MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CNC FREZE MAKİNALARINDA İŞ
PARÇASININ TALAŞ DERİNLİĞİNDEKİ
DEĞİŞİMİN İNTERFEROMETRİK
TEMASSIZ ÖLÇÜMÜ**

MUAMMER ZENGİN

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. H. Selçuk VAROL

İSTANBUL 2017

MARMARA ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**CNC FREZE MAKİNALARINDA İŞ
PARÇASININ TALAŞ DERİNLİĞİNDEKİ
DEĞİŞİMİN İNTERFEROMETRİK
TEMASSIZ ÖLÇÜMÜ**

MUAMMER ZENGİN

523113002

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Anabilim Dalı
Elektrik-Elektronik
Mühendisliği Programı

DANIŞMAN

Prof. Dr. H. Selçuk VAROL

İSTANBUL 2017

T.C.

MARMARA ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Öğrencisi Muammer ZENGİN'in "CNC Freze Makinalarında İş Parçasının Talaş Derinliğindeki Değişimin İnterferometrik Temassız Ölçümü" başlıklı tez çalışması/...../..... tarihinde savunulmuş ve jüri üyeleri tarafından başarılı bulunmuştur.

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. H. Selçuk VAROL

(Danışman)

Doğuş Üniversitesi(İmza)

Yrd. Doç. Dr. Mustafa YAĞIMLI

(Üye)

Okan Üniversitesi(İmza)

Yrd. Doç. Dr. Veysel Gökhan BÖCEKÇİ

(Üye)

Marmara Üniversitesi(İmza)

ONAY

Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun ^{30.01.2017}30.01.2017 tarih ve ^{2017/03-16}2017/03-16 sayılı kararı ile Muammer ZENGİN'in Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı Elektrik-Elektronik Mühendisliği Programında Yüksek Lisans derecesi alması onanmıştır.

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

Önsöz

Bu tez çalışmasının konusunun belirlenmesinde, yürütülmesi sırasında ve tamamlanması aşamalarında benden desteğini esirgemeyen danışmanım Prof. Dr. H. Selçuk VAROL’a teşekkür ederim. Ayrıca deneysel çalışma aşamalarında, tezimin tamamlanması ve teslim edilmesi süreçlerinde her soruma bıkmadan sabırla cevap veren ve tecrübeleri ile bana yardımcı olan Prof. Dr. A. Fevzi BABA, Prof. Dr. Hasan ERDAL, Doç. Dr. Hayriye KORKMAZ ve Yrd. Doç. Dr. V. Gökhan Böcekçi’ye de teşekkürü bir borç bilirim. Yoğun çalışmalarım sırasında bana katlanıp maddi ve manevi destekleri ile yanımda olan F. Serdar SAYIN’a da ayrıca teşekkür ederim. Tez çalışmamın tamamlanması aşamasında varlığıyla bana güç veren ve her zaman bana destek olan Hümeysra UZUN’a sonsuz teşekkürler...

Ocak 2017

Muammer ZENGİN

İÇİNDEKİLER

SAYFA

ÖNSÖZ.....	i
İÇİNDEKİLER.....	ii
ÖZET	v
ABSTRACT	vi
SEMBOLLER.....	vii
KISALTMALAR.....	ix
ŞEKİL LİSTESİ	x
TABLO LİSTESİ	xii
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Tezin Amacı	2
1.2. Lazer Ölçüm Sisteminin Üstünlükleri	2
2. FREZELEME VE FREZE TEZGÂHLARI.....	3
2.1. Frezeleme ve Freze Tezgâhları.....	3
2.2. Frezelemede Temel İşlemler	5
2.3. Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Kesici Takımlar.....	6
2.4. Frezelemede Kesme Hızı ve İlerleme.....	8
2.5. Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Mevcut Ölçüm Yöntemleri	9
2.6. Yer değiştirme Miktarının Ölçümünde Kullanılan Algılayıcılar	10
2.6.1. Algılayıcı ve Dönüştürücü Kavramlarının Tanımı.....	10
2.6.2. Kapasitif Algılayıcılar	11
2.6.3. Endüktif Algılayıcılar	14
2.6.3.1. Eddy Akımı Üretimi.....	14
2.6.3.2. Self Endüktans Değişimi	15
2.6.3.3. Karşılıklı Endüktans Değişimi	15
2.6.4. Potansiyometrik Algılayıcılar.....	15
2.6.5. Optik Algılayıcılar.....	16

3. IŞIK	17
3.1. Işık Kavramı	17
3.2. Işığın Dalga Doğası	17
3.3. Işığın Özellikleri	19
3.3.1. Kutuplanma (Polarizasyon)	19
3.3.2. Üst Üste Gelme İlkesi.....	20
3.3.4. Kırınım	21
3.4. Elektromanyetik Spektrum	21
3.5. Optoelektronik Elemanlar.....	23
3.5.1. Işık Kaynakları	23
3.5.1.1. Işık Yayan Diyot (LED)	23
3.5.1.2. Lazerler.....	24
3.6. Fotodedektörler.....	26
3.6.1. Fotodiyot.....	26
3.7. Optik Elemanlar.....	27
3.7.1. Mercekler.....	28
3.7.2. Yansıtıcılar	28
4. İNTERFEROMETRİK MESAFE ÖLÇÜM METODU	29
5. DENEY DÜZENEGİ.....	31
5.1. Freze Makinası	31
5.1.1. Mekanik Kısım	32
5.1.2. Elektronik Kısım	33
5.1.3. Motor Kısımı	34
5.1.3.1. İşleyici Kafa Motoru	34
5.1.3.2. Eksen Motorları (Adım Motoru)	35
5.1.3.3. Terco Yüzey İşleme Tezgâhı Kontrol Yazılımı Bilgileri	35
5.2. Michelson İnterferometrik Sistemi	37
5.2.1. Michelson İnterferometrik Sisteminde Kullanılan Malzemeler	37

6. DENEY SİSTEMİNİN KURULUMU VE ÇALIŞTIRILMASI	44
7. ÖLÇÜM NETİCELERİ VE DEĞERLENDİRME.....	47
8. SONUÇ	50
KAYNAKLAR.....	51
EKLER.....	53
EK 1: BPW17N Silikon NPN Fototransistör Katalog Bilgileri	53
EK 2: MM74C14 Schmitt Trigger Katalog Bilgileri.....	55
ÖZGEÇMİŞ	56

Özet

Cnc Freze Makinalarında İş Parçasının Talaş Derinliğindeki Değişimin İnterferometrik Temassız Ölçümü

Talaşlı imalat endüstrisinde ışık kaynağı kullanılarak ölçüm yapma isteği mevcut ölçüm yöntemlerinin birtakım eksikliklerinden ortaya çıkmıştır. Yeni teknoloji ile birlikte mevcut ölçüm yöntemleri artık yerini bilgisayara aktarılabilen temassız ve daha yüksek hassasiyetli ölçüm yöntemlerine bırakmaya başlamıştır. Talaş imalat endüstrisinde mevcut ölçüm yöntemlerine farklı ve güçlü bir alternatif olarak geliştirilen bu çalışmada, freze makinalarında işleme tabi tutulan bir iş parçasının talaş derinliğindeki değişimin interferometrik temassız olarak ölçülmesi işlemi gerçekleştirilmiştir. Geliştirilen bu optik ölçüm sistemi freze makinasının yapısına uygun olarak tasarlanmış ve freze makinasına monte edilmiştir. Bu yöntemle freze makinasında işlenen iş parçasının talaş derinliğindeki değişim temassız ve ışık dalga boyu hassasiyetinde ölçülmüştür. Bu yöntemin sağladığı en büyük avantajların başında temassız bir ölçüm yöntemi olması yani ölçüm alınacak parça ile ölçüm cihazı arasında bir temas olmaması durumu ve ışık dalga boyu (nm) hassasiyetinde talaş derinliğindeki değişimin ölçülebilmesini sağlamaktadır. CNC freze makinasına yerleştirilen denek malzemeye freze makinası kontrol yazılımı olan SimCNC tarafından talaş derinliği verilmiştir. Talaş derinliği Michelson interferometresi tarafından üretilen girişim desenindeki saçakların kaymasını sağlamaktadır. Algılayıcı ile algılanan bu kayan saçaklar elektronik saçak sayıcı devresi ile sayılıp kullanılan veri toplama kartı ile bilgisayara aktarılarak talaş derinliğindeki değişim hesaplanmıştır. Bu işlemler farklı türde birçok malzeme işle birçok defa denemeler yapılmıştır. Freze makinasının kontrol yazılımı SimCNC yazılımı ile sisteme girilen talaş derinliği değeri, işlem sonucunda tasarlanan interferometrik ölçüm sisteminin elde ettiği ölçüm değerleri ile karşılaştırılıp aralarındaki %7'lik farklar yorumlanmıştır.

Abstract

Contactless Interferometric Measurement Technique To Measure The Change In Cutting Depth On A Workpiece Machined With A CNC Milling Machine

Performing measurements with a light source has become a necessity, due to some disadvantages of the existing measurement techniques in machining industry. The existing measurement techniques have been replaced by more precise contactless measurement techniques that provide data transferrable to a computer system. In this research study developed as an original and a strong alternative to the existing measurement methods used in machining, the change in the cut depth on a workpiece machined with a CNC machine was measured contactless using an interferometric measurement technique. The optical measurement system used in this study was designed to comply with the CNC machine, which it was mounted on. The change in the cut depth on the workpiece was measured contactless and precisely with the wavelength of light. The greatest advantage of this measurement technique is that it enables to measure the change in cutting depth as precisely as the wavelength of light (nm), and without any contact between workpiece and measuring device. The cut depth on the workpiece placed on the CNC machine for the test was assigned by SimCNC, the milling control software. Cutting depth shows the fringe shifts in the interference pattern created by Michaelson interferometer. The shifted fringes detected by a sensor were counted by an electronic shift counter and the relevant data saved on a data card were transferred to a computer to calculate the change in the cutting depth. A number of experiments were conducted with different materials. The cutting depth entered in the system with SimCNC was compared with the measurement data from the designed interferometric measurement system, and the 7% differences between them were discussed.

SEMBOLLER

V	: Kesme Hızı
n	: Devir Sayısı
D	: Freze Çakısının Çapı
Z	: Freze Takımının Diş Sayısı
c	: Işık Hızı
f	: Frekans
L	: Self İndüktans
λ	: Işığın Dalga Boyu
ϵ	: Dielektrik Sabiti
ϵ_0	: Boşluğun Dielektrik Sabiti
ϵ_r	: Ortamın Dielektrik Sabiti
μ_r	: Ortamın Manyetik Geçirgenliği
E	: Elektrik Alan Vektörü
H	: Manyetik Alan Vektörü
h	: Plank Sabiti
k	: Dalga Sayısı
w	: Açısal Frekans
$\emptyset$	: Faz Açısı
E	: Elektirik Alan
I	: Işık Şiddeti
n	: Kırma İndisi
A	: Anot
K	: Katot
HeNe	: Helyum Neon
l₁	: Hareketli Aynanın Işın Bölücüye Uzaklığı
l₂	: Sabit Aynanın Işın Bölücüye Uzaklığı
Δx	: Yer Değiştirme Miktarı
T	: Periyot
I	: Akım (A)
R	: Direnç (Ω)
t	: Süre (sn)
A	: Yüzey Alanı (m ²)

C : Kapasitans (Farad)

L : Endüktans (Henry)

KISALTMALAR

NC	: Sayısal Kontrol (Numerical Control)
TYİT	: Terco Yüzey İşleme Tezgâhı
P	: Parça
CAD	: Bilgisayar Destekli Tasarım (Computer Aided Design)
CAM	: Bilgisayar Destekli Üretim (Computer Aided Manufacturing)
AC	: Alternatif Akım (Alternative Current)
DC	: Doğru Akım (Direct Current)
ISO	: Uluslararası Standartlar Organizasyonu
AISI	: Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
ACI	: Döküm Alaşımları Enstitüsü
CNC	: Bilgisayar Destekli Takım Tezgâhları
DIN	: Alman Endüstri Normu
HSS	: Yüksek Hız Çeliği
LDR	: Foto Direnç (Light Dependent Resistor)
LED	: Işık Yayan Diyot (Light Emitting Diode)

ŞEKİL LİSTESİ

SAYFA

Şekil 2.1	Frezeleme İşlemi	3
Şekil 2.2	Freze Tezgâhı	4
Şekil 2.3	Takma Uçlu Alın Freze Çakısı	6
Şekil 2.4	Aynı Yönlü ve Zıt Yönlü Frezeleme	6
Şekil 2.5	Freze Çakıları	7
Şekil 2.6	Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Mevcut Ölçüm Aletleri	9
Şekil 2.7	Sensör Türleri	11
Şekil 2.8	Kapasitif Algılayıcı Devre Diyagramı	12
Şekil 2.9	Kapasitif Sensörler	13
Şekil 2.10	Endüktif Algılayıcı	14
Şekil 3.1	Elektromanyetik Dalga Bileşenleri	18
Şekil 3.2	Sonsuz Uzunluktaki Elektromanyetik Dalga	19
Şekil 3.3	Işık Kutuplanması	19
Şekil 3.4	Girişim.....	21
Şekil 3.5	Elektromanyetik Spektrum.....	22
Şekil 3.6	Led Yapısı	24
Şekil 3.7	GaAs Tek Eklemlı Yarıiletken Diyot Lazerin Şematik Gösterimi.....	25
Şekil 3.8	He-Ne Lazer Şeması.....	26
Şekil 3.9	Çığ Fotodedektörü	27
Şekil 3.10	Schottky Fotodiyotunun Temel Yapısı.....	27
Şekil 3.11	Mercek Çeşitleri	28
Şekil 4.1	Michelson İnterferometresi	29
Şekil 5.1	Tezgâh, Güç ve Kontrol Ünitesi.....	31
Şekil 5.2	Freze Tezgâh Ünitesi.....	33
Şekil 5.3	Eksenlerin Hareketini Sağlayan Motor	33
Şekil 5.4	Enkoder Bağlantıları.....	34
Şekil 5.5	SimCNC Yazılımı Açılış Ekranı	35
Şekil 5.6	SimCNC Kullanıcı Arayüzü.....	36
Şekil 5.7	Deney Sistemi Şeması	37
Şekil 5.8	He-Ne Lazer	37

Şekil 5.9	Işın Bölücü	38
Şekil 5.10	Hareketli Ayna	38
Şekil 5.11	Extender.....	39
Şekil 5.12	İnce Kenarlı Mercek.....	39
Şekil 5.13	Fotodedektör.....	40
Şekil 5.14	Yükselteç	40
Şekil 5.15	Girişim Deseni.....	41
Şekil 5.16	(a) Elektronik sayıcı devresi görünümü	41
Şekil 5.16	(b) Elektronik Devre Çizimi.....	42
Şekil 5.16	(c) Baskı devre.....	42
Şekil 6.1	Freze Tezgâhı ve Kontrol Yazılımı	44
Şekil 6.2	Michelson İnterferometresi	45
Şekil 6.3	Freze Tezgâhına Monte Edilmiş Michelson İnterferometresi	45
Şekil 6.4	Girişim Deseni.....	46
Şekil 8.1	Tasarlanan Deney Düzeneği.....	50

TABLO LİSTESİ

SAYFA

Tablo 3.1	Işığın Farklı Ortamlardaki Hızı	17
Tablo 5.1	Takım Tezgâh Ünitesinin Mekanik Parça Listesi	32
Tablo 5.2	İşleyici Kafa Motoru Etiketi.....	34
Tablo 5.3	Adım Motor Özellikleri.....	35
Tablo 7.1	Deney Ölçüm Değerleri ve SimCNC Yazılım Değerleri	48

1. GİRİŞ

Talaşlı imalat metrolojisinde boyut ölçümlerinin ışık kaynağı kullanılarak yapılması daha hassas ölçüme olan gereksinimden ortaya çıkmıştır. Bazen mekanik olarak ulaşılması zor yerlerde ölçüm yapmak bazen de ölçülen obje ile ölçme cihazı arasında bir temas olmaması ve ölçümün hassas bir şekilde alınması istenmiştir [1]. Günümüzde gelişen ileri teknoloji ile birlikte mekanik ölçüm yöntemleri yerini optoelektronik ölçüm yöntemlerine bırakmaya başlamıştır. Bu değişim sürecinde birçok optoelektronik ölçüm metodu geliştirilmeye çalışılmıştır. Bunlardan en önemli olanları ise lazer kullanılarak yapılan ölçüm sistemleridir. Lazer günümüzde kullanılan en yaygın ışık kaynağıdır. LASER (lazer) “*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*” kelimelerinin bir çıkartımıdır. Tek dalga boyunda ve farklı güçlerde elde edilebilmesi lazeri interferometrik ölçüm sistemleri için popüler hale getirmiştir [1]. Lazer kullanılarak yapılan interferometrik ölçüm sistemleri kullanıcıya birçok avantaj sağlamaktadır. Freze takım tezgâhları talaşlı üretim endüstrisinde büyük bir öneme sahiptir. Bu yöntemde, birden fazla eksen kullanımı mümkün olduğu için basit ve karmaşık yüzeylerin işlenmesinde kolaylık sağlar. Freze tezgâhında talaş kaldırma süresinde meydana gelen titreşim ve yüzey pürüzlülüğü bu işleme etki eden en önemli faktörlerdir. İşlem esnasında iş parçasına etki eden kesme kuvvetleri aşınma, tezgâh yapısı, iş parçasının türüne bağlı olarak değişir. Bu da sistemde sürekli bir titreşime neden olur. Sistemde meydana gelen bu titreşim yüzey pürüzlülüğüne de büyük bir ölçüde etki etmektedir. Freze tezgâhlarında çeşitli işlemlere tabi tutulan bir iş parçasının bazı aşamalar sonucunda istenilen ölçüme ne kadar yaklaştığını saptayabilmek için ara ölçümler alınır. İşlem esnasında tüm işlemi durdurup alınan bu ara ölçümler işlenen iş parçasının istenilen ölçüme ne kadar yaklaştığı ölçülür eğer istenilen ölçümü sağlıyor ise işlem sonlandırılır. İşlem sırası boyunca birkaç defa ara ölçüm almak gerekmektedir. Her alınan ara ölçüm için sistem durdurulup işlenen iş parçası makinadan sökülüp mekanik ölçü aletleri ile kumpas ya da mikrometre ile parçadaki değişim miktarı ölçülür ve istenilen ölçüme ne kadar yakın olduğu belirlenir [1]. Uygulanan bu ölçüm metodu hem zaman kaybına yol açmakta hem de yüksek hassasiyetle ölçüm vermemektedir. Freze tezgâhlarında işleme tabi tutulan bir iş parçasının hem zaman kaybetmeden hem de daha yüksek hassasiyetle ölçülebilmesi büyük avantajlar sağlayacaktır. Bu çalışmada freze tezgâhlarında düzlem yüzey frezeleme işleminde talaş derinliğindeki değişimin temassız bir şekilde ölçülebilmesi için interferometrik bir sistem geliştirilmesi esasına dayanmaktadır. Üzerinde çalışılan bu lazerli temassız ölçüm yöntemi, işleme tabi tutulan iş parçasının herhangi bir temas gerektirmeden kalınlığındaki değişimi ışık dalga boyu

hassasiyetinde ölçme imkânı sağlamaktadır. Kumpas, mikrometre vb. ölçüm aletlerine gerek kalmadan ve iş parçasını makinadan çıkartmadan hatta işlemi durdurmadan parça işleme aşamasındayken her işlem sonucunda ölçüm alabilme imkânı sağlamaktadır. Bu da işlenen parçaların hammaddelerinin pahalı olması nedeni ile işlenen parçanın yanlış bir ölçüm durumunda kullanılmaz hale gelmesinin önüne geçecektir.

1.1. Tezin Amacı

Yapılan bu tez çalışmasında talaşlı imalat sanayisinde önemli bir yer tutan frezecilikte işlenen bir iş parçasının talaş derinliğindeki değişimin interferometrik bir yöntem geliştirilerek ölçülmesi amaçlanmıştır. Talaşlı üretim endüstrisinde malzeme işlemenin önemi kadar işlenen malzemenin istenilen ölçüme ne kadar yakın olduğunu belirlemek de büyük bir önem arz etmektedir. Malzemeyi kaliteli bir şekilde işleyebilme ve istenilen ölçümde işlem yapabilmek işlenen malzemenin düşük bir hata payı ile kullanılabilir bir parçaya dönüşmesini sağlamaktır. Bu tez çalışmasında tasarlanan ölçüm sistemi, daha iyi ve daha hassas ölçüm alabilme imkânı sağlamaktadır. Tasarlanan bu ölçüm sistemi dalga boyu hassasiyetinde ölçüm imkânı sağlamaktadır bu da işlem yapılan iş parçasının hem temassız hem de yüksek hassasiyetle ölçümünü sağlamaktadır.

1.2. Lazer Ölçüm Sisteminin Üstünlükleri

Lazer ölçüm sistemi diğer ölçüm sistemlerine göre her açıdan üstünlük sağlamaktadır. Bunları maddeler halinde sıralayacak olursak;

- 1- İşlem sırasında ölçüm
- 2- Düşük imalat maliyeti
- 3- Kaliteli ürün ve yüksek kalite
- 4- Yüksek hassasiyetli ölçüm sonucu
- 5- Temassız ölçüm

- 2- İmalât Freze Tezgâhları
 - a) Tek Sütunlu Freze Tezgâhları
 - b) Çift Sütunlu Freze Tezgâhları
 - c) Kopya Freze Tezgâhları
- 3- Yatay Delik Freze Tezgâhları
- 4- Dişli Çark Açan Freze Tezgâhları
 - a) Azdırma Dişli Tezgâhlar
 - b) Vargelleme Usulüyle Dişli Çark Açma Tezgâhı
 - c) Kramayer Biçimli Bıçakla Diş Açma Tezgâhı
- 5- Modern Freze Tezgâhları
- 6- “NC” Nümerik Kontrollü Freze Tezgâhları

Çeşitli özellikleri göz önüne alınarak gruplandırılan freze tezgâhları birçok farklı özelliklere sahiptir. Şekil 2.2’de temel bir freze tezgâhı ve tezgâhın önemli kısım ve parçaları görülmektedir [3, 4].

Şekil 2.2 Freze Tezgâhı [4]

- 1. Gövde
- 2. Konsol
- 3. Konsolun Kayıdı
- 4. Araba

5. Arabanın Kayıdı
6. Tabla
7. Üst Başlık
8. Malafa Yatakları
9. Malafa
10. Dik Başlık

2.2. Frezelemede Temel İşlemler

Frezeleme yönteminde işlem yapabilmek malzemenin üzerinden talaş kaldırma ile mümkündür. Üzerinde kesici uç olan freze çakısının kendi eksenini etrafında dairesel hareketi ve tezgâha bağlı olan iş parçasının gerek elle gerekse otomatik olarak ilerleme hareketini yapmasıyla istenilen ölçü ve ebatlara uygun olarak iş parçasının üzerinden fazla kısımlarının ayrılması işlemine talaş kaldırma denir. Frezeleme işlemlerinde, iş parçası üzerinden yapılacak olan talaş kaldırma işlemi, malzemenin şekline, türüne ve kullanılacak kesici takımın çeşidine göre farklılıklar göstermektedir. Freze çakıları, malzeme üzerinden talaş kaldırma işlemini çevrelerindeki kesici uçlarla veya alın yüzeylerindeki kesici uçlarla değişik türlerde yaparlar.

- Alın Frezeleme Yöntemi
- Çevresel Frezeleme Yöntemi
- Form ve Çevresel Frezeleme

Alın frezelemede freze çakısının alın kısmında ve yüzey kısmında bulunan kesici uçlar ile yapılan talaş kaldırma biçimidir. Bu yöntemde kesici takımın dönme eksenini ile talaş kaldırma işleminin uygulanacağı yüzey birbirine dik konumdadır. Ayrıca alın frezeleme yöntemi ile yapılan talaş kaldırma işlemlerinde, silindirik freze çakısı veya takma uçlu freze çakısı kullanılır. Çevresel frezeleme yöntemi ise freze çakısının çevresindeki kesici uçlar ile yapılan talaş kaldırma biçimidir. Bu yöntemde silindirik freze çakısı kullanılır ve kesici takım dönme yönü ile üzerinde talaş kaldırma işlemi yapılacak olan iş parçası yüzeyi birbirine paralel konumdadır. Frezeleme işlemlerinde sıkça kullanılan alın freze çakısı Şekil 2.3’de görülmektedir.

Şekil 2.3 Takma Uçlu Alın Freze Çakısı [2]

Frezeleme işlemlerinde, frezenin dönüş yönüne ve tablanın ilerleme yönüne göre çevresel frezelemede iki metod ile talaş kaldırmak mümkündür. Bunlar aynı yönlü ve zıt yönlü frezeleme yöntemleridir. Aynı yönlü frezelemede, iş parçasının ilerleme yönü freze çakısının dönüş yönü doğrultusundadır. Zıt yönlü frezelemede ise iş parçasının ilerleme yönü, freze çakısının dönme yönüne karşıdır [2-4]. Aynı yönlü ve zıt yönlü frezeleme işlemleri Şekil 2.4’de görülmektedir.

Şekil 2.4 Aynı Yönlü ve Zıt Yönlü Frezeleme [16]

2.3. Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Kesici Takımlar

Freze işlemlerinde kullanılan kesici takımlara freze çakısı denir. Freze çakıları; iş parçası üzerinden kesme, koparma, şekil değiştirme ve istenilen şekle getirmek amacıyla belirli bir miktar talaş kaldırır. Bu talaş kaldırma işlemi tezgâha bağlanmış olan freze çakısının kendi eksenini etrafında döndürülmesi ile mümkündür. Talaşlı imalat endüstrisinde, kullanılan en yaygın kesici takım malzemesi “HSS” kısaltması ile ifade edilen hız çeliği (Haça Çeliği) ve sert metal uçlu kesicilerdir. Hız çeliğinden yapılan kesici freze çakıları tek parça veya takma

dişli şeklinde olabilirler. Freze kesici takımları genel olarak iki şekilde sınıflandırılır [2-4].

Şekil 2.5’de çeşitli türde freze çakıları görülmektedir.

- 1- Frezenin diş biçimlerine göre
 - a) Sivri dişli frezeler
 - b) Sırtı eksantrik torna edilmiş frezeler
 - c) Takma dişli frezeler
- 2- Frezelerin genel biçimlerine göre
 - a) Düz dişli silindirik frezeler
 - b) Silindirik helis frezeler
 - c) Alın frezeleri
 - d) Kanal frezeleri
 - e) Testere frezeleri
 - f) Açı frezeleri
 - g) Oluk frezeleri
 - h) Parmak frezeleri
 - i) Form frezeleri
 - j) Modül frezeleri
 - k) Azdırma frezeleri
 - l) Vida frezeleri

Şekil 2.5 Freze Çakıları [17]

2.4. Frezelemede Kesme Hızı ve İlerleme

Freze tezgâhlarında istenilen işlemin istenilen ölçüde yapılabilmesi, kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarına bağlıdır. Dolayısıyla uygun kesme hızı, talaş derinliği ve ilerleme miktarı seçilirse istenilen ölçüde talaş kaldırma işlemi başarılı olur.

A) Kesme hızı; bir kesici takımın çevresindeki kesici bir dişin bir dakikada metre cinsinden keserek aldığı yolun bir ölçüsüdür.

V: Kesme Hızı (Metre/Dakika)

n: Devir Sayısı (Devir/Dakika)

D: Kullanılacak Olan Freze Çakısının Çapı (mm)

Burada dikkat edilecek husus kesme hızının hesaplanmasıdır. Kesme hızına ilişkin hesaplamalar aşağıdaki formüller yardımı ile yapılmaktadır.

$$\pi \times D \text{ kesici takımın çevresini,} \quad (2.1)$$

$$\pi \times D \times n \text{ çevresinin devir sayısı,} \quad (2.2)$$

$$V = \frac{\pi D n}{1000} \text{ m/dk olarak bulunur.} \quad (2.3)$$

Bu temel hız formülü kullanılarak;

Freze çakısının devir sayısı,

$$n = \frac{1000 V}{\pi D} \text{ devir/dakika olur.} \quad (2.4)$$

Freze çakısının çapı,

$$D = \frac{1000 V}{\pi n} \text{ milimetre olur.} \quad (2.5)$$

B) İlerleme miktarı, frezeleme işleminde üç şekilde ifade edilebilir.

- 1- Takımın bir devrine karşılık gelen ilerleme s (mm/dev)
- 2- Bir dişe karşılık gelen ilerleme s_z (mm/diş)
- 3- Bir dakikaya karşılık gelen ilerleme hızı u (mm/dak)

Z takımın diş sayısı olmak üzere, bu üçü arasındaki bağlantı aşağıdaki gibidir.

$$s_z = \frac{s}{z} = \frac{u}{n \cdot z} \left[\frac{mm}{diş} \right]; s = s_z \cdot z \left[\frac{mm}{dev} \right]; u = s_z \cdot z \cdot n [mmdak] \quad (2.6)$$

Burada kesme hızına etki eden temel faktörler;

- 1- Kullanılan kesici takımın (freze çakısı) türü ve çapı
- 2- İşlenecek iş parçasının cinsi
- 3- Talaş derinliği
- 4- Tezgâh gücü
- 5- Devir Sayısı

şeklinde sıralanabilir [2-4].

2.5. Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Mevcut Ölçüm Yöntemleri

Bilinen bir değer bilinmeyen bir değer içerisinde ne kadar olduğunun araştırılmasına ölçme denir. Frezeleme işlemlerinde hangi yöntem uygulanacak olursa olsun yapılan işlemin doğruluğu ara ölçümler alınarak kontrol edilmelidir.

Şekil 2.6 Frezeleme İşlemlerinde Kullanılan Mevcut Ölçüm Aletleri

Yapılan her işlem sonucunda kullanılan mevcut ölçüm yöntemleri ile istenilen sonuca ne hassasiyette yaklaşıldığının kontrolü de bir başka önemli noktadır. Burada kullanılan mevcut ölçüm yöntemlerinin hassasiyet ve temas özellikleri iyi incelenmeli ve hassas bir ölçüm sonucu alabilmek için iyi ve doğru seçimler yapılmalıdır. Frezeleme işlemlerinde kullanılan mevcut ölçüm yöntemleri, kumpaslar, mikrometreler, komparatörlerdir. Kullanılan bu ölçü aletleri Şekil 2.6’da görülmektedir.

2.6. Yer değiştirme Miktarının Ölçümünde Kullanılan Algılayıcılar

Frezeleme işlemlerindeki talaş derinliği değişimini bir yer değişimi olarak kabul edersek kaldı ki fiziksel anlamda talaş derinliğindeki değişim bir yer değişimine benzemektedir. Bu durumda yer değişim miktarının ölçölmesi için kullanılan ya da geliştirilecek olan metotları frezeleme işlemlerindeki talaş derinliği değişim miktarının ölçümünde de uygulayabiliriz. Yani talaş derinliğindeki değişim, yer değiştirme miktarının ölçümünde kullanılan yöntemler ile hesaplanabilir. Buradaki önemli nokta hangi yer değiştirme yönteminin freze makinalarındaki talaş derinliği değişim miktarının ölçümü için en uygun olduğudur. Bu düşünce bu tez çalışmasının ana dayanak noktasını oluşturmaktadır. Frezeleme işlemlerinde talaş derinliği değişimini ölçmek için uygun bir yöntem geliştirmeden önce yer değiştirme miktarının ölçümünde kullanılan mevcut yöntemlerin bilinmesi gerekmektedir.

2.6.1. Algılayıcı ve Dönüştürücü Kavramlarının Tanımı

Herhangi bir fiziksel büyüklüğü, örneğin sıcaklık, basınç, ses, frekans vb. ölçen ve bu büyüklükleri elektriksel sinyale dönüştüren elemanlara algılayıcı (sensör) denir. Algılayıcılar büyük oranda tercih edilmektedirler; çünkü elektriksel sinyallerin ölçülebilmesi, işlenmesi ve bir yerden başka bir yere iletilmesi oldukça kolaydır. Burada algılayıcılar ile ilgili diğer önemli bir nokta ise algılayıcıların temaslı veya temassız ölçme yapmasıdır. Temaslı ölçüm yöntemlerinde algılayıcılar fiziksel büyüklük ile bir temas içerisindedir. Temassız ölçüm yönteminde ise böyle bir temas yoktur. Temaslı veya temassız algılayıcılar ölçülecek fiziksel büyüklük ile ilgili bir durumdur. Örneğin, elektriksel olamayan bir büyüklük ölçümünde temaslı ve temassız yöntemin her ikisi de kullanılabilir. Kullanılacak bir algılayıcıyı seçerken aşağıdaki özelliklerin göz önünde bulundurulması gerekir;

- a) Çalışma sınırları
- b) Duyarlılık
- c) Frekans cevabı
- d) Çevresel uyum
- e) Gürültü
- f) Doğruluk ve hata
- g) Fiziksel özellikler
- h) Elektriksel çıkış formatı
- i) Çıkış empedansı

- j) Gerekli güç
- k) Kalibrasyon

Şekil 2.7 Sensör Türleri [18]

Yukarıdaki özellikler bir algılayıcı seçiminde dikkat edilmesi gereken temel noktaları göstermektedir. Bununla beraber algılayıcıların pozisyon, yer değişimi, seviye, hareket, ivme, hız, gerinim, basınç, nem, ışık vb. birçok fiziksel büyüklüğün algılanıp dönüştürülmesinde kullanılır. Algılayıcıların çeşitlerine bakacak olursak;

- Biyokimyasal transformasyon
- Test organizması üzerindeki etkiler
- Spektroskopi
- Kimyasal transformasyon
- Elektrokimyasal prosesler
- Spektroskopi
- Termoelektrik
- Termoelastik
- Termooptik
- Fotoelektrik
- Fotomanyetik
- Fotoelastik
- Piezo elektrik
- Piroelektrik
- Magnetoelektrik

2.6.2. Kapasitif Algılayıcılar

Kondansatörler yalıtkan iki plakadan oluşmaktadırlar. Kondansatörleri kapasitesi (sığası), plakalar arasındaki kesit alanı ile doğru, plakalar arasındaki uzaklık ile ters orantılıdır.

Kapasitif algılayıcılar doğrusal ve açısal yer değişimlerinin ölçümünde kullanılan, çok hassas algılayıcılardır. Mesafe, boyut, uzunluk ve pozisyon ölçümlerine imkân sağlamaktadır. Kapasitif algılayıcıların çalışma prensibi kapasitenin veya iletken veya dielektrik malzemelerin varlığındaki kapasitans değişimine bağlıdır [5, 6]. Şekil 2.8’de kapasitif algılayıcının temel yapısı görülmektedir.

Şekil 2.8 Kapasitif Algılayıcı Devre Diyagramı [6]

Burada iki paralel plaka arasındaki elektriksel kapasitans aşağıdaki formül ile verilmektedir;

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{A}{d} \quad (2.7)$$

Burada;

A= Plaka alanıdır ve birimi m^2 ile ifade edilir.

d= İki paralel plaka arasındaki mesafedir ve birimi m ile ifade edilir.

ϵ_r = Bağlı dielektrik sabiti

ϵ_0 = Havanın dielektrik sabiti

Şekil 2.9 Kapasitif Sensörler [19]

Kapasitif algılayıcıların üstün yanları;

- 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 manyetik alanların kuvvetli olduğu ortamlarda bu tür algılayıcılar etkilenmeden çalışabilirler.

Kapasitif algılayıcıların eksik yanları;

- 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 (10-500 pF) frekansa bağlı olarak 1 k Ω ile 10 M Ω 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.

Kapasitif algılayıcıların kullanım alanları;

- Kapasitif algılayıcılar doğrusal ve açısal yer değişimlerinin ölçümünde kullanılır. Çok hassastırlar, 0.1×10^{-6} mm gibi molekül boyutlarındaki yer değişimlerini ölçmek için kullanılmaktadırlar.
- Kuvvet ve basınç ölçümünde de kullanılmaktadırlar. Burada kuvvet ve basınç önce yer değişimine daha sonrada kapasite değişimine dönüştürülür.
- Dielektrik sabitinin basınç ile değişimi söz konusu olduğunda kapasitif algılayıcılar basınç ölçümü içinde kullanılır [5, 6].

2.6.3. Endüktif Algılayıcılar

Endüktif algılayıcıların içinde bir bobin ve bobini besleyen bir osilatör bulunmaktadır. Osilatörün bobin üzerine yaydığı manyetik alan sayesinde endüktif algılayıcılar pozisyon ve yer değişim miktarını elektromanyetik metotlar ile algılayabilir. Endüktif algılayıcılar üç ana prensibe göre çalışmaktadır [5, 6].

- 1- Eddy Akımı Üretimi
- 2- Self Endüktans Değişimi
- 3- Karşılıklık Endüktans Değişimi

Şekil 2.10 Endüktif Algılayıcı [18]

2.6.3.1. Eddy Akımı Üretimi

Manyetik alana bir metal plaka konulduğu zaman bu metal plaka üzerinden Eddy akımı akar. Bu metal plaka üzerinde akan eddy akımlarının oluşturduğu manyetik alan bobin içerisindeki manyetik alan ile vektörel olarak ters yöndedir. Bu durumda toplam manyetik akı azalır ve

bunun sonucu olarak da bobinin endüktansı azalır. Bu amaçla endüktif algılayıcılar ile doğrusal ve dairesel yer değişim miktarının ölçümü yapılabilmektedir [5, 6].

2.6.3.2. Self Endüktans Değişimi

Bir bobinin endüktansı,

$$L = N^2 R \quad (2.8)$$

ile formülize edilir.

Burada,

N= Bobin üzerindeki sarım sayısı

R= Manyetik relüktans

ile ifade edilir. Endüktif algılayıcılar temel anlamda yer değişimin algılanması için kullanılmaktadır. Doğrusal ve dairesel yer değişim miktarının ölçümünü gerçekleştirebilmek için ise çok değişik algılayıcılar geliştirilmiştir [5, 6].

2.6.3.3. Karşılıklı Endüktans Değişimi

Karşılıklı endüktans değişimi prensibine göre çalışan bu tür algılayıcılarda birden fazla bobin bulunmaktadır. Bunun için iki bobin arasındaki karşılıklı endüktans formülü,

$$M = k\sqrt{L_1 L_2} \quad (2.9)$$

ile ifade edilir. Burada L_1 ve L_2 bobinlerin endüktansları, k ise sabit bir katsayıdır. Bu ifadeden de anlaşıldığı gibi karşılıklı endüktans, bobinlerin endüktansları ve k sabit sayısı ile değişmektedir [5, 6].

2.6.4. Potansiyometrik Algılayıcılar

Bu tür algılayıcıların çalışma prensibi direnç değişimine dayanır. Direnç değişimi ise iletkenin doğrusal uzunluğu ile orantılıdır. Böylece iletkenin uzunluğunu kontrol edecek bir parça ile potansiyometrede olduğu gibi yer değişiminin ölçümü yapılmış olur. En verimli ve ucuz yer değiştirme algılayıcılarından biridir [5, 6].

2.6.5. Optik Algılayıcılar

Optik yer değışim algılayıcıları, optiksel yer değışimi ölçümünün temelini oluşturmaktadır. Sağladığı yüksek hassasiyette ölçüm imkânı ve düşük hata yüzdeli sonuçları ile şimdiden araştırmacıların ilgi odağı olmuştur. Işık kaynağı olarak kullanılan lazer teknolojisi optik yer değışimi algılayıcılarının birçok önemli özelliğinin ortaya çıkmasına imkân sağlamıştır. Lazerin interferometrik ölçüm düzeneklerinde kullanılmasıyla hassas yer değışimi ölçüm sistemleri tasarlanabilmektedir. Bir optik yer değışirme sisteminin ana parçaları bir ışık kaynağı (Genel olarak lazer tercih edilir.), fotodedektör, bir mercek takımı (Işığı odaklamak amaçlı), ışığın taşınması için fiber optik kablo ve ışığı yönlendirebilmek için ayna takımıdır.

3. IŞIK

Işık, bir ışın demetinin ışık kaynağından çıktıktan sonra direkt olarak veya cisimlere çarpma sonucunda yansıyarak canlı varlıkların görmesini sağlayan bir olgudur. Yapılan bu tez çalışmasında ışık kaynağı kullanılarak bir ölçüm sistemi tasarlanması amaçlanmıştır [7, 8].

3.1. Işık Kavramı

Işık ikili bir doğaya sahiptir. Bunlardan birincisi Hooke ve Huygens'in 'Dalga Teorisi' diğeri ise Newton'un 'Tanecik Teorisi'dir. Işık hem dalga hem de parçacık özelliklerini sergiler. Işığın parçacık ve dalga modelleri birbirlerinin tümleyicisidirler. Her iki modeli de kullanıyoruz ve ışığın gerçek doğasının herhangi bir tek klasik model ile açıklanamaz olduğunu kabul ediyoruz [7, 8]. Işık hızı kavramı ise, ışığın boşlukta kat ettiği mesafenin bir ölçüdür. Işık hızı 300000 m/s olarak ifade edilir. Tablo 3.1'de ışığın farklı ortamlardaki ilerleme hızı verilmektedir.

Tablo 3.1 Işığın Farklı Ortamlardaki Hızı [8]

Ortam	Hız (km/s)	Hız(m/s)
Boşluk	3000 000	$3 \cdot 10^8$
Hava	3000 000	$3 \cdot 10^8$
Su	225 000	$2,25 \cdot 10^8$
Cam	200 000	$2 \cdot 10^8$

3.2. Işığın Dalga Doğası

Bir elektromanyetik dalga olarak ışık, uzayda zamanla değişen elektrik ve manyetik alanların bir bileşkesi olarak tarif edilebilir. Maxwell bu her iki alanın da aynı kısmi diferansiyel eşitliği sağladığını göstermiştir.

$$\nabla^2(E, H) = \frac{1}{c^2} \frac{\partial^2}{\partial t^2} (E, H) \quad (3.1)$$

3.1 eşitliği dalga eşitliği olarak isimlendirilir. Bu eşitlik alanlardaki değişmelerin uzayda c ışık hızıyla ilerlediğini ifade eder. Alanların titreşim frekansı ν ve boşluktaki dalga boyları λ_0 ise denklem 3.2 şekliyle ifade edilir.

$$c = \nu \lambda_0 \quad (3.2)$$

ile birbirine bağlıdır. Başka ortamlarda ilerleme hızı 3.3 denklemi ile verilir.

$$v = \frac{c}{n} = v\lambda \quad (3.3)$$

Burada n ortamın kırılma indisi ve λ ortamın dalga boyudur. Ortamın kırılma indisi 3.4 eşitliği ile bulunur.

$$n = \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \quad (3.4)$$

Burada μ_r ve ϵ_r ortamın kısmi manyetik ve elektriksel geçirgenlikleridir. Elektrik ve manyetik alanlar biri diğere ve her ikisi de ilerleme yönüne dik olacak şekilde titreşirler. Bu ışık dalgalarının enine dalga olması anlamına gelir. Optik kavramların tamamlanmasında genelde manyetik alan vektörü ihmal edilir. Bir elektromanyetik dalganın elektrik ve manyetik alan bileşenleri Şekil 3.1’de görülmektedir.

Şekil 3.1 Elektromanyetik Dalga Bileşenleri [20]

Bu, diyagram ve matematik tanımları basite indirger fakat her zaman hatırlanması gereken elektrik alan bileşenine benzer davranan bir manyetik alan bileşeninin varlığıdır. En basit dalgalar sinüsel dalgalardır. Matematiksel olarak 3.5 eşitliği;

$$E(x, t) = E_0 \cos(\omega t - kx + \phi) \quad (3.5)$$

şeklinde ifade edilebilir. Burada E elektrik alanının t anında x noktasındaki değerini, E_0 dalganın genliğini, ω açısal frekansı ($\omega=2\pi f$), k açısal dalsı sayısı ($k=2\pi/\lambda$) ve ϕ faz farkını göstermektedir. Bu denklemde $(\omega t - kx + \phi)$ dalganın fazıdır. Pozitif x yönünde ilerleyen sonsuz uzunluktaki elektromanyetik dalga Şekil 3.2’de görülmektedir [7, 8].

Şekil 3.2 Sonsuz Uzunluktaki Elektromanyetik Dalga [8]

3.3. Işığın Özellikleri

Işığın sahip olduğu hem tanecik modeli teorisi hem de dalga yapısı teorisi sayesinde ışık ile meydana gelen bazı olayların açıklanması mümkündür. Yapılan bu tez çalışmasının ana omurgası ışığın dalga özelliğine dayanmaktadır. Yani tasarlanan bu tez çalışmasında ışığın dalga özelliği sayesinde iki ışık demeti giriştirilerek bir girişim deseni elde edilmiştir. Elde edilen bu girişim deseni ile tasarlanan bir Michelson girişimölçeri ile hassas mesafe ölçümü amaçlanmıştır. Bu bölümde ışığın kutuplanma, üst üste gelme ilkesi, girişim ve kırınım olayları ele alınacaktır [7, 8].

3.3.1. Kutuplanma (Polarizasyon)

Eğer boş uzayda ilerleyen bir elektromanyetik dalganın elektrik alan vektörü özel bir düzlemde titreşiyor ise dalgaya ‘düzlem polarize’ olmuş denir. Herhangi bir gerçek ışık demeti çok sayıda diğer dalgaları içine alırsa genelde elektrik alanlarının titreşim düzlemleri rastgele yönelmiş denilebilir. Böyle bir ışık polarize (kutuplanmış) değildir ve elektrik alanı zamanla gelişigüzel değişme gösterir. Bununla birlikte yüksek derecede yönelmiş elektrik alanla karakterize olmuş ışık demetleri elde etmek mümkündür ve bu ışık ‘kutuplanmış’ olarak ifade edilir [7, 8].

Şekil 3.3 Işığın Kutuplanması [21]

3.3.2. Üst Üste Gelme İlkesi

Optik kavramları incelerken, iki veya daha çok dalganın uzayda belirli bir noktada beraber hareketi sonucunu bulma problemiyle karşı karşıya gelinir. Bu durumda üst üste gelme prensibi uygulama alanı bulur. Bu ilkeye göre iki veya daha çok sinüsel dalganın birlikte hareketi sebebiyle belirli bir zaman ve noktadaki toplam elektrik alan, tek tek dalgaların elektrik alanlarının cebirsel toplamıdır.

$$E = E_1 + E_2 + E_3 + \dots \quad (3.6)$$

Burada $E_1, E_2, E_3, \dots$, belirli zaman ve noktada her bir ferdi dalgaya ait elektrik alanlardır. Şimdi aynı yönde ilerleyen aynı frekanslı iki dalganın üst üste gelmesi durumunu ele alalım.

$$E_1 = E_{01} \sin(\omega t - kx + \phi_1) \quad (3.7)$$

$$E_2 = E_{02} \sin(\omega t - kx + \phi_2) \quad (3.8)$$

Toplam yaparsak;

$$E = E_1 + E_2 = E_{01} \sin(\omega t - kx + \phi_1) + E_{02} \sin(\omega t - kx + \phi_2) \quad (3.9)$$

$$E = (E_{01} \cos \phi_1 + E_{02} \cos \phi_2) \sin(\omega t - kx) + (E_{01} \sin \phi_1 + E_{02} \sin \phi_2) \cos(\omega t - kx) \quad (3.10)$$

olarak bulunur. Bu sonuç;

$$E = E_0 \sin(\omega t - kx + \phi) \quad (3.11)$$

ifadesi ile özdeşdir [7, 8].

3.3.3. Girişim

İki demetin girişiminin temel matematiksel tanımı 3.12 eşitliğiyle verilir.

$$I = E_0^2 = E_{01}^2 + E_{02}^2 + 2E_{01}E_{02} \cos(\phi_2 - \phi_1) \quad (3.12)$$

Eğer $E_{01} = E_{02}$ ise

$$I = 2E_{01}^2 [1 + \cos(\phi_2 - \phi_1)] \quad (3.13)$$

veya

$$I = 4E_{01}^2 \cos\left(\frac{\phi_2 - \phi_1}{2}\right) \quad (3.14)$$

bulunur. Aynı anda iki dalga cephesinin etkisinde olan noktada meydana gelen birleşik harekete girişim denir [7, 8].

Şekil 3.4 Girişim [22]

3.3.4. Kırınım

Işık, oldukça dar bir yarıktan veya kenarları oldukça keskin olan bir engelden geçerken, yarığın ya da engelin köşelerinde bükülme özelliğine sahiptir. Engelden geçen ışık her yönde yayılabilir ve bu olaya kırınım denmektedir [7, 8].

3.4. Elektromanyetik Spektrum

Fizik kurallarınca mümkün olan tüm elektromanyetik dalgaların ve farklı ışıma türlerinin dalga boyları veya frekanslarına göre yerlerini ifade eden kavramdır. Elektromanyetik spektrum (tayf) ultraviyole (UV), görünür ışık ve infrared (IR) bölgelerinden oluşur. Işımanın dalga boyuna ve frekansına bağlı olarak spektrum şeklinde gösterilmiştir. UV (ultraviyole) frekansı mor (violet) ışığın frekansından daha büyük ışıma anlamına gelmektedir. Buradaki ultra sözcüğü latince ötesi anlamına gelmektedir. Ultraviyole ise mor ötesi anlamına gelmektedir. UV gibi gözle görünemeyen IR ışımların frekansı ise kırmızı (red) ışığın frekansından daha küçüktür. Infra sözcüğü latince alt anlamına gelmektedir. IR (İnfaRed) ise kızılaltı olarak Türkçeye çevrilebilir. IR LED ve Lazer diyotlar tarafından yayınlanır. Özel bir bölüm ayrılan elektromanyetik spektrum Şekil 3.5’de görülmektedir.

Şekil 3.5 Elektromanyetik Spektrum [23]

3.5. Optoelektronik Elemanlar

Optoelektronik diğerk adıyla fotonik optik ile elektroniğink bir birleşimidir. Optoelektronik, ışık enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirine dönüşümü esas alır. Son yıllarda yaşanan ileri teknoloji gelişmeleri ile birlikte optoelektronik teknolojileriyle iletişim, aydınlatma, enerji üretimi gibi pek çok alanda büyük bir hızla büyüme yaşanmıştır. Fotonikte, ışık ile etkileşim içerisine girebilen alıcı ve verici aracılığıyla, ışık enerjisi ile elektrik enerjisinin birbirlerine dönüşümü sağlanmaktadır [7, 8].

Yarı iletken Işın Verici: Verilen akım değerine göre, içeriğinde kullanılan malzeme türüne bağlı olarak belirli bir spektrumda ışık yayar. Bunlara örnekler ledler ve lazerlerdir.

Yarı İletken Işın Alıcı: Malzeme üzerine kızıl ötesi veya mor ötesi bölgede bulunan ışık ışın düşürüldüğünde, üzerine düşen ışının enerjisini akıma ve gerilime dönüştürürler.

Işın Taşıyıcılar: Optoelektronik sistemlerde ışın taşıyıcılar olarak fiber optik kablolar kullanılmaktadır. Yapılan bu tez çalışmasında Michelson girişimölçeri kullanılarak hassas mesafe ölçümü sisteminde kullanılan yöntem gereği optoelektronik elemanlar içermektedir. Optoelektronik elemanlar ışın vericiler, ışın alıcılar, ışın taşıyıcılar olmak üzere üç grup altında incelenecektir.

3.5.1. Işık Kaynakları

Bu bölümde tez çalışmasında kullanılan ana ışık kaynakları olan ledler ve lazerler incelenecektir.

3.5.1.1. Işık Yayan Diyot (LED)

LED ("Light Emitting Diode", Işık Yayan Diyot), yarı-iletken, diyot temelli, ışık yayan bir elektronik devre elemanıdır. Şekil 3.6'da ledin yapısı görülmektedir.

Şekil 3.6 Led Yapısı [24]

P-N jonksiyonlu elemandır ve P-N jonksiyonuna ait özellikleri içermektedir. LED’ler aynı zamanda yarıiletken optoelektronik düzenlerdir [7, 8].

3.5.1.2. Lazerler

Lazerler olağan üstü aygıtlardır ve olağan üstü bir tarihe sahiptirler. Lazer günümüzden yaklaşık 50 yıl kadar önce Gordon Gould tarafından bulunmuş olmakla birlikte, bu buluşun dayandığı bilimsel temelin ayrıntıları yaklaşık 100 yıl kadar önce yayımlanmıştır. Lazer ışığı her şeyden önce bir tür ışıktır. Diğer ışık türleriyle pek çok ortak özelliğe sahiptir. Örneğin, floresan ışık, güneş ışığı, ateş ışığını açıklamak için bilim insanlarının kullandığı kavram ve sözcüklerin aynısı lazer ışığının incelenmesi ve açıklanmasında kullanılmaktadır. Ancak, lazer ışığı bazı yönlerden gerçekten de çok özel bir ışık türüdür. Lazer kelimesinin içeriğine bakacak olursak ‘Radyasyonun Uyarılmış Salınması yoluyla Işığın Şiddetlendirilmesi’ anlamına gelen (Light Amplification by Stimulated Emission of Radition) bir kısaltmadır. Lazerin anlaşılmasında, elektromanyetik ışımanın soğrulması ve salınmasıyla ilgili önemli bir olgu daha vardır. Uyarılmış salınım adı verilen bu olgu lazer ışığının üretilmesinde son derece önemlidir. Lazerin temel çalışma prensiplerinin ve yapımının oldukça kolay olmasına karşın, keşfinin bu kadar uzaması ilgi çekicidir. 1960’tan sonra lazerlerin gelişimi oldukça hızlı olmuştur. Uygulama alanına sokulması başlangıçta yavaş olmakla beraber günümüzde lazer radyasyonunun uygulamaları ile ilgili yenilikler olmaktadır. Maiman’ın ilk çalışan lazeri (yakut lazeri) bulması ile birlikte lazer tiplerinde büyük bir artış meydana gelmiştir. Lazerler yapısında kullanılan malzemeye göre çeşitlere ayrılabilirler. Bunlardan bazıları yalıtkan, yarıiletken, gaz ve boya lazerleridir. Bu çalışmada yer değişimi ölçüm sisteminde kullandığımız He-Ne lazeri ve alternatif olarak kullanılabilecek yarıiletken lazerler üzerinde durulacaktır [7-10].

-Yarıiletken Lazerleri

Yarıiletken lazerleri prensipte LED'lerden çok farklı değildir. Aktif bir p-n eklemi oluşturur; böylece lazer ışığını elde etmek için gerekli diğer şartlar, nüfuz tersinmesi ve optik geri beslemedir. Uyarılmış salınım elde edilmesi için elektron hal çiftlerinin bulunduğu bir bölgeye ihtiyaç vardır. Bu çok yüksekçe zenginleştirilmiş n ve p tipi maddelerden oluşan bir ekleme, pozitif yönde gerilim uygulamasıyla elde edilir [8]. Şekil 3.7'de GaAs tek eklemlı yarıiletken diyot lazerin şematik gösterimi görülmektedir.

Şekil 3.7 GaAs Tek Eklemlı Yarıiletken Diyot Lazerin Şematik Gösterimi [8]

-He-Ne Lazeri

He-Ne lazerlerinde aktif ortamda He/Ne gaz karışımını kullanılmaktadır. Bu aktif ortam lazer geçişleri için enerji seviyelerini sağlar. He-Ne lazerinde güç çıkışı oldukça küçüktür 5mW ile 100mW arasındadır. Bununla birlikte radyasyon oldukça iyi yönelmiş, ahenkli ve oldukça dar bir çizgi genişliğine sahip olduğundan, birçok uygulama için oldukça kullanışlıdır [8]. Yapılan bu tez çalışmasında girişim desenlerini elde etmek amacıyla 5mW gücünde polarize Helyum Neon lazer kullanılmıştır. Kullanılan bu helyum neon lazer ile girişim desenleri elde edilmiştir. Yapıları oldukça basit olan helyum neon lazerlerin şematığı Şekil 3.8'de gösterilmektedir.

Şekil 3.8 He-Ne Lazer Şeması [8]

3.6. Fotodedektörler

Fotodedektörler bir başka ifade ile söyleyecek olursak foton algılayıcıları, üzerlerine düşen ışığı elektriksel sinyale çeviren yarı iletken malzemelerdir. Burada dikkat edilmesi gereken en önemli nokta ışığın elektriksel sinyale dönüştürülerek işlenebilmesidir. Yapılan bu tez çalışmasının en önemli noktalarından birisi de, kurulan Michelson interferometresi ile elde edilen girişim deseninin, elektriksel sinyale dönüştürülerek işlenebilmesidir. Elde edilen girişim deseninin elektriksel sinyale dönüştürülerek incelenebilmesi amacı ile fotodiyot kullanılmıştır [8].

3.6.1. Fotodiyot

Fotodiyot p-n eklemine sahip yarı iletken bir malzemedir. Yapı olarak zener diyotlara benzerler, devreye ters polarize olacak şekilde bağlanırlar. Fotodiyot üzerine düşen ışık, fotodiyotun üzerindeki mercek yardımı ile p-n eklemine odaklanır. Üzerine ışık düşme neticesinde p-n eklemine bir akım akar [5-8].

- Çığ Fotodiyotları

Çığ fotodiyotunda, temel bir p-n yapısı çok yüksek ters gerilim altında çalıştırılır. İç akım kazancı olan ve geri besleme voltajı altında çalışan çığ fotodedektörleri fiber optik katlarda kullanılan detektörlerdir. Şekil 3.9'da çığ fotodedektörü görülmektedir [8].

Şekil 3.9 Çığ Fotodedektörü [8]

- Schottky Fotodiyotları

Schottky fotodiyotunda ince bir metal kaplama (genelde altın) bir n- tipi silikon tabana konur. Bu fotodiyotun temel üstünlüğü, yüzey metal tabakanın mavi ve yanık morötesi radyasyonunu geçirecek kadar ince yapılabilir olmasıdır. Şekil 3.10'da Schottky fotodiyotu görülmektedir [8].

Şekil 3.10 Schottky Fotodiyotunun Temel Yapısı [8]

3.7. Optik Elemanlar

Bu bölümde tasarlanan optoelektronik sistemin içerisinde kullanılan optik elemanlar tanıtılacaktır. Optoelektronik sistemin tasarım aşamasında kullanılan merceklerin yapısı hakkında araştırma yapılırken optik tasarım programları kullanılarak sisteme uygun optik eleman seçimi yapılmıştır. Bu bölümde sistemde kullanılan optik ekipmanların neler olduğu, hangi özelliklere göre seçildiği ve teknik özelliklerden nelere dikkat edilmesi gerektiği anlatılacaktır.

3.7.1. Mercekler

Mercekler ışığın yönünü değiştiren, kıran, toplayan, dağıtan ve ışık demetlerini birbirlerine yaklaştırıp uzaklaştırabilen camdan, kuvarstan veya plastikten yapılan malzemelerdir. Belirli dalga boyundaki ışıkları geçirirler. Örneğin, plastik mercekler 1,5-2 μm 'ye kadar olan ışıkları geçirirken cam mercekler ise 5 μm 'ye kadar olan ışıkları geçirirler [14, 15]. Mercekleri küresel ve silindirik olmak üzere iki grupta sınıflandırabiliriz.

Küresel Mercekler

Küresel merceklerde kendi aralarında iki gruba ayrılırlar. İnce kenarlı mercek, üzerine gelen ışığı bir noktada toplar ise dışbükey mercek veya yakınsak mercek olarak adlandırılır. Kalın kenarlı mercek, üzerine gelen ışın ya da ışın demetlerini dağıtan mercek ise içbükey mercek veya ıraksak mercek olarak adlandırılır. Piyasada çeşitli mercek araştırmaları yaparken karşılaşılan terimler ve açıklamaları Şekil 3.11'de görülmektedir.

Şekil 3.11 Mercek Çeşitleri [25]

3.7.2. Yansıtıcılar

Işığı istediğimiz doğrultu ve açıda yönlendirebilmek için kullanılan optik elemanlardır Tam yansıtıcı ve yarım yansıtıcı olmak üzere ikiye ayrılırlar. Tam yansıtıcı, belirli bir açı ile yansıma yüzeyine gelen ışığı tamamen yansıtır ve herhangi bir ışık kaybına sebep olmaz. Yarım yansıtıcı, belirli bir açı ile yansıma yüzeyine gelen ışığın bir kısmını geçirir ve bir kısmını yansıtır. Bunlara en önemli örnek olarak ışın bölücüler gösterilebilir.

4. İNTERFEROMETRİK MESAFE ÖLÇÜM METODU

Şekil 4.1’de gösterilen sistem Albert Abraham Michelson tarafından geliştirilen girişimölçerdir. Bu sistem ışık demetini iki kısma ayırır ve bu kısımları birleştirerek bir girişim deseni oluşturur. Desendeki şiddet dağılımı demetin iki parçası arasındaki noktadan noktaya yol farkının karakteristiğidir. Böylece, eğer yol uzunluklarının biri değişir ise saçak deseni ekran üzerinde hareket edecek ve yol uzunluklarındaki fark, saçak kayması cinsinden ölçülebilecektir. Bu yöntem hassas mesafe değişimlerinin ölçülmesine olanak sağlamaktadır. Şekil 4.1’de gösterilen girişimölçerde, lazer kaynağından çıkan ışın demeti ışın bölücü tarafından aynı şiddete sahip iki ışına ayrıldıktan sonra, hareketsiz yansıtıcı yüzey M_1 ve hareketli yansıtıcı yüzey M_2 tarafından yansıtılarak fotodedektör üzerinde giriştirilir. İki dalga birleştiğinde dalgalar aynı fazda ise birbirleri üzerine eklenir ve aydınlık saçak meydana getirirler. Dalgaların fazları farklı ise birbirlerini yok ederler. Yol farkı dalga boyunun tam katları ise yapıcı (aydınlık) girişim, dalga boyunun yarım katları ise yıkıcı (karanlık) girişim elde edilecektir.

Şekil 4.1 Michelson İnterferometresi [26]

İki ışık demetinin girişimi neticesinde fotodedektör üzerinde elde edilen dalganın elektrik alanı,

$$E = \frac{E_0}{2} \sin(\omega t - k2l_2) + \frac{E_0}{2} \sin(\omega t - k2l_1) \quad (4.1)$$

şeklinde olacaktır. Bu ifadeyi basitleştirmek için,

$$\sin A + \sin B = 2 \sin\left(\frac{A+B}{2}\right) \cos\left(\frac{A-B}{2}\right) \quad (4.2)$$

özdeşliği kullanılır.

Girişim neticesi sonucu oluşan elektrik alan,

$$E = E_0 \cos(k(l_2 - l_1)) \sin(\omega t - k(l_2 + l_1)) \quad (4.3)$$

şeklinde yazılabilir.

Bir dalganın şiddeti elektrik alanının karesi ile orantılı olduğundan ışık şiddeti,

$$I \propto E^2 = E_0^2 \cos^2(k(l_2 - l_1)) \sin^2(\omega t - k(l_2 + l_1)) \quad (4.4)$$

olarak ifade edilebilir.

Fotodedektör zamana bağlı ortalama ışık şiddeti ölçtüğünden ve $\sin^2(\omega t - k(l_2 - l_1))$ 'in periyot üzerinden ortalama değeri $\frac{1}{2}$ ve dalga sayısı $k=2\pi/\lambda$ olduğundan fotodedektör tarafından ölçülen ışık şiddeti,

$$I = I_0 \cos^2\left(\frac{2\pi}{\lambda}(l_2 - l_1)\right) \quad (4.5)$$

şeklinde olacaktır.

$$\frac{2\pi}{\lambda}(l_2 - l_1) = N\pi \text{ olduğunda aydınlık} \quad (4.6)$$

$$\frac{2\pi}{\lambda}(l_2 - l_1) = (N + 1/2)\pi \text{ olduğunda da karanlıklar saçak oluşur.} \quad (4.7)$$

Burada $N=^+1, ^+2, ^+3, \dots$, fotodedektör üzerinden geçen aydınlık ve karanlık saçakların sayısıdır. Yol farkı $\Delta x=l_2-l_1$ şeklinde yazılır ise fotodedektör önünden akan aydınlık saçak sayısı

$$N = \frac{2 \Delta x}{\lambda} \quad (4.8)$$

olup bir sayma devresi ile fotodedektör önünden geçen aydınlık saçaklar sayıldığında Δx yer değiştirmesi,

$$\Delta x = \frac{N \lambda}{2} \quad (4.9)$$

şeklinde hesaplanabilir [12, 13].

5. DENEY DÜZENEGİ

Freze makinalarında işlenen iş parçasının talaş derinliğindeki değişimi interferometrik temassız bir şekilde ölçmeyi amaçlayan bu çalışmada seçilen yöntem gereği, malzemeleri işleyebilmek için bir freze makinasına, oluşan girişim deseninin analizi için elektronik algılama sistemine ve Michelson interferometresi deney setine ihtiyaç duyulmuştur. Michelson interferometresi sisteme özel olarak tasarlanmıştır. Tasarlanan yer değişimi ölçüm sistemi üç ana kısımdan oluşmaktadır.

- 1) Freze Makinası
- 2) Michelson İnterferometresi
- 3) Elektronik Algılama Ünitesi

5.1. Freze Makinası

Yapılan bu tez çalışmasında bilgisayarla kontrol edilebilen Terco yüzey işleme tezgâhı (TYİT) kullanılmıştır. TYİT dik işleme (freze) özelliğine sahip nümerik kontrol bir takım tezgâhıdır [11].

Şekil 5.1 Tezgâh, Güç ve Kontrol Ünitesi [11]

Tezgâh 1970 yılının sonlarına doğru yapılmıştır. 3 ana ünitelerden oluşmaktadır. Bu üniteler Şekil 5.1’de görülmektedir.

1. Takım tezgâh ünitesi
2. Tezgâh güç ünitesi
3. Tezgâh kontrol ünitesi

TERCO takım tezgâh ünitesi,

- Mekanik
- Elektronik
- Motor

olmak üzere üç kısımda incelenebilir [11].

5.1.1. Mekanik Kısım

Terco yüzey işleme tezgâhı, 3 eksenli dik işleme yapabilme özelliğine sahip bilgisayar kontrollü bir takım tezgâhıdır.

Tablo 5.1 Takım Tezgâh Ünitesinin Mekanik Parça Listesi [11]

Parça No	Parça adı
C ₁	Tek fazlı DC motor
C ₂	Motor etiketi
C ₃	İşleyici kafayı taşıyıcı mil
C ₄	İşleyici kafa üzerindeki aç taksimatı
C ₅	İşleyici kafa sıkıştırma vidası
C ₆	İşleyici kafa uç yuvası
C ₇	Ana sütun
C ₈	Tabla
C ₉	Mengene
C ₁₀	X, Y, Z, eksen motorları
C ₁₁	Redüktör
C ₁₂	Dişli kutuları ayar vidaları
C ₁₃	Tezgâh kaidesi

Tezgâh eksen hareketini sahip olduğu adım motorlarıyla gerçekleştirir. Tezgâh tablası, x motoru tarafından sağa ve sola, y motoru tarafından ileri ve geri ve z motoru tarafından yukarı ve aşağı hareket ettirilebilir. Tezgâhın işleme hacmi 576.000 mm³ tür. (X x Y x Z- 180 mm x 80 mm x 40 mm). Tablo 5.1’de, tezgâhın mekanik kısmını oluşturan parçalar listelenmiştir. Ünite x, y ve z eksen değerlerini gösteren milimetrik tabla cetvelleri yer alır. Tezgâh üzerinde bulunan motorlara ait çıkışlar doğrudan redüktöre bağlıdır. Redüktör adım motorları ile tablayı hareket ettiren miller arasındaki gücü ve hareketi aktaran mekanizmadır. Redüktör, adım motorundan gelen hareketin momentini güçlendirir ve eksen hareket miline aktarır. Her eksen üzerinde, redüktör ve hareket algılayıcı (enkoder) devrenin yer aldığı bir kutu bulunur. Eksen adım motorları bu kutular üzerine monte edilmiştir [11]. Şekil 5.2’de herhangi bir eksen üzerinde bulunan kutu ve kutu üzerindeki adım motor, redüktör ve enkoder devresi görülmektedir.

Şekil 5.2 Freze Tezgâh Ünitesi [11]

Şekil 5.3 Eksenlerin Hareketini Sağlayan Motor [11]

5.1.2. Elektronik Kısım

Terco yüzey işleme tezgâhı (TYİT) eksenlerin hareket algılayıcı devresi enkoderlerdir ve enkoderler bu takım tezgâh ünitesinin elektronik kısmını oluşturur. Tezgâh ünitesinde motor redüktörlerine bağlı birer silindir bulunmaktadır [11]. Şekil 5.4’de, silindir ve üzerine bağlı enkoder devresi görülmektedir.

Şekil 5.4 Enkoder Bağlantıları [11]

5.1.3. Motor Kısımı

Terco yüzey işleme tezgâhında 1 adet işleyici kafa motoru ve 3 adet eksen hareket motoru bulunmaktadır.

5.1.3.1. İşleyici Kafa Motoru

İşleyici kafa motoru DC akım tarafından çalıştırılır. Tablo 5.2’de işleyici kafa motoruna ait özellikler görülmektedir.

Tablo 5.2 İşleyici Kafa Motoru Etiketleri [11]

Amb. Temp max	40 °C
Power	1.8 kW
M03	Clockwise
M05	Stop
S1	500 rpm
S2	750 rpm
S3	1000 rpm
S4	1250 rpm
S5	1500 rpm
S6	1750 rpm
S7	2000 rpm
S8	2250 rpm
S9	2500 rpm

5.1.3.2. Eksen Motorları (Adım Motoru)

Takım tezgâh ünitesinde eksenel hareketleri sağlayabilmek amacıyla 3 adet adım motor bulunmaktadır. Bu adım motorları ile x, y, z ekseninde hareket sağlanabilmektedir [11]. Tablo 5.3’de adım motorlara ait özellikler görülmektedir.

Tablo 5.3 Adım Motor Özellikleri [11]

Code No	9904 112 20001
Step Angle	3,45°
Current/Coil	550 mA
Torque	1600 gcm

5.1.3.3. Terco Yüzey İşleme Tezgâhı Kontrol Yazılımı Bilgileri

Marmara Üniversitesi Elektrik-Elektronik Mühendisliği Robotik Laboratuvarında hazır halde bulunan TYİT ve donanımları mevcut laboratuvarından faydalanılarak kullanılmıştır. TYİT kontrol etmek için tasarlanan sürücü ünitesi ve çalışmasını sağlayan kontrol ünitesine sahiptir. Yazılımla işlenen program verileri, kontrol işaretleri ile sürücü ünitesine iletilir. Sürücü ünitesi kontrol sinyallerine göre tezgâhtaki adım motorlarını hareket ettirir [11].

SimCNC Yazılımı

SimCNC yazılımı Microsoft Visual Basic görsel programlama dilinde oluşturulan CNC tezgâhının işleyişi ve kumanda edilmesi amacıyla tasarlanmış bir kontrol yazılımıdır.

Şekil 5.5 SimCNC Yazılımı Açılış Ekranı [11]

Şekil 5.6 SimCNC Kullanıcı Arayüzü [11]

Kullanıcı arayüzü 9 ana kısımdan oluşur.

- 1- Menü Çubuğu
- 2- G Kodu Çöz
- 3- Çizim Ekranı
- 4- İşleyici Kafa Konum Bilgisi
- 5- G Kodu Göster
- 6- Parça Sıfır Noktası
- 7- İşleyici Kafa Koordinatı
- 8- Koordinat Değeri
- 9- Kontrol Çubuğu

SimCNC yazılımı kullanılarak kontrol edilen freze tezgâhı tarafından iş parçasını işlemek için farklı değerlerde talaş derinliği verilmiştir. Yazılım ara yüzünden kontrol edilebilen bu talaş derinlikleri elde edilen sonuçlar ile karşılaştırılmıştır [11].

5.2. Michelson İnterferometrik Sistemi

Yapılan bu tez çalışmasında seçilen yöntem gereği Michelson girişimölçer sistemine ihtiyaç duyulmuştur. Tasarlanan bu girişimölçer sistemi, üzerine monte edileceği freze takım tezgâhına uygun olarak düzenlenmiştir. Sistem freze makinasına monte edilmeden önce denemeler yapılmış ve girişimölçer sisteminin sağlıklı bir şekilde çalıştığı gözlemlenmiştir. Bu gözlemden sonra tasarlanan sistem ölçüm yapılacak olan freze makinası üzerine monte edilmiştir. Tasarlanan sistemin çalışma şekli Şekil 5.7’de şematize edilmiştir.

Şekil 5.7 Deney Sistemi Şeması

5.2.1. Michelson İnterferometrik Sisteminde Kullanılan Malzemeler

- He-Ne Lazer:

Bu sistemde ışık kaynağı olarak He-Ne lazer kullanılmıştır. Kullanılan lazer ile ilgili katalog bilgisi tezin son kısmında verilmektedir.

Şekil 5.8 He-Ne Lazer

He-Ne lazer sistemin özelliklerine göre seçilmiştir. Sistemde kullanılan He-Ne lazer polarize bir lazerdir, 5 mw gücünde ve dalga boyu 632,8 nm'dir. Sistemde kullanılan He-Ne lazer Şekil 5.8'de görülmektedir.

- Işın Bölücü: Işın bölücü ışığı %50 oranında geçirip %50 oranında yansıtır. Sistem gereği eş fazlı iki ışın elde etmek için ışığı iki ayırma işleminde ışın bölücü kullanılmıştır. Işın bölücü bu sistemde iki kaynak kullanılması yerine bir kaynaktan eş fazlı iki ışın elde edilmesini sağlamıştır. Aksi takdirde ışın bölücü olmadan bu sistem tasarlansa iki eş fazlı kaynağa ihtiyaç duyulacak bu da sistemin pratikliğini azaltacaktır. Sistemde kullanılan ışın bölücü Şekil 5.9'de görülmektedir.

Şekil 5.9 Işın Bölücü

- Hareketli Ayna: Sistemde ışığı yansıtma işlemi için hareketli aynalar kullanılmıştır. Sistemde kullanılan ayna Şekil 5.10'da görülmektedir. Ayrıca sistemin bazı noktalarında lazer ışığının yönünü değiştirmek içinde aynalar kullanılmıştır. Bu aynalar sayesinde lazer ışığını istediğimiz noktaya doğru yönlendirmemiz mümkün olmaktadır.

Şekil 5.10 Hareketli Ayna

- Işın Büyütücü (Extender): Oluşturulan girişim deseni çıplak gözle görülmesi zordur. Bu zorluğu ortadan kaldırmak için ise görüntüyü büyütmek için beam expander yani genişletici mercek kullanılmıştır. Bu mercek sayesinde görüntü çıplak gözle rahatça

görülebilecek bir büyüklüğe ulaşmıştır. Sistemde kullanılan ışın genişletici Şekil 5.11’de görülmektedir.

Şekil 5.11 Extender

- İnce Kenarlı Mercek: Yansıyan ışığın difüz ettikten sonra fotodedektör üzerine odaklamak için odak uzaklığı 6 cm olan ince kenarlı mercek kullanılmıştır. Sistemde kullanılan mercek Şekil 5.12’de görülmektedir.

Şekil 5.12 İnce Kenarlı Mercek

- Fotodedektör: İnterferometrik sistemde elde edilen girişim desenlerini algılamak ve elektriksel sinyale çevirip sayıcı devresine aktarmak için dalga boyu genişliği 200 nm-1100 nm olan fotodedektör kullanılmıştır. Sistemde kullanılan foto dedektör Şekil 5.13’de görülmektedir.

Şekil 5.13 Fotodedektör

- Yükselteç: Fotodedektör ile algılanan sinyalleri yükseltmek ve daha iyi sonuç elde edebilmek için kullanılan fotodedektör ile uyumlu photodiode amplifier (yükselteç) kullanılmıştır. Sistemde kullanılan yükselteç Şekil 5.14’de görülmektedir.

Şekil 5.14 Yükselteç

- Elektronik Sayıcı Devresi: Elektronik sayıcı devresi elde edilen girişim desenini algılayıp saymak için tasarlanmıştır. Şekil 5.15’de elde edilen girişim deseni görülmektedir.

Şekil 5.15 Girişim Deseni

Oluşan bu girişim desenini elektriksel sinyale çevirebilmek için fotodedektör kullanılmıştır. Oluşan bu girişim deseninin fotodedektör tarafından algılanıp sayıcı devresine aktarılabilmesi büyük bir derecede hassasiyet gerektirmektedir. Zira fotodedektörün oluşan girişim desenine dik konumda olmalıdır. Ayrıca kullanılan fotodedektörün algılama aralığı lazerin dalga boyunda ve onu içeren aralıklarda olmalıdır. Gerçekleştirilen elektronik algılayıcı devresi şeması ve baskı devresi Şekil 5.16 a, b, c’de görülmektedir.

Şekil 5.16 (a) Elektronik sayıcı devresi görünümü

Şekil 5.16 (b) Elektronik Devre Çizimi

Şekil 5.16 (c) Baskı devre

Kullanılan malzemelerin listesi;

$R_1 : 560 \Omega$

$R_2 : 1 K\Omega$

$R_3, R_4, R_5, R_6, R_7, R_8, R_9, R_{10} : 330 \Omega$

$T_1, T_2, T_3, T_4, T_5, T_6 : 2N22$ Transistör

D_1, D_2 : 1N4001 Diyot

U_2 : 74C14 Schmitt Trigger

S_1 : Reset Butonu

Display : 4 Digit display

6. DENEY SİSTEMİNİN KURULUMU VE ÇALIŞTIRILMASI

Yapılan bu çalışmada freze tezgâhlarında düzlem yüzey frezeleme işlemi sırasında talaş derinliğindeki değişimin Michelson interferometresi esaslı bir sistem geliştirilerek ölçülmesi için bir deney düzeneği tasarlanması amaçlanmıştır. Işık kaynağı olarak 638,2 nm dalga boyunda ve 5mW gücünde HeNe lazer kullanılmıştır. HeNe lazerden çıkan ışın çapı ince kenarlı bir mercek yardımı ile odaklanarak ışın bölücü üzerine düşürülür. Işın bölücü tarafından iki eş parçaya ayrılan ışınlardan bir tanesi sabit aynaya yönlendirilirken diğer ışın ise ölçümü alınacak iş parçasının üzerine yönlendirilir. Sabit ayna ve iş parçası üzerinden geri yansıyan ışınlar ışın bölücü üzerinde birleşerek bir girişim deseni oluşturur. Burada ışın bölücü ışınları birleştirme işlemini de üstlenmiş olur. Birleşen bu ışınların oluşturduğu girişim deseni fotodedektör üzerine düşürülerek algılanır. Ancak oluşan bu girişim deseni çıplak gözle görülebilmesi için büyütme işlevini görecektir bir mercek ve titreşim giderici sünger ve kauçuk kullanılmıştır. Deney düzeneğinin belirli bölgelerine yerleştirilen titreşim önleyici sünger ve kauçuklar ile titreşim önlenerek daha sağlıklı görüntü almak mümkün olmuştur. Deney sisteminin kurulum aşamaları aşağıdaki sıralamada yapılmıştır.

- 1- Marmara Üniversitesi Teknoloji Fakültesi Kontrol Laboratuvarında atıl halde bulunan Terco marka freze tezgâhı elden geçirilip çeşitli arızaları giderildikten sonra kullanıma hazır hale getirilmiştir. Hazır hale getirilen freze tezgâhı Şekil 6.1’de görülmektedir.

Şekil 6.1 Freze Tezgâhı ve Kontrol Yazılımı

- 2- Hazır hale getirilen freze tezgâhının fiziksel yapısına uygun olarak lazer ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan bu lazer ölçüm sisteminin freze tezgâhının fiziksel yapısına uygunluğu oldukça önemlidir. Bu durumlar dikkate alınarak şekildeki lazer ölçüm sistemi tasarlanmıştır. Tasarlanan lazer ölçüm sistemi Şekil 6.2’de görülmektedir.

Şekil 6.2 Michelson İnterferometresi

Yapılan bu ilk iki aşamada freze tezgâhı elden geçirilip aktive edilmiştir. Aktif hale getirilen freze tezgâhı üzerine monte edilecek olan lazerli ölçüm sistemi için düzenlenerek hazır hale getirilmiştir.

- 3- İlk iki aşamanın sonucunda hazır olan freze tezgâhı üzerine lazer ölçüm sistemi monte edilmiştir. Freze tezgâhı üzerine monte edilen lazer ölçüm sistemi Şekil 6.3’de görülmektedir.

Şekil 6.3 Freze Tezgâhına Monte Edilmiş Michelson İnterferometresi

- 4- Lazer ölçüm sisteminin freze makinasına monte edilmesi aşamasından sonra bir ayna yardımı ile ölçüm sisteminin kalibrasyonu yapılmıştır. Girişim desenini elde edebilmek için var olan titreşim ve makinanın çalışmasından kaynaklanan titreşimlerin giderilmesi için kauçuk süngerler, bagalit ayaklıklar ve titreşim sönümleyici ekipmanlar kullanılmıştır. Titreşim sorununun giderilmesi amacıyla yapılan bu işlemler sonucunda titreşimde gözle görünür bir düzelme meydana gelmiştir. Burada yapılan çalışmalarda

gece geç saatte fakülte binasının boş olduğu anlarda yapılan çalışmalarda daha hassa sonuçlar elde edilmiştir. Bu düzelmenin sonucu olarak da görülemeyen girişim deseni gözle görünür bir hale gelmiştir. şekil 6.4’de üzerinden talaş kaldırılacak olan iş parçası kullanılarak elde edilen girişim deseni görölmektedir.

şekil 6.4 Girişim Deseni

- 5- Elde edilen girişim deseni fotodedektör tarafından algılanan elektriksel sinyal işlemsel kuvvetlendiriciden geçtikten sonra 74C14 Schmitt Trigger entegresi kullanılarak 0-5 V dijital sinyale çevrilmiştir. Üretilmiş olan 0-5 V sinyali sayabilmek için de 74C926 sayıcı entegresi kullanılmıştır. 74C926 sayıcı entegresinden çıkan 16 bitlik ikili düzendeki sayılar 4 dijit gösterge ekranına aktarılmıştır. Ayrıca sayıcı entegresinden elde edilen sayılar bilgisayara aktarıp işlem yapabilmek amacıyla NI USB 6009 veri toplama kartı ile bağlantılanmıştır. Kullanılan veri toplama kartı ile elde edilen sayıcı değeri bilgisayara aktarılmıştır. Bilgisayara aktarılan bu verileri işleyebilmek için Labview programı kullanılmıştır.

7. ÖLÇÜM NETİCELERİ VE DEĞERLENDİRME

Talaşlı üretim endüstrisinin en önemli öğelerinden biri olan frezeleme işlemlerinde kullanılan mevcut ölçüm yöntemlerine alternatif olacak olan bu ölçüm sistemi diğer ölçüm yöntemlerine oranla daha hassas bir sonuç ortaya koymaktadır. Mevcut ölçüm yöntemlerinin yetersiz kaldığı yerlerde daha kullanışlı ve hassas bir ölçüm sistemi geliştirmek amaçlı tasarlanan bu sistemin ana dayanak noktası Michelson interferometresidir. Michelson interferometresi birçok farklı alanlarda hassas mesafe değişimlerinin ölçülebilmesine yönelik yapılan çalışmalarda kullanılmıştır. Yüksek hassasiyet sağlayan bu yöntem ile freze tezgâhlarında işleme tabi tutulan iş parçasının talaş derinliğindeki değişimin temassız olarak ölçülmesi amaçlanmıştır. Bu amaç doğrultusunda tasarlanan deney düzeneğinde birçok deneme işlemi gerçekleştirilmiştir. Üzerinden talaş kaldırma işlemi yapılacak olan iş parçasına freze makinasının kontrol yazılımı tarafından verilen talaş derinliğinden sonra parçada meydana gelen incelme oluşan saçak demetinin hareket etmesini sağlamıştır. Hareket eden saçak demetleri tasarlanan algılama ve sayma devreleri ile sayılmıştır. Sayıcı elektronik devre ile sayılan saçak sayısı,

$$\Delta X_{ölçülen} = N \frac{\lambda}{2} \quad (7.1)$$

Burada;

N= Fotodedektör önünden geçen saçak sayısı

λ = Kullanılan HeNe lazerin dalgaboyu (nm)

ΔX = İş parçasının talaş derinliğindeki değişim miktarı (nm)

7.1 numaralı formülde kullanılarak, freze tezgâhında işlenen iş parçasının talaş derinliğindeki değişim hesaplanmıştır. Lazer ölçüm sistemi ile elde edilen ölçüm sonuçları ve freze tezgâhı kontrol yazılımı (SimCNC) ile verilen talaş derinlik değerleri Tablo 7.1’de görülmektedir. Geliştirilen bu ölçüm yöntemi ile hesaplanan talaş derinliği değişim miktarının, kontrol yazılımı tarafından girilen talaş derinliği miktarına oldukça yakın olduğu görülmektedir. Lazer ölçüm sistemi ve freze tezgâhı kontrol yazılım değerleri arasında çıkan sonuçlar ile karşılaştırma yapılmıştır.

Tablo 7.1 Deney Ölçüm Değerleri ve SimCNC Yazılım Değerleri

Talaş Derinliği SimCNC (mm)	Lazer Ölçüm Sistemi (mm)
0,3	0,2958
0,4	0,3534
0,5	0,4508
0,6	0,5627

Alınan ölçüm sonuçları ile freze tezgâhı kontrol yazılımı (SimCNC) yazılımı sonuçlar kıyaslanarak ölçmede yapılan hata oranları mutlak hata eşitliği ile yüzde olarak bulunmuştur.

$$\Delta X = X_{ölçülen} - X_{SimCNC} \quad (7.2)$$

$$\beta = \frac{X_{ölçülen} - X_{SimCNC}}{X_{SimCNC}} \quad (7.3)$$

$$\delta = -\Delta X = X_{SimCNC} - X_{ölçülen} \quad (7.4)$$

Formüller ışığında elde edilen ölçüm sonuçları ile ilgili gerekli hesaplamaları tüm ölçüm sonuçları için sırasıyla yapacak olursak;

7.1 nolu formül ile hesaplanan talaş derinliğindeki değişim ölçüm sonucu 0,2958 mm, SimCNC yazılımı tarafından verilen talaş derinliği 0,3 mm'dir.

$$\Delta X = -0,0042 \text{ mm}, \delta = 0,0042 \text{ mm}, \beta = -0,014 \text{ ve yüzde olarak hata } \%1,4' \text{ tür.}$$

7.1 nolu formül ile hesaplanan talaş derinliğindeki değişim ölçüm sonucu 0,3535 mm, SimCNC yazılımı tarafından verilen talaş derinliği 0,4 mm'dir.

$$\Delta X = -0,0466 \text{ mm}, \delta = 0,0466 \text{ mm}, \beta = -0,1165 \text{ ve yüzde olarak hata } \%11,65' \text{ dir.}$$

7.1 nolu formül ile hesaplanan talaş derinliğindeki değişim ölçüm sonucu 0,4508 mm, SimCNC yazılımı tarafından verilen talaş derinliği 0,5 mm'dir.

$$\Delta X = -0,0492 \text{ mm}, \delta = 0,0492 \text{ mm}, \beta = -0,0984 \text{ ve yüzde olarak hata } \%9,87' \text{ tür.}$$

7.1 nolu formül ile hesaplanan talaş derinliğindeki değişim ölçüm sonucu 0,5627 mm, SimCNC yazılımı tarafından verilen talaş derinliği 0,6 mm'dir.

$\Delta X = -0,0373mm$, $\delta = 0,0373 mm$, $\beta = -0,0621$ ve yüzde olarak hata %6,21'dir.

Terco yüzey işleme tezgâhının kontrol yazılımı olan SimCNC arayüzü kullanılarak işlenecek malzemeye verilen talaş derinlikleri ile tasarlanan lazerli ölçüm sistemi tarafından elde edilen ölçüm sonuçları arasındaki bu sapmaların ağırlıklı olarak titreşimin ve yüzey pürüzlülüğünün etkisi olmuştur. Burada hazırlanan bu deney sisteminin sonucuna en çok etki eden durum ise şüphesiz ki titreşim sorunu olmuştur. Elde edilen girişim desenlerinin net bir şekilde fotodedektör üzerine düşürülüp sayılabilmesi için titreşim giderilmiştir. Titreşim sorununu ortadan kaldırmak için çeşitli yöntemlere başvurulmuştur. Kauçuklar, bagalit makine ayaklıkları ve topları, titreşim sönümleyici elastik pistonlar kullanılmıştır. Titreşimi gidermek için yapılan bu çalışmalar netice vermiş ve elde edilen girişim deseni net bir şekilde fotodedektör üzerine düşürülüp algılanabilmiştir.

8. SONUÇ

Freze tezgâhlarında işlenen iş parçasının talaş derinliğindeki değişimin ölçülmesine güçlü bir alternatif oluşturacak olan bu çalışmanın ana çıkış noktasını Michelson interferometresi oluşturmaktadır. Gerçekleştirilen bu sistemde Michelson interferometresi kullanılarak freze tezgâhlarında işlenen iş parçasının talaş derinliğindeki değişim ölçülmektedir. İnterferometre sisteminin sağladığı yüksek hassasiyetteki ölçüm imkânında bazı olumsuzluklarda ortaya çıkmıştır. Bu olumsuzluklar titreşim ve yüzey pürüzlülüğüdür. Elde edilen girişim deseninde dış kaynaklı ortaya çıkan bu durumları en aza indirebilmek için freze makinasını yer ile temas eden plastik ayaklar bagalit ayalar ile değiştirilmiş ve sistemin belirli noktalarına titreşim sönümleyici kauçuk sünger karışımı dolgular yapılmıştır. Yapılan bu işlemler sonucunda titreşim büyük oranda azaltılmış ve girişim desen görüntüsü çıplak gözle net bir şekilde görünmüştür. Fotodedektör tarafından kolayca algılanan girişim deseni sonucu saçak sayma işlemi geliştirilen elektronik saçak sayma sistemi ile başarılı bir şekilde gerçekleştirilmiştir. Alınan yukarıdaki önlemler neticesinde SimCNC yazılımı ile sisteme girilen talaş derinliği değerleri ve lazer sistemi ile elde edilen ölçüm değeri arasında %7'lik bir fark oluşmuştur. Bu da lazer ölçüm sisteminin CNC tezgâhlarında talaş derinliği değişiminin temassız ölçümünde bir alternatif olarak kullanılabileceği neticesini vermektedir. Tasarlanan sistem Şekil 8.1'de şematize edilmektedir.

Şekil 8.1 Tasarlanan Deney Düzenegi

KAYNAKLAR

- [1] Yandayan, T. (1997). Malat Metrolojisinde Laser Kullanarak Yapılan Ölçme Teknikleri. II. Ulusal Ölçümbilim Kongresi Bildiriler Kitabı, 216-232.
- [2] Etik, M. (2004). Paslanmaz Çeliklerin Düzlem Yüzey Frezelemede Talaşlı İşlenebilirliğinin İncelenmesi. Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, İstanbul.
- [3] Akkurt, M. (1998). Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgâhları. Birsan Yayınevi.
- [4] İpekçioğlu, N. (1984). Frezecilik. Milli Eğitim Basımevi.
- [5] Pastacı, H. (2000). Elektrik Ve Elektronik Ölçmeleri. Yıldız Teknik Üniversitesi.
- [6] Gürdal, O. (2000). Algılayıcılar Ve Dönüştürücüler. Nobel Yayın Dağıtım.
- [7] Serway, A. R., & Robert, J. B. (2002). Fen Ve Mühendislik İçin Fizik-2, Elektrik Ve Manyetizma-Işık Ve Optik (5. Baskı). Ankara: Palme Yayıncılık.
- [8] Wilson, J., Hawkes, J. F. B., & Okur, İ. (2000). Optoelektronik. Değişim Yayınları.
- [9] Lazerler, Charlene W. Billings, John Tabak Tübitak Yayınları, (2006).
- [10] **Lasers/Lazerler - Peter W. Milonni/Joseph H. Elberly**
- [11] Uyanık, A. S., Şimşek, İ., Aytan, İ. N., Onat, M., & Erdal, H. 3 Eksenli Yüzey İşleme Tezgâhının Bilgisayar İle Kontrolü Computer Aided Control Of 3-Axis Surface Processing Machine.
- [12] Bocekci, V. G., & Varol, H. S. (2015). Michelson Interferometer Based Displacement Measurement Using Video Processing. Acta Physica Polonica A, 127(4), 934-936.
- [13] Gåsvik, K. J. (2003). Optical Metrology. John Wiley & Sons.
- [14] www.thorlabs.com (Erişim Tarihi: 22.09.2016)
- [15] Topdemir, H. G., & Arman, İ. (2007). Işığın Öyküsü: Mitolojiden Matematiğe Işık Kuramlarının Tarihsel Gelişimi. Tübitak.
- [16] Talaş Kaldırma Yöntemleri Ve Takım Tezgâhları, Prof. Dr. Murat VURAL, İTÜ Makina Fakültesi
- [17] www.hamitarslan.com (Erişim Tarihi: 25.09.2015)
- [18] Alıcılar, P. V. V. Kimya Teknolojisi.
- [19] www.elektronikhobi.net (Erişim Tarihi: 15.08.2015)
- [20] www.hakanbuzoglu.com (Erişim Tarihi: 15.08.2015)
- [21] www.tef-12-optik.weebly.com (Erişim Tarihi: 28.03.2015)
- [22] www.newforescentre.info (Erişim Tarihi: 02.11.2015)
- [23] www.wikipedia.com (Erişim Tarihi: 02.11.2015)

- [24] www.320volt.com (Erişim Tarihi: 06.11.2015)
- [25] www.gokbilim.ege.edu.tr (Erişim Tarihi: 13.11.2015)
- [26] www.wanda.fiu.edu (Erişim Tarihi: 25.09.2015)

EKLER

EK 1: BPW17N Silikon NPN Fototransistör Katolog Bilgileri

Absolute Maximum Ratings

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Value	Unit
Collector Emitter Voltage		V_{CEO}	32	V
Emitter Collector Voltage		V_{ECO}	5	V
Collector current		I_C	50	mA
Collector peak current	$t_p/T = 0.5, t_p \leq 10\text{ ms}$	I_{CM}	100	mA
Total Power Dissipation	$T_{amb} \leq 55\text{ }^{\circ}\text{C}$	P_{tot}	100	mW
Junction Temperature		T_J	100	$^{\circ}\text{C}$
Storage Temperature Range		T_{stg}	- 55 to + 100	$^{\circ}\text{C}$
Soldering Temperature	$t \leq 3\text{ s}$	T_{sd}	260	$^{\circ}\text{C}$
Thermal Resistance Junction/ Ambient		R_{thJA}	450	K/W

Şekil/EK 1-a BPW17N Fototransistör temel karakteristikleri

Electrical Characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
Collector Emitter Breakdown Voltage	$I_C = 1\text{ mA}$	$V_{(BR)CEO}$	32			V
Collector-emitter 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

Şekil/EK 1-b BPW17N Fototransistör Elektriksel Karakteristikleri

Optical Characteristics

$T_{amb} = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, unless otherwise specified

Parameter	Test condition	Symbol	Min	Typ.	Max	Unit
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 to 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	$V_S = 5\text{ V}, I_C = 5\text{ mA}, R_L = 100\text{ }\Omega$	t_{on}		4.8		μs
Turn-Off Time	$V_S = 5\text{ V}, I_C = 5\text{ mA}, R_L = 100\text{ }\Omega$	t_{off}		5.0		μs
Cut-Off Frequency	$V_S = 5\text{ V}, I_C = 5\text{ mA}, R_L = 100\text{ }\Omega$	f_c		120		kHz

Şekil/EK 1-c BPW17N Fototransistör Optik Karakteristikleri

Şekil/EK 1-d BPW17N Fototransistör Fiziksel Boyutları

EK 2: MM74C14 Schmitt Trigger Katalog Bilgileri

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 μA	4.5			V
		V _{CC} = 10V, I _O = -10 μA	9.0			
V _{OUT(0)}	Logical "0" Output Voltage	V _{CC} = 5V, I _O = 10 μA			0.5	V
		V _{CC} = 10V, I _O = 10 μA			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 μA	2.4			V
V _{OUT(0)}	Logical "0" Output Voltage	74C, V _{CC} = 4.75V, I _O = 360 μA			0.4	V
OUTPUT DRIVE (see Family Characteristics Data Sheet) T _A = 25°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 (Note 3)						
$T_A = 25^\circ C, C_L = 50 pF$, 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

Şekil/EK2-d MM74C14 Schmitt Trigger Fiziksel Ölçüleri

ÖZGEÇMİŞ

6 Kasım 1987 yılında Trabzon’da doğdu. 2013 yılında Marmara Üniversitesi Fen Edebiyat Fakültesi Fizik Bölümünde lisans eğitimini tamamladı. Lisans eğitimi sonrasında Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Elektrik Elektronik Mühendisliği yüksek lisansına başladı. Lazer uygulamaları alanında çeşitli sektörlerde birçok projede çalıştı.