

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

**METAL VE PLASTİK TÜRÜ ENDÜSTRİYEL
MALZEMELERİN SICAKLIK DEĞİŞİMİYLE UZAMA
MİKTARLARININ İNTERFEROMETRİK ÖLÇÜM
METODUYLA TESPİTİ**

**V.Gökhan BÖCEKÇİ
(Teknik Öğretmen)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK –HABERLEŞME EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Prof.Dr. H.Selçuk VAROL**

İSTANBUL 2005

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

**METAL VE PLASTİK TÜRÜ ENDÜSTRİYEL
MALZEMELERİN SICAKLIK DEĞİŞİMİYLE UZAMA
MİKTARLARININ İNTERFEROMETRİK ÖLÇÜM
METODUYLA TESPİTİ**

**V.Gökhan BÖCEKÇİ
(Teknik Öğretmen)
(Enstitü No:141101020030100)**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRONİK-BİLGİSAYAR EĞİTİMİ ANABİLİM DALI
ELEKTRONİK –HABERLEŞME EĞİTİMİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
Prof.Dr. H.Selçuk VAROL**

İSTANBUL 2005

TEŐEKKÖR

Tez alıőması boyunca yardımlarını esirgemeyen, bilgi ve tecrübeleri ile yol gösteren başta tez danışmanım Prof. Dr. H. Selçuk VAROL'a, Yrd. Doç. Dr. Hayriye KORKMAZ'a, Yrd. Doç. Dr. Hakan KAPTAN'a, Arő. Gör. Oğuzhan GÖNDÖZ'e, Arő. Gör. Ömer AKGÖN'e ve Osman ÖZYETGİN'e teşekkür ederim.

İÇİNDEKİLER

	<u>Sayfa No</u>
TEŞEKKÜR.....	I
İÇİNDEKİLER.....	II
ÖZET.....	V
ABSTRACT.....	VI
YENİLİK BEYANI.....	VII
SEMBOL LİSTESİ.....	VIII
KISALTMALAR.....	IX
ŞEKİLLER LİSTESİ.....	X
TABLolar LİSTESİ.....	XIII
BÖLÜM I	
GİRİŞ VE AMAÇ.....	1
I.1. GİRİŞ.....	1
II.2. AMAÇ.....	2
BÖLÜM II	
GENEL BİLGİLER.....	3
II.1. GİRİŞ.....	3
II.2. MADDELERİN SICAKLIKLA GENLEŞMELERİNİN İNCELENMESİ.....	5
II.3. YER DEĞİŞTİRME MİKTARININ ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN ALGILAYICILAR.....	5
II.3.1. Kapasitif Yer Değişimi Algılayıcısı.....	6
II.3.1.1. Yer Değişimi Ölçüm Sistemlerinde Kullanılan Kapasitif Yer Değişimi Algılayıcılarının Üstünlükleri ve Eksiklikleri.....	7

II.3.2. Endüktif Yer Değişimi Algılayıcısı	8
II.3.2.1.Yer Değişimi Ölçüm Sistemlerinde Sıklıkla Kullanılan Endüktif Yer Değişimi Algılayıcılarından LVDT'nin Üstünlükleri ve Eksiklikleri	9
II.3.3. Potansiyometrik Yer Değişimi Algılayıcısı	10
II.3.4. Optik Yer Değişimi Algılayıcısı	11
II.4. ISIL UZAMA MİKTARININ ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR	13
II.5. OPTOELEKTRONİK ELEMANLAR	14
II.5.1. Işık Kaynakları	15
II.5.1.1.Işık Yayan Diyotlar	15
II.5.1.2.Lazerler.....	16
II.5.2. Fotoahıcılar	23
II.5.2.1.Fotodiyotlar	23
II.5.2.2.Fototransistör.....	24
II.5.3. Optik Elemanlar	25
II.5.3.1.Mercekler.....	25
II.5.3.2.Yansıtıcılar	26
II.5.3.3.Reflektörler.....	27
II.5.3.4.Prizmalar.....	27
II.5.3.5.Optik Filtreler	28
II.6. ISININ YAYILMASI	29
II.6.1. Isı Akımı	29
II.6.1.1.Isının İletkenlikle Yayılması	29
II.6.1.2.Isının Taşıma Yolu İle Yayılması	30
II.7. IŞIK	30
II.7.1. Işık Kavramı	30
II.7.2. Işığın Dalga Yapısı	31
II.7.3. Işığın Özellikleri	33
II.7.4. Elektromanyetik Dalga Tayfı ve Işığın Tayftaki Yeri	36
II.8. İNTERFEROMETRİK YER DEĞİŞİMİ ÖLÇÜM METODUNUN İNCELENMESİ	37
II.8.1. Michelson İnterferometresi	37
II.8.2. Michelson İnterferometresi Kullanılarak Işıқта Girişimin	

Oluşturulması	39
II.8.3. Michelson İnterferometresi İle Oluşturulan Girişim Deseninin	
Fiziksel Analizi	40
BÖLÜM III	
DENEYDE KULLANILAN CİHAZ, SİSTEM VE	
MALZEMELERİN TEMİNİ VE DENEY YAPIMI.....	42
III.1. GİRİŞ	42
III.2. DENEYDE KULLANILAN CİHAZ SİSTEM VE	
MALZEMELERİN TEMİNİ VE TASARIMI	43
III.2.1. Endüstriyel Fırın	43
III.2.2. Michelson İnterferometrik Sistemi	44
III.2.2.1. Michelson İnterferometrik Sisteminde Kullanılan Malzemelerin	
Seçimi ve Özellikleri.....	44
III.2.3. Elektronik Algılama Devresi	46
III.3. DENEY YAPIM AŞAMALARI	51
III.3.1. Yer Değişimi Ölçüm Sisteminin Kurulması.....	51
III.3.2. Titreşim Sorununun Giderilmesi	53
BÖLÜM IV	
SONUÇLAR.....	55
BÖLÜM V	
TARTIŞMA VE DEğERLENDİRME	60
KAYNAKLAR	62
EK 1 BPW17N Silikon NPN Fototransistör Katolog Bilgileri	64
EK 2 MM74C14 Schmitt Trigger Katolog Bilgileri	65
EK 3 MM74C926 Sayıcı Entegresi Katolog Bilgileri.....	67
EK 4 Bazı Maddelerin Doğrusal Isıl Genleşme Katsayıları Tablosu.....	70

ÖZET

METAL VE PLASTİK TÜRÜ ENDÜSTRİYEL MALZEMELERİN SICAKLIK DEĞİŞİMİ İLE UZAMA MİKTARLARININ İNTERFEROMETRİK ÖLÇÜM METODUYLA TESPİTİ

Bu tez çalışmasında, endüstriyel malzemelerin sıcaklık değişimi altında boyca uzamaları ölçülmüştür. Bu amaca yönelik bir ölçme sistemi tasarlanıp gerçekleştirilmiştir. Uzama miktarı ölçme sistemi, endüstriyel fırın, Michelson interferometresi ve elektronik saçak sayıcı devreden oluşan üç bölümden meydana gelmiştir.

Endüstriyel fırın içine yerleştirilen denek malzeme, belirli bir sıcaklığa kadar ısıtılarak boyca uzaması sağlanmaktadır. Boyca uzama Michelson interferometresi tarafından üretilen girişim desenindeki saçakların bir yönde kaymasına neden olmaktadır. Elektronik saçak sayıcı devresi bu kayan saçakları sayarak uzama miktarının belirlenmesinde kullanılmaktadır.

Bu çalışmada boyca uzamayı ölçebilmek için Michelson interferometresi ve elektronik saçak sayıcı devresi tasarlanıp gerçekleştirilmiştir.

Alüminyum ve Polyemit kullanılarak yapılan deneylerde boyca uzama miktarı ölçülmüş ve teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır. Yapılan ilk deneylerde teorik sonuçlarla deneysel sonuçlar arasındaki fark sistemde gerekli düzeltmeler yapılarak minimuma indirilmiştir.

ABSTRACT

THE THERMAL EXPANSION MEASUREMENTS OF METAL AND PLASTIC TYPE INDUSTRIAL MATERIALS USING INTERFEROMETRIC METHODS.

In this thesis, the expansion of industrial materials in length has been measured. An instrumentation set up has been designed and built for this purpose. The expansion measurement set up is composed of three main units, which are an oven, Michelson interferometer and electronic fringe counter.

The material under investigation is placed in an oven and heated up to a certain temperature to expand in length. The expansion in length causes the fringes produced by the Michelson interferometer to flow in one direction. The electronic counter, counts the flowing fringes and determines the length increment.

In this study the Michelson interferometer and electronic fringe counter were realized. For Aluminium and polyamid materials the expansion were measured with our system and compared with the theoretical results. The difference between the experimental and theoretical results has been minimized making some necessary changes in the system.

July, 2005

V.Gökhan BÖCEKÇİ

YENİLİK BEYANI

Bu tez çalışmasında endüstriyel malzemelerin sıcaklığa bağlı olarak boyca uzamaları ölçülmüştür. Gerçekleştirilen sistem Marmara Üniversitesi Teknik eğitim Fakültesi Laboratuvarlarında tasarlanmış ve yapılmıştır.

Ölçüm sisteminin bir bölümü olan Michelson interferometresinin oluşturduğu girişim desenindeki saçakların analizi ile sıcaklığa bağlı uzama miktarı tespit edilebilmektedir.

Bu çalışmada ölçme yöntemine getirilen yenilik Michelson interferometresinin sisteme uygun olarak tasarlanıp gerçekleştirilmesidir. Bir diğer farklı yaklaşım ise; elektronik bir saçak sayıcı devresi kullanılmasıdır. Elektronik saçak sayıcı devresi bu çalışma için tasarlanmıştır. Elektronik devre oluşan girişim desenindeki saçakları sayarak, uzama miktarının tespit edilmesinde kullanılmaktadır.

Ayrıca literatürde interferometrik ölçüm metodunun uygulandığı ölçüm sistemlerinde ışık kaynağı olarak He-Ne gaz lazeri kullanılmaktadır. Bu çalışmada ise yarıiletken bir lazer kullanılmıştır.

Temmuz, 2005

Prof. Dr. H. Selçuk VAROL

V.Gökhan BÖCEKÇİ

SEMBOL LİSTESİ

c	: Işık Hızı
f	: Frekans
F_0	: Optik prizmaya giren ışın
F_1	: Optik prizmada ikiye ayrılan ışının 1. kolu
F_2	: Optik prizmada ikiye ayrılan ışının 2. kolu
h	: Plank sabiti
k	: Dalga sayısı
l_1	: Hareketli aynanın ışın bölücüye uzaklığı
l_2	: Sabit aynanın ışın bölücüye uzaklığı
L_1	: Cismin ilk boyu
L_2	: Cismin sıcaklık artışı oranında ulaştığı boyu
L_c	: Ahenk mesafesi
n	: Ortamın kırma indisi
t_c	: Ahenk zamanı
v	: Işığın ortamdaki hızı
V_{ref}	: Primerdeki AC uyartım gerilimi
w	: Açısal hız
α	: Isıl uzama katsayısı
λ	: Işığın ortamdaki dalga boyu
λ_0	: Işığın boşluktaki dalga boyu
ϵ	: Dielektrik sabiti
ϵ_0	: Boşluğun dielektrik sabiti
ϵ_r	: Ortamın dielektrik sabiti
μ_r	: Ortamın manyetik geçirgenliği
ΔL	: Yer değiştirme miktarı
Δt	: Sıcaklık farkı
\vec{E}	: Elektrik alan vektörü
\vec{H}	: Manyetik alan vektörü

KISALTMALAR LİSTESİ

AC	: Alternative Current
ADC	: Analog Digital Converter
DC	: Direct Current
LDR	: Light Dependent Resistor
LED	: Light Emitting Diode
LVDT	: Linearly Variable Differential Transformer
PID	: Proportional Integral Derivative
PMIC	: Precision Measurements and Instrument Corp

ŞEKİLLER LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Şekil-II.1. Gerçekleştirilen Uzama Miktarı Ölçüm Sistemi	4
Şekil-II.2. Koruyucu Halkalı Kapasitif Proben Kesit Görünüşü.....	6
Şekil-II.3. Endüktif Algılayıcının Devre Diyagramı	8
Şekil-II.4. Yer Değişimi Algılayıcısı Olarak Potansiyometre.....	10
Şekil-II.5. Optik Pozisyon Yer Değişim Algılayıcısı.....	11
Şekil-II.6. Lazer İnterferometrik Yer Değişimi Algılayıcısı Prensi Şeması	12
Şekil-II.7. PMIC Michelson İnterferometre	13
Şekil II.8. LED'lerin P-N Yapısı.....	15
Şekil-II.9. LED Işığının Ortama Yayılma Diyagramı	16
Şekil-II.10. GaAs Tek Eklemlili Yarıiletken Diyot Lazerin Şematik Gösterimi	17
Şekil-II.11. Tipik Bir Güçlü He-Ne Lazer Şeması	18
Şekil-II.12. Ahengin Gösterilmesi (a) Mükemmel Ahenkli Bir Demet, (b) Uzaysal Ahenge Sahip Fakat Nispi Zamansal Ahenk Gösteren Bir Demet, (c) Hemen Hemen Hiç Ahenkli Olmayan Bir Demet	20
Şekil-II.13. L_c Boylu İki özdeş Dalganın Oluşturduğu Girişim	21
Şekil-II.14. Çığ Fotodiyotun Yapısı	23
Şekil-II.15. Schottky Fotodiyotu	24
Şekil-II.16. Fototransistör Terminalleri.....	24
Şekil-II.17. Optik Eksen Doğrultusunda İlerleyen Bir Düzlem Dalganın (a) Yakınsak Mercekten, (b) İraksak Mercekten Geçişİ	26
Şekil-II.18. Tam Yansıtıcı	26
Şekil II.19. Yarı Yansıtıcı.....	27
Şekil-II.20. Işık Toplayıcı Reflektörler	27
Şekil-II.21. Optik Prizma	28
Şekil-II.22. Bir Işık Fotonu	30
Şekil-II.23. Elektromanyetik Yayılım	31
Şekil-II.24. Elektrik Alan Yayılımı	32

Şekil II.25. Genlik ve Dalga Boyu	3
Şekil-II.26. Yansıma Olayı.....	33
Şekil-II.27. Kırılma Olayı	34
Şekil-II.28. Işıktaki Girişim Deseni.....	34
Şekil-II.29. Selenyum Kristalinin İletkenliğinin Işık Şiddeti İle Artması.....	35
Şekil II.30. Elektromanyetik Dalga Tayfı	36
Şekil-II.31. Michelson İnterferometresi Prensipli Şeması.....	37
Şekil-II.32. Michelson İnterferometresi İle Oluşturulan Işıktaki Girişim Deseni....	38
Şekil-II.33. Michelson İnterferometresi, (a) Girişimin Gözlenmesi, (b) Gözlenen Girişim Deseni	39
Şekil-II.34. Michelson İnterferometresinin Işın Yolu Gösterimi	41
Şekil-II.35. Dairesel Girişim Paterninin Oluşumu	41
Şekil-III.1. PID Kontrol Üniteli Endüstriyel Fırın	43
Şekil-III.2. Yarı İletken Lazer	44
Şekil-III.3. Işın Bölücü.....	45
Şekil-III.4. Ayarlanabilir Referans Ayna	45
Şekil-III.5. Mercek Grubu.....	46
Şekil-III.6. Mercek Grubu Tarafından Büyütülen Girişim Deseni	47
Şekil-III.7. Elektronik Sayıcı Devresi Birinci Bölümü (a) Algılama, Yükseltme ve Schmitt Tetikleme Katı Devre Şeması, (b) Malzeme Yerleşim Planı, (c) Baskılı Devre Çizimi	48
Şekil-III.8. Elektronik Sayıcı Devresi İkinci Bölümü (a) Sayıcı ve Display Katı Devre Şeması, (b) Malzeme Yerleşim Planı, (c) Baskılı Devre Alt Yol Çizimi ve (d) Baskılı Devre Üst Yol Çizimi	49
Şekil-III.9. Denek Metalin Seramik Muhafaza İle Birlikte Fırın İçine Yerleştirilmesi	52
Şekil-III.10. Ölçüm Sistemine Uygun Olarak Tasarlanan Michelson İnterferometrik Sistemi	52
Şekil-III.11. Girişim Deseni	53
Şekil-III.12. Denek Malzemelerin Sıcaklığa Bağlı Boyca Uzamalarını Ölçme Sistemi	54
Şekil-IV.1. Sıcaklık Düzeltmesi Yapılmadan Önceki 180-200°C Aralığında Teorik Verilerle Karşılaştırılmış Alüminyum Denek Sıcaklık Uzama Eğrisi.....	56

Şekil-IV.2. Sıcaklık Düzeltmesi Yapılmadan Önceki 140-160°C Aralığında Teorik Verilerle Karşılaştırılmış Alüminyum Denek Sıcaklık Uzama Eğrisi.....	56
Şekil-IV.3. Metal Yüzeyinden Alınan Sıcaklık Bilgisi İle 54-70°C Aralığında Teorik Verilerle Karşılaştırılmış Alüminyum Denek Sıcaklık Uzama Eğrisi	57
Şekil-IV.4. Metal Yüzeyinden Alınan Sıcaklık Bilgisi İle 92-113°C Aralığında Teorik Verilerle Karşılaştırılmış Alüminyum Denek Sıcaklık Uzama Eğrisi.....	58
Şekil-IV.5. Polyemit Yüzeyinden Alınan Sıcaklık Bilgisi İle 65-80°C Aralığında Teorik Verilerle Karşılaştırılmış Polyemit Denek Sıcaklık Uzama Eğrisi.....	58

TABLolar LİSTESİ

	<u>Sayfa No</u>
Tablo-II.1. Tipik Lazer Demeti Dağılma Açıları	19
Tablo-II.2. Bazı Çok Kullanılan Lazerlerin Ahenk Mesafeleri	22
Tablo-II.3. Yansıtıcı Filtre Tasarımında Kullanılan Metallerle Elde Edilen Dalga Boyları	28
Tablo-II.4. Bazı Maddelerin Isı İletkenlik Katsayıları.....	30
Tablo-EK.4. Bazı Maddelerin Doğrusal Isıl Genleşme Katsayıları.....	70

BÖLÜM I

GİRİŞ ve AMAÇ

I.1 GİRİŞ

Sıcaklık değişmelerine karşılık metal ve plastik türü maddeler fiziksel yapılarında genleşme ve büzülme gibi değişmeler göstermektedir. Genleşme ve büzülme her maddede farklı miktarlarda gerçekleşmektedir. Bunu belirleyen temel etmen her maddenin kendine özgü olan ısıl uzama katsayısıdır. Maddenin ısıl uzama katsayısının bilinmesi ile belirli bir sıcaklık değişimine karşılık genleşme veya büzülme miktarı hesap yolu ile bulunabilir. Ayrıca maddelerin genleşme ve büzülme miktarları deneysel yollarla da tespit edilebilir.

Maddelerin sıcaklık değişimi ile genleşmeleri ve büzölmeleri çeşitli yöntemlerle tespit edilebilmektedir. Kullanılan kimi ölçüm yöntemleri metotları gereği sistemi etkileyebilmekte veya sistemden etkilenebilmektedir. Bu şekilde sistemle etkileşim ölçüm sonuçlarını olumsuz şekilde etkileyebilmektedir.

Günümüzde optoelektronik teknolojisinin gelişmesi ile birlikte optoelektronik sistemler haberleşme teknolojisinde, alarm sistemlerinde, ölçüm sistemlerinde uygulama alanı bulmaktadır. Optoelektronik sistemler ışığın yapısına uygun olarak tasarlanan optik elemanların elektronik teknolojisi ile entegrasyonu sonucu gerçekleştirilirler. Işğın girişim özelliği kullanılarak yapılan optoelektronik sistem interferomere olarak isimlendirilir. İnterferometrik bir sistem ile yer değişimi tespiti yapılabilir. İnterferometrik ölçüm metodunun kullanılmasıyla sisteme etki en az düzeyde gerçekleşmektedir. Ayrıca sistemde lazer ışını kullanıldığından ölçüm hassasiyeti lazer ışınının dalga boyuyla orantılıdır. Dolayısıyla gerçekleştirilen ölçümlerde denek malzemedeki birkaç yüz nanometrelik uzamalar ölçülebilmektedir.

I.2 AMAÇ

Yapılan bu çalışmada amaç, interferometrik bir yer değişim ölçüm sistemi tasarlamak, gerçekleştirmek ve metal ve plastik türü deneklerin sıcaklık değişimi ile genleşmeye bağlı olarak boyca uzamalarını sisteme uygun olarak tasarlanan Michelson interferometresini kullanarak elektronik bir devre ile ölçmektir. Bu sayede yüksek hassasiyetli ölçüm değerleri almak mümkün olacaktır.

Bölüm II'de yer değişimi ile ilgili yöntemler tanıtılmış bu konu ile ilgili yapılmış önceki çalışmalara incelenmiştir. Ayrıca optoelektronik bir ölçüm sisteminde kullanılan ışın vericiler, foto alıcılar, optik düzenekler tanıtılmıştır.

Bölüm III'de sistemin tasarım evrelerine yer verilmiş, kullanılacak eleman seçiminde göz önünde bulundurulan hususlara değinilmiş, deney yapım aşamaları ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Bölüm IV'de gerçekleştirilen sistem ile yapılan yer değişimi ölçme deneylerinden alınan sonuçlar sunulmuş. Teorik veriler ile karşılaştırılması yapılmış ve sonuçlar yorumlanmıştır.

Bölüm V'te tez çalışmasının değerlendirilmesi yapılmış, karşılaşılan sorunların giderilme yöntemlerine değinilmiş ve ölçüm sisteminin geliştirilmesine yönelik önerilerde bulunulmuştur.

BÖLÜM II

GENEL BİLGİLER

II.1 GİRİŞ

Yarıiletken lazer teknolojisi ve optoelektronik aygıtlar kullanılarak gerçekleştirilen bu ölçüm sistemi sıcaklık kontrollü endüstriyel fırın, Michelson interferometresi ve elektronik sayıcı bölümlerinden oluşmuştur. Gerçekleştirilen bu sistem, maddelerde sıcaklığa bağlı genleşme sonucu oluşan yer değişimini tespit etmek için tasarlanmıştır.

Deney süresince kullanılmak üzere temin edilen endüstriyel fırın üzerinde bulunan PID ünitesini ayarlamak suretiyle istenilen sıcaklık değerlerine çıkarılabilmektedir. Böylelikle denek metallerin sıcaklık etkisi altında genişerek uzamalarını sağlayacak ortam oluşturulmuştur. Ölçüm sisteminin ikinci bölümü olan Michelson interferometresi deney düzeneğinin yapısına uygun olarak tasarlanmış ve sisteme dahil edilmiştir. Michelson interferometresi tarafından oluşturulan ve denek metalin sıcaklık etkisi ile uzaması sonucu yapısı değişen girişim desenini analiz etmek üzere sistemin üçüncü bölümü olan elektronik sayıcı devre tasarlanmıştır. Böylelikle sıcaklık ile metallerin yer değişimini interferometrik yolla tespit etmek üzere kullanılacak ölçüm sistemi gerçekleştirilmiştir. Sıcaklık değişimi ile metal ve plastik türü malzemelerin genleşmesi bağlı boyca uzamalarını ölçen sistem Şekil II.1'de görülmektedir.



Şekil-II.1 Gerçekleştirilen uzama miktarı ölçüm sistemi

II.2 MADDELERİN SICAKLIKLA GENLEŞMELERİNİN İNCELENMESİ

Sıcaklık değişimi altında maddeler yapılarındaki moleküllerin titreşiminin bir sonucu olarak genişir veya büzülürler. Sabit bir sıcaklık değişimine karşılık her maddenin genişme ve büzülme miktarları farklıdır. Her maddenin kendine has bir ısı uzama katsayısı(α) vardır.

Maddenin ısı uzama katsayısının bilinmesi ile belirli bir sıcaklık değişimine karşılık genişme veya büzülme miktarı hesap yolu ile tespit edilebilir. Genleşme veya büzülme miktarını tespit etmek için

$$L_2 = L_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad (II.1)$$

II.1 denklemini kullanılabilir. Burada L_2 , kullanılan denek malzemenin son boyu; L_1 , kullanılan denek malzemenin ilk boyu; α , ısı uzama katsayısı; T_2 son sıcaklık; T_1 ise başlangıç sıcaklığıdır. Başka bir ifade ile T_1 sıcaklığındaki cismin boyu L_1 ise T_2 sıcaklığına ulaşıldığında cismin boyu L_2 olacaktır. II.1 Denklemini sıcaklık değişimi ile birlikte uzama miktarı farkını tespit etmek için düzenleyecek olursak;

$$L_2 = L_1[1 + \alpha(T_2 - T_1)] \quad (II.2)$$

$$L_2 - L_1 = L_1\alpha(T_2 - T_1) \quad (II.3)$$

$$L_2 - L_1 = \Delta L \quad (II.4)$$

$$T_2 - T_1 = \Delta t \quad (II.5)$$

$\Delta L, \Delta t$ 'yi II.4 ve II.5 eşitliklerinde gösterildiği gibi tanımlarsak;

$$\Delta L = L_1\alpha\Delta t \quad (II.6)$$

şeklini alacaktır. II.6 Denkleminde L_1 başlangıç boyundaki bir cismin sıcaklığını Δt oranında değiştirecek olursak maddenin ısı genişme katsayısına bağlı olarak boyu ΔL kadar değişim gösterir denilebilir.

II.3 YER DEĞİŞTİRME MİKTARININ ÖLÇÜMÜNDE KULLANILAN ALGILAYICILAR

Algılayıcı (sensor), sıcaklık, basınç, veya ses gibi fiziksel bir büyüklüğü ölçen ve elektriksel işarete çeviren elektronik bir elemandır[1].

Algılanacak fiziksel büyüklük ile algılayıcı arasındaki konum ilişkisinden ötürü temaslı (contact) ve temassız (non-contact) yer değiştirme algılayıcıları olmak üzere bir sınıflandırma yapılmaktadır. Yer değişimi ölçüm sistemlerinde de verileri elektriksel olarak elde edebilmek amacıyla çeşitli algılayıcılar kullanılmaktadır.

Kullanılan ölçüm yöntemine göre kapasitif, potansiyometrik, endüktif, optik ölçme prensiplerine dayalı çeşitli algılayıcılar geliştirilmiştir[2].

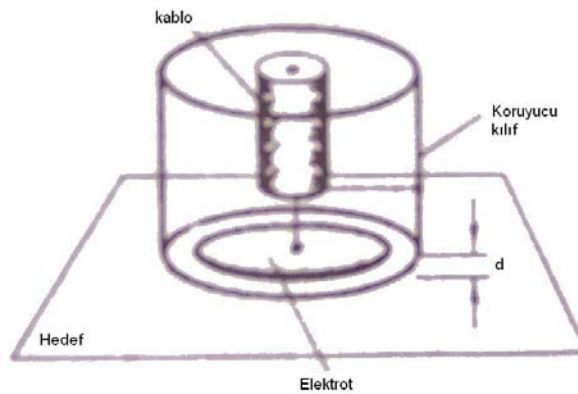
II.3.1. Kapasitif Yerdeğişimi Algılayıcısı

Kapasitif algılayıcılar doğrusal ve açısal yer değişimlerinin ölçümünde kullanım alanı bulmaktadırlar. Çok hassastırlar. $0.1 \times 10^{-6} mm$ gibi molekül boyutlarındaki yer değişimlerini ölçmek amacı ile kullanılmaktadırlar[1]. Kapasitif yer değişimi algılayıcıları temassız yer değişimi algılayıcıları sınıfına girmektedir. Bu tür algılayıcılar ile mesafe, boyut, uzunluk ve pozisyon ölçümleri yapılabilmektedir[3].

Kapasitif algılayıcıların çalışma prensibi kapasitenin (kapasitör levhaları arasındaki uzaklık) veya iletken veya dielektrik malzemelerin varlığındaki kapasitans değişimine bağlıdır. II.7 eşitliği ile düz levhali bir kapasitörün kapasitesi değeri tanımlanabilir.

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (II.7)$$

Burada ϵ_0 havanın dielektrik sabiti; ϵ_r bağıl dielektrik sabiti; d , metre olarak levhalar arası uzaklık; A , m^2 olarak levhanın alanıdır.



Şekil-II.2 Koruyucu halkalı kapasitif probun kesit görünüşü

Şekil-II.2’de kapasitif algılayıcının prensip oluşumu görülmektedir. Kapasitörün levhalarından birisi koaksiyel levhanın orta ucuna bağlanmış ve diğer levha hedef ile belirlenmiştir.

II.3.1.1. Yer Değişimi Ölçüm Sistemlerinde Kullanılan Kapasitif Yer Değişimi Algılayıcılarının Üstünlükleri ve Eksiklikleri

Kapasitif Algılayıcıların Üstünlükleri

- Çalışması için çok küçük bir kuvvete veya güce gerek vardır. Küçük boyutlu yapılabilir ve küçük boyutlu sistemlerde kullanılabilir.
- Duyarlılıkları çok yüksektir.
- Frekans cevapları iyidir. 50 KHz’e kadar çalışabilirler. Dinamik çalışmalarda çok verimli sonuçlar verirler.
- Giriş dirençleri büyüktür. Yükleme etkileri minimumdur.
- 2.5×10^{-3} mm seviyesinde bir çözünürlük elde edilebilir.
- Endüktif algılayıcıların çalışmadığı kaçak magnetik alanların kuvvetli olduğu ortamlarda bu tür algılayıcılar etkilenmeden çalışabilirler[1] .

Kapasitif Algılayıcıların Eksiklikleri

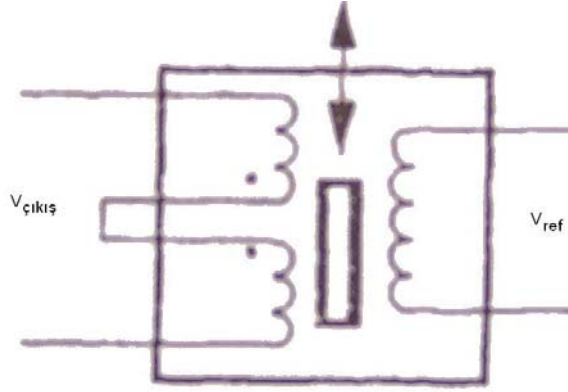
- Kaçak kapasite etkisinden kurtulmak için kapasitif algılayıcının metal kısımları birbirinden izole edilmelidir. Kapasitif metal kılıfı topraklanmalıdır.
- Kapasitif algılayıcı sınır etkilerinden dolayı lineersizlik gösterir. Bunu önlemek amacı ile özellikle pF seviyesinde küçük değerli kapasitelerde koruyucu halka kullanılır.
- Çıkış empedansı kapasite değerine ve frekansa bağlıdır. Küçük kapasite değerlerinde (10-500pF) frekansa bağlı olarak $1k\Omega$ ile $10M\Omega$ arasında bir çıkış direnci söz konusudur. Böyle büyük değerli bir direnci korumak gerekir. Aksi halde duyarlılık azalır. Çıkış direncinin küçülmesinde toz ve rutubetin etkisi çoktur.
- Kapasite bağlanan kablolar da bir hata kaynağıdır. Alçak frekanslarda etkili olur.
- Kapasitif algılayıcılar sıcaklığa karşı çok hassastır.
- Bu tür algılayıcılar için gerekli olan enstrümantasyon komplekstir[1] .

Micro-epsilon firmasınınca üretilen capaNCDT serisi kapasitif algılayıcılar ile elektriksel iletken hedefler, (metal gibi) elektroniksel lineerleştirici devreleri olmaksızın oldukça lineer ölçümler alabilmektedirler. Bu tip algılayıcıların oldukça

yüksek kararlılık ve sağlamlıkları olmasına karşın temiz çevre koşullarında kullanılmaları gerekmektedir. ölçülecek yüzeyle kapasitif algılayıcı arasında bulunan kir,su,toz ve yalıtkan partiküller algılayıcının çıkışında elde edilen elektriksel sinyali olumsuz yönde etkilemektedirler[3].

II.3.2. Endüktif Yerdeğişimi Algılayıcısı

Pozisyon ve yer değişimi elektromanyetik metotlarla algılanabilir. İki sargı arasındaki manyetik akı kuplajı bir cismin hareketi ile değiştirilebilir ve takibinde gerilime dönüştürülür. Çoklu endüktanslı bir dönüştürücünün temel düzenlemesi primer ve seconder olarak iki sargıdan oluşur. Primerdeki AC uyartım gerilimi (V_{ref}) seconder sargıda kararlı bir AC gerilim endüklener.(Şekil II.3) Endüklenen gerilimin genliği sargılar arasındaki akı kuplajına bağlıdır[4].



Şekil-II.3 Endüktif algılayıcının devre diyagramı

Kublajı değiştirmenin bir yolu, akı yolu içerisinde ferromanyetik malzemeden yapılmış cismin hareketidir. Bu teknik LVDT (doğrusal değişken fark transformatörü) algılayıcısının çalışmasının temelidir. LVDT mekanik olarak hareketlendirilmiş nüvesi ile bir transformatördür. Primer sargısına kararlı genlikte bir sinüzoidal dalga uygulanır. Sekonder sargılarında bir AC sinyali endüklenir. Ferromanyetik malzemeden yapılmış bir nüve sargılara fiziksel olarak dokunmaksızın sargıların içindeki silindirik bölgeye yerleştirilir. Nüvenin hareketsiz pozisyonunda çıkış gerilimi yoktur. Nüvenin manyetik merkez pozisyonundan uzaklaştırılmasıyla sekonder sargıları arasındaki endüklenen manyetik akı oranının dengesi bozulur ve bir çıkış gerilimi meydana gelir. Sonuçta gerilim yer değişiminin bir ölçüsü olarak kullanılır[4].

II.3.2.1. Yer Değişimi Ölçüm Sistemlerinde Sıklıkla Kullanılan Endüktif Yer Değişimi Algılayıcılarından LVDT'nin Üstünlükleri ve Eksiklikleri

LVDT'lerin üstünlükleri

- LVDT'ler ile 0.003mm'den 50cm'ye kadar çok geniş bir ölçme aralığında ölçme yapmak mümkündür. 1.25mm ile 250mm aralığındaki ölçmelerde tam sapmanın %2.5'u kadar bir lineerlik elde edilebilir. 5mm'ye kadar lineer bir değişim elde edilir. Bu sınırlar dışında lineerlikten sapma olur.
- LVDT'lerin bazı özellikleri diğer algılayıcılarda bulunmaz. LVDT temassız bir göbek üzerine sarılmış bir transformatördür. Göbeğin sürtünmesiz hareket ettiği söylenebilir. Burada göbeğin veya bobinin aşınması veya yıpranması söz konusu değildir. LVDT'nin mekanik olarak sonsuz bir ömre sahip olduğu söylenebilir. Bu özelliğinden dolayı bazı yapı ve malzemelerin tekrarlanma ömür testinde kullanılmalarına imkan verir. Sürtünmesiz ve manyetik endüksiyon prensibine göre çalışması, çok küçük yer değişmelerine karşı dahi bir çıkış vermesini sağlar. Buda çözünürlüğünün çok yüksek olduğunu gösterir.
- Göbek ile bobin içi arasındaki boşluk bir manyetik olmayan malzeme ile sızdırmaz bir şekilde doldurularak göbeğin yüzer duruma getirilmesini sağlar. LVDT bir transformatör olduğu için primer ve sekonderi izolasyonludur. Ayrıca bir izolasyon amplifikatörüne gerek yoktur. Kaynak toprağı ile sistem toprağı birbirinden ayrılabilir.
- LVDT büyük bir çıkış verebilir. Bundan dolayı işaretin ayrıca kuvvetlendirilmesine gerek yoktur.
- LVDT çok küçük boyutlu da yapılabilir. Ağırlığı azdır. Aşırı titreşimlerden kolay kolay bozulmaz. Ayarlaması ve bakımı kolay bir ekipmandır.
- LVDT'nin histeresis'i çok azdır. Tekrarlı ölçmelerde çok iyi sonuçlar vermektedir.
- LVDT'nin güç kaybı 1W'tan daha küçüktür[1].

LVDT'lerin eksiklikleri

- Kaçak magnetik alandan etkilenir. Ancak ekranlama yapılabilir.
- Dış titreşimlerden etkilenebilir.

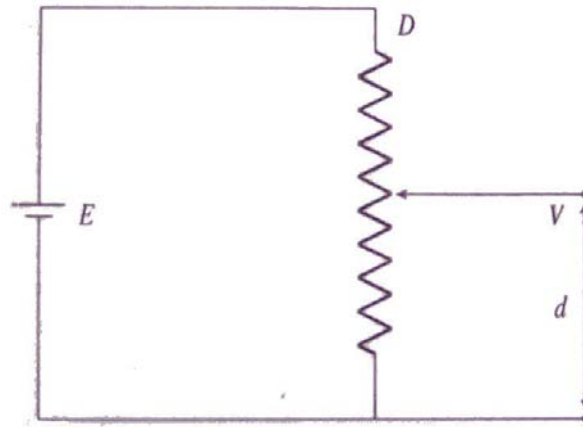
- LVDT AC işaret ile çalışır. DC çıkış için bir demodülatör devresi gerekir.
- Dinamik cevap, göbeğin kütlesine ve uyarı işaretinin frekansına bağlıdır. Taşıyıcı frekansın değeri ölçülen işaret frekansının en az 10 katı olmalıdır.
- Sıcaklık LVDT'nin performansına etki eder. Sıcaklık etkisini azaltmak amacı ile bakır tel yerine manganin tel kullanılır. Ancak manganinin direnci yüksek olduğu için hassasiyet azalır. Duyarlılık bakır tele göre 1/5 oranında azalır. Sıcaklık, faz kayması da oluşturur. Bunu önlemek amacı ile sekonder bobinlerinden birine paralel bir kapasite bağlanır[1].

II.3.3. Potansiyometrik Yer Değişimi Algılayıcısı

Bu tür algılayıcıların çalışma prensibi direnç değişimine dayanır. Direnç değişimi ise iletkenin doğrusal uzunluğu ile orantılıdır. Böylece iletkenin uzunluğunu kontrol edecek bir aparat ile potansiyometrede olduğu gibi yer değişiminin ölçümü yapılmış olur. Şekil II.4'de görüldüğü gibi potansiyometrenin hareketli kısmına bağlanan uyarıcı direnç değişimine neden olur. Pratik uygulamalarda çoğunlukla direnç ölçümü yerine gerilim ölçümü kullanılır. Doğrusal potansiyometrenin hareketli kısmındaki V gerilimi d yer değişimi ile II.8 eşitliğinde görüldüğü gibi orantılıdır.

$$V = E \frac{d}{D} \quad (II.8)$$

Burada D tam skala yer değişimi, E potansiyometre uçlarındaki gerilimdir[4].



Şekil-II.4 Yer değişimi algılayıcısı olarak potansiyometre

Micro-epsilon firmasının üretmiş olduğu potansiyometrik algılayıcıda oldukça pürüzsüz çelik tel üzerinde uzun ömürlü motor tarafından hareket ettirilen mil ile

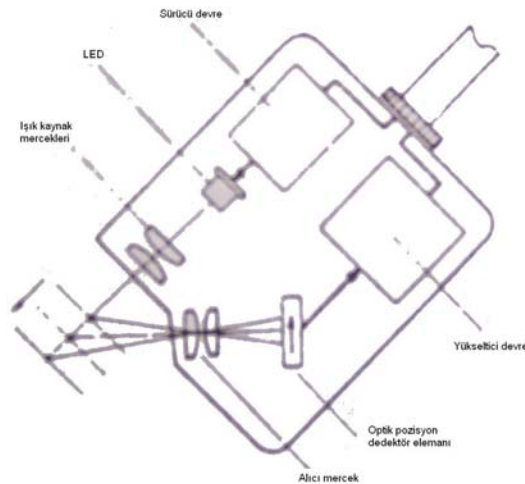
mesafeye bağılı direnç değişimi oluşturulmakta ve değişim elektroniksel olarak tespit edilmektedir[3].

Potansiyometrik yer değişimi olme yonteminin kusurlu yanları mekanik güç gereksinimi, dşuk hız, cisim ile fiziksel bağlantı gerekliliğidir[4].

II.3.4. Optik Yerdeğişimi Algılayıcısı

Son yıllarda geliştirilen lazer teknolojisi ile birlikte optik yer değişimi algılayıcıları sağladığı kimi olanakları ile öne çıkmaktadır. nemli avantajları arasında hassasiyetleri, yükleme etkilerinin olmaması, kaçak manyetik akılara ve elektrostatik parazitlere karşı duyarsız olmaları ve hassasiyetleri sayılabilir. Bir optik yer değişimi algılayıcısının önemli üç elemanı vardır. Bir ışık kaynağı, bir foto dedektör ve mercek, fiber optik ve ayna gibi ışık yönlendirme aygıtları.[4]

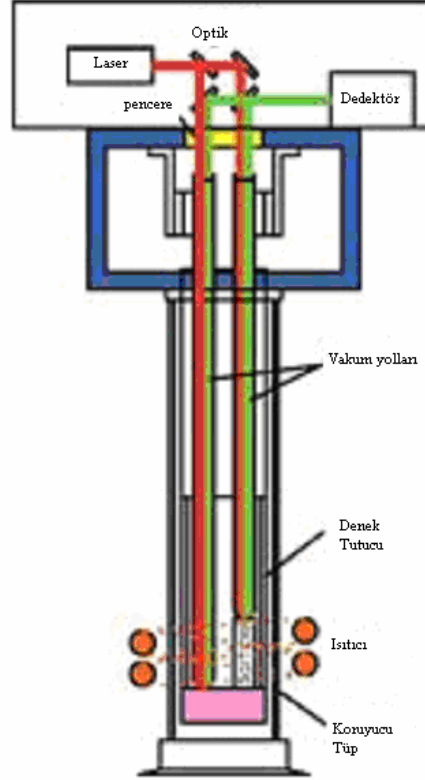
Omron Asia Pacific firması tarafından üretilen Z300 serisi lazer yer değişimi algılayıcıları yüksek hızlı,yüksek znrlkl ve uzun mesafeli ölümler yapabilmektedir[5]. Şekil II.5’de lazer yer değişirme algılayıcısının prensip Şeması görülmektedir. Bu sistemde lazer ışını hedefe yönlendirilir ve yansıma ışın pozisyon detektörü tarafından algılanır ve hedefin mesafesi tespit edilir. Omron Asia Pacific firmasının Z300-S60 model lazer yer değişimi algılayıcısı ile $600 \pm 350mm$ ve Z300 yüksek duyarlılıklı modeli ile $20 \pm 1mm$ ’lik ölümler alınabilmektedir[5].



Şekil-II.5 Optik pozisyon yer değişim algılayıcısı[5]

Lazer’in interferometrik bir ölüm dzenesinde kullanılması sonucu yer değişimi ölüm sistemi yapılabilir.

Linseis firmasınınca bu metot kullanılarak üretilen optik yerdeğişimi algılayıcısı lazer dilatometre olarak tanımlanmaktadır[6]. Prensip şeması Şekil II.6'da görülen sistem lazer ışınının aynalar vasıtası ile ölçüm alınacak yüzeye yönlendirilmesi ve yüzeyden geri alınan lazer ışınının işlenmesi ile gerçekleştirilmektedir.



Şekil-II.6 Lazer interferometrik yer değışimi algılayıcısı prensip şeması[6]

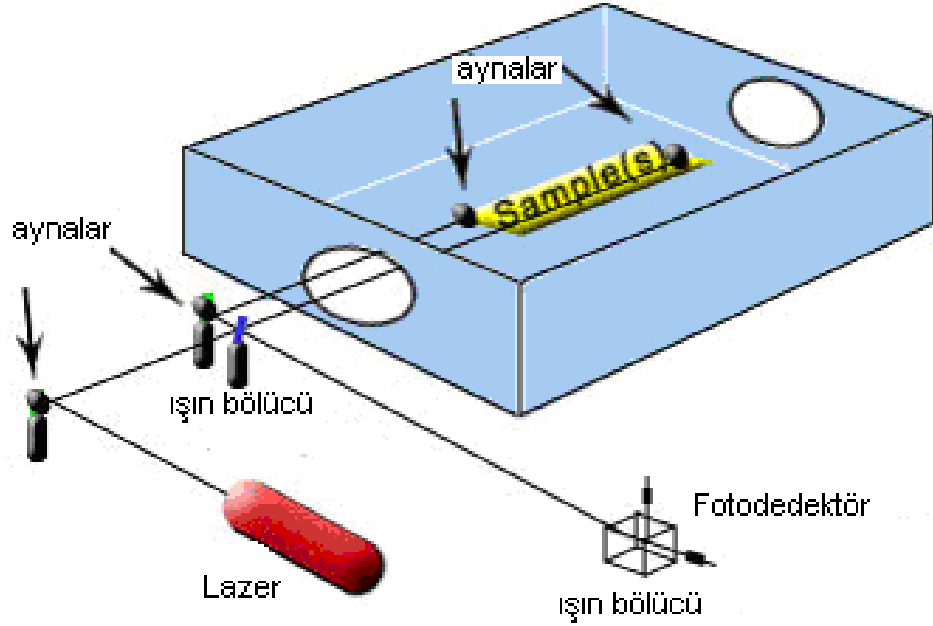
II.4 METALLERDE ISIL UZAMA MİKTARININ ÖLÇÜMÜNE YÖNELİK GEÇMİŞ ÇALIŞMALAR

Isıl uzama ölçümlerinde kullanılan yöntemler dilatometrik ve interferometrik olmak üzere iki ana başlık altında toplanmaktadır. Dilatometre, belli bir sıcaklık kontrolü altında oluşan sıcaklık değışikliklerine karşılık (düşüş veya artış) deneklerde oluşan boyca değışimin bir itme çubuğu kullanılarak LVDT'ye iletilmesi esasına dayalı oluşturulan bir düzenektir. İnterferometre ise bir He-Ne lazer kaynağından gönderilen ışık ile denek üzerine tutturulmuş düz aynadan geri yansıyan ışığın karşılaştırılması sonucu oluşan girişim görüntüsü üzerindeki saçakların analiz edilmesine dayalı ölçme düzeneğidir[2].

ANTER[7] firmasının üretmiş olduğu 1161 Model nolu dilatometre de LVDT kullanılarak deneklerin boyutsal değışimleri ölçülmektedir. Bu cihaz ile oda

sıcaklığından itibaren 1500-1680°C'ye kadar hava,vakum veya tepkimeye girmeyen gaz ortamında ısı uzama ölçümleri gerçekleştirilmektedir.

PMIC laboratuvarında üretilen ASTM E289 kodlu interferometrik ölçüm yöntemine dayalı sistem Şekil II.7'da görülmektedir. Bu sistem ile He-Ne lazer kullanılarak vakum ortamında 10^{-9} m'lik çözünürlükle ölçümler alınabilmektedir[8].



Şekil-II.7 PMIC Michelson interferometre[8]

LINSEIS[6] firmasının ürettiği L75H,L75V ve L75Q tipi dilatometrelerde de LVDT kullanılarak ölçüm yapılmaktadır. Yatay ve dikey konumlu üretilen bu cihazlarda LVDT'lerin otomatik sıfır ayarı bulunmaktadır. Vakum ortamında yapılan deneyler bilgisayar kontrollü olarak gerçekleştirilmekte ve oda sıcaklığından 2400°C'ye kadar olan sıcaklıklarda ölçüm yapılmaktadır.

Yine LINSEIS[6] firması tarafından üretilen L75 kodlu lazer dilatometrede 632.8 nanometre dalga boylu lazer kullanılmakta vakum ortamında oda sıcaklığından 2400°C'ye kadar ölçüm yapılmaktadır.

Masuda[9] He-Ne lazer kullanarak farksal lazer interferometre sistemi gerçekleştirmiş ve Corundum'un (Al_2O_3) ısı genleşmesini 1000K sıcaklığına kadar ölçmüştür.

Suska[10] lazer interferometrik ölçüm yöntemini kullanarak 100-1300 mm boyuna ve 60×40 mm² çapına sahip çubuk şeklindeki malzemelerin 10-40°C arasında lineer ısı uzama katsayılarını ölçmüştür.

Zagar[11] lazer interferometre kullanarak bakır deneğin 4 farklı sıcaklıkta (a=21.3°C, b=25.7°C, c=31.6°C ve d=40.7°C) genişleme miktarlarını ayrı ayrı ölçtüktan sonra, sistemin doğrusallığını $\Delta ab + \Delta bc + \Delta cd = \Delta ad$ eşitliğinden faydalanarak test etmiştir. Parçalı ölçümlerin toplam değeri 52,14 nm iken; toplam ölçüm ise 52.08 nm olarak belirlenmiştir.

Demarest[12], Lazer ölçme sistemlerinde yüksek çözünürlük, yüksek hız ve ölçmedeki belirsizlik miktarını azaltabilmek için, bir elektronik interferometrik ölçme sistemi tanımlamıştır. Çalışmada lazer algılayıcı kullanılarak yer değiştirme ölçümünde performansın, interferometrik ölçme sisteminin yapısı ile ilişkisi değerlendirilmiştir.

Zhang[13], bir optik algılayıcı kullanarak yüzey pürüzlülüğü ve yer değiştirme miktarını aynı anda ölçmüştür. 10 farklı yüzey kullanılarak yapılan deneyler sonucunda %100 doğru yüzey sınıflandırması yapılmıştır.

II.5 OPTOELEKTRONİK ELEMANLAR

Gerçekleştirilen yer değişimi ölçüm sistemi kullanılan yöntem gereği optoelektronik elemanlar içermektedir. Bu kısımda optoelektronik elemanlar tanıtılacak gerçekleştirilen sistemde kullanılan ekipmanların seçim prensiplerine değinilecektir.

Optoelektronik elemanlar ışın vericiler,optik elemanlar ve fotoalıcılar olmak üzere üç grup altında incelenecektir.

Optoelektronikte elektriksel işaret önce ışın verici ile optik işarete çevrilir ve bu optik işaret ortamdan geçerek fotoalıcıya ulaşır. Fotoalıcı optik işareti elektriksel işarete çevirir.

Işın vericiler akımı ışına çeviren elemanlardır. LED'ler ve lazerler ışın vericiler olarak tanımlanır. Günümüzde kullanılan ışın vericiler morötesi bölgesinden başlayarak kızılötesi bölgesine kadar geniş bir aralıkta çalışabilmektedirler. Işın vericilerin en önemli karakteristikleri akım gerilim karakteristikleri, spektrum karakteristikleri ve ışın diyagramlarıdır. Optoelektronik sistemlerin hatasız çalışması için bu karakteristiklerin doğru olarak şekillenmesi gerekmektedir.

Fotoalıcılar üzerlerine düşen ışığı elektriksel işarete çeviren elemanlardır. LDR,fotodiyot, fototransistörler ve güneş pili fotoalıcılara örnek olarak verilebilir.

Fotoalıcıların en önemli karakteristikleri akım,gerilim karakteristikleri, ışık şiddeti ile fotosinyal arası bağıntıyı ifade eden karakteristikleridir.

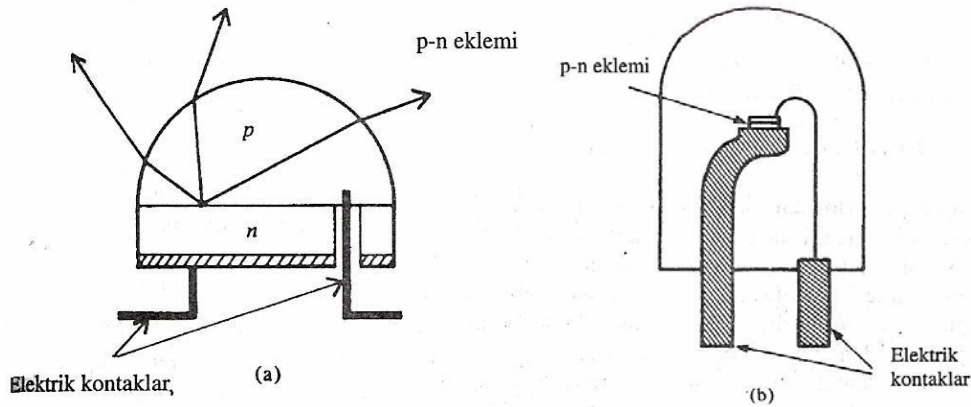
Optoelektronikte önem taşıyan elemanlardan biride optik elemanlardır. Bunlar mercekler, prizmalar, yansıtıcılar çeşitli filtreler,optik bağlantılar ve modülatörlerdir. Optik elemanlar genellikle ışın verici ile fotoalıcı arasına yerleştirilir. Işığın yapısını ve bu ışığın ortamdan geçmesini etkiler[14].

II.5.1. Işık Kaynakları

Bu kısımda ışık kaynağı olarak LED'ler ve Lazerler incelenecek ve temin edilebilirlik,maliyet ve kullanılabilirlik öğeleri de göz önünde bulundurularak tasarlanan yer değişimi ölçüm sisteminde kullanılacak ışık kaynağının seçim kriterlerinden bahsedilecektir.

II.5.1.1. Işık Yayan Diyotlar (LED'ler)

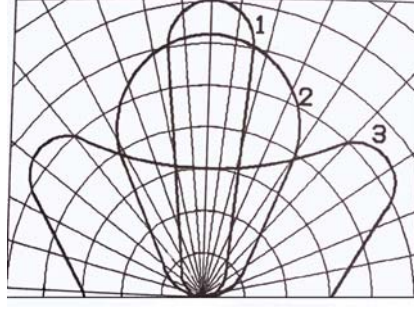
Işık yayan diyotlar P-N jonksiyonlu bir elemandır ve dolayısıyla P-N jonksiyona ait özellikleri içermektedir. LED'in yapısı Şekil II.8'de gösterilmiştir.



Şekil II.8 LED'lerin P-N yapısı

LED'ler yarıiletken optoelektronik düzenlerdir. LED'lerin elektriksel ve ışık verme özellikleri P-N geçidinin ileri yönde ve tıkama yönünde bir gerilimle sürülmesi halinde elektronların yeniden birleşmesi olayına dayanır. LED'lerin çalışması elektrik enerjisinin optik ışına çevrilmesi ilkesine dayanır. LED'ler iletim yönünde kutuplandığına elektromanyetik ışımaya yapan yarıiletkenlerdir[14].

LED'lerin ortama yaydıkları ışık Şekil II.9'da gösterildiği gibi dar veya geniş açılı olabilir.



Şekil-II.9 LED ışığının ortama yayılma diyagramı

Kullanılan ışığın spektrum açıklığı uygulamaya bağlıdır. Örneğin spektrum açıklığı dar olan LED'ler optik haberleşmede iyi ise de göstergeç olarak iyi değildir[14]. Ayrıca LED'lerden ihtiyaç duyulan odaklanmış bir ışın alabilmek için çok daha gelişkin mercek sistemleri kullanma gerekliliği vardır.

II.5.1.2. Lazerler

Lazer kelimesi 'Radyasyonun Uyarılmış Salınması Yoluyla Işığın Şiddetlendirilmesi' anlamına gelen (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation) bir kısaltmadır.

İlk olarak 1960 yılında T.H.Maiman yakutta optik frekanslarda bir lazer çalıştırmayı başarmıştır. 1960'tan sonra lazerlerin gelişimi oldukça hızlı olmuştur. Uygulama alanına sokulması başlangıçta yavaş olmakla beraber günümüzde lazer radyasyonunun uygulamaları ile ilgili yenilikler olmaktadır.

Optoelektronik sistemlerde lazerler ışın verici olarak çok geniş uygulama alanı bulmaktadır. Genel kullanım alanları uzaklık ve yükseklik ölçüm sistemleri, çeşitli radarlar, uçakların nevigasyon sistemleri (kalkma ve inme için), tıp, iletişim ve haberleşme sistemleridir. Lazer ışını tekrenktir, ışın diyagramının açısı küçüktür ve ışın şiddeti yüksektir. Ayrıca lazerler küçük boyutludurlar ve büyük çalışma sürelerine sahiptirler.

Lazerler yapısında kullanılan malzemeye göre birkaç çeşit olabilir. Bunlardan en çok kullanılanları gaz lazerler, sıvı lazerler, katı lazerler ve yarı iletken lazerlerdir. Lazerlerin ışın spektrumu, yapısında kullanılan malzeme ile belirlenir. Yarı iletken lazerler diğer lazerlere göre daha küçük boyutludurlar ve bu lazerlerin akımı ile ışın şiddeti modüle edilebilir. Yarı iletken lazerler çok yüksek çalışma hızına sahiptirler ve bundan dolayı optoelektronikte çok geniş kullanılmaktadırlar[15].

Lazerler dört ana grup altında incelenebilir. Bunlar zenginleştirilmiş yalıtkan, yarıiletken, gaz ve boya lazerleridir. Bu bölümde yer değişimi ölçüm sistemlerinde

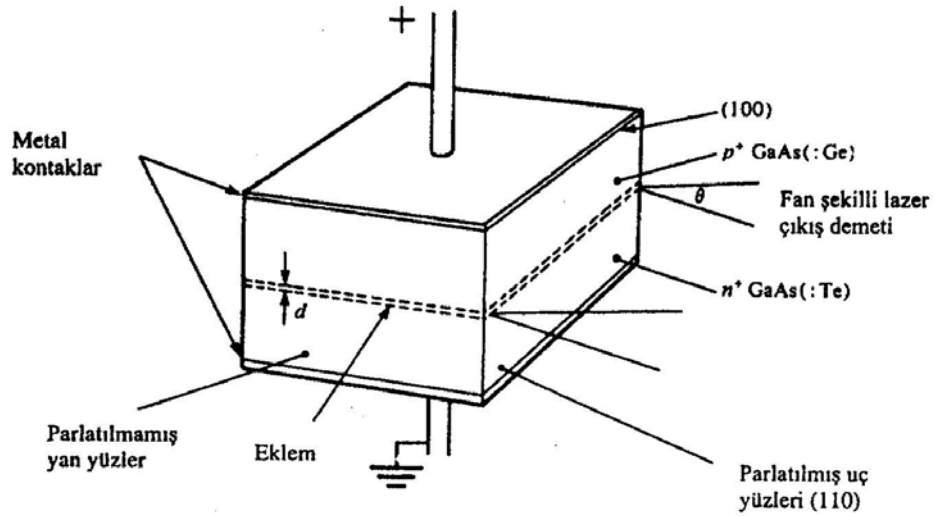
literatürde önerilen He-Ne gaz lazeri ve alternatif olarak kullanılabilen yarıiletken lazer üzerinde durulacaktır.

• Yarıiletken Lazeri

Yarıiletken lazerleri prensipte LED'lerden çok farklı değildir. Bir p-n eklemi aktif ortamı oluşturur. N ve P tipi maddeler zenginleştirilmiş yapıdadır. Lazer ışını çok yüksekçe zenginleştirilmiş N ve P tipi maddelerden oluşan bir eklem pozitif yönde gerilim uygulanması ile elde edilir.

Diyot lazerleri durumunda, He-Ne gaz lazerinden farklı olarak, lazer ışını şiddetlendirmek için gerekli pozitif geri besleme için harici aynaları kullanmak gereksizdir. Yarıiletken maddenin yüksek kırma indisinin yeterince büyük olması ile bu olay otomatik olarak sağlanır.

Diyot eklem düzlemine normal doğal kristal boyunca parlatılır. Böylece uçlar birbirine paralel hale getirilir. Değişik amaçlarla nadiren optik kaplama yapılmakla birlikte bu yüzeylere daha başka bir işlem uygulanmaz. GaAs için eklem düzlemi (100) ve parlatılan yüzler (110) düzlemleridir (Şekil II.10)[15].

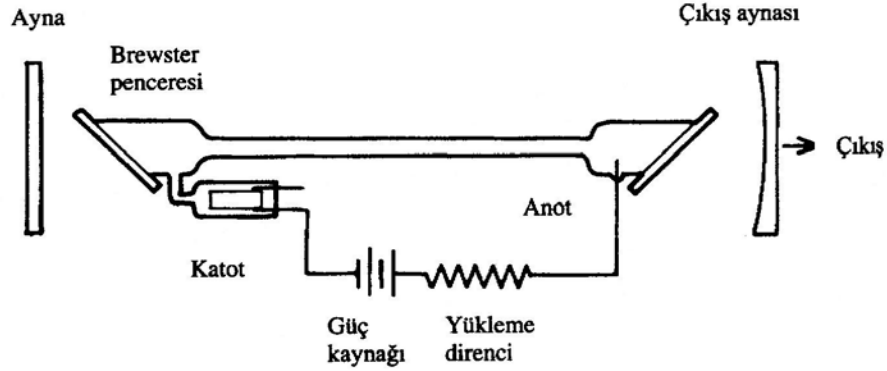


Şekil-II.10 GaAs tek eklemli yarıiletken diyot lazerin şematik gösterimi

• He-Ne Gaz Lazeri

He-Ne lazerinde aktif ortam 1/10 oranında He/Ne gaz karışımını kullanır. Neon, lazer geçişleri için enerji seviyelerini sağlar. Lazer geçişlerinde doğrudan rol almamakla beraber helyum atomları neon atomları için bir etkin uyarma mekanizması sağlamada önemli role sahiptir. Uyarma Şekil II.11'de gösterildiği gibi 10 torr civarında bir basınçta tutulan ince yarıçaplı bir cam tüp içinde bulunan gaza,

2-4 kV civarındaki yüksek bir gerilimin uygulanması ile oluşturulan bir dc boşalma ile gerçekleşir. Boşalma başladığında, boşalma tüpü negatif dinamik direnç gösterdiğinden, akımı sınırlandırmak ve güç kaynağını korumak için bir yükleme direnci eklemek gerekmektedir.



Şekil-II.11 Tipik bir güçlü He-Ne lazer şeması.

He-Ne lazerinin temel yapısı oldukça basittir. Temel elemanlar Şekil II.11' de gösterilmiştir. Boşalma genelde yüksek bir gerilim 'ateşleme' palsı ile başlatılır ve bundan sonra 10 ile 20 mA'lık bir akımla sürdürülür. Rezonant boşluğu oluşturan aynalar bazen boşalma tüpünün uçlarına konulur. Böylece gazı hapseden bir yapı halini alırlar. Alternatif olarak aynalar tüp eksenine Brewster açısında yönelmiş cam pencerelerle yapılmış olacak şekilde tüpe dışardan konulabilir. Bu şekildeki bir düzen gelme düzlemine paralel titreşen elektrik vektörlü radyasyonun %100 geçmesine müsaade eder ve her bir tur için (minimum güç) maksimum kazanç sağlar.

He-Ne lazerlerinde güç çıkışı 5mW-100mW arasındadır. Bununla birlikte radyasyon oldukça iyi yönlendirilmiş, ahenkli ve oldukça dar bir çizgi genişliğine sahip olduğundan bir çok uygulama için oldukça kullanışlıdır[15].

Lazer ışığının özellikleri ;

Lazer ışığının birçok özelliğini bütün lazerlerin aynı derecede sağlayamayacağı bilinmelidir. Bu durum, verilen bir uygulama için lazer seçimine bir sınır koyar.

- Yönlenebilirlik

Lazerlerin önemli özelliklerinden biri yönlenebilirliğidir. Yarıiletken eklem lazerleri dışında, lazerler radyasyonu oldukça yönlü ve düşük genişleme açısıyla ayarlı olarak salarlar. Bu, lazer demeti tarafından taşınan enerjinin kolaylıkla toplanıp, küçük bir alana odaklanabilmesi anlamına geldiğinden oldukça önemlidir. Geleneksel kaynaklar için radyasyon 4π sr'lık bir katı açı içinde yayılır ve ışığın

toplanması hemen hemen imkansızken, lazerler için demet dağılma açısı o kadar küçüktür ki lazerden çok uzakta bile bu ışığın toplanması mümkündür.Çeşitli lazerler için demet dağılma açıları Tablo II.1’de verildiği gibidir[15].

Tablo-II.1 Tipik Lazer Demeti Dağılma Açıları

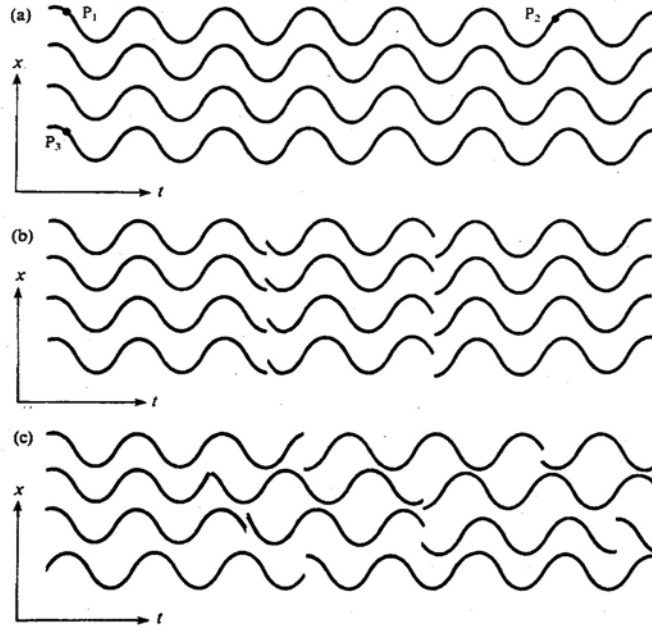
Lazer	He-Ne	Ar	CO ₂	Yakut	Nd:cam	Boya	GaAs
Demet dağılması (mrad)	0.5	0.8	2	5	5	2	20x200

- Çizgi Genişliği

Lazer ışını potansiyel olarak tek renklidir; lazer radyasyonunun spektral içeriği, lazer ortamının floresant çizgi genişliği kadar bir bölgeye uzanabilir. Bir başka deyişle, ferdi rezonatör modların çizgi genişliği oldukça küçük olmakla beraber lazer çıkışında bir çok mod bulunabilir. Lazer radyasyonunun yüksek spektral saflığı doğrudan, fotokimya, lüminesans uyarma spektroskopisi, soğurma ve Raman spektroskopisi ve iletişim gibi temel ilmi araştırmalardaki uygulamalara götürür. Diğer birçok uygulama da kısmen lazerin bu özelliğine dayanır[15].

- Demet Ahengi

Uyarılmış salmanın karakteristiklerinden birisi, uyarılmış dalganın uyarıcı dalgayla aynı fazda olmasıdır; yani iki dalganın elektrik alanının uzay ve zamansal değişimi aynıdır. Böylece mükemmel bir lazerde elektrik alanının demet kesit yüzeyinin her noktası için özdeş olacak şekilde her noktada zamanla değişme gözlenecektir. Böyle bir demet mükemmel uzaysal ahenge sahiptir. Diğer ilgili özellik zamansal ahenktir. Bu, zamanın fonksiyonu olarak aynı yerdeki elektrik alanının nispi faz bağıntısına karşılık gelir. Eğer faz zamanla sabit bir şekilde değişirse bu durumda demetin mükemmel zaman ahenkli olduğu söylenir. Bu fikirler Şekil II.12’de gösterilmiştir[15].



Şekil-II.12 Ahengin Gösterilmesi (a) Mükemmel ahenkli bir demet,
 (b) Uzaysal ahenge sahip fakat nispi zamansal ahenk gösteren bir demet,
 (c) Hemen hemen hiç ahenkli olmayan bir demet.

Zaman ahengiyle ilgili iki faydalı büyüklük ahenk zamanı ve ahenk mesafesidir. Bunları anlamak için, bir demeti alıp, iki eşit parçaya bölüp, bu iki bileşenin farklı mesafeleri alıp II.8.1 bölümünde bahsedilecek Michelson girişim ölçerindeki gibi girişim saçaklarını oluşturmak üzere bir araya gelmelerine müsaade edildiğinde ne olacağı incelenirse; girişim etkileri sadece, eğer iki demetin yol farkı bir araya getirildiklerinde ahenkli kalıyorsa gözlenir. Doğal ışık kaynaklardan elde edilen ışık demetleri sonsuz uzunlukta dalga trenleri olarak temsil edilemezler; böylece yol farkına bir sınır koyulur. Lazer yerine kendiliğinden salma yapan bir atom grubu ele alınırsa; herbir atom diğerlerinden bağımsız olarak radyasyon yayar ve bunu sadece sonlu bir zaman için gerçekleştirir. Bu, sıkça salınma işleminin, komşu atomla çarpışma gibi sebeple bir yolla rahatsız edilmiş olması sebebiyledir. Böylece her bir atom bir sonlu boyda dalga treni üretir. Bununla birlikte atomlar rasgele yayma yaptıklarında dalga trenleri bir diğeri ile aynı fazda değildirler. Eğer böyle bir demeti Michelson girişim ölçerine gönderirsek, her bir ferdi dalga treni ikiye yarılanacak ve ikiye yarılmış dalga treni yol farkı ' L_c 'yi aşmamak kaydıyla girişim yapabilecektir.

L_c ahenk mesafesi olarak isimlendirilir. Eğer yol farkı L_c 'yi aşarsa bu durumda her bir dalga treninin iki yarım parçaları bir araya getirildiklerinde zamanca üst üste gelemeyecekler ve böylece girişim olayını gerçekleştiremeyeceklerdir. Buna ek

olarak yol farkı sıfırla L_c arasında olduğunda her bir dalga treninin sadece bir kısmı girişim olayında rol oynayacaktır (Şekil II.13).

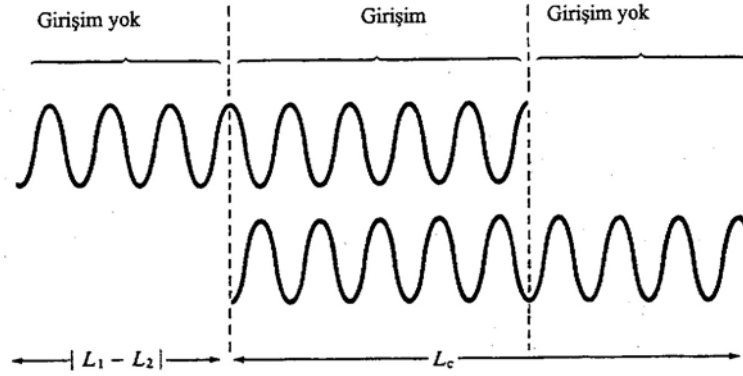
Bu, yol farkını sıfırdan bire çıkardığımızda yapıcı ve yıkıcı girişimlere karşılık gelen şiddet dalgalanmalarının giderek zayıflayacağı ve L_c 'de hep beraber ortadan kalkacağı anlamına gelir. Halbuki gerçekte dalga trenleri aynı boya sahip olmayıp bir ortalama değer civarında dağılmışlardır. Bununla birlikte şiddet dalgalanmalarının giderek zayıflayacağı sonucu geçerliliğini korur. Ahenk zamanı (t_c) böylece kaynağın bir L_c boylu dalga treni salması için alınan zaman olarak tanımlanabilir. Bu durumda

$$t_c = L_c / c \quad (\text{II.9})$$

yazılabilir. Burada c ışık hızıdır. Gerçekte ahenk zamanının salma çizgi genişliğiyle

$$t_c = 1 / \Delta\nu \quad (\text{II.10})$$

ile bağlantılı olduğu gösterilebilir. Ahenk yol ve zamanı aynı şekilde lazer radyasyonu için de geçerlidir. Çeşitli lazerler için ahenk mesafeleri Tablo II.2'de gösterilmiştir. Burada girişimin oluşturulmasında önemli katkısı olan ahenk mesafesinin He-Ne lazerlerde yarıiletken lazerlere göre çok daha iyi olduğu görülmektedir.



Şekil-II.13 L_c boylu iki özdeş dalganın oluşturduğu girişim.

Tablo-II.2 Bazı çok kullanılan lazerlerin ahenk mesafeleri

Lazer	Tipik Ahenk Mesafeleri
He-Ne, tek enine, tek boyuna modlu	1000 m'ye kadar
He-Ne, çok modlu	0.1-0.2 m
Argon, çok modlu	0.02 m
Nd: YAG	10^{-2} m
Nd: cam	2×10^{-4} m
GaAs	1×10^{-3} m
Yakut	
-tüm çıkış atması	10^{-2} m
-atmanın bir parçası olan pikte	$\leq c \times \text{pik boyu, yani } \leq 30\text{m}$

Ahenk lazer demetinin parçalara ayrılarak kullanıldığı uygulamalarda önemlidir. Bu uygulamalara farklı mesafeleri kat edecek şekilde ışığın parçalara ayrıldığı mesafenin girişimle ölçümü ve bozulmayla farklı uzaysal katkıya sahip olabilecek yaklaşık eşit olabilen farklı yolları alacak şekilde ışığın parçalara ayrıldığı interferometrik sistemler dahil edilebilir[15].

- Parlaklık

Lazer radyasyonunun en önemli karakteristiği diğer ışık kaynaklarından daha yüksek parlaklığa sahip olmalarıdır. Parlaklık birim katı açı ve birim alan başına yayınlanan güç olarak tanımlanır İlgili katı açı demetin içine dağıldığı koni ile tanımlanır. Böylece lazer mükemmel doğrultulmuş demetlerde yüksek seviyeli güçler üretebildiklerinden, oldukça parlak kaynakları temsil ederler[15].

Bu bölümde ışın verici elemanlarının özellikleri incelenmiştir. Sonuç olarak yapılan bu tez çalışmasında kullanılmak üzere odaklama özelliği iyi olan, birim alana düşen ışın miktarı fazla olan, koherentlik süresi zamana ve mesafeye göre yüksek olan bir ışın vericinin seçilmesi gereği ortaya çıkmaktadır. Özellikle LED'lerin yaydıkları ışının lazerlere göre daha geniş açılı olması dolayısıyla ve koherentlik sürelerinin çok daha geride olması nedeniyle sistemde lazer ışık kaynağının kullanılması uygun bulunmuştur. Literatürde önerilen He-Ne gaz lazerlerinin daha yüksek koherentlik süreleri olmasına rağmen temin edilebilirliğinin kolaylığı ve maliyetinin düşük olması sebebiyle yarıiletken lazerinin kullanılmasına karar verilmiştir.

II.5.2. Fotoalıcılar

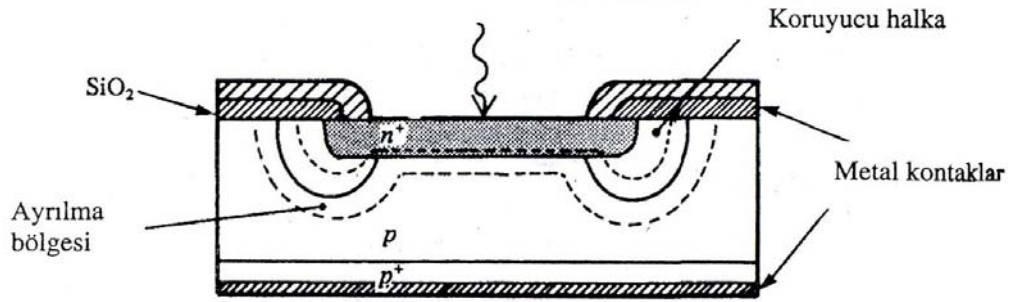
Fotoalıcılar, üzerlerine düşen ışığı fotosinyale çevirmektedirler. Fotosinyal, akım veya gerilim şeklinde olabilir. Fotoalıcılara örnek olarak fotodirençler, fotodiyotlar, fototransistörler, güneş pilleri gösterilebilir. Bu kısımda Michelson interferometresi tarafından oluşturulan girişim deseninden elde edilecek verileri elektriksel sinyale çevirmek için kullanılacak fotodiyot ve fototransistörler incelenecektir.

II.5.2.1. Fotodiyotlar

Fotodiyotlar P-N jonksiyonuna sahip optoelektronik elemanlardır. Fotodiyotlar ışık şiddetini elektriksel işarete çevirmekte kullanılırlar. Çevirme işleminin etkinliği fotodiyodun karakteristiğine bağlıdır. Fotodiyodun ışığa duyarlı yüzeyine ışık uygulanmış olursa fotonların emilmesi ile serbest taşıyıcılar oluşur ve bunun sonucu olarak da bir akım akar[14].

- **Çığ Fotodiyot**

İç akım kazancı olan ve geribesleme voltajı altında çalışan çığ fotodiyotları fiber optik hatlarda kullanılan dedektörlerdendir. Çığ fotodiyotunun yapısı Şekil II.14'de görülmektedir.

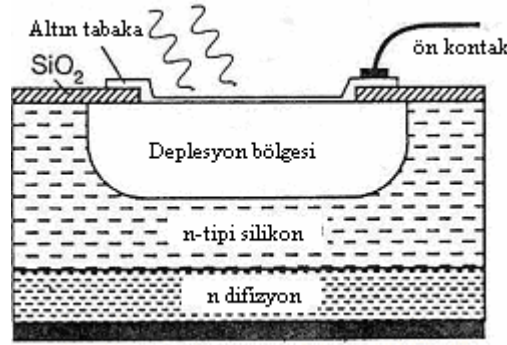


Şekil-II.14 Çığ fotodiyotun yapısı

Fotoakımın faydalı iç yükseltimi çığ fotodiyotunda gerçekleştirilir. Bu aygıtta temel bir p-n yapısı çok yüksek ters gerilim altında çalıştırılır. Böylece ayrılma geçen taşıyıcılar, çarpışma uyarması yoluyla enerji aralığı boyunca daha başka taşıyıcıların uyarılabilmesine izin verecek yeterli enerjiyi kazanırlar[14].

- **Schottky Fotodiyot**

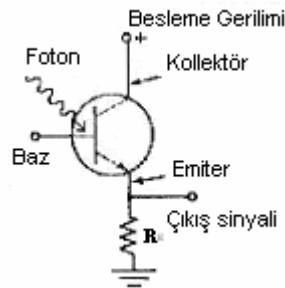
Schottky fotodiyotunda ince bir metal kaplama (genelde altın) bir n-tipi silikon tabana konur. Bu tip fotodiyotun üstünlüğü yüzey metal tabanının mavi ve yakın mor ötesi radyasyonunu geçirecek kadar ince yapılabilir olmasıdır. Böylece duyarlılığı artırılmış olur. Şekil II.15 Schottky fotodiyotu yapısı görülmektedir[14].



Şekil-II.15 Schottky fotodiyotu

II.5.2.2. Fototransistör

Fototransistör elemanı da fotodiyot gibi ışık kontrollü bir elemandır. Fototransistörün duyarlılığı fotodiyottan yaklaşık 100 defa daha fazladır. Baz bölgesine ışık gelecek şekilde şeffaf bir pencere bulunmaktadır. Fototransistörün baz bölgesine ışık düşürülerek kolektör akımı kontrol edilir. Işık şiddeti ile baz bölgesindeki serbest elektron ve delik sayısı artar. Buna bağlı olarak kolektör akımı artar ve kolektör-emiter arasındaki gerilim azalır. Baz bölgesi karanlık iken kolektör-emiter arası açık devre ve baz bölgesi aydınlatılınca kolektör-emiter arası kısa devre olduğu kabul edilir. Dolayısıyla böyle bir eleman bir anahtar gibi de çalıştırılabilir. Işık şiddetinin ara değerinde ise belirli bir kolektör akımı ve belirli bir kolektör-emiter gerilimi elde edilir. Bir fotosinyalin terminalleri Şekil II.16 gösterilmiştir[15].



Şekil-II.16 Fototransistör terminalleri

Bu çalışmada kullanılmak üzere BPW17N fototransistörü seçilmiştir. Algılaya bildiği ışığın dalga boyu 620-960 nm arası olup anahtarlama süresi ortalama 4.9µs ve alış açısı ±12 derecedir[16].

II.5.3.Optik Elemanlar

Bir optoelektronik sistem tasarımı yapılırken sistemde kullanılacak optik elemanlar büyük önem taşır. Bu optik elemanların karakteristikleri iyi bilinmeli ve gerçekleştirilmek istenen sisteme uygun olarak seçilmelidirler.

Gerçekleştirilen yer değişimi ölçüm sisteminde lazer ışını kullanılacağından dolayı, lazere uygun optik ekipmanları seçmek için bu optik elemanların özellikleri bu kısımda incelenmiş ve sistemde duyulan ihtiyaca göre eleman seçimi yapılmıştır.

Optoelektronik sistemlerde kullanılan optik elemanlar mercekler, yansıtıcılar, reflektörler, ışın bölücüler, prizmalar, filtrelerden oluşmaktadır.

II.5.3.1.Mercekler

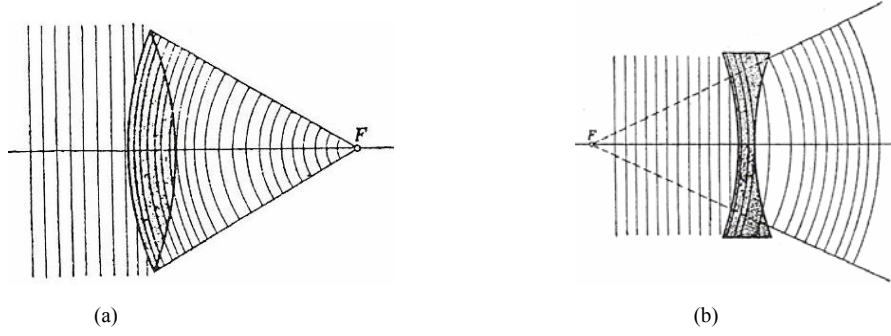
Mercekler, camdan, kuvarsdan, veya plastikten yapılırlar. Mercekler optik sistemlerde ışığı toplamak için, bir noktaya odaklamak için veya noktasal ışını yaymak için kullanılırlar. Plastik mercekler, dalga boyu 1,5-2µm'ye kadar olan ışınları geçirirler. Cam mercekler ise dalga boyu 5µm'ye kadar olan ışınları geçirirler[14].

Başlıca iki tür mercek vardır. Küresel mercekler ve silindrsel mercekler. İki küre yüzeyi arasında kalan ve merkezler doğrusuna göre simetrik olan saydam madde parçalarına küresel mercek denir. Paralel eksenli iki silindir yüzeyi arasında kalan saydam madde parçalarına ise silindrsel mercek adı verilir[17].

- **Küresel Mercekler**

Küresel mercekler; yakınsak ve ince kenarlı, ıraksak veya kalın kenarlı olmak üzere ikiye ayrılır. Kesişen iki küre yüzeyinin sınırladığı mercekler yakınsak veya ince kenarlı mercekler denir. Birbirini kesmeyen iki küre yüzeyinin, merkezler doğrusuna göre simetrik olarak sınırladığı saydam madde parçalarına ise ıraksak mercek veya kalın kenarlı mercek adı verilir.

Şekil II.17'de asal eksen doğrultusunda ilerleyen bir düzlem dalganın yakınsak ve ıraksal merceklerden geçişi gösterilmiştir[17].



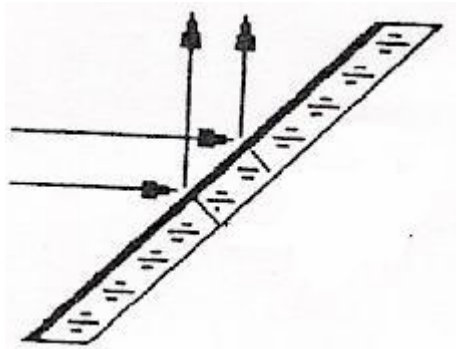
Şekil-II.17 Optik eksen doğrultusunda ilerleyen bir düzlem dalganın (a) Yakınsak mercekten, (b) Iraksak mercekten geçişi

- **Silindrsel Mercekler**

Paralel eksenli iki dik silindir yüzeyi ile sınırlanmış saydam madde parçalarına silindrsel mercek denir. Bu merceklerin özellikleri gelen paralel ışınlar merceği geçtikten sonra doğrultuları bir odak noktasından değil bir odak çizgisinden geçmesidir. Bu mercekler bir noktanın görüntüsünü bir çizgi halinde veririler[17].

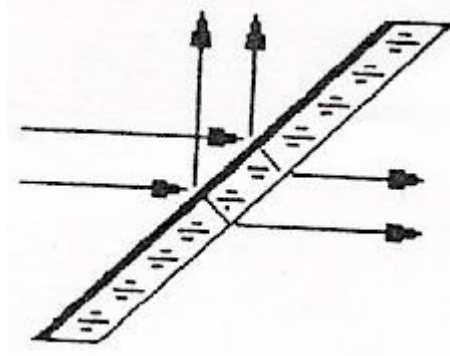
II.5.3.2. Yansıtıcılar

Yansıtıcılar, ışığın açısını veya doğrultusunu değiştirmek için kullanılırlar. Yansıtıcılar cam malzeme üzerine metal kaplanarak yapılırlar. Tam yansıtıcı ve yarı yansıtıcı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tam yansıtıcı (Şekil II.18) ışığın tamamını yansıtır. Genelde herhangi bir cisimde yansıtıcı olarak görülebilir. Ancak bir cismin yansıtıcı olarak görülebilmesi için bu cismin ışın yansıtma özelliğinin belirgin olması gerekir.



Şekil-II.18 Tam yansıtıcı

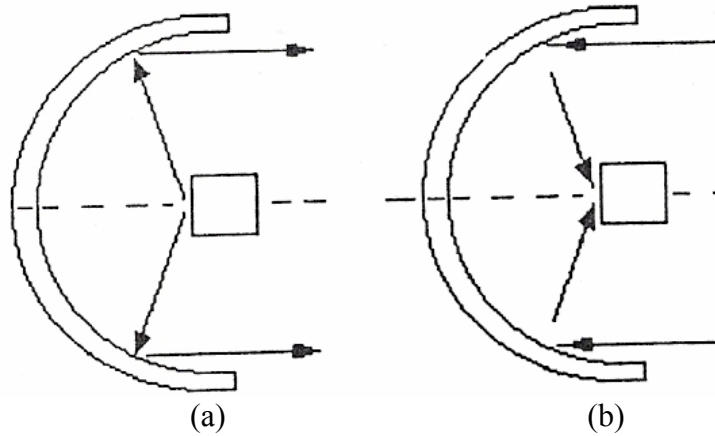
Yarı yansıtıcılar, (ışın bölücüler) ise ışığın bir kısmını yansıtırlar bir kısmını ise geçirirler. Yarı yansıtıcılar optik sistemlerde bir ışını ikiye bölmek için kullanılırlar[14]. Şekil II.19 da görülen yarı yansıtıcı, ışın bölücü olarak da isimlendirilir.



Şekil II.19 Yarı yansıtıcı

II.5.3.3. Reflektörler

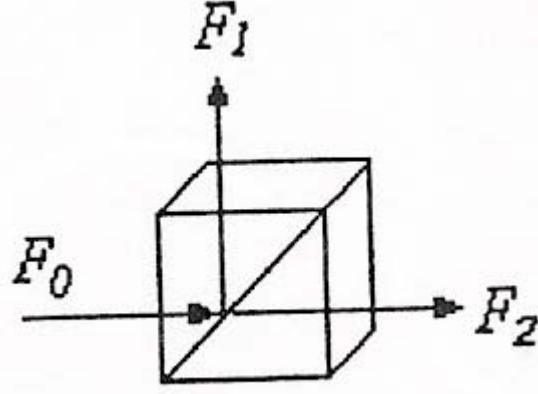
Çok yüzeyli yansıtıcı reflektör ve ışık toplayıcı reflektör olmak üzere iki türlü reflektör vardır. Şekil II.20’de gösterilen toplayıcı reflektörler verici veya alıcı bölgesinde kullanılırlar. Toplayıcı reflektörler dış kaplamalı yapılmaktadırlar[14].



Şekil-II.20 Işık toplayıcı reflektörler

II.5.3.4. Prizmalar

Bir ışıktan iki ışın elde etmek için prizmalar kullanılır. Genellikle kesişen iki düzlem arasında kalan saydam madde parçasına optik prizma denir. Optik prizmanın yapısı Şekil II.21 görülmektedir. Burada F_0 gelen ışın F_1 ve F_2 ikiye ayrılan ışıdır[14].



Şekil-II.21 Optik prizma

II.5.3.5. Optik Filtreler

Fon etkilerini azaltmak, sistemin belirli bir dalga boyunda çalışmasını sağlamak için filtreler kullanılır. Kesici ve belirli bir dalga boyunu geçiren filtre olmak üzere iki türlü filtre vardır. Belirli bir dalga boyunu geçiren veya belirli bir dalga boyunu kesen filtreler, geniş spektrumlu bir ışın kaynağından tekrenk ışık elde etmek için veya geniş spektrumdan belirli bir dalga boyunu kesmek için kullanılırlar.

Kesici filtreler genelde birkaç çeşit tasarlanırlar. Bunlardan direk ışın verici üzerine yerleştirilmiş kesici filtreler ve dış fon etkisinden optoelektronik sistemleri koruyan kesici filtreler geniş kullanılmaktadır.

Yansımali filtreler ise cam üzerine çok ince bir metal tabaka oluşturulması ile elde edilirler. Oluşturulan metal tabaka kullanılan malzemeye göre ışının istenen spektrumunu yansıtır. Yansımali filtrelerin tasarımında ince cam üzerine yansıtıcı tabaka oluşturmak için Cs, Rb, K, Na, Li, Au, Ag katkıları kullanılır. Tablo II.3'de kullanılan metale göre elde edilen dalga boyları görülmektedir[14].

Tablo-II.3 Yansıtıcı filtre tasarımında kullanılan metallerle elde edilen dalga boyları

Metal	Au	Cs	Pb	Ag	K	Na	Li
Dalga boyu(nm)	450-530	186-440	186-360	310-340	170-315	125-210	205-220

Tasarlanan sistemde Michelson interferometresinin yapısı gereği düzlem tam yansıtıcı ayna, ışığı %50-%50 oranında ikiye bölen ışın bölücü ve oluşan girişim desenini elektronik saçak sayıcı devrenin algılayabilmesi için büyütme gerektiğinden ıraksak mercek kullanılmıştır.

II.6 ISININ YAYILMASI

Tasarlanan yer değişimi ölçüm sisteminde metal deneğin sıcaklık ile genişmesini gerçekleştirmek üzere Furnace 47900 kodlu bir fırın kullanılmıştır. Fırın önceden ayarlanan bir sıcaklık değerine çıkarılmış ve bu sayede metal deneğin genişmesi sağlanarak sıcaklığa bağlı yer değişimi ölçülmüştür. Bu kısımda ısı ve ısının iletiminin ne şekilde gerçekleştiği incelenecek bu sayede fırın iç ortamına yerleştirilen metal deneğin ortamla ısı alışverişinin ne şekilde gerçekleştiği irdelenecektir.

II.6.1. Isı Akımı

Isı enerjisi sıcaklığı yüksek olan cisimlerden daha soğuk cisimlere doğru akar. Isı akımının hızı, birim uzunlukta sıcaklık azalmasına yani sıcaklık tepesinin eğimine bağlı olduğu kadar ısının içinden geçtiği maddenin özelliklerine de bağlıdır. Isı enerjisi bir yerden diğer bir yere üç yolla yayılmaktadır[17]. Gerçekleştirilen sistemle ilgisi dolayısıyla iletkenlik ve taşıma ile yayılmaya burada kısaca değinilecektir.

- İletkenlik
- Taşıma ve konveksiyon
- Işıma ve radyasyon

II.6.1.1. Isının İletkenlikle Yayılması

Bir maddenin atom ve moleküllerinin titreşimi veya gazlarda moleküllerin çarpışmaları aracılığıyla ısı enerjisinin bir yerden başka bir yere iletilmesine iletkenlikle yayılma denir.

1 cm kalınlığında, 1 cm² kesitinde ve iki yüzü arasındaki sıcaklık farkı 1°C olan bir maddeden 1 saniyede geçen ısı miktarına ısı iletkenlik katsayısı denir. Isı iletkenlik katsayısı λ ile gösterilir. Isı iletkenlik katsayısı maddeden maddeye değişir.

Bazı cisimlerin ısı iletkenlik katsayıları Tablo II.4’de görölmektedir[17].

Tablo-II.4 Bazı maddelerin ısı iletkenlik katsayıları

Madde	λ cal/(cm s°C)	Madde	λ cal/(cm s°C)
Alüminyum	0,545	Civa	0,02
Bakır	0,922	Su	0,00135
Cam	0,00182	Argon	0,000099
Cam pamuğu	0,00009	Hava	0,0000566
Fiberglas	0,00011	Helyum	0,000399
Demir	0,174	Hidrojen	0,000339
Çelik	0,11	Karbondiyoksit	0,0000346
Tuğla	0,0017	Oksijen	0,0000588

II.6.1.2. Isının Taşıma Yolu ile Yayılması

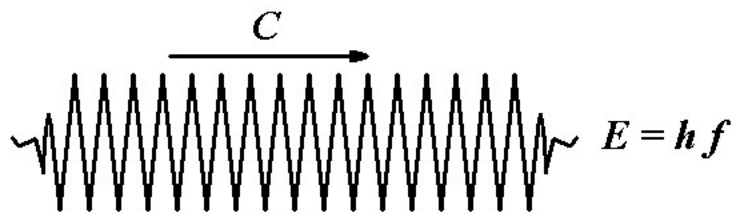
Sıvı ve gazlarda ısının harekette bulunan madde parçacıkları aracılığıyla bir yerden başka bir yere iletilmesine, ısının taşıma veya konveksiyon ile yayılması denir[17].

II.7 IŞIK

İnterferometrik bir ölçüm sisteminin temel ögesi ışık olgusudur. Bu sebepten dolayı bu aşamada ışık ve interferometrik bir sistemin oluşumunda kullanılan ışık özellikleri incelenmiştir.

II.7.1. Işık Kavramı

Işık bir enerjidir ve uzayda fotonlar halinde yayılan elektromanyetik dalga yapısındadır[17]. Işığın fotonlardan oluşmuş dalga elektromanyetik dalga yapısı Şekil II.22’de gösterilmiştir.



Şekil-II.22 Bir ışık fotonu

II.7.2. Işığın Dalga Yapısı

Bir elektromanyetik dalga olan ışık, uzayda zamanla değişen elektrik ve manyetik alanların bir kombinasyonu olarak karakterize edilebilir. Maxwell bu her iki alanın da II.11 eşitliğinde aynı kısmi diferansiyel eşitliği sağladığını göstermiştir[15].

$$\nabla^2(\vec{E}, \vec{H}) = \frac{1}{c^2} \cdot \frac{\partial^2}{\partial t^2}(\vec{E}, \vec{H}) \quad (\text{II.11})$$

II.11 eşitliği dalga eşitliği olarak isimlendirilir. Eşitlik alanlardaki değişmelerin uzayda c ışık hızıyla ilerlediğini ifade eder. Alanların titreşim frekansı f ve boşluktaki dalga boyları λ_0 ise denklem II.12 şekliyle ifade edilir.

$$c = f\lambda_0 \quad (\text{II.12})$$

ile birbirine bağlıdır. Başka ortamlarda ilerleme hızı II.13 denklemi ile verilir.

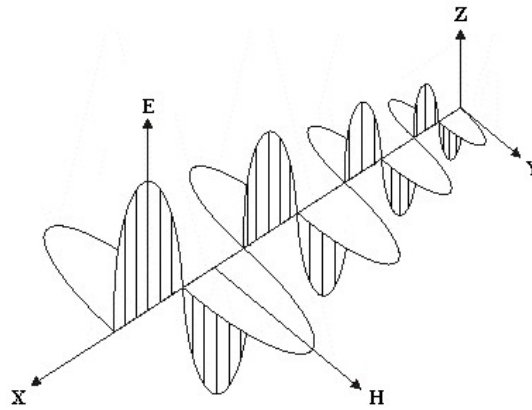
$$f = \frac{c}{n} = v\lambda \quad (\text{II.13})$$

Burada n ortamın kırma indisi ve λ ortamın dalga boyudur. Ortamın kırılma indisi

$$n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \quad (\text{II.14})$$

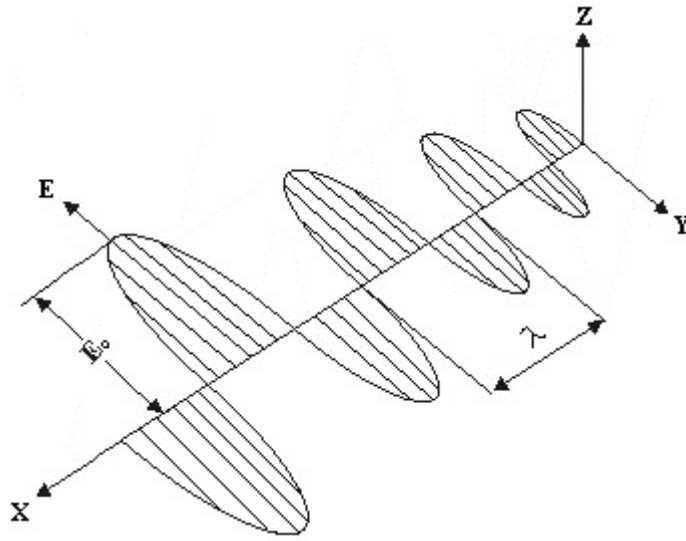
II.14 eşitliği ile bulunur. Burada μ_r ve ϵ_r ortamın kısmi manyetik ve elektriksel geçirgenlikleridir.

Elektrik ve manyetik alanlar biri diğerine ve her ikisi de ilerleme yönüne dik olacak şekilde titreşirler (Şekil II.23). Bu ışık dalgalarının enine dalgalar olması anlamına gelir.



Şekil-II.23 Elektromanyetik yayılım

Optik kavramların tanımlanmasında manyetik alan vektörü analiz kolaylığı açısından ihmal edilir (Şekil II.24).



Şekil-II.24 Elektrik alan yayılımı

En basit dalgalar sinüzoidal dalgalardır. Matematiksel olarak II.15 eşitliği

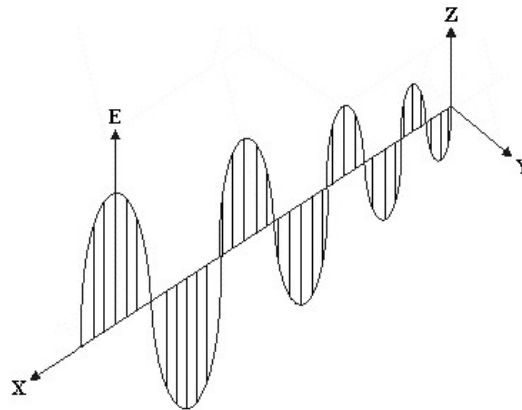
$$E(x, t) = E_0 \cos(\omega t - kx + \phi) \quad (\text{II.15})$$

ω açısal frekansı

k dalga sayısını

ϕ faz sabiti

şeklinde ifade edilebilirler. Bu matematiksel bağıntı Şekil II.25.'te görüldüğü gibi pozitif x yönünde ilerleyen sonsuz uzunluklu tek renkli bir düzlem dalgayı tanımlar.



Şekil II.25 Genlik ve dalga boyu

II.7.3. Işığın Özellikleri

Bu bölümde ışığın özellikleri incelenirken interferometrik bir sistemde ışığın davranışını tanımlayabilmek amacı ile ilgili özellikleri olan yansıma, kırılma, girişim olayları incelenmiş ayrıca tasarlanan elektronik sayıcı devresinin algılayıcısı bir foto dedektör olacağından foto elektrik olayı da bu bölümde ele alınmıştır.

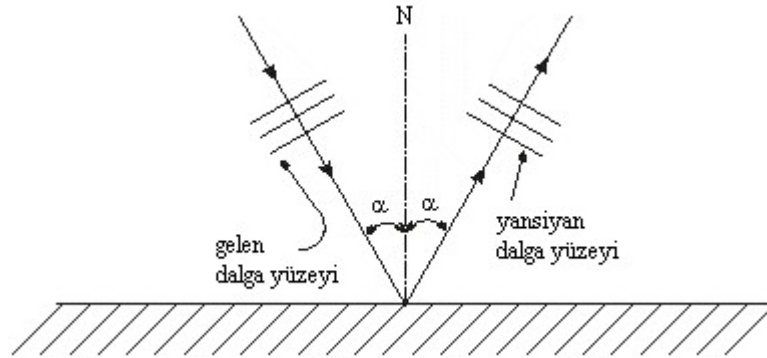
- Yansıma ve Kırılma Olayı

1. Yansıma Olayı

Şekil II.26'da görüldüğü gibi ışık ışınının yansıtıcı bir yüzeye çarparak yön değiştirmesine veya gerisin geri gitmesine yansıma denir Düz bir yüzeyde meydana gelen yansımaya düzgün yansıma pürüzlü bir yüzeyde meydana gelen yansımaya dağınık yansıma denir[17].

Yansıma ve kırılma olayları SNELL kanunları ile açıklanır. Bunlar;

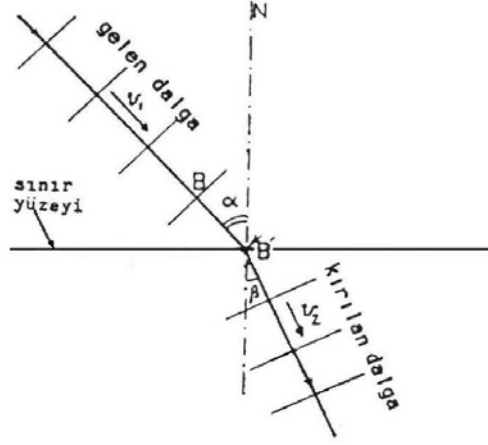
- 1- Gelen yansıyan ve kırılan ışın aynı düzlemedir.
- 2- Gelme açısı yansıma açısına eşittir.
- 3- Gelme açısının sinüsünün kırılma açısının sinüsüne oranı bu iki ortamdaki ışık hızlarının oranına eşittir ve sabittir.



Şekil-II.26 Yansıma Olayı

2. Kırılma Olayı

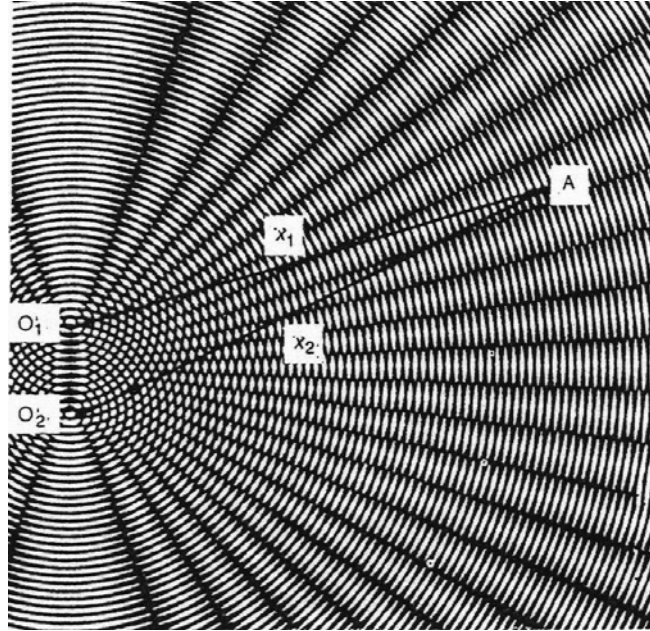
Şekil II.27'de görüldüğü gibi tek renk ışık ışınının mutlak kırılma indisleri n_1 ve n_2 gibi iki farklı ortamdan birinden diğerine doğrultu ve hız değişimine uğrayarak geçmesine kırılma denir[17].



Şekil-II.27 Kırılma Olayı

- Girişim olayı

Aynı anda iki dalganın etkisinde kalan bir noktanın yapmış olduğu birleşik harekete girişim denir. Işıқта girişim deseni Şekil II.28’de gösterilmektedir. Duran bir girişim olayı gözleyebilmek için etkiyen dalgaların koherent iki kaynaktan yayılan koherent dalgalar olması gerekir. Koherent iki kaynak ve bunlara bağlı olarak koherent iki dalga demek aralarında sabit bir faz bağıntısı bulunan iki kaynak veya dalga demektir[17].



Şekil-II.28 Işıқта girişim deseni

- Fotoelektrik Olay

Işığın bir maddeden elektron koparması olayına fotoelektrik olay denir. Işık etkisi ile maddeden kopan elektronlara foto elektron denir.

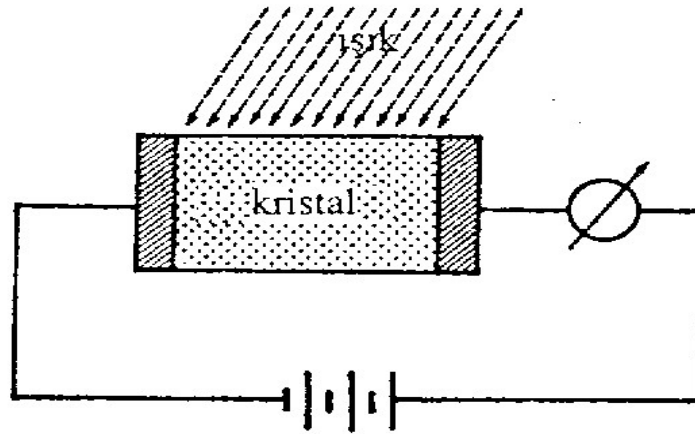
Bir metalden elektron koparabilmek için metalin cinsine bağlı minimum bir E_0 enerjisine gerek vardır. Yüzeiden elektron koparacak fotonun elektron koparabilmek için minimum bir f_0 frekansında olması gerekir. Bu frekansa eşik frekansı denir[.].

$E_0 = h.f_0$ dır. $h.f < E_0$ için fotoelektrik olay meydana gelmez. $h.f > E_0$ için ise foton enerjisinin fazlası fotona kinetik enerji kazandırır.

$$h.f = E_0 + \frac{1}{2}mv^2 \quad (II.16)$$

Burada m foto elektronların kütlesini, v foto elektronların hızı göstermektedir.

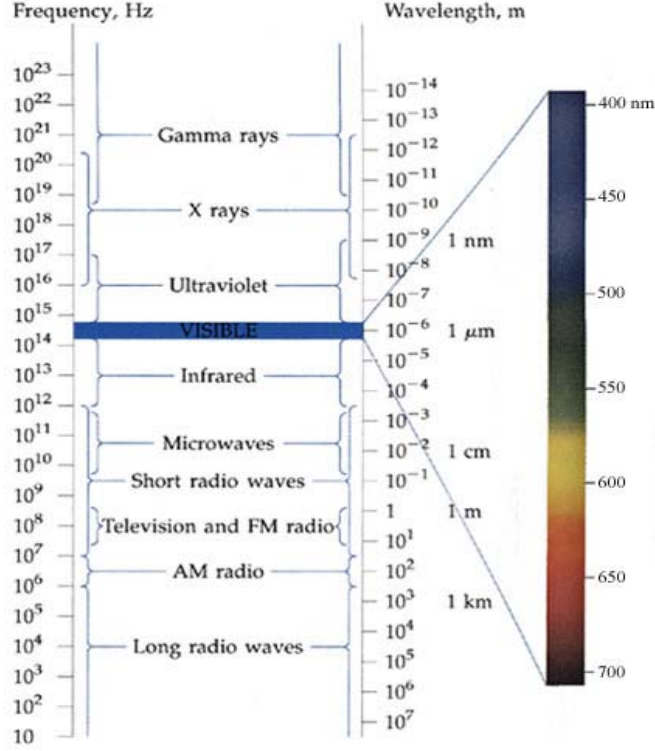
İç fotoelektrik olay: Selenyum, germanyum, elmas gibi bazı kristallerin elektriksel iletkenlikleri üzerine düşen ışığın şiddeti ile bir artma gösterir. Buna sebep ışığın, kristalde iletkenliğe katılan serbest elektron sayısını artırmasıdır. Serbestliği artan elektronlar maddeden tamamen kopmadığı için bu olaya iç fotoelektrik olay veya fotoiletkenlik denir. İç fotoelektrik olay gösteren kristaller yarı-iletkendirler. Bunlara fotoiletken de denir. İç foto elektrik olayın prensip devresi Şekil II.29'da görülmektedir[17].



Şekil-II.29 Selenyum kristalinin iletkenliğinin ışığın şiddeti ile artması

II.7.4. Elektromanyetik Dalga Tayfı ve Işığın Tayftaki Yeri

Işık elektromanyetik dalga özelliği gösterir ve ışığı da içine alan elektromanyetik dalga tayfı Şekil II.30'de görüldüğü gibidir



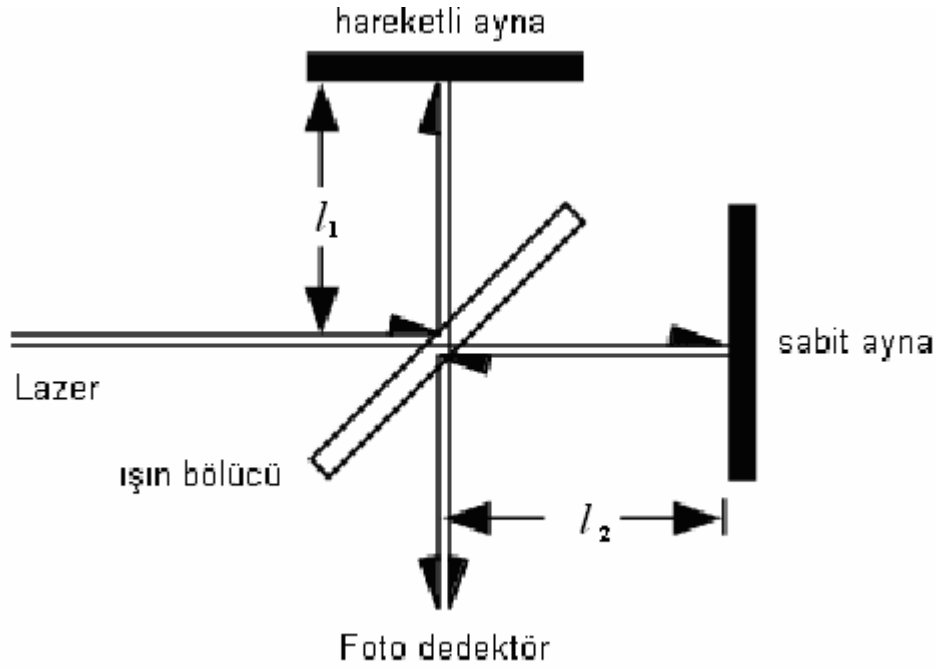
Şekil II.30 Elektromanyetik dalga tayfı

Elektromanyetik dalga tayfı incelendiğinde deneyde kullanılmak üzere görünür (visible) yani insan gözü tarafından algılanabilir ve görünmeyen (invisible) yani insan gözü tarafından algılanamaz ışık kaynaklarının kullanılabilmesi tespit edilmiştir. Oluşturulacak girişim deseninin gözlenebilmesi ve sistemin set edilebilirliğinin kolaylaştırılması amacıyla kullanılacak ışık kaynağının görünür bölgede olmasına karar verilmiştir. Dolayısıyla ışık kaynağının dalga boyunun 400 ila 700 nanometre aralığında olabileceği tespit edilmiştir. Bu değerler aralığında ışın verebilecek elemanlar LED(Işık yayan diyot) ve LAZER (Radyasyonun Uyarılmış Salınması Yoluyla Işığın Şiddetlendirilmesi) 'dir. İnterferometrik yöntemde kullanılması gereken ışık kaynağı koherent olması gerekmektedir. II.5.1 bölümünde ışık kaynaklarının özellikleri incelenmiş ve belirtilen seçim kriterlerine göre yariletken lazer diyot seçilmiştir.

II.8 İNTERFEROMETRİK YER DEĞİŞİMİ ÖLÇÜM METODUNUN İNCELENMESİ

II.8.1. Michelson İnterferometresi

Bu deneyi yapmakta kullanılan interferometre sistemine Michelson interferometresi adı verilmektedir. (Şekil II.31)



Şekil-II.31. Michelson interferometresi prensip şeması

Michelson interferometresinin esası, bir ışık kaynağından çıkan ışık ışınlarının ikiye bölünmesi ve bu ışınların birinin referans yansıtıcı yüzeye diğerinin ise yer değişiminin ölçülmek istenen sisteme yönlendirilmesi ve bu yüzeylerden geri yansıyan ışınların yeniden birleşmesi sonucu oluşacak girişim deseninin analiz edilmesinden ibarettir.

E_0 genliğinde elektrik alan bileşenine sahip olan ışın, ışın bölücü tarafından ikiye bölünüp, $2l_1$ ve $2l_2$ kadar yol alarak yeniden birleşirse, birleşim sonucu E elektirik alan genliğine sahip ışın dalgası oluşur. Bu olayı matematiksel denklemler üzerinden açıklayacak olursak;

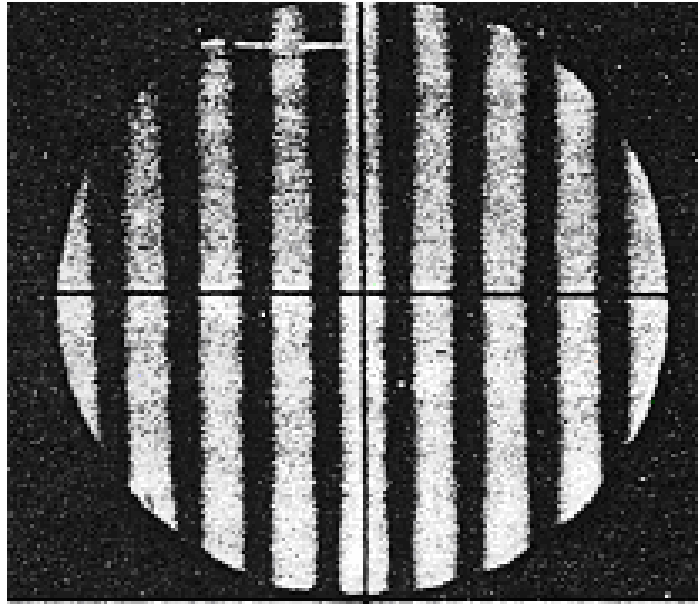
$$E = E_0 \cos\left(2l_1 \frac{2\pi}{\lambda} + wt\right) + E_0 \cos\left(2l_2 \frac{2\pi}{\lambda} + wt\right) \quad (\text{II.17})$$

$$I \propto \langle E^2 \rangle = E_0^2 \left\langle \cos\left(2l_1 \frac{2\pi}{\lambda} + wt\right) + E_0 \cos\left(2l_2 \frac{2\pi}{\lambda} + wt\right) \right\rangle \quad (\text{II.18})$$

$$= E_0^2 \left[1 + \cos 2(l_1 - l_2) \frac{2\pi}{\lambda} \right] \quad (\text{II.19})$$

hareketli ayna gerçekleştirilen sistemde $l_1 - l_2 = \Delta l$ yol farkı kadar denek malzemelerin genleşmesine bağlı olarak hareket ettiğinde ışığın parlaklığında II.19 denkleminde bağlı olarak değişim oluşur.

Δl yol farkı, $\frac{\lambda}{2}$ (λ lazer ışığının dalga boyu) ve katları kadar değişirse II.19 eşitliğine bağlı olarak ışık maksimumu, $\frac{\lambda}{4}$ ve katları şeklinde değişirse ışık minimumu oluşur. Şekil II.32'de görüldüğü gibi ışık maksimumu aydınlık girişim saçığı, ışık minimumu ise karanlık girişim saçığı oluşturur.



Şekil-II.32 Michelson interferometresi ile oluşturulan ışıkta girişim deseni

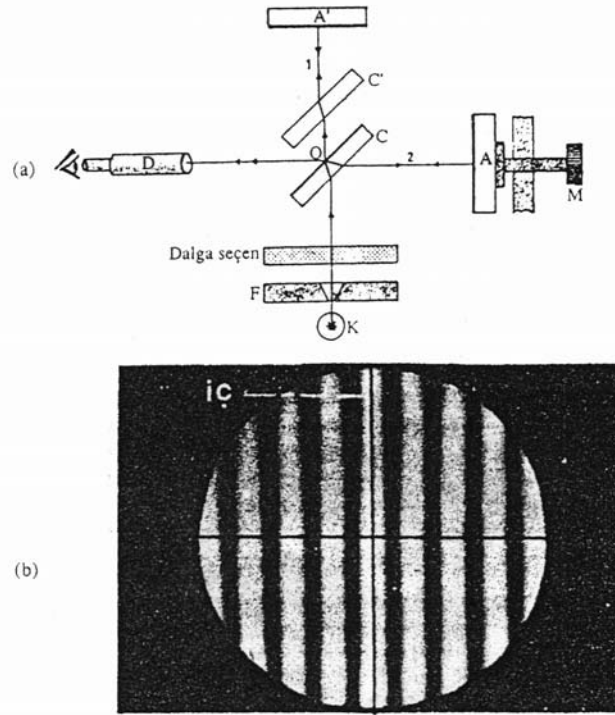
Michelson interferometrik sisteminde çok daha uzun mesafelerde girişim deseni korunabilmesi ve ıraksak bir mercekle büyütülen girişim deseninin incelenebilmesi için monokromatik (tek renk) ve kohorent bir ışık kaynağı kullanılması gereksinimi bulunmaktadır.

II.8.2. Michelson İnterferometresi Kullanılarak Işıhta Girişimin Oluşturulması

Işığın dalga boyunu ve çok küçük uzunlukları ölçmek üzere Michelson tarafından geliştirilen interferometrenin esası Şekil II.33 a'da görülmektedir.

Alet, ön yüzeyleri gümüşlenmiş ve düzlemleri birbirine dik olacak durumda yerleştirilmiş A ve A' düzlem aynaları ile aynı camdan özenle yapılmış C ve C' cam levhalarından oluşmuştur. C ve C' levhalarının düzlemleri A ve A' aynalarının düzlemleri ile 45° açı yapacak konumdadırlar. C levhasının kalın çizilen yüzeyi yarı gümüşlenmiştir.

K ışın kaynağından çıkan ışık ışınının, C levhasının yarı gümüşlü yüzeyine vardığında yüzde ellisi geçer (1 numaralı ışın) ve yüzde ellisi yansır(2 numaralı ışın). 1 ışını A' ve 2 ışını A aynasında yansıdıktan sonra O noktasında tekrar birleşerek D dürbününe girerler. OA' ve OA optik yolları eşit ise her iki ışın göze aynı fazda gelecek ve aydınlık bir girişim saçığı oluşturacaktır. M mikrometresi yardımı ile A aynası $\lambda/4$ kadar sağa kaydırılırsa 2 ışını 1 den $\lambda/2$ kadar daha uzun yol gitmiş olacağından göze zıt fazda gelirler ve birbirlerini söndürürler.



Şekil – II. 33 Michelson interferometresi (a)girişimin gözlenmesi, (b) gözlenen girişim paterni

Gerçekte A ve A' aynaları arasındaki açının 90° den biraz farklı olması ve ışık demetinin tek ışıdan ibaret olmaması dolayısıyla görüş alanında Şekil II.33.b' deki paralel ve eşit aralıklı aydınlık, karanlık girişim saçakları görülür. Dürbünün görüş alanında bir işaret çizgisi (İÇ) bulunsun. Başlangıçta işaret çizgisinin aydınlık bir girişim çizgisi ile çakışık bulunduğunu kabul edelim. A aynasının sağa veya sola doğru her $\lambda/2$ kadar kayması işaret çizgisi önünden bir aydınlık girişim saçığının geçmesine sebep olacaktır. Aynanın ΔL kadar kayması sonucu işaret çizgisi önünden N tane aydınlık saçak geçmiş ise II-20 eşitliği;

$$N \frac{\lambda}{2} = \Delta L \quad (\text{II.20})$$

yazılabilir. O halde ΔL biliniyorsa tekrenk ışığın dalga boyu, dalga boyu biliniyorsa ΔL uzunluğu bu bağıntıdan hesaplanabilir[17].

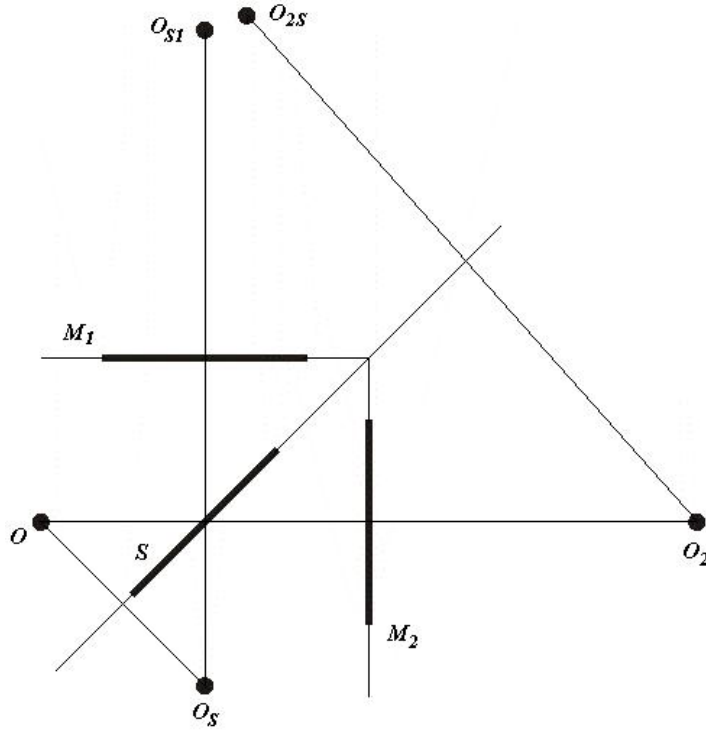
II.8.3. Michelson İnterferometresi İle Oluşturulan Girişim Deseninin Fiziksel Analizi

Michelson interferometresi ile monokromatik ışık kaynağı kullanıldığında birkaç çeşit girişim paterni oluşabilir. Bu girişim paternleri aydınlık karanlık düz çizgi, kavisli veya dairesel tipte olabilir. Bu duruma üç boyutlu bakılacak olursa rahatlıkla anlaşılabilir.

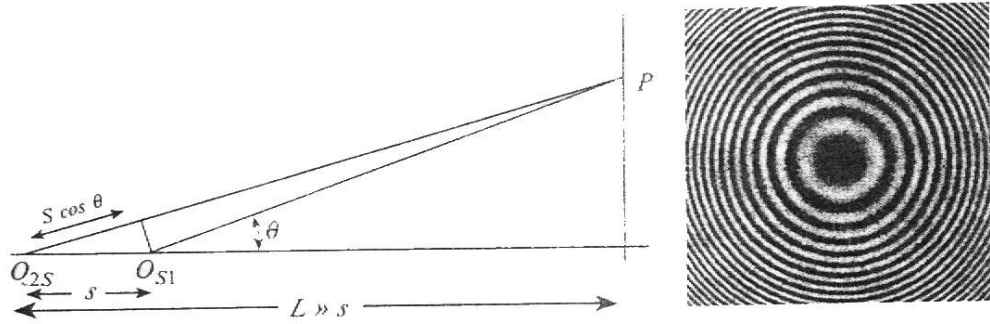
Şekil II.34'de aynaların kalınlığı ihmal edilmiştir, O noktasının S aynasına göre imajı O_s noktasında, M_2 aynasına göre imajı ise O_2 noktasında oluşacaktır. O_s noktasının M_1 aynasına göre imajı O_{s1} noktasında oluşacaktır. O_2 noktasının S aynasına göre imajı O_{2s} noktasıdır. O_{s1} ve O_{2s} imajları girişim olayını ortaya çıkaran gerçek kaynaklardır.

Girişim O_{s1} ve O_{2s} 'i bir araya getirmekle rahatlıkla gözlenebilir. M_1 ve M_2 aynalarında çok küçük göreceli pozisyon ayarlamaları birini diğerinin arkasına düşürmeyi mümkün kılar. Saçakların farklı tipleri O_{s1} ve O_{2s} 'in göreceli pozisyonlarından ortaya çıkmaktadır ve saçakların skalaları O_{s1} ve O_{2s} 'nin açıklıklarına bağlıdır.

Eğer O_{s1} ve O_{2s} noktaları yan yana ise bu durum Young'ın deneyine benzer girişim deseni ortaya çıkarır (Şekil II.33); aydınlık karanlık düz saçaklar elde edilir. Bir başka durum ise O_{2s} noktasının O_{s1} 'in önünde veya arkasında olmasıdır. Yapıcı ve yıkıcı girişimin yönü O_{s1} ve O_{2s} çizgisinin etrafında yayılır[18] (Şekil II.35).



Şekil-II.34 Michelson interferometresinin ışın yolu gösterimi



Şekil-II.35 Dairesel girişim paterninin oluşumu

BÖLÜM III

DENEYDE KULLANILAN CİHAZ, SİSTEM VE MALZEMLERİN TEMİNİ VE DENEY YAPIM AŞAMALARI

III.1 GİRİŞ

Denek maddelerde sıcaklığa bağlı yer değişimi ölçümü hedefleyen bu çalışmada seçilen yöntem gereği optik elemanlara, ortamda istenilen sıcaklık değişimini sağlayacak laboratuvar tipi bir fırına ve oluşturulacak girişim desenini analiz edecek elektronik bir devreye ihtiyaç duyulmuştur. Sistemin yapımı aşamasında maliyet unsuru göz önünde bulundurulmuş ve maliyeti düşük ürünlerin seçimi yoluna gidilmiştir. Tasarlanan yer değişimi ölçüm sistemi üç ana kısımdan oluşmaktadır.

- Endüstriyel Fırın
- Michelson İnterferometresi
- Elektronik Sayıcı

Sistemi oluşturan Michelson interferometresi ve Elektronik sayıcı devresi sisteme uygun olarak tasarlanmış ve laboratuvar ortamında üretilmiştir. Ayrıca tezin başlangıç aşamasında maliyetin düşük tutulması amacı ile laboratuvar tipi bir fırının üretilmesi amaçlanmış pirometre, ısı çifti, 1200°C fırın bloğu ve kontaktörlerden oluşan bir fırın gerçekleştirilmiş gerekli ısı yalıtımı istenildiği ölçüde gerçekleştirilmediğinden fırının temini yoluna gidilmiştir. Her bölüm ayrı ayrı gerçekleştirildikten sonra deney yapım aşamalarına geçilmiş, karşılaşılan olumsuz koşullar için çözüm yöntemleri geliştirilmiş ve yer değişim miktarı tespit edilmiştir.

III.2 DENEYDE KULLANILAN CİHAZ,SİSTEM VE MALZEMELERİN TEMİNİ VE TASARIMI

III.2.1. Endüstriyel Fırın

Denek malzemelerinin sıcaklık etkisi altında boyca uzamalarının tespiti amaçlanan bu çalışmada istenilen sıcaklık değişmelerini elde etmek için elektronik kontrolörü olan bir endüstriyel fırına ihtiyaç duyulmuştur. İstenilen sıcaklığa çıkabilecek ve elektronik olarak kontrol edilebilecek böyle bir sistem tasarlanmış ve eldeki imkanlarla gerçekleştirilmiştir. Fırına elektronik bir kontrol ünitesi kontaktör üzerinden bağlanmış ve set edilen sıcaklığa fırının iç ortamı çıkarılmıştır. K tipi bir ısı çifti ile de fırının iç sıcaklığı ölçülerek kontrol ünitesine elde edilen değerler bildirilmiştir. Böylelikle set edilen sıcaklığa gelindiğinde kontaktör vasıtası ile akım kesilmiştir. Gerçekleştirilen bu fırının dış ortamdan ısı yalıtımı tam olarak gerçekleştirilememiştir. Bunun yerine Şekil III.1’de görülen PID kontrol ünitesi olan sıcaklık yalıtımlı Furnace firmasının ürettiği 47900 kodlu endüstriyel bir deney fırını deney süresince kullanılmak üzere temin edilmiştir.



Şekil-III.1 PID kontrol üniteli endüstriyel fırın

III.2.2. Michelson İnterferometrik Sistemi

Gerçekleştirilecek sistemde kullanılmak üzere daha önceden de belirtilen sebeplerden Michelson interferometrik sistemi seçilmiştir. Bu sistemin eldeki imkanlar kullanılarak yapılmasına karar verilmiştir. Endüstriyel fırının yapısına uygun olarak Michelson interferometrik sistemi geliştirilerek yapılmıştır.

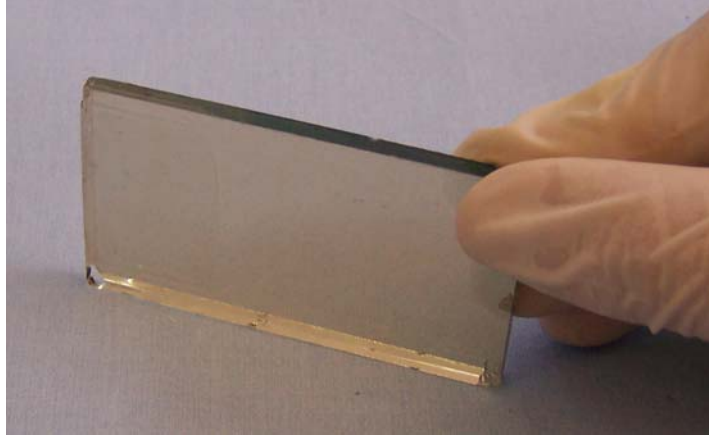
III.2.2.1. Michelson İnterferometrik Sisteminde kullanılan malzemelerin seçimi ve özellikleri

1-Lazer: Lazerler noktasal ışın veren çıkış güçleri LED'lere göre daha yüksek olan ışık kaynaklarıdır. Literatürde Michelson interferometrik sisteminde kullanılmak üzere He-Ne lazeri önerilmektedir[14]. Gerçekleştirilen sistemde temin edilebilirliğinin kolaylığı ve maliyetinin düşük olması sebebiyle He-Ne lazeri yerine yarıiletken lazerinin kullanılmasına karar verilmiştir. Sistemde kullanılan yarı iletken lazerin, (Şekil III.2) dalga boyu 680 nanometre civarındadır.



Şekil-III.2 Yarı iletken lazer

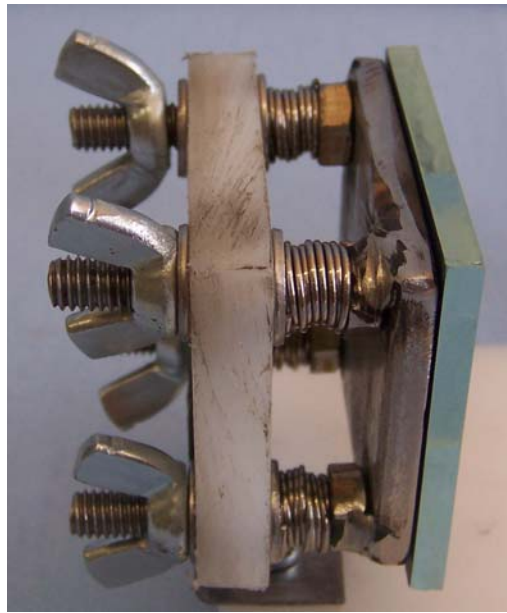
2-Işın Bölücü: Işın bölücü Şekil III.3'de görüldüğü gibi camın özel olarak kaplanması ile elde edilen optik bir elemandır. Üzerine uygulanan ışık ışınının belli bir oranda geçirir, belli bir oranda ise yansıtır. Bu yöntemle gelen ışını ikiye ayırma özelliği vardır.



Şekil-III.3 Işın bölücü

Gerçekleştirilen Michelson interferometrik sisteminde lazer ışını %50-%50 oranında iki ışın demetine bölme işlevi vardır. Farklı uygulamalar için camın kaplama yoğunluğu değiştirilerek ışın farklı oranlarda da bölünebilir sistemde denek aynasına ve referans aynaya 45° derece duracak şekilde yerleştirilmiştir. Böylelikle kendine gelen lazer ışını ikiye ayırarak birbirlerine 90° derecelik açıyla duran referans aynaya ve denek aynasına iletir. Aynalardan yansıyan ışın noktasal girişim deseni oluşmuş şekilde tekrar Işın bölücünün üzerinde oluşur. Bu ışın bundan sonraki aşamada iraksak merceğe ulaşır.

3-Referans Ayna: Referans ayna gümüşle kaplanmış ve üzerine gelen ışının tamamını geri yansıtıcı özelliği bulunmaktadır.(Şekil III.4)



Şekil-III.4 Ayarlanabilir referans ayna

Işın bölücü tarafından ikiye ayrılan ışının %50'si bu aynaya uygulanır. Bu aynada yer değişimi olmadığından sistemde referans olarak kullanılır. Girişim deseninin sağlıklı bir şekilde oluşturulabilmesi için denek ayna ile referans aynanın birbirlerine 90° açı yapacak şekilde durması gerekmektedir. Aynanın sabit ayarlanamayacak şekilde gerçekleştirilmesi durumunda girişim deseninin elde edilmesinde zorluklar gerçekleşmektedir veya girişim elde edilememektedir. Bu sorunu giderebilmek için referans ayna açısız olarak ayarlanabilir duruma geliştirilmiştir. İstenilen açısız ayarı yapabilmek için ayna metal bir yüzeye monte edilmiş ve metal yüzey 4 adet yaylı vida ile bağlanmıştır. Vida ayarları ile oynanarak yayların gerginliği, serbestliği sağlanmış dolayısıyla hassas açısız ayarlama gerçekleştirme imkanı oluşturulmuştur.

4-Denek Ayna: Denek aynası gümüşle kaplanmış tam yansıtıcılık özelliği bulunan aynadır. Boyca uzaması tespit edilecek denek malzeme üzerine yerleştirilmektedir. Referans aynaya 90° açıyla durabilmesi açısından denek malzemenin yüzeyi olabildiğince düzleştirilmiştir.

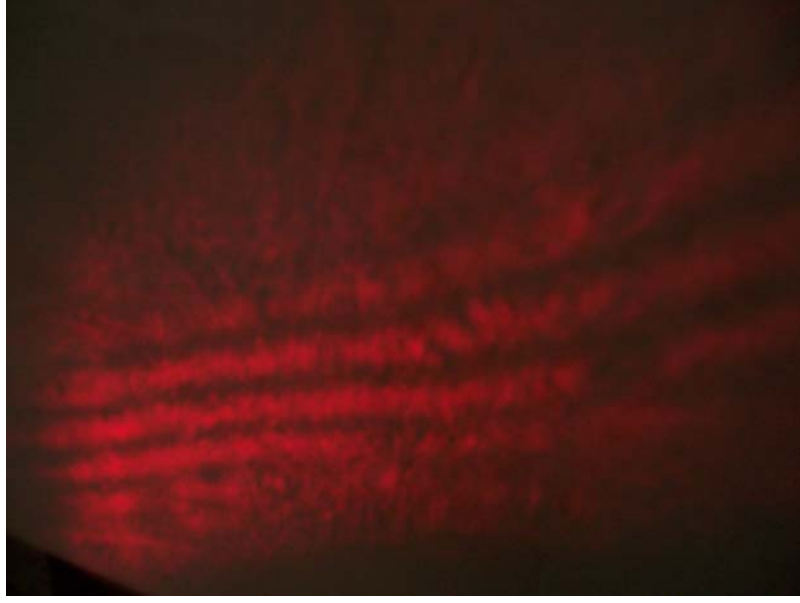
5-Mercek Grubu: Işın bölücü'den gelen noktasal girişim desenini gözle görülebilir ve foto algılayıcı devre tarafından algılanabilir duruma getirebilmek üzere kullanılmıştır.(Şekil III.5) Noktasal ışını büyüterek çıkışına vermektedir.



Şekil-III.5 Mercek grubu

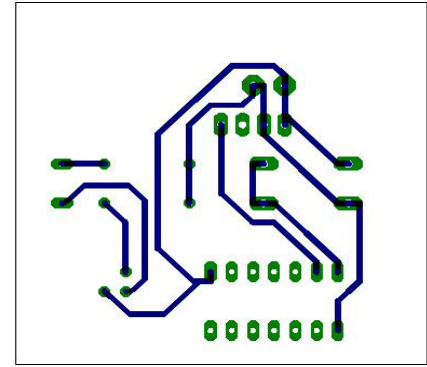
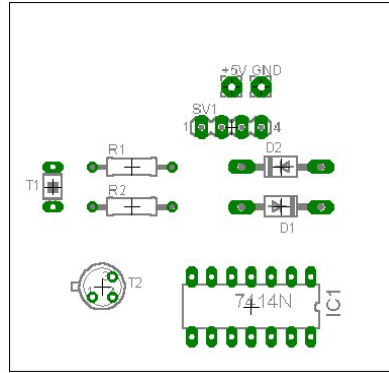
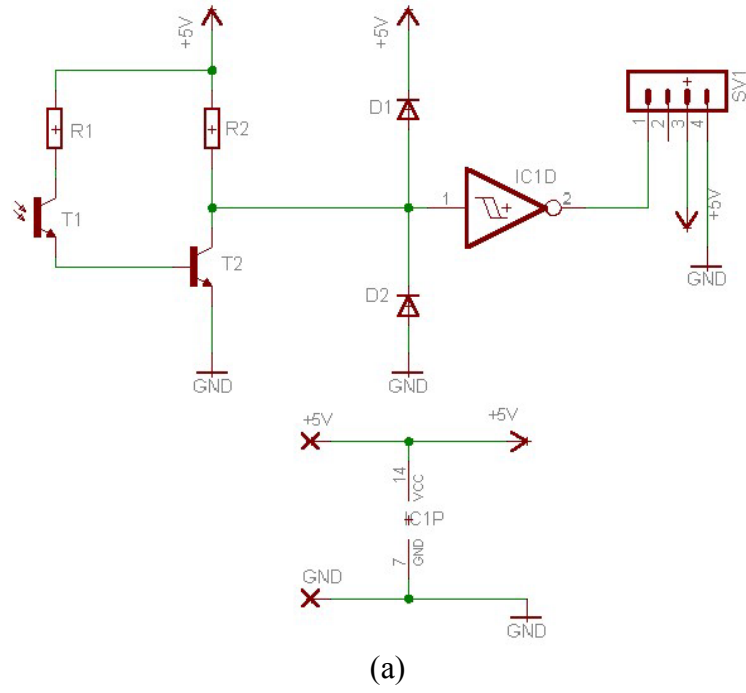
III.2.3. Elektronik Sayıcı Devresi

Elektronik sayıcı devresi mercek grubu tarafından büyütülmüş olan Şekil III.6'da gösterilen girişim desenini, elektroniksel olarak algılaya bilmek için tasarlanmıştır.



Şekil-III.6 Mercek Grubu tarafından büyütülen girişim deseni

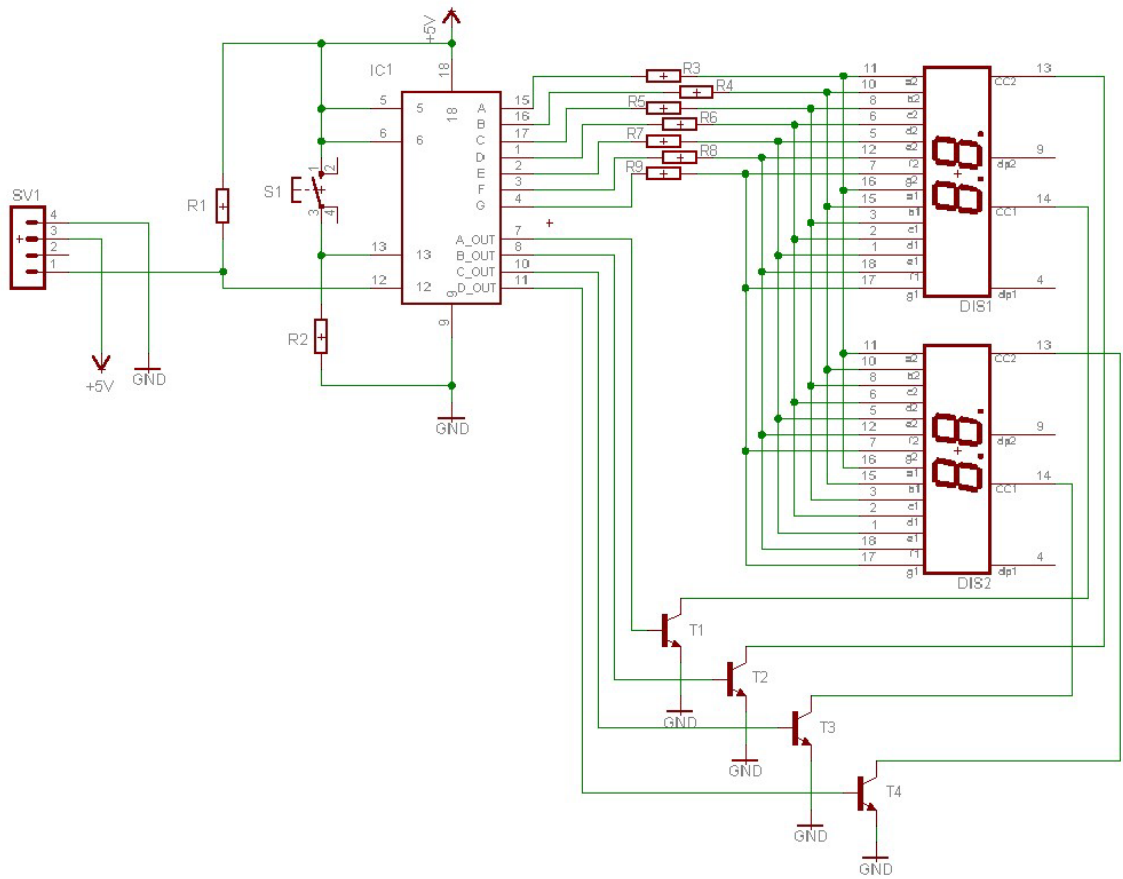
Tasarımda aydınlık karanlık bölgelerden oluşan girişim desenini elektriksel sinyale çevirebilmek için foto algılayıcı olarak foto transistor kullanılmıştır. Foto transistor girişim desenine dik olacak şekilde konumlandırılmıştır. Girişim deseninde deney sırasında gerçekleşen değişimler foto alıcı tarafından elektriksel sinyale çevrilmiştir. Elde edilen elektriksel sinyal düşük genlikte olduğundan kuvvetlendirilme ihtiyacı oluşmuştur. Bu işlem için 2N2222 BJT transistörü kullanılmıştır. Kuvvetlendirilen sinyal 74C14 Schmitt trigger entegresi ile 0-5 Voltluk dijital sinyale çevrilmiştir. Gerçekleştirilen elektronik algılayıcı devresinin şeması ve baskı devresi Şekil III.7’de görülmektedir. .



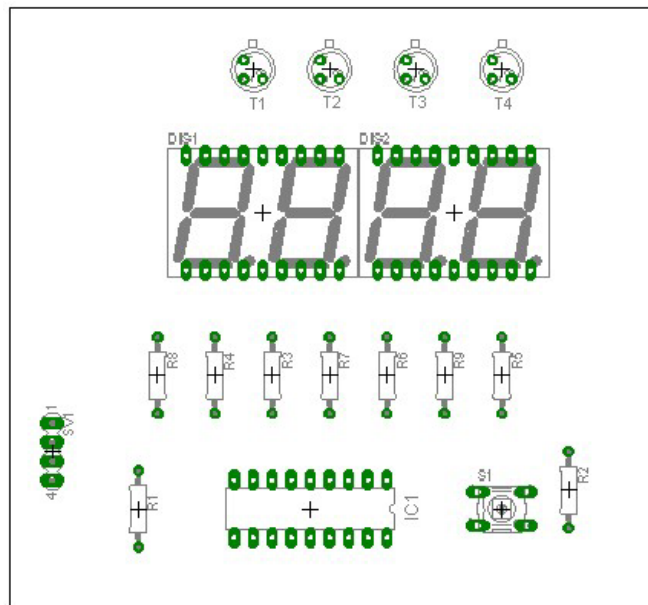
Şekil-III.7 Elektronik sayıcı devresi birinci bölümü (a) Algılama, yükseltme ve schmitt tetikleme katı devre şeması, (b) malzeme yerleşim planı ve (c) baskılı devre çizimi

Malzeme Listesi

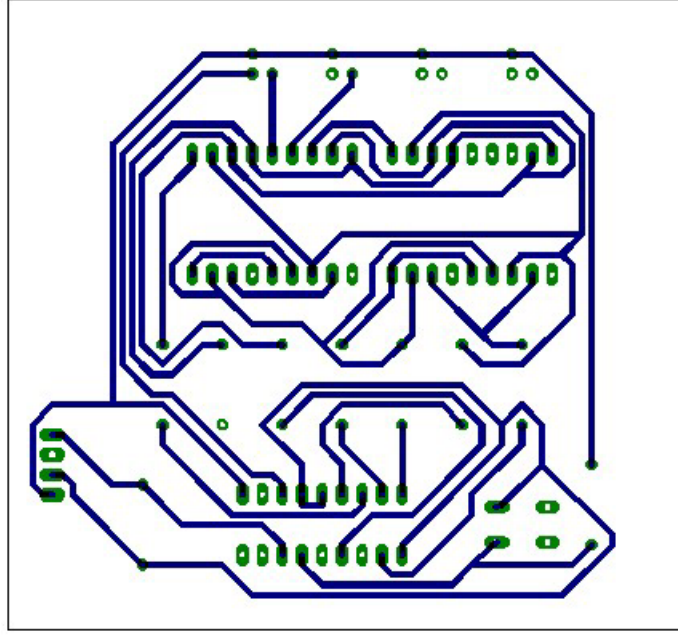
R1	560 Ω , $\frac{1}{4}$ watt direnç
R2	1 K Ω , $\frac{1}{4}$ watt direnç
T1	BPW17 fotodiyot
T2	2N2222 transistör
D1, D2	1N4001 diyot
IC1	74C14 Schmitt trigger



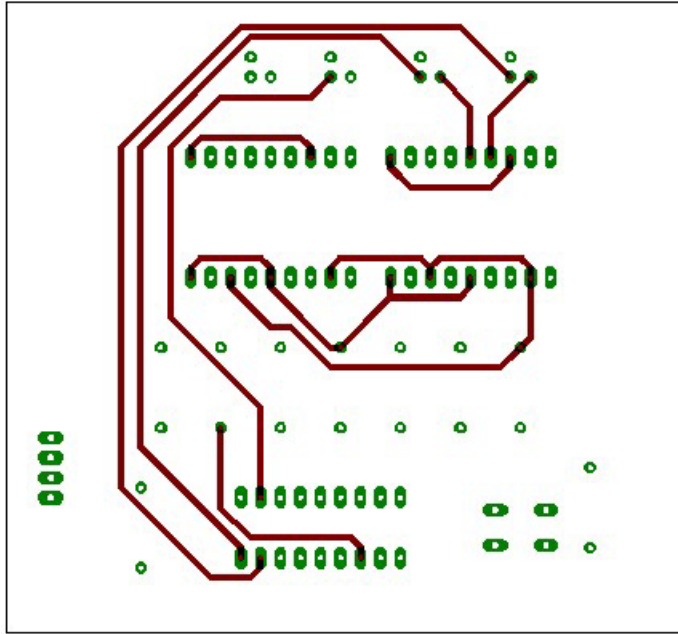
(a)



(b)



(c)



(d)

Şekil-III.8 Elektronik sayıcı devresi ikinci bölümü(a) sayıcı ve display katı devre şeması, (b) malzeme yerleşim planı, (c) baskılı devre alt yol çizimi ve (d) baskılı devre üst yol çizimi

Malzeme Listesi

R1	10 K Ω , 1/4 watt direnç
R2	100 K Ω , 1/4 watt direnç
R3-R9	330 Ω , 1/4 watt direnç
IC1	74C926 sayıcı entegresi
T1-T4	2N2222 transistör
DIS1-DIS2	HD-K123 7 segment ortak katot display
S1	Push buton

Ayrıca Schmitt trigger entegresi tarafından üretilmiş olan 0-5V'luk gerilim değerlerini sayabilmek için sayıcı katı tasarlanmıştır. Her bir 5V'luk sinyalin üretimi 340 nanometrelik yer değişimi sonucunda oluşacağından hızlı bir sayıcı entegresine ihtiyaç duyulmuştur. Katalog verilerinden yola çıkarak sayıcı entegresi olarak 74C926 seçilmiştir. Mevcut gereksinimler sonucu oluşturulan elektronik sayıcı sistemi algılayıcı ve kuvvetlendirici katı, Schmitt trigger katı, sayıcı katı olmak üzere üç kısımdan oluşmaktadır ve elde edilen sayma değeri yer değişimini bir fonksiyonudur.

III.3 DENEY YAPIM AŞAMALARI

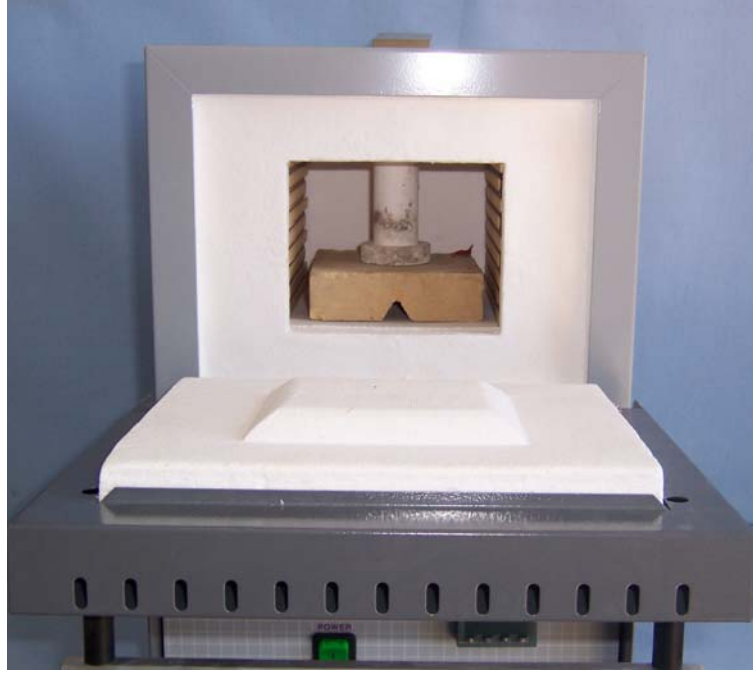
III.3.1. Yer Değişimi Ölçüm Sistemin Kurulması

1. Endüstriyel Fırının Deneye Hazır Hale getirilmesi

Ölçüm yapılmak istenen sıcaklık aralığında çalışmak üzere fırın 250°C'ye set edilmiştir. Enerji uygulanan fırının istenilen sıcaklığa çıktığı görülmüştür. Ayrıca kullanılan teknik gereği lazer ışını fırının içerisine gelecek şekilde fırının üst kısmındaki gözetleme deliğinin kullanılmasına karar verilmiştir.

2. Denek malzemenin fırın içerisine konulması

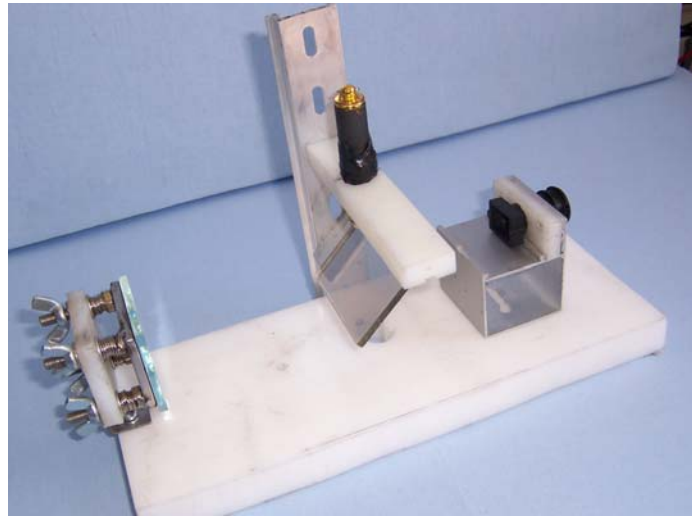
Denek malzeme daha önceden de belirtildiği gibi sadece boyca uzamasının gerçekleşebilmesi için seramik muhafaza içerisinde fırına yerleştirilmiştir. Denek malzemenin üst yüzüne fırın içine gelen lazer ışını yansıtmak üzere tam yansıtıcı ayna yerleştirilmiştir. Denek malzemenin Şekil III.9'daki gibi gözetleme deliğinin altına gelecek şekilde yerleştirilmesine dikkat edilmiştir. Böylelikle gelen lazer ışınının denek malzemeyi görmesi sağlanmıştır.



Şekil-III.9 Denek Metalin seramik muhafaza ile birlikte fırın içine yerleştirilmesi

3. Michelson interferometrik sisteminin deney sistemine dahil edilmesi

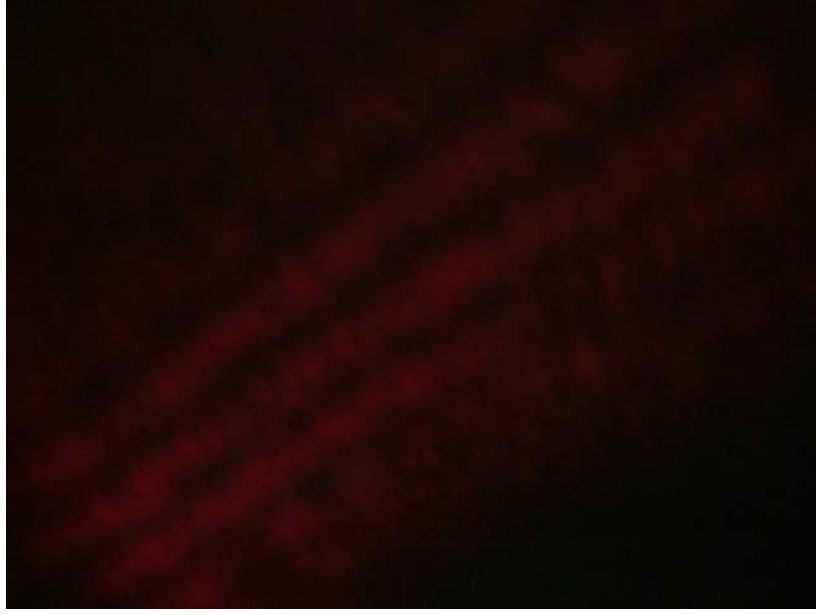
Şekil III.10'da görüldüğü gibi endüstriyel fırının yapısına uygun olarak tasarlanan Michelson interferometrik sistemi fırının üst yüzeyine yerleştirilmiştir. Üç boyutlu olarak tasarlanan interferometrik sistemin tabanına açılan delik sayesinde Işın bölücü'de ikiye bölünen lazer ışınının kollarından birinin tasarlanan şekilde fırının içerisine girmesi sağlanmıştır.



Şekil-III.10 Ölçüm sistemine uygun olarak tasarlanan Michelson interferometrik sistemi

4.Girişim deseninin elde edilmesi

Fırının ısıtılmasından ve deneyin yapılmasından önce girişim desenini sağlıklı bir şekilde elde edebilmek için referans ve denek aynasının birbirlerine 90° olacak şekilde ayarlaması yapılmıştır. Aynı zamanda iki aynaya eş uzaklıkta bulunan Işın bölücü'de bu iki aynaya 45° olması için gerekli ayarlamalar yapılmıştır. Lazere enerji uygulandıktan sonra mercekle grubunda büyütülen ışının incelenbilmesi için beyaz bir zemin üzerine düşürülmüştür. Referans aynada bulunan yaylı vidalarla gerekli ince ayarlamalar yapılarak Şekil III.11'deki girişim deseninin oluşması sağlanmıştır.



Şekil-III.11 Girişim deseni

Oluşan girişimde ortam etkisinden kaynaklanan sapmalar bulunduğu gözlenmiştir. Bu sapmalar girişim deseninde istenmeyen titreşimler olarak ortaya çıkmıştır.

III.3.2. Sistemdeki Titreşimin Giderilmesi

Oluşan titreşimi engellemek için zemine dikeydeki titreşimleri kesmesi için lastik ve üzerine yataydaki titreşimleri engellemesi için mermer blok konulmuştur. Ayrıca dış hareketlerin en az olduğu akşam saatleri çalışma yapmak üzere seçilmiştir. Sonuç olarak titreşimin bu yöntemler kullanılarak akşam saatlerinde en aza indiği görülmüştür. Furnace 47900 kodlu fırın, Michelson interferometresi, saçak sayıcı elektronik devreden oluşan sıcaklığa bağlı uzama miktarı ölçme sistemi Şekil III.12'de görülmektedir.



Şekil-III.12. Denek malzemelerin sıcaklığa bağlı boyca uzamalarını ölçme sistemi

BÖLÜM IV

SONUÇLAR

Yapılan çalışmada sıcaklık değişimi altında interferometrik metot kullanılarak denek malzemenin boyca uzaması tespit edilmiştir. Denek olarak ısıl genleşme katsayısı yüksek olan 89 mm boyunda Alüminyum metali ve 80 mm boyunda polyamit seçilmiştir. Farklı sıcaklık aralıklarında yapılan çeşitli deneylerde bu çalışma için tasarlanmış elektronik sayıcı devresi kullanılmıştır. Elektronik sayıcı devresi, yine bu çalışma için tasarlanmış Michelson interferometresi tarafından oluşturulan girişim desenini analiz etmektedir. Denek metal ve polyamit ısıtıldığında sabit girişim deseni metalin ve polyemitin genleşmesi sonucu kaymaya uğramakta bu sayede denek metaldeki ve polyemitteki yer değişimi ölçülebilmektedir.

Saçak sayıcı elektronik devreden alınan sayma sonuçları;

$$\Delta L_{ölçülen} = \frac{\lambda}{2} N \quad (IV.1)$$

IV.1 nolu formülü Alüminyum ve polyemitteki uzama miktarını bulmakta kullanılmıştır. Elde edilen sonuçlardan Alüminyum ve Polyemitte ışığı yansıtmak için kullanılan aynanın uzama miktarı çıkarılmıştır. Ölçüm sonucu elde edilen bu veriler;

$$\Delta L_{hesaplanan} = L_1 \alpha \Delta t \quad (IV.2)$$

IV.2 nolu formülü ile hesaplanan teorik sonuçlarla karşılaştırılmıştır.

Pratik ölçme sonuçları ile teorik sonuçlar kullanılarak ölçmede yapılan hata oranları

IV.3 mutlak hata eşitliği ve IV.4 bağıl hata eşitliği ile bulunmuştur.

$$\Delta X = X_{ölçülen} - X_{hesaplanan} \quad (IV.3)$$

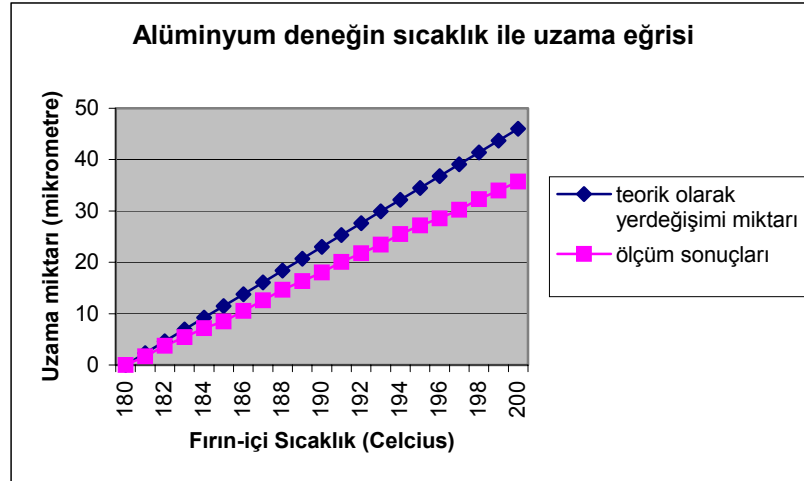
$$\beta = \frac{X_{ölçülen} - X_{hesaplanan}}{X_{hesaplanan}} \quad (IV.4)$$

ΔX 'in ters işaretli değerine düzeltiliş(δ) denir ve IV.5 eşitliği ile bulunur.

$$\delta = -\Delta X = X_{hesaplanan} - X_{ölçülen} \quad (IV.5)$$

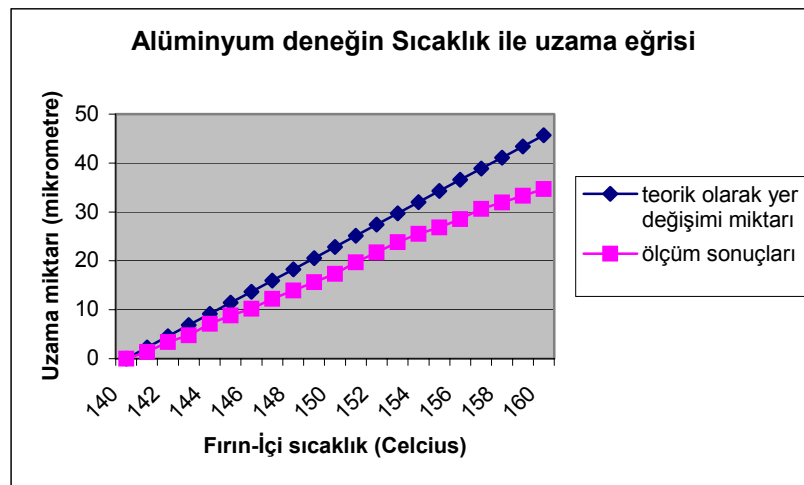
Başlangıç ölçümlerinde elde edilen sapma sonuçları %24'lerdeyken sistemde yapılan düzeltmeler ile sapma sonuçları %2'ler düzeyinde elde edilmiştir. Sistemde sıcaklık düzeltmesi yapılmadan önceki sıcaklık-yer değişimi bağıntısını gösteren grafikler Şekil IV.1 ve Şekil IV.2'de görülmektedir.

IV.1 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.1.'e ait pratik ölçüm sonucu 35,7 μm , IV.2 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.1.'e ait teorik hesaplama sonucu 46 μm 'dir. $\Delta X = -10,3 \mu\text{m}$; $\delta = 10,3 \mu\text{m}$ ve $\beta = -0,223$ ve yüzde olarak bağıl hata %22,3'tür.



Şekil-IV.1 Sıcaklık düzeltmesi yapılmadan önceki 180-200°C aralığında teorik verilerle karşılaştırılmış Alüminyum denek sıcaklık uzama eğrisi

IV.1 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.2.'e ait pratik ölçüm sonucu 34,68 μm , IV.2 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.2.'e ait teorik hesaplama sonucu 45,7 μm 'dir. $\Delta X = -11,02 \mu\text{m}$; $\delta = 11,02 \mu\text{m}$ ve $\beta = -0,241$ ve yüzde olarak bağıl hata %24,1'dir..



Şekil-IV.2 Sıcaklık düzeltmesi yapılmadan önceki 140-160°C aralığında teorik verilerle karşılaştırılmış Alüminyum denek sıcaklık uzama eğrisi

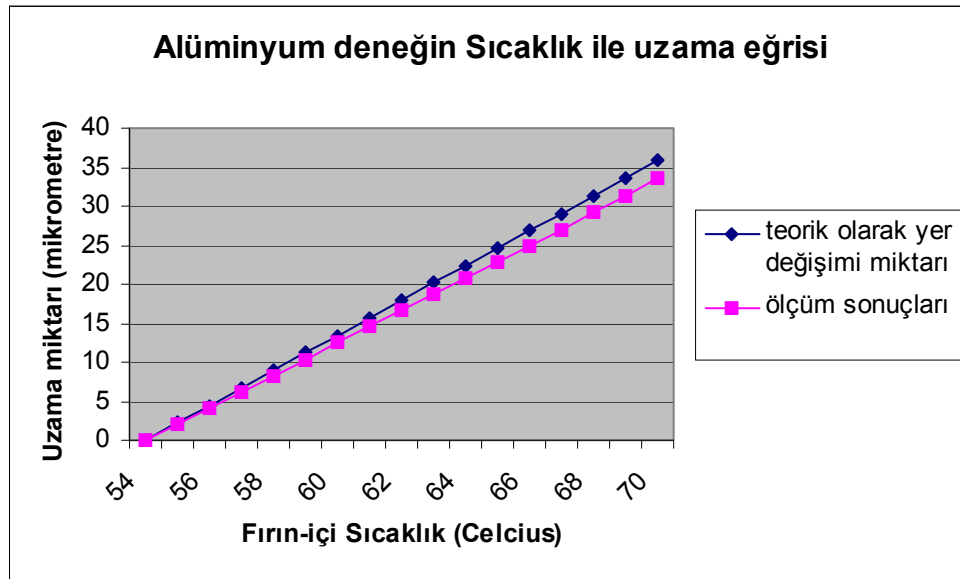
Teorik hesaplamalara göre ölçüm sonuçlarındaki bu sapmaların ağırlıklı olarak sıcaklık bilgisinin yanlış alınması olduğu düşünülmüştür. Bunun üzerine denek metalin sıcaklık artışının fırın için sıcaklık artışı ile eşit olmadığı düşünülmüş ve denek tutucuya dışarıdan delik açılmak suretiyle MS8226 DMM kodlu dijital ölçü aletinin ısı çifti bağlanmış ve ayrıca denek metalden sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Denek metaldeki sıcaklık artışı ile fırın içi sıcaklığının aynı olmadığı görülmüştür. Denek metaldeki sıcaklık artışı fırın içi ortamdaki sıcaklık artışının gerisinde kalmıştır. Bunun üzerine yeni hesaplamalar metal yüzeyinden alınan sıcaklık bilgisine göre yapılmış ve sonuçların teorik hesaplamalar ile uyumlu olduğu görülmüştür.

Metal yüzeyinden alınan sıcaklık bilgisine göre elde edilen grafikler Şekil IV.3 ve Şekil IV.4'de görülmektedir.

IV.1 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.3.'e ait pratik ölçüm sonucu 33,66µm,

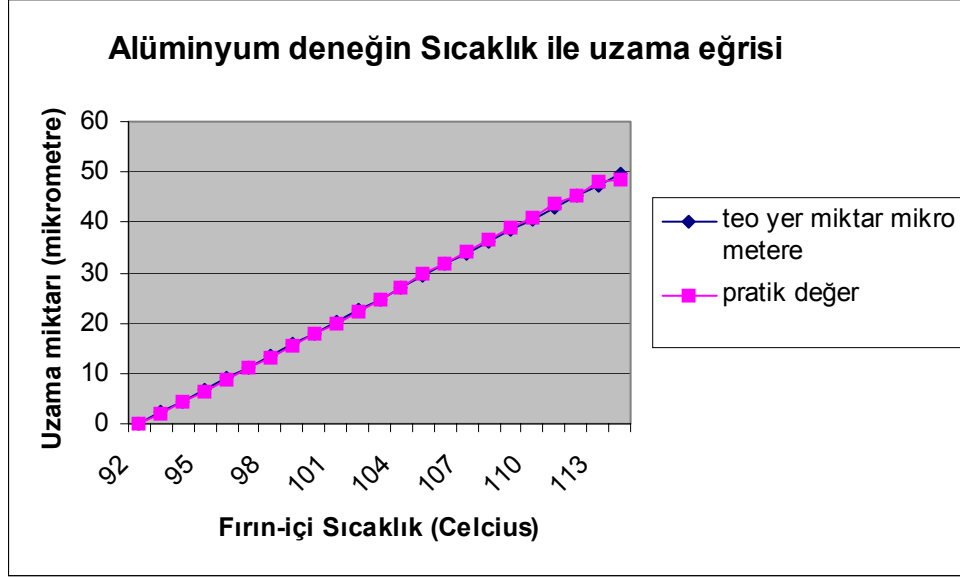
IV.2 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.3.'e ait teorik hesaplama sonucu 35,8µm'dir.

$\Delta X = -2,14 \mu\text{m}$; $\delta = 2,14 \mu\text{m}$ ve $\beta = -0,059$ ve yüzde olarak bağıl hata %5,9'dur.



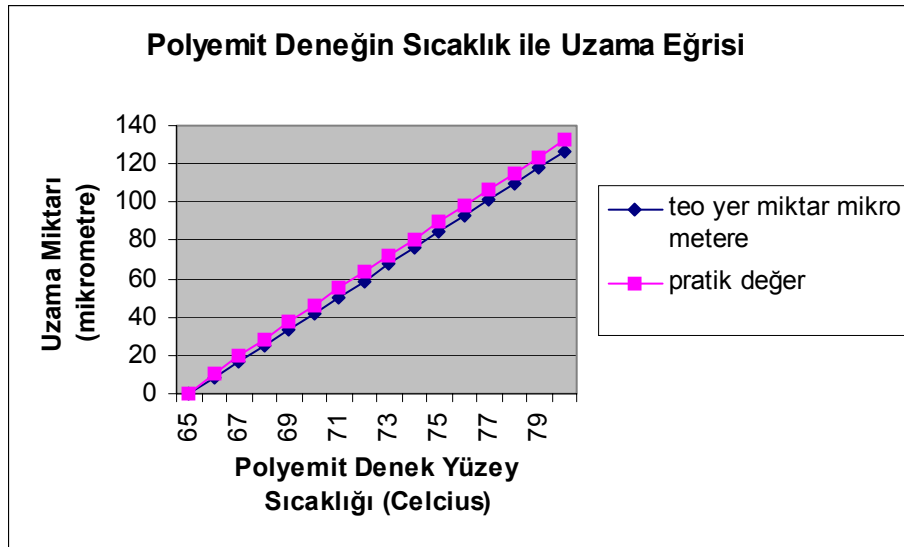
Şekil-IV.3 Metal yüzeyinden alınan sıcaklık bilgisi ile 54-70°C aralığında teorik verilerle karşılaştırılmış Alüminyum denek sıcaklık uzama eğrisi

IV.1 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.4.'e ait pratik ölçüm sonucu $48,62\mu\text{m}$,
 IV.2 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.4'e ait teorik hesaplama sonucu $49,66\mu\text{m}$ 'dir.
 $\Delta X = -1,04\mu\text{m}$; $\delta = 1,04\mu\text{m}$ ve $\beta = -0,02$ ve yüzde olarak bağıl hata %2'dir



Şekil-IV.4 Metal yüzeyinden alınan sıcaklık bilgisi ile 92-113°C aralığında teorik verilerle karşılaştırılmış Alüminyum denek sıcaklık uzama eğrisi

IV.1 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.5.'e ait pratik ölçüm sonucu $132,26\mu\text{m}$,
 IV.2 nolu formülle hesaplanan Şekil-IV.5'e ait teorik hesaplama sonucu $126,39\mu\text{m}$ 'dir.
 $\Delta X = 5,87\mu\text{m}$; $\delta = -5,87\mu\text{m}$ ve $\beta = 0,0464$ ve yüzde olarak bağıl hata %4,64'dir



Şekil-IV.5 Polyemit yüzeyinden alınan sıcaklık bilgisi ile 65-80°C aralığında teorik verilerle karşılaştırılmış Polyemit denek sıcaklık uzama eğrisi

Sonuç olarak;

1. Bu çalışma ile laboratuvar ortamında Michelson interferometresi seçilen optik elemanlarla yapılarak yer değişimi ölçümüne uygun hale getirilmiştir.
2. Yer değişimi ölçmek için Michelson interferometresi tarafından üretilen girişim deseninin analizi için elektronik saçak sayıcı devre tasarlanmış ve gerçekleştirilmiştir.
3. Furnace 47900 kodlu sıcaklık kontrollü fırın, Michelson interferometresi, elektronik saçak sayıcı devreden oluşan sistem ile Alüminyum metalin ve polyemitin belirli sıcaklık aralıklarında genleşmesi sonucu oluşan yer değişikliği ölçülmüştür.
4. Elde edilen sonuçlara bakıldığında fırın içi sıcaklık ile metal sıcaklığı aynı olmadığı görülmüştür. Bu sorunu gidermek için denek tutucuya delik açılmak sureti ile MS8226 DMM kodlu dijital ölçü aletinin ısıl çifti bağlanmış ve denek metalden sıcaklık ölçümleri alınmıştır. Elde edilen ölçüm sonuçları ile teorik veriler arasında %2'ler civarında fark olduğu gözlenmiştir. Meydana gelen bu farkın sebepleri tartışma ve değerlendirme bölümünde ele alınacaktır.
5. Alüminyum ve Polyemit denek malzemeleri boyca uzamaları geniş bir sıcaklık aralığında ölçülememiştir. Bunun sebebi ise deneyde kullanılan Furnace 47900 tipi fırının kontaktörlerinin fırını ısıtmak için devreye giriş anlarında sisteme sistem içinden titreşim gürültüsü eklenmesi ve ölçümleri büyük oranda etkilemesidir.

BÖLÜM V

TARTIŞMA VE DEĞERLENDİRME

Gerçekleştirilen sistemde Michelson interferometrik yöntemi kullanılarak metal ve plastik türü endüstriyel malzemelerin belirli bir sıcaklık değişimi altında uzama miktarları ölçülmektedir. Ölçülen Alüminyum metali ile polyemitin uzama miktarının belirlenmesi sistemde oluşturulan girişim deseninin analizi sonucu mümkün olmaktadır. Deneklerin sıcaklık etkisi altında boyca uzamasının ölçülmesi oluşturulan girişim deseninin aydınlık saçaklarının elektronik devre ile sayılması sonucu bulunmaktadır.

Kullanılan endüstriyel fırın hariç tümüyle laboratuvar ortamında tasarlanan ve üretilen ölçüm sistemi oldukça düşük maliyetli olarak gerçekleştirilmiştir. Sistemin kurulması esnasında karşılaşılan olumsuz durumlar en uygun ve pratik çözümler bulunarak giderilmeye çalışılmış ve bunda önemli ölçüde başarılı olunmuştur.

İnterferometrik ölçüm yöntemi sunduğu yüksek hassasiyet imkanı ile birlikte ölçüm sistemin sağlıklı çalışabilmesinde bir takım olumsuzlukları da beraberinde getirmektedir. Bu olumsuzluklar biri oluşturulan girişim deseninde dış hareketlere bağlı titreşimlerin oluşmasıdır. Bu olay sisteme gürültü etkisi olarak yansımaktadır. Bu çalışmada geliştirilen yöntemle bu titreşim etkisi en aza indirilmiş belli durumlarda ortadan kaldırılabilmıştır. Dış etkilere bağlı titreşimi en aza indirmek için ölçüm sisteminin zeminine lastik ve mermer blok ilave edilmiştir. Bu sayede titreşim en aza indirilmiştir. Dış hareketlerin azaldığı akşam saatlerinde ise titreşimin şiddetli etkiler hariç oluşmadığı görülmüştür. Bu etkiyi tamamen ortadan kaldırmak için interferometrik deneylerde kullanılan optik masanın sistemde kullanılması yararlı olacaktır. Ayrıca deneyin vakum ortamında yapılması ile de dış titreşimin önüne geçilebilecektir.

Sistemde oluşan bir diğer titreşim gürültüsü ise dahili titreşimdir. Denekleri ısıtmak için kullanılan Furnace 47900 tipi fırının kontaktörleri iç ortamı ısıtmak için devreye girdiklerinde dahili bir sistem için yüksek şiddetli titreşim oluşmaktadır. Bu

sorunu mevcut sistemle gidermek mümkün olmadığından kontaktörlerin devrede olmadığı aralıklarda ölçümler alınmıştır. Bu sayede yüksek doğrulukta ölçümler alınmasının yanı sıra ölçüm aralıkları kısıtlı olmuştur.

Ölçümler sırasında karşılaşılan problemlerden biri de ısınan fırının içerisinde bulunan su buharının gözetleme deliğinden çıkarak ışın bölücünün yansıtıcılığını ortadan kaldırmasıdır. Bu sorunu gidermek için deneyin vakum ortamında gerçekleşmesi yararlı olacaktır.

Ayrıca yarı iletken lazer bu tür bir deney için yeteriyken ölçüm hassasiyetini artırmak için dalga boyu kesin olarak bilinen bir He-Ne lazeri ölçüm sonuçlarını geliştirecektir.

Elektronik devre ile birlikte sistemi geliştirmek için yüksek algılama hızı olan bir ADC kart kullanılarak ölçüm verileri bilgisayarda işlenebilir. Bu tez çalışması sırasında PCL 711-B ADC kartı denenmiş sayıcı bloğu gelişkin olmayan bu kart girişim desenindeki değişimleri takip etmede ve algılamada yeterli olmamıştır. Daha yüksek hızda dahili sayıcı bloğu olan bir ADC kart ile girişim desenini bilgisayar ortamında analiz etmek mümkün olacaktır.

Elektronik saçak sayıcı devre yerine ölçmede kullanılacak yeni bir yöntem, oluşturulan girişim deseninin video işleme ile analiz edilmesi ve ölçüm sonuçlarının bilgisayar ortamına aktarılması temeline dayandırılabilir.

KAYNAKLAR

- [1] Pastacı, H.: “Elektrik ve Elektronik Ölçmeleri”, İstanbul, Türkiye, (2000)
- [2] Korkmaz, H.: “Sıcaklık ve Vakum Oranı Kontrol Edilebilen Laboratuvar Tipi Bir Fırının Tasarlanması ve Gerçekleştirilmesi”, *Doktora Tezi*, Marmara Üniv.Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul, Türkiye, (2002)
- [3] www.microepsilon.com (Erişim Tarihi: Haziran 2005)
- [4] Gürdal, O.: “Algılayıcılar ve Dönüştürücüler”, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara, Türkiye, (2000)
- [5] www.omron.com (Erişim Tarihi: Nisan 2005)
- [6] www.linseis.com (Erişim Tarihi: Mayıs 2005)
- [7] www.anter.com (Erişim Tarihi:Mayıs 2005)
- [8] www.mtiinstruments.com (Erişim Tarihi: Ocak 2005)
- [9] Masuda, K.,Erksine, D., Anderson, O., L., “Differential Laser-interferometer Thermal Expantion Measurements”, *American Metalurgist*, Volume 85, Pages:279-282,(2000)
- [10] Suska, J., “Thermal Expansion Measurement on Bar-shaped Materials”, *Physikalish-Teshnische Bundesanstalt*, 1997
- [11] Zagar, B.G., “A Lazer Interferometer measuring Displacement with Nanometer Resolution”, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Vol.43,No:2 April, 1994,pp:332-336.
- [12] Demarest, F. C., “High-resolution, high-speed, low data age uncertainty, heterodynedisplacement measuring interferometer electronics”, *Meas. Sci. Tecnology* 9, 1998
- [13] Zhang, K., Butler, C., Yang, Q., “A fiber optic Sensor for the Measurement of Surface Roughness and Displacement Using Artificial Neural Networks”, *IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement*, Vol.46,No:4 August, 1997,pp:899-902.
- [14] Musayev, E., “ Optoelektronik Devreler ve Sistemler”, Birsen Yayınevi İstanbul,Türkiye, (1999)
- [15] Wilson J., Hawkes J.F.B., “ Optoelektronik ”, Çev. Okur İ, Değişim Yayınları, Adapazarı,Türkiye, (2000)
- [16] <http://www.vishay.com/document/81516/81516.pdf> (Erişim Tarihi: Aralık 2004)

- [17] Ertaş İ., “ Denel Fizik Dersleri ”, Cilt II, Ege Üniversitesi Basımevi, İzmir, Türkiye, **(1996)**
- [18] Lipson, SG., “ Optical Physics ”, Cambridge University Press, **(1995)**

EK 1

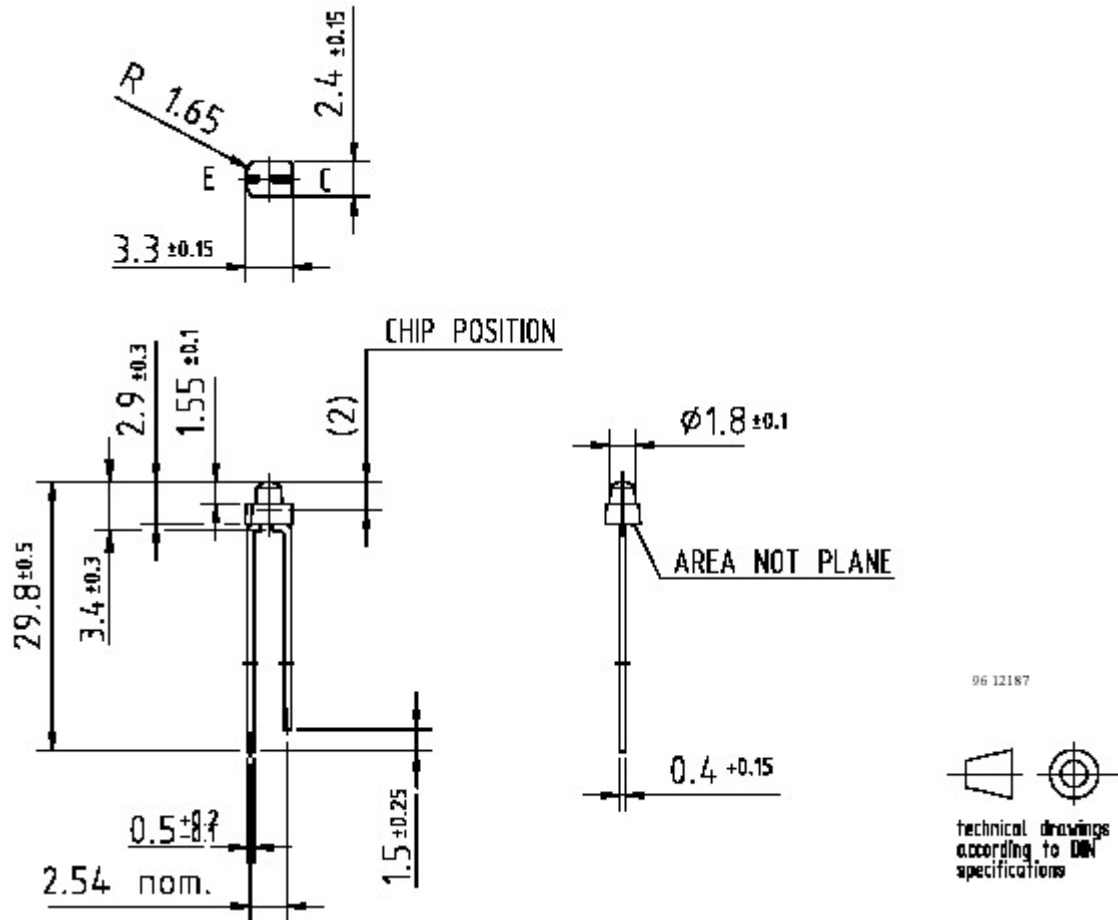
BPW17N Silikon NPN fototransistör[16]

Basic Characteristics

$T_{amb} = 25^{\circ}\text{C}$

Parameter	Test Conditions	Symbol	Min	Typ	Max	Unit
Collector Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1 \text{ mA}$	$V_{(BR)CE}$	32			V
Collector Dark Current	$V_{CE} = 20 \text{ V}, E = 0$	I_{CEO}		1	200	nA
Collector Emitter Capacitance	$V_{CE} = 5 \text{ V}, f = 1 \text{ MHz}, E = 0$	C_{CEO}		8		pF
Collector Light Current	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950 \text{ nm}, V_{CE} = 5 \text{ V}$	I_{ca}	0.5	1.0		mA
Angle of Half Sensitivity		ϕ		± 12		deg
Wavelength of Peak Sensitivity		λ_p		825		nm
Range of Spectral Bandwidth		$\lambda_{0.5}$		620...960		nm
Collector Emitter Saturation Voltage	$E_e = 1 \text{ mW/cm}^2$, $\lambda = 950 \text{ nm}, I_C = 0.1 \text{ mA}$	V_{CEsat}			0.3	V
Turn-On Time	$V_S = 5 \text{ V}, I_C = 5 \text{ mA}$, $R_L = 100 \Omega$	t_{on}		4.8		μs
Turn-Off Time	$V_S = 5 \text{ V}, I_C = 5 \text{ mA}$, $R_L = 100 \Omega$	t_{off}		5.0		μs
Cut-Off Frequency	$V_S = 5 \text{ V}, I_C = 5 \text{ mA}$, $R_L = 100 \Omega$	f_c		120		kHz

Şekil/EK 1-a BPW17N fototransistörü temel karakteristikleri



Şekil/EK 1-b BPW17N fototransistörü fiziksel ölçüleri

EK 2

MM74C14 Schmitt Trigger[16]

DC Electrical Characteristics

Min/Max limits apply across the guaranteed temperature range unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CMOS TO CMOS						
V_{T+}	Positive Going Threshold Voltage	$V_{CC} = 5V$	3.0	3.6	4.3	V
		$V_{CC} = 10V$	6.0	6.8	8.6	
		$V_{CC} = 15V$	9.0	10.0	12.9	
V_{T-}	Negative Going Threshold Voltage	$V_{CC} = 5V$	0.7	1.4	2.0	V
		$V_{CC} = 10V$	1.4	3.2	4.0	
		$V_{CC} = 15V$	2.1	5.0	6.0	
$V_{T+} - V_{T-}$	Hysteresis	$V_{CC} = 5V$	1.0	2.2	3.6	V
		$V_{CC} = 10V$	2.0	3.6	7.2	
		$V_{CC} = 15V$	3.0	5.0	10.8	
$V_{OUT(1)}$	Logical '1' Output Voltage	$V_{CC} = 5V, I_O = -10 \mu A$ $V_{CC} = 10V, I_O = -10 \mu A$	4.5 9.0			V
$V_{OUT(0)}$	Logical '0' Output Voltage	$V_{CC} = 5V, I_O = 10 \mu A$			0.5	V
		$V_{CC} = 10V, I_O = 10 \mu A$			1.0	
$I_{IN(1)}$	Logical '1' Input Current	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 15V$		0.005	1.0	μA
$I_{IN(0)}$	Logical '0' Input Current	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V$	-1.0	-0.005		μA
I_{CC}	Supply Current	$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 0V/15V$		0.05	15	μA
		$V_{CC} = 5V, V_{IN} = 2.5V$ (Note 2)		20		
		$V_{CC} = 10V, V_{IN} = 5V$ (Note 2)		200		
		$V_{CC} = 15V, V_{IN} = 7.5V$ (Note 2)		600		
CMOS/LPTTL INTERFACE						
$V_{IN(1)}$	Logical '1' Input Voltage	$V_{CC} = 5V$	4.3			V
$V_{IN(0)}$	Logical '0' Input Voltage	$V_{CC} = 5V$			0.7	V
$V_{OUT(1)}$	Logical '1' Output Voltage	74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = -360 \mu A$	2.4			V
$V_{OUT(0)}$	Logical '0' Output Voltage	74C, $V_{CC} = 4.75V, I_O = 360 \mu A$			0.4	V
OUTPUT DRIVE (see Family Characteristics Data Sheet) $T_A = 25^\circ C$ (Short Circuit Current)						
I_{SOURCE}	Output Source Current (P-Channel)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = 0V$	-1.75	-3.3		mA
I_{SOURCE}	Output Source Current (P-Channel)	$V_{CC} = 10V, V_{OUT} = 0V$	-8.0	-15		mA
I_{SINK}	Output Sink Current (N-Channel)	$V_{CC} = 5V, V_{OUT} = V_{CC}$	1.75	3.6		mA
I_{SINK}	Output Sink Current (N-Channel)	$V_{CC} = 10V, V_{OUT} = V_{CC}$	8.0	16		mA

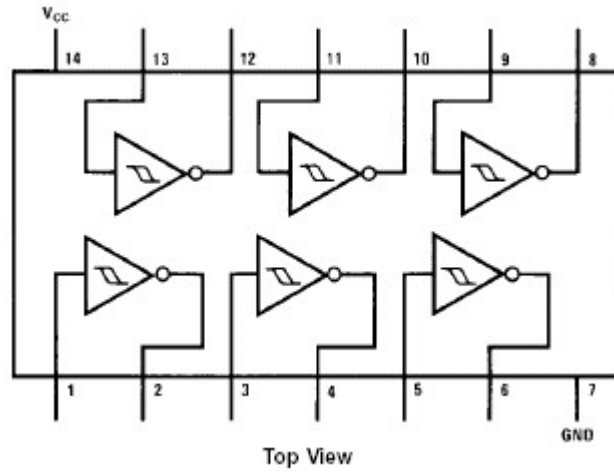
Şekil/EK2-a MM74C14 Schmitt Trigger DC elektrik karakteristikleri

AC Electrical Characteristics

$T_A = 25^\circ C, C_L = 50 \text{ pF}$, unless otherwise specified

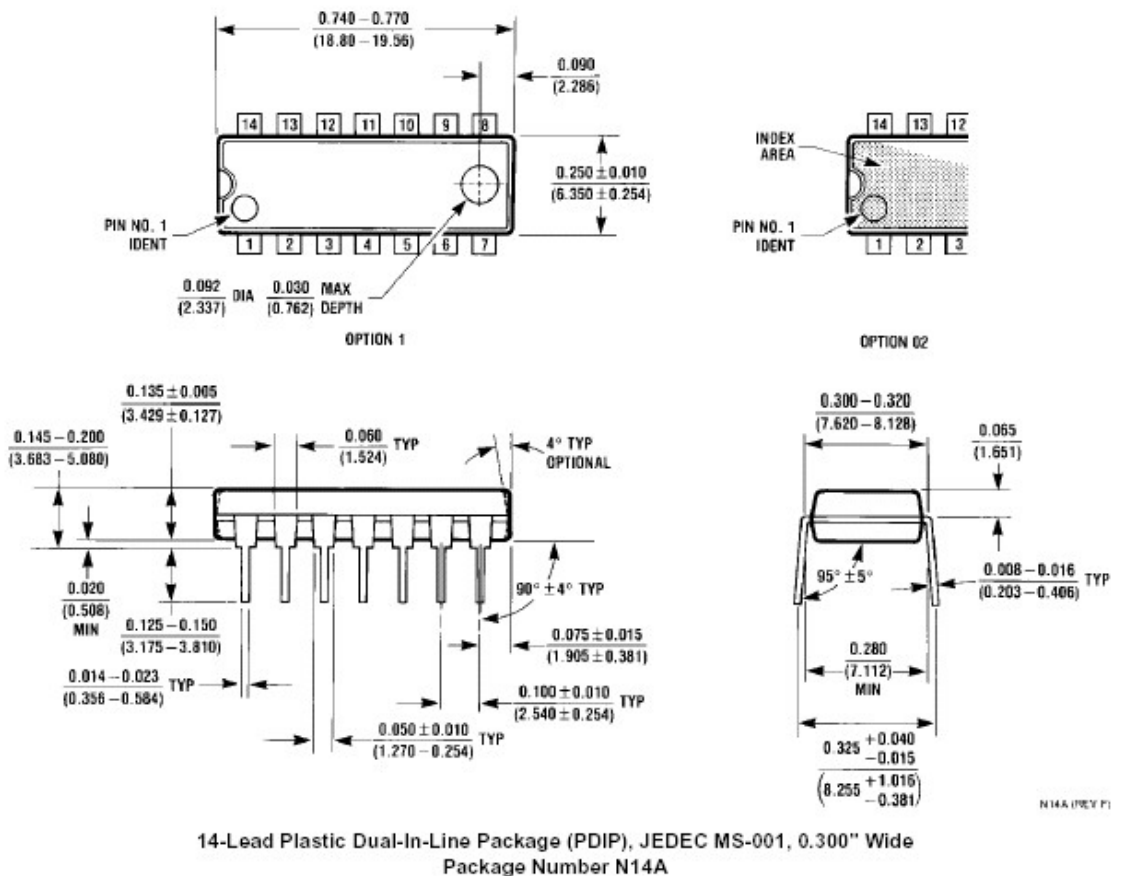
Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
t_{PD0}	Propagation Delay from Input to Output	$V_{CC} = 5V$		220	400	n
t_{PD1}		$V_{CC} = 10V$		80	200	ns
C_{IN}	Input Capacitance	Any Input (Note 4)		5.0		pF
C_{PD}	Power Dissipation Capacitance	Per Gate (Note 5)		20		pF

Şekil/EK2-b MM74C14 Schmitt Trigger AC elektrik karakteristikleri



Şekil/EK 2-c MM74C14 Schmitt Trigger bağlantı diyagramı

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



Şekil/EK2-d MM74C14 Schmitt Trigger fiziksel ölçüleri

EK 3

MM74C926 Sayıcı Entegresi

DC Electrical Characteristics

Min/Max limits apply at $-40^{\circ}\text{C} \leq t_{\text{c}} \leq 85^{\circ}\text{C}$, unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
CMOS TO CMOS						
$V_{\text{IN}(1)}$	Logical "1" Input Voltage	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$	3.5			V
$V_{\text{IN}(0)}$	Logical "0" Input Voltage	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$			1.5	V
$V_{\text{OUT}(1)}$	Logical "1" Output Voltage (Carry-Out and Digit Output Only)	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}, I_{\text{O}} = -10 \mu\text{A}$	4.5			V
$V_{\text{OUT}(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}, I_{\text{O}} = 10 \mu\text{A}$			0.5	V
$I_{\text{IN}(1)}$	Logical "1" Input Current	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}, V_{\text{IN}} = 15\text{V}$		0.005	1	μA
$I_{\text{IN}(0)}$	Logical "0" Input Current	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}, V_{\text{IN}} = 0\text{V}$	-1	-0.005		μA
I_{CC}	Supply Current	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}$, Outputs Open Circuit, $V_{\text{IN}} = 0\text{V}$ or 5V		20	1000	μA
CMOS/LPTTL INTERFACE						
$V_{\text{IN}(1)}$	Logical "1" Input Voltage	$V_{\text{CC}} = 4.75\text{V}$	$V_{\text{CC}} - 2$			V
$V_{\text{IN}(0)}$	Logical "0" Input Voltage	$V_{\text{CC}} = 4.75\text{V}$			0.8	V
$V_{\text{OUT}(1)}$	Logical "1" Output Voltage (Carry-Out and Digit Output Only)	$V_{\text{CC}} = 4.75\text{V}$, $I_{\text{O}} = -360 \mu\text{A}$	2.4			V
$V_{\text{OUT}(0)}$	Logical "0" Output Voltage	$V_{\text{CC}} = 4.75\text{V}, I_{\text{O}} = 360 \mu\text{A}$			0.4	V
OUTPUT DRIVE						
V_{OUT}	Output Voltage (Segment Sourcing Output)	$I_{\text{OUT}} = -65 \text{ mA}, V_{\text{CC}} = 5\text{V}, T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$ $I_{\text{OUT}} = -40 \text{ mA}, V_{\text{CC}} = 5\text{V}, T_{\text{J}} = 100^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{J}} = 150^{\circ}\text{C}$	$V_{\text{CC}} - 2$ $V_{\text{CC}} - 1.6$ $V_{\text{CC}} - 2$	$V_{\text{CC}} - 1.3$ $V_{\text{CC}} - 1.2$ $V_{\text{CC}} - 1.4$		V
R_{ON}	Output Resistance (Segment Sourcing Output) Output Resistance (Segment Output) Temperature Coefficient	$I_{\text{OUT}} = -65 \text{ mA}, V_{\text{CC}} = 5\text{V}, T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$ $I_{\text{OUT}} = -40 \text{ mA}, V_{\text{CC}} = 5\text{V}, T_{\text{J}} = 100^{\circ}\text{C}$ $T_{\text{J}} = 150^{\circ}\text{C}$		20 30 35 0.6	32 40 50 0.8	Ω Ω Ω $\%/^{\circ}\text{C}$
I_{SOURCE}	Output Source Current (Digit Output)	$V_{\text{CC}} = 4.75\text{V}, V_{\text{OUT}} = 1.75\text{V}, T_{\text{J}} = 150^{\circ}\text{C}$	-1	-2		mA
I_{SOURCE}	Output Source Current (Carry-Out)	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}, V_{\text{OUT}} = 0\text{V}, T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	-1.75	-3.3		mA
I_{SNK}	Output Sink Current (All Outputs)	$V_{\text{CC}} = 5\text{V}, V_{\text{OUT}} = V_{\text{CC}}, T_{\text{J}} = 25^{\circ}\text{C}$	1.75	3.6		mA
θ_{JA}	Thermal Resistance	MM74C925: (Note 2) MM74C926, MM74C927, MM74C928		75 70	100 90	$^{\circ}\text{C}/\text{W}$ $^{\circ}\text{C}/\text{W}$

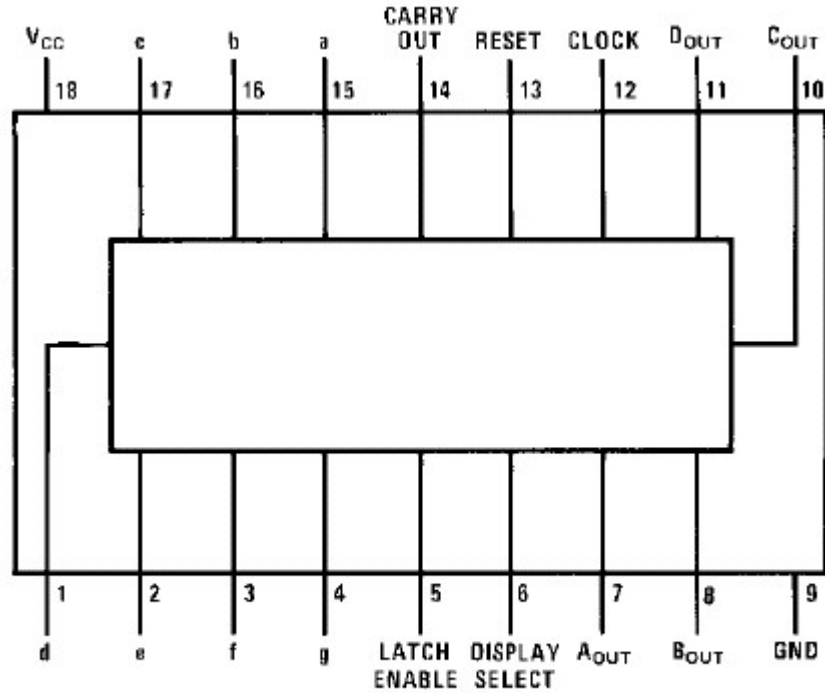
Şekil/EK 3-aMM74C926 sayıcı entegresi DC elektrik karakteristiği

AC Electrical Characteristics (Note 3)

$T_A = 25^\circ\text{C}$, $C_L = 50\text{ pF}$, unless otherwise noted

Symbol	Parameter	Conditions	Min	Typ	Max	Units
f_{MAX}	Maximum Clock Frequency	$V_{CC} = 5V$, $T_J = 25^\circ\text{C}$ Square Wave Clock $T_J = 100^\circ\text{C}$	2 1.5	4 3		MHz MHz
t_r, t_f	Maximum Clock Rise or Fall Time	$V_{CC} = 5V$			15	μs
t_{WR}	Reset Pulse Width	$V_{CC} = 5V$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	250 320	100 125		ns ns
t_{WLE}	Latch Enable Pulse Width	$V_{CC} = 5V$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	250 320	100 125		ns ns
$t_{SET(CK, LE)}$	Clock to Latch Enable Set-Up Time	$V_{CC} = 5V$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	2500 3200	1250 1600		ns ns
t_{LR}	Latch Enable to Reset Wait Time	$V_{CC} = 5V$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	0 0	-100 -100		ns ns
$t_{SET(R, LE)}$	Reset to Latch Enable Set-Up Time	$V_{CC} = 5V$ $T_J = 25^\circ\text{C}$ $T_J = 100^\circ\text{C}$	320 400	160 200		ns ns
f_{MUX}	Multiplexing Output Frequency	$V_{CC} = 5V$	1000			Hz
C_{IN}	Input Capacitance	Any Input (Note 4)	5			pF

Şekil/EK 3-b MM74C926 sayıcı entegresi AC elektrik karakteristiği



Top View

MM74C926, MM74C927, MM74C928

Functional Description

Reset — Asynchronous, active high

Display Select — High, displays output of counter
Low, displays output of latch

Latch Enable — High, flow through condition
Low, latch condition

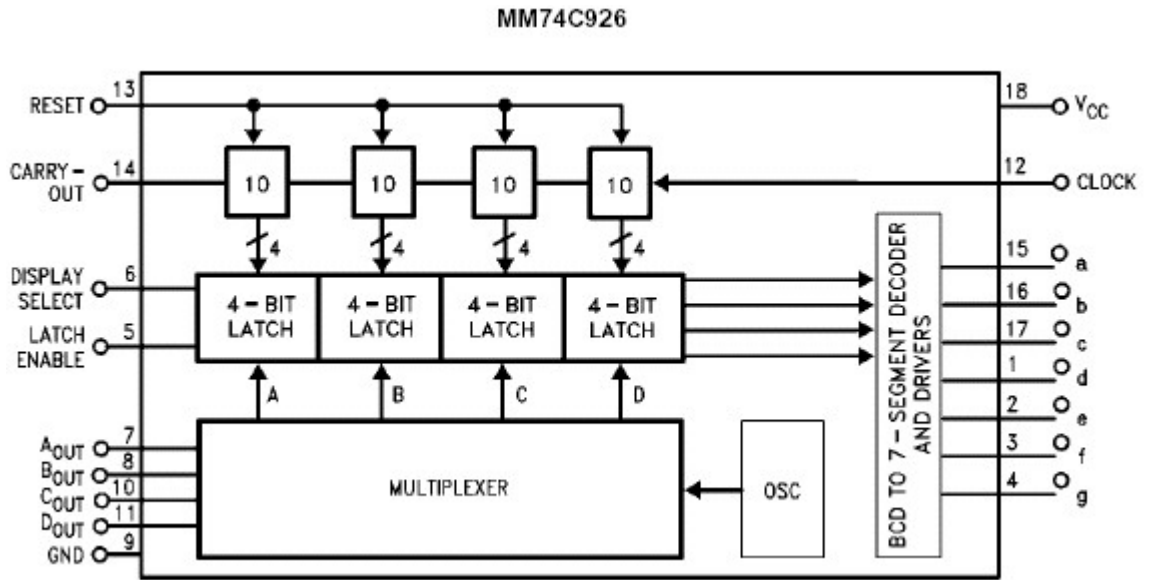
Clock — Negative edge sensitive

Segment Output — Current sourcing with 40 mA @ $V_{OUT} = V_{CC} - 1.6V$ (typ.) Also, sink capability = 2 LTTL loads

Digit Output — Current sourcing with 1 mA @ $V_{OUT} = 1.75V$. Also, sink capability = 2 LTTL loads

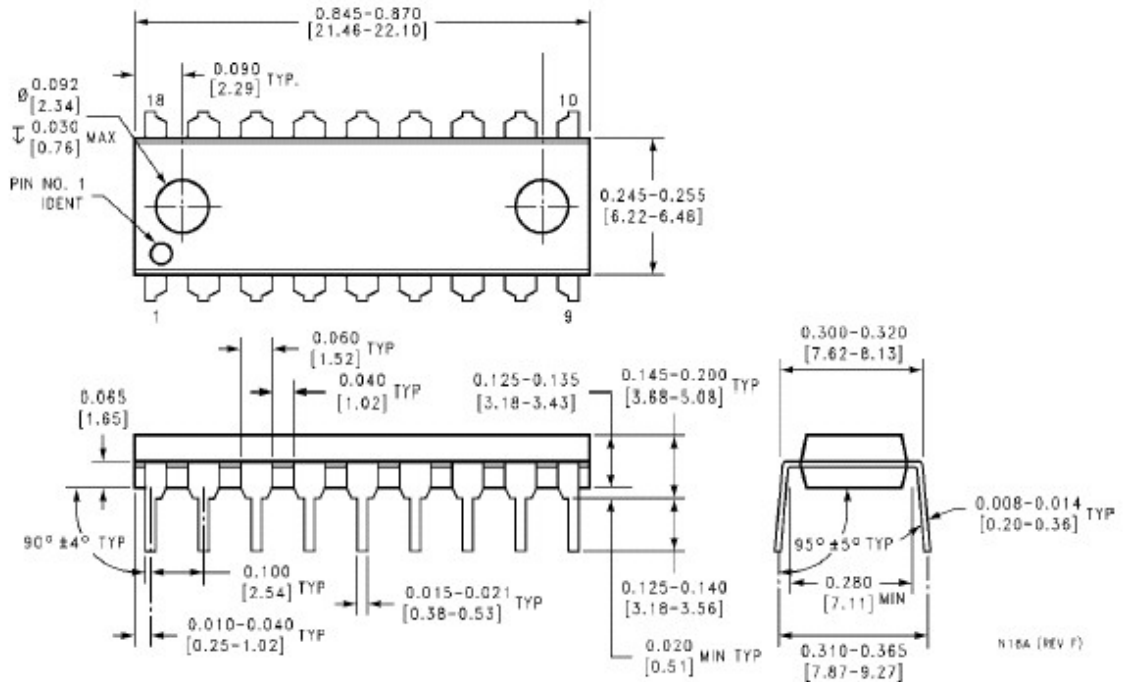
Carry-Out — 2 LTTL loads. See carry-out waveforms.

Şekil/EK 3-c MM74C926 sayıcı entegresi bağlantı diyagramı



Şekil/EK 3-d MM74C926 sayıcı entegresi lojik diyagramı

Physical Dimensions inches (millimeters) unless otherwise noted (Continued)



18-Lead Plastic Dual-In-Line Package (PDIP), JEDEC MS-001, 0.300" Wide Package Number N18A

Şekil/EK 3-e MM74C926 sayıcı entegresi fiziksel ölçüleri

EK 4

Tablo-Ek 4 Bazı maddelerin doğrusal ısı genleşme katsayıları (birim °C×10⁻⁶)

Malzeme	α	Malzeme	α
Alnico	12,6	Altın	14,2
Alumina	8,0	İndiyum	18,0
Aluminyum	25,0	İnvar	0,7
Prinç	20,0	Demir	12,0
Kadmiyum	30,0	Kurşun	29,0
Krom	6,0	Nikel	11,8
Comol	9,3	Naylon	90
Bakır	16,6	Fosfor	9,3
Quartz	0,27	Platin	9
Cam	3,2	Delrin	110
Normal Cam	9,0	Polyemit	105

ÖZGEÇMİŞ

1980 yılında İstanbul'da doğdu. Haydarpaşa Anadolu Meslek Lisesini bitirdi. 1999 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik-Haberleşme Eğitimi Bölümünü kazanarak lisans eğitimine başladı. 2003 yılında lisans eğitimini bitirerek yüksek lisans eğitimine başladı. Aynı yıl M.E.B. tarafından Elektronik ve Telekomünikasyon Öğretmenliğine atandı. 2005 yılında Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümüne Araştırma Görevlisi olarak atandı. Halen Marmara Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektronik Bilgisayar Eğitimi Bölümünde Araştırma Görevlisi olarak çalışmaktadır.