak küresel geometriye sahip olan eleman seçimi yapılmıştır. Bunun sebebi ise; burun yapısı arayıcıyı koruma görevinin yanı sıra optik elemanlar gibi ışınımları yansıtma veya geçirme yapabilmektedir. Bu sebeple en az yansımayı yaparak lazer darbelerini geri göndermeyecektir. Ancak özelleşmiş uygulamalarda farklı geometriler seçilebilir. [1,7]
3. Filtre elemanı lazer işaretleyici dalga boyu olan 1.064 μm'nin üstündeki dalga boyunu geçirecek şekilde camdan yapılmış ve yansıtıcı iç ayna tarzında yüzey

oluşturulmuştur. Bunun sebebi ise; iç kısma geçen ışınımlar tekrar yansıyarak gelen ışınımları bloke edebilir.

4. Çalışma sıcaklığı ve bağıl nem değerleri olarak ülkemizde görülebilecek tüm mevsim ve yıl değerleri de göz önüne alınarak; ortalama sıcaklık değerleri -25 ile 60 C derece ve bağıl nem ise %70-%80 olarak seçilmiştir. Bu değerler dedektör seçiminde belirleyici olarak kullanılmıştır. [9]

5. Muhtemel yakalama oranı % 90 olarak hedeflenen değerdir. Bu değere ulaşabilmek adına tüm verilerde en iyiye yakın kalmak gerekecektir.

6. Atak açısı 20 derece ve FOV açısı ise yine 20 derecedir.

7. FOV açısına bağlı olarak seçilen parametre ise kullanılması gereken optik elemandır. Bu değer ise "Optik Eleman" kısmında yer alan şekil 6.10-b'deki grafikten D=5.33 olarak bulunur. Buna bağlı olarak optik merkez uzaklığı ve diğer ifadeler matematiksel olarak aynı bölümde yer almaktadır. [7]

8. Hassasiyet değeri, toplam dinamik saha değeri, darbe denişliği v.b. gibi değerler tamamen seçilecek olan dedektör ve lazer karakteristiğine göre şekil alacaktır.

9. Sistemimizi uçuş testleri ile test edemeyeceğiz. Ancak şayet sistemin uçması gerekseydi. Uçuş hızı ortalama 0.6 Mach olacaktı.

10. Yapılan hesaplamaya göre arayıcı ünitesine gelmesi gereken lazer enerji miktarı 0.000303004 W olarak hesaplanmıştır. Bu sebeple kullanılması gereken lazer işaretleyicinin en az bu değerde olması gereklidir. Bu hesaplamalarda bölüm 5.'deki parametreler göz önüne alınmıştır.

Bu bilgiler göz önüne alınarak;

1. Dedektör olarak fiyatı ve ele aldığımız şartlara en uygun aday Hamamatsu foto dedektördür. Dedektör; sıcaklık ve nem değerleri de sağladığı gibi örnek uygulamalarda özellikle askeri düzeyde başarılı sonuçlar sağlamıştır.
2. Buna bağlı olarak seçilen dedektörün hassasiyeti, yüzey alanı, karanlık akımı sızıntısı v.b. etkenler bakımından da uygulamamızın şartlarını sağlaması sebebiyle bu dedektör üzerinden tasarıma devam edilecektir. Dedektör sepesifikasyonları ise kaynaklar bölümünde [12] yer almaktadır.

3. Dedektörün beklide uygulamayı etkileyecek parametrelerinden olan tepki süresi; özellikle 1 km/s'lik hızlar söz konusu olduğu için çok önemlidir. Bu sebeple olabildiğince düşük olmalıdır. Uygulamamızdaki tepki süresi 10-15 ns olsa da çok daha hızlı tepki sürelerini sağlayan dedektörler mevcuttur. Ancak üstün performanslar daima maliyeti yanında getirir. Bu sebeple uygulamanın şartlarına göre seçim yapılmalıdır.
4. Dedektörün hassasiyet değeri ise 0.3-0.4 A/W şeklindedir.

Sistemde kullanılacak olan elemanlar seçildikten sonra; elektronik kart tasarım kısmı ile sistem tamamlanacaktır.

7. BÖLÜM

TASARIMIN GENEL YAPISI

7.1. Sistemdeki Elektronik Yapılara Genel Bakış

Öncelikle sistemde yönelmeleri sağlayan iki step motor ve sürücüleri mevcuttur. Bu eksenlerden ilki sağ-sol ve diğeri ise yukarı-aşağı hareketi sağlamaktadır. Sürücü kartı dairesel gövdede yer almaktadır. Sistemin kontrol kısmı farklı şekillerde yapılabileceği için kontrol bölümü cad çiziminde gösterilmemiştir. Ön kısımda yer alan ve dairesel halkanın ortasında yer alan koyu optik eleman tasarım olarak istenmeyen ışınımları engellemek için düşünülmüştür.

Bahsedilen elemanlar ve görevleri aktarıldıktan sonra sistemimizin kontrolü daha önce bahsedilen iki genel metot ile sağlanabilir. Bunlardan ilki; dizayn edilen kart yapısı ile (RS 232 bağlantısı için max 232 entegresi ile tasarım yapılmıştır.) doğrudan display okuma ile kontroldür. İkinci ve zor yöntem ise; endüstriyel bilgisayar olarak tanımlanan ve üzerinde farklı soket tiplerinde birden fazla kartları (bilgisayarın kendi gereksinimleri hariç) destekleyen "Back Plane" ile çalışılarak (üzerine ana kart da monte edilebilmektedir) bilgisayar ortamında ara yüz program ile görsel olarak kumanda edilebilmektedir (Şekil 8.4.'de görülmektedir).

Kullanabilirlik olarak her iki metot da uygulanacak şekilde kart ve sistem yapısı hazırlanmış olup, kolaylık açısından kontrol ünitesi tercih edilmiştir. Sistemin çalışma prensibi ise foto dedektör 4 bölmesine gelecek ışına karşı voltaj çıkışı oluşturacaktır. Bu voltaj değeri ışının dairesel olduğu kabul edilerek; hangi bölmede daha fazla alan kaplamışsa o bölme çıkış voltajı daha yüksek olacaktır. Yani 4 bölmenin merkezinde olması halinde her bir çıkış eşit voltaj değeri üretecektir. Şayet bir bölmede toplanma

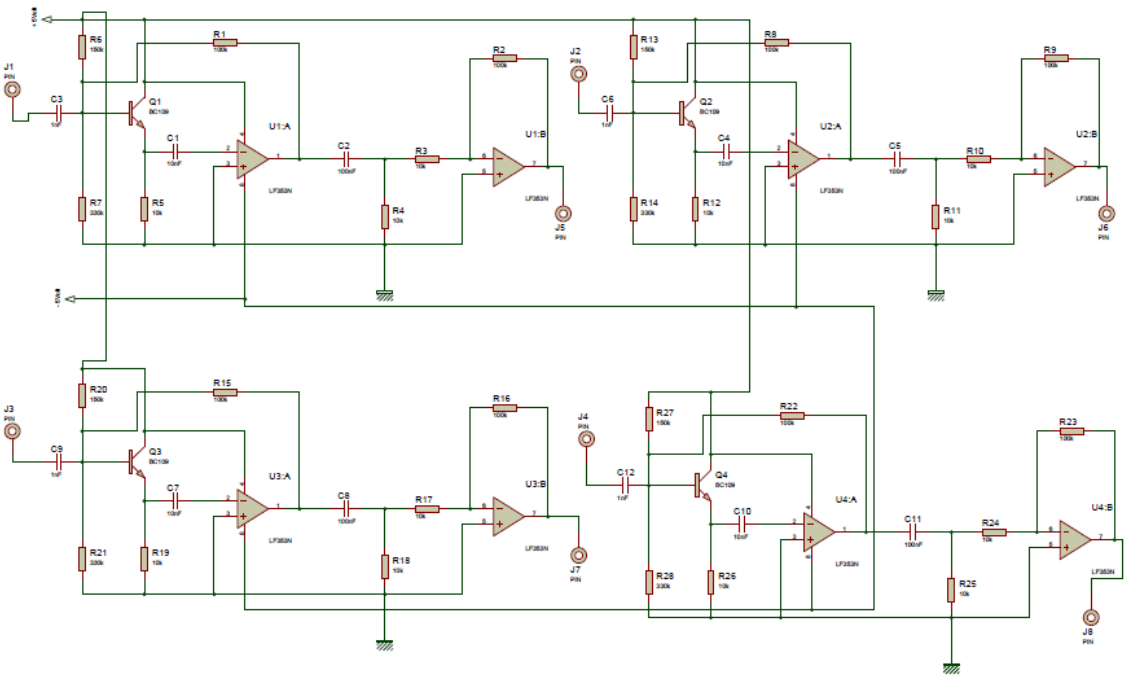
söz konusu ise o bölme çıkışı en yüksek değer olan 5.1 V ve diğer bölme çıkışları ise "0" V olarak görülecektir.

Çıkıştaki voltaj değerleri kıyaslanarak ışının hangi bölümde olduğu belirlenebilecektir. Bu bilgi ile takipçi aynı istikamete hareket ederek ışının kaynağına odaklanmaya çalışacaktır. Takipçi ışının kaynağını merkezine aldığında voltaj dengesi sebebiyle o doğrultuda hareket edemeyecektir. Bu yöntemle diğer doğrultuda da hareketsiz kalınması durumu "kilitlenme " olarak adlandırılabilir. Işın bu zaman diliminden sonra daimi olarak döngüsel bir biçimde uygulanarak ışından ayrılmaması sağlanır.

7.2. Sistemdeki Elektronik Devreler ve Çalışma Prensipleri

Sistemimizde quadrant dedektör çıkışı analog bir değer olarak elektronik devre yapısına giriş yapacaktır. Burada ilk devremiz ön yükseltici (pre-amplifier) devresidir. Şekil 7.1.'de görülen devrede; J1, J2, J3, J4 olarak adlandırılmış olan pinler dedektör uçlarını temsil etmektedir. Bu uçlar J5, J6, J7 ve J8 pinlerinden diğer devre katına iletilir. Burada 4 kısım birbiri ile eşdeğerdir. Bu sebeple bir devre üzerinden izah etmek istersek; ilk eleman olan 1 nF'lık kapasitör dc voltaj seviyelerini filtreleyerek sadece analog sinyallerin geçmesi sağlanır. Kapasitör değerinin önemi yoktur. Ancak küçük değerler kullanılması daha sağlıklıdır. Hemen arkasında bulunan npn transistör BC 109 ise; anahtarlama görevi yapmaktadır. Burada devrenin açılabilmesi için Vbe voltaj değerinin aşılması gereklidir. Bu değer aşılırsa transistör iletimde çalışacaktır. İkinci kapasitör ise yine dc seviyelerini filtrelemek için kullanılır. Kapasitör sonrasında bulunan LF 353N op-amp; komparatör olarak kullanılmıştır. 100 nF'lık kapasitörde dc filtreleme için kullanılmıştır. Sonrasında bulunan LF353N op-ampı kazanç değeri 10 olan bir yükseltici olarak kullanılmıştır. Ancak terslendiren girişten uygulandığı için sinyal 180 derece ters dönecektir. Sonuçta pozitif alternansta yükseltilmiş analog sinyal elde edilir.

Şekil 7.2.'de görülen devre yapısı; dedektörlere gelen yansıma ve gürültüler neticesinde bozulmuş olan lazer darbelerinin şeklini düzelterek yakalama safhasında olması gerekli genişlik ve genlik değerlerinde kalmasını sağlamaktır. Ayrıca ideal darbe yapısı kare dalga formunda olması gerekirken; bozulmalar sonucu lazer darbeleri yuvarlak hale gelir.



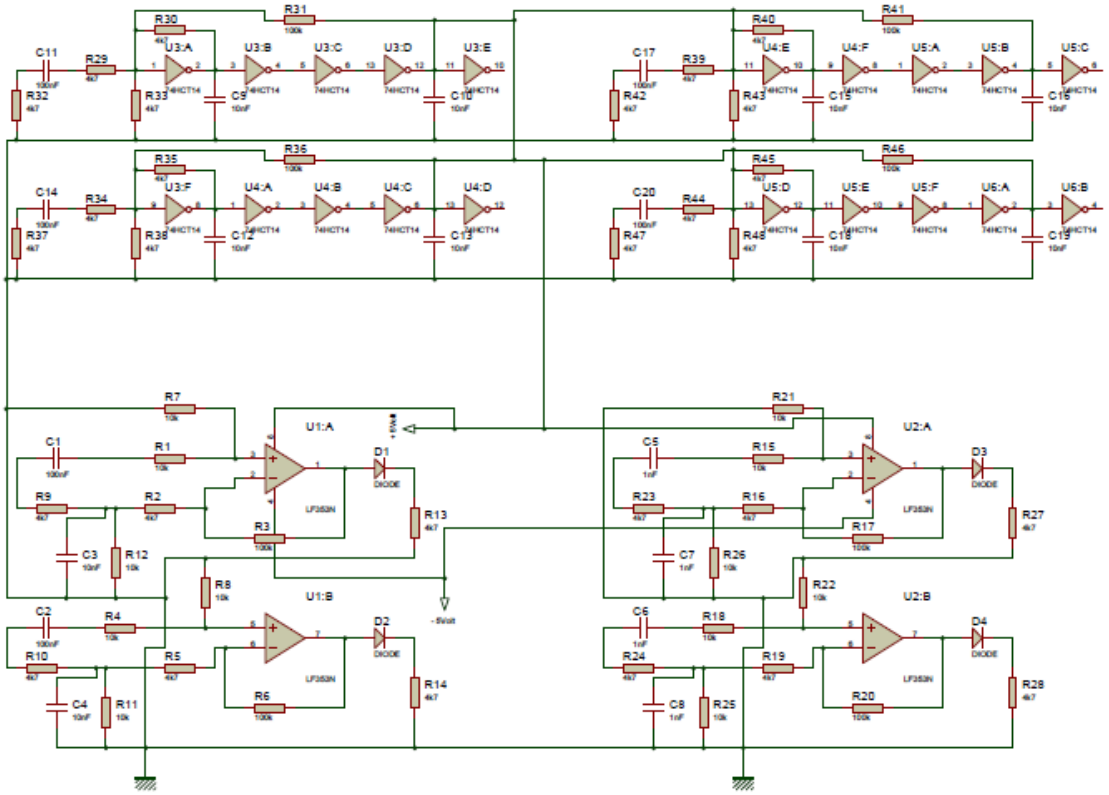
Şekil 7.1. Ön yükseltici (Pre-amplifier) devresi.

Devre R9, R10, R23 ve R24 direnç değerlerinden analog ve bozulmuş durumda giriş yapılan lazer darbeleri; en alt kısımda bulunan ortak Vref voltaj değerine göre LF 353N tipi op-amplar kullanılarak bu voltak değeri ile kıyaslanır. Buradaki amaç dışarıdan gelebilecek olan istenmeyen sinyalleri belirli oranda yalıtmaktır. Vref değerini geçemeyen sinyaller op-amp girişinde sistemden uzaklaştırılır. Bu voltaj threshold seviyesi olarak da bilinmektedir. Op-amp çıkışındaki diyot ise sadece pozitif alternasın geçmesi istendiği için kullanılmıştır.

R13, R14, R27 ve R28 dirençlerinden yükseltilmiş ve kısmen filtrelenmiş olan analog sinyaller (4 bölme için aynı); R32, R37, R42 ve R47 dirençlerinden üst kısımdaki yapıda düzeltilmek için giriş yaparlar. İlk olarak dc sinyaller filtrelenir. Ardından 74HCT14 entegresine gelen sinyaller analog evirici schmitt tetikleyici bu entegre ile form yapısı kareye yaklaştırılır. Son olarak; 10, 12, 6 ve 4'nolu uçlardan çıkış sinyali alınır.

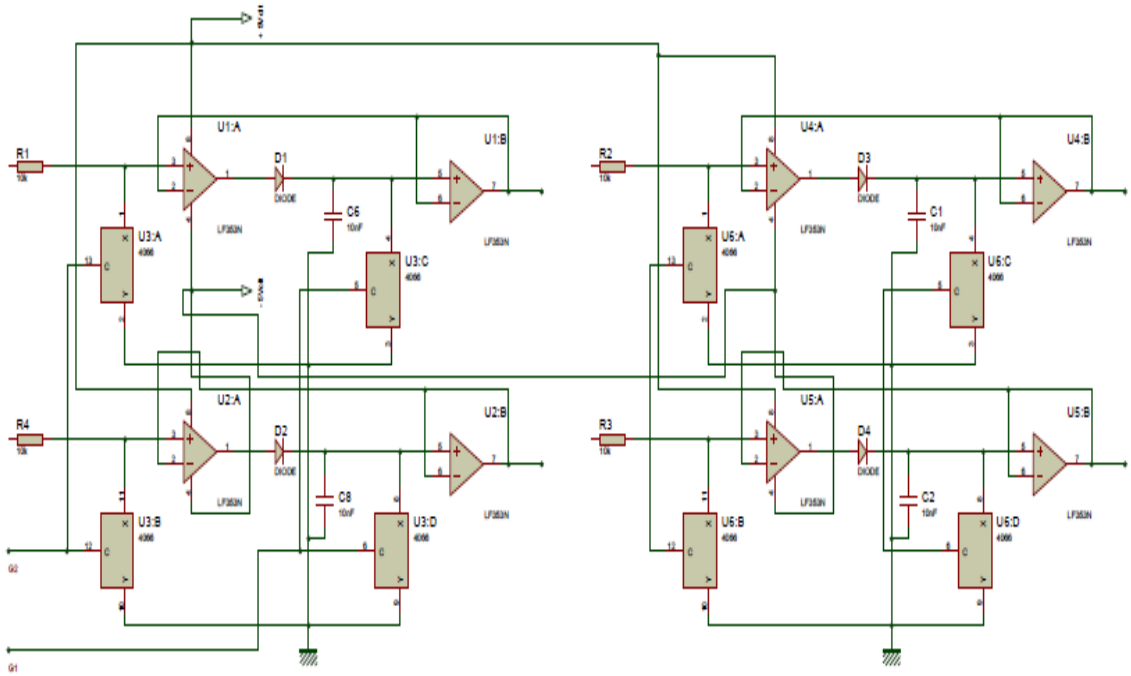
Şekil 7.3.'de görülen devre yapısı formu kareye yaklaştırılmış ve gerektiği kadar yükseltilmiş olan sinyalin; gerçekten kılavuzluk edecek olan lazere ait olup olmadığı kararının verildiği yapıdır. Burada amaç; hedefe yöneltilmiş lazer işaretleyicinin (önceki

bölümlerde anlatılmıştır) kodlanmış olarak gönderdiği lazerin takip edilebilmesi için örnek alarak kendi bünyesinde tuttuğu lazerle mukayese etmesini sağlamaktır.



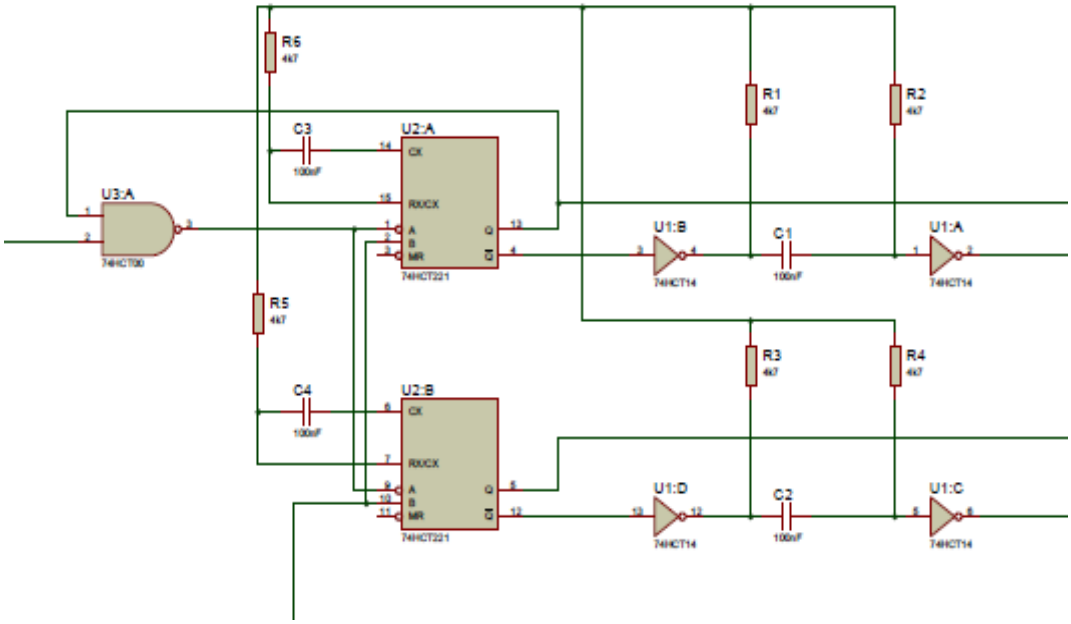
Şekil 7.2. Darbe Şekli Düzeltici ve Threshold Devresi.

Devre incelendiğinde 4 adet aynı özellikte yapı mevcuttur. Bu benzerlik 4 bölmeli quadrant dedektörden kaynaklıdır. Devre yapılarında 4066 analog swicth entegresi mevcuttur. Bu entegre analog sinyale göre çıkışını açar ya da kapatır. R1, R2, R3 ve R4 değerlerinden analog değerleri alır. Değerler 4066 entegresine giriş yapar. İlk durumda anahtar açıktır (sinyal op-ampa gitmesi durumu). Bu konumda op-ampın evirmeyen ucunda bulunan giriş sinyali ile eviren uçta bulunan 2. Op-amp çıkışı arasındaki fark pozitif işaretli ise diyottan pozitif kısım kırpılmış şekilde geçiş yapar. Pozitif işaret devrede C1, C2, C3 ve C4 olarak görülen kapasitörleri doldurmaya başlar (Örnekleme Durumu). Kapasitör değeri; op-amp çıkış değerin girişte yapılan kıyaslamada farkın negatif işaretli değer almasına kadar sürer. Bu durumda 4066 entegresi kapanır ve kapasitörler üzerindeki voltaj değerini hızla toprağa boşaltır. Devre bu döngüyü kendi lazer darbesi seviyesine eşit oluncaya kadar sürdürür. Bu süreye kadar giriş sinyali pozitif olarak artar.



Şekil 7.3. Örnekleme ve tutma (Sample and Hold) Devresi.

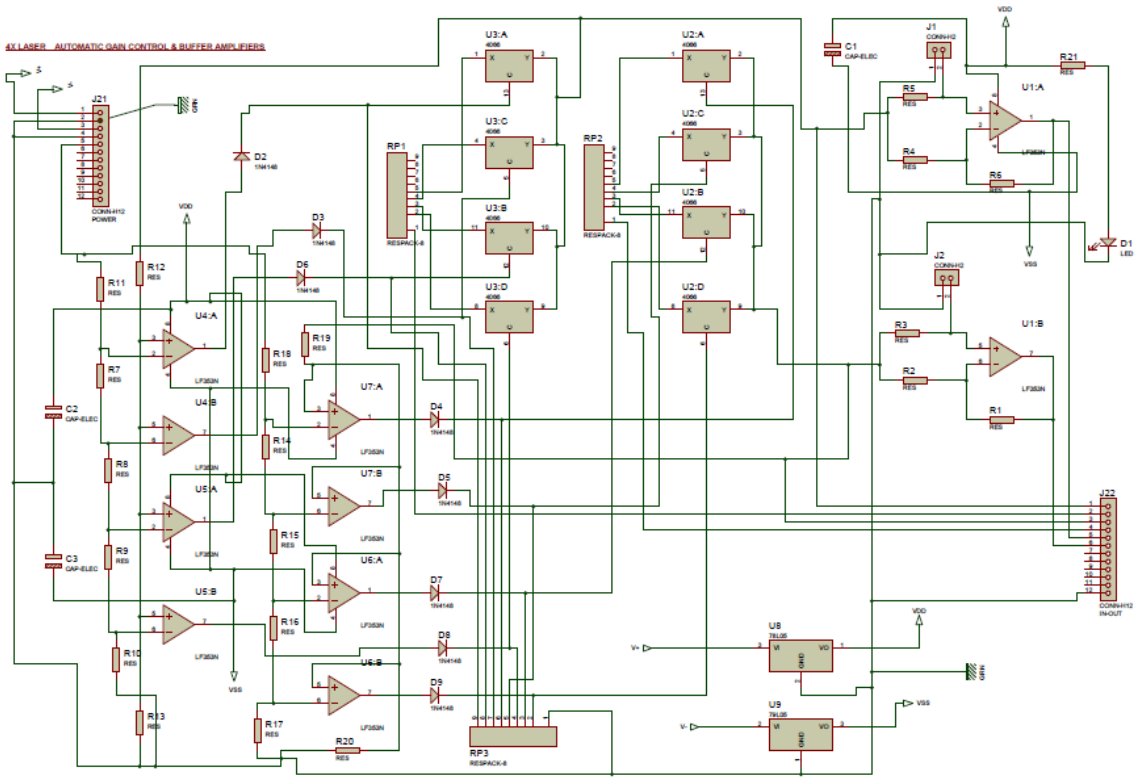
Şekil 7.4.'de görülen devre yapısında girişte nand kapısı bulunmaktadır. Bu kapı yükselen kenarlı bir darbe ise (high), 74HCT221 resete sahip tekrar tetiklenemeyen entegredir. Ayrıca bünyesinde Q flip-flpolara sahiptir. Bu entegrenin çıkışı girişe 74HCT221 entegresinin Q bacağından geri besleme ile gelir. Entegrenin çalışma mantığı giriş sinyali high durumunda iken diğer çıkışı olan 74HCT221 çıkışı low durumdadır. Bu sebeple çıkışı "Ve" kapısı sebebiyle "0" olmalıdır. Ancak terslendirme söz konusu olduğu için çıkış "1" olacaktır. Bu kez 74HCT221 entegrelerine 1. ve 9. Bacaklardan giriş yapan "1" değeri entegrenin yapısına göre içinde bulunan iki flip floptan ikincisinin Q çıkışını "Low", Q' çıkışını ise "High" yapacaktır. Bu değerler entegrenin 5. ve 12. Bacaklarıdır. Bu şekilde alttaki entegreden "High" değeri elde edilmesinin ardından anlattığımız mantığın diğer durumunda ise üst entegrenin çıkışı "High" değerini alır. Tüm bu durumların iki adet zıttı da olasılıklar arasında olması sebebiyle farklı çıkış değerleri söz konusu olmaktadır. Bu özellik; belirli süre açık kalacak darbelerle; doğru lazer darbesinin bu sürelerle örtüşmesi halinde gerçek lazer darbesini olduğu bilgisi için kullanılır.



Şekil 7.4. Darbe genişliği arttırıcı darbe sündürme devresi.

Şekil 7.5.'de görülen devre yapısında "Respack" elemanı sıralı dirençlerden oluşan bir elemandır. Bu elemanın 1'nolu bacağı ortak uç olup sayı yükseltikçe direnç değeri artan bir yapı göstermektedir. Bu direnç sırası kazancın ayarlanabilmesi için idealdir. Aksi halde bu teker teker direnç yerleştirmek gerekli olmasının yanı sıra devre bağlantıları karışık bir hal alması muhtemel olacaktır. Devrenin en üst kolunda Vreferans voltajı oluşturularak; istediğimiz seviye ile kıyaslama yapmamız mümkün hale gelmiştir. J21 konnektörünün 5 'nolu bacağından şekil 7.4.'deki sinyal yapısı devreye giriş yapar. Buradan 4 adet paralel durumdaki op-ampın eviren ucuna giriş yapar. Evirmeyen uçlarda ise Vref bulunmaktadır. kazanç değerini belirleyen dirençlerden en önemlisi op-ampın geri besleme hattındaki direnç değeridir. Bu sebeple sıralı dirençler 4066 analog anahtar ile kazanç direncine paralel duruma getirilerek; kazanç direnç eşdeğeri paralel dirençlerde her iki değerden daha düşük bir eşdeğer hal oluşacağı için kazanç değeri giderek düşürülmektir. Kazanç değerinin düşürülmesi daha önceki bölümlerde anlatılmış olan hedefe olan mesafe azaldıkça, enerji miktarının artması sonucu dedektör çıkışı giderek hatalı olmaktadır. Kazanç değerleri bilindiği üzere sınırsız değildir. Kazanç ile birlikte voltaj değeri olarak alabileceği üst limit değeri op-ampın besleme voltajı olması sebebiyle; bu değerden daha yüksek dedektör çıkışı halinde op-amp saf dışı kalacaktır. Ancak kazanç değeri kademeli olarak düşürülerek bu olayın gerçekleşmesi geciktirilmeye çalışılır.

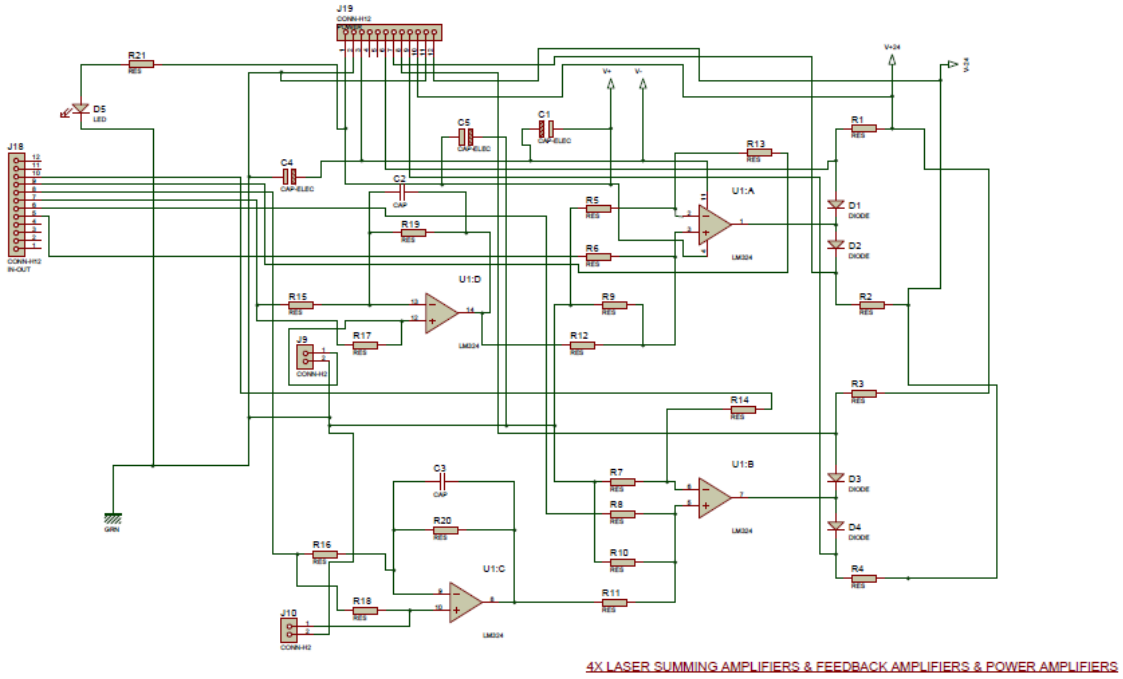
Devrenin sağ kısmı incelenecek olursa; kat buffer ve yükseltici katıdır. Kazanç değerleri değiştirilebilen op-ampların işlediği sinyal; J1 ve J2 konnektörlerine (jumperlar) giriş yapar. Bu konektörler şayet birleştirilirse op-ampın evirmeyen ucu toprakla bağlantılı olur ki; bu durumda evirmeyen yükseltici sanki eviren yükseltici gibi davranmaya başlar. Sebebi ise voltaj değeri negatif uca uygulanmış olur. Aynı mantıkla diğer konnektörle de bu opsiyon mevcuttur. Bu opsiyonu sağladığı avantaj isteğe göre yükseltici seçilebilmesidir. Tek yapılması gereken konektör uçlarının birleştirilmesi olacaktır. Devrede besleme voltajları için kullanılmış olan entegrelerden 78XX ve 79XX elemanlarında; 78 serisi pozitif, 79 serisi ise negatif voltaj regüle etmektedir. Son kısımdaki iki hane ise kaç volt iseteniyorsa o değer göre seçilir.



Şekil 7.5. Otomatik kazanç kontrol ve buffer yükseltici devresi.

Şekil 7.6.'da görülen devre yapısı oto pilot ve motor sürücü devrelerine hazırlık amacıyla uygulanmıştır. Burada ilk katta bulunan integral alıcı olarak kullanılmış op-amplar PI tipi bir kontrol yapısı kullanarak feed-back oluşturulmuştur. Sonraki katta bulunan 2 adet op-amp elemanı ise kazanç değerleri olmaksızın, girişlerindeki değerleri matematiksel olarak toplama/çıkarma yapmaktadır. Bu şekilde yunuslama ve sağ-sol eksen hareketlerindeki farklılıklar ile motor sürülebilecektir. Son katta bulunan diyotlar

ise toplama elemanı olarak kullanılan op-ampların çıkışlarında oluşabilecek negatif alternans durumunu yok etmek ve pozitif sinyalleri seçmek için anot-katod dizilimi oluşturulmuştur.

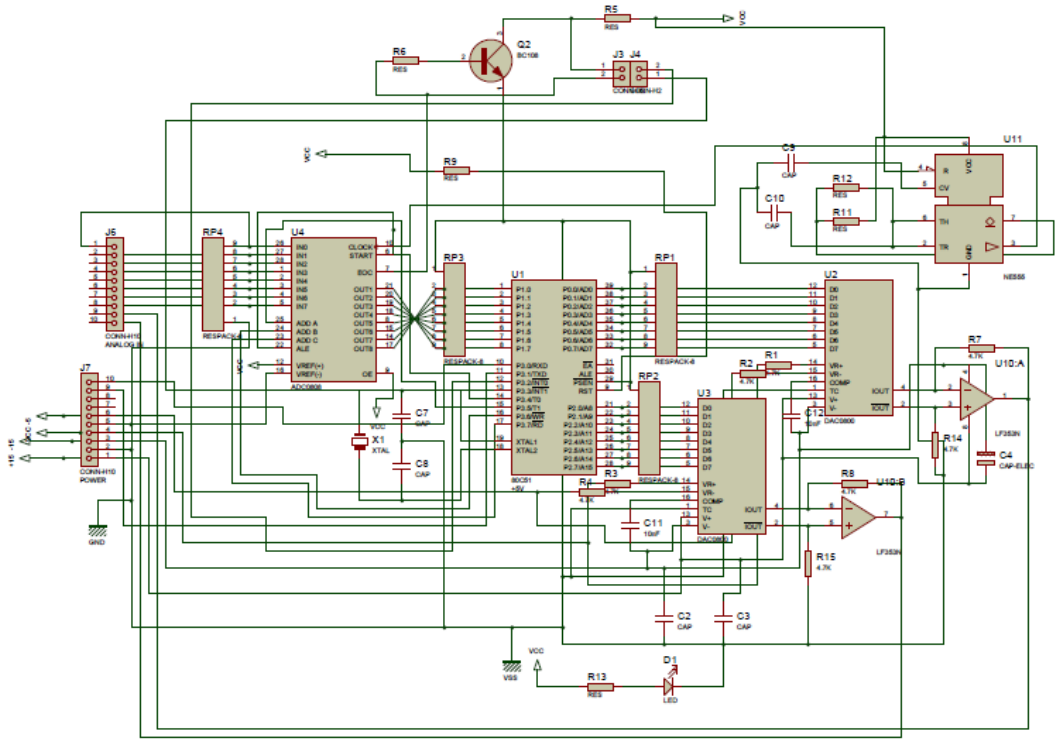


Şekil 7.6. Lazer toplama-yükseltme, Feed-Back ve güç yükseltme devresi.

Şekil 7.7.'de mikro kontroller ile oto pilot devresi tasarlanmıştır. Oto pilot devresine ihtiyaç olmasının sebebi kazanç ayarlama devresi anlatılırken enerji büyüklüğünün belirli bir mesafeden sonra dedektörün işlem yapamamasına sebep olmaktadır. Bu sebeple dedektörün devrede olmadığı an itibariyle sistemi kontrol edecek yapıya ihtiyaç duyulmaktadır. Aksi halde sistem kararsız şekilde dış etkenlere göre uçar. Oto pilot devresinin çalışması mantığı ise; dedektörün körelmesi gerçekleşmeden hemen önce hedef için algılanmış en doğru bilgileri oto pilot devresi hafızasına kaydeder. Bu bilgilere göre sistemi sabitler ve sadece bu konum ile uçmasını sağlar.

Devre yapısı olarak çalışması ise; sistemde mevcut durumda bulunan analog bilgileri mikro kontrollera iletmek durumda olduğumuz için dijital hale getirmek zorundayız. İşlemlerin ardından tekrar analog değere çevirerek diğer devre yapılarına aktarılabilecek hale gelecektir. Bu sebeple devrede ADC ve DAC kullanılmıştır. RP1, RP2, RP3 ve RP4 elemanları ise sıralı direnç serileridir. 80C51 mikro kontroler elemanın seçilmesindeki etkenlerden biri oto pilotun sınırlı olarak Rom kullanması gerekli

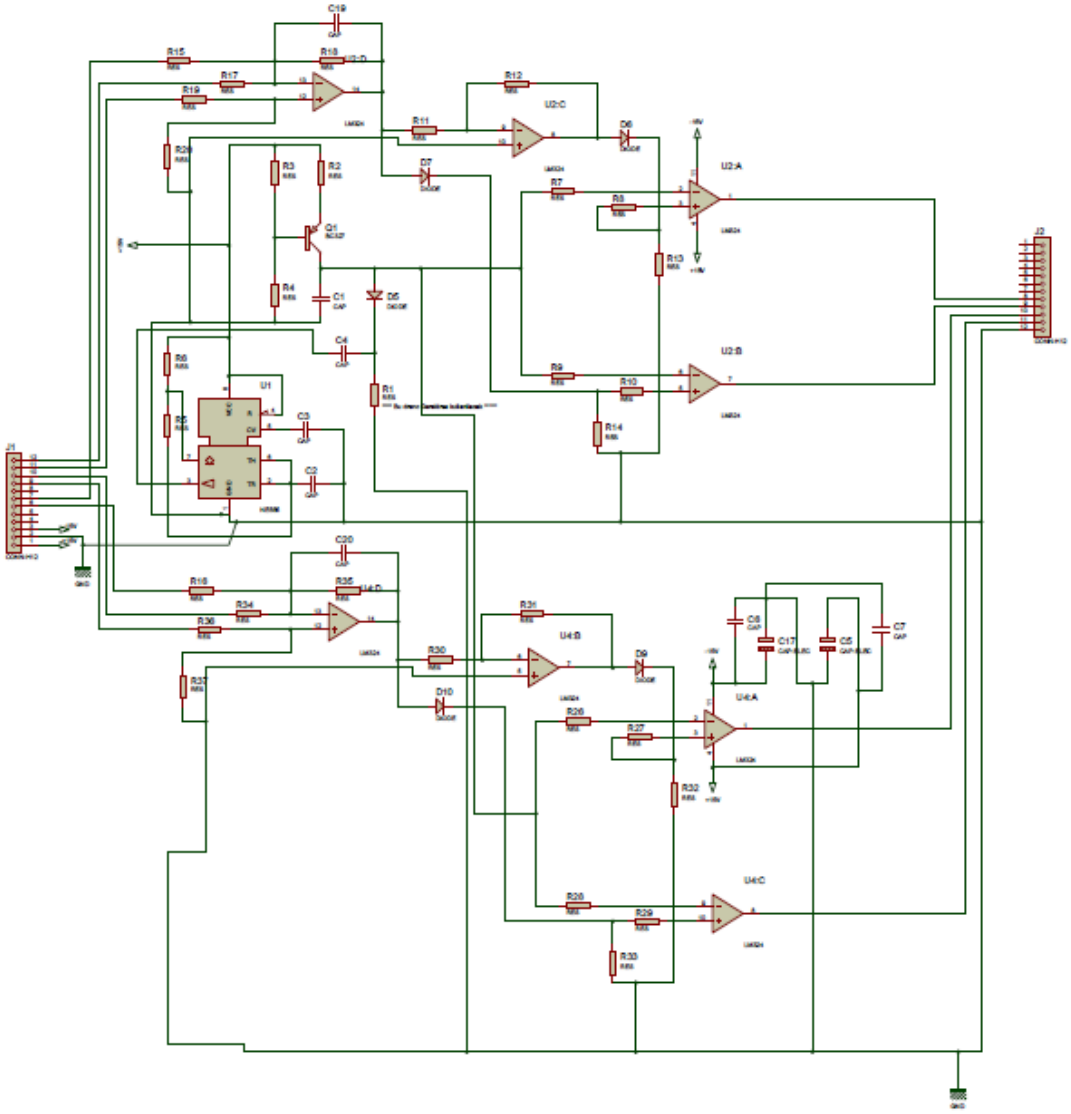
olması, 10-40 Mhz çalışma frekansı, 4 adet 8 Bit analog ve dijital I/O data olanağına sahip olmasıdır. Devrede NE 555 elemanı clock darbeleri için osilatör olarak kullanılmıştır. Mikro kontrolera bağlı bulunan kristal osilatör ise çalışma frekansının dar bir alanda tutulması amacıyla kullanılmıştır. Üst kısımdaki transistör ile birlikte J3 ve J4 konnektörleri ise program yükleme ve çalıştırma amacıyla kullanılmıştır. Devrede diğer dikkat edilmesi gereken husus tek analog giriş setine karşılık; çıkışta mikro kontrolleın işlediği iki set analog değer oluşturulmalı ve programı da buna göre yazılmalıdır. Sebebi ise amaçladığımız unsur devrelerin toplamı sonrasında çıkışın x-y ekseni ve yunuslama ekseni olarak iki değer vermesidir. Son olarak 2 adet analog değer U10:A ve U10:B olarak kodlanmış op-amp elemanlarının çıkış voltajından elde edilecektir.



Şekil 7.7. Oto pilot mikro kontroller devre yapısı.

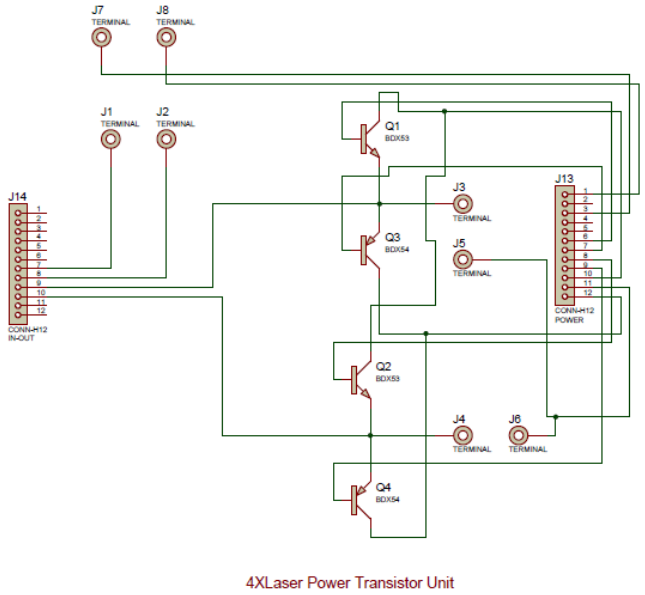
Şekil 7.8.'de görülen devre yapısı sistemimizde mevcut olan 2 adet step motoru dedektör bölmelerinden gelen bilgilere göre sürebilmek amacıyla oluşturulmuştur. Burada NE 55 elemanı kare dalga osilatörü olarak kullanılarak PWM için darbe üretmektedir. Devrede kullanılmış olan integral alıcı devreler (altta ve üstte); testere dişi dalga formu vererek motora iletilecek olan darbelerin sürelerini

ayarlamaktadırlar. 4093 elemanları ise schmitt tetikleyici karakterdedir ve devrede kare dalga oluşmasını sağlarlar.



Şekil 7.8. Analog PWM motor sürücü devresi.

Şekil 7.9.'da görülen ve sistemdeki elektronik kısmın son katında bulunan yapıda; 4 adet BD 135 transistörleri mevcuttur ve bu elemanlar güç transistörleri olup motorları sürebilmek adına çıkış empedansı düşük olmasına rağmen giriş empedansı yüksek bir yapıya sahiptir. Step motorlarda oluşabilecek zıt emk alanları sonucu transistörler hızla bozulabileceği için seçtiğimiz elemanların içinde uygun diyotlar mevcuttur. Şayet başka bir eleman seçimi gerekli olsaydı bu duruma göre trsansistörlerin çıkışı zıt yönlü diyotlarla desteklenmeliydi.



Şekil 7.9. Güç transistör katı.

Devreler tamamlandıktan sonra Proteus programı ile test edilmiştir. Ardından bu programın eklerinde bulunan Ares adlı yazılımla baskı devre oluşturulmuştur.

8. BÖLÜM

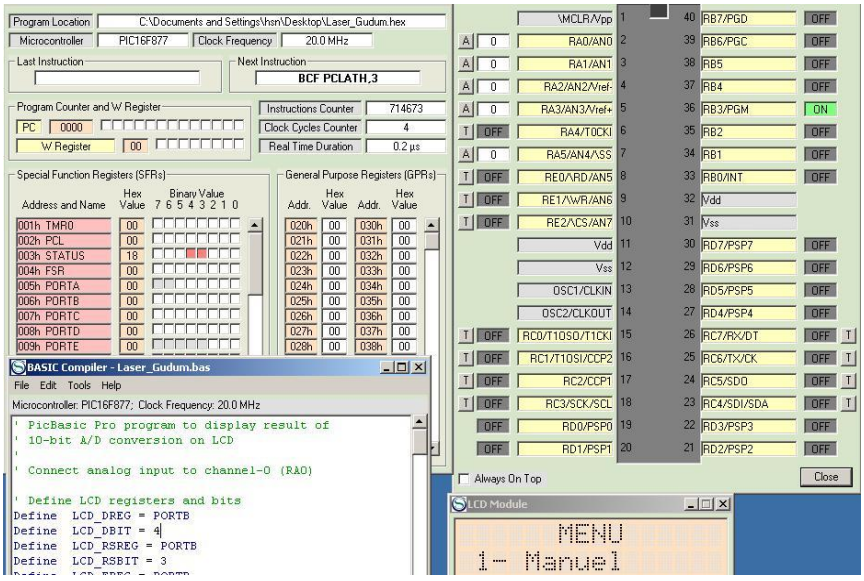
KONTROL SİSTEMİ VE KUMANDA ELEMANLARI

8.1. Kontrol Kartı Tasarımı

Ara yüz program ve bilgisayar ikilisi ile sistem çalıştırılabileceği gibi; PIC 16F877A şeklinde piyasada bulunan mikrokontroler ya da mikroişlemci programlayarak ta sistem kumanda edilebilir. Tezimizde her iki durumda gösterilecektir. Ancak test aşamasında sistem mikro kontroler programlanarak test edilmiştir. Kullanılan Pic kodları Ek-A'da verilmiştir.

8.1.1. Kullanılan PİC programı

Tasarlanan kontrol kartında kullanılan PIC 16F877A entegresi Pic programlama programları ile programlanmak zorundadır. Çalışmada " Pic Simulator Ide " programı ile programlandı. Bu programın ana ekranı şekil 7.1.'de görülmektedir.



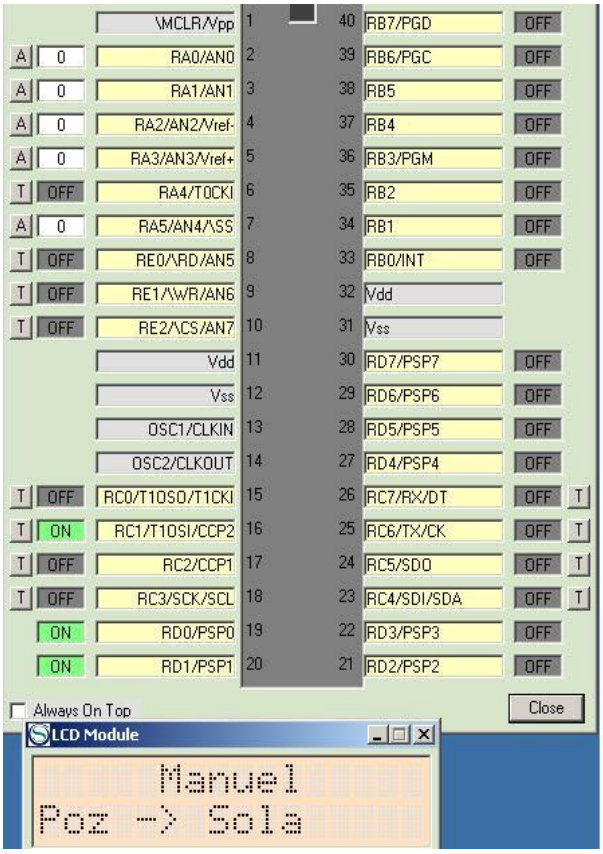
Şekil 8.1. Kontrol Kartı İçin Hazırlanan Program Simulasyonu.

Şekil 8.1.'de görülen simulasyon ekranında derleyici (compiler) ekranında komutlar yazılarak 16F877A simulatörü üzerinde çıkış ve giriş değerleri kontrol edilebilmektedir. Ayrıca kullanılacak olan display ekranı da aynı şekilde ekrana taşınarak meydana gelen değişiklikler kontrol edilebilmektedir. Genel olarak 3 opsiyonlu menü kullanılmıştır. Bunlar:

1. Manuel
2. Otomatik
3. Test

8.1.1.1. Manuel Menü

Bu menün oluşturulma amacı bağlantısı yapılan uçların her an kontrolünün yapılabilmesi ve ön ayarlama gibi işlevsel olmasıdır. Şekil 8.2.'da görülen ekranda 16, 17, 18, 23'nolu bacaklardan istenilen yöne kontrol amaçlı olarak yönelme sağlanabilmektedir.

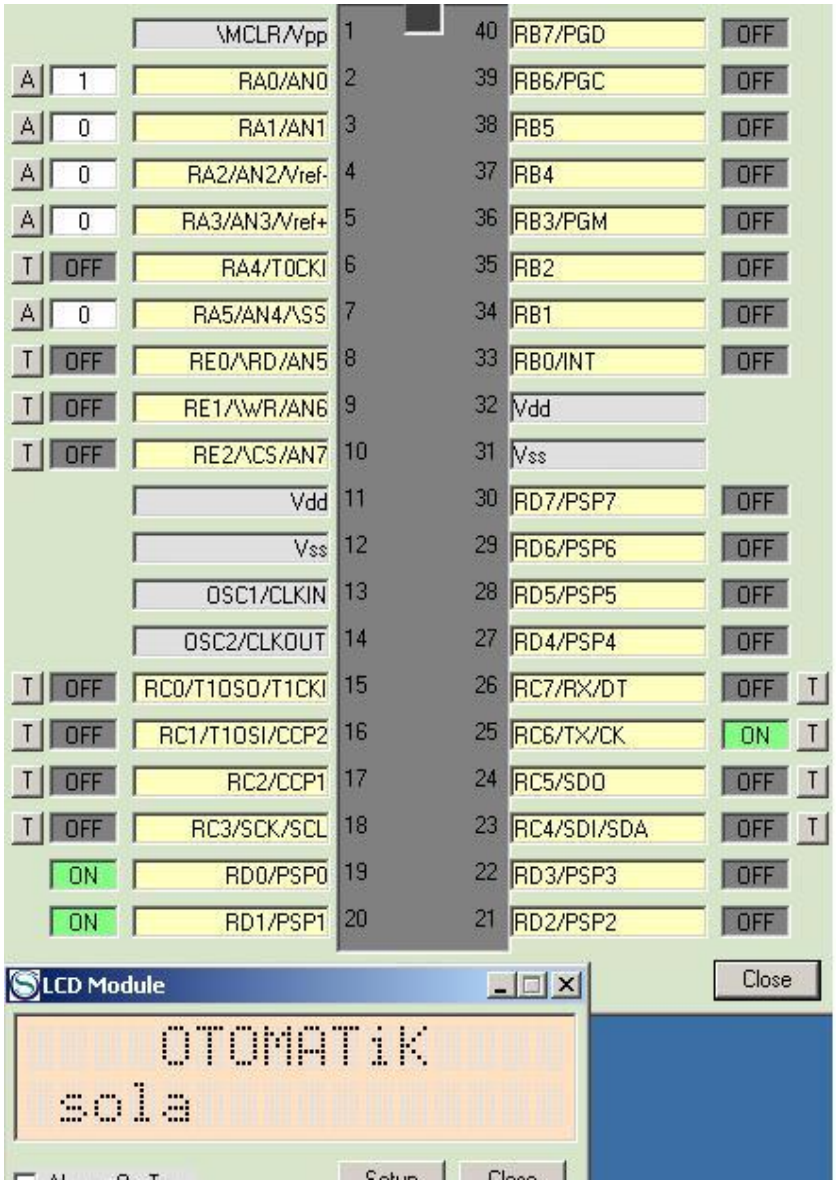


Şekil 8.2. Simulasyon ekranında sola manuel dönüş.

8.1.1.2. Otomatik Menü

Bu opsiyon esasında sistemin gerçekte yapması gereken görevi olup; hangi konumda olursa olsun sistemi takipte tutmaya çalışacaktır. Pic 16F877A'nın 2, 3, 4 ve 5 numaralı bacaklarından analog değerleri değiştirerek (bu değerler sensör çıkışlarıdır) sistemin nasıl davranış gösterdiğinin display üzerinde oluşması görülmektedir.

Şekillerde görülen yön bilgileri ise hangi doğrultuda gittiğini göstermektedir. Yani sol dedektöre gelen ışın sonucu sistemimiz sola dönerek ışının orta noktaya düşmesini sağlayacaktır. Dolayısıyla " otomatik sola " şeklinde yazı okunacaktır.



Şekil 8.3. Simulasyon ekranında otomatik ekranın aktif hale getirilmesi.

8.1.1.3. Test menüsü

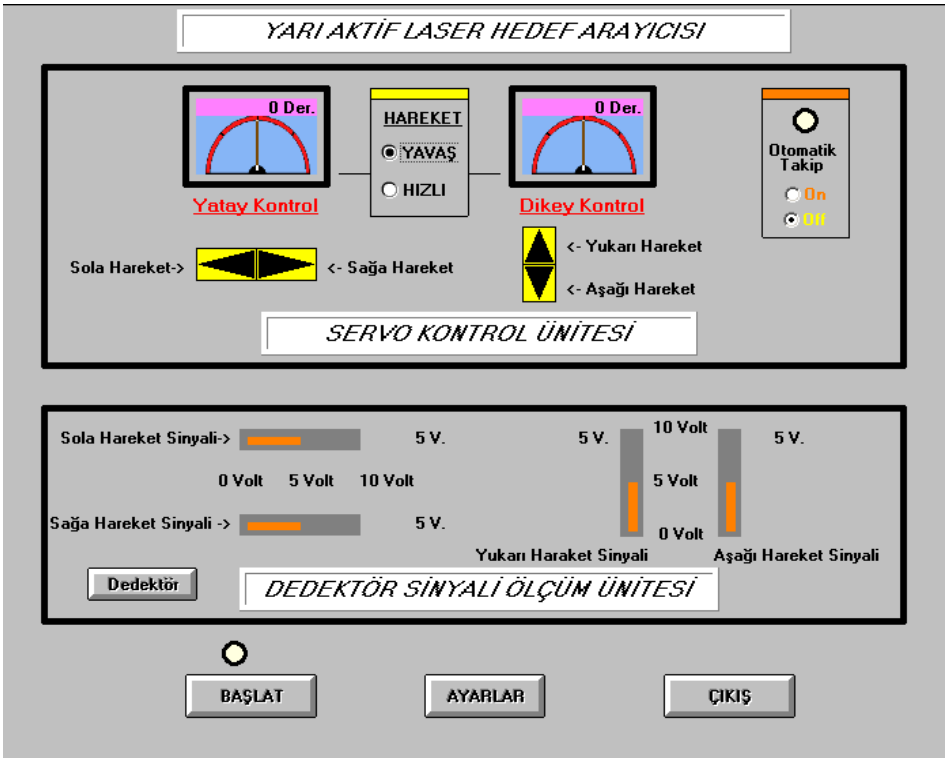
Bu opsiyonda hedeflenen; dedektörün çalışmasının testi ve 4 bölmeli dedektörün hangi bölümüne daha çok ışın gelmişse o bölmede üretilen voltaj değeri o denli yüksek olacak ve bu değerler ekranda görülebilecektir.

Yukarıda belirtilen opsiyonlar tamamlandıktan sonra daha önce kodlarının bir kısmı belirtilmiş olan devre sistemi tamamlanarak Pic programlayıcı ile Pic 16F877A'ya yüklenmiştir. Kontrol ünitesi işlemci ve analog çevirici kartların yardımıyla pc üzerinden yapılabilmesi ihtimaline karşın; max232 entegresi ile seri port çıkışı da eklenmiştir. Ancak tercihimizi kumanda ile kontrol olarak seçmemiz sebebiyle kullanılacaktır.

8.2. Arayüz Program Kullanımı İle Kumanda

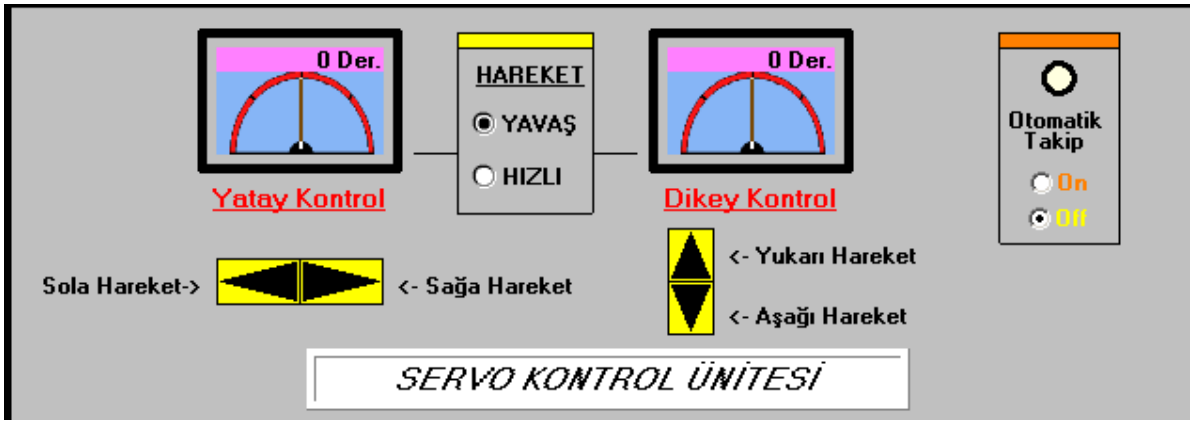
Kullanılan program ara yüzü; tefarruatı olan ve yapılması için özel olarak tasarlanması gereken kartların yerine düşünülebilir. Diğer amaç ise bu tarz sistemlerin program kullanılarak RS 232 seri portları ile kontrol edilmesidir. Program Visual Basic 3 programı ile gerçekleştirilmiştir. Sebep ise tasarım aşamasında kullanılması gerekli olan iki adet karta uyumlu bir bilgisayarın nadir bulunmasıdır. Bu sebeple bu kartlara uyum gösterecek olan bilgisayar modeli "endüstriyel bilgisayar" olarak adlandırılan bilgisayar kullanılmalıdır. Bu bilgisayar kartlara uyum gösterse de ya çok pahalı ya da eski model olması sebebiyle günümüz bilgisayarlarındaki gibi kolay program yükleme ve dış donanımlar ile rahat çalışamamaktadır.

Bu sebeple sadece CD ile kısıtlı erişim yapılabilmektedir. Ayrıca işletim sistemi ve diğer etkenlerden dolayı Windows 98 ve alt sürümler desteklenmektedir. Tüm bu etkenlerden dolayı Visual Basic 3 versiyonu ile ara yüz tasarlanmış ve sistem kumanda edilmiştir.



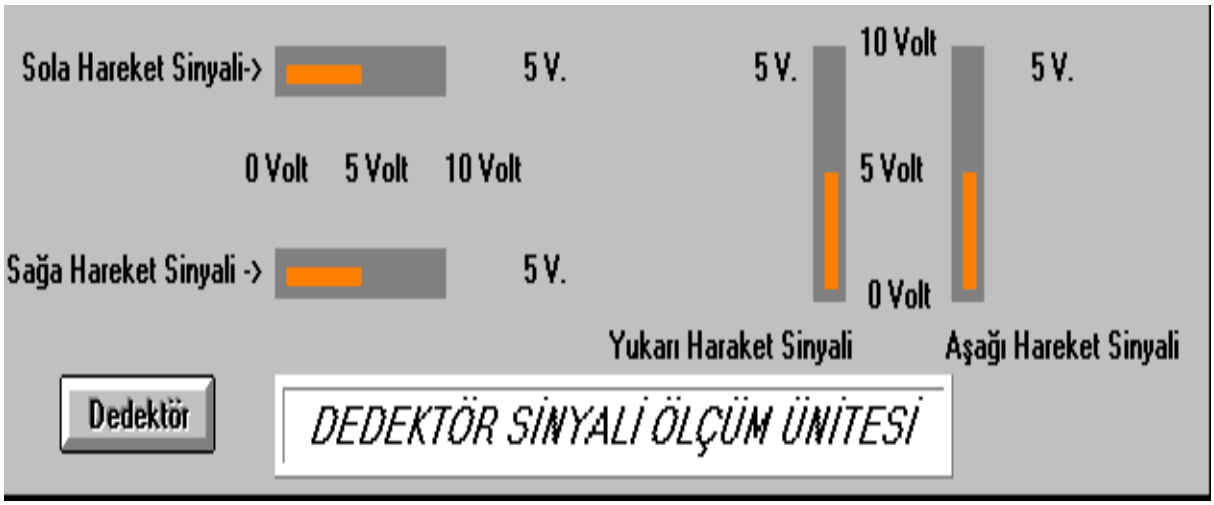
Şekil 8.4. Arayüz programın ana sayfası.

Ara yüz programı iki ana üniteden oluşmaktadır. Bunlardan ilki şekil 8.4.'de görülmektedir. Bu menüde step motorların yön ve hareket etme miktarını göstermektedir. Yavaş–hızlı menüsü takip sistemindeki hızı kontrol etmektedir. Şekil 8.5.'de görülen derece ve hemen altında hareketin başlama noktasına karar verebilmek için kullanılan hareket ikonları görülmektedir. Ayrıca sistemi istediğimiz noktadan itibaren başlattığımız varsayarak; otomatik kumanda (Otomatik Takip) ünitesi aktif hale getirilerek kenetlenme (yakalama) tamamlanabilir.



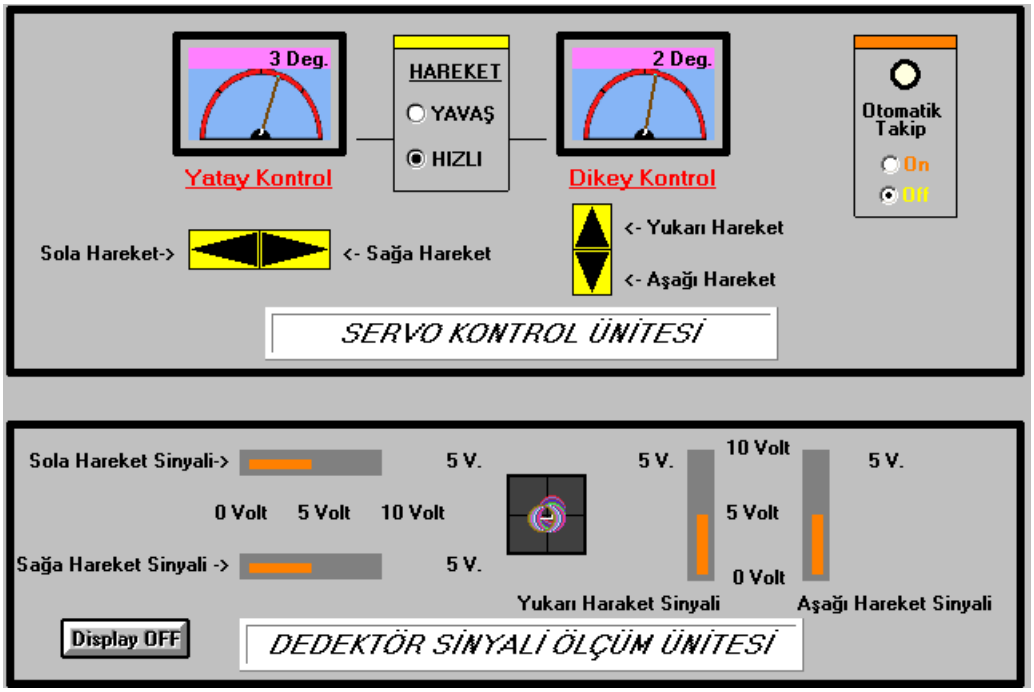
Şekil 8.5. Hareket ve kenetlenme komutlarını aktif hale getiren ünite.

İlk ünitenin izahından sonra bu ünitenin çalışma mantığını özetlersek; dedektörden gelen ya da elle verilen konuma göre servo motorlar hareket sinyalinin hızı, şiddeti ve yönüne göre 0-10 V aralığında voltaj üretmektedir. Bu voltajın 0-5 V düzeyi sağ-sol hareketindeki karşılığı sola dönüş, 5-10 V karşılığı sağ dönüştür. Ayrıca 0-5 V yukarı-aşağı kontrolünde ise aşağı, 5-10 V aralığı ise yukarı hareket yönü olacaktır. Ancak ara değerlere göre derece ayarı yapılacaktır. Örneğin: sol-sağ yönündeki 2,5 V mertebesindeki voltajın karşılığı 180 derecelik dönüş aralığında 45 derece konumunu temsil etmektedir. Şekil 8.5.'de görülen yavaş ve hızlı konumlandırma ikonu motor hızına karar vermektedir. Şekil 8.6.'da voltaj değerleri verilen ya da o anki takipte konum değerine göre göstergede görülebilmektedir.



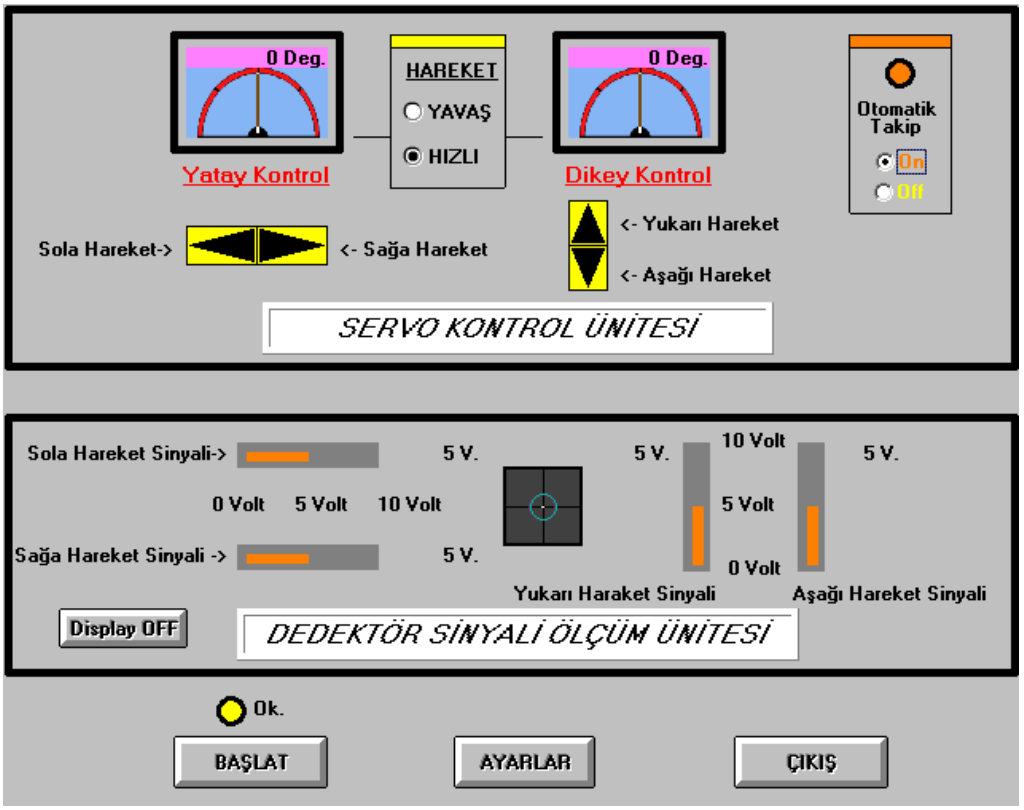
Şekil 8.6. Verilen değerlere göre konum-voltaj değişimini gösteren ekran.

Şekil 8.7.'de görülen ekranda rastgele verilen bir konum değerinden yakalama (90 derecelik ışın gelmesi hali) haline geçiş halinin dedektör simulatörü üzerindeki karşılığı görülmektedir. Görüldüğü üzere değişen konumlara göre dedektör simulatörü üzerindeki spot noktası yer değiştirmektedir. Bu unsur ile gelen ışığın dedektöre nasıl düştüğü rahatlıkla görülmektedir.



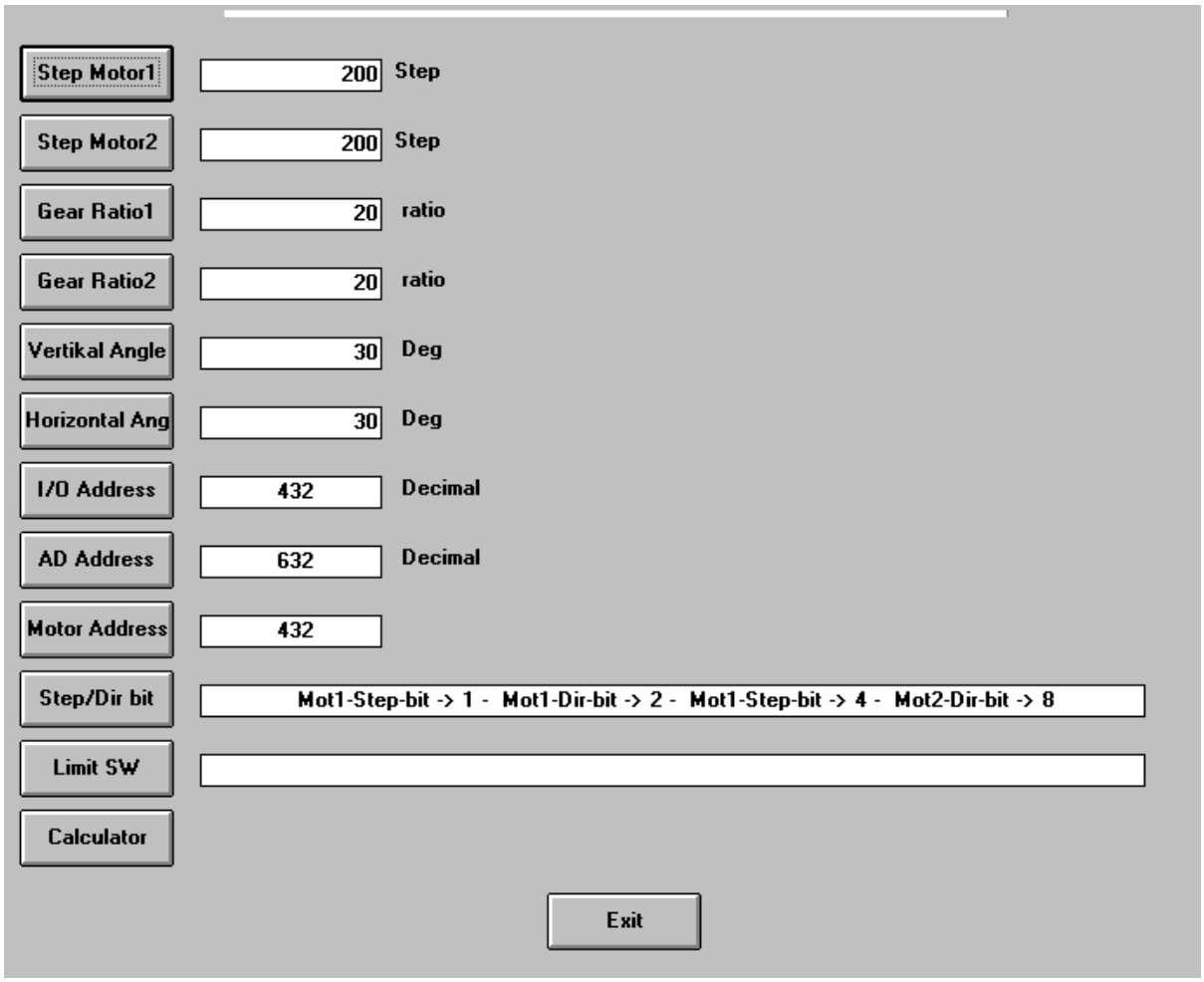
Şekil 8.7. Dedektör üzerine gelen ışının konumunu gösteren ikon.

Şekil 8.8.'de görülen ekranda dedektör tam yakalama olayını tamamlamış ve değişmiş olan değerlere cevap vererek takibi tamamlamış ve kenetlenmiştir. Yani bu ondan sonra hiçbir şekilde ışın kaynağını bırakmaz hale gelir. Ekranda dedektörün yakalama halindeki spot konumu görülmektedir.



Şekil 8.8. Dedektörün kenetlenme anındaki ekran değerleri ve spot konum simulatörü.

Şekil 8.9.'de görülen ekran ise sahip olunan motorların hızını, adım büyüklüğünü, hangi port değerlerinin çıkış vereceğini, mümkünse redüktör tahvil oranlarını v.b. değerleri değiştirebilme olanağı vardır.

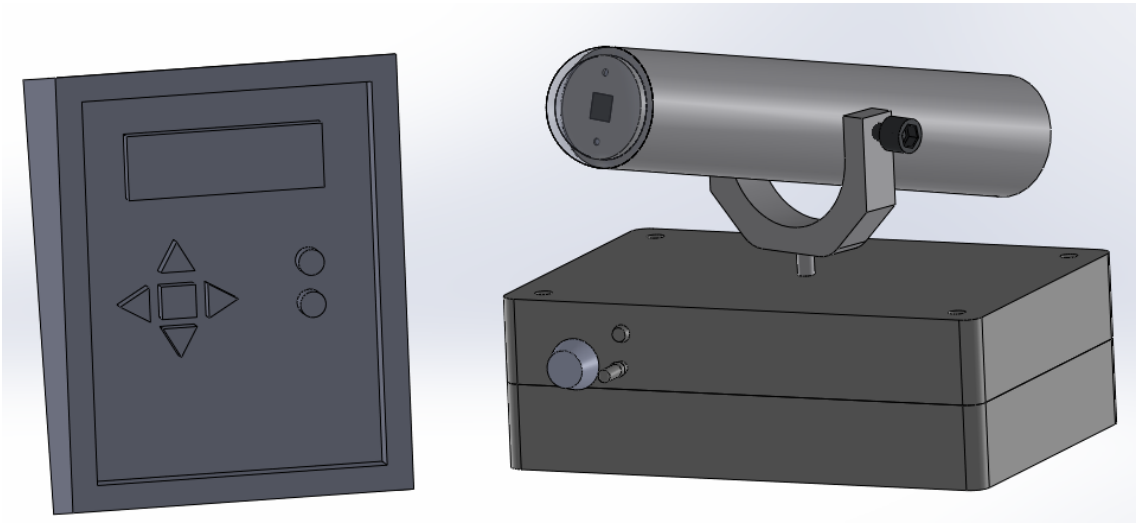


Şekil 8.9. Program ile çeşitli ayarlamaların yapıldığı ekran.

9. BÖLÜM

CAD TASARIM VE SİSTEMİN TEST EDİLMESİ

9.1. Mekanik Parçaların Tasarımı



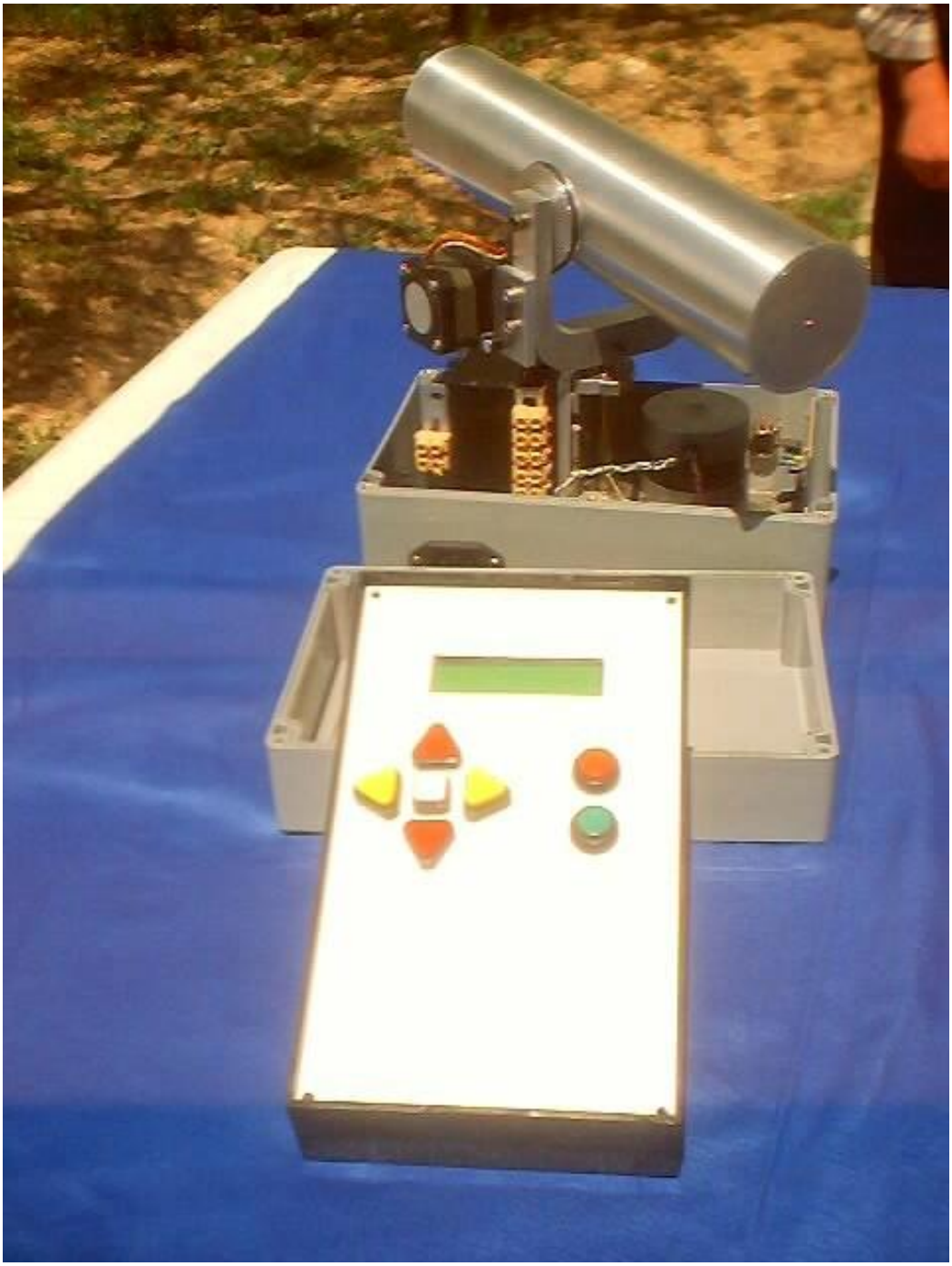
Şekil 9.1. Ele alınan sistemin CAD tasarımı.

Mekanik aksam için öncelikle elde olan malzemeler tercih edilmesi sebebiyle tasarım kabalaşmıştır. Ancak görüntüsüne göre işlevsel olarak herhangi bir aksaklık yaşatmamıştır. Sadece güvenlik faktörleri, sağlamlık v.b. faktörler gerekenden fazla değere sahip olmuşlardır. Cad çizimi ise şekil 9.1.'de görülmektedir.

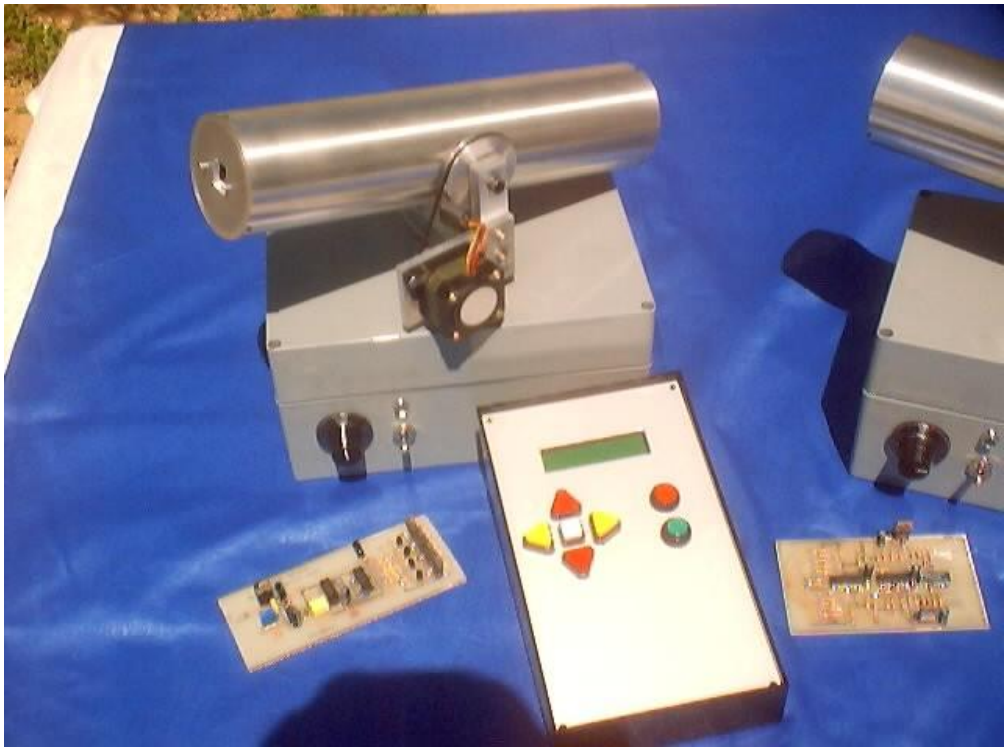
Sistemde var olan elemanlara göz atmak gerekirse sol altta yer alan ayar butonu ile step motorların hız ayarı sağlanmıştır. "Y" bağlantı ile dairesel (kartın büyüklüğü buna sebep olmuştur.) gövdeyi tutması ve tek eksende dönebilme amacıyla seçilmiştir. Ön kısımda bulunan filtre görevi gören poliüretan halkanın vazife ve boyutsal olarak belirlenmesinde fotosensörün kesit alanı etkili olmuştur. Arka kısımda ise yukarı-aşağı ekseni süren 2. Step motor bulunmaktadır "Y" elemana bağlıdır. Alt kısımdaki blok ise sistemin kararlı şekilde hareketine imkan verecek kadar güçlü ve ağırdır. Bloğun

arkasında enerji için bilgisayar güç kablosuna benzer kablo jakı bulunmaktadır. Ayrıca çizimde gösterilmeyen joy stick butonlarının bulunduğu kumandası ve üzerinde de display bulunmaktadır.

Ele alınan sistem daha önce belirtilen tüm unsurlar dikkate alınarak prototipi üretilmiştir ve çalışmaktadır. Şekil 9.2. ve Şekil 9.3.'de prototip uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 9.2. Prototip uygulaması ve temel iç yapısı.



Şekil 9.3. Prototip uygulaması ve kontrol kumanda kartları.

9.2. Oto Pilot İle Kumanda Sistemi

Oto pilot gereksinimi gerçek çevre şartlarında atışa hazır mühimmatlarda hedefe isabetin çok yüksek olması istenilen durumlarda kritik öneme sahiptir.

Güdüm sistemleri; lazerin hedefe çarpmasından sonra yayılan ışınlara yönelmektedir. Gelen bu ışınlarda çok yüklü enerji mevcuttur. Çarpma, çevredeki cisimlerden yansıma ve saçılma gibi faktörlerden ötürü bu enerji azalmaktadır. Ancak bu enerji arayıcıya ulaşacak kadar enerjiyi her durumda korur. Füze hedefe yaklaştıkça bu enerji yoğunluğu giderek artar ve arayıcı öyle bir noktaya gelir ki gelen enerji karşısında karar veremez hale gelir. Bu durum "körleşme" olarak adlandırılabilir.

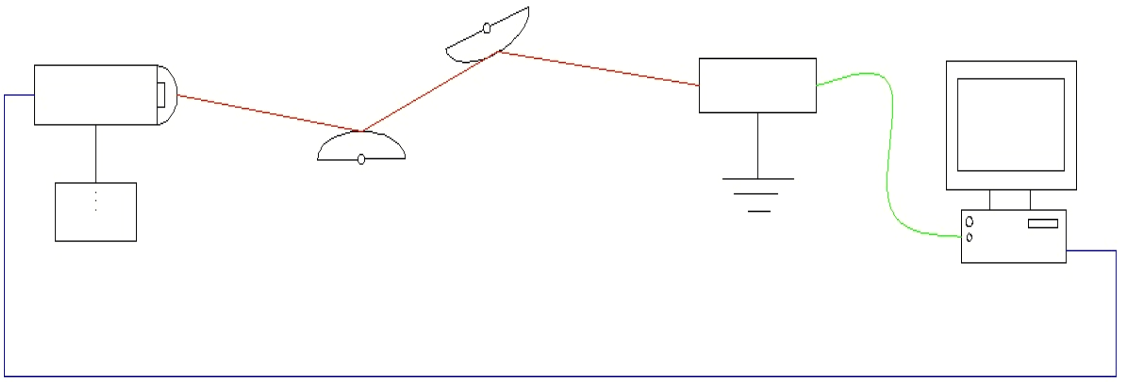
Körleşme durumu hedefe çok yaklaştıkça oluşan bir durumdur. Bu mesafe kısa da olsa hedefi ıskalama şansı yüksektir. Bu durumlara karşı alınan önlem ise; arayıcının körleşme öncesinde aldığı son tutarlı durumdaki rotasını hafızasına kaydeder ve bu rotaya sadık kalarak hedefe çarpmasıdır. Bu şekilde hedef harekete geçse bile yüksek oranda isabet kaydedilebilecektir. Bu sisteme ise "Oto Pilot Sistemi" denir. Bu sistem

aynı zamanda IR, NIR (yakın infrared) ve CCTV (kamera) güdüm sistemlerinde de kullanılmaktadır.

Sistemimizde bu otonom kontrol ünitesi çevre şartlarında hareketli (mobile) olamadığı için tam anlamıyla test (hedefe çok yakın konumda iken körleşme durumu gözlenemediğinden) edilememiştir. Ancak kumanda devresi hazırlanırken (Bölüm.7) kilitlenme menüsü ile bu durum ilave komutlarla kısmen aşılabilir. (Deney gereklidir.)

9.3. 6 Serbestlik Dereceli Test Düzeneği (6 DOF)

Lazer arayıcı sistemlerinin performansı; füzeye yerleştirildikten sonra uçuş öncesinde bazı testlerden geçirilmelidir (Statik testler). Bu testlerden en sık kullanılanı 6 serbestlik dereceli test düzeneğinidir. Çünkü füzeyi kontrol eden ve yönlendiren kısım arayıcı ünitesidir. Bu düzenek toplamda 6 adet serbestlikte hareket edebilir. Bunlardan 3'ü arayıcı sisteme bağlanır. Diğer 3 serbestlik noktası ise lazer ışını değişik uzay düzlemlerinden göndererek testi yapan düzenektedir. Aradaki yansıtıcı (optik) elemanlar farklı uzay düzlemlerinden lazeri arayıcıya yöneltir. Bu test düzeneği ve arayıcı ekipmanı, bilgisayar ve bu teste uygun yazılım ile bağlantılıdır. Test için gerekli noktalar belirlenir ve senaryoya göre noktalara karşı arayıcının gösterdiği takip hızı ve kesinliği kontrol edilir. Şekil 9.4.'de test düzeneği şematik olarak gösterilmiştir.



Şekil 9.4. 6 Dof test düzeneği.

6 Dof test düzeneği dışarıdan sağlanarak sistem testleri tamamlanmak istense de çok sınırlı yerde olan bu sistemle yapılması planlanan test sonuçları elde edilememiştir. Ancak fiziki ve gerçek zamanlı olarak yapılan denemelerde sistem başarılı şekilde görevini yürütmektedir.

10. BÖLÜM

TARTIŞMA, SONUÇ VE ÖNERİLER

10.1. Tartışma, Sonuç ve Öneriler

Sonuçta tezimize yapılan tasarıma gelen olarak ele alırsak; dijital olarak dış dünyadan elde edilen 1.06 μm'lik lazere duyarlı 5 km yatay, 2 km düşey mesafeden algılama yapabilecek menzile sahip bir güdüm sistemi prototipi oluşturulmuştur. Bu sistem doğrudan 3 Mach hızı ile test edilememiştir. Çünkü yakıt ve motor ünitelerinin mevcut değildir. Ancak manuel yapılan testlerde başarılı sonuçlar vermiştir.

Teze devam edilecek olursa: öncelikle IMU ve dedektör uyumuna sahip çiftler standart alınarak; son teknolojiye sahip sistem oluşturmak tezimizin devamında incelenebilecek olan hareket ve dinamik şartları daha rahat inceleme olanağı verecektir. Çünkü tezin oluşturulması tamamen kart ve programa dili kullanımı ile gerçekleştirilmiştir ve bir sonraki adım olan motor ve actuator sistemlerine geçtikten sonra geriye dönerek sistemi yenilemek çok zor olacaktır.

Arayıcı sistemi seçimlerinde ise; tezimizde kullandığımız parametreler hedeflenen menzil, çalışma sıcaklık ve nem değerleri, füze hızı ve g kuvvetleri gibi unsurlara göre ele aldığımız yapılar değişebilecektir. Tezimizde bu unsurlardaki değişikliklere göre nelerin yapılması gerektiği verilmiştir.

Sonuçta hassas güdümlü tüm sistemler mantıksal olarak bu düzende çalışmaktadır. Bu sebeple lazer metodolojisi yerine; CCTV, IR ya da NIR gibi tasarımlar kullanılarak güdümün yapısı değiştirilebilir. Ancak dikkat edilmesi gereken hususlar hassasiyet değerleri, çalışma koşulları, maliyet ve sistem hazırlandıktan sonrasındaki testleri oldukça önem verilmesi gereken konulardır.

KAYNAKLAR

1. B. J. Nagle , “System Analysis and Design of a Low-Cost Micromechanical Seeker System”, s.35-51, Mayıs 2008.
2. P. Zarchan, Tactical and Strategic Missile Guidance. ,5th ed., vol. 219, Reston, American Institute of Aeronautics and Astronautics, 2007, pp. 888.
3. G. M. Siouris, “Missile Guidance and Control Systems”, s.15-22; 53-85, Ohio, Kasım 2003.
4. J. DeSpirito, M. E. Vaughn, W. D. Washington, “Numerical Investigation of Aerodynamics of Canard-Controlled Missile Using Planar and Grid Tail Fins-Part I: Supersonic Flow ”, s. 8-21, Arsenal, Ekim 2002.
5. Li Jingming, “An Adaptive Kalman Filter For Tactical Missiles Guidance Systems”, s.26-34, Ontario, Ocak 1993.
6. E. Akkal, “Control Actuation Systems And Seeker Units Of An Air-to-Surface Guided Munition”, s.25-29, Ankara, Aralık 2003.
7. M. Marietta, Laser Seekers and Requirements, s7-35.
8. Z. P. Barbaric and L. M. Manojlovic, "Optimization of optical receiver parameters for pulsed laser tracking systems," in 6th International Conference on Telecommunications in Modern Satellite, Cable, and Broadcast Services-TELSIKS 2003, s.192-201, 2003.
9. G. L. Knestrick, T. H. Cosden and J. A. Curcio, "Atmospheric attenuation coefficients in the visible and infrared regions," Naval Research Laboratory, 1961.
10. A. Mecherikunnel and C. Duncan, "Total and spectral solar irradiance measured at ground surface,", vol. 21, s.554-556, 1982.
11. B. van Ginneken, M. Stavridi and J. J. Koenderink, "Diffuse and specular reflectance from rough surfaces," Appl. Opt., vol. 37, s. 130-139, 1998.
12. D. Blanchard, "A Brief History of Air-Intercept Missile 9 (Sidewinder)," & Proceedings, s.139.

13. I. Hamamatsu Photonics. “Position sensitive detector.” 2002. Available: http://www.hamamatsu.com

14. Anonymous. “High voltage P-type quad silicon detector.” Advanced Photonix, Inc. 2006.

15. Judson Technologies, "Indium Gallium Arsenide Detectors," 2004.

16. CRM solutions, Missiles Simulations, Longwood, 2011, http://www.crmsolutionsinc.com/Gallery/tabid/516/Default.aspx

EKLER

EK -A

```
Dim adval1 As Word          ' Create adval to store result
Dim adval2 As Word          ' Create adval to store result
Dim adval3 As Word          ' Create adval to store result
Dim adval4 As Word          ' Create adval to store result
Dim i1 As Word
Dim i2 As Word
Dim i3 As Word
Dim i4 As Word
Dim a11 As Word
….
…..
oto1:
        Adcin 0, adval1 ' Read channel 0 to adval
        Adcin 1, adval2  ' Read channel 1 to adval
        Adcin 2, adval3  ' Read channel 2 to adval
        Adcin 3, adval4  ' Read channel 3 to adval
If adval1 > adval2 Then x = 3
If adval1 < adval2 Then x = 2
If adval1 = adval2 Then x = 0
If adval3 > adval4 Then y = 12
If adval3 < adval4 Then y = 8
If adval3 = adval4 Then y = 0
PORTD = x + y
g = PORTD
 Lcdcmdout LcdLine2Home
If g = 3 Then Lcdout " sola          "
If g = 2 Then Lcdout " saga          "
If g = 0 Then Lcdout "  kilitlendi   "
If g = 12 Then Lcdout "        yukari "
If g = 8 Then Lcdout "        asagi  "
If g = 15 Then Lcdout " sola   yukari "
```

```
If g = 14 Then Lcdout " saga   yukari "
If g = 11 Then Lcdout " sola   asagi  "
If g = 10 Then Lcdout " saga   asagi  "
      klv = PORTC
      If klv = 128 Then Goto menu1
      If klv = 1 Then Goto menu1
Goto oto1
      End
```

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı, Soyadı : Hasan ÖZDEM
Uyruğu : Türkiye (TC)
Doğum Tarihi ve Yeri : 01 Ocak 1984, Ankara
Medeni Durumu : Evli
Tel : +90 530 932 81 80
E–mail : hasanozdemm@gmail.com

EĞİTİM

Derece	Kurum	Mezuniyet Tarihi
Lisans	EÜ M.F. Makine Mühendisliği	2008
	EÜ M.F. Elek-Elektronik Mühendisliği	2008
Lise	Yahya Kemal Beyatlı Lisesi	2002

İŞ DENEYİMLERİ

Yıl	Kurum	Görev
2012- Halen	ROKETSAN ROKET SANAYİ A.Ş.	Makine Müh.
2010	SERVONOM ROBOTİK VE DANIŞ. TİC. A.Ş.	Ar-Ge Müh.
2009	KAYSERİ STROPOR	Üretim Müh.
2008	ERKUNT İNŞAAT	Şantiye Müh.