

**ANKARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

**FÜZE DÖNGÜDE DONANIM TESTLERİNDE KULLANILACAK
ELEKTRO-OPTİK ÖLÇÜM VE TEST SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ**

Murat ŞAHİN

ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI

ANKARA

2008

Her hakkı saklıdır

TEZ ONAYI

Murat ŞAHİN tarafından hazırlanan “Füze Döngüde Donanım Testlerinde Kullanılacak Elektro-Optik Ölçüm ve Test Sisteminin Geliştirilmesi” adlı tez çalışması 26/09/2008 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından oy birliği ile Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı’nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Danışman : Yrd. Doç. Dr. Murat EFE

Jüri Üyeleri

Başkan : Yrd. Doç. Dr. Yakup ÖZKAZANÇ
Hacettepe Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektrik-Elektronik
Mühendisliği A. B. D.

Üye : Yrd. Doç. Dr. Murat EFE
Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği
A. B. D.

Üye : Yrd. Doç. Dr. Hakkı Alparslan ILGIN
Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi Elektronik Mühendisliği
A. B. D.

Yukarıdaki sonucu onaylarım.

Prof.Dr.Orhan ATAKOL

Enstitü Müdürü

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

FÜZE DÖNGÜDE DONANIM TESTLERİNDE KULLANILACAK ELEKTRO-OPTİK ÖLÇÜM VE TEST SİSTEMİNİN GELİŞTİRİLMESİ

Murat ŞAHİN

Ankara Üniversitesi
Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Danışman: Yrd. Doç. Dr. Murat EFE

Bu tez çalışmasında lazer güdümlü füzeler için uçuşlu testler öncesinde yerde gerçekleştirilen döngüde donanım testlerinde kullanılacak Elektro-Optik Ölçüm ve Test Sistemi (EOÖTS) tasarlanması ve geliştirilmesi kapsamında yapılan çalışmalar anlatılmıştır. EOÖTS' ye ait donanım ve yazılım çalışmaları Roketsan A. Ş. bünyesinde gerçekleştirilmiştir. Lazer güdümlü füzenin menzili, hızı ve arayıcı başlığı yapısı gibi temel kavramlar bu sistemin tasarım kriterleri olarak kabul edilmiştir. Bu kriterlere göre hedeften yansıyan lazer enerjisini, pozisyonunu ve ışın çapını laboratuvar ortamında simüle edecek LabVIEW kontrollü gerçek zamanlı veri toplayan ve işleyen test sistemi geliştirilmiştir. Tez kapsamında füze ile gerçekleştirilen testlerde elde edilen sonuçlar ile bilgisayar ortamında simülasyon yazılımı ile gerçekleştirilen testlerde elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır. Simülasyon sonucunda hesaplanan enerji değerleri, gerçek test sonucunda elde edilen enerji değerleri ve teorik olarak elde edilmesi gereken enerji değerleri birbirlerine çok yakın sonuçlar vermiştir.

Ekim 2008, 115 sayfa

Anahtar Kelimeler: Elektro-Optik Sistemler, kontrol sistemleri, lazer, güdümlü füze, sistem algoritmaları, LabVIEW.

ABSTRACT

Master Thesis

DEVELOPMENT OF ELECTRO-OPTIC TEST AND MEASUREMENT SYSTEM FOR MISSILE HARDWARE IN THE LOOP SYSTEM TESTS

Murat ŞAHİN

Ankara University
Graduate School of Natural and Applied Sciences
Department of Electronics Engineering

Supervisor: Asst. Prof.Dr. Murat EFE

This thesis deals with the design and development of an electro-optical test and measurement system (EOMTS) employed in hardware in the loop test of laser guided missiles. Hardware and software development studies for the EOMTS were carried out at Roketsan Inc. facilities. Main concepts such as range, speed and seeker structure of the laser guided missile have been used as design criteria. Real-time data acquisition and processing test system controlled by LabviewTM, which simulates the reflected laser energy from the target, position of the target, and beam diameter in a laboratory environment according to these criteria, is developed. Simulation results have been verified using missile test result. It has been revealed that results obtained from simulations are very close to the values obtained through real-life tests, which also coincide with teoretical predictions.

October 2008, 115 pages

Key Words: Electro-Optical Systems, laser, guided missiles, systems algorithms, Labview.

TEŞEKKÜR

Öncelikle tez çalışmalarımnda tavsiyeleri ve yönlendirmeleri ile katkıda bulunan danışman hocam sayın Yrd. Doç. Dr. Murat EFE'ye, yüksek lisans eğitimim süresince destek olan hocam sayın Prof. Dr. Ahmet DENKER'e, tez çalışmalarım süresince maddi ve manevi desteklerini esirgemeyen Roketsan A.Ş. Güdüm Kontrol Teknolojileri Bölümü müdürü sayın Kazım KÜÇÜKTURHAN'a ve Kontrol Birimi amiri sayın Serkan İNCEL'e, tez çalışmalarım süresince sistemin tasarlanması ve geliştirilmesi aşamalarında yardımlarını esirgemeyen arkadaşlarım Özlem SARIOĞLU, Pelin BAYSAL ve Metin ARSLAN'a, tez çalışmalarım süresince gerekli tüm donanımsal ve yazılımsal kaynakların kullanılmasına izin veren ve çalışmalarını destekleyen Roketsan A.Ş.'ye en içten duygularıyla teşekkür ederim.

Çalışmalarım boyunca bana olan büyük sevgisi ile maddi ve manevi desteğini hiçbir zaman esirgemeyen değerli eşim Selcen ŞAHİN'e çok teşekkür ederim.

Ve hayatım boyunca sevgilerini ve desteklerini hiçbir zaman eksik etmeyen aileme çok teşekkür ederim.

Murat ŞAHİN

Ankara, Eylül 2008

İÇİNDEKİLER

ÖZET.....	i
ABSTRACT.....	ii
TEŞEKKÜR.....	iii
ŞEKİLLER DİZİNİ.....	viii
ÇİZELGELER DİZİNİ.....	xi
1. GİRİŞ.....	1
2. KURAMSAL TEMELLER.....	3
2.1 Lazer.....	3
2.2 Lazer Çeşitleri.....	5
2.2.1 Gaz lazerler.....	5
2.2.2 Yarı iletken lazerler.....	5
2.2.3 Katı lazerler.....	6
2.2.4 Kimyasal lazerler.....	6
2.3 Q Anahtarlamalı Lazer (Q-Switch) ve Lazer Işınımı Zayıflatıcı Etkenler.....	6
2.4 Lazer Aynaları.....	9
2.5 Foto Dedektörler.....	9
2.5.1 PIN diyot.....	10
2.5.2 Dört kadranlı dedektör (Quadrant position sensor).....	11
2.6 LabVIEW Yazılımı ve Gerçek Zamanlı Kontrol.....	12
2.6.1 LabVIEW yazılımı.....	12
2.6.2 LabVIEW ile gerçek zamanlı kontrol.....	14
2.6.3 Haberleşme yöntemleri ve protokolleri.....	16
3. TEST SİSTEMİ DONANIMI.....	19
3.1 Test Sisteminde Kullanılan Veri Toplama ve Gönderme Kartları.....	19
3.1.1 NI-PCI-DIO-96 dijital giriş/çıkış veri toplama ve gönderme kartı.....	19
3.1.2 NI-PCI-6527 dijital giriş/çıkış veri toplama ve gönderme kartı.....	21
3.1.3 NI-PCI-6052 analog giriş/çıkış veri toplama ve gönderme kartı.....	21
3.1.4 Quatech 8-port RS-232 PCI kartı.....	22
3.1.5 GE fanuc PCI-5576 fiber-optik haberleşme kartı.....	23
3.2 EOÖTS Donanımı.....	24
3.2.1 Elektro – Optik kule (EOK).....	24
3.2.1.1 Lazer simülatörü modülü (LSM).....	28
3.2.1.1.1 Q-Anahtarlamalı lazer (Q-Switched - QSL).....	28
3.2.1.1.2 Zayıflatıcı (Internal attenuator).....	30
3.2.1.1.3 Lazer simülatörü teleskobu (LST).....	32
3.2.1.2 Lazer simülatörü dedektörü (LSD).....	32
3.2.1.3 Pilot lazer (Yeşil lazer – YL1).....	33
3.2.1.4 Işın yönlendirici aynalar – 1,2,3,4 (IYA1, IYA2, IYA3, IYA4).....	34
3.2.1.5 Işın ayarlama sistemi (IAS).....	34
3.2.1.5.1 Alt ışın ayarlama sistemi (AIAS).....	34
3.2.1.5.1.1 Koruma kapağı (KK) ve koruma kapağı konum sensörleri.....	35
3.2.1.5.1.2 Delik kapakları (DK1, DK2) ve delik kapakları konum sensörleri.....	36
3.2.1.5.1.3 Nötral yoğunluklu filtreler ve konum sensörleri.....	37
3.2.1.5.1.4 EOK teleskop negatif lens (TNL).....	38
3.2.1.5.2 Üst ışın ayarlama sistemi (ÜIAS).....	39

3.2.1.5.2.1 EOK teleskop pozitif lens (TPL).....	39
3.2.1.5.2.2 Düşük güç enerji metre (DGEM).....	39
3.2.1.5.2.3 Yüksek güç enerji metre (YGEM).....	40
3.2.1.5.2.4 Işın genişletici negatif lens (NL) ve konum sensörleri	41
3.2.1.6 X – Y tarayıcı sistemi	42
3.2.1.7 Dört kadranlı pozisyon sensörü (Quadrant position sensor, QPS)	44
4. TEST SİSTEMİ YAZILIMI	45
4.1 Kalibrasyon Yazılımı	45
4.1.1 Delik kapakları kontrol yazılımı.....	45
4.1.2 ND filtre kontrol yazılımı	48
4.1.3 NL kontrol yazılımı	51
4.1.4 Koruma kapağı kontrol yazılımı	54
4.1.5 QS lazer zayıflatıcı kontrol yazılımı	57
4.1.6 X – Y tarayıcı kontrol yazılımı.....	61
4.2 Statik Test Yazılımı.....	63
4.3 Döngüde Donanım Testlerinde Kullanılan Dinamik Test Yazılımı	71
5. TESTLER ve SONUÇLARI	80
5.1 Kalibrasyon Testleri ve Sonuçları	80
5.1.1 Delik kapakları kalibrasyon testleri ve sonuçları	80
5.1.2 ND filtreler kalibrasyon testleri ve sonuçları	81
5.1.3 QS lazer zayıflatıcı kalibrasyon testleri ve sonuçları.....	81
5.1.4 X – Y tarayıcısı kalibrasyon testleri ve sonuçları.....	83
5.2 Statik Testler ve Sonuçları	85
5.3 Döngüde Donanım Testleri ve Sonuçları	90
6. TARTIŞMA	97
KAYNAKLAR	99
EKLER DİZİNİ	101
EK 1 QS Lazer Zayıflatıcı Kalibrasyonu Sonuçları	102
EK 2 X Tarayıcısı Kalibrasyon Testleri Ölçüm Sonuçları	103
EK 3 Y Tarayıcısı Kalibrasyon Testleri Ölçüm Sonuçları	104
EK 4 Delik Kapakları Statik Test Sonuçları	105
EK 5 ND Filtreler Statik Test Sonuçları	106
EK 6 QS Lazer Zayıflatıcı Statik Test Sonuçları	107
EK 7 Birinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri	108
EK 8 İkinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri	109
EK 9 Üçüncü Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri	110
EK 10 Dördüncü Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri.....	111
EK 11 Beşinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri	112
EK 12 Altıncı Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri.....	113
EK 13 Yedinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri	114
ÖZGEÇMİŞ.....	115

SİMGELER DİZİNİ

AIAS	Alt Işın Ayarlama Sistemi
AlGaInP	Alüminyum Galyum İndiyum Fosfid
Ar	Argon
CO ₂	Karbondioksit
DC	Direct Current
DGEM	Düşük Güç Enerji Metre
DK	Delik kapağı
EOK	Elektro – Optik Kule
EOÖTS	Elektro-Optik Ölçüm ve Test Sistemi
FPGA	Field Programmable Gate Array
GaAlAs	Galyum Alüminyum Arsenid
GaAs	Galyum Arsenid
GPIB	General Purpose Interface Bus
HeCd	Helyum Kadmiyum
HeNe	Helyum Neon
IAS	Işın Ayarlama Sistemi
InGaAsP	İndiyum Galyum Arsenid Fosfid
IP	Internet Protocol
IYA	Işın Yönlendirici Aynalar
kS/s	kg sample/second
kW	Kilo Watt
KK	Koruma Kapağı
LabVIEW	Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench
LASER	Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation
LSD	Lazer Simülatörü Dedektörü
LSM	Lazer Simülatörü Modülü
LST	Lazer Simülatörü Teleskobu
MAE	Measurement & Automation Explorer
mrad	Mili Radyan
ms	Mili Saniye

mW	Mili Watt
ND	Neutral Density
Nd:YAG	Neodyum katkılı İtriyum-Alüminyum-Garnet
NI	National Instrument
NL	Işın Genişletici Negatif Lens
PCI	Peripheral Component Interconnect
PPI	Programmable Peripheral Interfaces
Rx	Receive Data
QSL	Q- Switched Laser
TCP	Transmission Control Protocol
TNL	EOK Teleskop Negatif Lens
Tx	Transmit Data
USB	Universal Serial Bus
UV	Ültraviyole
ÜIAS	Üst Işın Ayarlama Sistemi
W	Watt
YGEM	Yüksek Güç Enerji Metre

ŞEKİLLER DİZİNİ

Şekil 2.1 Lazer ışınının oluşumu.....	3
Şekil 2.2 Elektromanyetik spektrum.....	4
Şekil 2.3 Gaussian ışını profili.....	7
Şekil 2.4 Foto dedektör ile ışın algılama.....	9
Şekil 2.5 PIN diyot.....	10
Şekil 2.6 PIN diyotun ileri kutuplanması.....	10
Şekil 2.7 PIN diyotun ters kutuplanması.....	11
Şekil 2.8 Dört kadranlı dedektör.....	12
Şekil 2.9 LabVIEW ön panel gösterimi.....	13
Şekil 2.10 LabVIEW blok diyagramı gösterimi.....	14
Şekil 2.11 Örnek bir ikon uygulaması.....	14
Şekil 2.12 LabVIEW ile veri toplama ve işleme.....	15
Şekil 2.13 Gerçek zamanlı kontrol sistemi.....	15
Şekil 2.14 Fiber optik iletişim.....	18
Şekil 3.1 Veri toplama ve gönderme işlemi.....	19
Şekil 3.2 LabVIEW ile DIO-96 kullanılarak veri gönderme.....	21
Şekil 3.3 LabVIEW ile RS-232 portu kullanılarak veri gönderme.....	23
Şekil 3.4 EOÖTS donanımı şematik gösterimi.....	24
Şekil 3.5 EOK bölümleri.....	26
Şekil 3.6 EOK indirgenmiş ürün ağacı.....	26
Şekil 3.7 EOK donanımı blok diyagramı.....	27
Şekil 3.8 Lazer simülatörü modülü ürün ağacı.....	28
Şekil 3.9 QSL kontrolü.....	29
Şekil 3.10 Zayıflatıcı kontrolü.....	31
Şekil 3.11 LSD kontrolü.....	32
Şekil 3.12 YL1 kontrolü.....	33
Şekil 3.13 Işın ayarlama sistemi indirgenmiş ürün ağacı.....	34
Şekil 3.14 KK ve sensörleri kontrolü.....	36
Şekil 3.15 DK ve sensörleri kontrolü.....	37
Şekil 3.16 ND filtre ve sensörleri kontrolü.....	38
Şekil 3.17 DGEM kontrolü.....	40
Şekil 3.18 YGEM kontrolü.....	41
Şekil 3.19 NL ve sensörleri kontrolü.....	42
Şekil 3.20 X-Y tarayıcı ve sensörleri kontrolü.....	43
Şekil 3.21 QPS kontrolü.....	44
Şekil 4.1 Delik kapaklarının kapalı pozisyona getirilmesi.....	46
Şekil 4.2 Sayıcının başlatılması ve durdurulması.....	47
Şekil 4.3 Delik kapakları kontrol yazılımı kullanıcı arayüzü.....	47
Şekil 4.4 Delik kapakları kontrol yazılımı akış şeması.....	48
Şekil 4.5 ND filtre kapakların kapalı pozisyona getirilmesi.....	49
Şekil 4.6 Sayıcının başlatılması ve durdurulması.....	49
Şekil 4.7 ND filtre kontrol yazılımı kullanıcı arayüzü.....	50
Şekil 4.8 ND filtre kontrol yazılımı akış şeması.....	51
Şekil 4.9 NL kapağının kapalı pozisyona getirilmesi.....	52
Şekil 4.10 Sayıcının başlatılması ve durdurulması.....	52
Şekil 4.11 NL kontrol yazılımı kullanıcı arayüzü.....	53

Şekil 4.12 NL kontrol yazılımı akış şeması	54
Şekil 4.13 Koruma kapağının kapatılması	55
Şekil 4.14 DIO-96 kartının ilgili giriş/çıkışlarının aktif edilmesi	55
Şekil 4.15 KK kontrol yazılımının kullanıcı ara yüzü	56
Şekil 4.16 Koruma kapağı kontrol yazılımı akış şeması	57
Şekil 4.17 Portların ve analog girişin konfigüre edilmesi	58
Şekil 4.18 QS Lazer kontrol ve zayıflatıcı kontrol	58
Şekil 4.19 QS lazer ve zayıflatıcı kontrol programı kullanıcı ara yüzü	59
Şekil 4.20 QS lazer ve zayıflatıcı kontrol yazılımı akış şeması	60
Şekil 4.21 X – Y kontrol devrelerine voltaj gönderme	61
Şekil 4.22 X – Y pozisyon sensörlerinden veri toplama	62
Şekil 4.23 X – Y tarayıcı kontrol yazılımı akış şeması	62
Şekil 4.24 Donanımların kapalı konuma getirilmesi ve sıfırlanması	63
Şekil 4.25 Veri toplama/gönderme kartlarının tanımlanması	64
Şekil 4.26 Delik kapakların ve sensörlerin kontrolü	65
Şekil 4.27 X ekseninde görüntü oluşturma	66
Şekil 4.28 YL1 ve YL2'nin kontrolü	66
Şekil 4.29 QS lazer kontrolü	67
Şekil 4.30 Zayıflatıcı kontrolü	67
Şekil 4.31 LSD, DGEM ve YGEM kontrol	68
Şekil 4.32 Veri toplama kartlarının giriş/çıkışlarının kapatılması ve temizlenmesi	68
Şekil 4.33 Statik test yazılımı kullanıcı ara yüzü	69
Şekil 4.34 Statik test yazılımı akış şeması	70
Şekil 4.35 Döngüde donanım testleri haberleşme sistemi	72
Şekil 4.36 NL ve KK kapaklarının kontrolü	73
Şekil 4.37 QS lazer ve zayıflatıcı kontrol portlarının tanımlanması	73
Şekil 4.38 Optik hat üzerinden alınan verilerin dağıtımı	74
Şekil 4.39 Enerji ve spot çapı kontrol bölümü	75
Şekil 4.40 DK, ND filtre ve NL kontrolü	76
Şekil 4.41 QS lazer zayıflatıcı kontrolü	76
Şekil 4.42 X-Y tarayıcı kontrolü	77
Şekil 4.43 LSD kontrol	77
Şekil 4.44 Veri toplama kartlarının giriş/çıkışlarının kapatılması ve temizlenmesi	78
Şekil 4.45 Dinamik test yazılımı kullanıcı ara yüzü	78
Şekil 4.46 Dinamik test yazılımı akış şeması	79
Şekil 5.1 Zayıflatıcı ölçüm sonuçları	82
Şekil 5.2 Zayıflatıcı ölçüm sonuçları	83
Şekil 5.3 X tarayıcısı ölçüm sonuçları	84
Şekil 5.4 Y tarayıcısı ölçüm sonuçları	85
Şekil 5.5 Delik kapakları statik test sonuçları	87
Şekil 5.6 ND filtreler statik test sonuçları	88
Şekil 5.7 Zayıflatıcı değerleri statik test sonuçları	89
Şekil 5.8 Enerji değerleri statik test sonuçları	89
Şekil 5.9 Birinci simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,001mJ)	90
Şekil 5.10 Senaryo ve simülasyon enerji değerleri	91
Şekil 5.11 İkinci simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,005mJ)	92
Şekil 5.12 Üçüncü simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,001mJ)	93
Şekil 5.13 Dördüncü simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,005mJ)	94

Şekil 5.14 Beşinci simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,25mJ)	94
Şekil 5.15 Altıncı simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,001mJ)	95
Şekil 5.16 Yedinci simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,05mJ).....	96

ÇİZELGELER DİZİNİ

Çizelge 5.1 Delik kapakları kalibrasyon sonuçları	80
Çizelge 5.2 ND filtreler kalibrasyon sonuçları	81

1. GİRİŞ

Yirminci yüzyılın ikinci yarısında keşfedilen lazer, kısa süre içerisinde, insanlık adına icat edilen büyük icatlar arasında yerini almıştır. Bu süre zarfında bilgisayarlarda compact disc okuyucuları, eğlence merkezlerinde insanları eğlendirme aracı, endüstride metal kesme, tıpta insanları tedavi yöntemi ve askeri alanda yön bulma aracı gibi çok geniş alanlarda kendine yer bulmuştur.

Askeri alanda hedef işaretleme ve hedef bulma günümüz dünyasında ordular için büyük önem taşımaktadır. Bu uygulamada hedefin algılanması için ilk önce lazer ile hedef işaretlenir. Hedeften yansıyan lazerin enerjisi, çapı ve geliş açısı hedefin konumu hakkında sisteme bilgi verir. Özellikle lazer güdümlü füze sistemlerinde hedefin yerinin doğru ve zamanında tesbit edilmesi çok önemlidir. Füze harekete başladığında hedeften yansıyan lazere göre yönünü tayin etmektedir.

Lazer arayıcı başlığa sahip füzelerin gerçek operasyonda kullanılmadan önce çalışırılığının test edilmesi gerekmektedir. En iyi test yöntemi hiç kuşkusuz arazi ortamında gerçek füze ile yapılan uçuşlu testlerdir. Fakat uçuşlu testler yüksek maliyet ve düşük güvenilirlik gibi olumsuzluklar taşımaktadır. Bu nedenle gelişmiş teknolojinin kullanıldığı test sistemlerinin tasarlanması ve uygulamalarda kullanılması, firmalara ciddi kaynak ve iş gücü tasarrufu kazandırmaktadır. Bu kapsamda yurtiçinde mevcut olmayan bu tarz bir sistemin geliştirilmesinin; yurtiçi kısıtlı kaynak kullanımı bulunan savunma sanayii firmaları için büyük bir getiri sağlayacağı aynı zamanda bu alandaki gelişmiş teknolojinin uygulanmasındaki yurtdışı bağımlılığını azaltacağı düşünülmüş ve bu sistem geliştirilmiştir. Bu şekilde füze ile uçuşlu testler öncesinde laboratuvar ortamında döngüde donanım testleri (yer denemeleri) gerçekleştirilmektedir. Döngüde donanım testlerinde, füze hedef hareket simülatörüne bağlanarak füzenin gerçek uçuş koşulları ve lazer işaretleyici ile aydınlatılmış hedef simüle edilmektedir. Hedef simülasyonu, hedef üzerindeki lazer enerjisinin, lazer spot büyüklüğünün ve lazer spot konumunun kontrol edilmesi ile gerçekleştirilmektedir. Hedef simülasyonu için gerekli donanım ve kontrol yazılımını kapsayan sistem “Elektro-Optik Ölçüm ve Test Sistemi (EOÖTS)” olarak isimlendirilmektedir.

EOÖTS temel olarak üç alt sistemden oluşmaktadır:

- Elektro Optik Kule: Hedef perdesi üzerinde lazer spotunun büyüklüğünün, enerjisinin ve pozisyonunun değişmesi için gerekli olan opto-mekanik komponentleri (nötral yoğunluk filtreler, lens, teleskop, aynalar ve delikler) içeren düzenek olup lazer kaynakları (QS lazer ve yeşil lazerler) da bu düzenek içerisinde bulunmaktadır.
- Kontrol Kabinet: Elektro-optik kulede bulunan opto-mekanik komponentlerin hareket kontrollerinin sağlandığı, QS lazer kaynağının enerji kontrolünün ve yeşil lazerlerin açma – kapama kontrollerinin yapılmasına olanak sağlayan donanımları ihtiva eden düzenektir.
- Hedef Hareket Simülatörü: 3 ekseninde (sapma, yunuslama ve dönü) hareket kabiliyetine sahip olan, füzenin uçuş öncesi yer testlerinin yapılmasına olanak sağlayan ve füzenin gerçek uçuş koşullarının simüle edildiği cihazdır.

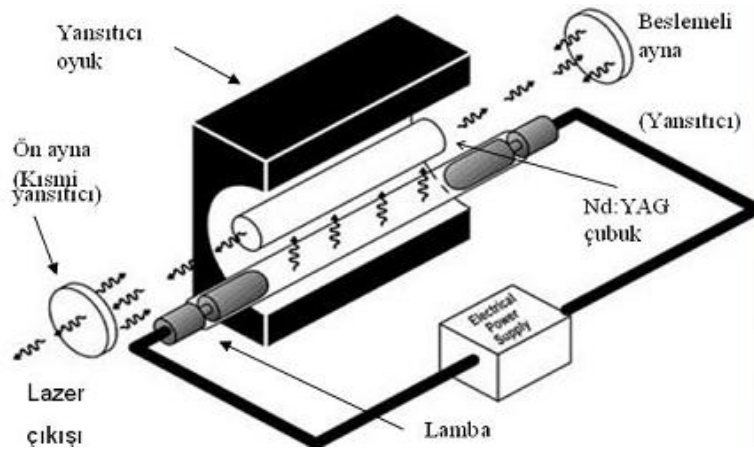
Tez çalışması kapsamında; Elektro Optik kule içerisinde bulunan opto-mekanik komponentlerin kontrollerinin yapılabilmesi için gerekli olan donanım ve yazılımın belirlenmesine ve yazılım kontrollerinin yapılmasına yönelik çalışmalar gerçekleştirilmiştir. Elektro-optik kule içerisinde bulunan opto-mekanik komponentlerin işlevselliklerine yönelik genel bilgiler sunulmuş ve sistem gereksinimlerinin karşılanması için gerekli olan kontrol mimarisi oluşturulmuştur. Oluşturulan kontrol mimarisine göre geliştirilen donanımı kontrol etmek için LabVIEW ile gerçek zamanlı kontrol yazılımı geliştirilmiştir. Tez kapsamında sırası ile ikinci bölümde sistemde kullanılan donanım, yazılım ve iletişim protokolleri hakkında teorik bilgiler verilmiştir. Üçüncü bölümde sistemin bütünü oluşturulan donanım ve bu donanımlara ait kontrol mimarileri hakkında bilgiler verilmiştir. Dördüncü bölümde donanım kontrolünü gerçekleştiren yazılımlar ve yazılım mimarileri anlatılmıştır. Beşinci ve altıncı bölümde ise sistem ile yapılan testler, testlere ait sonuçlar ve bu sonuçların değerlendirilmesi bulunmaktadır.

2. KURAMSAL TEMELLER

2.1 Lazer

Türkçe’de lazer veya laser olarak yazılan kelime İngilizce’de, Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation kelimelerinin baş harflerinden oluşmaktadır. Uyarılmış ışın neşriyle ışın kuvvetlendirilmesi anlamına gelmektedir.

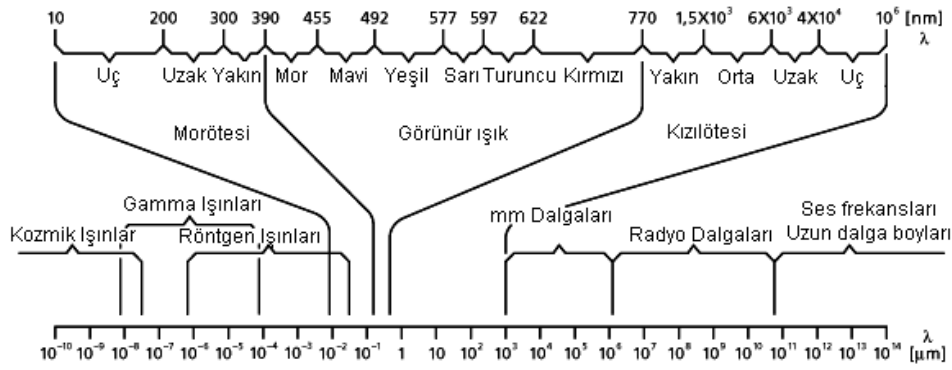
Lazerin oluşumu: Bir ucunda yüksek yansıtıcı özelliğe sahip bir ayna diğer ucunda ise kısmen yansıtıcı ayna bulunan ve içerisinde sıvı, gaz veya katı maddenin ihtiva ettiği tüpe; dışarıdan enerji uygulanır. Bu enerji elektriksel veya kimyasal olabilir. Enerjiye maruz kalan atomlardan bazıları kararsız hale gelir ve foton saçılımına sebep olur. Bu fotonlar aynalar arasında yansımaya başlarlar. Atomların tamamına yakını foton yaymaya başlayınca güçlenen ışın kısmen yansıtıcı aynadan dış ortama lazer ışını olarak geçerler (Hitz et al. 2000). Şekil 2.1’de lazer ışınının oluşumu gösterilmiştir.



Şekil 2.1 Lazer ışınının oluşumu

Beyaz ışık ile lazer arasında 3 temel fark bulunmaktadır. Birincisi lazer ışınlarının genişliği beyaz ışığa göre daha dardır. Beyaz ışık bünyesinde bir çok rengi barındırmaktadır; lazer ise saf tek bir renge sahiptir. Lazer ışınları aynı dalga boyuna sahiptirler; beyaz ışık ise farklı dalga boyuna sahip ışıklardan oluşmaktadır. Lazer ışınları bu farklı özellikleri sayesinde beyaz ışığa göre dağılmadan çok yüksek hızda çok daha uzun mesafelere ulaşabilmektedir (Hitz et al. 2000).

Lazer teknolojisinde ışınların dalga boyu 10μ ($10^{-5}m$) ve $100nm$ ($10^{-7}m$) arasındadır. Görünür bölge ışınlarının dalga boyları ise $400-700 nm$ arasındadır. Şekil 2.2’de ışın kaynaklarının dalga boylarına göre gösterildiği elektromanyetik spektrum çizelgesi verilmiştir.



Şekil 2.2 Elektromanyetik Spektrum

Lazerin genel kullanım alanları aşağıda maddeler halinde verilmiştir:

- Malzeme işleme teknolojisinde kullanılmaktadır. Metal vb. malzemeleri kesme, delme, ısıtma işlemleri gibi işlemlerde metal kesicilere göre daha hızlı, daha hassas ve daha kolay kullanıma sahiptirler.
- Telekomünikasyon alanında kullanılmaktadır. Fiber optik hatlardan sinyal taşıma işlemi, bakır tellere göre çok daha hızlı ve daha verimli olmaktadır.
- Araştırma ve sağlık alanında kullanılmaktadır. Özellikle göz ameliyatlarında yoğun bir şekilde kullanılmaktadır.
- Elektronik cihazlarda genellikle okuma işlemlerinde kullanılmaktadır. Yazıcı, barkod okuyucu, CD/DVD okuyucu gibi uygulamaları vardır.
- Askeri alanda özellikle silah teknolojilerinde hedef belirleme uygulamalarında kullanılmaktadır. Lazer ile hedef işaretlenmekte, işaretlenen hedefin bilgisayar tarafından hızına, enerjisine ve büyüklüğüne bağlı olarak yeri tespit edilebilmektedir (Hitz et al. 2000).

2.2 Lazer Çeşitleri

2.2.1 Gaz lazerler

Lazerin oluşumunda bahsedilen tüp içerisinde bulunan gazdan elektrik akımı yardımı ile ışın üretilmesiyle oluşur. Bu gaz türlerinden günümüzde en yaygın kullanılanları Helyum Neon (HeNe–Dalga Boyu=543-1523 nm arasında, Güç=0,1-15 mW arasında olabilmektedir.), Helyum Kadmiyum (HeCd–Dalga Boyu=325-442 nm arasında, Güç=1-100 mW arasında olabilmektedir.), Argon İyon (Ar–Dalga Boyu=275-514,5 nm arasında, Güç=1-1600 mW arasında olabilmektedir.), Karbondioksit (CO₂–Dalga Boyu=9000-11000 nm arasında, Güç=0,1-45000 W arasında olabilmektedir.) ve Excimer (ArF, KrF, XeF olabilir, Dalga boyu=193-351 nm, Güç=0,5-50 W arasında olabilmektedir.) lazerleridir. Bunlardan HeNe lazerler düşük maliyetleri nedeniyle eğitim alanında kullanılmaktadır. CO₂ lazerler endüstriyel uygulamalarda kullanılmakta ve çok yüksek güçte kızılötesi ışınlar üretebilmektedir. Excimer lazerler ultraviyole (UV) ışınlar üretmekte ve özellikle tıp alanında kullanılmaktadır (Hitz et al. 2000).

2.2.2 Yarı iletken lazerler

Yarı iletken maddenin P-N ekleminden elektrik akımı yardımı ile ışın üretilmesiyle oluşur. Diyot lazer olarak da adlandırılırlar. Farklı yarı iletken maddeler kullanılmaktadır. Bunlardan en yaygın olanları Galyum Arsenid (GaAs–Dalga Boyu yaklaşık=870nm), Galyum Alüminyum Arsenid (GaAlAs–Dalga Boyu yaklaşık=620-900 nm arasında), Alüminyum Galyum İndiyum Fosfid (AlGaInP–Dalga Boyu yaklaşık=650-680 nm arasında) ve İndiyum Galyum Arsenid Fosfid (InGaAsP–Dalga Boyu yaklaşık=1100-1650 nm arasında) çeşitleridir. Yarı iletken lazerler CD/DVD oynatıcılar gibi düşük güç gereksinimine ihtiyaç duyan uygulamalardan yüksek güç gereksinimine duyan endüstriyel uygulamalara kadar geniş bir kullanım alanına sahiptirler (Hitz et al. 2000).

2.2.3 Katı lazerler

Katı materyallerden elektrik akımı veya kimyasal yolla ışın üretilmesiyle oluşur. Ana maddesi kristal veya camdır. Kristal veya cam yapı aktif iyon maddeler ile birleşerek katı lazerleri oluştururlar. Eklenen aktif iyon maddenin adı katı lazere adını verir. Bunlardan en yaygın olanı Nd:YAG (Neodyum katkılı İttriyum-Alüminyum-Garnet lazer – Dalga Boyu=1064nm) dır. Diğer çeşitleri ise iterbiyum, tulyum, erbiyum ve holmiyum katkılı lazerlerdir (Dalga Boyları= 1020-1050 nm arasında değişmektedir.) (Hitz et al. 2000).

Nd:YAG lazerler Neodyum katkılı Yitriyum-Alüminyum-Garnet ortama sahip bir katı hal lazeridir. Flaş lambası veya diyotlar ile uyarılır. Nd:YAG lazerler 1060nm dalga boyuna sahiptirler ve güçleri miliwatttan yüzlerce wata kadar ulaşabilir. DC ark lambaları ile uyarılmış Nd:YAG lazerler 5kW'a kadar güce sahip sürekli dalga boylu lazer üretebilmektedirler. Flaş lambaları ile uyarılan atımlı Nd:YAG lazerler ise ortalama gücü yaklaşık 600W olan ve atım süresi 1ms ile 50ms arasında değişen lazer atımları üretmektedirler (Kaçar 2003).

2.2.4 Kimyasal lazerler

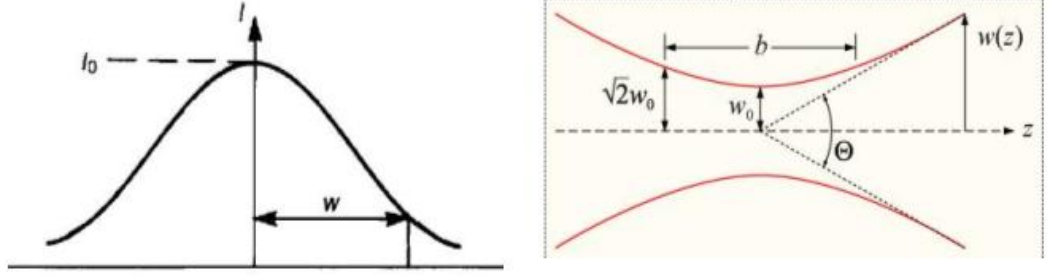
Kimyasal reaksiyonlar sonucunda oluşmaktadır. Çok yüksek güçlere ve dalga boylarına ulaşabilmektedirler. En yaygın olanları Hidrojen Florid lazer (Dalga Boyu=2700-2900 nm arasında) ve Döteryum Florid lazerdir (Dalga Boyu=3800nm) (Hitz et al. 2000).

2.3 Q Anahtarlamalı Lazer (Q-Switch) ve Lazer Işınını Zayıflatıcı Etkenler

Q-Anahtarlama, lazerden atım üretme tekniklerinden biridir. Q, quality kelimesinin baş harfidir. Q-Anahtarlama, lazeri düşük kaliteden (düşük enerjiden) yüksek kaliteye (yüksek enerjiye) anahtarlayan manasına gelmektedir. Atımlı lazer, küçük konsantre paketler halinde yayılım gösterir. Bu küçük konsantre paket halindeki lazerler sürekli

lazer ışınından daha güçlüdürler. Q-Anahtarlama genellikle katı lazer kaynaklarında kullanılır (Hitz et al. 2000).

Q-Anahtarlama lazerlerden elektromanyetik gaussian ışın yayımlanmaktadır. Işının profili Şekil 2.3'te verilmiştir (Saleh et al. 1991).



Şekil 2.3 Gaussian ışını profili

Gaussian ışınına ait yoğunluk eşitliği aşağıda verilmiştir.

$$I = I_0 \left(w_0 / w(z) \right)^2 e^{-2r^2 / w^2(z)} \quad (2.1)$$

I_0 = merkezdeki yoğunluk,

r = merkeze olan uzaklık ve

$w(z)$ = ışın yarı çapıdır (hesap yapılan yerdeki).

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + (z / z_R)^2} \quad (2.2)$$

z_R = aşağıda verilen Rayleigh eşitliğinden bulunur.

$$z_R = \pi w_0^2 / \lambda \quad (2.3)$$

Gaussian ışınına ait elektrik alanı aşağıda verilmiştir.

$$E = E_0 (w_0 / w(z)) e^{-2r^2 / w^2(z)} e^{(-ikz - ikr^2 / 2R(z) + i\zeta(z))} \quad (2.4)$$

i = sanal çarpan ($i^2 = -1$),

k = dalga numarasıdır,

$$k = 2\pi / \lambda \quad (2.5)$$

$R(z)$ ışın demetini kapsayan dalga eğrisinin yarı çapıdır. Aşağıdaki eşitlikle ifade edilir,

$$R(z) = z[1 + (z_R / z)^2] \quad (2.6)$$

Delikten geçen lazer ışınının gücü aşağıdaki eşitlikle bulunur.

$$P = P_0 [1 - e^{-2r^2 / w^2(z)}] \quad (2.7)$$

$$P_0 = 1 / 2\pi_0 w^2_0 \quad (2.8)$$

Neutral density filter (nötral yoğunluklu filtre) gri filtreler olarak da adlandırılırlar. Optik uygulamalarda lazerin enerjisini zayıflatmak amacıyla kullanılırlar. Filtreler için lazer ışını iletim oranı, optiksel yoğunluk katsayısı ile orantılıdır (http://en.wikipedia.org/wiki/Neutral_density_filter 2008).

İletme oranı : 10^{-d}

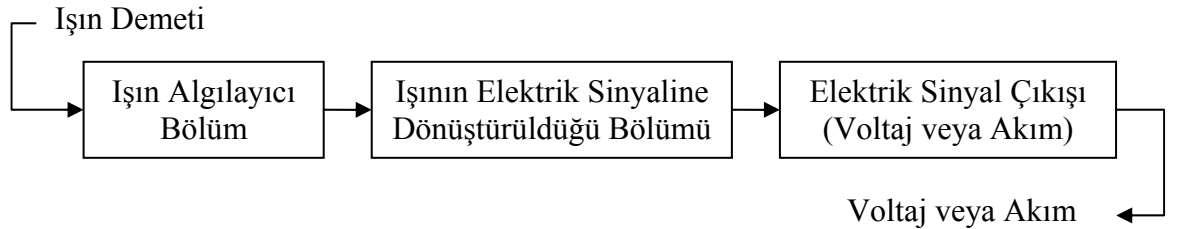
d = optiksel yoğunluk katsayısı

2.4 Lazer Aynaları

Lazer uygulamalarında yansıtıcı olarak kullanılan aynalar, yüksek saflıkta silisyum tabakadan ve yüksek yalıtkan özelliğe sahip kaplamadan oluşmaktadırlar. Bu aynalar üst üste geçirilmiş birçok yansıtıcı tabakadan oluşurlar. Bu tabakalar sayesinde ilk katmandan yansımadan geçen lazer ışınları diğer katmanlardan yansıtılmaktadır. Bu şekilde ayna kendisine gelen lazer ışınının %99'undan fazlasını yansıtılabilmektedir. Lazer aynalarının yüksek enerjili lazerlere karşı yapılarında hasar meydana gelmemesi için hasar görme eşikleri çok yüksektir (www.rp-photonics.com/laser_mirrors.html 2008).

2.5 Foto Dedektörler

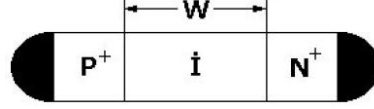
Foto dedektörler ışığı (fotonu) algılayıp elektrik sinyaline çeviren optik algılayıcılardır. Bu algılama işlemi foto-elektrik etki ile gerçekleşir. Işığın etkilemesiyle yüzeyde elektron hareketliliği gerçekleşir, bu elektron hareketliliği dedektörde voltaj değişimine sebep olur. Foto dedektörler ışın demetinin algılandığı bölüm, ışının elektrik sinyaline çevrildiği bölüm ve elektrik sinyalinin çıkış bölümü olmak üzere 3 bölümden oluşmaktadırlar (Braley 2008). Bu bölümler Şekil 2.4'te gösterilmiştir. Foto dedektörlerin eklem yapılarına göre farklı çeşitleri bulunmaktadır. Burada EOÖTS'de kullanılan foto dedektörlerin temel yapıtaşları olan PIN diyot ve dört kadranlı dedektör hakkında bilgi verilmiştir.



Şekil 2.4 Foto dedektör ile ışın algılama

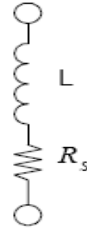
2.5.1 PIN diyot

P ve N eklemlerinde katkı maddesi oranı çok yüksektir. Bu iki bölgeyi birbirinden ayıran saf silisyumdan oluşan I bölgesi bulunmaktadır. PIN diyotun yapısı Şekil 2.5'te verilmiştir.



Şekil 2.5 PIN diyot

PIN diyot DC ve çok düşük frekanslarda normal PN diyot gibi davranış gösterirler. Frekans yükseldikçe I bölgesi direnç özelliği göstermeye başlar. PIN diyot ileri yönde kutuplandığında holler ve elektronlar P ve N bölgelerinden I bölgesine doğru akmaya başlar ve PIN diyot değişken direnç gibi davranır, devredeki gösterimi Şekil 2.6'da verilmiştir. PIN diyotun direnç değerini veren eşitlik (2.8) denklemiyle gösterilmiştir (Doherty 2008).

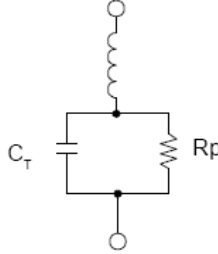


Şekil 2.6 PIN diyotun ileri kutuplanması

$$R_s = \frac{W^2}{(\mu_N + \mu_P) * \tau * I_F} \text{ Ohm} \quad (2.9)$$

- W = I bölgesinin genişliği
 μ_N = Elektron mobilitesi
 μ_P = Hole mobilitesi
 τ = Yeniden birleşim zamanı
 I_F = İleri kutuplama akımı

Yüksek frekansta PIN diyot ters yönde kutuplandığında veya kutuplanmadığında devreye paralel bağlı kondansatör gibi davranır, devredeki gösterimi Şekil 2.7’de verilmiştir. PIN diyotun kapasitör değerini veren eşitlik (2.9) denklemiyle gösterilmiştir.



Şekil 2.7 PIN diyotun ters kutuplanması

$$C = \frac{\varepsilon * A}{W} \text{Farad} \quad (2.10)$$

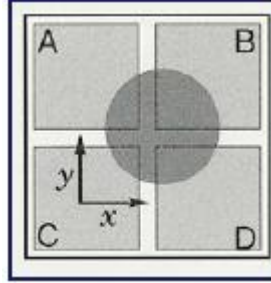
- W = I bölgesinin kalınlığı
 A = Birleşme bölgesi
 ε = Silikon dielektrik sabiti

PIN diyot değişken direnç özelliğinden mikrodalga devrelerinde; zayıflatıcı, faz kaydırıcı, modülatör, anahtar ve limitör gibi farklı amaçlarda kullanılmaktadır. Ters kutuplanarak kullanıldığı vakit kapasitör olarak çok hızlı şarj olabilme özelliğinden dolayı foton dedektörü olarak kullanılmaktadır (Doherty 2008).

2.5.2 Dört kadranlı dedektör (Quadrant position sensor)

Dört kadranlı dedektör ışın demetinde ortalama ve ölçme işlemlerinde çok küçük değerlerde hareket yeteneğine sahip foto dedektördür. Birbirinden izoleli dört adet aynı dedektörden oluşmuştur. Dairesel veya karesel yapıda olabilir. Dört adet dedektörden oluşması ışın demetinin pozisyonunu hassas bir biçimde belirlemede çok önemli bir etken oluşturmaktadır. Dedektör üzerine düşen ışın her dedektör üzerinde farklı bir voltaja sebep olacaktır. Bu voltaj farklılıklarından yola çıkılarak ışın demetinin pozisyonu bulunur. Bu özelliği sayesinde özellikle lazer ile hedef bulma

uygulamalarında kullanılmaktadır. EOÖTS’de kullanılan dört karanlı dedektörün amacı ise X – Y tarayıcısının sıfır pozisyona getirilmesini sağlamaktır. Şekil 2.8’de karesel dört kadranlı dedektörün görüntüsü verilmiştir (Anonymous 2008).



Şekil 2.8 Dört kadranlı dedektör

Şekil 2.8’deki gibi dört kadranlı dedektör üzerine düşen ışının pozisyon bilgisi X ve Y eksenleri için aşağıda verilen eşitliklerle bulunur.

$$x = \frac{(B + D) - (A + C)}{A + B + C + D} \quad (2.10)$$

$$y = \frac{(A + B) - (C + D)}{A + B + C + D} \quad (2.11)$$

Burada konum belirlerken dikkat edilmesi gereken husus ışın demeti çapının dedektör tarafından algılanabilecek büyüklükte olması gerekmektedir (Anonymous 2008).

2.6 LabVIEW Yazılımı ve Gerçek Zamanlı Kontrol

2.6.1 LabVIEW yazılımı

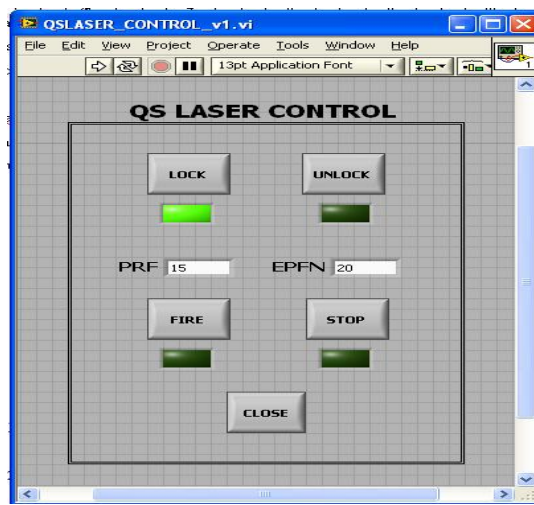
LabVIEW, **L**aboratory **V**irtual **I**nstrument **E**ngineering **W**orkbench kelimelerinin kısaltılmışıdır. G (grafiksel) programlama dilini kullanan, güçlü ve esnek bir program geliştirme aracıdır. Çok geniş fonksiyon ve alt rutin kütüphanelerine sahiptir. LabVIEW’un en güçlü özelliklerinden birisi birden fazla döngünün paralel olarak, birbirimden bağımsız, aynı anda işleyebilmesidir. LabVIEW veri toplama/gönderme

işlemlerinde bilgisayarın seri ve paralel portunu, GPIB (General Purpose Interface Bus – genel amaçlı arayüz veriyolu), PCI, PXI, USB (Universal Serial Bus – evrensel seri veri yolu) gibi veri yollarını kullanabilir (NI 2000).

LabVIEW'un normal sürümlerinde döngü blokları (for, if, while vb.), diziler, matematiksel – karakter – mantıksal işlemlerin gerçekleştirildiği bloklar, dosyalama işlemlerini gerçekleştiren bloklar, ses, grafik ve zamanlayıcı işlemlerini gerçekleştiren bloklar bulunmaktadır. Döngü blokları içerisinde C programlama dilinin komutlarının eklenebileceği “formula node” ve matlab programının komutlarının eklenebileceği “mathscript” blokları da mevcuttur. Bununla beraber veri toplama/gönderme, seri ve paralel port kontrolü, görüntü işleme, hareket kontrol, sinyal işleme, kontrol sistemleri tasarlama, FPGA (Field Programmable Gate Array – Programlanabilir kapı dizileri) gibi konularını içeren blokların bulunduğu yazılım birimleri mevcuttur (NI 2000).

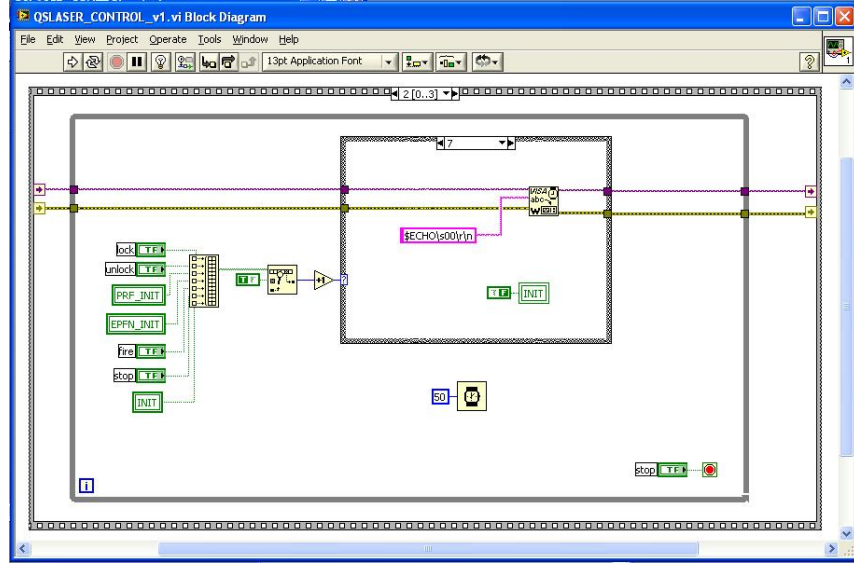
LabVIEW programları gerçek donanımların işlevlerini taklit etmelerinden dolayı sanal enstrüman (virtual instrument) olarak adlandırılır. Sanal enstrümanlar üç kısımdan oluşurlar.

1. Ön Panel; programın kontrollerini, grafiklerini ve göstergelerini içeren kullanıcı arabirimidir. Veri girişi için klavye ve mouse kullanılır. Şekil 2.9'da örnek bir ön panel gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.9 LabVIEW ön panel gösterimi

2. Blok Diyagram; G grafiksel programlama diliyle oluşturulmuş program komutlarını içeren bölümdür. Sadece veri yapıları ve bağlantı yapıları uygun bloklar birbirleri ile bağlanabilir. Program akışı bloklar arası geçişlerle mümkün olur. Şekil 2.10’da örnek bir blok diyagram gösterimi verilmiştir.



Şekil 2.10 LabVIEW blok diyagramı gösterimi

3. Sanal enstrüman ikonu; bir sanal enstrümanın diğer sanal enstrüman içerisinde kullanılmasını sağlar. Bir programın başka bir program içerisinde alt program olarak kullanılmasını sağlar. Modüler programlamanın temel yapı taşı alt programlardır. Şekil 2.11’de örnek bir ikon gösterilmiştir.

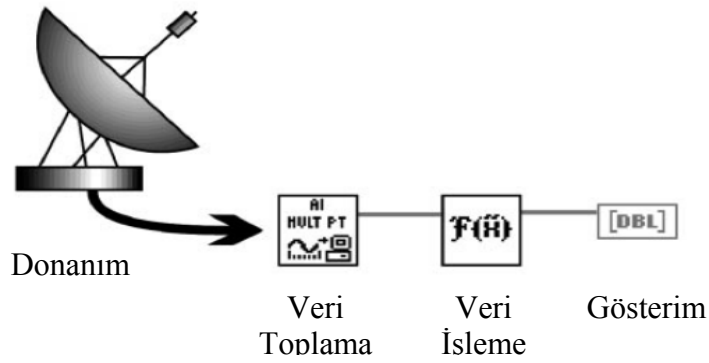


Şekil 2.11 Örnek bir ikon uygulaması

2.6.2 LabVIEW ile gerçek zamanlı kontrol

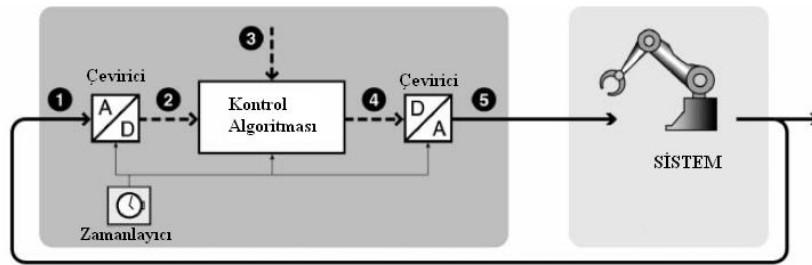
Geri dönüşümlü kontrol sistemleri endüstriyel uygulamaların ve bilimsel araştırmaların dinamik performansını ve hassasiyetini artırmak için kullanılırlar. Bu kontrol sistemlerinin temel ilkesi ölçüm sonuçları ile istenilen değerlerin karşılaştırılıp aradaki

farkı kapatacak kontrol sinyalini üretmektir. EOÖTS’de donanımlardan veri toplama ve gönderme işlemleri bilgisayara tümleşik halde bulunan veri toplama/gönderme kartları tarafından yapılmaktadır. Bu kartlardan alınan veriler ile ilgili donanıma ait kontrol sinyallerini üretme işlemleri LabVIEW yazılımı ile gerçekleştirilmektedir. LabVIEW yazılımı veri toplama/gönderme kartları aracılığıyla gerçek dünyadan (donanım) verileri bilgisayar ortamına taşır, burada gerekli işlemleri ve kontrolleri yaparak üretmiş olduğu kontrol sinyallerini kartlar aracılığıyla donanıma iletir ve kullanıcıya o anki alınan/gönderilen sinyalleri gösterir. Bu uygulamanın örnek bir gösterimi Şekil 2.12’de verilmiştir (Salzmann et al. 2000).



Şekil 2.12 LabVIEW ile veri toplama ve işleme

Gerçek dünyadaki donanımın kontrolü gerçekleştirilirken, sistemin işlerliğini test etmek ve kontrol etmek amacıyla veri toplamanın ve göndermenin bire bir gerçek zamanlı yapılması gerekmektedir. Aksi takdirde zamana göre sistem analizi yanlış gerçekleştirilecek ve bu da sistem kontrolünün istenilen bir biçimde yapılamamasına sebep olacaktır. Şekil 2.13’te örnek bir gerçek zamanlı kontrol sistemi uygulaması gösterilmiştir.



Şekil 2.13 Gerçek zamanlı kontrol sistemi

Şekil 2.13'deki sistemde 1 numaralı adımda sistemden toplanan analog geri dönüşüm sinyallerinin bilgisayar yazılımında kontrol edilebilmesi için dijital sinyallere dönüştürme işlemi yapılır. 2 ve 3 numaralı adımlarda olması gereken sinyal değerleri ile geri dönüşümden alınan sinyaller karşılaştırılır ve dijital kontrol sinyali elde edilir. 4 numaralı adımda dijital sinyaller analog sinyallere çevrilir. 5 numaralı adımda kontrol sinyalleri sisteme uygulanır. Tüm bu işlemler zamanlayıcı tarafından belirlenen örnekleme periyodu ve çevirim zamanı dahilinde gerçekleştirilir. Birden fazla veri toplama işleminin yapıldığı sistemlerde örnekleme periyotları ve çevirim zamanı işlemlerin özelliğine göre farklı ayarlanabilir (Salzmann et al. 2000). EOÖTS'de gerçekleştirilen testlerde farklı örnekleme periyotları kullanılmıştır. Testler 1–10 kS/s (kg sample/second–saniyede bin örnek alma) aralığında gerçekleştirilmiştir.

EOÖTS'de LabVIEW yazılımı ile birlikte NI firmasına ait gerçek zamanlı veri toplama/gönderme kartları kullanılmıştır. Uygulamaların çalıştırılması için hedef bilgisayar kullanılmıştır. Ana bilgisayar Windows ortamında çalışmaktadır. Windows kendi programları için hafızada yer ayırdığı için bu ortamda çalıştırılacak uygulamanın gerçek zamana uygunluğundan emin olunamamaktadır. Çünkü Windows programlar arası işlemler sırasını kendisi ayarlamakta ve çalışma anında değişiklik yapabilmektedir. Hedef bilgisayar mantığında ise bilgisayar Windows ortamı yerine LabVIEW uygulamaları için geliştirilmiş olan gerçek zamanlı işletim sisteminde çalıştırılmaktadır. Bu sistem herhangi bir hard disk, flash bellek kartı veya disket olabilir.

2.6.3 Haberleşme yöntemleri ve protokolleri

Bu bölümde EOÖTS'de kullanılan bilgisayarlar arası ve bilgisayarlar ile donanımlar arasında yazılımsal haberleşmenin gerçekleşmesini sağlayan haberleşme protokolleri hakkında genel bilgiler verilmiştir.

1. TCP/IP Haberleşme Protokolü: TCP(Transmission Control Protocol – Transfer kontrol protokolü) ve IP(Internet Protocol – İnternet protokolü) olmak üzere iki katmandan oluşan başka bir bilgisayara, bir bilgisayar ağına veya internete bağlanmayı sağlayan haberleşme protokolüdür. TCP katmanı verinin transferden

önce paketlere ayrılmasını ve alıcıda bu paketlerin doğru bir şekilde alınmasını sağlar. IP katmanı ise TCP tarafından hazırlanan veri paketlerini istenilen adrese yönlendirilmesini sağlar. EOÖTS’de ana bilgisayar ile hedef bilgisayar arası haberleşme TCP/IP protokolü üzerinden gerçekleşmiştir. İki bilgisayar arası direk bağlantı söz konusudur. Bu nedenle TCP/IP katmanları içerisinde noktadan noktaya veri transferini gerçekleştiren sunucular arası katmanda işlem yapılmaktadır. Haberleşme protokolü hazırlanırken bilgisayarların ağ geçit adresleri (gateway) ve alt ağ adresleri (subnet mask) için aynı adres tanımlanır ve farklı IP adresleri verilir. Bu şekilde ana bilgisayar ve hedef bilgisayar aynı ağda karşılıklı olarak veri transferi gerçekleştirebilecek duruma gelirler (Parziale et al. 2008).

2. RS-232 Haberleşme Standardı: Veri terminal cihazları ile veri haberleşme cihazları arasında, ikilik sayı sisteminde seri-asenkon veri iletimi için geliştirilen bir haberleşme standardıdır

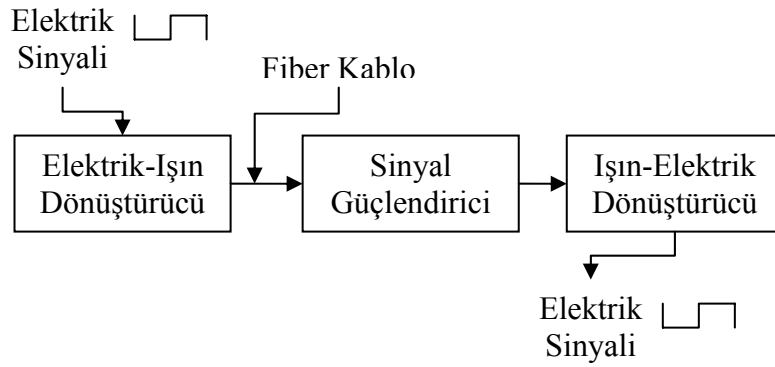
(http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html 2008).

RS-232 ile gönderilen sinyaller +25V ile -25V arasında değişmektedir. -3V ile -25V arasındaki voltajlar mantıksal “1” değerini; +3V ile +25V arasındaki voltajlar mantıksal “0” değerini, -3V ile +3V arasındaki voltaj değerleri geçiş bölgesini tanımlar. RS-232 ile veri gönderilirken cihazın bu veriyi algılayabilmesi için karakterin başlangıcını ve sonunu bildiren bitlerin olması gerekmektedir. Böylece veri paketleri birbirlerinden ayrılmış olurlar. RS-232 bağlantıları ASCII kodunu kullanırlar. Veri gönderme işlemi Tx (Transmit Data – Veri gönderme) pininden, veri alma işlemi ise Rx (Receive Data – Veri okuma) pininden gerçekleştirilir. EOÖTS’de hedef bilgisayar ile lazer simülatörü ve zayıflatıcı arasında RS-232 standardına göre iletişim sağlanmaktadır

(http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html 2008).

3. Fiber Optik Haberleşme: Elektriksel sinyallerin dönüştürücüler aracılığı ile ışın demetlerine dönüştürülüp, plastik veya cam fiberlerden oluşmuş bir optik taşıma aracılığıyla iletilmesinden oluşan haberleşme sistemidir. Bakır kablolarına göre

uzun mesafelerde çok daha hızlı ve daha az kayıpla veri iletimini gerçekleştirmektedir. Elektromanyetik etkileşime daha az duyarlıdır. Temel olarak elektrik sinyalinin ışın demetine dönüştürüldüğü çevirici sistem, ışın demetinin iletildiği fiber kablo, ışın demetinin elektrik sinyaline çevrildiği çevirici sistemden oluşur. Mesafenin uzunluğuna ve veri iletimindeki kayıpların önemine göre alıcı uçta sinyal güçlendirici sistemlerde eklenebilir (Dutton 1998). Şekil 2.14’te fiber optik iletişim hattının genel görüntüsü verilmiştir.



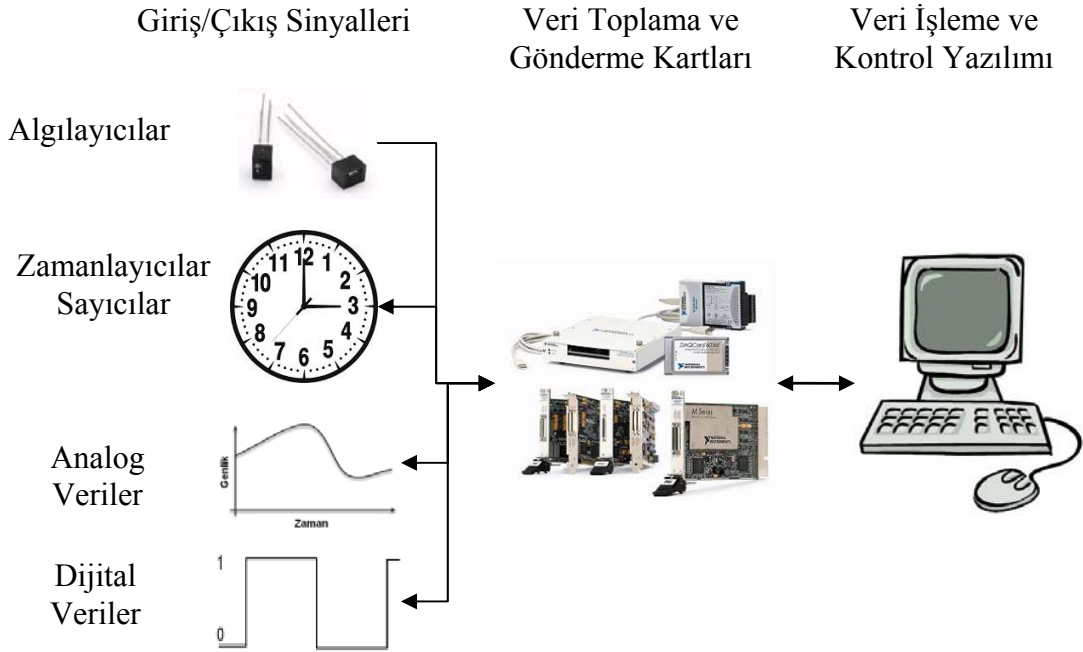
Şekil 2.14 Fiber optik iletişim

EOÖTS’de döngüde donanım testlerinde ana bilgisayar ile sistemin hedef bilgisayarı farklı odalarda bulunmaktadır. Aradaki mesafenin büyüklüğü nedeniyle bilgisayarlar arası iletişim fiber optik hat üzerinden gerçekleştirilmektedir.

3. TEST SİSTEMİ DONANIMI

3.1 Test Sisteminde Kullanılan Veri Toplama ve Gönderme Kartları

Veri toplama, algılayıcılar tarafından üretilen verilerin veya veri dönüştürücüler tarafından üretilen verilerin alınıp, dijital sinyallere çevrilerek bilgisayar ortamında bulunan donanım kontrol yazılımına veya kompakt veri işleme sistemlerine aktarılması işlemidir. Bu işlemi veri toplama ve gönderme kartları gerçekleştirirler. Şekil 3.1’de basit olarak veri toplama işlemi gösterilmiştir. Veri toplama kartları birden fazla sinyali aynı anda toplayabilme ve gönderebilme özelliğine sahiptirler.



Şekil 3.1 Veri toplama ve gönderme işlemi

3.1.1 NI-PCI-DIO-96 dijital giriş/çıkış veri toplama ve gönderme kartı

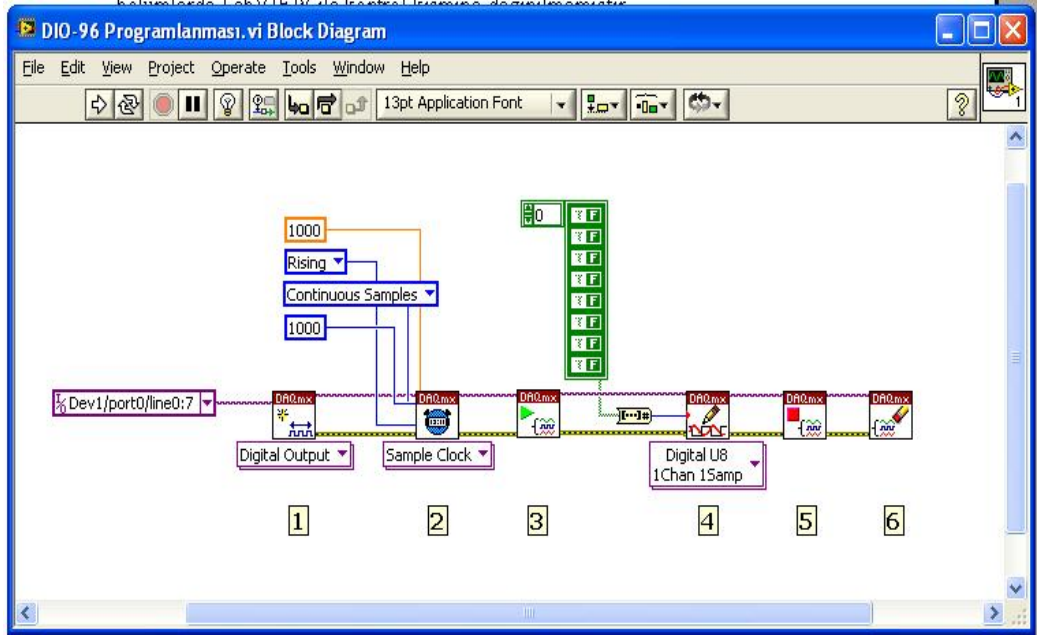
NI (National Instrument) firması tarafından geliştirilen, bilgisayarın PCI (Peripheral Component Interconnect – Çevresel Birim Veri yolu) girişi ile kontrol edilen, 96 bit (12 byte) paralel dijital giriş/çıkış kartıdır. 24 bitlik programlanabilen çevresel ara yüze sahiptir (Programmable Peripheral Interfaces – PPI). Giriş birimleri 0 veya 5 volta

duyarlıdır. Çıkış birimleri 0 veya 5 volt üretirler. Giriş/Çıkış birimlerinin çalışabileceği akım 2.5mA'dır. 0 – 1 volt arası mantıksal 0 değerine, 2 – 5 volt arası ise mantıksal 1 değerine karşılık gelir (NI 2008).

DIO-96 kartının bilgisayarda kullanabilmesi için ilk önce bilgisayara tanıtılması gerekmektedir. Bu amaçla kartın sürücü yazılımı bilgisayara kurulur. Kartın LabVIEW yazılımı ile kullanabilmesi için NI firmasının Measurement & Automation Explorer (MAE) programı ile düzenlenmesi gerekmektedir.

DIO-96 kartının LabVIEW programı ile kontrolü aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 3.2'de ise LabVIEW programı ile kontrol uygulamasının görüntüsü verilmiştir. Diğer veri toplama kartlarının kontrolü de benzer şekilde gerçekleştirilmektedir. Bu nedenle diğer veri toplama kartları ile ilgili bilgi verilen bölümlerde LabVIEW ile kontrol kısmına değinilmemiştir.

1. DIO-96 kartına bilgisayar tarafından verilen kart numarası MAE programı aracılığıyla öğrenilir. Kart numarası ile beraber kullanılacak olan byte ve bit numaraları DAQmx Create Channel bloğunun adres kısmına girilerek kanal oluşturma işlemi gerçekleştirilir.
2. Oluşturulan kanalın saniyede ki örnekleme sayısı, örnekleme profili, örnekleme frekansı, sinyalin algılanma durumu gibi özellikler DAQmx Timing bloğu ile oluşturulur.
3. DAQmx Start Task bloğu ile veri toplama veya gönderme işlemi başlatılır.
4. Veri gönderme için DAQmx Write bloğu kullanılır ve gönderilmek istenen veri bu bloğa gönderilir. Veri toplama içinde DAQmx Read bloğu kullanılır ve alınan veriler gerçek zamanlı olarak ekranda gösterilebilir veya depolanabilir.
5. Veri toplama/gönderme işlemi bittikten sonra DAQmx Stop Task bloğu ile işlem durdurulur.
6. Son olarak DAQmx Clear Task bloğu ile veri toplama/gönderme işlemi temizlenir.



Şekil 3.2 LabVIEW ile DIO-96 kullanılarak veri gönderme

3.1.2 NI-PCI-6527 dijital giriş/çıkış veri toplama ve gönderme kartı

NI firması tarafından geliştirilen, bilgisayarın PCI girişi ile kontrol edilen, 48 bit (6 byte) paralel, optiksel izoleli, dijital giriş/çıkış kartıdır. 24 dijital girişe ve 24 dijital çıkışa sahiptir. 24 bitlik PPI'a sahiptir. Giriş birimleri 0 ile 28 volt arası duyarlıdır. 0 – 1 volt arası mantıksal 0 değerine, 2 – 28 volt arası ise mantıksal 1 değerine karşılık gelir. Çıkış birimleri 0 ile 60 volt arası voltaj üretebilirler. Giriş/Çıkış birimlerinin çalışabileceği akım 120mA'dır (NI 2008).

3.1.3 NI-PCI-6052 analog giriş/çıkış veri toplama ve gönderme kartı

NI firması tarafından geliştirilen, bilgisayarın PCI girişi ile kontrol edilen, 16 bit (6 byte) paralel, analog giriş kartıdır. 16 bitlik çözünürlüğe ve saniyede 333000 örnekleme (333kS/s) kapasitesine sahip, 16 bit analog girişe ve 16 bit çözünürlüğe ve saniyede 333000 örnekleme (333kS/s) kapasitesine sahip, 2 bit analog çıkışa sahiptir. Ayrıca 8 bit dijital giriş/çıkış ve 2 adet sayıcı/zamanlayıcı birime sahiptir. Analog giriş/çıkış birimleri -10 ile +10 volt arası duyarlıdır. Dijital giriş/çıkış birimleri 0 – 5 volt arası

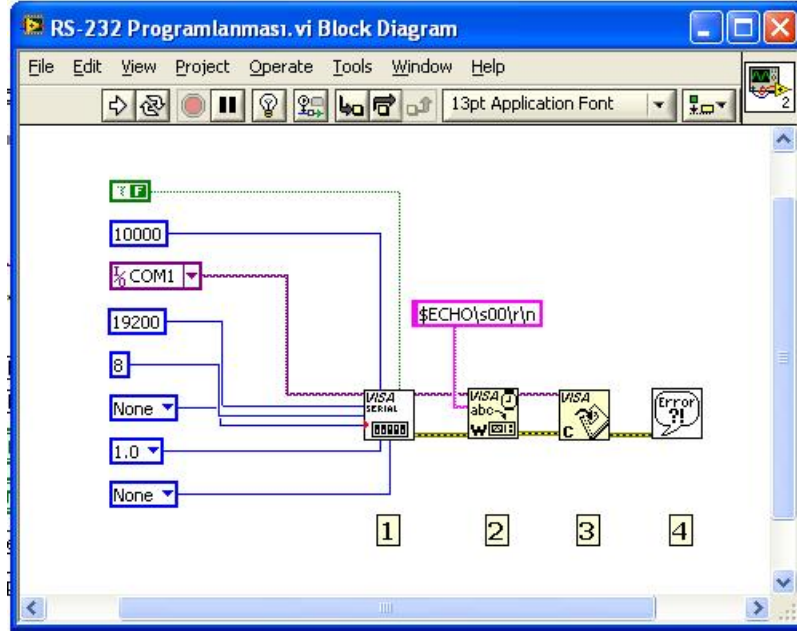
duyarlıdır. 0 – 1 volt arası mantıksal 0 değerine, 2 – 5 volt arası ise mantıksal 1 değerine karşılık gelir (NI 2008).

3.1.4 Quatech 8-port RS-232 PCI kartı

Quatech firması tarafından geliştirilen, bilgisayarın PCI girişi tarafından kontrol edilen birbirinden bağımsız 8 adet RS-232 portuna sahip bir donanımdır. Maksimum 921.6kbps (kg bit per second – saniyede 921600 bit) hıza sahiptir. Bilgisayarlar genelde tek RS-232 portuna sahiptir. Bu kart ile 8 adet RS-232 portuna sahip olunabilmektedir (http://www.quatech.com/catalog/rs232_pci.php 2008).

Quatech kartının bilgisayarda kullanabilmesi için ilk önce bilgisayara tanıtılması gerekmektedir. Bu amaçla kartın sürücü yazılımı bilgisayara kurulur. Yazılım kurulduktan sonra bilgisayarın RS-232 portu sayısı sekiz fazlasına çıkmaktadır. RS-232 porunun LabVIEW programı ile kontrolü aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır. Şekil 3.3'te ise LabVIEW programı ile kontrol uygulamasının görüntüsü verilmiştir.

1. Kontrol edilecek donanımın port numarası ile beraber kullanılacak olan bilgi akış hızı (baud rate), bit sayısı (data bits), eşlik biti (parity bits), akış kontrolü (flow control) gibi bilgiler VISA Configure Serial Port bloğuna girilerek port tanımlama işlemi gerçekleştirilir.
2. VISA Write bloğu ile veri gönderme ve VISA Read bloğu ile veri okuma işlemi gerçekleştirilir.
3. İşlem tamamlandıktan sonra VISA Close bloğu ile işlem sonlandırılır.
4. Simple Error Handler bloğu ile veri gönderme/okuma işleminde oluşacak hatalar ekrana yansıtılır.



Şekil 3.3 LabVIEW ile RS-232 portu kullanılarak veri gönderme

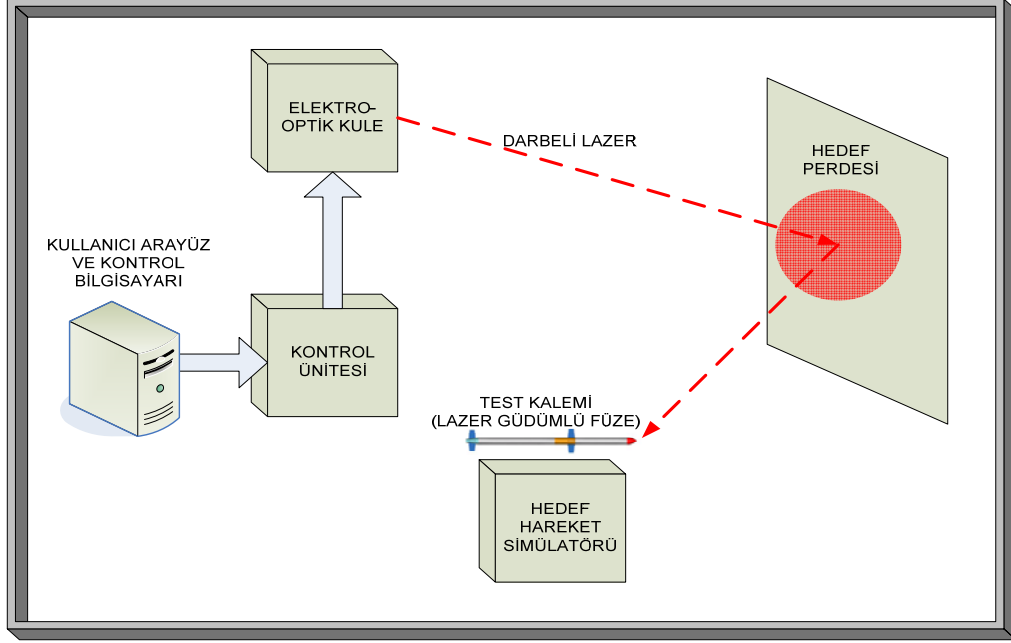
3.1.5 GE fanuc PCI-5576 fiber-optik haberleşme kartı

GE Fanuc firması tarafından geliştirilen, bilgisayarın PCI girişi tarafından kontrol edilen yüksek hızda fiber-optik veri transferini gerçekleştiren bir donanımdır. Verilerin birbirinden bağımsız 256 adet sistem arasında paylaşılmasını sağlayabilmektedir. Veri transfer hızı 6.2Mbyte/s'dir (<http://www.gefanucembedded.com/products/1298> 2008).

PCI-5576 kartının bilgisayarda kullanabilmesi için ilk önce bilgisayara tanıtılması gerekmektedir. Bu amaçla kartın sürücü yazılımı bilgisayara kurulur.

3.2 EOÖTS Donanımı

Elektro-Optik Ölçüm ve Test Sistemini oluşturan donanımlar şematik olarak Şekil 3.4'te gösterilmiştir.



Şekil 3.4 EOÖTS donanımı şematik gösterimi

3.2.1 Elektro – Optik kule (EOK)

EOK döngüde donanım testlerinde senaryolar gereği, arayıcı başlığını test etmek için belirli aralıklarda istenilen konumda, çapta ve enerjide lazer ışını hüzmesi üreten sistem olup, EOK 1064 nm dalgaboyunda yüksek enerjili (80 mJ) darbeli lazer kaynağının bulunduğu donanımdır. Dokümanın ilerleyen bölümlerinde EOK'deki lazer kaynağı "Lazer Simülatorü Modülü – LSM" olarak adlandırılacaktır.

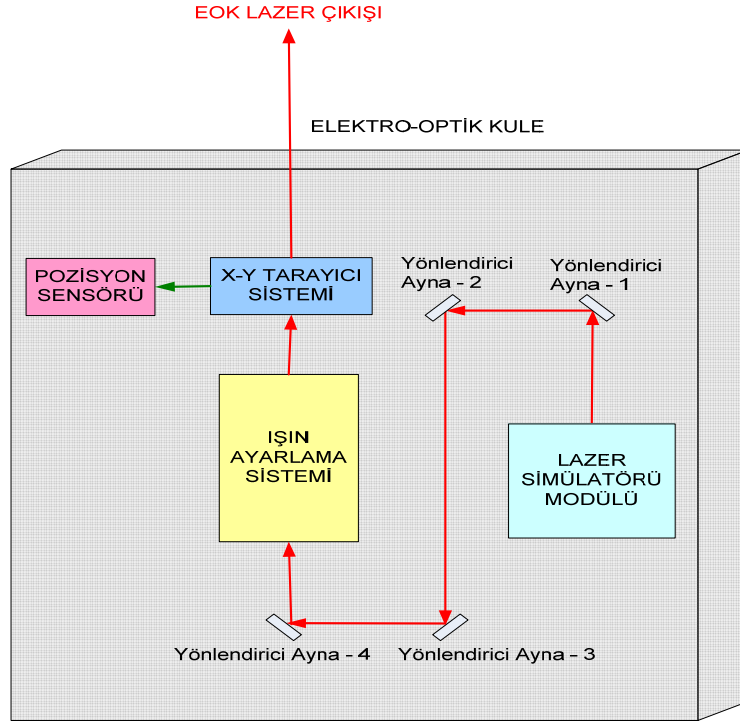
EOK'nin temel fonksiyonları aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

1. Yüksek enerjili darbeli lazer kaynağının enerjisini laboratuvar seviyesi testlerde kullanılacak enerji seviyesine (1nJ-1mJ) düşürmek. LSM içerisinde 255 basamaktan oluşan bir zayıflatıcı (internal attenuator) mevcut olup, bu zayıflatıcı lazer enerjisini 20dB'ye kadar zayıflatmaktadır. 20dB'den sonraki

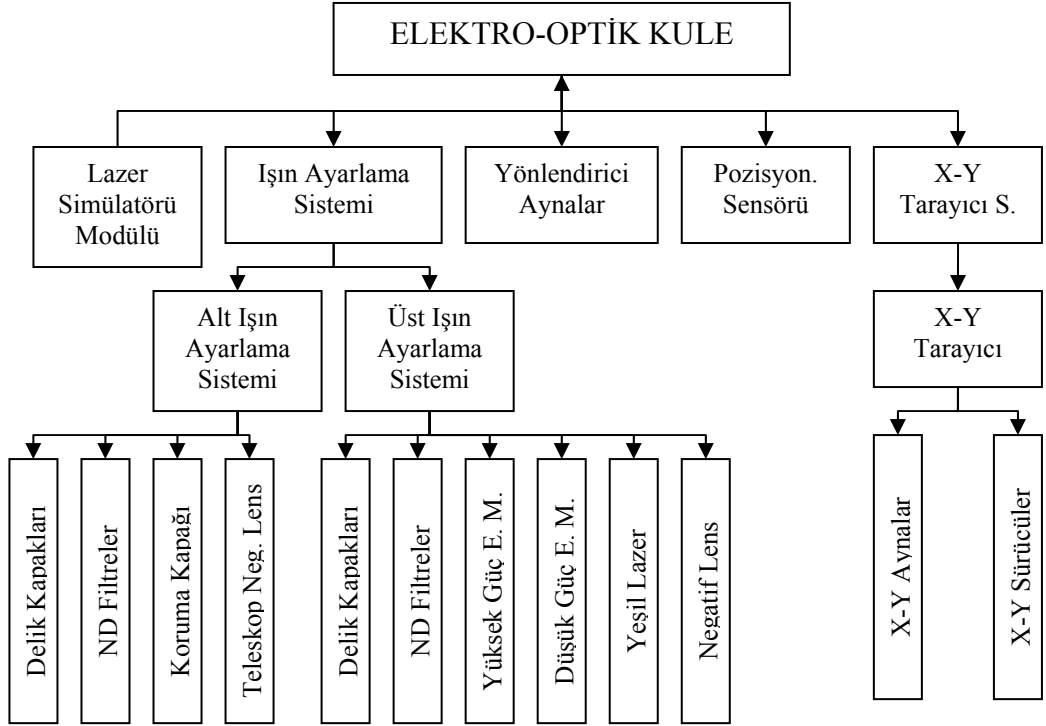
zayıflatma işlemi delik kapakları adı verilen mekanik parça ve ND (neutral density) filtreler ile gerçekleştirilmektedir. Zayıflatıcı, delik kapakları ve ND filtreler ile zayıflatılan lazerin enerjisi EOK'de bulunan enerji dedektörleri ile ölçülebilmektedir.

2. Hedef perdesi üzerine farklı çaplarda (2mm, 5mm, 10mm, 20mm, 200mm) ve farklı enerji seviyelerinde lazer spotu düşürmek. Hedef perdesi üzerine en küçük 2mm çapında, en büyük 200mm çapında lazer spotu düşürülmektedir. 2mm, 5mm, 10mm ve 20mm'lik lazer spot çapları delik kapakları tarafından; 200 mm'lik lazer spotu ise negatif lens (NL) ile sağlanmaktadır.
3. Hedef perdesi üzerinde hareketli lazer spotu sağlamak. EOK'de lazer çıkışının bulunduğu yerde yatay (X eksen) ve dikey (Y eksen) yönde hareket kabiliyeti bulunan aynalar bulunmaktadır. Bu aynalar dokümanın ilerleyen bölümünde X-Y aynaları olarak belirtilecektir. X-Y aynaları ile lazer spotu perde üzerinde yatay ve düşey düzlemde $\pm 20^\circ$ lik açılarla pozisyonlandırılabilir. Ortam şartlarına ve ürün performanslarına bağlı olarak bu değerlerde az da olsa oynamalar olabileceği gözden kaçırılmamalıdır.

EOK temel olarak dört bölüme ayrılmıştır (Şekil 3.5). EOK'nin indirgenmiş ürün ağacı Şekil 3.6'da gösterilmiştir. EOK'ye ait donanımlar lazer kaynağından başlayarak, lazer çıkış yerine kadar blok diyagram olarak gösterilmiştir. EOK'nin ayrıntılı blok diyagramı Şekil 3.7'de gösterilmiştir.



Şekil 3.5 EOK bölümleri



Şekil 3.6 EOK indirgenmiş ürün ağacı

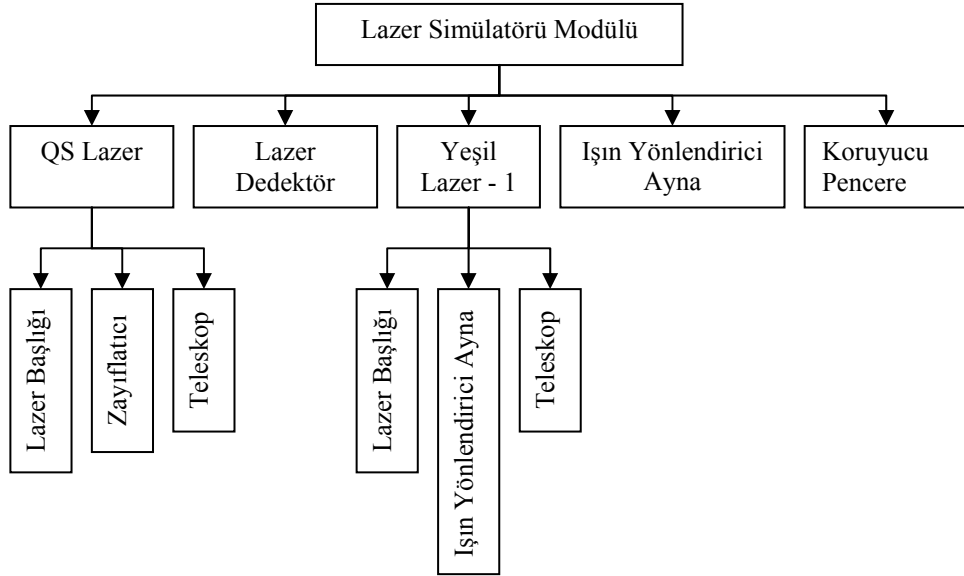
3.2.1.1 Lazer simülatörü modülü (LSM)

Lazer simülatörü modülü EOÖTS’de lazer ışını hüzmesini üreten birimdir.

Modüle ait teknik parametreler (Anonymous 2002):

- 1064nm’de 39mm QS (Q-Switched) lazer ışını hüzmesi,
- 1064nm’de 1mrad (miliradyan) sapma açısı,
- 80mJ – 0.8mJ, 256 adım (RS232 portundan kontrol edilebilen) ayarlanabilir enerji çıkışı,
- 20ns darbe genişliği (± 5 ns ayarlanabilir),
- 80mW sürekli dalga 532nm pilot lazer çıkışı (yeşil lazer),
- Ayarlanabilir görüş açısı,
- Çevresel faktörlere karşı koruyucu pencere,

LSM sistemini oluşturan ürünler Şekil 3.8’de gösterilmiştir.



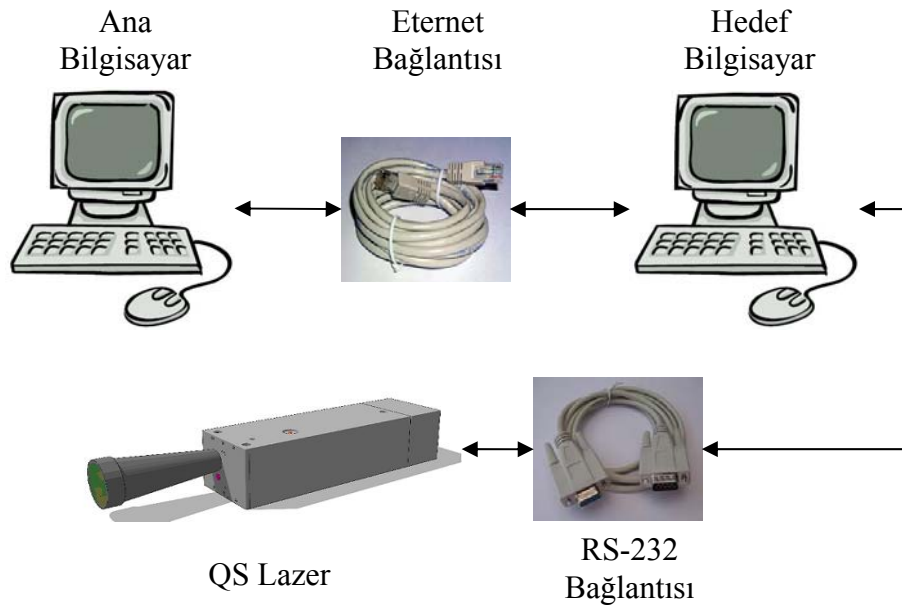
Şekil 3.8 Lazer simülatörü modülü ürün ağacı

3.2.1.1.1 Q-Anahtarlamalı lazer (Q-Switched - QSL)

LSM’nde bulunan lazer, 1064nm dalgaboyunda, 39mm ışın çapına ve 80mJ enerjiye sahip Q-Anahtarlamalı lazerdir. Opto-mekanik ve elektronik hassasiyete sahiptir. Lazeri

çalıştırma ve kapama işlemleri kendi açma-kapama butonları ile veya üzerinde bulunan RS232 portundan, kendi haberleşme protokolü kullanılarak kontrol edilebilmektedir (Anonymous 2002).

QSL sistemde hedef bilgisayarda bulunan Quatech firmasının 8 port RS-232 kartı ile kontrol edilmektedir. QSL'nin kontrolü için gerekli komutlar ana bilgisayardan hedef bilgisayara aktarılmakta ve hedef bilgisayarın RS-232 portu ile QSL'ye iletilmektedir. QSL'den veri okuma işleminde ise QSL'den RS-232 portu ile veriler hedef bilgisayar tarafından toplanmakta ve burdanda ana bilgisayara aktarılmaktadır. QSL'nin sistemdeki kontrolü Şekil 3.9'da gösterilmiştir.



Şekil 3.9 QSL kontrolü

QSL'ye ait veri gönderme komutları ve işlevleri aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır:

- \$KEYPAD 00 :QSL'yi kilitli duruma getirir. Böylece QSL'nin ateşlenmesine engel olur.
- \$KEYPAD 01 :QSL'nin kilidini kaldırır ve ateşlenmesine izin verir.
- \$LPRF PRF değeri :QSL'nin frekans değerini belirler. (Pulse Repetition Frequency – Darbe tekrarlanma frekansı)
- \$EPFN EPFN değeri :QSL'nin enerji değerini belirler. (Pump Energy for Pulse Forming Network)

- \$FIRE 01 : QSL'nin ateşlenmesini sağlar.
- \$STOP 00 : Ateşlemeyi durdurur.

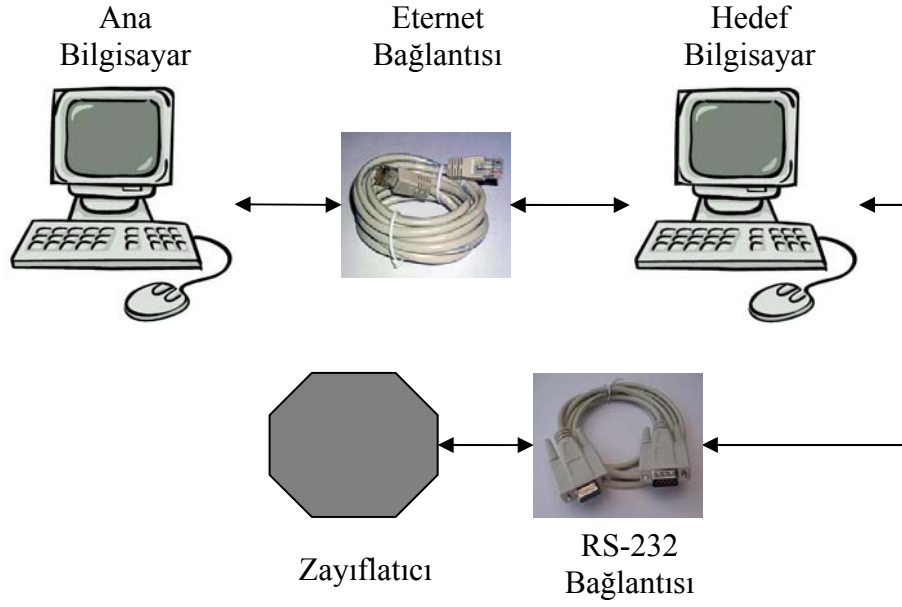
QSL'e ait RS-232 portu haberleşme protokolü bilgileri maddeler halinde sıralanmıştır:

- Bilgi gönderme hızı (Baud rate) : 9600
- Veri bitleri (Data bits) : 8
- Eşlik bitleri (Parity bits) : Yok
- Durdurma biti (Stop bits) : 1
- Akış kontrolü (Flow control) : Yok

3.2.1.1.2 Zayıflatıcı (Internal attenuator)

LSM'deki zayıflatıcı elektrik kontrollü opto-mekanik bir zayıflatıcıdır. Lazer ışını hüzmesinin enerjisini 256 adımlık (0 – 255) zayıflatabilme özelliğiyle 20dB'ye kadar zayıflatabilmektedir. Zayıflatıcının basamak değeri 255 iken QSL'nin çıkış enerjisi 80mJ, basamak değeri 0 iken de QSL'nin çıkış enerjisi 0.8mJ'dür. Zayıflatıcı RS232 portu ile kendi haberleşme protokolü kullanılarak kontrol edilebilmektedir (Anonymous 2002).

Zayıflatıcı sistemde hedef bilgisayarda bulunan Quratech firmasının 8 port RS-232 kartı ile kontrol edilmektedir. Zayıflatıcının kontrolü için gerekli komutlar ana bilgisayardan hedef bilgisayara aktarılmakta ve hedef bilgisayarın RS-232 portu ile zayıflatıcıya iletilmektedir. Zayıflatıcıdan veri okuma işleminde ise zayıflatıcıdan RS-232 portu ile veriler hedef bilgisayar tarafından toplanmakta ve burdanda ana bilgisayara aktarılmaktadır. Zayıflatıcının sistemdeki kontrolü Şekil 3.10'da gösterilmiştir.



Şekil 3.10 Zayıflatıcı kontrolü

Zayıflatıcıya komut gönderme işlemi AT komutu ile bildirilir. Zayıflatma değeri de AP komutu ile gönderilir. Bu komutların kullanımı aşağıdaki gibidir.

AT:AP Zayıflatma Katsayısı

Zayıflatma katsayısı “00” ile “FF” arasında değişen onaltılık sayı değerleri alabilir. “00” değeri maksimum zayıflatma değerine; “FF” değeri minimum zayıflatma değerine karşılık gelir.

Zayıflatıcıya ait RS-232 portu haberleşme protokolü bilgileri aşağıdaki gibidir;

- Bilgi gönderme hızı (Baud rate) : 19200
- Veri bitleri (Data bits) : 8
- Eşlik bitleri (Parity bits) : Yok
- Durdurma biti (Stop bits) : 1
- Akış kontrolü (Flow control) : Yok

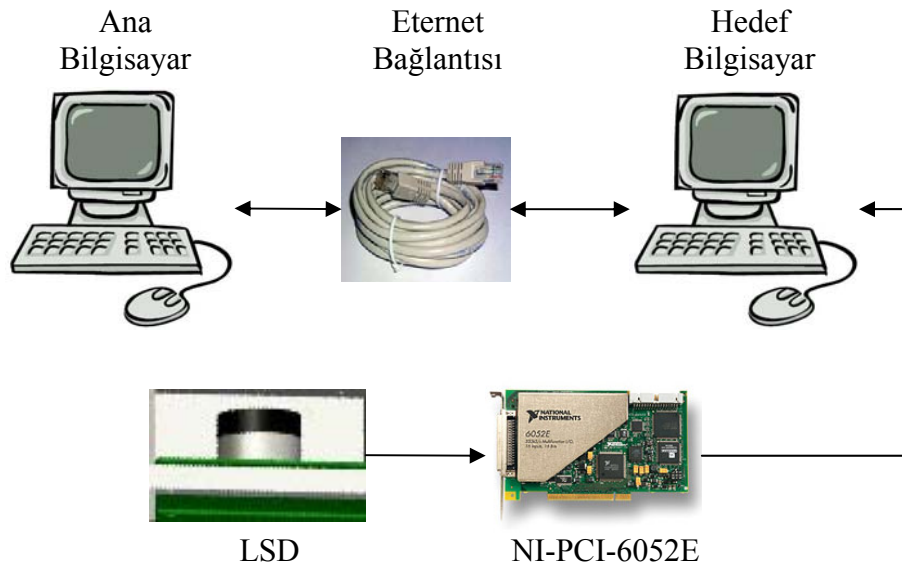
3.2.1.1.3 Lazer simülâtörü teleskobu (LST)

LST1 7x genişletme özelliğine sahip bir teleskoptur. QSL'in 5.57 mm olan çıkış çapını 39 mm'ye çıkarmaktadır.

3.2.1.2 Lazer simülâtörü dedektörü (LSD)

LSD, LSM'nin çıkış enerjisini ölçmektedir. LSM'de lazer çıkış çapı (39mm) büyük olduğu için LSD'nin önünde aspherical kollektör lens bulunmaktadır. Dedektörün yüksek lazer enerjisinde sature olmaması için aspherical kollektör lens sonrasında ND filtreler kullanılmaktadır. LSD, PIN diyot olup, analog veri okuma devresinden oluşmaktadır. LSD ile ölçülen enerji değerleri, testler sırasında kontrol döngüsü için geri besleme olarak kullanılmaktadır. Ölçüm aralığı enerji seviyesi olarak 1-100 mJ ve darbe genişliği olarak 15-30 ns'dir (Gentec 2007).

LSD her enerji değerine karşılık voltaj değeri üretmektedir. LSD, sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-6052E veri toplama/gönderme kartının analog girişinden kontrol edilmektedir. Analog girişten toplanan veriler ethernet bağlantısı ile hedef bilgisayardan ana bilgisayara aktarılmaktadır. LSD'nin sistemdeki kontrolü Şekil 3.11'de gösterilmiştir.



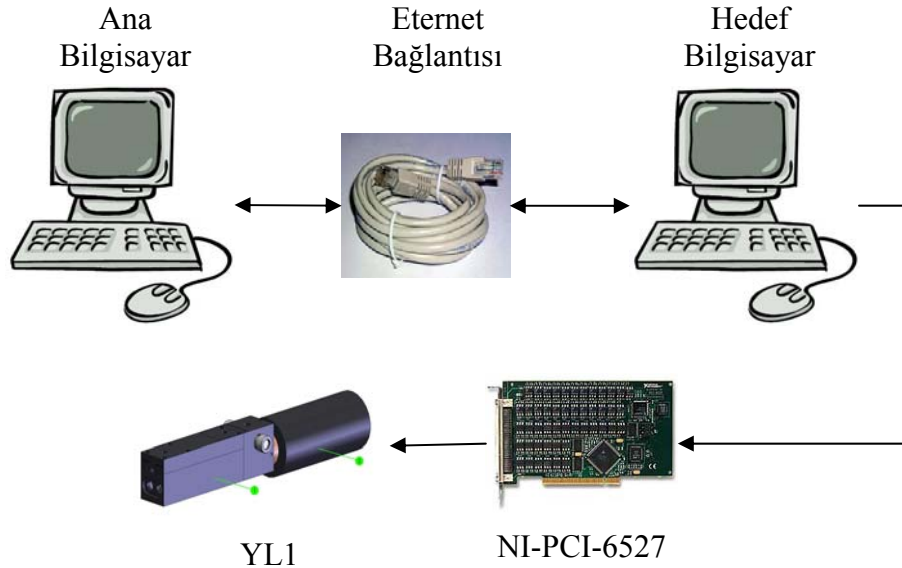
Şekil 3.11 LSD Kontrolü

3.2.1.3 Pilot lazer (Yeşil lazer – YL1)

Yeşil lazer 532nm dalgaboyuna, 80mW çıkış gücüne sahip lazer ışını hüzmesi üretmektedir. Maksimum sapma açısı 1.2mrad olan YL1, 5x genişletme özelliğine sahip teleskop ile birlikte kullanılmaktadır.

QSL'den üretilen ışın hüzmesinin gözle teması ciddi hastalıklara sebep olması ve QSL'nin göz ile görülememesi nedeniyle, testler esnasında gerekli kalibrasyonun ve ayarlamaların yapılması için pilot lazer kullanılmaktadır. Ayarlamalar istenilen düzeye gelince yeşil lazer kapatılarak QSL aktif hale getirilir. QSL ve YL1 aynı eksen ve doğrultuda hareket edebilme özelliğine sahip olduğu için başka herhangi bir ayar yapılmasına gerek yoktur.

YL1'in kontrol devresi dijital voltaj ile çalışmaktadır. YL1 sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-6527 veri toplama/gönderme kartının dijital çıkışından kontrol edilmektedir. Programlama komutları ana bilgisayardan ethernet bağlantısı üzerinden hedef bilgisayara aktarılmaktadır. YL1'in sistemdeki kontrolü Şekil 3.12'de gösterilmiştir.



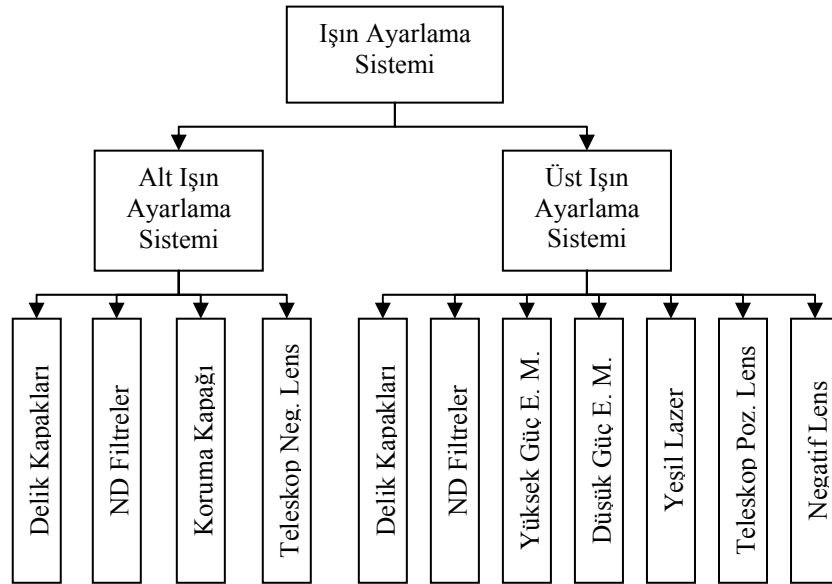
Şekil 3.12 YL1 kontrolü

3.2.1.4 Işın yönlendirici aynalar – 1,2,3,4 (IYA1, IYA2, IYA3, IYA4)

Işın yönlendirici aynalar yüksek yansıtıcı özelliğe sahip dielektrik kaplamadan oluşmaktadır. QS lazer ve YL1 ışın hüzmelerini enerji kaybı minimum olacak şekilde yönlendirmektedir.

3.2.1.5 Işın ayarlama sistemi (IAS)

IAS lazer ışını hüzmelerinin çapının ve enerjisinin değiştirilmesini sağlayan elektromekanik bir sistemdir. QS lazer ışını hüzmelerinin pozisyon kalibrasyonu ve ayarlamalarında kullanılan ikinci bir pilot lazer de (Yeşil Lazer – 2, YL2) bu sistem üzerinde bulunmaktadır. Alt ışın ayarlama sistemi ve üst ışın ayarlama sistemi olmak üzere iki bölüme ayrılmıştır. Sistemi oluşturan ürünler Şekil 3.13’te gösterilmiştir.



Şekil 3.13 Işın ayarlama sistemi indirgenmiş ürün ağacı

3.2.1.5.1 Alt ışın ayarlama sistemi (AIAS)

AIAS, lazer ışını hüzmeleri çapının ve enerjisinin değiştirilmesini sağlayan ND filtreler, delik kapakları ve tehlikeli durumlarda devreye girecek olan koruma kapağından oluşmaktadır.

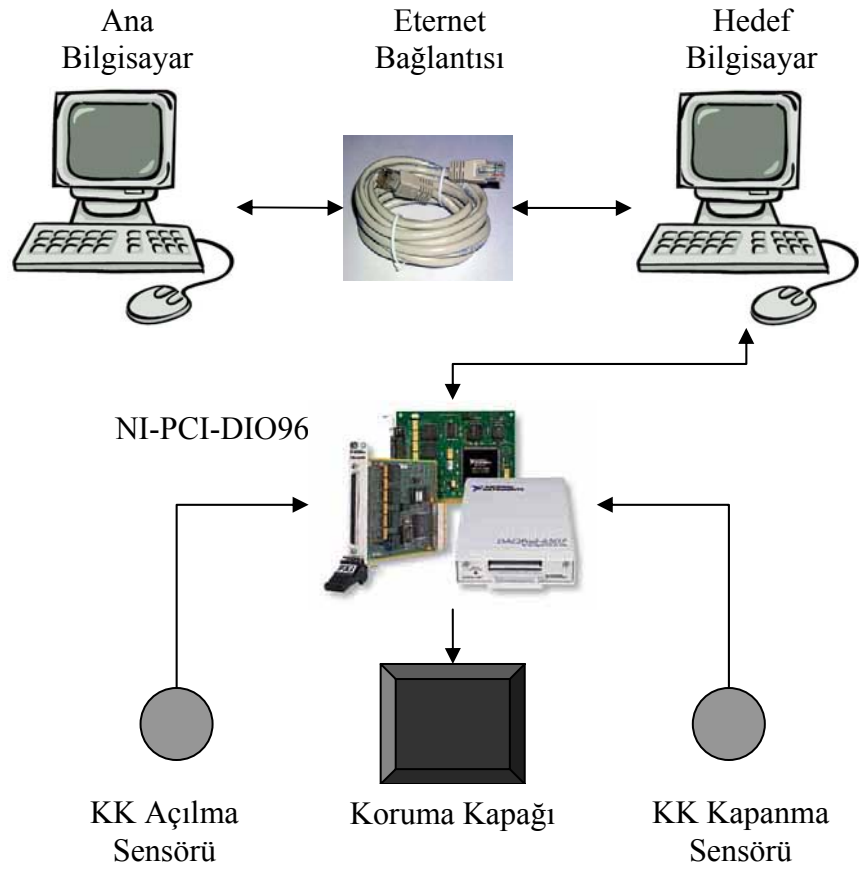
AIAS aşağıdaki b6l6mlerden oluşmaktadırd.

1. Koruma kapağı (KK) ve koruma kapağı konum sens6rleri (KKKSA, KKKSBB)
2. Delik kapağı – 1 (DK1), ap genişliği 2mm ve konum sens6rleri (DK1KSA, DK1KSB)
3. Delik kapağı – 2 (DK2), ap genişliği 5mm ve konum sens6rleri (DK2KSA, DK2KSB)
4. N6tral yoğunluklu filtre – 1 (ND1) ve konum sens6rleri (ND1KSA, ND1KSB)
5. N6tral yoğunluklu filtre – 2 (ND2) ve konum sens6rleri (ND2KSA, ND2KSB)
6. N6tral yoğunluklu filtre – 3 (ND3) ve konum sens6rleri (ND3KSA, ND3KSB)
7. N6tral yoğunluklu filtre – 4 (ND4) ve konum sens6rleri (ND4KSA, ND4KSB)
8. N6tral yoğunluklu filtre – 5 (ND5) ve konum sens6rleri (ND5KSA, ND5KSB)
9. EOK teleskop negatif lens (TNL)

3.2.1.5.1.1 Koruma kapağı (KK) ve koruma kapağı konum sens6rleri

Koruma kapağı elektronik kontroll6, solenoid ve yaydan oluşan mekanik bir kapaktırd. Aciliyet içeren durumlarda kapatıldığında lazer ışını h6zmesinin 6n6ne geçerek dış ortama aktarılmasını 6nlemektedir. Açma-kapama işlemleri iki adet optik led ve optik dedekt6r ile kontrol edilmektedir. Dedekt6rlerden alınan bilgiler testlerde geri d6n6ř6m bilgisi olarak kullanılmaktadır.

KK'nın kontrol devresi dijital voltaj ile çalışmaktadır. KKKSA ve KKKSBB açılma-kapanma durumlarında dijital voltaj 6retmektedirler. KK ve sens6rleri sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-DIO96 veri toplama/g6nderme kartının dijital giriş ve çıkış pimlerinden kontrol edilmektedir. KK'nın açılması için gerekli komutlar ana bilgisayardan ethernet bağlantısı 6zerinden hedef bilgisayara aktarılmaktadır. Sens6rlerden alınan konum verileri de hedef bilgisayar tarafından alınıp ana bilgisayara g6nderilmektedir. KK'nın ve konum sens6rlerinin sistemdeki kontrol6 şekil 3.14'te g6sterilmiştir.



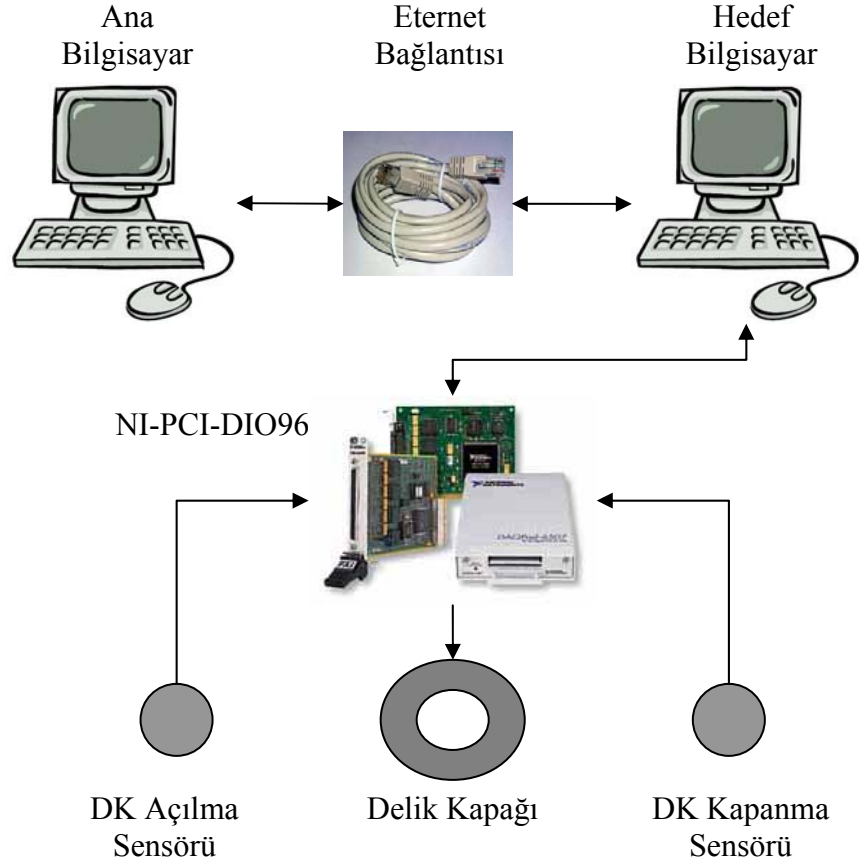
Şekil 3.14 KK ve sensörleri kontrolü

3.2.1.5.1.2 Delik kapakları (DK1, DK2) ve delik kapakları konum sensörleri

Delik kapakları elektronik kontrollü, solenoid ve yaydan oluşan, üzerinde lazer ışını hüzmelerinin belirli çaplarda geçmesini sağlayacak deliklerin bulunduğu mekanik kapaklardır. Lazer ışını çapının ve enerjisinin değişmesini sağlamaktadır. Lazer ışınının 2 mm ve 5 mm çaplarında geçmesine izin vermektedir. Açma-kapama işlemleri iki adet optik led ve optik dedektör ile kontrol edilmektedir. Dedektörlerden alınan bilgiler testlerde geri dönüşüm bilgisi olarak kullanılmıştır.

DK1 ve DK2'nin kontrol devreleri dijital voltaj ile çalışmaktadır. DK konum sensörleri açılma-kapanma durumlarında dijital voltaj üretmektedirler. DK1, DK2 ve sensörleri sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-DIO96 veri toplama/gönderme kartının dijital giriş ve çıkış pimlerinden kontrol edilmektedir. DK1 ve DK2'nin açılması için gerekli komutlar ana bilgisayardan ethernet bağlantısı üzerinden hedef bilgisayara

aktarılmaktadır. Sensörlerden alınan konum verileri de hedef bilgisayar tarafından alınıp ana bilgisayara gönderilmektedir. Delik kapağının ve konum sensörlerinin sistemdeki kontrolü Şekil 3.15’te gösterilmiştir. Diğer delik kapakları da aynı şekilde kontrol edilmektedir.

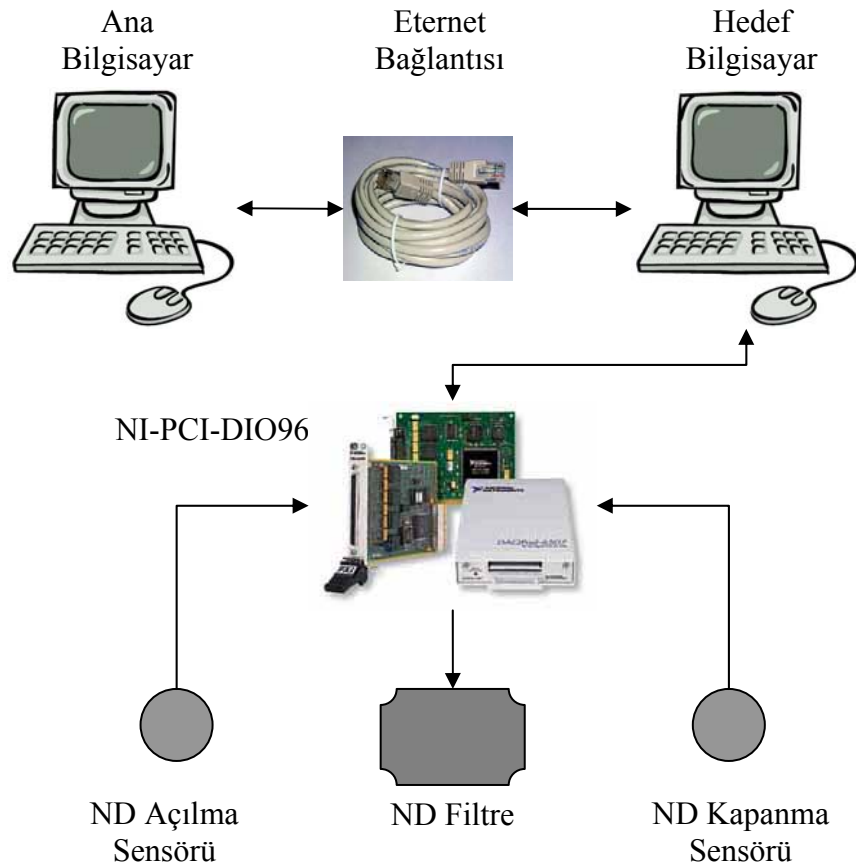


Şekil 3.15 DK ve sensörleri kontrolü

3.2.1.5.1.3 Nötral yoğunluklu filtreler ve konum sensörleri

Nötral yoğunluklu filtreler elektronik kontrollü, solenoid ve yaydan oluşan, üzerinde lazer ışını hüzmelerinin enerjisini zayıflatmak amacıyla kullanılan farklı yoğunluğa sahip filtrelerin bulunduğu mekanik kapaklardır. Lazer ışınının enerjisinin değişmesini sağlamaktadır. Farklı yoğunluktaki filtrelerin beraber kullanılmaları durumlarına göre zayıflatma değerleri istenilen seviyelere getirilebilmektedir. Açma-kapama işlemleri iki adet optik led ve optik dedektör ile kontrol edilmektedir. Dedektörlerden alınan bilgiler testlerde geri dönüşüm bilgisi olarak kullanılmıştır.

ND1 ve ND2'nin kontrol devreleri dijital voltaj ile çalışmaktadır. ND konum sensörleri açılma-kapanma durumlarında dijital voltaj üretmektedirler. ND1, ND2 ve sensörleri sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-DIO96 veri toplama/gönderme kartının dijital giriş ve çıkış pimlerinden kontrol edilmektedir. ND1 ve ND2'nin açılması için gerekli komutlar ana bilgisayardan ethernet bağlantısı üzerinden hedef bilgisayara aktarılmaktadır. Sensörlerden alınan konum verileri de hedef bilgisayar tarafından alınıp ana bilgisayara gönderilmektedir. ND filtrenin ve konum sensörlerinin sistemdeki kontrolü Şekil 3.16'da gösterilmiştir. Diğer ND filtreleride aynı şekilde kontrol edilmektedir.



Şekil 3.16 ND filtre ve sensörleri kontrolü

3.2.1.5.1.4 EOK teleskop negatif lens (TNL)

TNL lazer ışını hüzmesini genişletmek ve düzeltmek amacıyla kullanılmaktadır. 10X ışın genişletme özelliğine sahip bir negatif lensdir. Negatif lens elektronik kontrolü bulunmayan, sabit mekanik bir parçadır.

3.2.1.5.2 Üst ışın ayarlama sistemi (ÜIAS)

ÜIAS, lazer ışını hüzmesi çapının ve enerjisinin değiştirilmesini sağlayan delik kapakları ve teleskop pozitif lens, QS lazerin pozisyonunun kontrolünde kullanılan pilot lazer ve kontrol döngüsüne geri besleme olarak kullanılan yüksek ve düşük güç enerji metrelerden oluşmaktadır.

ÜIAS aşağıdaki bölümlerden oluşmaktadır.

1. EOK teleskop pozitif lens (TPL)
2. Delik kapağı – 3 (DK3), çap genişliği 2mm ve konum sensörleri (DK3KSA, DK3KSB)
3. Delik kapağı – 4 (DK4), çap genişliği 5mm ve konum sensörleri (DK4KSA, DK4KSB)
4. Delik kapağı – 5 (DK5), çap genişliği 10mm ve konum sensörleri (DK5KSA, DK5KSB)
5. Delik kapağı – 6 (DK6), çap genişliği 20mm ve konum sensörleri (DK6KSA, DK6KSB)
6. Pilot lazer (Yeşil Lazer – 2, (YL2))
7. Düşük güç enerji metre (DGEM)
8. Yüksek güç enerji metre (YGEM)
9. Işın genişletici negatif lens (NL)

3.2.1.5.2.1 EOK teleskop pozitif lens (TPL)

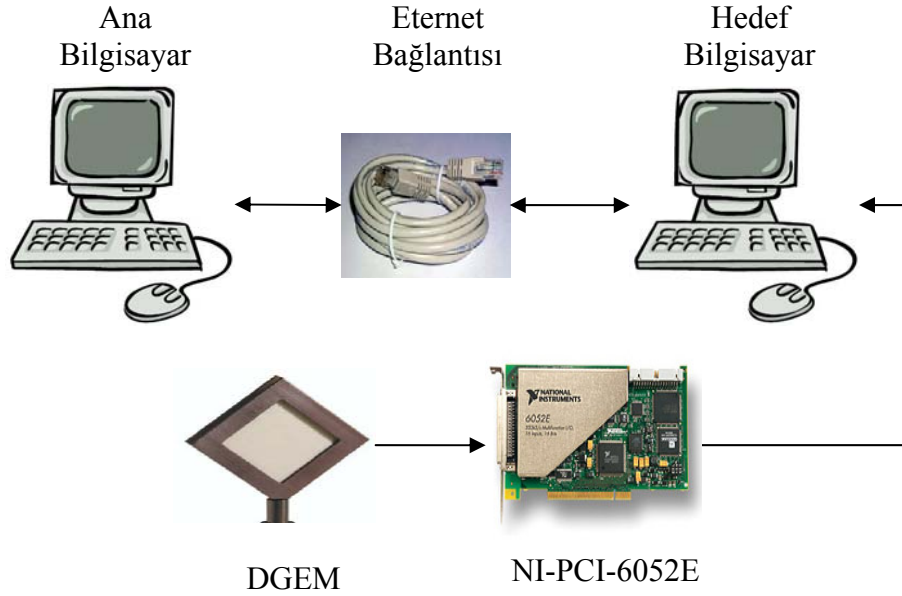
TPL lazer ışını hüzmesini genişletmek ve düzeltmek amacıyla kullanılmaktadır. 10X ışın genişletme özelliğine sahip bir negatif lenstir. Pozitif lens elektronik kontrolü bulunmayan, sabit mekanik bir parçadır.

3.2.1.5.2.2 Düşük güç enerji metre (DGEM)

DGEM, DK6'dan geçen lazer ışını hüzmesinin küçük bir kısmını örnekleyerek ÜIAS'nin çıkışındaki enerjiyi ölçmektedir. Ölçülen enerji değerleri testler sırasında

kontrol döngüsü için geri besleme olarak kullanılmaktadır. DGEM ışın örnekleyici, aspherical kollektör lens, nötral yoğunluklu filtre, PIN diyot ve analog veri okuma devresinden oluşmaktadır. Ölçüm aralığı enerji seviyesi olarak 1nj-1µj aralığındadır (Gentec 2008).

DGEM her enerji değerine karşılık voltaj değeri üretmektedir. DGEM, sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-6052E veri toplama/gönderme kartının analog girişinden kontrol edilmektedir. Analog girişten toplanan veriler ethernet bağlantısı ile hedef bilgisayardan ana bilgisayara aktarılmaktadır. DGEM'nin sistemdeki kontrolü Şekil 3.17'de gösterilmiştir.

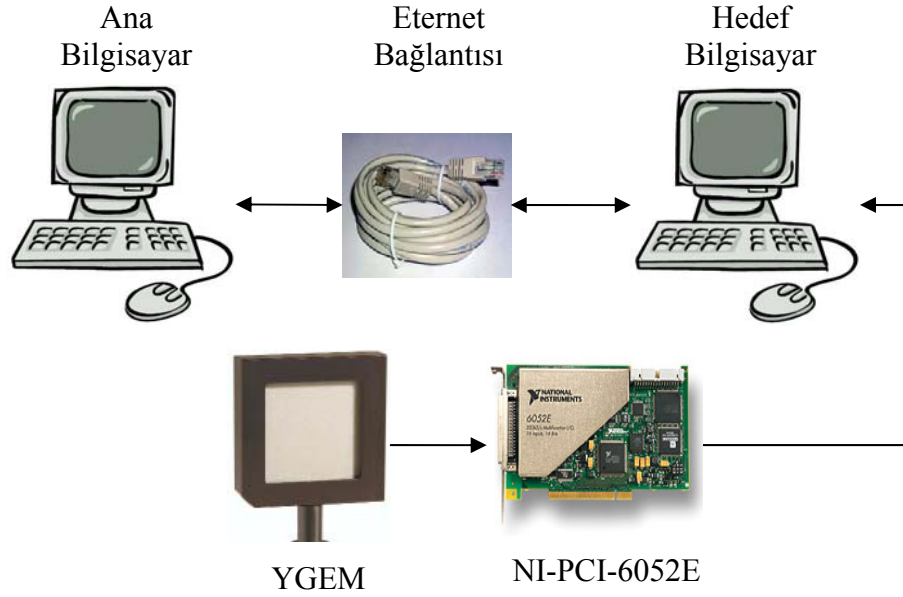


Şekil 3.17 DGEM kontrolü

3.2.1.5.2.3 Yüksek güç enerji metre (YGEM)

YGEM, DGEM'den sonra lazer ışını hüzmesinin küçük bir kısmını örnekleyerek ÜIAS'nin çıkışındaki enerjiyi ölçmektedir. Ölçülen enerji değerleri testler sırasında kontrol döngüsü için geri besleme olarak kullanılmaktadır. YGEM ışın örnekleyici, aspherical kollektör lens, nötral yoğunluklu filtre, PIN diyot ve analog veri okuma devresinden oluşmaktadır. Ölçüm aralığı enerji seviyesi olarak 1µj-1mj aralığındadır (Gentec 2008).

YGEM her enerji değerine karşılık voltaj değeri üretmektedir. YGEM, sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-6052E veri toplama/gönderme kartının analog girişinden kontrol edilmektedir. Analog girişten toplanan veriler ethernet bağlantısı ile hedef bilgisayardan ana bilgisayara aktarılmaktadır. YGEM'nin sistemdeki kontrolü Şekil 3.18'de gösterilmiştir.



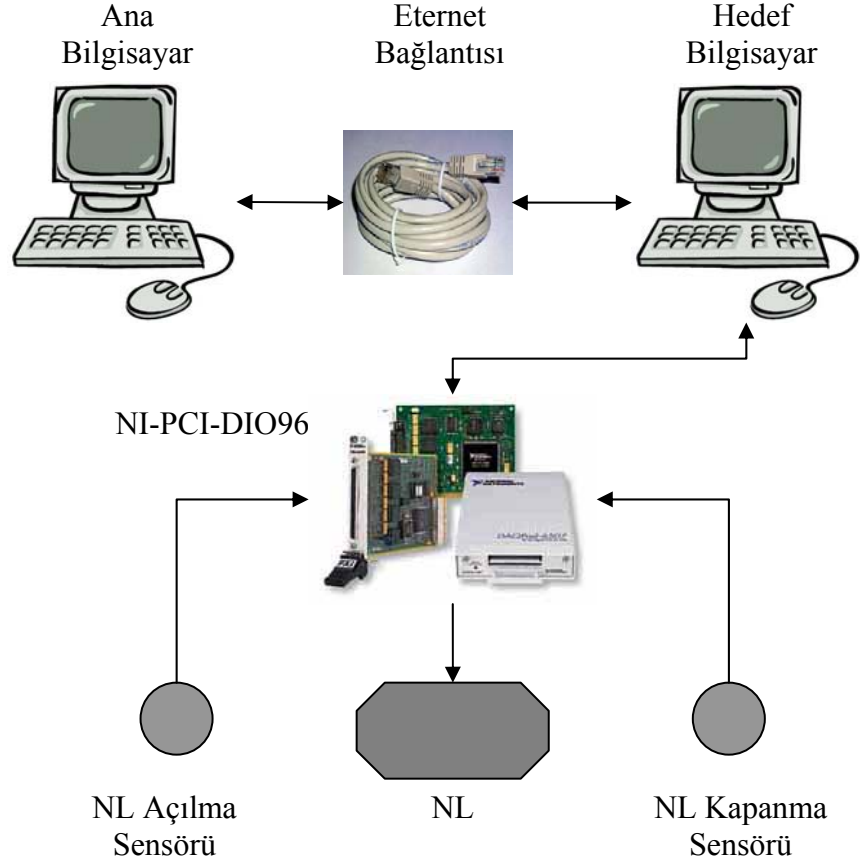
Şekil 3.18 YGEM kontrolü

3.2.1.5.2.4 Işın genişletici negatif lens (NL) ve konum sensörleri

NL lazer ışını hüzmesini genişletmek ve düzeltmek amacıyla kullanılan, elektronik kontrollü, solenoid ve yaydan oluşan, mekanik bir parçadır. 4X ışın genişletme özelliğine sahip bir negatif lenstir. Açma-kapama işlemleri iki adet optik led ve optik dedektör ile kontrol edilmektedir. Dedektörlerden alınan bilgiler testlerde geri dönüşüm bilgisi olarak kullanılmıştır. Negatif lens ihtiyaç olduğu takdirde lazer çıkış çapını 200 mm'ye kadar genişletmektedir.

NL'nin kontrol devresi dijital voltaj ile çalışmaktadır. NL konum sensörleri açılma-kapanma durumlarında dijital voltaj üretmektedirler. NL ve sensörleri sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-DIO96 veri toplama/gönderme kartının dijital giriş ve çıkış pimlerinden kontrol edilmektedir. NL'nin açılması için gerekli komutlar ana bilgisayardan ethernet bağlantısı üzerinden hedef bilgisayara aktarılmaktadır.

Sensörlerden alınan konum verileri de hedef bilgisayar tarafından alınıp ana bilgisayara gönderilmektedir. NL'nin ve konum sensörlerinin sistemdeki kontrolü Şekil 3.19'da gösterilmiştir.



Şekil 3.19 NL ve sensörleri kontrolü

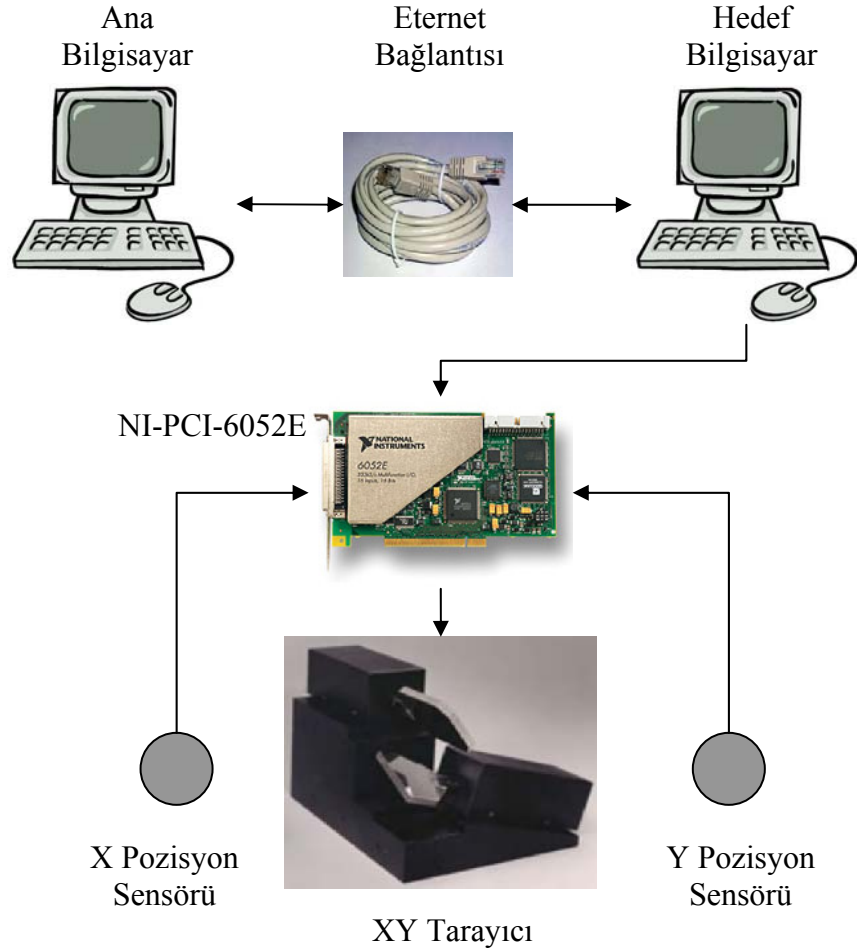
3.2.1.6 X – Y tarayıcı sistemi

X-Y tarayıcı sistemi 2 adet ayna ve bu aynaların kontrol devrelerinden oluşmaktadır. Bu aynalar voltaj kontrollü olup ± 10 V değerleri arasında sürülmektedir. X-Y tarayıcı sisteminin görevi, hedef perdesi üzerinde lazer spotunun hareketi sağlamaktır. X tarama sistemi ışının yatay pozisyonda yönlendirilmesini, Y tarama sistemi ise ışının düşey pozisyonda yönlendirilmesini sağlamaktadır. Hedef perdesindeki lazer spotunun hareketi ile hareketli hedef simüle edilmektedir (Anonymous 2006).

EOK'de bulunan 1064 nm dalgaboyundaki QS lazer ve 532 nm dalgaboyundaki pilot lazerler (2 adet) X-Y tarayıcı sistemi tarafından hedef perdesi üzerinde istenilen konuma

yönlendirilmektedir. Lazerin perde üzerindeki hareket kabiliyeti yatay ve dikey pozisyonlarda $\pm 20^\circ$ dir.

X-Y tarayıcının kontrol devresi analog voltaj ile kontrol edilmektedir. X-Y tarayıcının hareketinin kontrollü bir biçimde yapılabilmesi için X ve Y eksenlerinde pozisyon sensörleri bulunmaktadır. Sensörler pozisyon bilgisine göre analog voltaj üretmektedirler. X-Y tarayıcının ve pozisyon sensörleri sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-6052E veri toplama/gönderme kartının analog giriş ve çıkış pimlerinden kontrol edilmektedir. X-Y tarayıcının hareketi için gerekli komutlar ana bilgisayardan ethernet bağlantısı üzerinden hedef bilgisayara aktarılmaktadır. Sensörlerden alınan konum verileri de hedef bilgisayar tarafından alınıp ana bilgisayara gönderilmektedir. X-Y tarayıcı ve konum sensörlerinin sistemdeki kontrolü Şekil 3.20’de gösterilmiştir.

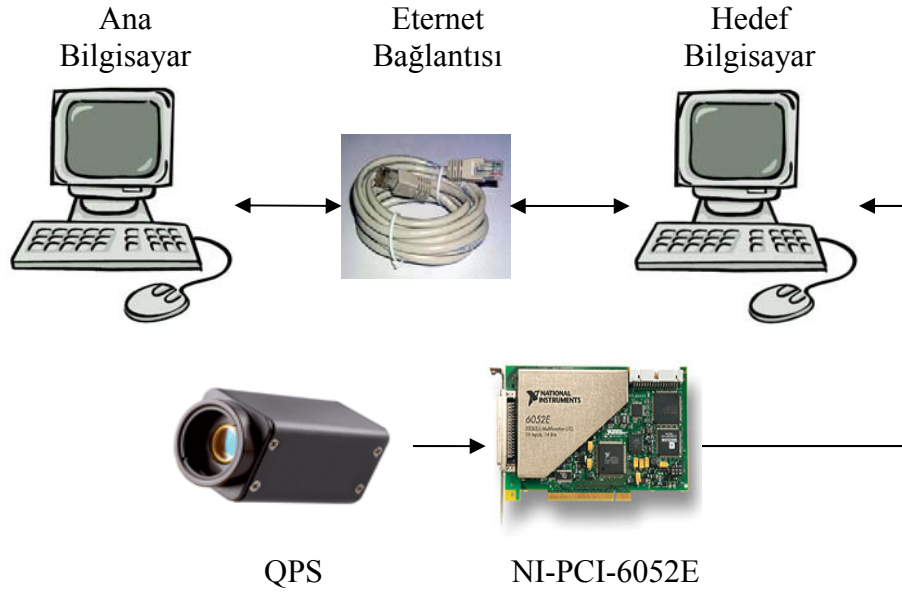


Şekil 3.20 X-Y tarayıcı ve sensörleri kontrolü

3.2.1.7 Dört kadranlı pozisyon sensörü (Quadrant position sensor, QPS)

EOK'deki QS lazer ve YL1'in ışın ayarlama sisteminin merkezinden geçmesi gerekmektedir. Lazerlerin ışın ayarlama sistemindeki merkezsiz kaçıklığının belirlenebilmesi için EOK'de QPS kullanılmaktadır. Işın ayarlama sisteminden geçen lazerler bir pozitif lens vasıtasıyla QPS üzerine düşürülerek merkezden kaçıklık belirlenmektedir. EOK'de bulunan yönlendirici aynalar kullanılarak lazerlerin merkezsiz konumlamalarına yönelik ayarlamalar yapılmaktadır.

QPS her enerji değerine karşılık voltaj değeri üretmektedir. QPS, sistemde hedef bilgisayarda bulunan NI-PCI-6052E veri toplama/gönderme kartının analog girişinden kontrol edilmektedir. Analog girişten toplanan veriler ethernet bağlantısı ile hedef bilgisayardan ana bilgisayara aktarılmaktadır. DGEM'nin sistemdeki kontrolü Şekil 3.21'de gösterilmiştir.



Şekil 3.21 QPS kontrolü

4. TEST SİSTEMİ YAZILIMI

4.1 Kalibrasyon Yazılımı

Üretici firmalar tarafından test sisteminin her bir donanımına ait çalışma ve ölçüm değerleri, ürünlerin kataloglarında verilmiştir. Bu katalog değerleri aşağıda maddeler halinde gösterilmiştir:

1. Delik kapaklarının açılma-kapanma süreleri ve kapakların lazere uygulamış olduğu zayıflatma değerleri,
2. ND filtre kapaklarının açılma-kapanma süreleri ve filtrelerin lazere uygulamış olduğu zayıflatma değerleri,
3. NL kapağının açılma-kapanma süresi ve lazere uygulamış olduğu zayıflatma değeri,
4. Koruma kapağının açılma-kapanma süresi,
5. QS lazer dahili zayıflatıcının zayıflatma değerleri,
6. X – Y tarayıcının, kendisine uygulanan her bir voltaj değerine karşılık gelen açı değeri,

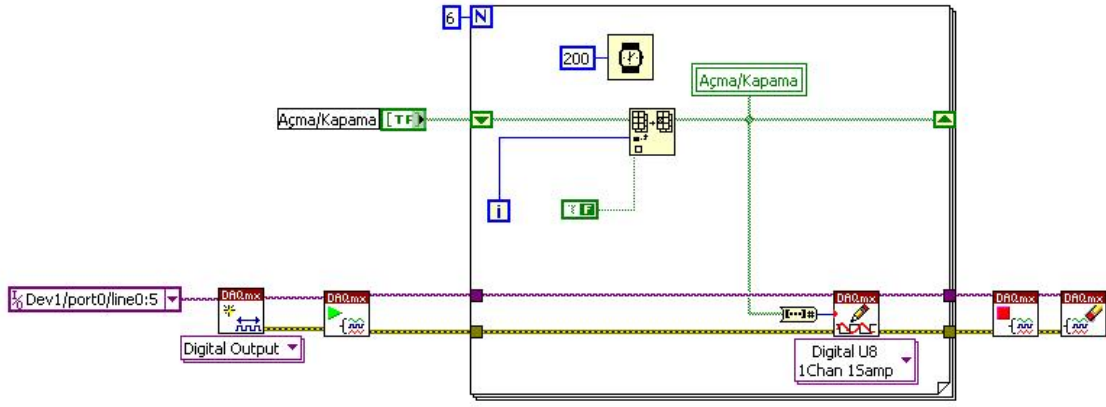
Bu değerler ideal ve gürültüsüz ortam şartlarında ki değerlere karşılık gelmektedir. Bu değerlerin kontrol yazılımında doğrudan kullanılması, sistemle yapılan testlerde yanlış sonuçların alınmasına sebep olacaktır. Bu nedenle sistemin statik ve dinamik testlerde kullanılacak kontrol yazılımlarının oluşturulmasından önce sistemde ki her bir alt sisteme ayrı ayrı kalibrasyon testlerinin yapılması gerekmiştir. Bu amaçla alt sistemlere ait kalibrasyon yazılımları oluşturulmuştur. Kalibrasyon testleri sonucunda ölçülen değerler ile katalog değerleri karşılaştırılmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları statik ve dinamik test yazılımlarında kullanılmıştır. Kalibrasyon testlerine ait sonuçlar 5. bölümde ayrıntılı olarak anlatılmıştır.

4.1.1 Delik kapakları kontrol yazılımı

Delik kapaklarının her biri iki adet optik sensöre sahiptir. Bu sensörlerden birincisi kapağın açılma işleminin gerçekleştiği bölgede bulunmakta ve açılma bilgisini haber

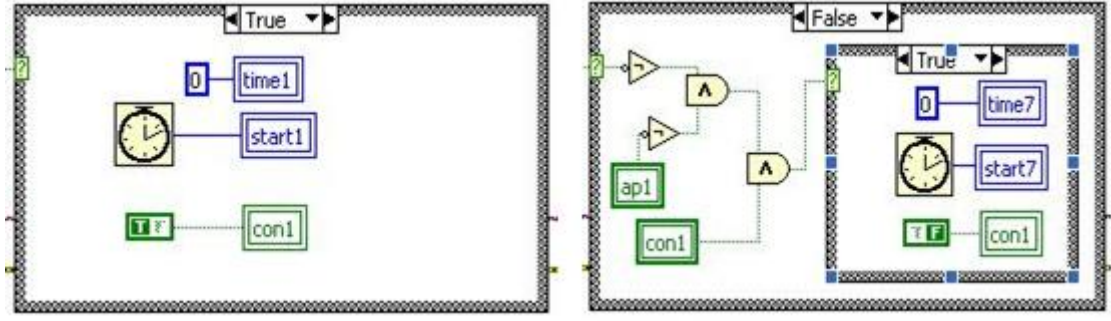
vermektedir. İkincisi ise kapağın kapandığı bölgede bulunmakta ve kapanma bilgisini haber vermektedir. Ayrıca her bir delik kapağı, delik çapıyla ters orantılı bir şekilde lazer ışınını zayıflatma değerine sahiptir. Delik kapakları kontrol yazılımı açılma-kapanma sürelerini ve zayıflatma değerlerini hesaplayacak şekilde tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Tüm kapakların açılma sürelerinin ve enerji zayıflatma değerlerinin hesaplanması için yazılımın ilk kısmında tüm kapaklar sıra ile kapatılmaktadır. Kapakların kontrolünü sağlayan veri toplama/gönderme kartının ilgili çıkışlarına mantıksal “0” değeri gönderilir. Bu işlemin programdaki görüntüsü Şekil 4.1’ de verilmiştir.



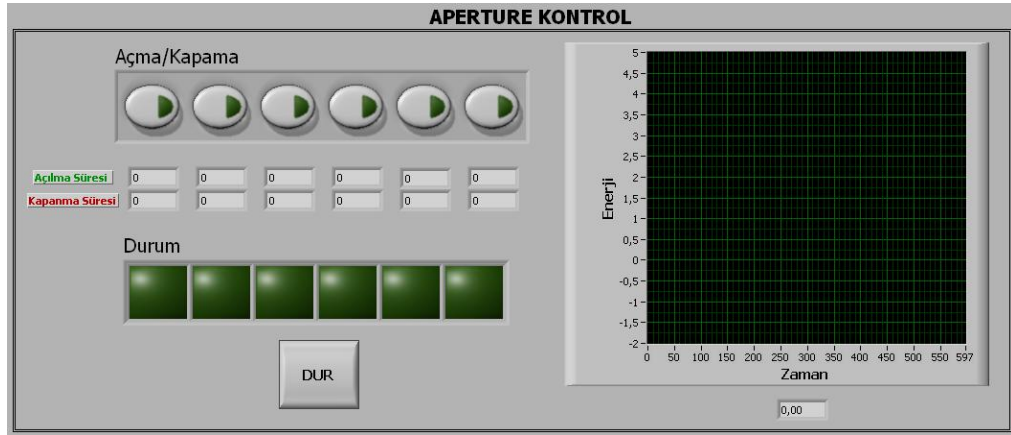
Şekil 4.1 Delik kapaklarının kapalı pozisyona getirilmesi

Açılma süresinin hesaplanması için istenilen kapağa mantıksal “1” komutu gönderilir ve sayıcı çalışmaya başlar. Açılma sensöründen alınan mantıksal “1” komutu ile sayıcı durdurulur ve süre hesaplanır. Aynı zamanda enerji metreden lazer enerjisi hesaplanır ve ilgili kapak için zayıflatma değeri bulunur. Sayıcının başlatılması, durdurulması ve sürenin hesaplanması işlemlerinin programdaki görüntüsü Şekil 4.2’de verilmiştir.



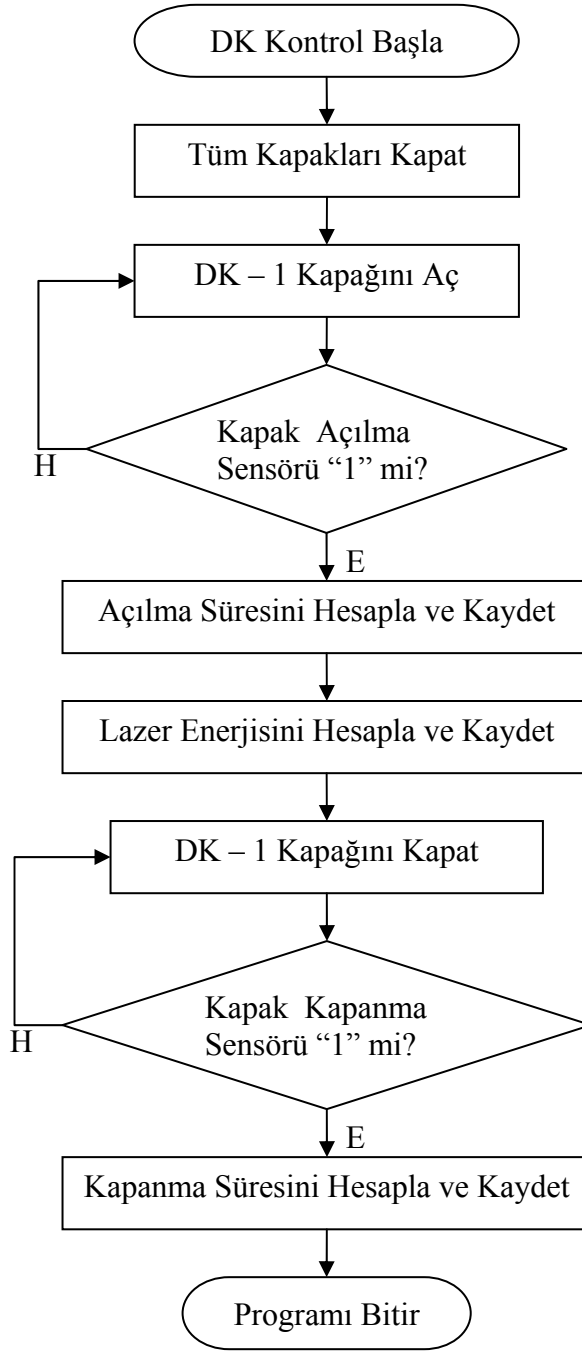
Şekil 4.2 Sayıcının başlatılması ve durdurulması

Açılma süresinin ve enerji zayıflatma değerinin hesabından sonra kapanma süresinin hesaplanması işlemine başlanır. Kapanma süresinin hesaplanması için istenilen kapağa mantıksal “0” komutu gönderilir ve sayıcı çalışmaya başlar. Kapanma sensöründen alınan mantıksal “1” komutu ile sayıcı durdurulur ve süre hesaplanır. Bu işlemler tüm kapaklar için tek tek yapılır ve değerler kaydedilir. İşlemler bittikten sonra veri toplama/gönderme kartlarının giriş/çıkışları kapatılır ve görev temizlenir. Şekil 4.3’te delik kapakları kontrol yazılımının kullanıcı ara yüzü görülmektedir.



Şekil 4.3 Delik kapakları kontrol yazılımı kullanıcı arayüzü

Tüm bu açılma-kapanma süreleri ve enerji zayıflatma değerleri delik kapakları için kalibrasyon değerlerini oluştururlar. Hesaplanan bu değerler kaydedilerek statik ve dinamik kontrol yazılımlarında kullanılmıştır. Şekil 4.4’te delik kapakları kontrol yazılımının akış şeması verilmiştir.



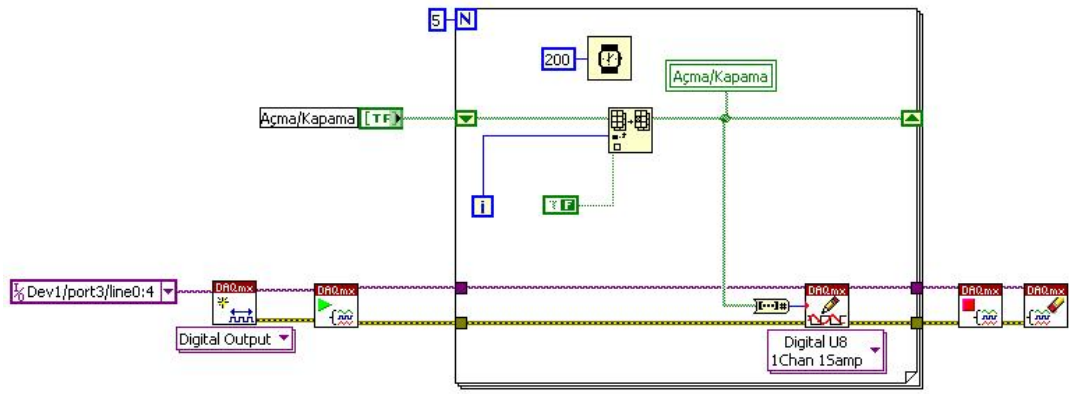
Şekil 4.4 Delic kapakları kontrol yazılımı akış şeması

4.1.2 ND filtre kontrol yazılımı

ND filtre kapaklarının her biri iki adet optik sensöre sahiptir. Bu sensörlerden birincisi kapağın açılma işleminin gerçekleştiği bölgede bulunmakta ve açılma bilgisini haber vermektedir. İkincisi ise kapağın kapandığı bölgede bulunmakta ve kapanma bilgisini

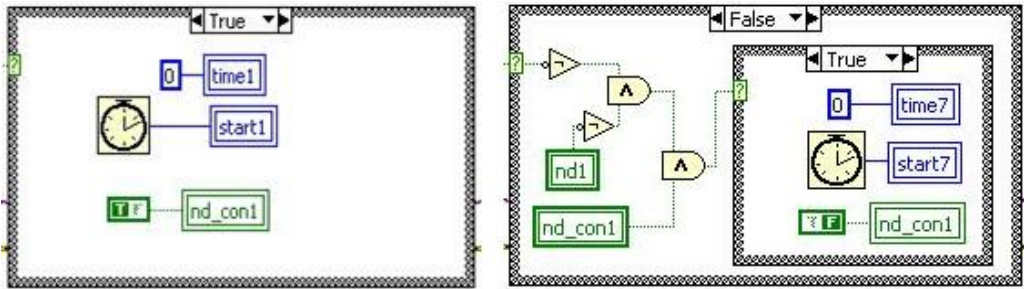
haber vermektedir. Ayrıca her bir ND filtre, yoğunluğuyla doğru orantılı bir şekilde lazer ışını zayıflatma değerine sahiptir. ND filtre kontrol yazılımı açılma-kapanma sürelerini ve zayıflatma değerlerini hesaplayacak şekilde tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Tüm kapakların açılma sürelerinin ve enerji zayıflatma değerlerinin hesaplanması için yazılımın ilk kısmında tüm kapaklar sıra ile kapatılmaktadır. Kapakların kontrolünü sağlayan veri toplama/gönderme kartının ilgili çıkışlarına mantıksal “0” değeri gönderilir. Bu işlemin programdaki görüntüsü Şekil 4.5’te verilmiştir.



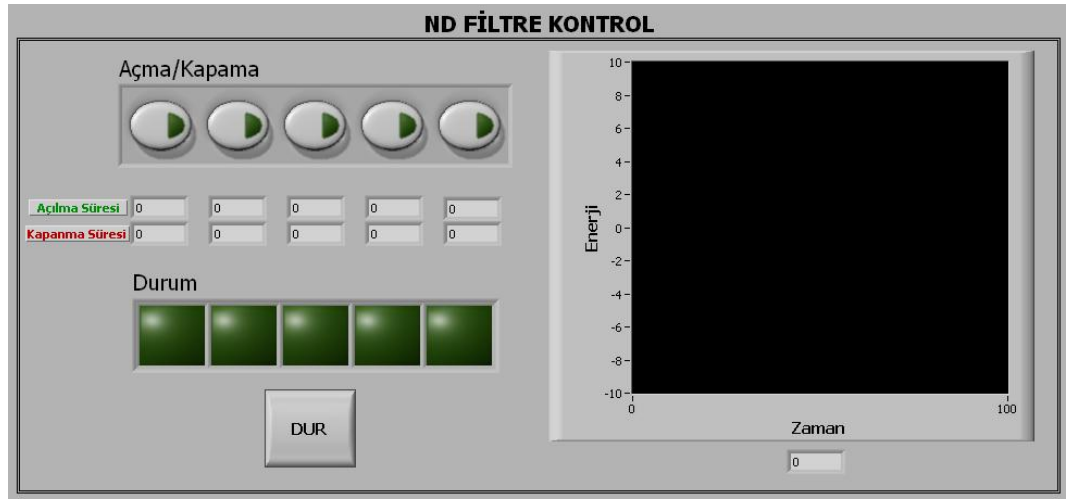
Şekil 4.5 ND filtre kapakların kapalı pozisyona getirilmesi

Açılma süresinin hesaplanması için istenilen kapağa mantıksal “1” komutu gönderilir ve sayıcı çalışmaya başlar. Açılma sensöründen alınan mantıksal “1” komutu ile sayıcı durdurulur ve süre hesaplanır. Aynı zamanda enerji metreden lazer enerjisi hesaplanır ve ilgili kapak için zayıflatma değeri bulunur. Sayıcının başlatılması, durdurulması ve sürenin hesaplanması işlemlerinin programdaki görüntüsü Şekil 4.6’da verilmiştir.



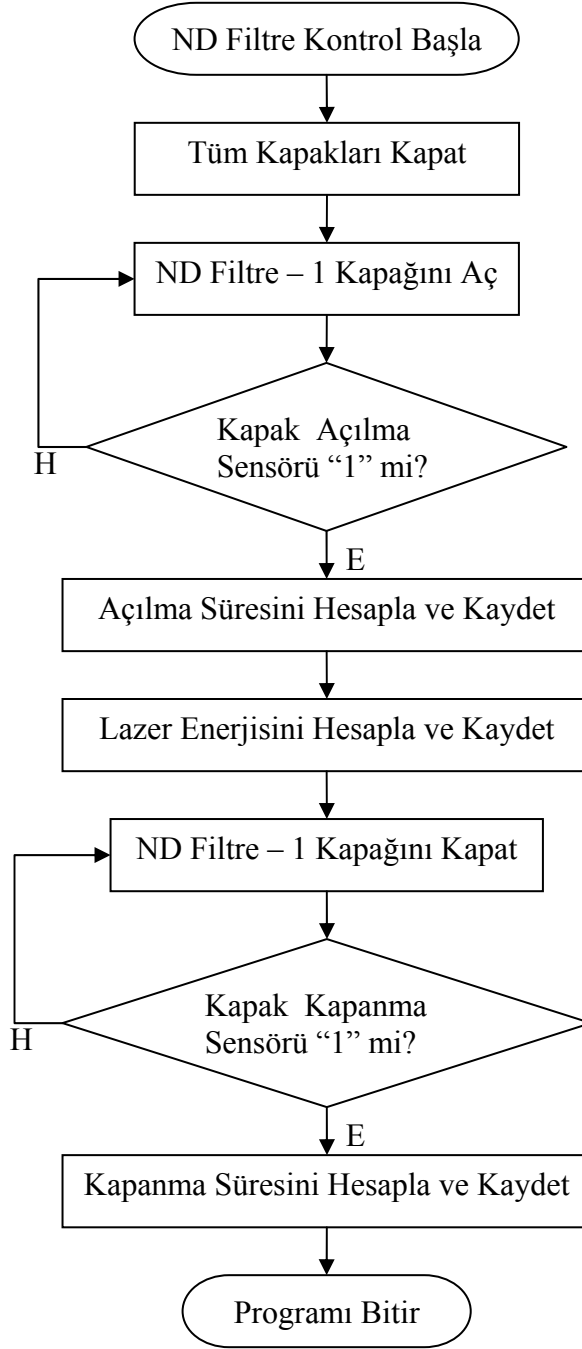
Şekil 4.6 Sayıcının başlatılması ve durdurulması

Açılma süresinin ve enerji zayıflatma değerinin hesabından sonra kapanma süresinin hesaplanması işlemine başlanır. Kapanma süresinin hesaplanması için istenilen kapağa mantıksal “0” komutu gönderilir ve sayıcı çalışmaya başlar. Kapanma sensöründen alınan mantıksal “1” komutu ile sayıcı durdurulur ve süre hesaplanır. Bu işlemler tüm kapaklar için tek tek yapılır ve değerler kaydedilir. İşlemler bittikten sonra veri toplama/gönderme kartlarının giriş/çıkışları kapatılır ve görev temizlenir. Şekil 4.7’de ND filtre kontrol yazılımının kullanıcı ara yüzü görülmektedir.



Şekil 4.7 ND filtre kontrol yazılımı kullanıcı arayüzü

Tüm bu açılma-kapanma süreleri ve enerji zayıflatma değerleri ND filtre kapakları için kalibrasyon değerlerini oluştururlar. Hesaplanan bu değerler kaydedilerek statik ve dinamik kontrol yazılımlarında kullanılmıştır. Şekil 4.8’de ND filtre-1 kontrol yazılımının akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.8 ND filtre kontrol yazılımı akış şeması

4.1.3 NL kontrol yazılımı

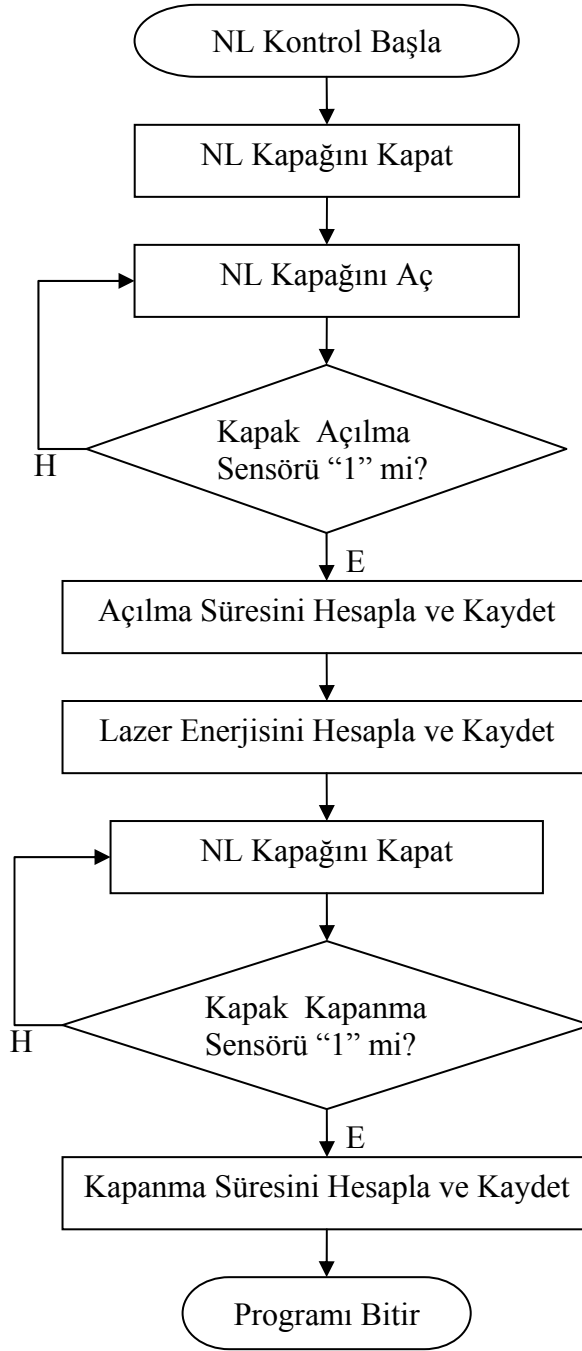
NL kapağı iki adet optik sensöre sahiptir. Bu sensörlerden birincisi kapağın açılma işleminin gerçekleştiği bölgede bulunmakta ve açılma bilgisini haber vermektedir. İkincisi ise kapağın kapandığı bölgede bulunmakta ve kapanma bilgisini haber

Açılma süresinin ve enerji zayıflatma değerinin hesabından sonra kapanma süresinin hesaplanması işlemine başlanır. Kapanma süresinin hesaplanması için NL kapağına mantıksal “0” komutu gönderilir ve sayıcı çalışmaya başlar. Kapanma sensöründen alınan mantıksal “1” komutu ile sayıcı durdurulur ve süre hesaplanır. İşlemler bittikten sonra veri toplama/gönderme kartlarının giriş/çıkışı kapatılır ve görev temizlenir. Şekil 4.11’de NL kontrol yazılımının kullanıcı arayüzü görülmektedir.



Şekil 4.11 NL kontrol yazılımı kullanıcı arayüzü

Tüm bu açılma-kapanma süresi ve enerji zayıflatma değeri NL kapağı için kalibrasyon değerlerini oluşturur. Hesaplanan bu değerler kaydedilerek statik ve dinamik kontrol yazılımlarında kullanılmıştır. Şekil 4.12’de NL kontrol yazılımının akış şeması verilmiştir.



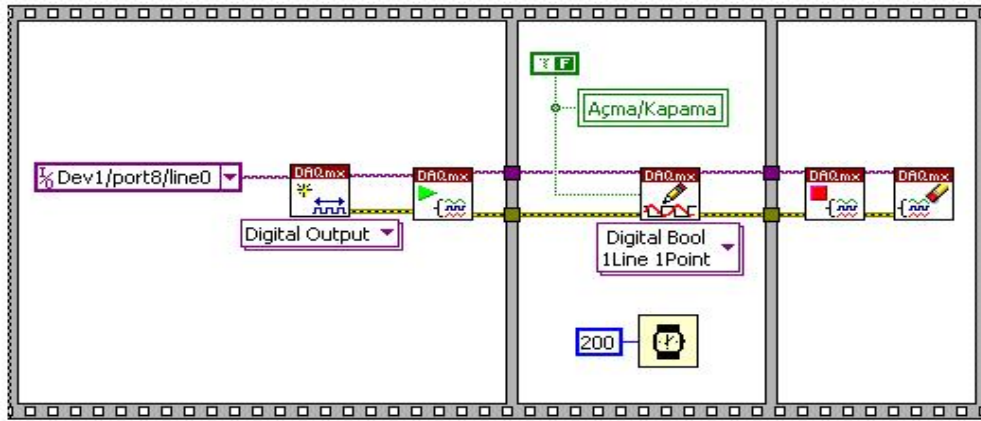
Şekil 4.12 NL kontrol yazılımı akış şeması

4.1.4 Koruma kapağı kontrol yazılımı

Koruma kapağı iki adet optik sensöre sahiptir. Bu sensörlerden birincisi kapağın açılma işleminin gerçekleştiği bölgede bulunmakta ve açılma bilgisini haber vermektedir. İkincisi ise kapağın kapandığı bölgede bulunmakta ve kapanma bilgisini haber

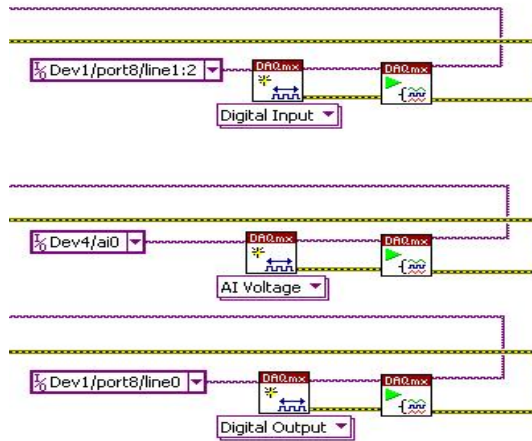
vermektedir. Ayrıca koruma kapağı tehlike anında devreye girecek ve lazer ışınının ortama yayılmasına engel olacaktır. Koruma kapağı kapandığı vakit enerji metreden lazer enerjisinin ölçülmemesi gerekmektedir.

Programın ilk kısmında koruma kapağının kapalı olduğundan emin olabilmek için, kontrolünü sağlayan veri toplama/gönderme kartının ilgili çıkışına mantıksal “0” değeri gönderilir. Bu işlemin programdaki görüntüsü Şekil 4.13’ te verilmiştir.



Şekil 4.13 Koruma kapağının kapatılması

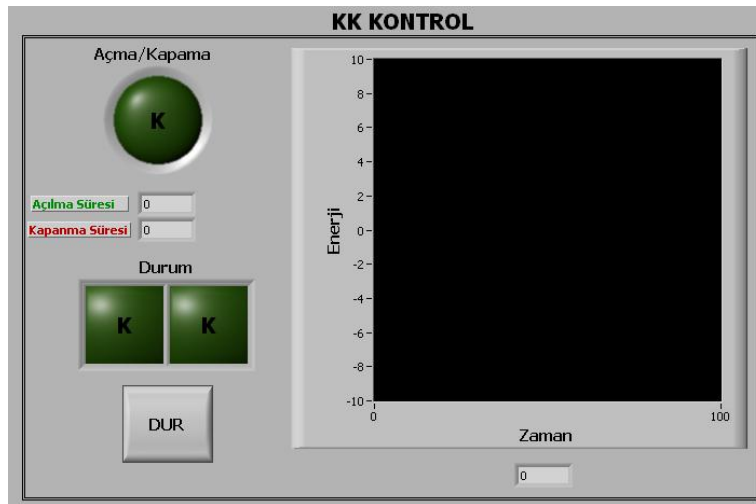
Sonraki adımda kapağa açma/kapama komutlarının gönderildiği ve sensörlerden bilgi alındığı veri toplama kartının ilgili giriş-çıkışları aktif edilir. Bu işlemin programdaki görüntüsü Şekil 4.14’ te verilmiştir.



Şekil 4.14 DIO-96 kartının ilgili giriş/çıkışlarının aktif edilmesi

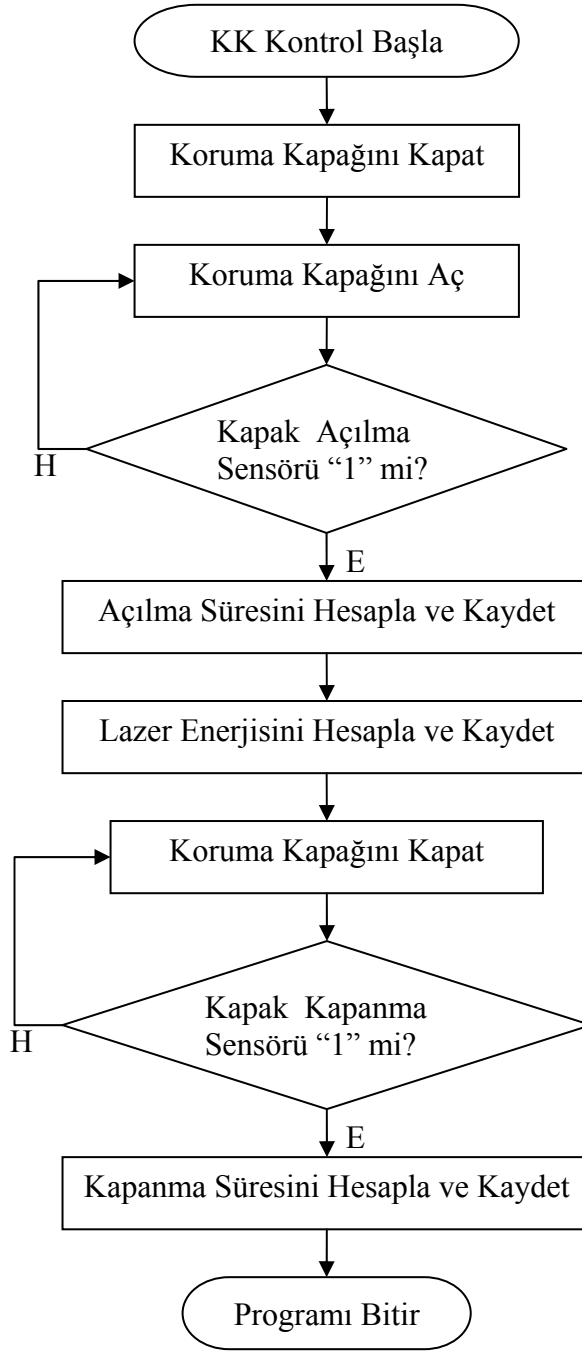
Açılma süresinin hesaplanması için koruma kapağına mantıksal “1” komutu gönderilir ve sayıcı çalışmaya başlar. Açılma sensöründen alınan mantıksal “1” komutu ile sayıcı durdurulur ve süre hesaplanır. Aynı zamanda enerji metreden lazer enerjisi hesaplanır ve koruma kapağının aktif olduğu durumda ortama lazer enerjisinin çıkışı denetlenmiş olur.

Açılma süresinin ve enerji değerinin hesabından sonra kapanma süresinin hesaplanması işlemine başlanır. Kapanma süresinin hesaplanması için koruma kapağına mantıksal “0” komutu gönderilir ve sayıcı çalışmaya başlar. Kapanma sensöründen alınan mantıksal “1” komutu ile sayıcı durdurulur ve süre hesaplanır. İşlemler bittikten sonra veri toplama/gönderme kartlarının giriş/çıkışı kapatılır ve görev temizlenir. Şekil 4.15’te koruma kapağı kontrol yazılımının kullanıcı ara yüzü görülmektedir.



Şekil 4.15 KK kontrol yazılımının kullanıcı ara yüzü

Şekil 4.16’ da koruma kapağı kontrol yazılımının akış şeması verilmiştir.

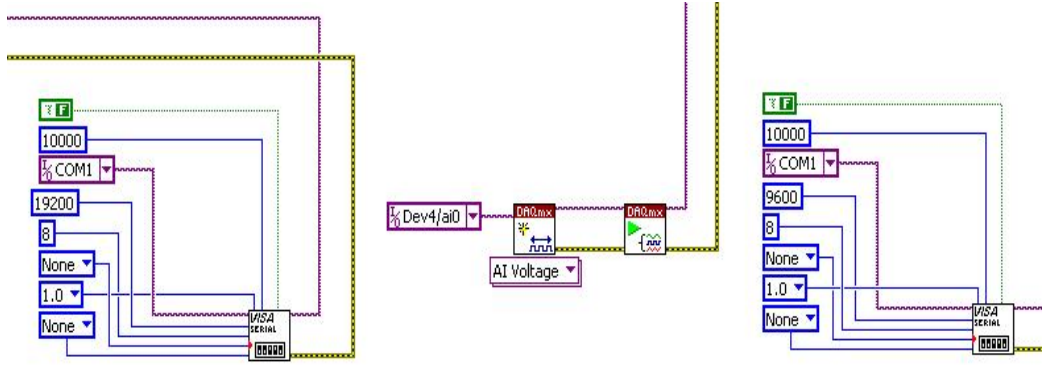


Şekil 4.16 Koruma kapağı kontrol yazılımı akış şeması

4.1.5 QS Lazer zayıflatıcı kontrol yazılımı

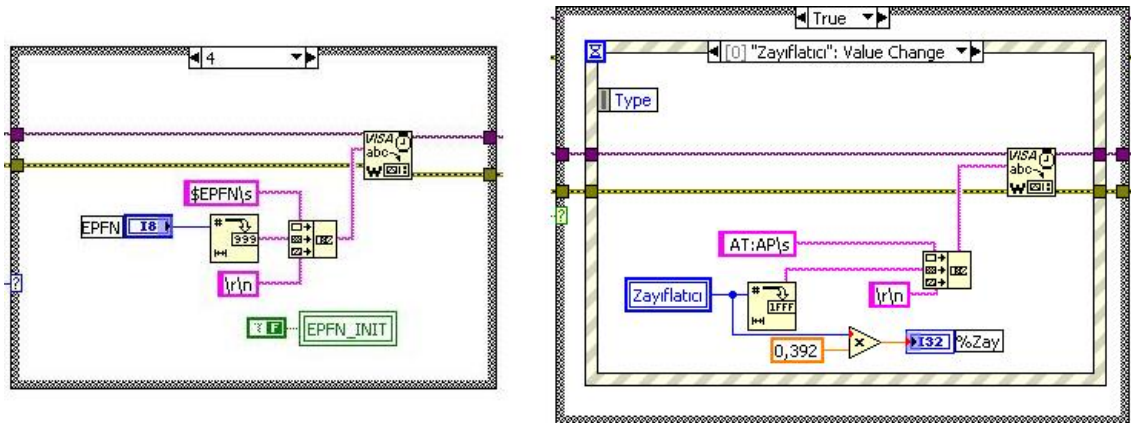
Zayıflatıcı QS lazer kaynağına tümleşik yapıda bulunmaktadır. Kontrol yazılımı her bir zayıflatma adımının lazer enerjisine uygulamış olduğu zayıflatma değerini bulacak şekilde tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Programın ilk kısmında QS lazer kaynağını ve zayıflatıcıyı kontrol eden RS-232 portları ve lazer enerji dedektörünü kontrol eden NI-PCI-6704 veri toplama/gönderme kartının analog girişi konfigüre edilmiştir. Şekil 4.17’de bu işlemin programdaki görüntüsü verilmiştir.



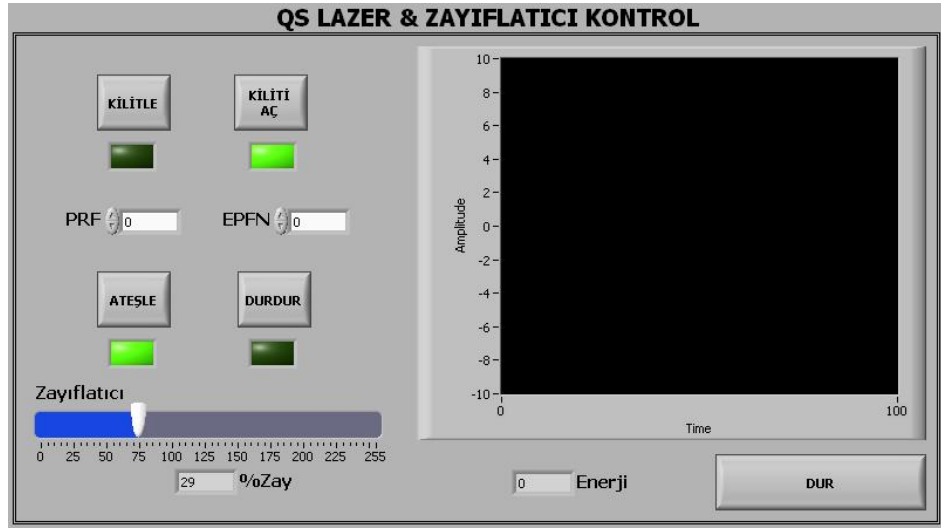
Şekil 4.17 Portların ve analog girişin konfigüre edilmesi

Sonraki adım iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısım QS lazer kaynağının çalıştırılması, durdurulması, enerji ve frekans değerlerinin değiştirilmesi gibi kontrolleri içermektedir. İkinci kısımda ise zayıflatıcı kontrol edilmektedir. Bu iki kısım, iki farklı döngüde, eş zamanlı olarak paralel çalışmaktadır. Kullanıcı ara yüzünde zayıflatıcının değerinde yapılan her değişikliğe karşılık lazer enerjisi ölçülmüş ve kaydedilmiştir. Bu işlemleri gerçekleştiren program blokları Şekil 4.18’de gösterilmiştir.

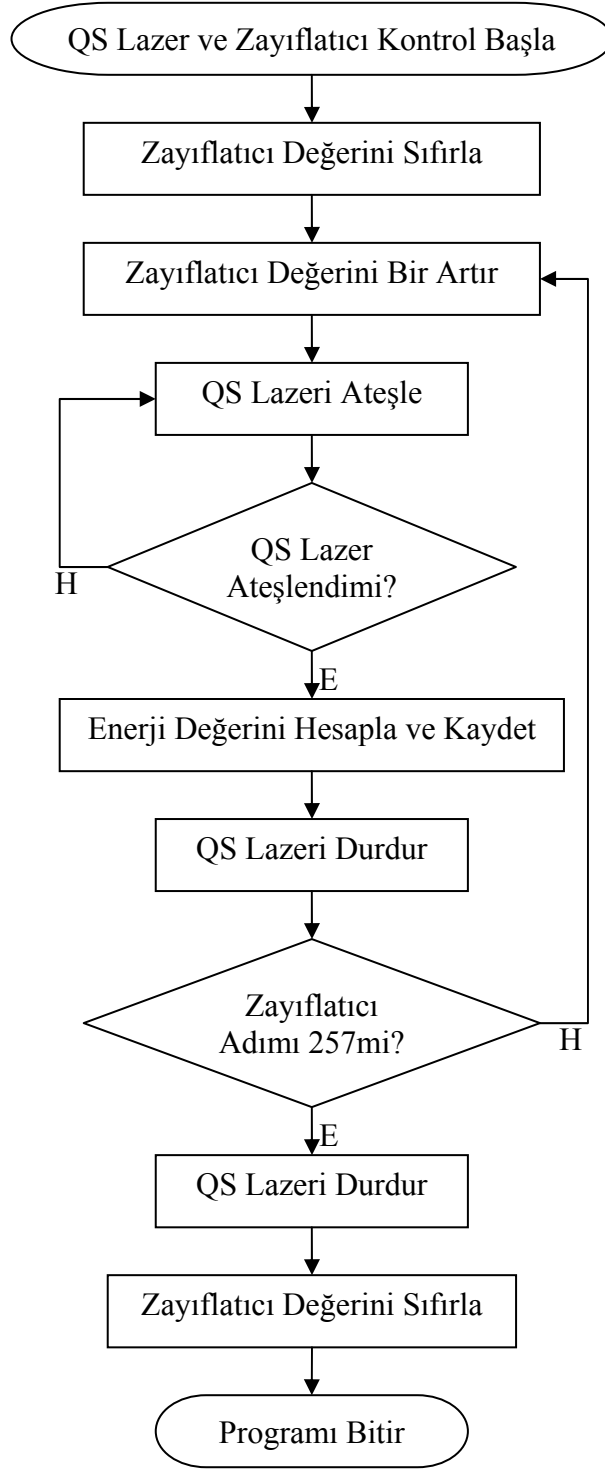


Şekil 4.18 QS lazer kontrol ve zayıflatıcı kontrol

Zayıflatıcının 256 farklı zayıflatma basamağına karşılık gelen enerji zayıflatma değerleri hesaplandıktan sonra RS-232 portları ve veri toplama kartının giriş/çıkışları kapatılmıştır. Hesaplanan bu değerler kaydedilerek statik ve dinamik kontrol yazılımlarında kullanılmıştır. Şekil 4.19'da QS lazer ve zayıflatıcı kontrol programının kullanıcı ara yüzü gösterilmiştir. Şekil 4.20'de ise kontrol yazılımının akış şeması verilmiştir.



Şekil 4.19 QS lazer ve zayıflatıcı kontrol programı kullanıcı ara yüzü

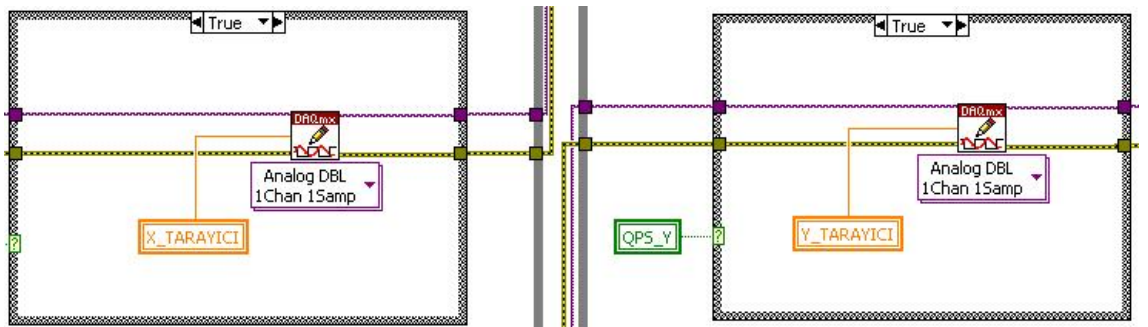


Şekil 4.20 QS lazer ve zayıflatıcı kontrol yazılımı akış şeması

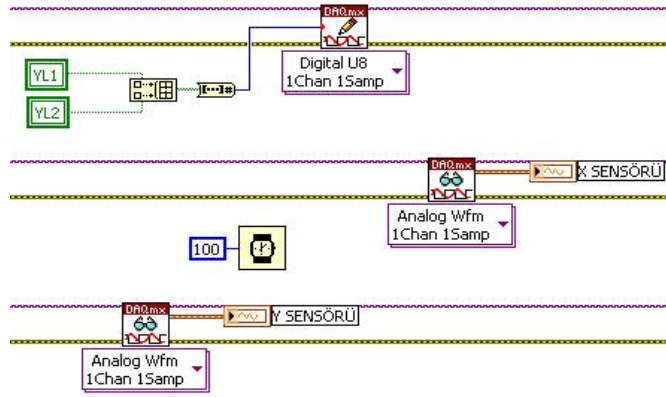
4.1.6 X – Y tarayıcı kontrol yazılımı

X – Y tarayıcı aynalarının kontrol devreleri analog voltaj ile kontrol edilmektedir. Kontrol yazılımı tarayıcı kontrol devrelerine farklı voltaj değerlerinin uygulanmasıyla pozisyonda meydana gelen değişimi ölçecek şekilde tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Bu amaçla devrelerin kontrol edildiği veri toplama/gönderme kartlarına belirli aralıklarla farklı voltaj değerleri uygulanmış, bu voltaj değerlerine karşılık gelen pozisyon değişimleri pozisyon sensörlerinden ve perde üzerinden ölçülerek kaydedilmiştir. Böylece X – Y tarayıcı için voltaj-açı değişimini veren fonksiyon elde edilmiş ve bu fonksiyon statik ve dinamik test yazılımlarında kullanılmıştır. Tüm bu işlemlerde yeşil lazer – 1 kullanılmıştır.

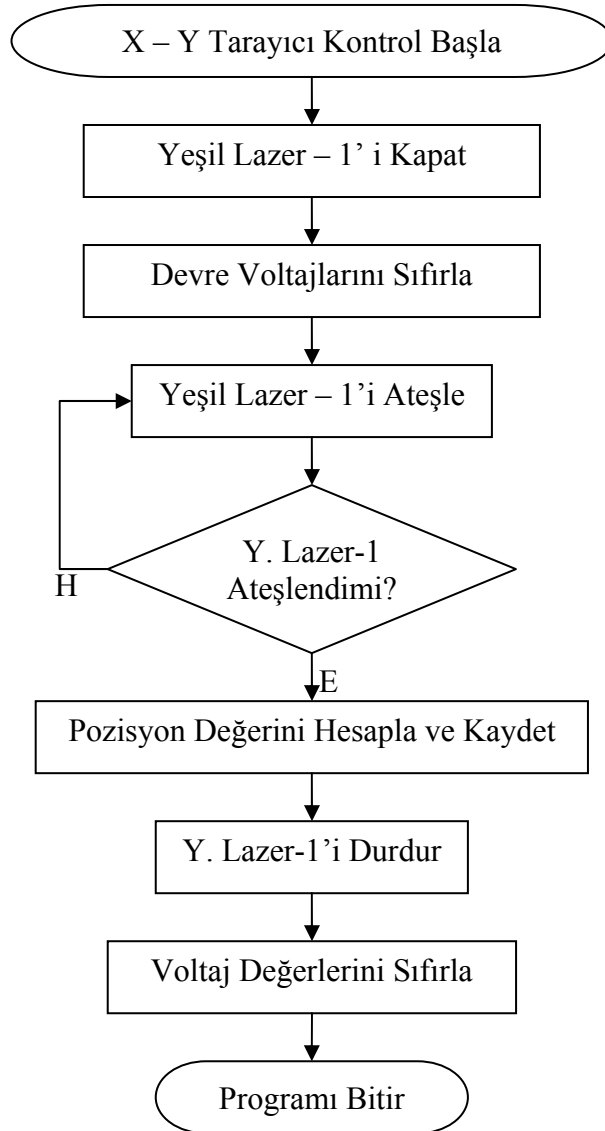
Kontrol yazılımın ilk kısmında kontrol devrelerinin kontrol edildiği veri toplama/gönderme kartlarının ilgili çıkışları, pozisyon sensörlerinden alınan verilerin veri toplama kartındaki ilgili girişleri ve yeşil lazeri kontrol eden kartın ilgili çıkışları aktif edilmiştir. Sonraki adımda yeşil lazer – 1 çalıştırılmış ve X – Y kontrol devrelerine farklı voltaj değerleri uygulanarak sonuçlar kaydedilmiştir. Şekil 4.21’de X – Y kontrol devrelerine voltaj gönderme işlemlerinin programdaki görüntüsü ve Şekil 4.22’de X – Y pozisyon sensörlerinden veri toplanması işleminin programdaki görüntüsü gösterilmiştir.



Şekil 4.21 X – Y kontrol devrelerine voltaj gönderme



Şekil 4.22 X – Y pozisyon sensörlerinden veri toplama



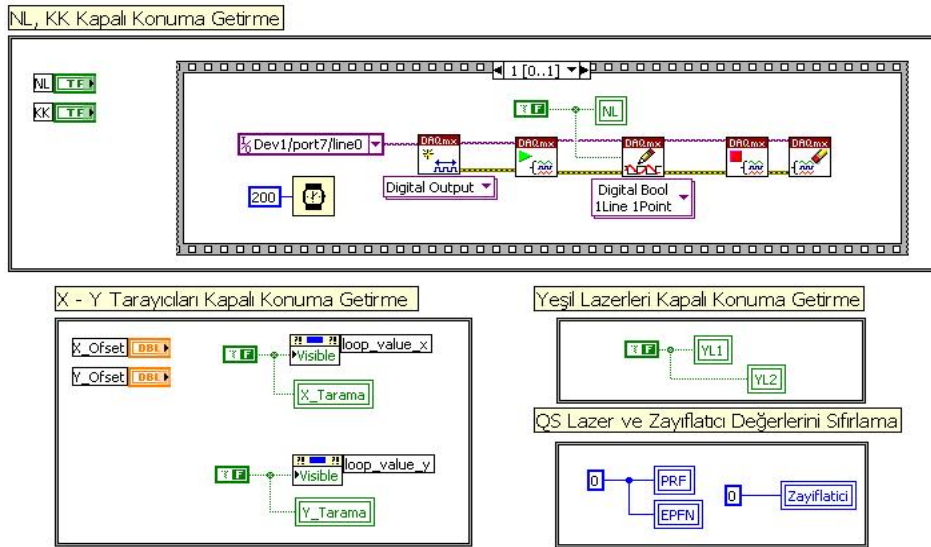
Şekil 4.23 X – Y tarayıcı kontrol yazılımı akış şeması

4.2 Statik Test Yazılımı

Statik Test Yazılımı;

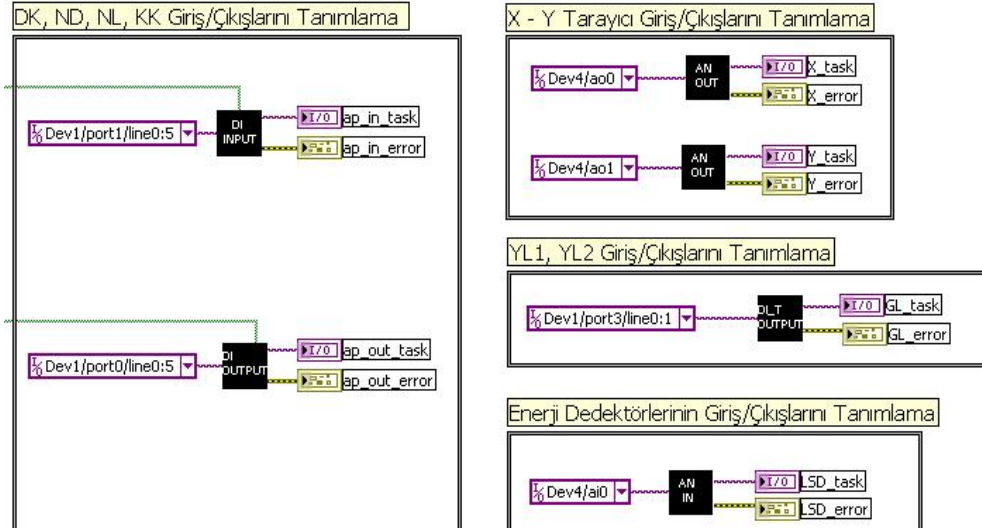
- Lazer güdümlü füzenin arayıcı başlığının tasarım ve geliştirme çalışmalarında farklı X ve Y pozisyon değerlerinde test etmek amacıyla,
- Arayıcı başlığının çalışırılığını ve performansını test etmek amacıyla,
- Arayıcı başlığına belirli bir X ekseninde farklı Y pozisyon değerlerinde ve belirli bir Y ekseninde farklı X pozisyon değerlerinde hareketli lazer görüntüsü oluşturmak amacıyla,
- Ve döngüde donanım testlerinden önce tüm donanımın çalışırılığını test etmek amacıyla tasarlanmış ve geliştirilmiştir.

Programlar ana bilgisayardan hedef bilgisayara aktarılmakta ve hedef bilgisayarda gerçek zamanlı olarak veri toplama/gönderme işlemi yapmaktadır. Aynı zamanda hedef bilgisayar tarafından toplanan veriler eş zamanlı olarak ana bilgisayarda gösterilmektedir. Programın ilk kısmında delik kapakları, ND filtreler, negatif lens, koruma kapağı, X – Y tarayıcıları ve QS lazer kapalı konumlara getirilirler. QS lazerin enerji ve frekans değerleri ile zayıflatıcının değeri “0” a ayarlanır. Şekil 4.24’te bu işlemlerin bir bölümünün programdaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.24 Donanımların kapalı konuma getirilmesi ve sıfırlandırılması

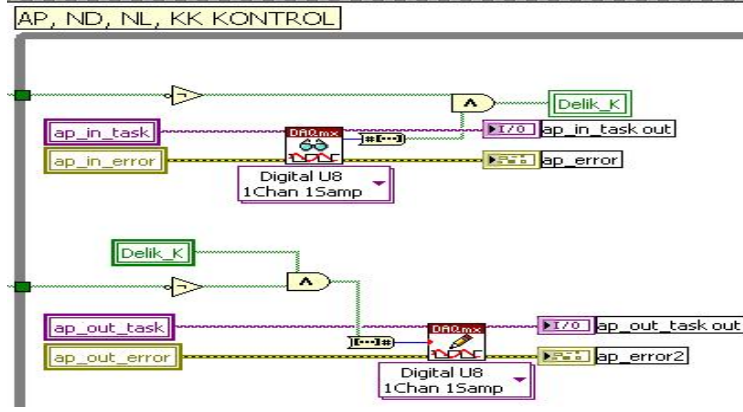
Programın ikinci kısmında sistemi oluşturan ve statik testlerde kullanılan tüm donanımların kontrol edildiği veri toplama/gönderme kartlarının giriş ve çıkışları ve QS lazer ile zayıflatıcının kontrol edildiği RS-232 portları tanımlanır ve aktif hale getirilir. Şekil 4.25'te bu işlemlerin bir bölümünün programdaki görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.25 Veri toplama/gönderme kartlarının tanımlanması

Programın üçüncü kısmı 6 bölümden oluşmaktadır.

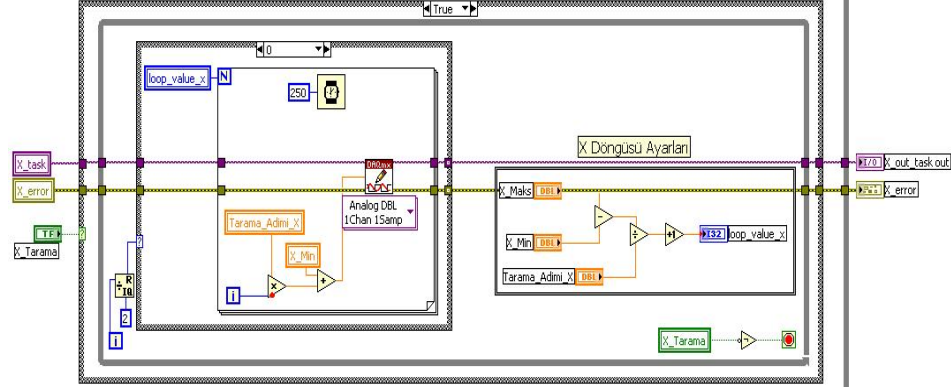
1. Birinci bölümde delik kapaklarının, ND filtrelerin, negatif lensin ve koruma kapağının kontrolü yapılmaktadır. Tüm kapaklar testlerde istenilen enerji seviyesinin ayarlanabilmesi için farklı kombinasyonlarda kullanılabilir. Kapakların kontrolü için kontrolü gerçekleştiren ilgili veri toplama/gönderme kartının dijital çıkışları aktif hale getirilmektedir. Ayrıca kapaklara ait pozisyon sensörlerinden alınan bilgiler ile kapakların o test anındaki konumları hakkında kullanıcıya bilgi verilmektedir. Sensörlerin kontrolü için algılamayı gerçekleştiren veri toplama/gönderme kartının dijital girişleri kontrol edilmektedir. Şekil 4.26'da delik kapaklarının ve sensörlerinin kontrol edildiği program görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.26 Delik kapakların ve sensörlerin kontrolü

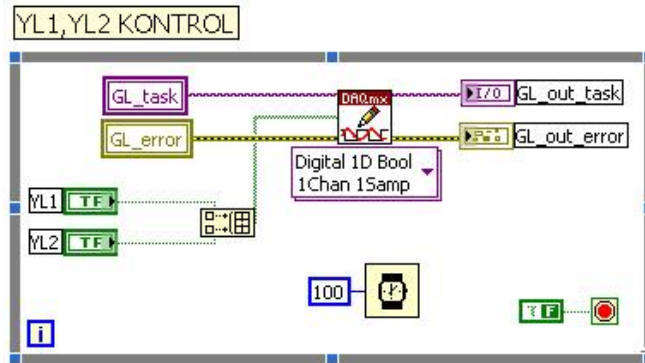
2. İkinci bölümde X – Y tarayıcılarının kontrolü yapılmaktadır. Bu bölüm iki kısımdan oluşmaktadır. Birinci kısımda Y ekseninde belirlenen bir ofset değerinde; X ekseninde minimum ve maksimum değerler arasında belirli adımlarla lazer yönlendirmesi yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Değişkenlerin değerleri girildikten sonra ilk önce Y tarayıcısının ofset değerine getirilmesi için gerekli voltaj değeri ilgili kartın analog çıkışından Y tarayıcısı kontrol devresine uygulanır. X ekseninde hareketin oluşturulması için minimum değeri X tarayıcısı kontrol devresine gerekli voltaj değeri ilgili kartın analog çıkışından uygulanır ve belirlenen adım değerine göre minimum-maksimum değerler arasında, hareket durduruluncaya kadar uygulanmaya devam eder. Durdurulma komutu verildiğinde pozisyon değeri başlangıç değerine gelinceye kadar hareket devam eder ve sonrasında program durdurulur. İkinci kısım ise X ekseninde belirlenen bir ofset değerinde; Y ekseninde minimum ve maksimum değerler arasında belirli adımlarla lazer yönlendirmesi yapılabilecek şekilde tasarlanmıştır. Değişkenlerin değerleri girildikten sonra ilk önce X tarayıcısının ofset değerine getirilmesi için gerekli voltaj değeri ilgili kartın analog çıkışından X tarayıcısı kontrol devresine uygulanır. Y ekseninde hareketin oluşturulması için minimum değeri Y tarayıcısı kontrol devresine gerekli voltaj değeri ilgili kartın analog çıkışından uygulanır ve belirlenen adım değerine göre minimum-maksimum değerler arasında, hareket durduruluncaya kadar uygulanmaya devam eder. Durdurulma komutu verildiğinde pozisyon değeri başlangıç değerine gelinceye kadar hareket devam eder ve sonrasında program durdurulur.

Şekil 4.27’de X ekseninde görüntü oluşturulmasını gerçekleştiren programın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.27 X ekseninde görüntü oluşturma

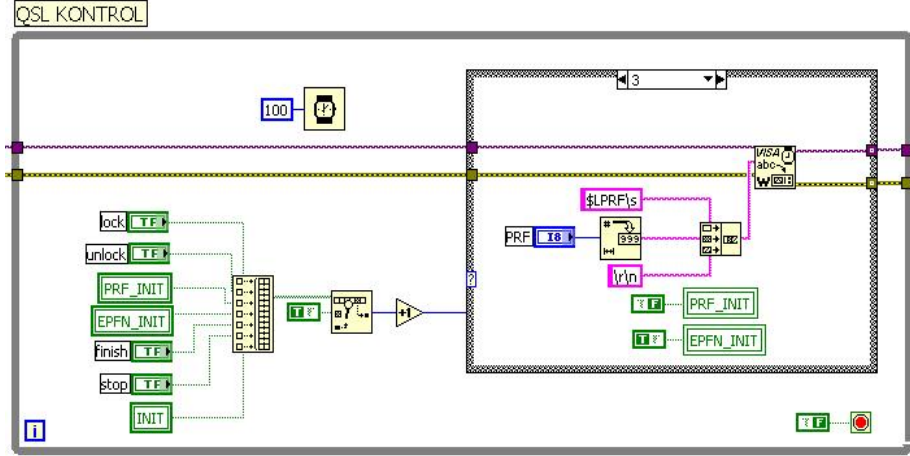
- Üçüncü bölümde yeşil lazer-1 ve yeşil lazer-2’nin kontrolü yapılmaktadır. YL1 ve YL2’nin kontrolü için kontrolü gerçekleştiren ilgili veri toplama/gönderme kartının dijital çıkışları aktif hale getirilmektedir. QS lazer ile testlere başlamadan önce pozisyon kontrolü yapmak için tüm testler ilk önce yeşil lazer ile gerçekleştirilmiştir. Şekil 4.28’de YL1 ve YL2’yi kontrol eden programın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.28 YL1 ve YL2’nin kontrolü

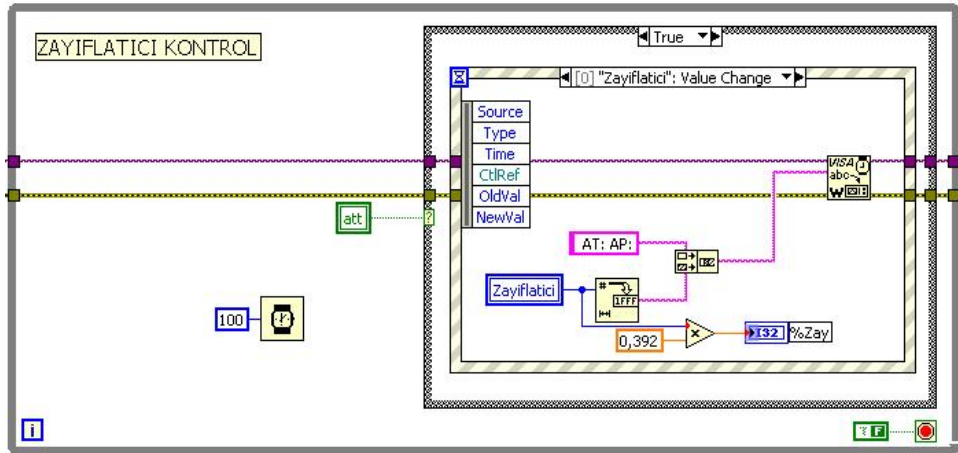
- Dördüncü bölümde QS lazerin kontrolü yapılmaktadır. QS lazere ait enerji değeri, frekans değeri ve kontrol komutu, RS-232 hattından, bu bölümden gönderilmektedir. Program, tüm değişkenlerin istenilen zamanda

değiştirilebilmesini gerçekleştirecek biçimde tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Şekil 4.29’da QS lazer kontrol programının görüntüsü verilmiştir.



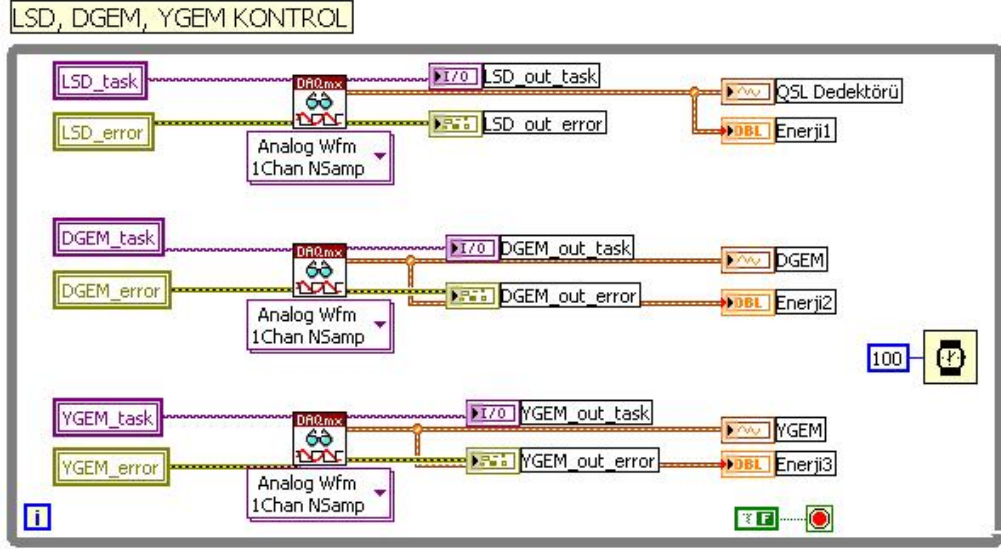
Şekil 4.29 QS lazer kontrolü

5. Beşinci bölümde QS lazer zayıflatıcısının kontrolü yapılmaktadır. Zayıflatıcıya ait enerji zayıflatma değeri, RS-232 hattından, bu bölümden gönderilmektedir. Program, zayıflatma değerlerinin istenilen zamanda değiştirilebilmesini gerçekleştirecek biçimde tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Şekil 4.30’da zayıflatıcı kontrol programının görüntüsü verilmiştir.



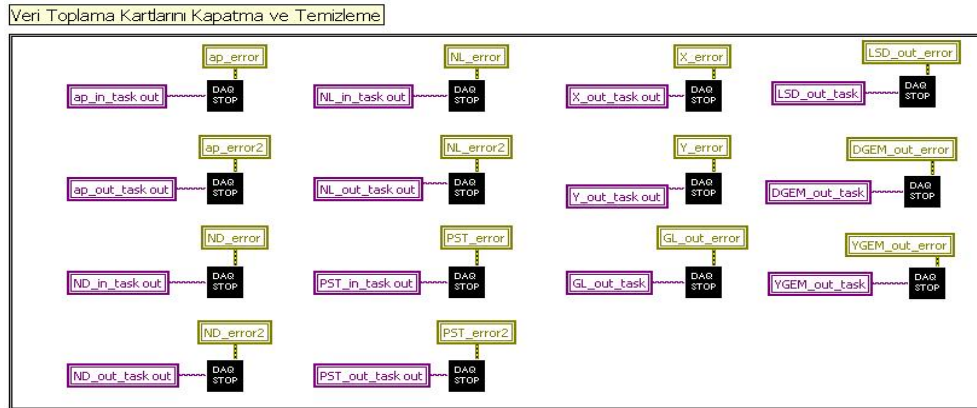
Şekil 4.30 Zayıflatıcı kontrolü

6. Altıncı bölümde lazer LSD, DGEM ve YGEM enerji sensörlerinin kontrolü yapılmaktadır. Sensörlerden enerji değerlerinin okunması işlemi, ilgili veri toplama/gönderme kartlarının analog girişlerinden yapılmaktadır. Şekil 4.31’de sensörlerin kontrol programına ait görüntü verilmiştir.



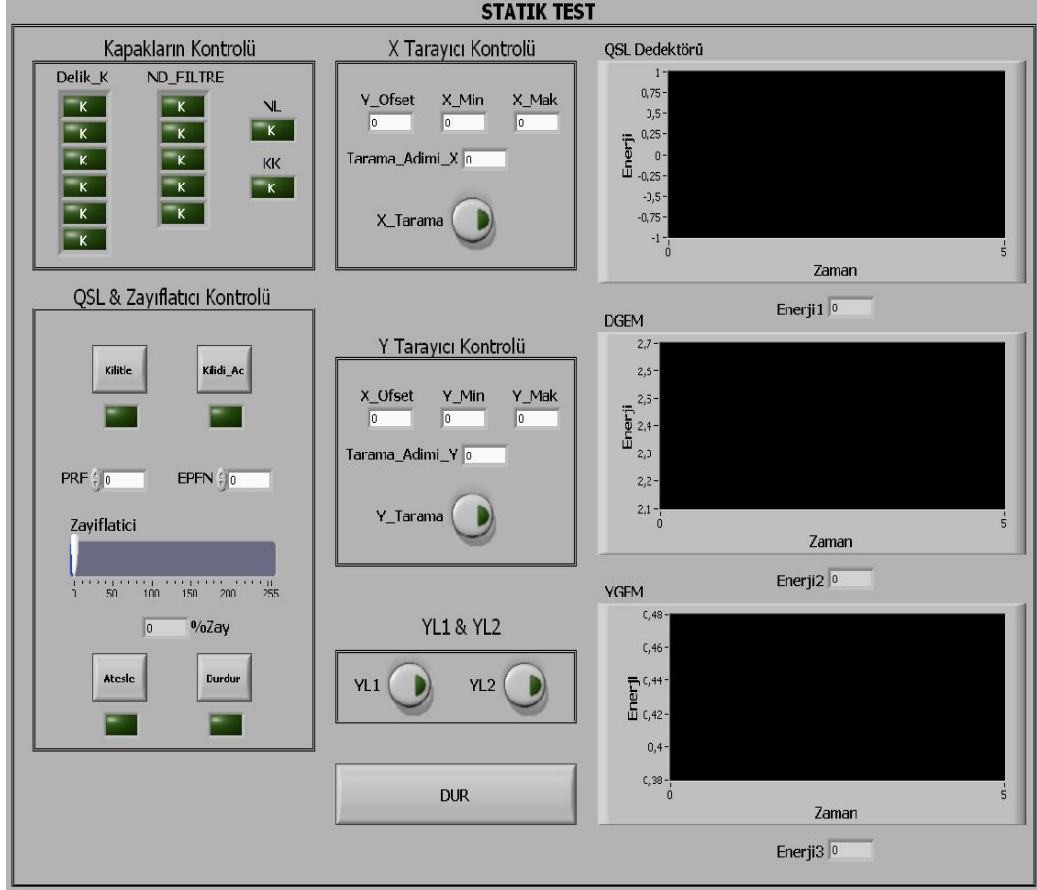
Şekil 4.31 LSD, DGEM ve YGEM kontrol

Programın son kısmında testlerin bitimiyle beraber veri toplama/gönderme kartlarının giriş ve çıkışlarının kapatılması ve hafızalarının temizlenmesi işlemleri yapılmaktadır. Programın son kısmına ait görüntü Şekil 4.32’de verilmiştir.

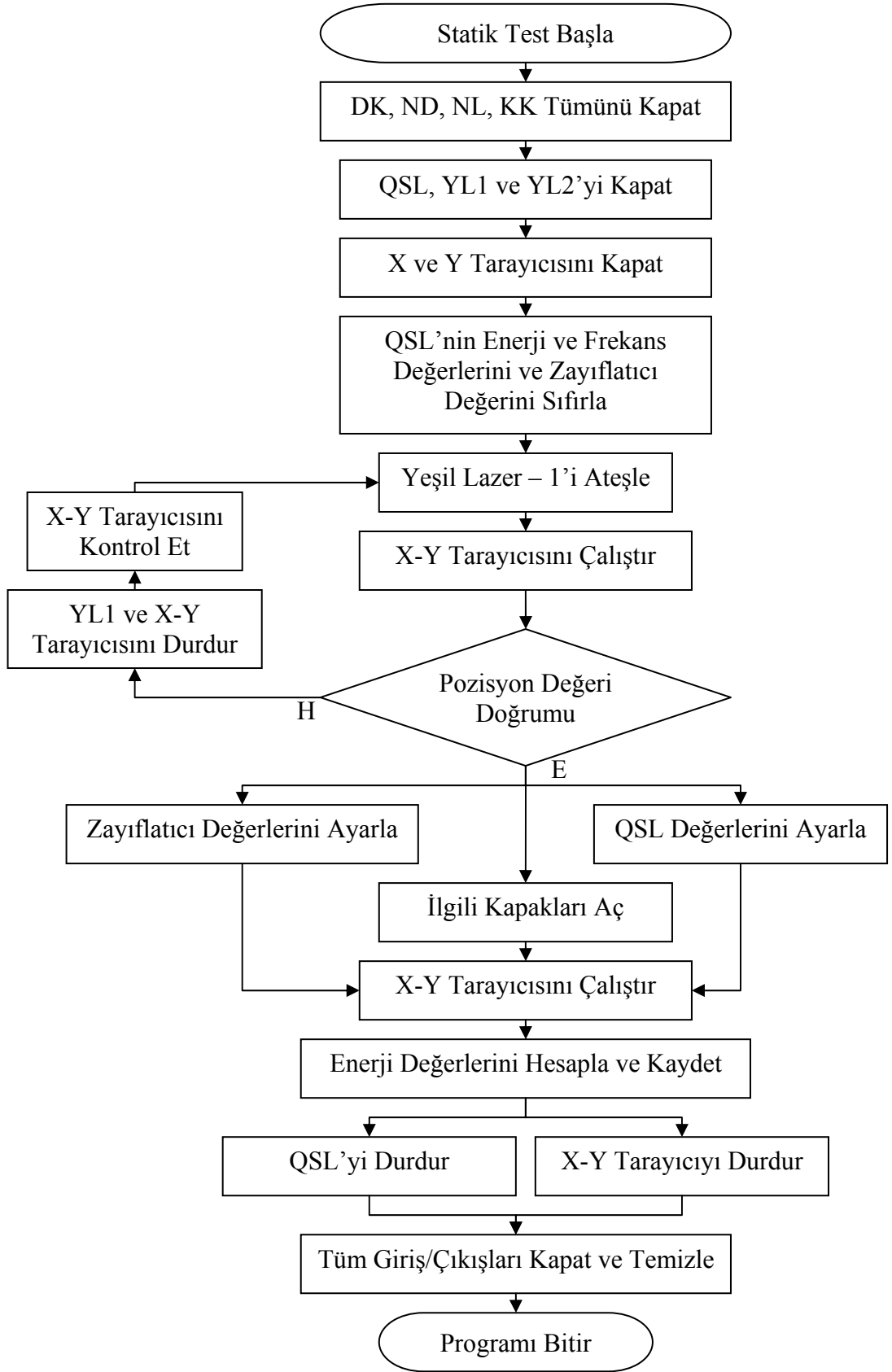


Şekil 4.32 Veri toplama kartlarının giriş/çıkışlarının kapatılması ve temizlenmesi

Statik test yazılımının kullanıcı ara yüzü Şekil 4.33'te ve yazılıma ait akış diyagramı Şekil 4.34'te verilmiştir.



Şekil 4.33 Statik test yazılımı kullanıcı ara yüzü

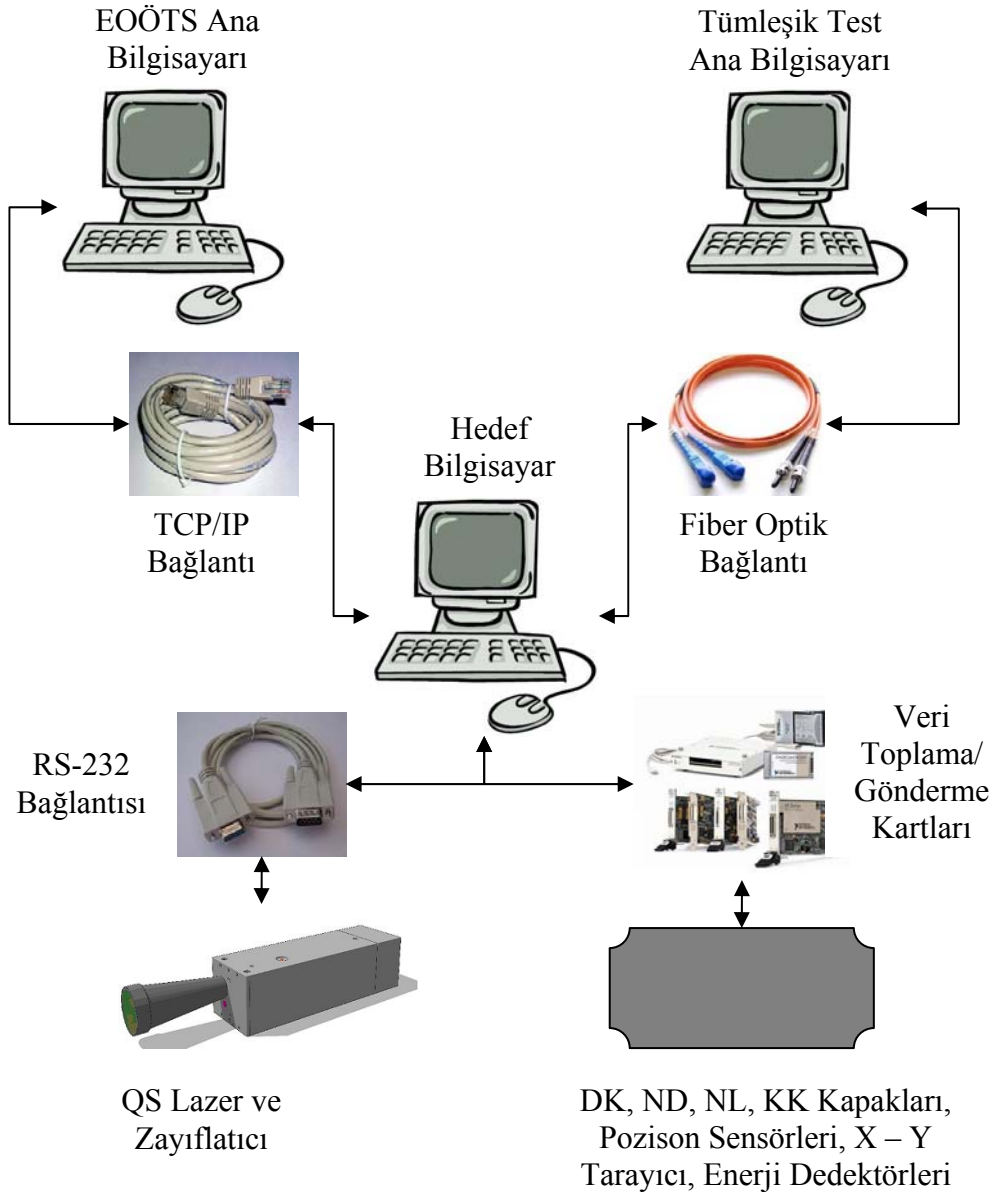


Şekil 4.34 Statik test yazılımı akış şeması

4.3 Döngüde Donanım Testlerinde Kullanılan Dinamik Test Yazılımı

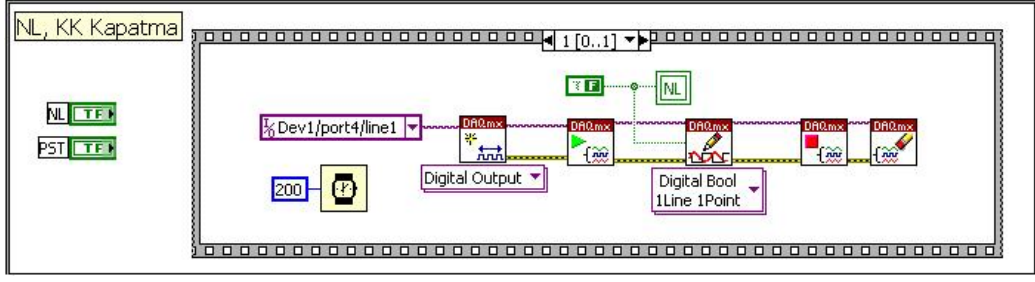
Dinamik Test Yazılımı; lazer güdümlü füzenin arayıcı başlığının tasarım ve geliştirme çalışmalarında farklı uçuş senaryolarında füzenin diğer bölümleri ile beraber tümleşik olarak test etmek amacıyla tasarlanmış ve geliştirilmiştir. Döngüde donanım testleri, füzenin hedefe gidiş anındaki koşullar dikkate alınarak hazırlanan senaryolara göre yapılmaktadır. Bu senaryolarda EOÖTS'nin görevi uçuş senaryosundaki hedeften yansıyan lazer ışının simüle edilmesidir. Bu testler sayesinde füze ile atış yapmadan, laboratuvar ortamında füzenin gerçek uçuş şartlarında vermiş olduğu tepkiler incelenmektedir. Böylece uçuş anında oluşabilecek aksaklıklar tespit edilip, füzeyle yönelik iyileştirme ve geliştirme çalışmaları yapılmaktadır. Şimdiye kadar anlatılan tüm kontrol yazılımları bu testin kontrol yazılımı için ön hazırlık niteliği taşımaktadır.

Döngüde donanım testleri füze bütününe kapsamaktadır. Bu nedenle bağlantı hiyerarşisi diğer programlardan farklılık göstermektedir. Bu testlerde diğerlerinde olduğu gibi program ana bilgisayardan hedef bilgisayara aktarılmakta ve program bütünü burada çalışmaktadır. Fakat perde üzerinde oluşturulacak lazerin enerji, spot çapı, X ve Y pozisyon değerleri döngüde donanım testlerinde ana bilgisayar (tümleşik test ana bilgisayarı) olarak kullanılan bilgisayardan fiber optik bağlantı hattı üzerinden gelmektedir. Test senaryosu bu ana bilgisayarda koşmaktadır. Bu testlerde EOÖTS'ye ait ana bilgisayarın görevi sadece programı hedef bilgisayar üzerine yüklemek ve çalıştırmaya başlamaktır. Bu andan itibaren hedef bilgisayar ile tümleşik test sistemi ana bilgisayarı optik haberleşme ile çalışmaktadırlar. EOÖTS ana bilgisayarı ile hedef bilgisayar arasındaki mesafe çok kısa olması sebebiyle aradaki bağlantı TCP/IP bağlantısıdır. Tümleşik test ana bilgisayarı ile hedef bilgisayar farklı odalarda bulunduğundan dolayı aradaki mesafe fazladır. Bu mesafeden dolayı herhangi bir veri kaybı oluşmaması ve iletişimin gerçek zaman koşullarında gerçekleşmesi için bilgisayarlar arası fiber optik kablo ile haberleşme gerçekleşmektedir. Şekil 4.35'te döngüde donanım testlerindeki haberleşme hatlarının görüntüsü verilmiştir.



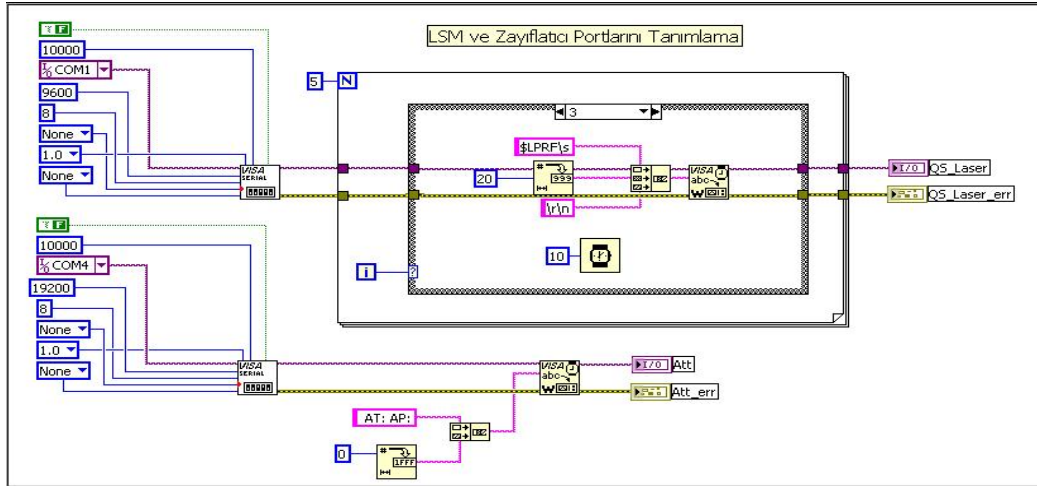
Şekil 4.35 Döngüde donanım testleri haberleşme sistemi

Programın ilk kısmında delik kapakları, ND filtreler, negatif lens, koruma kapağı, X – Y tarayıcıları ve QS lazer kapalı konumlara getirilirler. QS lazerin enerji ve frekans değerleri ile zayıflatıcının değeri “0” a ayarlanır. Şekil 4.36’da bu işlemlerden NL ve KK kapaklarının kontrolünü gerçekleştiren program görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.36 NL ve KK kapaklarının kontrolü

Programın ikinci kısmında sistemi oluşturan ve dinamik testlerde kullanılan tüm donanımların kontrol edildiği veri toplama/gönderme kartlarının giriş ve çıkışları ve QS lazer ile zayıflatıcının kontrol edildiği RS-232 portları tanımlanır ve aktif hale getirilir. Şekil 4.37’de bu işlemlerden QS lazer ve zayıflatıcı portlarının tanımlandığı bölümün programdaki görüntüsü verilmiştir.

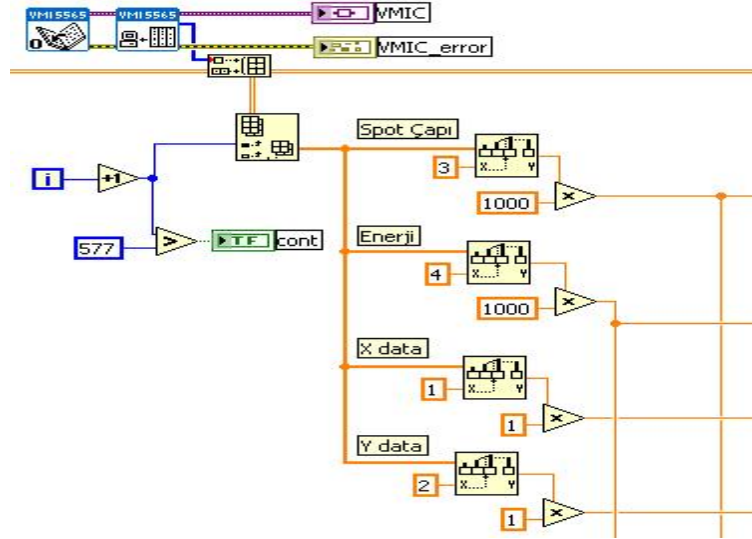


Şekil 4.37 QS lazer ve zayıflatıcı kontrol portlarının tanımlanması

Programın üçüncü kısmı 6 bölümden oluşmaktadır.

1. Birinci bölümde tümleşik test ana bilgisayar tarafından optik hat üzerinden gönderilen senaryo verilerinin optik haberleşme kartı (VMIC 5565) tarafından alınması ve bu verilerin ilgili bölümlere dağıtılması işlemleri yapılmaktadır. Alınan verilerden X ve Y pozisyon verileri X-Y tarayıcı kontrol kısmına, enerji ve spot çapı verileri ise senaryoya uygun enerji ve spot çapı profili için gerekli

olan DK, ND filtre, NL ve zayıflatıcı kombinasyonunun hesaplandığı bölüme aktarılır. Şekil 4.38’de VMIC optik haberleşme kartından alınan verilerin ilgili bölümlere dağıtımını gerçekleştiren programın görüntüsü verilmiştir.



Şekil 4.38 Optik hat üzerinden alınan verilerin dağıtımını

2. İkinci bölüm, senaryoya uygun enerji ve spot çapı profillerinin üretilmesi için DK, ND filtreler ve NL kombinasyonlarının ve zayıflatıcının zayıflatma katsayısının hesaplandığı kontrol bölümüdür. Bu bölümde ilk olarak senaryoda istenilen spot çapı verisi alınır ve spot çapına karşılık gelen delik kapağı kombinasyonu belirlenir. Delik kapağı kalibrasyonu testlerinde elde edilen kapaklara ait enerji zayıflatma değerleri, ND filtre kalibrasyonu testlerinden elde edilen filtreler için zayıflatma değerleri ve zayıflatıcı kalibrasyonundan elde edilen zayıflatma değerleri program içerisinde tanımlanmıştır. Bu değerler dikkate alınarak o anda açık olan delik kapağının lazere uygulamış olduğu zayıflatma değeri ile lazer enerjisinin kapaktan sonraki enerjisi hesaplanır. Sadece bu zayıflatma işlemi istenilen enerji değerini verdi ise başka hiçbir işlem yapmadan diğer aşamaya geçilir. İstenilen enerji değerine henüz ulaşamadıysa kapak harici ihtiyaç olunan zayıflatma değeri hesaplanır ve bu değere karşılık gelen veya yakın sonucu veren ND filtre devreye alınır. İstenilen enerji değerine halen ulaşamadıysa ihtiyaç olunan enerji zayıflatma değeri hesaplanır ve bu değere karşılık gelen QS lazere ait zayıflatıcının zayıflatma katsayısı hesaplanır.

Hesaplanan bu değer zayıflatıcıya iletilir ve enerji zayıflatma işlemi tamamlanmış olur. Sistemdeki kayıplar olabileceği dikkate alınarak daha önce yapılan kalibrasyon testleri sonucunda sistemdeki toplam enerji kaybı burada dikkate alınmıştır. Senaryoda gönderilen enerji değeri ile sistemin oluşturduğu enerji değeri arasındaki fark sistemdeki enerji kaybını vermektedir. Bu kayıp döngüde donanım testlerinin yanlış icra edilmesine neden olacaktır. Bu sebeple kayıp değerinin katsayısı hesaplandıktan sonra senaryodan gelen enerji değerine eklenmiştir. Bu şekilde senaryodaki enerji değerine maksimum yaklaşım sağlanmaktadır. Kontrol bölümünden DK, ND filtre ve NL bilgisi ile birlikte zayıflatıcı değeri alınarak ilgili donanım kontrol bölümlerine aktarılır. Şekil 4.39'da enerji ve spot çapının hesaplandığı kontrol bölümünün programdaki görüntüsü verilmiştir.

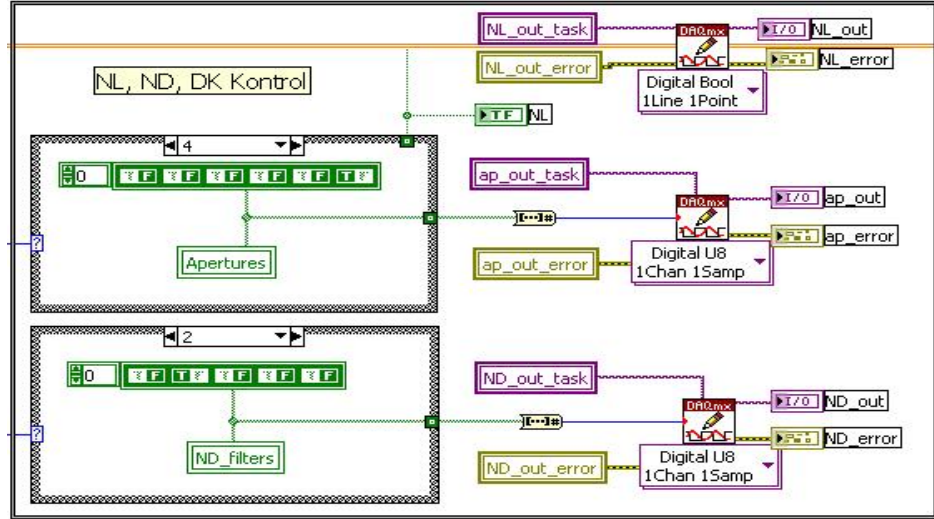
```

Enerji ve Spot Çapı Hesaplamaları
int32 AP, ND, AP_diameter, cap;
float spot_energy, z, ND_energy, AT_energy, AT, E;
if (spot >= 2 && spot < 5)
{
    AP = 1;
    AP_diameter = 2;
    cap = 2;
}
else if (spot >= 5 && spot < 10)
{
    AP = 2;
    AP_diameter = 5;
    cap = 5;
}
else if (spot >= 10 && spot < 20)
{
    AP = 3;
    AP_diameter = 10;
    cap = 10;
}
else if (spot >= 20 && spot < 50)
{
    AP = 4;
    AP_diameter = 2;
}

```

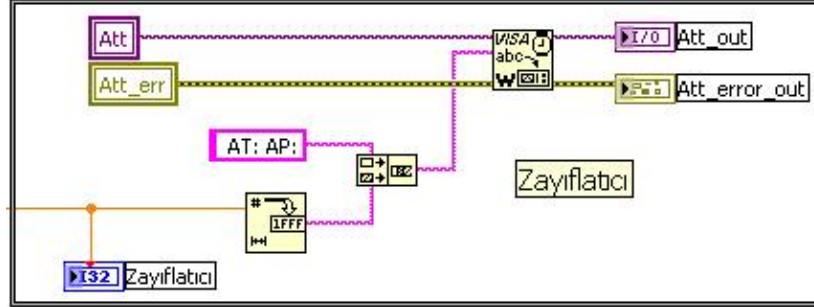
Şekil 4.39 Enerji ve spot çapı kontrol bölümü

- Üçüncü bölümde DK, ND filtre ve NL kontrolü yapılmaktadır. Kontrol bölümünden alınan açma/kapama verileri ilgili donanımları kontrol eden veri toplama/gönderme kartının dijital çıkışlarına gönderilirler. Şekil 4.40'ta bu kontrollerin gerçekleştiği program görüntüsü verilmiştir.



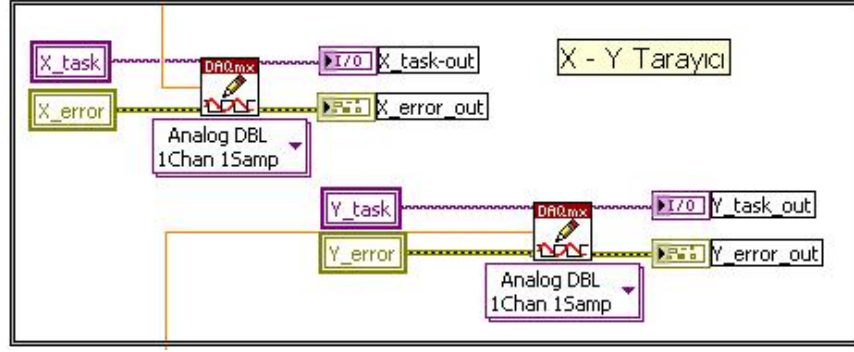
Şekil 4.40 DK, ND filtre ve NL kontrolü

4. Dördüncü bölümde QS lazerin zayıflatıcısının kontrolü yapılmaktadır. Kontrol bölümünden alınan zayıflatma katsayısı RS-232 hattı üzerinden zayıflatıcıya iletilir. Şekil 4.41’de zayıflatıcı kontrol programının görüntüsü verilmiştir.



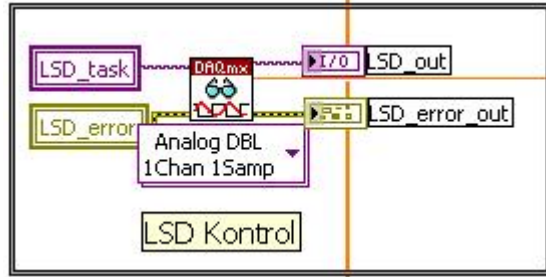
Şekil 4.41 QS lazer zayıflatıcı kontrolü

5. Beşinci bölümde X-Y tarayıcısının kontrolü yapılmaktadır. Senaryodan alınan X ve Y pozisyon verileri ilgili sürücüleri kontrol eden veri toplama/gönderme kartının analog çıkışlarına iletilir. Şekil 4.42’de X-Y tarayıcısı kontrol programının görüntüsü verilmiştir.



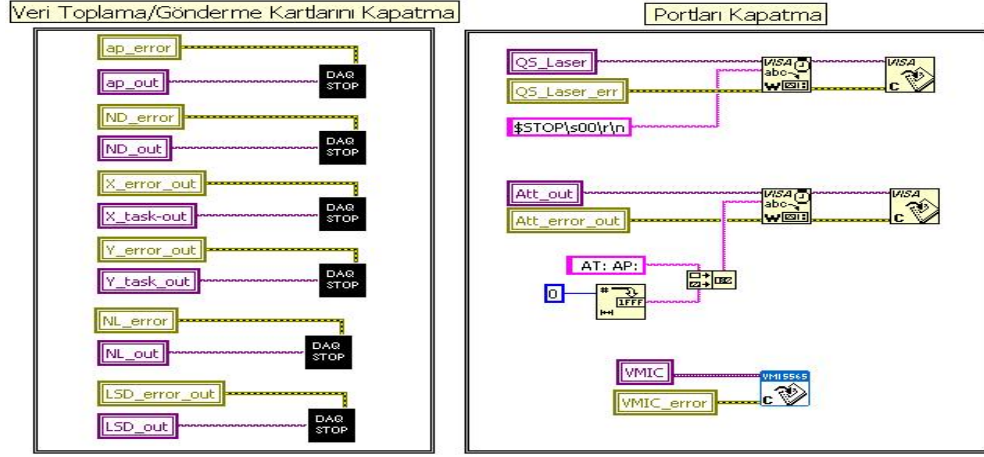
Şekil 4.42 X-Y tarayıcı kontrolü

6. Altıncı bölümde lazer enerji dedektörünün kontrolü yapılmaktadır. Dedektörden enerji değerlerinin okunması işlemi, ilgili veri toplama/gönderme kartının analog girişinden yapılmaktadır. Şekil 4.43'te dedektörün kontrol programına ait görüntü verilmiştir.



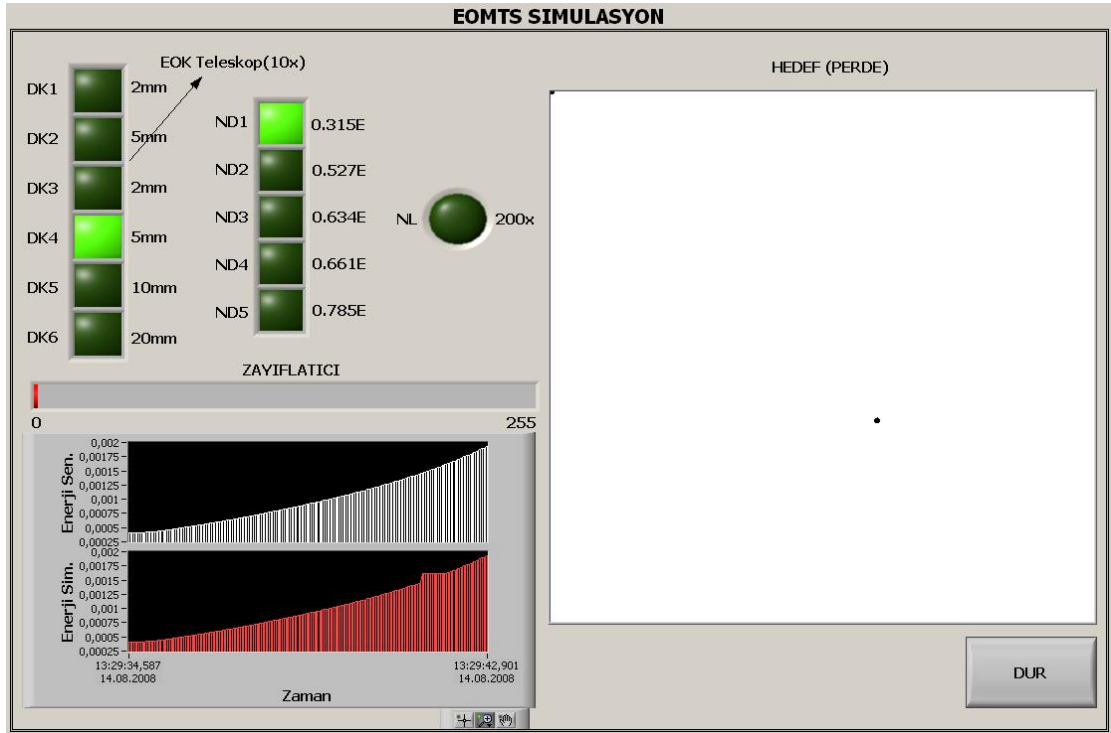
Şekil 4.43 LSD kontrol

Programın son kısmında testlerin bitimiyle beraber veri toplama/gönderme kartlarının giriş ve çıkışlarının kapatılması ve hafızalarının temizlenmesi işlemleri yapılmaktadır. Programın son kısmına ait görüntü Şekil 4.44'te verilmiştir.

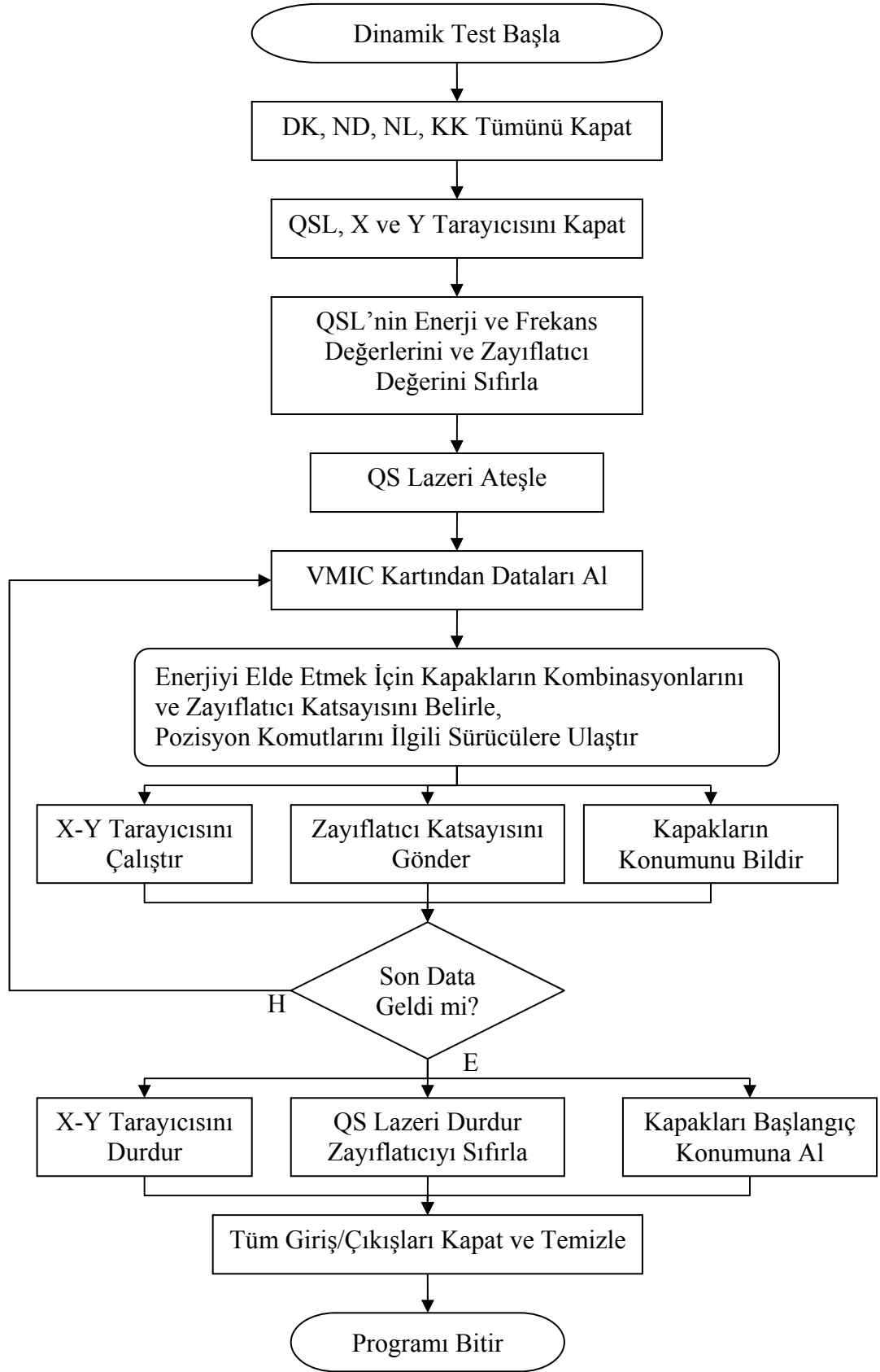


Şekil 4.44 Veri toplama kartlarının giriş/çıkışlarının kapatılması ve temizlenmesi

Dinamik Test Yazılımının kullanıcı ara yüzü Şekil 4.45'te ve yazılıma ait akış diyagramı Şekil 4.46'da verilmiştir.



Şekil 4.45 Dinamik test yazılımı kullanıcı ara yüzü



Şekil 4.46 Dinamik test yazılımı akış şeması

5. TESTLER ve SONUÇLARI

5.1 Kalibrasyon Testleri ve Sonuçları

Kalibrasyon testleri döngüde donanım testlerinde enerji ayarlamalarını ve ışının yönlendirilmesini gerçekleştiren delik kapakları, ND filtreler, zayıflatıcı ve X-Y tarayıcı sistemlerine yapılmıştır. Ölçüm sonuçları dinamik ve statik testlerde kullanılmıştır.

5.1.1 Delik kapakları kalibrasyon testleri ve sonuçları

Delik kapaklarının kalibrasyonu testlerinde sırası ile aşağıdaki adımlar izlenmiş ve Çizelge 5.1’de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

- Testler QS lazer zayıflatıcının “0”, “80”, “160” ve “255” değerlerinde gerçekleştirilmiştir.
- Zayıflatıcının yukarıdaki değerleri altında delik kapakları ayrı ayrı devrede iken enerji değerleri, enerji metreden ölçülmüştür.
- Her filtre için iki kez ölçüm yapıp tekrarlanabilirliği test edilmiştir. Bu değerlerin ortalaması DK’lar için zayıflatma katsayısını vermiştir.

Çizelge 5. 1 Delik kapakları kalibrasyon sonuçları

Delik Kapağı Numarası	Zayılatıcı Katsayısı 0 Enerji (μ J)	Zayılatıcı Katsayısı 80 Enerji (μ J)	Zayılatıcı Katsayısı 160 Enerji (μ J)	Zayılatıcı Katsayısı 255 Enerji (μ J)
DK – 1 (2mm)	0,0865	59,10	125,0	210,0
DK – 2 (5mm)	0,4600	314,0	663,0	1120,0
DK – 3 (2mm)	0,0016	1,16	2,44	4,12
DK – 4 (5mm)	0,0106	7,24	15,3	25,8
DK – 5 (10mm)	0,0424	29,0	61,1	103,0
DK – 6 (20mm)	0,1690	116,0	244	412,0

5.1.2 ND Filtreler kalibrasyon testleri ve sonuçları

ND Filtrelerin kalibrasyonu testlerinde sırası ile aşağıdaki adımlar izlenmiş ve Çizelge 5.2’de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir.

- QS lazer zayıflatıcının değeri “0”a ayarlanmış ve 1,0mj enerji değerine sahip lazer ışını elde edilmiştir.
- Sonraki adımda QS lazer çalıştırılıp ND filtreler sırası ile devreye alınmış her biri için ayrı ayrı devrede iken enerji değerleri, enerji metreden ölçülmüştür.
- Her filtre için iki kez ölçüm yapıp tekrarlanabilirliği test edilmiştir. Bu değerlerin ortalaması ND filtreler için geçirgenlik ve zayıflatma katsayısını vermiştir.
- Aynı filtre için alınan değerler arasında 0,05mj’ e varan farklılıkların sebebi ortam gürültüsünden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu değer ihmal edilebilir düzeydedir.

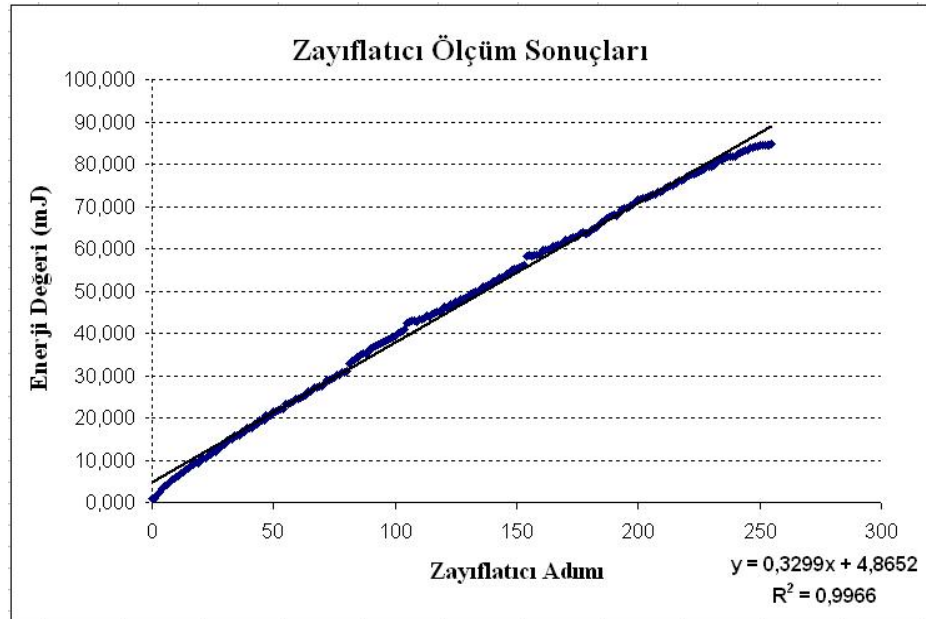
Çizelge 5. 2 ND filtreler kalibrasyon sonuçları

Filtre Numarası	Minimum Değer (mj)	Maksimum Değer (mj)	Ortalama Değer (mj)	Geçirgenlik Katsayısı (%)
ND Filtre – 1	0,690	0,740	0,715	71,5
ND Filtre – 2	0,471	0,500	0,486	48,6
ND Filtre – 3	0,327	0,345	0,336	33,6
ND Filtre – 4	0,369	0,384	0,377	37,7
ND Filtre – 5	0,295	0,304	0,300	30

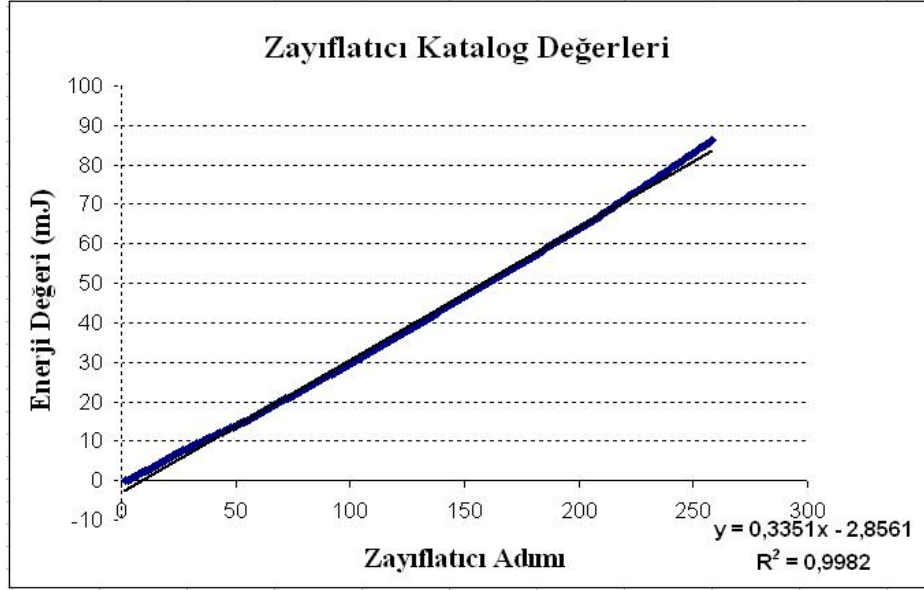
5.1.3 QS lazer zayıflatıcı kalibrasyon testleri ve sonuçları

Zayıflatıcının kalibrasyon testlerinde sırası ile aşağıdaki adımlar izlenmiş ve Şekil 5.1’ de gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 5.2’de ise katalog değerlerinin grafiği verilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 1’de verilmiştir.

- QS Lazer enerji değeri (EPFN) 17' ye ayarlanmıştır. (EPFN=17 ise enerji değeri yaklaşık 86,10 mJ'dir.)
- Sonraki adımda QS lazer çalıştırılıp zayıflatıcıya sırası ile 0'dan 255'e kadar değerler uygulanmış ve her bir değere karşılık gelen enerji değerleri enerji metreden ölçülmüştür.
- Her zayıflatma değeri için iki kez ölçüm yapıp tekrarlanabilirliği test edilmiştir. Bu değerlerin ortalaması zayıflatıcının adım değerine karşılık gelen zayıflatma katsayısını vermiştir. Aynı zamanda ölçülen bu değerler ile katalog değerleri karşılaştırılarak sisteme ait enerji kaybı değeri ortaya çıkmıştır.
- Aynı adım için alınan değerler arasında 0,05mJ' e varan farklılıkların sebebi ortam gürültüsünden kaynaklandığı tahmin edilmektedir. Bu değer ihmal edilebilir düzeydedir.



Şekil 5.1 Zayıflatıcı ölçüm sonuçları



Şekil 5.2 Zayıflatıcı ölçüm sonuçları

QS Zayıflatıcı katalog değerlerinden elde edilen zayıflatma adımına karşılık gelen enerji değerini veren fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$$Enerji = 0,3351 * Katsayı - 2,8561 \quad (5.1)$$

QS Zayıflatıcı ile yapılan kalibrasyon testleri sonucunda elde edilen zayıflatma adımına karşılık gelen enerji değerini veren fonksiyonda lineer çıkmıştır. Bu yapılan ölçümlerin doğrulunu göstermektedir. Sonuçlar beklenildiği üzere katalog değerlerinden farklı çıkmıştır. Ortam gürültüsünden ve yansıtıcı etkenlerden dolayı enerji değerleri farklı çıkmıştır. Ölçümler sonucunda elde edilen fonksiyon aşağıda verilmiştir.

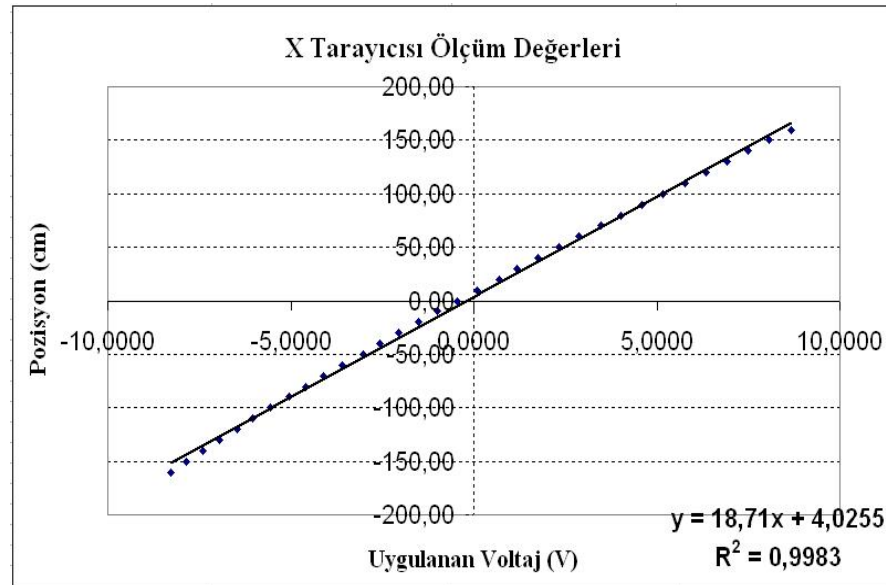
$$Enerji = 0,3351 * Katsayı - 2,8561 \quad (5.2)$$

5.1.4 X – Y tarayıcısı kalibrasyon testleri ve sonuçları

X – Y tarayıcının kalibrasyon testlerinde sırası ile aşağıdaki adımlar izlenmiş ve Şekil 5.3' te gösterilen sonuçlar elde edilmiştir. Şekil 5.4'te ise katalog değerlerinin grafiği verilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 2 ve Ek 3'te verilmiştir.

- İlk olarak X tarayıcısının kalibrasyonu yapılmıştır. Bunun için Y tarayıcısı merkez konumuna getirilmiştir.
- Sonraki adımda yeşil lazer – 1 çalıştırılmıştır. X tarayıcısı devresine çalışma voltaj aralığı olan -10V ile +10V arasında değerler verilerek, perde üzerindeki pozisyon verileri ölçülmüş ve kaydedilmiştir.
- Y tarayıcısının kalibrasyonuna geçilmiştir. Bunun için X tarayıcısı merkez konumuna getirilmiştir.
- Sonraki adımda yeşil lazer – 1 çalıştırılmıştır. Y tarayıcısı devresine çalışma voltaj aralığı olan -10V ile +10V arasında değerler verilerek, perde üzerindeki pozisyon verileri ölçülmüş ve kaydedilmiştir.

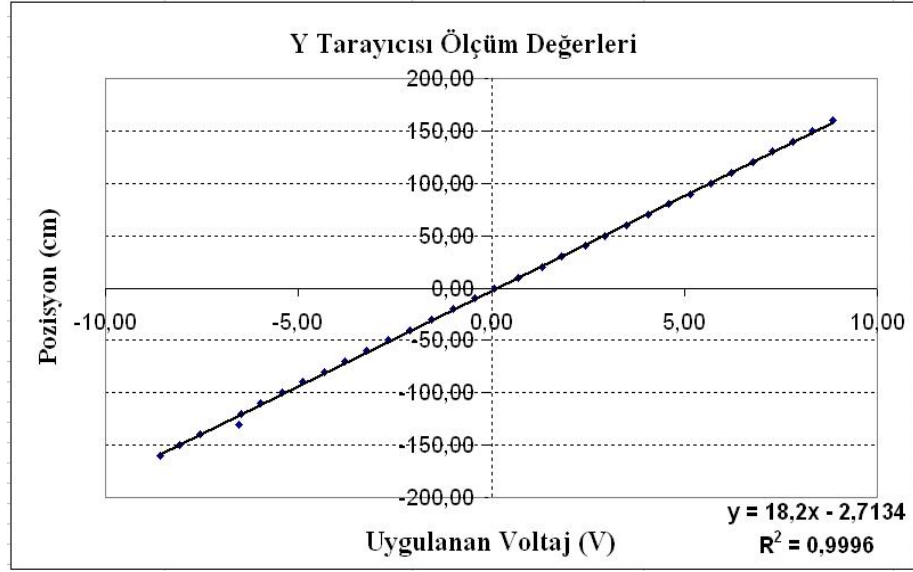
Bu değerler laboratuvar ortamında bulunan hedef görüntünün oluşturulduğu perde üzerinde ölçülmüştür.



Şekil 5.3 X tarayıcısı ölçüm sonuçları

X tarayıcısıyla yapılan testlerden elde edilen voltaj değerine karşılık gelen pozisyon değerini veren fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$$Pozisyon = 18,71 * Voltaj + 4,0255 \quad (5.3)$$



Şekil 5.4 Y tarayıcısı ölçüm sonuçları

Y tarayıcısıyla yapılan testlerden elde edilen voltaj değerine karşılık gelen pozisyon değerini veren fonksiyon aşağıda verilmiştir.

$$Pozisyon = 18,2 * Voltaj - 2,7134 \quad (5.4)$$

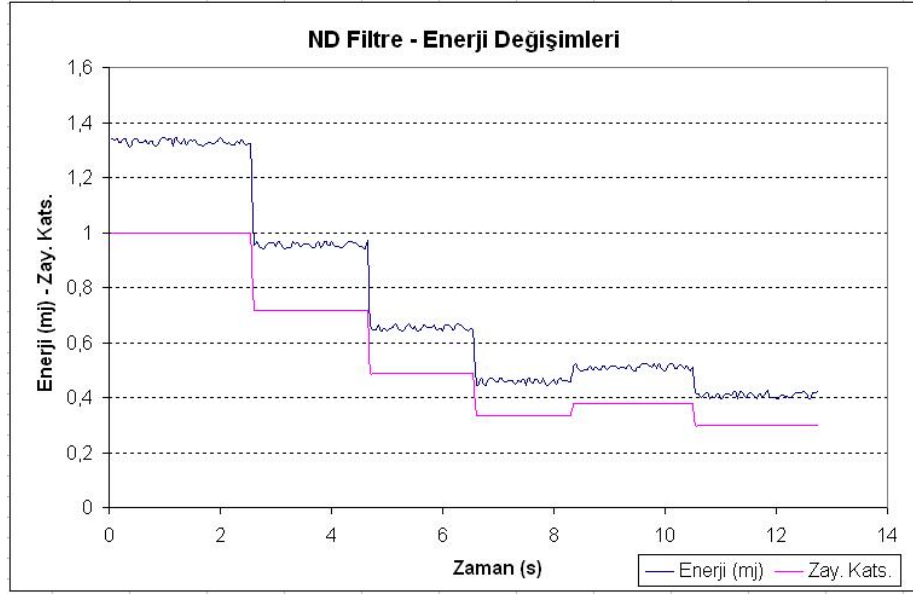
X ve Y tarayıcıları ile yapılan kalibrasyon testleri sonucunda elde edilen voltaj değerine karşılık gelen pozisyon değerini veren fonksiyonlar lineer çıkmıştır. Bu yapılan ölçümlerin doğrulunu göstermektedir.

5.2 Statik Testler ve Sonuçları

Statik testlerde lazer enerjisi ölçme ve doğrulama testleri yapılmıştır. Bu amaçla sistemde bulunan lazer enerjisi zayıflatma donanımlarının her biri için ayrı ayrı test yapılarak ölçüm sonuçları ile teorik enerji değerleri karşılaştırılmıştır. Sistemde yer alan lazer dedektöründen veri alınamadığı için test sonuçlarında simülasyon programından elde edilen veriler gösterilmiştir. Hazırlanan simülasyon programında enerji hesaplamaları yapılırken kalibrasyon testlerinde hesaplanan donanıma ait enerji zayıflatma değerleri ve sistemde oluşması beklenen gürültü değerleri kullanılmıştır. Bu

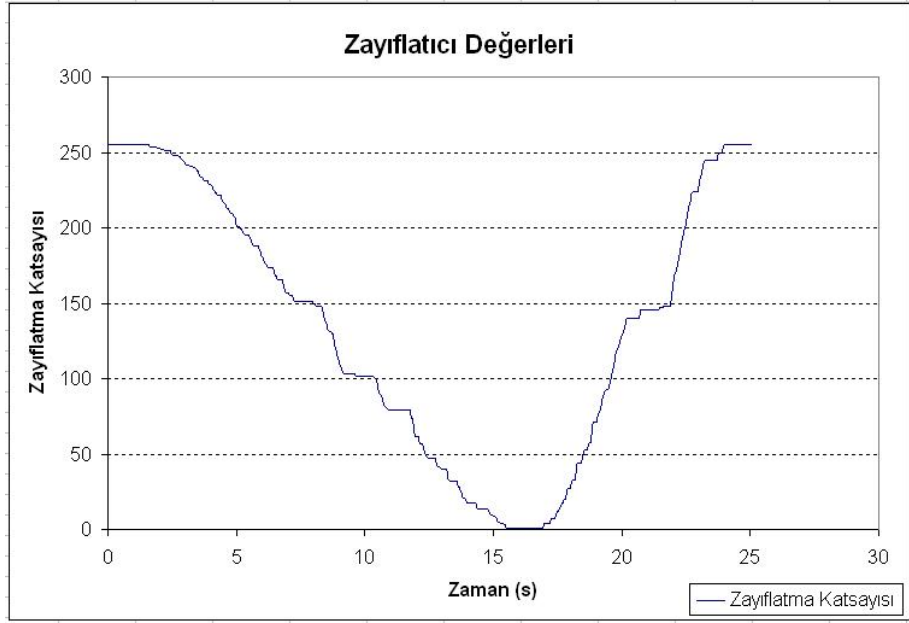
nedenle simülasyon sonucunda hesaplanan enerji değerlerinin gerçek enerji değerlerine çok yakın olduğu tahmin edilmektedir.

Sistem donanımlarından ilk olarak delik kapaklarının enerji zayıflatma değerleri test edilmiştir. Bu testler boyunca QS lazerin çıkış enerjisi 80mJ'e ayarlanmıştır. Test sonuçlarında delik kapağı spot çapına karşılık gelen enerji değerlerini gösteren grafik Şekil 5.5'te verilmiştir. Testin başlangıcında tüm delik kapakları kapalı konumdadır. Bu konumda olması gereken spot çapı 50mm'dir. Lazer kaynağından çıkan ışın demetinin çapı 39mm'dir. Tüm kapaklar ve ND filtreler kapalı olduğu için ışın demeti direkt olarak elektro optik kulede bulunan teleskop negatif lense (TNL) gelir. Bu lens 10x ışın genişletme özelliğine sahiptir. Lazer ışın demetinin çapı burada 390mm'e ulaşır. Zayıflatma sisteminin son parçası olan 50mm'lik sabit delik kapağında ışın demetinin çapı tekrar 50mm'e düşer ve sistemden dışarıya 50mm çapında çıkar. Şekil 5.5'deki ilk kısımdaki 50mm'lik ışın çapı henüz hiçbir delik kapağının aktif olmadığını göstermektedir. 2mm çapındaki DK-1 kapağı açıldığında lazer ışının çapı 2mm'e düşer ve TNL'ye ulaşır. Burada lazerin çapı tekrar 20mm'e çıkar. 5mm çapındaki DK-2 kapağı açıldığında lazer ışının çapı 5mm'e düşer ve TNL'ye ulaşır. Burada lazerin çapı tekrar 50mm'e çıkar. DK-1 ve DK-2 kapakları kapalı olduğunda 39mm çapındaki lazer ışını direkt olarak TNL'ye ulaşır. Işın çapı burada 390mm'e ulaşır. Bu andan sonra DK-3 kapağı açıldığında ışın çapı 2mm'e düşer. Lazer çapındaki bu büyük değişim enerjisinin de büyük miktarda değişimine sebep olacaktır. DK-4 kapağı açıldığında ışın çapı 390mm'den 5mm'e düşmektedir. DK-5 kapağı ışın çapını 10mm'e ve DK-6 kapağı ışın çapını 20mm'e düşürmektedir. Testler sonucunda lazer ışının enerjisinin geçtiği delik kapağının çapıyla ters orantılı bir şekilde zayıfladığı görülmüştür. Teorik olarak beklenen sonuç budur. Ayrıca testler sonucunda ortaya çıkan enerji değerleri 5.1.1 bölümünde yapılan delik kapakları kalibrasyon testlerindeki enerji değerlerine çok yakın çıkmıştır. Teste ait tüm sonuçlar Ek 4'te verilmiştir.

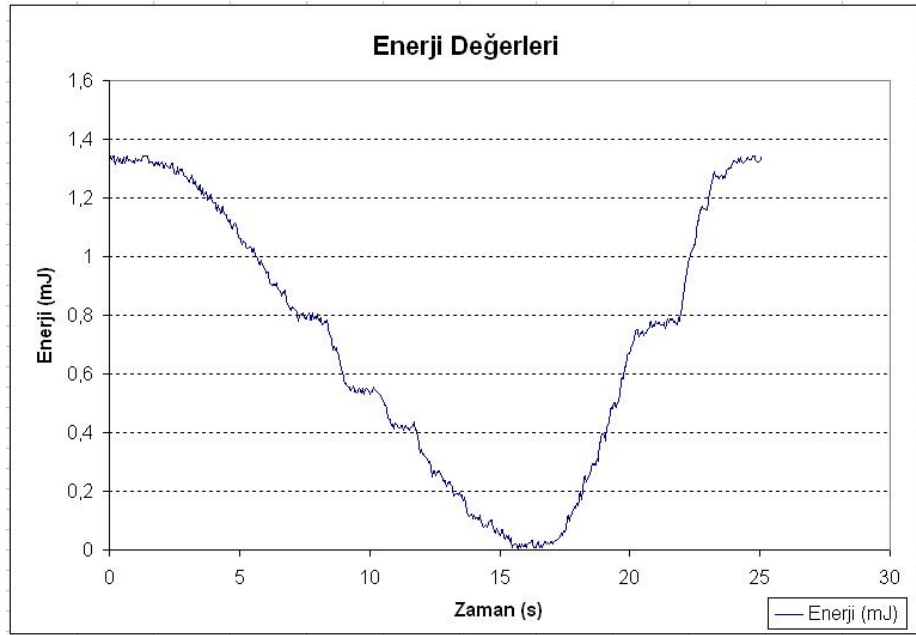


Şekil 5.6 ND filtreler statik test sonuçları

Sistem donanımlarından son olarak QS lazer zayıflatıcısı test edilmiştir. Bu testler boyunca QS lazerin çıkış enerjisi 80mJ'e ayarlanmıştır. Test sonuçlarında zayıflatıcının katsayı değişikliklerini gösteren grafik Şekil 5.7'de ve bu zayıflatma değerlerine karşılık gelen enerji değişimlerini gösteren grafik Şekil 5.8'de verilmiştir. Test boyunca tüm ND filtreler ve delik kapakları kapalı konumdadır. Testin başlangıcında katsayı değeri maksimum geçirgenlik değeri olan 255 değerindedir, bu nedenle ölçülen ilk enerji değeri delik kapakları testinin başlangıcındaki enerji değeri ile aynıdır. Daha sonra test süresince zayıflatıcı değeri ilk önce 0 değerine kadar getirilmiş ve sonra yeniden 255 değerine çıkartılmıştır. Bu süre boyunca enerji değerleri ölçülmüştür. Testler sonucunda zayıflatıcının enerji geçirgenlik katsayısına bağlı olarak lazer enerjisinin doğru orantılı bir şekilde zayıfladığı görülmüştür. Teorik olarak da beklenen sonuç budur. Ayrıca testler sonucunda ortaya çıkan enerji değerleri 5.1.3 bölümünde yapılan zayıflatıcı kalibrasyon testlerindeki enerji değerlerine çok yakın çıkmıştır. Teste ait tüm sonuçlar Ek 6'da verilmiştir.



Şekil 5.7 Zayıflatıcı değerleri statik test sonuçları

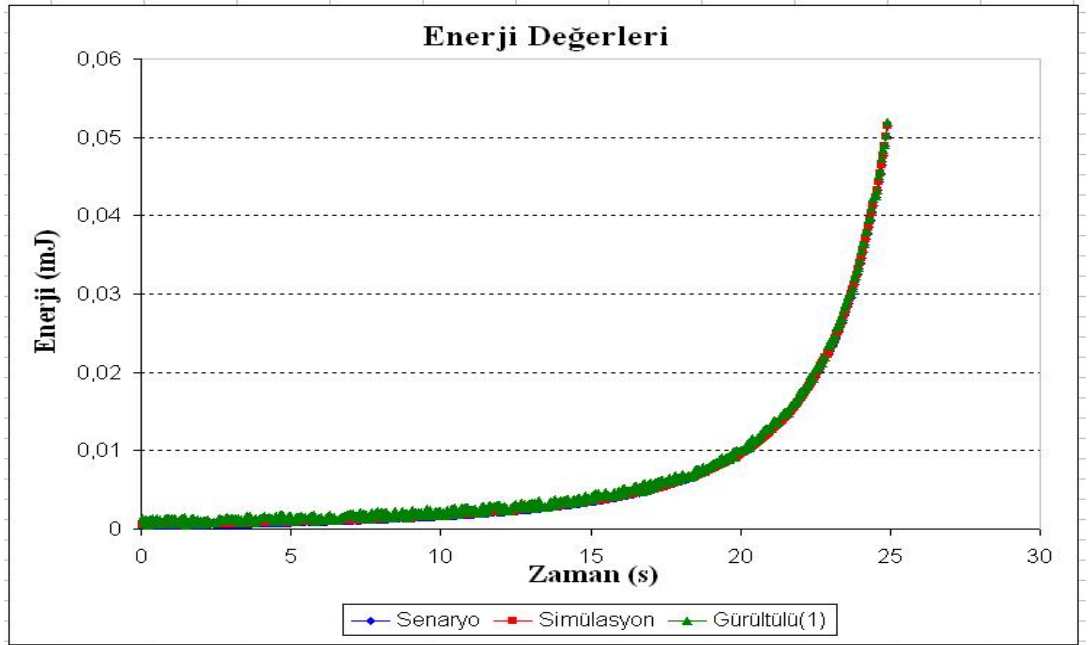


Şekil 5.8 Enerji değerleri statik test sonuçları

5.3 Döngüde Donanım Testleri ve Sonuçları

Döngüde donanım testlerinde tümleşik test bilgisayarından gönderilen senaryodaki enerji, spot çapı ve pozisyon verilerine göre EOÖTS lazer hedef görüntüsünü oluşturmaktadır. Sistemde yer alan lazer dedektöründen veri alınmadığı için test sonuçlarında simülasyon programından elde edilen veriler gösterilmiştir. Hazırlanan simülasyon programında enerji hesaplamaları yapılırken, kalibrasyon testlerinde hesaplanan donanıma ait enerji zayıflatma değerleri kullanılmıştır. Bu nedenle simülasyon sonucunda hesaplanan enerji değerlerinin gerçek enerji değerlerine çok yakın olduğu tahmin edilmektedir.

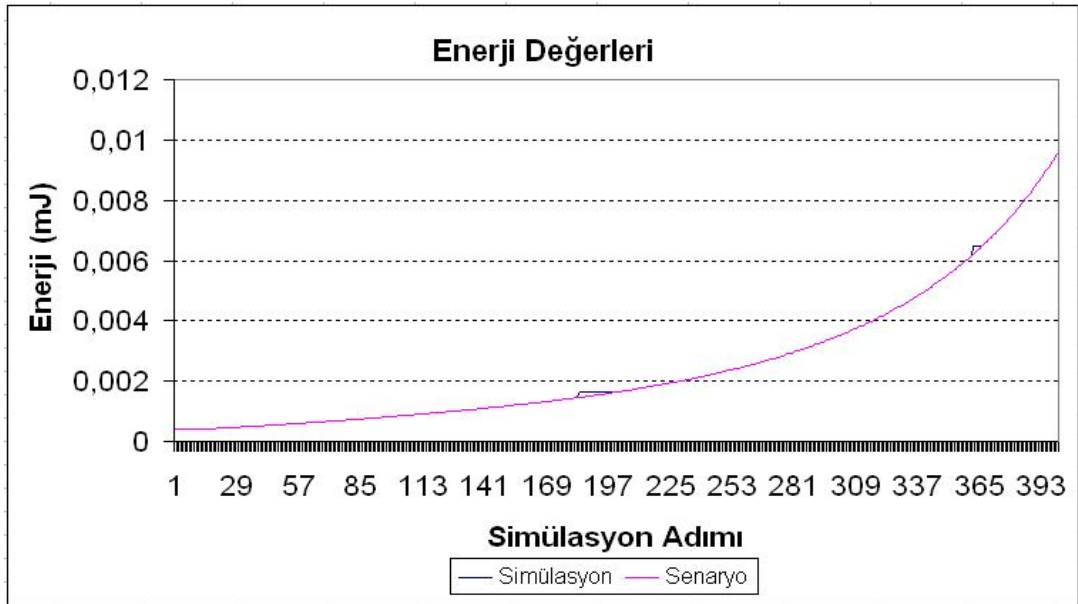
Döngüde donanım testlerinde üç farklı senaryoda iki farklı gürültü değerleri için yapılmış ve değerlendirilmiştir. İlk testte gürültü oranı olarak 0,001 mJ değeri alınmıştır. Şekil 5.9'da birinci senaryo için yapılan test sonucunda, simülasyon sonucu hesaplanan enerji değeri, gürültülü enerji değeri ve senaryo enerji değeri aynı grafikte gösterilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 7'de verilmiştir.



Şekil 5.9 Birinci simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,001mJ)

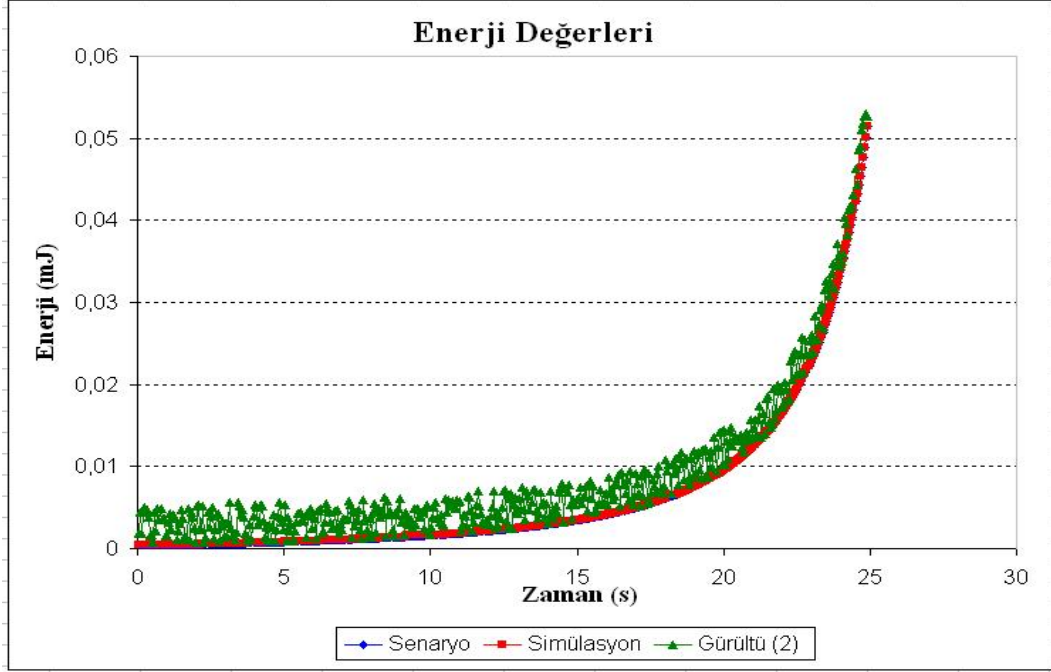
Gürültü oranının fazla olmaması sebebiyle enerji değerleri çok yakın çıkmıştır. Gürültü oranı sistemde bu seviyelerde tutulabilirse senaryoda istenilen enerji değerlerine çok yakın değerler elde edilebileceği görülmüştür. Enerji değerlerinin birbirlerinden sapmadan aynı doğrultuda devam etmeleri ve simülasyon sonuçlarının senaryo değerlerini takip etmesi kontrol yazılımının başarılı bir şekilde gerçekleştirildiğini göstermektedir.

Senaryo enerji değerleri ile simülasyon sonucunda hesaplanan gürültüsüz enerji değerleri arasında tüm simülasyon boyunca sadece delik kapaklarının kombinasyonlarının değişim zamanlarında (yaklaşık olarak 200ms) farklılıklar gözlenmiştir. Bunun sebebinin lazer spot çapının değişikliği ile enerjide meydana gelen değişimlerin kontrol programı tarafından ancak belirli bir süre zarfında istenilen seviye getirebildiği görülmüştür. Bu hatanın, enerji farklılıklarının μJ seviyelerinde olması ve yaklaşık 200ms sürede istenilen seviyeye gelmesinden dolayı ihmal edilebilir olduğu tespit edilmiştir. Şekil 5.10'da senaryo ve simülasyon değerlerinin aynı grafikte gösterimi verilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 7'de verilmiştir.



Şekil 5.10 Senaryo ve simülasyon enerji değerleri

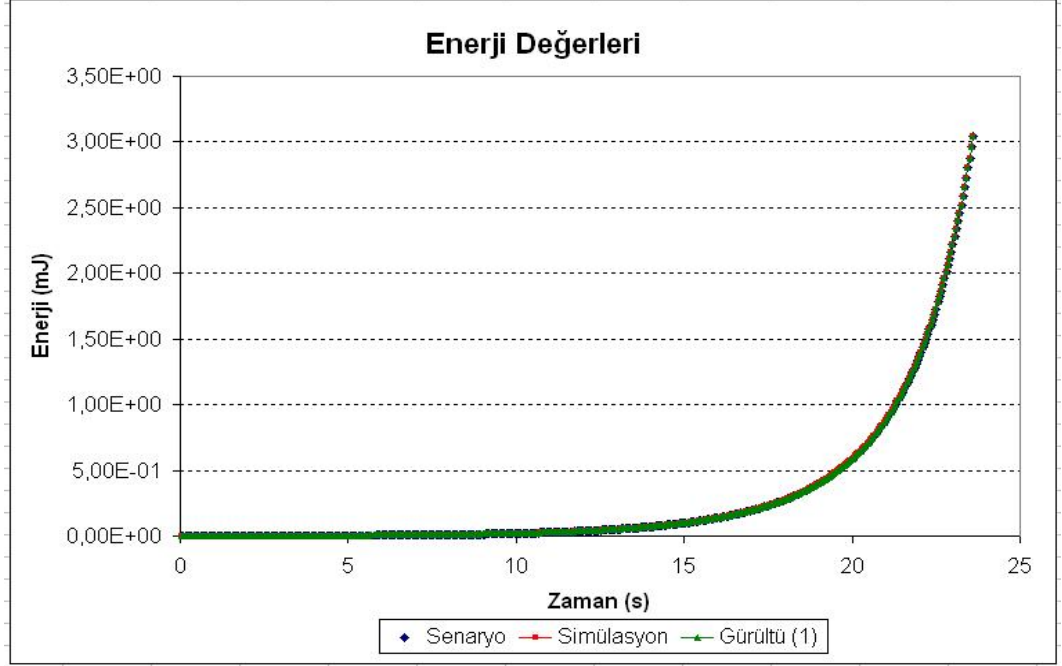
İkinci testte gürültü oranı olarak 0,005 mJ değeri alınmıştır. Şekil 5.11’de birinci senaryo için yapılan test sonucunda, simülasyon sonucu hesaplanan enerji değeri, gürültülü enerji değeri ve senaryo enerji değeri aynı grafikte gösterilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 8’de verilmiştir.



Şekil 5.11 İkinci simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,005mJ)

Gürültü oranının 0,005mJ değeri civarında olması sebebiyle senaryodaki 0,01 mJ değerinin altındaki değerlerde istenilen değerlerden büyük ölçüde sapmalar görülmüştür. Gürültü oranının sistemde bu seviyelerde olması senaryoda istenilen enerji değerlerinin 0,01mJ'den küçük değerlerde yanlış hedef görüntüsünün oluşturulmasına sebep olacaktır. Küçük enerji değerleri hedefe en uzak noktadaki yani atışın ilk başlarındaki enerji değerlerine denk gelmektedir. Bu değerlerde yapılan yanlışlıklar füze için yanlış hedef oluşturmaya sebep olacaktır. Gürültüye rağmen enerji değerlerinin aynı doğrultuda devam etmeleri ve simülasyon sonuçlarının senaryo değerlerini takip etmesi kontrol yazılımının gürültülü ortamda da başarılı bir şekilde çalıştığını göstermektedir.

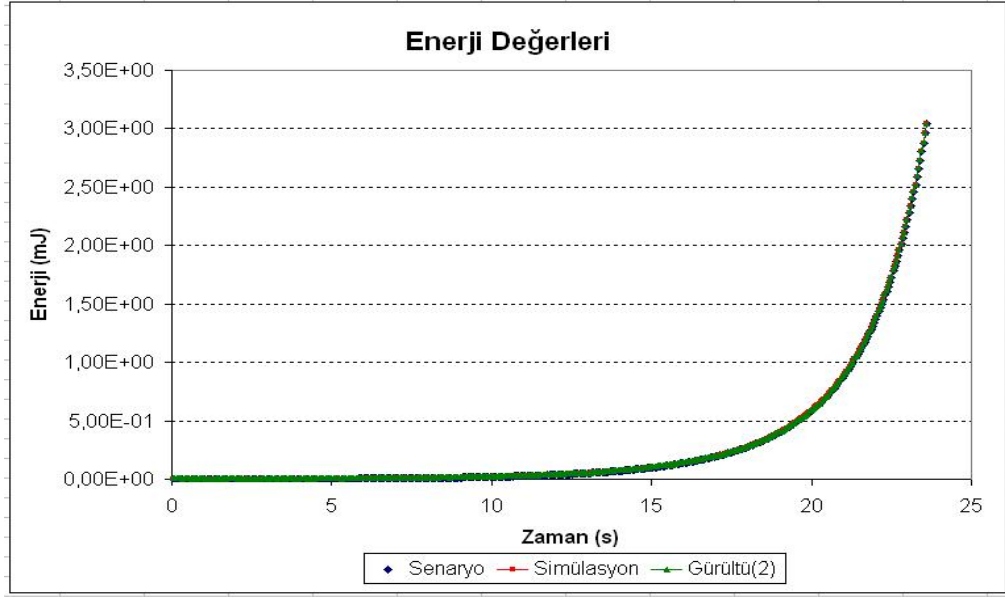
Üçüncü testte ikinci senaryo uygulanmış ve gürültü oranı olarak 0,001 mJ değeri alınmıştır. Şekil 5.12’de ikinci senaryo için yapılan test sonucunda, simülasyon sonucu hesaplanan enerji değeri, gürültülü enerji değeri ve senaryo enerji değeri aynı grafikte gösterilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 9’da verilmiştir.



Şekil 5.12 Üçüncü simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,001mJ)

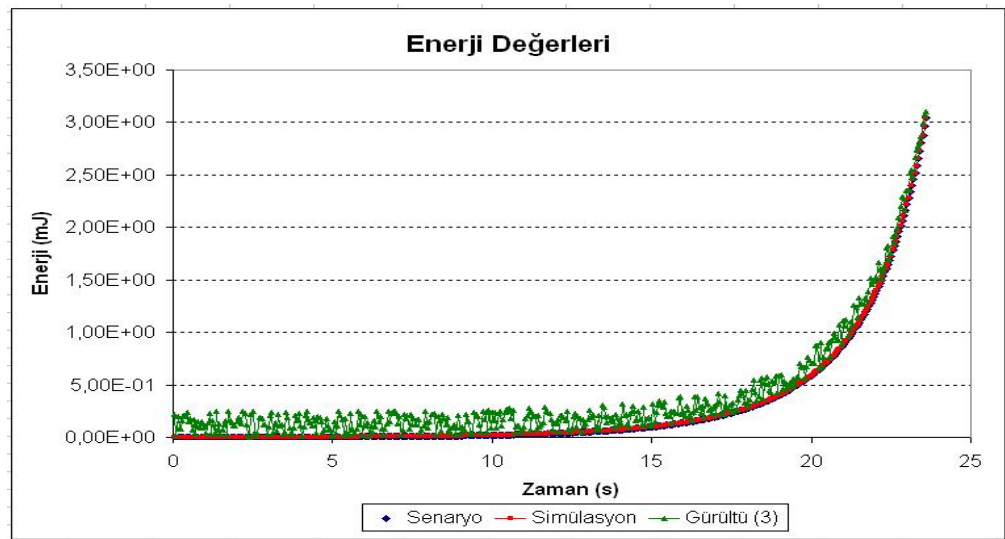
Gürültü değerinin 0,001mJ olduğu ve ikinci senaryonun uygulandığı testte yukarıdaki grafikten de görüldüğü üzere birinci senaryodakine benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. 0,001mJ gürültünün etkisiyle enerji değerlerinde ihmal edilebilecek seviyede sapmalar görülmüştür.

Dördüncü testte gürültü oranı olarak 0,005 mJ değeri alınmıştır. Şekil 5.13’te ikinci senaryo için yapılan test sonucunda, simülasyon sonucu hesaplanan enerji değeri, gürültülü enerji değeri ve senaryo enerji değeri aynı grafikte gösterilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 10’da verilmiştir.



Şekil 5.13 Dördüncü simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,005mJ)

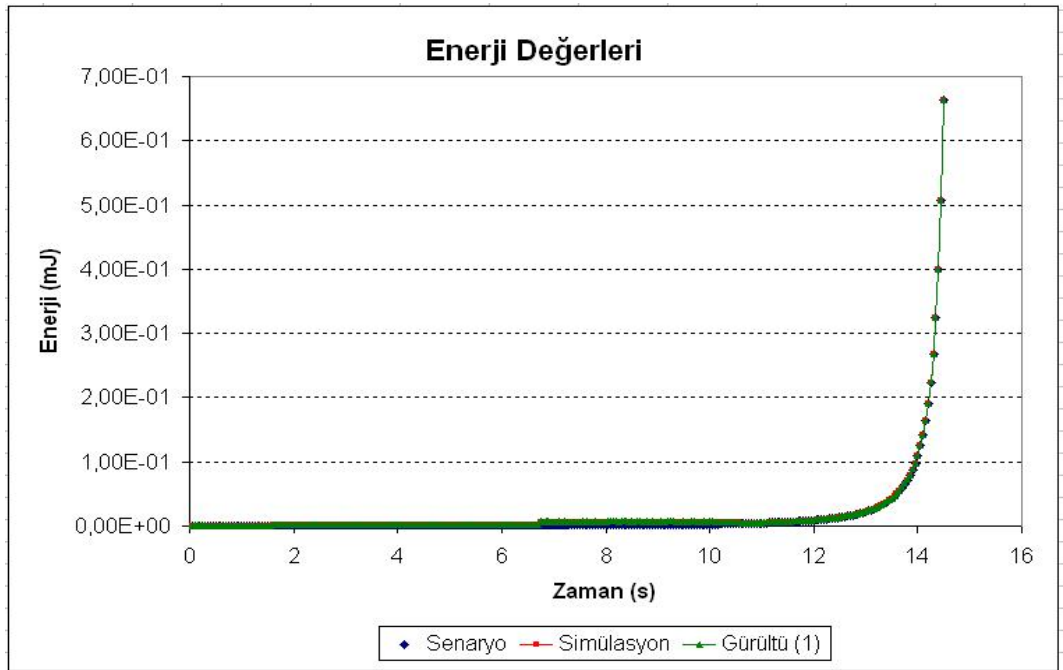
Gürültü oranının 0,005mJ değeri civarında bu senaryo açısından çok ciddi bir probleme sebep olmamıştır. Bu senaryodaki enerji seviyelerinin yüksek olması 0,005mJ'lük gürültü oranının çok fazla hissedilmemesine sebep olmuştur. Bu nedenle bu senaryo için gürültü oranı 0,25mJ alınarak tekrar test yapılmıştır. Şekil 5.14'te bu testin sonucunda oluşan enerji değerleri gösterilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 11'de verilmiştir.



Şekil 5.14 Beşinci simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,25mJ)

İkinci senaryo için kritik gürültü değeri 0,25mJ civarındır. Bu değe yakın gürültü değerleri senaryoda istenilen enerji değerlerinden sapmalara ve yanlış hedef görüntüsünün oluşturulmasına sebep olacaktır.

Altıncı testte üçüncü senaryo uygulanmış ve gürültü oranı olarak 0,001 mJ değeri alınmıştır. Şekil 5.15'te üçüncü senaryo için yapılan test sonucunda, simülasyon sonucu hesaplanan enerji değeri, gürültülü enerji değeri ve senaryo enerji değeri aynı grafikte gösterilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 12'de verilmiştir.

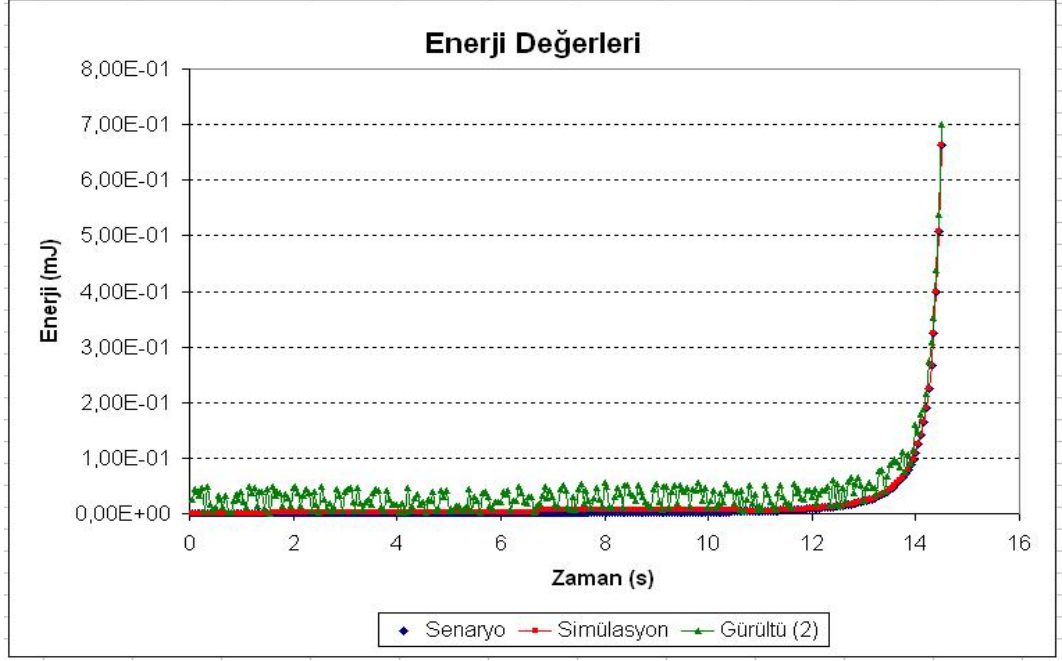


Şekil 5.15 Altıncı simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,001mJ)

Gürültü değerinin 0,001mJ olduğu ve üçüncü senaryonun uygulandığı testte yukarıdaki grafikten de görüldüğü üzere ilk iki senaryodakine benzer sonuçlar ortaya çıkmıştır. 0,001mJ gürültünün etkisiyle enerji değerlerinde ihmal edilebilecek seviyede sapmalar görülmüştür.

Yedinci testte gürültü oranı olarak 0,05 mJ değeri alınmıştır. Şekil 5.16'da üçüncü senaryo için yapılan test sonucunda, simülasyon sonucu hesaplanan enerji değeri,

gürültü enerji değeri ve senaryo enerji değeri aynı grafikte gösterilmiştir. Teste ait tüm sonuçlar Ek 13'te verilmiştir.



Şekil 5.16 Yedinci simlasyon sonucu enerji değerleri (gürültü=0,05mJ)

Üçüncü senaryo için kritik gürültü değeri 0,05mJ civarındır. Bu değe yakın gürültü değerleri senaryoda istenilen enerji değerlerinden sapmalara ve yanlış hedef görüntüsünün oluşturulmasına sebep olacaktır.

6. TARTIŞMA

EOÖTS lazer güdümlü füzelerin, uçuşlu testler öncesinde yer testlerinde, arayıcı başlığını test etmek amacıyla geliştirilmiştir. Bu yer testleri iki aşamadan oluşmaktadır. Birincisi lazer arayıcı başlığını tasarım ve geliştirme aşamalarında test etmek için farklı çapta, enerjide ve pozisyonda lazer ışınının üretilmesi; ikincisi döngüde donanım testlerinde tümleşik füze ekipmanı ile birlikte ana bilgisayardan gelen veriler doğrultusunda gerçek zamanlı olarak lazer ışınının üretilmesidir.

Sistem ile ilk önce lazer ışını zayıflatıcı donanımlar olan dahili lazer zayıflatıcı, delik kapakları ve ND filtreler test edilmiştir. Dahili lazer zayıflatıcı ile yapılan testlerde zayıflatma katsayısına göre enerjinin doğrusal bir şekilde değiştiği gözlenmiştir. Zayıflatma olarak katalog değerlerine göre az miktarda sapmalar mevcuttur. Bu farklılığın sistem üzerinde bulunan gürültüden kaynaklandığı tesbit edilmiş ve iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. Döngüde donanım testlerinde katalog değerleri yerine testler sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır. Bu şekilde gürültünün senaryoyu etkilemesi önlenmiştir. Delik kapakları ile yapılan testlerde lazer enerjisinin delik çaplarıyla ters orantılı bir şekilde değiştiği gözlenmiştir. Bu sonuç teorik olarak beklenen sonuca benzer çıkmıştır. Ölçülen değerlerde gürültü kaynaklı teorik olarak hesaplanan enerji değerleri ile farklılıklar gözlenmiştir. Döngüde donanım testlerinde teorik olarak hesaplanan değerler yerine testler sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır. ND filtreler ile yapılan testlerde lazer enerjisinin geçirgenlik oranlarıyla ters orantılı bir şekilde değiştiği gözlenmiştir. ND filtrelerin zayıflatma katsayıları olarak döngüde donanım testlerinde testler sonucunda elde edilen değerler kullanılmıştır.

Kalibrasyon testlerinden sonra döngüde donanım testlerinde kullanılacak yazılımın doğruluğunun test edilmesi amacıyla bilgisayar ortamında simülasyon yazılımı hazırlanmıştır. Bu yazılım ile gerçek uçuş senaryolarının testleri gerçekleştirilmiştir. Simülasyon yazılımı senaryodan gelen enerji değerlerini, lazer spot çapını ve lazer ışını pozisyonunu üretebilmek amacıyla gerekli donanımları devreye almakta ve bunların lazer ışınına olan etkisini hesaplamaktadır. Bu yazılım ile senaryolar tek tek test

edilerek senaryodaki enerji değerleri ile simülasyon ile hesaplanan enerji değerleri karşılaştırılmış ve bu değerlerin tam olarak birbirleri ile aynı olduğu tesbit edilmiştir. Bu sayede yazılımın doğruluğu kanıtlanmıştır.

Kalibrasyon testlerinde elde edilen veriler ile döngüde donanım test yazılımı son haline getirilmiştir. Döngüde donanım testlerinde tümleşik test ekipmanı ile haberleşme fiber optik hat üzerinden gerçekleştirilmiştir. Bu şekilde aradaki uzun mesafeden dolayı oluşabilecek veri kaybı engellenmiş ve başarılı bir şekilde veri iletimi gerçekleşmiştir. Bu testlerde ana bilgisayardan gönderilen datalar gerçek zamanlı olarak EOÖTS tarafından işlenerek istenilen değerlerde lazer ışını üretilmiştir. Sistem üzerinde bulunan lazer dedektörlerinin tam performansda çalışmalarından dolayı enerji değişimleri anlık olarak ölçülememiştir. Fakat kalibrasyon testlerinde elde edilen enerji değerleri ile sistemin üretmiş olduğu enerji değerlerinin doğruluğundan emin olunmaktadır. Dedektörlerden veri alınamaması sistemin açık döngü kontrol sistemi ile kontrol edilmesini gerektirmiştir. Sistem donanımlarının kalibrasyonla doğrulanmasından dolayı geri beslemesiz yapılan açık döngü kontrolün kapalı döngü kontrole yakın sonuçlar verdiği görülmektedir. Bununla beraber lazer enerji dedektörlerinin iyileştirme çalışmaları devam etmektedir. İlerleyen günlerde bunlarında devreye alınması ile sistemde kapalı döngü kontrol sistemi kullanılacaktır.

EOÖTS şu an itibariyle lazer güdümlü füzeye yönelik döngüde donanım testlerinde başarılı bir şekilde kullanılmaktadır. Yapılan testler ile sisteme ait eksiklikler ve yanlışlıklar tesbit edilip gerekli iyileştirme ve geliştirme çalışmaları devam etmektedir.

KAYNAKLAR

- Anonymous. 2002. CFR 200 and CFR 400 Nd:YAG Laser System User's Manual, 154s.
- Anonymous. 2006. MicroMax Model 671XX, Cambridge Technology, 3s.
- Anonymous. 2008. Position Sensing Photodiodes, 2s, AP Technologies.
- Anonymous. 2008. Web sitesi.
http://www.camiresearch.com/Data_Com_Basics/RS232_standard.html
Erişim Tarihi: 09.07.2008.
- Anonymous. 2008. Web sitesi. <http://en.wikipedia.org/wiki/Laser> Erişim Tarihi: 05.07.2008.
- Anonymous. 2008. Web sitesi. http://en.wikipedia.org/wiki/Neutral_density_filter
Erişim Tarihi: 08.07.2008.
- Anonymous. 2008. Web sitesi. <http://www.gefanucembedded.com/products/1298>
Erişim Tarihi: 25.06.2008.
- Anonymous. 2008. Web sitesi. http://www.quatech.com/catalog/rs232_pci.php
Erişim Tarihi: 25.06.2008.
- Anonymous. 2008. Web sitesi. www.rp-photonics.com/laser_mirrors.html Erişim Tarihi: 08.07.2008.
- Braley, J. S. 2008. Photo Detectors, 5s.
- Doherty, B. 2008. MicroNotes Series701, 2s, Microsemi Watertown.
- Dutton, H. R. J. 1998. Understanding Optical Communications, 638s.
- Gentec, 2007. Power Detectors Overview, 25s.
- Gentec, 2008. Energy Detectors Overview, 5s.
- Hitz, B., Ewing, J.J. and Hecht, J. 2000. Introduction to Laser Technology, 288s,
- Kaçar, E. 2003, Lazer Çeşitleri, 20s, Lazer Teknolojileri Uygulama ve Araştırma Merkezi, Kocaeli Üniversitesi.
- NI, 2008. 48-Bit Isolated Digital I/O, 9s.
- NI, 2008. Digital I/O or 96 Lines, 5V TTL/CMOS, 9s.
- NI, 2008. NI 6052E Family Specifications, 13s.
- NI, 2000. LabVIEW Basics I Course Manual, 388s.

- Parziale, L., Britt, D. T., Davis, C., Forrester, J., Liu, W., Matthews, C. and Rosselot, N. 2008. TCP/IP Tutorial and Technical Overview.
- Saleh, E. A. and Teich, M. C., 1991. Fundamentals of Photonics. New York. Chapter 3, "Beam Optics," pp. 80–107.
- Salzmann, C., Gillet, D. and Huguenin, P. 2000. Introduction to Real-time Control Using LabVIEW with an Application to Distance Learning, 18s,

EKLER DİZİNİ

EK 1 QS Lazer Zayıflatıcı Kalibrasyonu Sonuçları	102
EK 2 X Tarayıcısı Kalibrasyon Testleri Ölçüm Sonuçları.....	103
EK 3 Y Tarayıcısı Kalibrasyon Testleri Ölçüm Sonuçları.....	104
EK 4 Delik Kapakları Statik Test Sonuçları	105
EK 5 ND Filtreler Statik Test Sonuçları	106
EK 6 QS Lazer Zayıflatıcı Statik Test Sonuçları	107
EK 7 Birinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri	108
EK 8 İkinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri	109
EK 9 Üçüncü Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri	110
EK 10 Dördüncü Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri.....	111
EK 11 Beşinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri.....	112
EK 12 Altıncı Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri.....	113
EK 13 Yedinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri	114

EK 1 QS Lazer Zayıflatıcı Kalibrasyonu Sonuçları

Zayıflatma Adımı	Minimum Değer (mJ)	Maksimum Değer (mJ)	Ortalama Değer (mJ)	Katalog Değeri (mJ)
0	0,76	0,88	0,820	0,0354
1	0,98	1,08	1,030	0,3512
2	1,62	1,74	1,680	0,6671
3	2,38	2,51	2,445	0,9829
4	3,34	3,51	3,425	1,2987
5	3,82	4,02	3,920	1,6146
6	4,25	4,38	4,315	1,9304
7	4,67	4,83	4,750	2,2463
8	5,29	5,44	5,365	2,5621
9	5,39	5,69	5,540	2,8779
10	6,02	6,20	6,110	3,1938
11	6,30	6,47	6,385	3,5096
12	6,90	7,10	7,000	3,8254
13	7,13	7,38	7,255	4,1413
14	7,59	7,81	7,700	4,4571
15	7,91	8,14	8,025	4,773
16	8,47	8,74	8,605	5,0888
17	8,82	9,03	8,925	5,4046
18	9,30	9,53	9,415	5,7205
19	9,28	9,51	9,395	6,0363
20	9,88	10,14	10,010	6,3522
21	10,18	10,52	10,350	6,668
22	10,36	10,64	10,500	6,9838
23	10,99	11,23	11,110	7,2997
24	11,28	11,61	11,445	7,6155
25	11,71	12,19	11,950	7,9313
26	11,88	12,21	12,045	8,2241
27	12,59	13,02	12,805	8,4937
28	13,00	13,30	13,150	8,7634
29	13,70	14,01	13,855	9,033
30	13,70	14,01	13,855	9,3027
31	14,31	14,76	14,535	9,5723
32	14,82	15,07	14,945	9,8419
33	14,77	15,17	14,970	10,1116
34	15,63	15,98	15,805	10,3812
35	15,75	16,08	15,915	10,6509
36	15,72	16,21	15,965	10,9205
37	16,69	17,01	16,850	11,1901
38	16,45	17,07	16,760	11,4598
39	17,22	17,77	17,495	11,7294
40	17,34	17,82	17,580	11,9991

EK 2 X Tarayıcısı Kalibrasyon Testleri Ölçüm Sonuçları

Pozisyon (cm)	X'e Uygulanan Voltaj (V)	Y'ye Uygulanan Voltaj (V)
160,00	8,6600	-0,0500
150,00	8,0800	-0,0400
140,00	7,5000	-0,0300
130,00	6,9200	-0,0200
120,00	6,3400	-0,0100
110,00	5,7600	-0,0100
100,00	5,1800	0,0000
90,00	4,6000	0,0100
80,00	4,0200	0,0200
70,00	3,4400	0,0300
60,00	2,8800	0,0400
50,00	2,3200	0,0400
40,00	1,7600	0,0500
30,00	1,1800	0,0600
20,00	0,6800	0,0700
10,00	0,0800	0,0700
0,00	-0,4600	0,0800
-10,00	-1,0000	0,0800
-20,00	-1,5200	0,0900
-30,00	-2,0600	0,0900
-40,00	-2,5800	0,1000
-50,00	-3,0200	0,1000
-60,00	-3,6000	0,1100
-70,00	-4,1000	0,1200
-80,00	-4,6000	0,1300
-90,00	-5,0400	0,1400
-100,00	-5,5600	0,1400
-110,00	-6,0400	0,1500
-120,00	-6,4600	0,1500
-130,00	-6,9400	0,1500
-140,00	-7,4100	0,1600
-150,00	-7,8450	0,1600
-160,00	-8,2850	0,1700

EK 3 Y Tarayıcısı Kalibrasyon Testleri Ölçüm Sonuçları

Pozisyon (cm)	Y'ye Uygulanan Voltaj (V)	X'e Uygulanan Voltaj (V)
-160,00	-8,59	-0,49
-150,00	-8,07	-0,48
-140,00	-7,55	-0,48
-130,00	-6,53	-0,48
-120,00	-6,49	-0,48
-110,00	-5,97	-0,48
-100,00	-5,43	-0,47
-90,00	-4,89	-0,47
-80,00	-4,33	-0,47
-70,00	-3,79	-0,46
-60,00	-3,23	-0,46
-50,00	-2,67	-0,45
-40,00	-2,11	-0,45
-30,00	-1,55	-0,45
-20,00	-0,99	-0,44
-10,00	-0,43	-0,44
0,00	0,07	-0,43
10,00	0,69	-0,43
20,00	1,32	-0,41
30,00	1,82	-0,41
40,00	2,44	-0,41
50,00	2,94	-0,39
60,00	3,49	-0,39
70,00	4,05	-0,39
80,00	4,60	-0,37
90,00	5,15	-0,37
100,00	5,69	-0,35
110,00	6,23	-0,35
120,00	6,77	-0,35
130,00	7,29	-0,33
140,00	7,81	-0,33
150,00	8,33	-0,33
160,00	8,85	-0,33

EK 4 Delik Kapakları Statik Test Sonuçları

Spot Çapı (mm)	Enerji (mJ)	Spot Çapı (mm)	Enerji (mJ)
50	1,3166967	20	0,21075765
50	1,32599444	20	0,22532964
50	1,33738475	20	0,22373006
50	1,33922475	20	0,22576877
50	1,33079675	20	0,22478301
50	1,32190737	20	0,23711363
50	1,32658578	20	0,22959163
50	1,33057167	20	0,23543747
50	1,32564123	20	0,24024155
50	1,32352145	20	0,215965
50	1,33884405	20	0,2381468
50	1,33335443	20	0,23457727
50	1,3438253	50	1,3367427
50	1,33378544	50	1,31552544
20	0,22148522	50	1,34058913
20	0,21209016	50	1,33125424
20	0,22051686	50	1,3367276
20	0,2118491	50	1,31696365
20	0,23324614	50	1,31820925
20	0,21655742	50	1,32044199
20	0,22327291	50	1,33997322
20	0,22498792	50	1,33414494
20	0,22243932	50	1,32380089
20	0,22015367	50	1,31904517
20	0,22808876	50	1,31532749

EK 5 ND Filtreler Statik Test Sonuçları

ND Filtre Geçirgenlik Katsayısı	Enerji (mJ)	ND Filtre Geçirgenlik Katsayısı	Enerji (mJ)
1	1,315968	0,715	0,96151
1	1,3214	0,715	0,948346
1	1,329035	0,715	0,969054
1	1,325208	0,715	0,952764
1	1,321016	0,715	0,941592
1	1,330173	0,715	0,943492
1	1,343333	0,715	0,943888
1	1,337982	0,715	0,965836
1	1,322004	0,715	0,959238
1	1,325417	0,715	0,964639
1	1,316583	0,715	0,950536
1	1,317414	0,715	0,958303
1	1,330656	0,715	0,96023
1	1,323946	0,715	0,951775
1	1,335865	0,715	0,946671
1	1,319629	0,715	0,9429
1	1,325165	0,715	0,966284
1	1,323995	0,715	0,947171
0,715	0,95418	0,715	0,955619
0,715	0,969177	0,715	0,968201
0,715	0,954357	0,715	0,953956
0,715	0,941646	0,715	0,96783
0,715	0,942894	0,715	0,952861
0,715	0,958675	0,715	0,948917
0,715	0,961833	0,715	0,943786

EK 6 QS Lazer Zayıflatıcı Statik Test Sonuçları

Zayıflatıcı Zayıflatma Katsayısı	Enerji (mJ)	Zayıflatıcı Zayıflatma Katsayısı	Enerji (mJ)
255	1,341051	255	1,341721
255	1,330186	255	1,344341
255	1,337718	255	1,344551
255	1,343177	255	1,341287
255	1,315238	255	1,320226
255	1,339971	255	1,323214
255	1,320843	255	1,320978
255	1,332748	254	1,322727
255	1,320569	254	1,312616
255	1,320318	254	1,312161
255	1,338726	254	1,321563
255	1,317827	254	1,313383
255	1,325778	253	1,32255
255	1,344068	253	1,308524
255	1,324611	253	1,322764
255	1,328821	252	1,308051
255	1,323566	252	1,303007
255	1,327268	252	1,316461
255	1,316364	251	1,309828
255	1,334285	251	1,304999
255	1,326705	251	1,303289
255	1,324981	251	1,301461
255	1,330468	251	1,314193
255	1,325647	251	1,31679
255	1,326124	249	1,289756

EK 7 Birinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri

Zaman(s)	Senaryo Enerji (mJ)	Simülasyon Enerji (mJ)	Gürültülü(1) Enerji (mJ)
0,05	0,000406	0,000406	0,00132558
0,1	0,000406	0,000406	0,00058453
0,15	0,000407	0,000407	0,00119657
0,2	0,000407	0,000407	0,00100823
0,25	0,000407	0,000407	0,00041941
0,3	0,000408	0,000408	0,00123706
0,35	0,000409	0,000409	0,00089335
0,4	0,00041	0,00041	0,00134211
0,45	0,000411	0,000411	0,00091296
0,5	0,000413	0,000413	0,00124736
0,55	0,000414	0,000414	0,00138992
0,6	0,000416	0,000416	0,00059248
0,65	0,000418	0,000418	0,00125756
0,7	0,00042	0,00042	0,00086601
0,75	0,000422	0,000422	0,00057473
0,8	0,000424	0,000424	0,0013827
0,85	0,000427	0,000427	0,00139834
0,9	0,00043	0,00043	0,00132735
0,95	0,000433	0,000433	0,00059827
1	0,000436	0,000436	0,00136376
1,05	0,00044	0,00044	0,00113676
1,1	0,000443	0,000443	0,00129462
1,15	0,000447	0,000447	0,00121398
1,2	0,000451	0,000451	0,00098981
1,25	0,000455	0,000455	0,0007387
1,3	0,000459	0,000459	0,00127816
1,35	0,000463	0,000463	0,00139421
1,4	0,000468	0,000468	0,00067268
1,45	0,000472	0,000472	0,00146015
1,5	0,000476	0,000476	0,00049869
1,55	0,00048	0,00048	0,0009798
1,6	0,000484	0,000484	0,00064602
1,65	0,000489	0,000489	0,00108938
1,7	0,000493	0,000493	0,00136512
1,75	0,000497	0,000497	0,00142369
1,8	0,000501	0,000501	0,00107237
1,85	0,000506	0,000506	0,00060726
1,9	0,00051	0,00051	0,00115495

EK 8 İkinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri

Zaman(s)	Senaryo Enerji (mJ)	Simülasyon Enerji (mJ)	Gürültülü(2) Enerji (mJ)
0,05	0,000406	0,000406	0,00188508
0,1	0,000406	0,000406	0,00447606
0,15	0,000407	0,000407	0,0018922
0,2	0,000407	0,000407	0,00445691
0,25	0,000407	0,000407	0,00497684
0,3	0,000408	0,000408	0,00461772
0,35	0,000409	0,000409	0,00478701
0,4	0,00041	0,00041	0,00379248
0,45	0,000411	0,000411	0,00146317
0,5	0,000413	0,000413	0,00168644
0,55	0,000414	0,000414	0,00078376
0,6	0,000416	0,000416	0,00448749
0,65	0,000418	0,000418	0,00211861
0,7	0,00042	0,00042	0,00492482
0,75	0,000422	0,000422	0,00352776
0,8	0,000424	0,000424	0,00491541
0,85	0,000427	0,000427	0,00368779
0,9	0,00043	0,00043	0,00362137
0,95	0,000433	0,000433	0,00147139
1	0,000436	0,000436	0,00148498
1,05	0,00044	0,00044	0,0031953
1,1	0,000443	0,000443	0,0042213
1,15	0,000447	0,000447	0,00232496
1,2	0,000451	0,000451	0,00408593
1,25	0,000455	0,000455	0,00391086
1,3	0,000459	0,000459	0,0035983
1,35	0,000463	0,000463	0,00114181
1,4	0,000468	0,000468	0,0021658
1,45	0,000472	0,000472	0,0029885
1,5	0,000476	0,000476	0,00472975
1,55	0,00048	0,00048	0,00368026
1,6	0,000484	0,000484	0,00134439
1,65	0,000489	0,000489	0,00141973
1,7	0,000493	0,000493	0,00113206
1,75	0,000497	0,000497	0,00493826
1,8	0,000501	0,000501	0,00103688
1,85	0,000506	0,000506	0,00442979
1,9	0,00051	0,00051	0,00374978

EK 9 Üçüncü Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri

Zaman(s)	Senaryo Enerji (mJ)	Simülasyon Enerji (mJ)	Gürültülü(1) Enerji (mJ)
0,05	3,60E-04	0,00036	0,0003814
0,1	3,60E-04	0,00036	0,00088677
0,15	3,61E-04	0,000361	0,00048879
0,2	3,62E-04	0,000362	0,00088823
0,25	3,64E-04	0,000364	0,00074607
0,3	3,66E-04	0,000366	0,0009862
0,35	3,69E-04	0,000369	0,00037787
0,4	3,72E-04	0,000372	0,00077798
0,45	3,76E-04	0,000376	0,00091379
0,5	3,81E-04	0,000381	0,00062916
0,55	3,86E-04	0,000386	0,00060139
0,6	3,91E-04	0,000391	0,00087853
0,65	3,98E-04	0,000398	0,00070949
0,7	4,05E-04	0,000405	0,00121096
0,75	4,12E-04	0,000412	0,00065989
0,8	4,21E-04	0,000421	0,00126756
0,85	4,30E-04	0,00043	0,00109246
0,9	4,41E-04	0,000441	0,00080024
0,95	4,52E-04	0,000452	0,0014292
1	4,64E-04	0,000464	0,0009097
1,05	4,77E-04	0,000477	0,00075996
1,1	4,91E-04	0,000491	0,00123461
1,15	5,07E-04	0,000507	0,00054716
1,2	5,23E-04	0,000523	0,00141513
1,25	5,39E-04	0,000539	0,00084303
1,3	5,56E-04	0,000556	0,00062344
1,35	5,74E-04	0,000574	0,00118543
1,4	5,91E-04	0,000591	0,00143791
1,45	6,10E-04	0,00061	0,0013553
1,5	6,28E-04	0,000628	0,00094239
1,55	6,48E-04	0,000648	0,00078412
1,6	6,67E-04	0,000667	0,00115857
1,65	6,87E-04	0,000687	0,00078527
1,7	7,08E-04	0,000708	0,00119635
1,75	7,29E-04	0,000729	0,00152847
1,8	7,51E-04	0,000751	0,0015387
1,85	7,73E-04	0,000773	0,00143204
1,9	7,96E-04	0,000796	0,00109877

EK 10 Dördüncü Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri

Zaman(s)	Senaryo Enerji (mJ)	Simülasyon Enerji (mJ)	Gürültülü(2) Enerji (mJ)
0,05	3,60E-04	0,00036	0,009324
0,1	3,60E-04	0,00036	0,01024
0,15	3,61E-04	0,000361	0,009831
0,2	3,62E-04	0,000362	0,006431
0,25	3,64E-04	0,000364	0,004972
0,3	3,66E-04	0,000366	0,009419
0,35	3,69E-04	0,000369	0,000513
0,4	3,72E-04	0,000372	0,007196
0,45	3,76E-04	0,000376	0,010038
0,5	3,81E-04	0,000381	0,005038
0,55	3,86E-04	0,000386	0,008756
0,6	3,91E-04	0,000391	0,002885
0,65	3,98E-04	0,000398	0,005923
0,7	4,05E-04	0,000405	0,007396
0,75	4,12E-04	0,000412	0,009227
0,8	4,21E-04	0,000421	0,000941
0,85	4,30E-04	0,00043	0,008096
0,9	4,41E-04	0,000441	0,005807
0,95	4,52E-04	0,000452	0,009491
1	4,64E-04	0,000464	0,005843
1,05	4,77E-04	0,000477	0,002482
1,1	4,91E-04	0,000491	0,004869
1,15	5,07E-04	0,000507	0,009511
1,2	5,23E-04	0,000523	0,003056
1,25	5,39E-04	0,000539	0,000893
1,3	5,56E-04	0,000556	0,002803
1,35	5,74E-04	0,000574	0,002878
1,4	5,91E-04	0,000591	0,007033
1,45	6,10E-04	0,00061	0,009005
1,5	6,28E-04	0,000628	0,004717
1,55	6,48E-04	0,000648	0,00749
1,6	6,67E-04	0,000667	0,006139
1,65	6,87E-04	0,000687	0,0086
1,7	7,08E-04	0,000708	0,004467
1,75	7,29E-04	0,000729	0,00843
1,8	7,51E-04	0,000751	0,010155
1,85	7,73E-04	0,000773	0,006192
1,9	7,96E-04	0,000796	0,007692

EK 11 Beşinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri

Zaman(s)	Senaryo Enerji (mJ)	Simülasyon Enerji (mJ)	Gürültülü(3) Enerji (mJ)
0,05	3,60E-04	0,00036	0,222579
0,1	3,60E-04	0,00036	0,014924
0,15	3,61E-04	0,000361	0,198228
0,2	3,62E-04	0,000362	0,077577
0,25	3,64E-04	0,000364	0,075099
0,3	3,66E-04	0,000366	0,160654
0,35	3,69E-04	0,000369	0,203279
0,4	3,72E-04	0,000372	0,202561
0,45	3,76E-04	0,000376	0,235727
0,5	3,81E-04	0,000381	0,144052
0,55	3,86E-04	0,000386	0,175132
0,6	3,91E-04	0,000391	0,066256
0,65	3,98E-04	0,000398	0,170747
0,7	4,05E-04	0,000405	0,03285
0,75	4,12E-04	0,000412	0,105113
0,8	4,21E-04	0,000421	0,14942
0,85	4,30E-04	0,00043	0,089381
0,9	4,41E-04	0,000441	0,145632
0,95	4,52E-04	0,000452	0,132928
1	4,64E-04	0,000464	0,09763
1,05	4,77E-04	0,000477	0,037075
1,1	4,91E-04	0,000491	0,136451
1,15	5,07E-04	0,000507	0,22391
1,2	5,23E-04	0,000523	0,026726
1,25	5,39E-04	0,000539	0,16103
1,3	5,56E-04	0,000556	0,037072
1,35	5,74E-04	0,000574	0,246894
1,4	5,91E-04	0,000591	0,066685
1,45	6,10E-04	0,00061	0,124012
1,5	6,28E-04	0,000628	0,0313
1,55	6,48E-04	0,000648	0,06643
1,6	6,67E-04	0,000667	0,116482
1,65	6,87E-04	0,000687	0,157504
1,7	7,08E-04	0,000708	0,016115
1,75	7,29E-04	0,000729	0,249726
1,8	7,51E-04	0,000751	0,157015
1,85	7,73E-04	0,000773	0,134487
1,9	7,96E-04	0,000796	0,110572

EK 12 Altıncı Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri

Zaman(s)	Senaryo Enerji (mJ)	Simülasyon Enerji (mJ)	Gürültülü(1) Enerji (mJ)
0,05	1,37E-04	0,00025921	0,000435
0,1	1,37E-04	0,00025921	0,001259
0,15	1,37E-04	0,00025921	0,001216
0,2	1,38E-04	0,00025921	0,000411
0,25	1,38E-04	0,00025921	0,000418
0,3	1,38E-04	0,00025921	0,001242
0,35	1,39E-04	0,00025921	0,000529
0,4	1,39E-04	0,00025921	0,000504
0,45	1,40E-04	0,00025921	0,000587
0,5	1,41E-04	0,00025921	0,000998
0,55	1,42E-04	0,00025921	0,000774
0,6	1,43E-04	0,00025921	0,000269
0,65	1,44E-04	0,00025921	0,000593
0,7	1,45E-04	0,00025921	0,001107
0,75	1,47E-04	0,00025921	0,000937
0,8	1,48E-04	0,00025921	0,00087
0,85	1,50E-04	0,00025921	0,000783
0,9	1,51E-04	0,00025921	0,00035
0,95	1,53E-04	0,00025921	0,00086
1	1,55E-04	0,00025921	0,000647
1,05	1,57E-04	0,00025921	0,00059
1,1	1,60E-04	0,00025921	0,000831
1,15	1,62E-04	0,00025921	0,000787
1,2	1,65E-04	0,00025921	0,000768
1,25	1,67E-04	0,00025921	0,000755
1,3	1,70E-04	0,00025921	0,000351
1,35	1,72E-04	0,00025921	0,001141
1,4	1,75E-04	0,00025921	0,000368
1,45	1,78E-04	0,00025921	0,000692
1,5	1,81E-04	0,00025921	0,000698
1,55	1,83E-04	0,00025921	0,000296
1,6	1,86E-04	0,00162008	0,002518
1,65	1,89E-04	0,00162008	0,002476
1,7	1,92E-04	0,00162008	0,001917
1,75	1,95E-04	0,00162008	0,002482
1,8	1,98E-04	0,00162008	0,00257
1,85	2,01E-04	0,00162008	0,00252
1,9	2,04E-04	0,00162008	0,001868

EK 13 Yedinci Simülasyon Sonucunda Elde Edilen Enerji Değerleri

Zaman(s)	Senaryo Enerji (mJ)	Simülasyon Enerji (mJ)	Gürültülü(1) Enerji (mJ)
0,05	1,37E-04	0,00025921	0,026228
0,1	1,37E-04	0,00025921	0,044265
0,15	1,37E-04	0,00025921	0,04019
0,2	1,38E-04	0,00025921	0,031641
0,25	1,38E-04	0,00025921	0,046839
0,3	1,38E-04	0,00025921	0,005717
0,35	1,39E-04	0,00025921	0,049307
0,4	1,39E-04	0,00025921	0,015678
0,45	1,40E-04	0,00025921	0,004856
0,5	1,41E-04	0,00025921	0,010929
0,55	1,42E-04	0,00025921	0,0326
0,6	1,43E-04	0,00025921	0,024694
0,65	1,44E-04	0,00025921	0,011919
0,7	1,45E-04	0,00025921	0,032475
0,75	1,47E-04	0,00025921	0,001982
0,8	1,48E-04	0,00025921	0,001955
0,85	1,50E-04	0,00025921	0,022469
0,9	1,51E-04	0,00025921	0,034699
0,95	1,53E-04	0,00025921	0,026444
1	1,55E-04	0,00025921	0,039126
1,05	1,57E-04	0,00025921	0,020463
1,1	1,60E-04	0,00025921	0,011195
1,15	1,62E-04	0,00025921	0,048039
1,2	1,65E-04	0,00025921	0,037066
1,25	1,67E-04	0,00025921	0,04528
1,3	1,70E-04	0,00025921	0,014329
1,35	1,72E-04	0,00025921	0,039661
1,4	1,75E-04	0,00025921	0,038871
1,45	1,78E-04	0,00025921	0,008808
1,5	1,81E-04	0,00025921	0,043173
1,55	1,83E-04	0,00025921	0,000309
1,6	1,86E-04	0,00162008	0,048388
1,65	1,89E-04	0,00162008	0,03293
1,7	1,92E-04	0,00162008	0,040525
1,75	1,95E-04	0,00162008	0,037644
1,8	1,98E-04	0,00162008	0,013094
1,85	2,01E-04	0,00162008	0,033873
1,9	2,04E-04	0,00162008	0,026734

ÖZGEÇMİŞ

Adı Soyadı : Murat ŞAHİN

Doğum Yeri : Kayseri

Doğum Tarihi : 07.06.1983

Medeni Hali : Evli

Yabancı Dili : İngilizce

Eğitim Durumu (Kurum ve Yıl)

Lise : Kayseri Sümer Süper Lisesi (1997-2001)

Lisans : Ankara Üniversitesi Mühendislik Fakültesi
Elektronik Mühendisliği Bölümü (2001-2005)

Yüksek Lisans : Ankara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü
Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı
(Eylül 2005-Ekim 2008)

Çalıştığı Kurumlar ve Yıl

Roketsan A. Ş. : 2007 – ...

Zer Elektronik ltd. Şti. : 2006 – 2007

Elyatek Elektronik ltd. Şti. : 2003 – 2005

Yayınlar

Tekin, R. ve Şahin, M. 2008. Füze Kontrol Tahrik Sistemi Yükleme Testleri İçin Test Düzeneği Geliştirilmesi. SAVTEK2008 (4. Savunma Teknolojileri Kongresi), Cilt I s.600-610, Ankara.