

23765

ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ
FİZİK ANABİLİM DALI

**İNERFEROMETRE
YÖNTEMİYLE
HE-NE LASER IŞIĞININ
DALGA BOYUNUN
BELİRLENMESİ**

YÜKSEK LİSANS TEZİ

SİBEL ÖZALP

Sınav Günü :
Jüri Üyeleri : Prof.Dr. Ali GÜNGÖR
Prof.Dr. Emine CEBE
Doç.Dr. Ömer ERGİN

Güngör
Emine
Ömer

BURSA, HAZİRAN 1992

T.C. YÜKSEKÖĞRETİM KURULU
DOKÜMANTASYON MERKEZİ

İÇİNDEKİLER

Sayfa No

I. GİRİŞ	1
II. TEORİ	2
II.A. IŞIK DALGALARI VE GİRİŞİM	2
II.B. İNTERFEROMETRELER	4
II.B.1. İNTERFEROMETRELER HAKKINDA GENEL BİLGİ	4
II.B.2. MICHELSON İNTERFEROMETRESİ	6
II.C. LASER	11
II.C.1. LASER HAKKINDA GENEL BİLGİ	11
II.D. İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER VE ÖNEMLİ PAREMETRELERİ	17
II.D.1. OP-AMP UYGULAMASI OLARAK EVİREN YÜKSELTEÇ	22
II.D.2. FAZ ÇEVİRMİYEN YÜKSELTEÇ	24
II.E. TRANSİSTÖRLER VE TRANSİSTÖRLERİN ANAHTAR OLARAK KULLANILMASI	25
II.E.1. TRANSİSTÖRLER HAKKINDA GE- NEL BİLGİ	25
II.E.2. TRANSİSTÖRÜN ANAHTAR OLARAK KULLANIMI	28
II.F. FOTOTRANSİSTÖRÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE ÖZELLİKLERİ	31
II.G. SAYISAL MANTIK	32
II.G.1. ONLUK SAYMA GÖSTERGESİ	32
II.G.2. ONLUK VE İKİLİ SAYI SİSTEMİ	32
II.H. İKİ DURUMLU DEVRELER	38
III. ELEKTRONİK GİRİŞİM SAYACI	41
IV. İNTERFEROMETRENİN YAPIMI, ÇALIŞMASI VE DENEY SONUÇLARI	46
IV.A. İNTERFEROMETRENİN YAPIMI	46
IV.A.1. İNTERFEROMETRENİN YAPIMIN- DA KULLANILAN PARÇALAR	47
IV.B. İNTERFEROMETRENİN AYARI VE ÇALIŞ- MASI	49

IV.C. IŞIK DALGA BOYUNUN VE HAVANIN KIRMA İNDİSİNİN BULUNMASI , ALINAN DENEYSEL SONUÇLAR	52
IV.C.1. DALGA BOYUNDAN HAREKETLE HAVANIN KIRMA İNDİSİNİN BULUNMASI	54
SONUÇ VE TARTIŞMA	57
ÖZET	59
ABSTRACT	60
KAYNAKLAR	61
TEŞEKKÜR	62
ÖZGEÇMİŞ	63
EKLER	
EK.1. İŞLEMSSEL YÜKSELTECİN GİRİŞ VE ÇIKIŞ EMPEDANSLARININ BULUNMASI	64

I. GİRİŞ

Işıktaki girişim olayının gözlenebilmesi, girişim deseninden faydalanarak, ışığın dalga boyunun belirlenmesini mümkün kılmaktadır. Yapılan Michelson interferometresiyle elde edilen girişimden hareketle ışığın dalga boyu belirlenebilir.

Bu fikirden hareketle, ilk önce bir interferometre yapmak ve ışıkta girişim olayını interferometre yöntemiyle de görmek gerekir. Yapılan interferometre bir "He-Ne laser Interferometresi" şeklinde de adlandırılabilir. Bu interferometre, He-Ne laserinin yayınladığı ışığın dalga boyunu belirlemede kullanılacaktır. Ayrıca interferans olayını veren ışıklar arasındaki yol farkının değişimi ile girişim desenindeki değişmeden dolayı aydınlıktan karanlığa geçen bir tam sayma veren bir elektronik sayaç kullanılacaktır.

He-Ne laserinin verdiği ışığın dalga boyu belirlendikten sonra, havası alınabilir bir tüpten de yararlanarak havanın kırma indisi belirlenmiştir.

Böylece interferometrik yöntemle dalga boyunun tayin edilmesi ve kırma indisinin bulunması bu sistemin diğer bazı ölçümlerde kullanılabileceği neticesini ortaya koymuştur.

II. TEORİ

II-A IŞIK DALGALARI VE GİRİŞİM

Işık bir elektromagnetik dalga olduğuna göre, ışıhta da girişim olayını gözleyebilmeliyiz. Eğer gözleyebilirsek, ışık ışınlarını dalga boyunu bulabilir miyiz? Bu soruya cevap aramak için, evvela girişimi tanımlamak ve hakkında kısaca bilgi vermek uygun olacaktır.

İki veya daha fazla dalga aynı anda ve aynı yerde karşılaşırse ortaya çıkan fiziksel olaya "girişim" denir. Bu olay, dalga hareketinin en önemli özelliğidir. Girişim, bir noktaya aynı anda gelen dalgaların karşılaştıkları bölgede meydana gelir. Bir noktaya ulaşan bir dalga katarı o noktaya gelen dalgaları engellemez. Her dalganın etkisinin bileşkesi o noktada kendisini gösterir.

Bir dalga leğeninde iki kaynağı herhangi bir faz gecikmesi ile harekete geçirebilir ve istediğimiz müddetçe çalıştırabiliriz. Işık kaynakları üzerinde böyle bir kontrola imkan yoktur. İki kaynak arasındaki faz farkının niçin hızla değiştiğini anlayabilmek için iki ayrı ışık kaynağını dikkate alalım. Her kaynağın ışığı, her biri gayet kısa zaman süresince ışık dalgaları salan tek tek atomlardan çıkar. Bir ışık kaynağını çalıştırdığımız zaman ışık salma olayını toptan başlatmış oluruz, fakat tek tek atomları kontrol edemeyiz. Atomlar ışık dalgalarını gelişi güzel aralıklarla salar.

Girişim deneylerinde bu olayın önemini anlayabilmek için, her biri bir kaynak içinde bulunan bir çift atomu ele alalım. Büyük bir ihtimalle, bu iki atom arasında bir P_1 faz farkı bulunacaktır. Bu iki atomdan gelen ışık dalgaları P_1 faz farkına bağlı bir girişim düzeni meydana getirir. Gayet kısa bir zaman sonra bu iki atom ışık salmaz olur. Dikkatimizi bu anda ışık salmakta olan başka bir çift atom üzerinde toplayalım. Kontrolümüz altında bulunmadığı için bu iki atom da aynı fazda olamayacaklar ve muhtemelen aralarındaki faz farkı önceki çiftin faz farkından farklı bir P_2 faz farkı olacaktır. Bu nedenle bu ikinci çift başka gi-

rişim saçakları meydana getirecektir. Bir an sonra bu atomlar da ışık vermez olacaklarından, dikkatimizi üçüncü bir çift atom üzerinde toplayıp, aynı düşünme tarzına devam edebiliriz. Bir atomun ışık saldığı sürenin 10^{-9} s olduğu bulunmuştur. Herhangi bir anda bir kaynaktan ışık salan bir tek atomu dikkate alırsak, ışımının devamlı olabilmesi için 10^{-9} s 'de bir atom değiştirmeliyiz. Öyleyse girişim çizgileri de her 10^{-9} s'de bir gelişi güzel değişecektir. Bu süre, gözlerimizin takip edebileceğinden çok daha kısa olduğu için o kadar zayıf ışık kaynaklarını görebilsek bile hiç bir girişim saçağı göremeyiz.

Gözlenebilir bir girişim olayını oluşturmak için daima aynı başlangıç fazında ışık dalgası yayınlayan iki ışık kaynağına ihtiyaç vardır. Buna fizikte koherent iki kaynak diyoruz. İki ışık kaynağıyla bu durum asla gerçekleştirilemez. İki ayrı kaynaktan gelen ışık dalgaları bir an için aynı fazda olsalar bile, girişim saçaklarının yeri çok kısa sürede (10^{-9} s) yer değiştirdiğinden, girişim izlenmemektedir. İki ayrı noktada yayılan ışık dalgalarının daima aynı fazda olmalarını sağlamak için bir ışık kaynağından yararlanarak bunun yaydığı dalgayı ikiye ayırıp, farklı yollardan bir perde üzerine aynı noktaya düşürmek gerekir. Bu durumda asıl kaynaktan meydana gelecek faz değişiklikleri her iki dalga katarında aynı anda hissedilecek ve böylece her bakımdan birbirlerinin aynı fazda dalga yayınlayan iki koherent kaynak elde edilmiş olur. Bu tür kaynaklarla oluşturulan girişimde gözlenen karanlık saçaklar, düğüm çizgileriyle ekranın keşiştiği noktalar, aydınlık saçaklar ise, çift dalga tepesi veya çift dalga çukurlarının ekran ile keşiştiği noktalar olmalıdır.

Bu çalışmada, aynı fazda ışık dalgası yayınlayan iki ışık kaynağı yerine, tek fazlı He-Ne laseri kullanıldı. Laser hakkında bilgi ilerleyen kısımda verilecektir. Böylece aynı fazda çıkan ışık dalgaları sayesinde girişimi gözlemek daha iyi ve kolay olacaktır.

Girişim olayında eğer aynı noktaya gelen iki ışık arasındaki yol farkı $n\lambda$ ise aydınlık noktalar, $(n-1/2)\lambda$ ise karanlık noktalar gözlenir.

II. B İNTERFEROMETRELER

II. B. 1. İNTERFEROMETRELER HAKKINDA GENEL BİLGİ

İnterferometreler, mikroskobik ölçekte ışık saçak girişimlerini meydana getirmek için kullanılan aletlerdir. Bu aletler iki sınıfa ayrılabilir. İlk tip, bir tek ışını yansıma ve kırılmalarla bir çok ışına ayırır ve tekrar birleştirir. Diğer tip ise bir kaynaktan gelen ışık muhtelif ışın demetlerine ayrılır.

İlk tipe bir örnek verilecek olursa, bu bir kağıt üzerine açılmış iki deliğe belirli mesafeden ışık verilmesi şeklinde olmaktadır. Kağıt ile ışın demeti arasındaki mesafe tek bir ışın demetinin kağıt üzerine düşmesini sağlar. Tek bir ışın demeti olarak kağıda düşen ışın, iki delik tarafından parçalara ayrılır. Zira bu ışın bu deliklerden geçerken kırılmakta ve dağılmaktadır. Yine belli bir mesafede bir perdeye yansıtıldıkları takdirde çakışarak aydınlık ve karanlık ışık saçak girişimleri oluştururlar.

İkinci tip interferometrelerin en önemlisi asrın başlangıcında A. A. Michelson tarafından yapılmış olanıdır. Bu interferometre o şekilde yapılmıştır ki, bir kaynaktan gelen ışın belli bir açıda yerleştirilen % 50 geçirgenliği olan yansıtıcıya veya ışık bölücüsüne vurmakta ve bu ışının bir kısmı bir yöne yansırken bir kısmı ışık bölücüsünden geçmektedir. İki kısma ayrılan ışınlar aynalar vasıtasıyla bir perdeye aksettirilerek izleyicinin görüş noktasına gelmektedir. Cihaz gerektiği şekilde ayarlandığı takdirde izleyicinin görüş noktasına gelen ışınlar burada çakışarak girişim saçakları oluştururlar.

Michelson interferometresinin çalışabilir olabilmesi için ışık bölücüsünden ikiye ayrılan ışınlar eşit mesafede ve aynı hızda yol almalıdırlar. Eğer ışın yoluna bir gaz tabakası veya ince bir cam konulduğu zaman girişim saçaklarındaki farklılıklar araya konulan maddenin kırma indisini gösterecektir.

İşını ikiye ayırmanın bir diğer yolu ise ince film

tabakası üzerine düşürülmesidir. Bu halde çok çeşitli girişim saçakları bulunmakta olup, bunlardan birisi sabun köpüklerinde görülen renk bantlarıdır. Bu tip interferometrelerde film tabakası ön yüzeyinden bir kırılma açısı ile ışın izleyicinin görme noktasına gelir. Bir açı yaparak film tabakasının arka yüzeyinden yansıyan ışın film tabakasını geçerek izleyiciye ulaşır. İki ışın izleyen olduğu yerde çakışarak film tabakasında aydınlık ve karanlık bant görünümü verirler. Bu aydınlık ve karanlık bantlar film tabakasının kalınlığına bağlı olduğu için bu yolla film tabakasının kalınlığını tayin etmek kolay olacaktır.

Interferometreler ışığın dalga boylarını, saydam bir maddenin veya gazın kırma indisini tayininde, saydam cisimlerin optik özdeşliklerinin tayininde kullanılabilirler.

Laboratuvarda ışık dalga boyundan başka şeylerin, mesela su dalga boylarını ölçmek oldukça basittir. Bir ölçü çubuğunu su dalgalarına yakın tutarak birbirini takip eden dalga tepe noktalarını ölçmek yeterlidir. Peki bir kimse ışığın dalga boyunu nasıl ölçer? Bu kadar küçük bir şey için metreye benzer ölçü aleti yoktur.

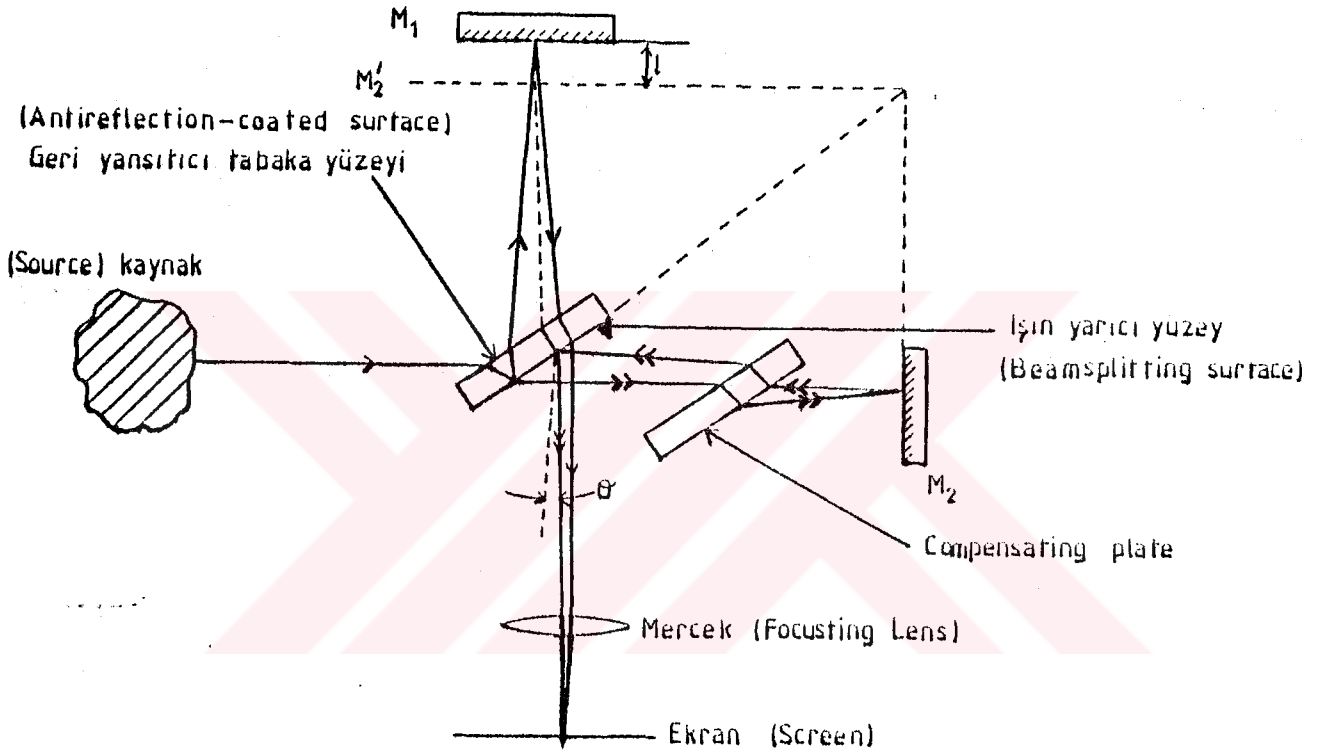
Oyleyse ışığın meydana geldiği söylenen elektrik ve magnetik alanların birbirini takip eden tepe noktalarındaki mesafeyi nasıl ölçeriz? Interferometre, mesafelerdeki mikroskopik değişikliklere hassas olduğu için ışık dalga boylarını büyük bir hassasiyetle ölçmek mümkündür.

Bilinen elementleri saldıkları ışık dalgalarının dalga boyunun ölçülmesi Michelson interferometresiyle aynalardan bir tanesinin mesafesini değiştirerek, ışık girişim saçaklarındaki değişim gözlenerek bulunur.

Fizik ölçmelerinde, interferometrelerin kullanım alanları sayılamayacak kadar çoktur. Bunlardan Michelson interferometresi hakkında bilgi verilecektir. Diğerlerinin isimleri bu kesimin sonunda verilmiştir.

II.B.2. MICHELSON INTERFEROMETRESİ

Tek bir kaynaktan çıkan iki adet ışın değişik istikametlerde yol aldıktan sonra bir noktada çakıştıkları zaman, su dalgalarında olduğu gibi dalga boyları girişimde bulunurlar. Girişim yoluyla çok küçük uzunlukları ölçebilmek için Michelson kendi adıyla bilinen bir alet yapmıştır. Michelson interferometresinin çalışması Şekil:II.1 'de gösterilmiştir.



Şekil:II.1 Michelson Interferometresi

Kaynaktan yayılan ışık bir ışın yarıcıda iki bölüme ayrılır ve ışınları M_1 ve M_2 aynalarına gönderir. Işın yarıcı gibi aynı madde ve kalınlıktaki bir levha, ışın yarıcı ve M_2 aynası arasına konur. Bu levha, diğer kolda ışının oluşturduğu ışın kırıcı tabakasına eklenen iki engelle karşılıktır. Işın kırıcının ışığı yaymasından dolayı, oluşan faz farkı dalga boyuna bağlıdır. M_1 ve M_2 aynalarından gelen iki ışın arasındaki faz farkı 2π 'nin tam katı ise Şekil:II.1 'de θ açısında maksimum aydınlanma meydana

gelir. Işın kırıcıda M_2 'nin yansıyan tarafı M_2' ile gösterilirse, θ açısının maksimum olması için şart,

$$2l \cos \theta = m\lambda \quad (II.1).$$

dır. M_1 aynasının yeri M_2' aynasında $l=0$, $m=0$ değerlerine karşılık gelir. Biz deneyimizde laser kullandığımız için $\theta=0$ alınacaktır. O zaman,

$$2l = m\lambda \quad (II.1.a).$$

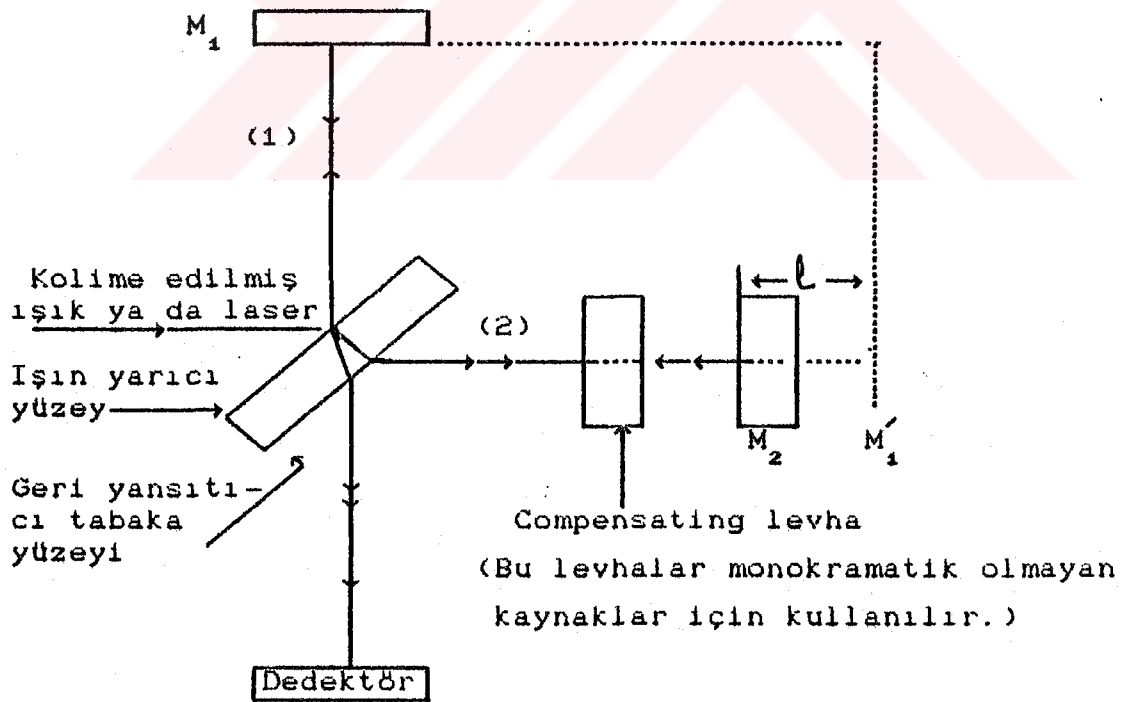
olur. Çıkış ışması bir mercekle odaklanırsa, halkamsı bir model oluşur. Bu net halka örneği sadece

$$2l \cos \theta \leq l_c$$

ise görülür. Burada l_c , kaynaktan gelen radyasyonun koherent boyudur. Halkanın netliği genellikle görünürlük V cinsinden tanımlanır.

$$V_{\max} = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (II.2).$$

bağıntısıyla verilir.



ŞEKİL:II.2 Kolime edilmiş ışık ya da laser kullanılarak düzenlenmiş basit Michelson interferometresi

Halka biçimli bir girişim modeli elde etmek için M_1 ve M_2 aynalarının hemen hemen birbirlerine dik olması gerekir. Aksi takdirde karanlık ve aydınlık bantlarda bükülme görülecektir. Saçakları incelemek için M_1 aynası yüzeyine dikey yönde ayarlanmalıdır. Küçük hareketlerin gözlenmesi istenirse, bu olay hassas bir mikrometre ile yapılabilir.

Uygulamada Michelson interferometresi Şekil:II.1. de gösterilen biçimde nadiren kullanılır. Şekil:II.2 'de görüldüğü gibi kaynak yerine kolime edilmiş ışık yada laser ışını kullanılır. Bu durumda çıkış aydınlanması (hemen hemen) tam olarak üniformdur.

$$2l = m\lambda \quad (II.3).$$

ise bir maksimum olur. Burada $2l$, iki kol arasındaki yol farkıdır. (1) ve (2) kollarından gelen dalgaların alanlarını,

$$\begin{aligned} V_1 &= V_0 e^{i(\omega t - \phi_1)} \\ V_2 &= V_0 e^{i(\omega t - \phi_2)} \end{aligned} \quad (II.4).$$

yazabiliriz. Burada ışın kırıcısının gelen demeti iki eşit kısma böldüğünü varsaydık. ϕ_1 ve ϕ_2 iki demetin gelen ışığa göre optik faz farkıdır. ϕ_1 ve ϕ_2 (1) ve (2) kollarında alınan optik yol boyuna bağlıdır. Çıkış şiddeti,

$$I \propto (V_1 + V_2)^* (V_1 + V_2) \quad (II.5).$$

ile verilir. (II.4) bağıntısındaki V_1 ve V_2 nin değerlerini (II.5) bağıntısında yerine koyarsak,

$$\begin{aligned} I &\propto \left[V_0 e^{i(\omega t - \phi_1)} + V_0 e^{i(\omega t - \phi_2)} \right]^* \left[V_0 e^{i(\omega t - \phi_1)} + V_0 e^{i(\omega t - \phi_2)} \right] \\ &= I_0 V_0^* V_0 \left[e^{-i(\omega t - \phi_1)} + e^{-i(\omega t - \phi_2)} \right] \left[e^{i(\omega t - \phi_1)} + e^{i(\omega t - \phi_2)} \right] \end{aligned}$$

gerekli ara işlemler yapılırsa,

$$I \propto 2V_0^* V_0 \left[1 + \frac{e^{i(\phi_2 - \phi_1)} + e^{-i(\phi_2 - \phi_1)}}{2} \right]$$

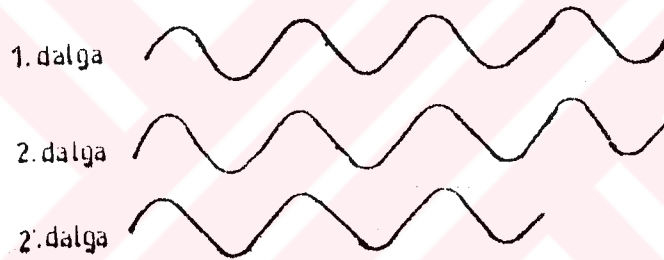
$$I \propto I_0 \left[1 + \cos(\phi_2 - \phi_1) \right] \quad (\text{II.6}).$$

elde edilir. I_0 , bir tek koldan gelen ışığın şiddetidir.

Bir maksimumdan diğerine ayarlanabilen hareket ettirilebilir aynanın uzaklığı,

$$\Delta l = \frac{\lambda}{2}$$

dir.



Şekil:II.3 İki dalga arasındaki λ kadarlık yol farkı aynalardan birinin $\lambda/2$ kadar hareketine karşılık gelir.

Böylece Michelson interferometresiyle, aynalardan biri ilk duruma paralel olarak, mikrometrel bir kızak üzerinde l kadar hareket ettirilirse ışınlar arasında $2l$ kadar bir yol farkı meydana gelir. Bu yol farkı,

$$2l = m\lambda$$

ise aydınlanma maksimum olacağından bir aydınlıktan ardışık diğer aydınlığa geçiş mikrometrel kızığı hareket ettirmekle mümkün olacaktır. Bu arada gözümüz, bu geçişi saçakları kayıyormuş gibi görecektir.

Diğer interferometrelerin adları aşağıda verilmiştir.

1-MACH-ZEHNDER INTERFEROMETRESİ :Gazlarda, sıvılarda ve katılarda kırma indisini incelemek için yaygın olarak kullanılır.

2-CYCLIC (Çevrimli) INTERFEROMETRESİ :Bir gazın yoğunluğundaki değişiklikler, havanın bir alevin sıcaklığı ile hareketi veya bir rüzgar tünelinek bir cismin etrafındaki hava akımı bu tip interferometreyle izlenebilir veya fotoğrafı çekilebilir.

3-SPECKLE (Leke) INTERFEROMETRESİ:Yer değiştirmeyi ölçebilen bir laser interferometresidir. Bu teknikte, gerilim altında deformasyona uğrayan mekanik parçaların yerleri tespit edilebilir.

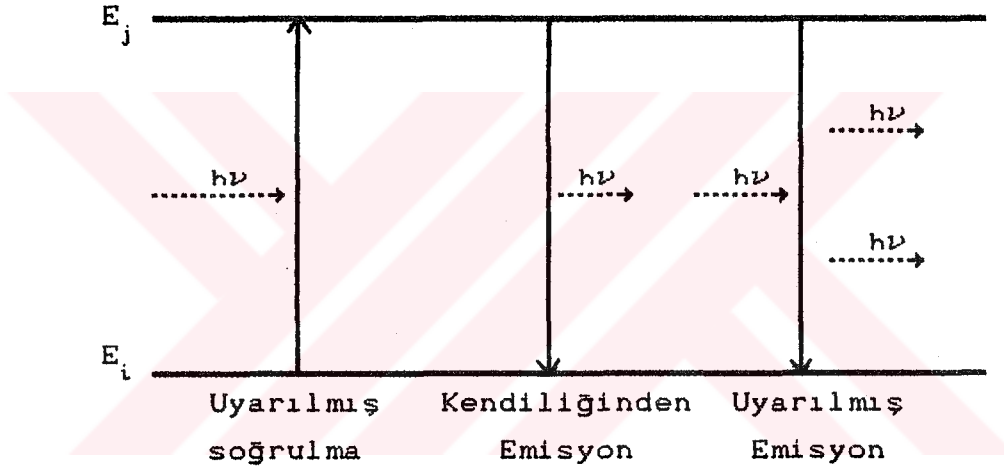
4-SERIES INTERFEROMETRESİ :Saydam maddelerin sıcaklık, basınç ve yoğunluk altındaki küçük değişimlerini tespit etmekte kullanılır.

5-HIZ ÖLÇMEK İÇİN INTERFEROMETRE :Bu teknik, 100 fitin üstündeki uzaklıktaki bir objenin mikroskopik hareketini belirlemek için kullanılır.

II. C. LASER

II. C. 1. LASER HAKKINDA GENEL BILGI

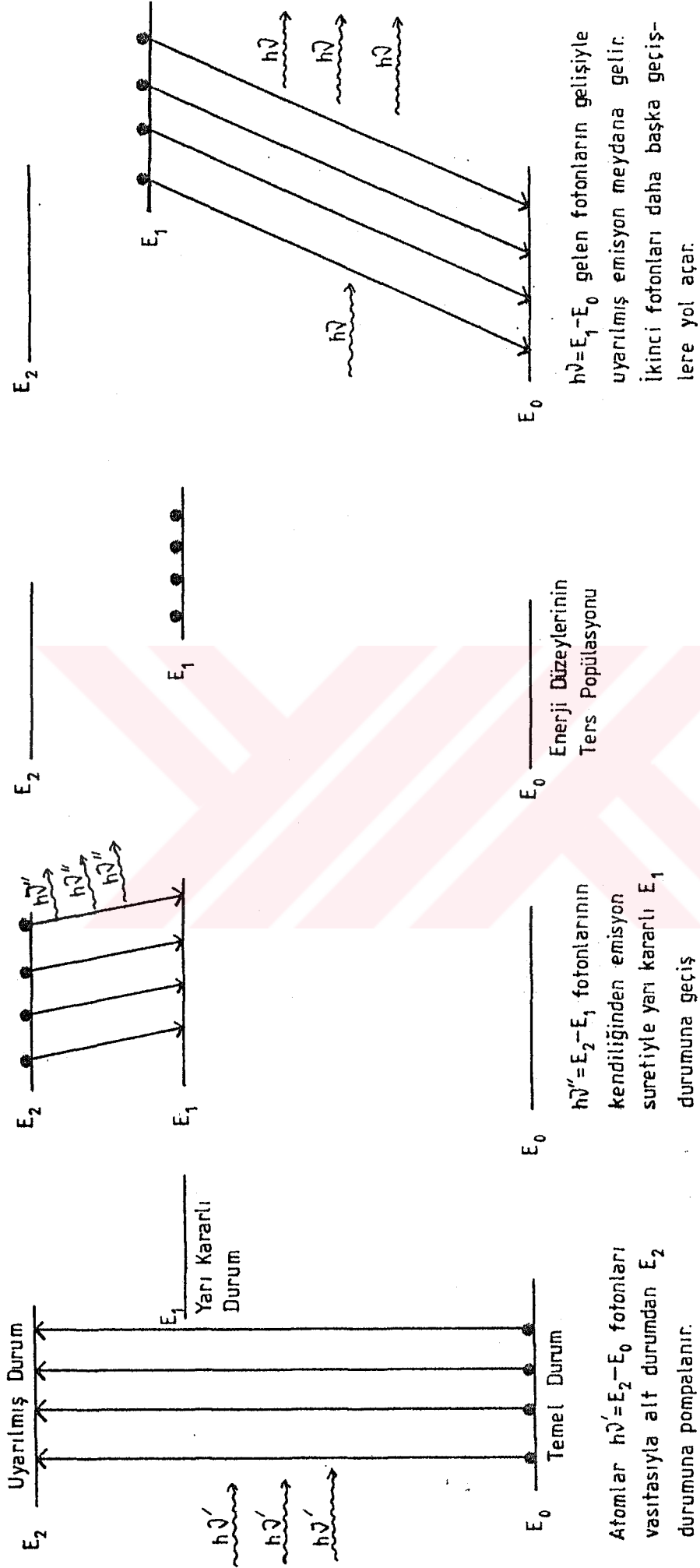
Kuvvetlendirilmiş emisyonla ışın yayımı anlamındaki laser, elektrikli olmayan bir ışık kaynağıdır. Enerji verilen bir sistemde uyarılmış atomların sayısı, uyarılmamış atomların sayısından fazla olursa, sistemin kararlı hale dönerken yaydığı ışın laserdir. Uyarılmış atom sayısının, uyarılmamış atom sayısından fazla olması için, laser yaya- cak atom veya moleküllerin yarı kararlı enerji düzeylerinin uzun ömürlü olması gerekir. Açıkça ifade etmek için, bir atomdaki E_i ve E_j gibi iki enerji düzeyi düşünelim.



Şekil:II.4 Enerji düzeyi arasındaki muhtemel üç geçiş

Eğer atom önce i durumunda ise, enerjisi $h\nu = E_j - E_i$ olan bir foton soğurarak j düzeyine çıkabilir. Bu sürece, uyarılmış soğrulma denir. Eğer atom önce j üst durumunda ise, $h\nu$ enerjili bir foton yayınlayarak i durumuna düşebilir. Bu olaya kendiliğinden emisyon denir.

Üçüncü bir olasılık da uyarılmış emisyondur. Bu olayda, gelen bir $h\nu$ enerjili foton, üst durumdan alt duruma bir geçişe sebep olur. Atomik ve moleküler ışınlar için, $h\nu$ normal olarak kT den çok büyük olduğundan, ısısal denge durumunda bir atomik sistemde üst enerji durumlarının



Şekil : II.5 Laserin ilkesi

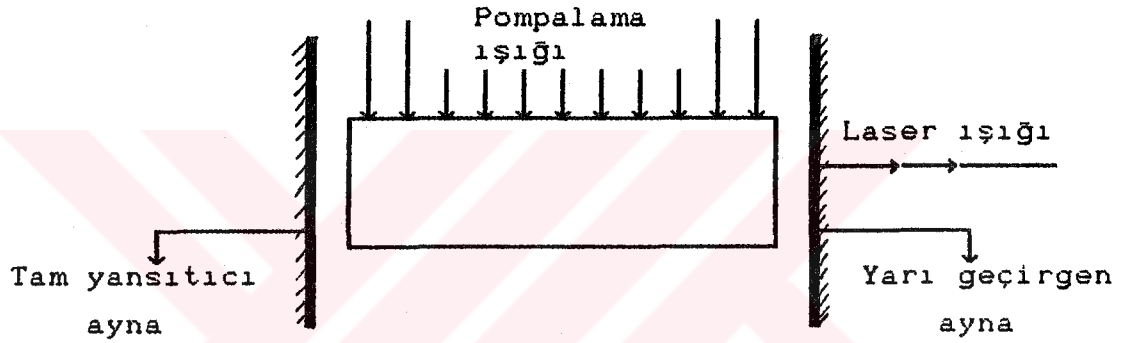
nüfusu, alt düzeylerin nüfusundan oldukça küçüktür. Temel durum ile uyarılmış durum arasındaki enerji farkı $h\nu$ olan bir sistem üzerine ν frekanslı ışık verdiğimizizi düşünelim. Üst enerji düzeyi önemli derecede boş olduğundan, az bir uyarılmış emisyon olacaktır ve meydana gelen belli başlı olaylar şunlar olacaktır: Önce temel durumdaki atomlar tarafından gelen fotonların soğurulması ve arkasından aynı frekanslı fotonların kendiliğinden rastgele yeniden ışınması (Uyarılmış atomların belirli bir kısmı enerjilerini çarpmalarla kaybedeceklerdir.)

Bazı atomik sistemler, tersine dönmüş enerji nüfuslarını muhafaza ederler. Bunlarda, üst durumlar temel duruma göre daha fazla doludur. Şekil:II.5 üç düzeyli bir sistemi göstermektedir. Burada 1 ara durumu yarı kararlıdır. Yani bu düzeyden temel düzeye geçiş, seçim kuralları ile yasaklanmıştır. Sistem, $\nu'=(E_2-E_1)/h$ frekanslı ışınma yardımıyla 2 üst düzeyine pompalanabilir (sistemi üst düzeye çıkarmanın bir başka yolu elektron çarpışmalarıdır.). 2 durumundaki atomlar, kendiliğinden emisyonla karşı 10^{-8} s kadar bir ömre sahiptirler. Böylece atomlar yarı kararlı 1 durumuna (veya temel duruma) hemen hemen ani olarak geçerler. Yarı kararlı durumlar, kendiliğinden geçişe karşı, 1ms 'nin üzerinde bir ömre sahip olabilirler. Böylece 1 durumunda, sıfır durumundakinden daha fazla bir nüfus oluşuncaya kadar pompalamaya devam etmek mümkündür. Bu sistem üzerine $\nu=(E_1-E_2)/h$ frekanslı bir ışınma verirsek, bu frekanslı atomların uyarılmış emisyonları, bunların soğurulmasını aşacaktır. Çünkü üst düzeyde daha çok atom vardır ve net sonuç, girişi aşan ν frekanslı bir ışınma çıkışı olacaktır. Bu laserin çalışma ilkesidir.

Kendiliğinden emisyonla ışınan dalgalar bilindiği gibi uyumsuzdur. Uzayda ve zamanda rastgele bir faz ilişkisine sahiptir. Çünkü söz konusu atomlar arasında hiç bir beraberlik yoktur. Halbuki uyarılmış emisyonla ışınan dalgalar, etkileyen dalga ile aynı fazdadır ve bu durum laser için tamamiyle uyumlu bir demet oluşmasına imkan verir.

Tipik laser, gaz dolu bir tüp veya her iki ucunda aynalara sahip bir saydam katıdır.

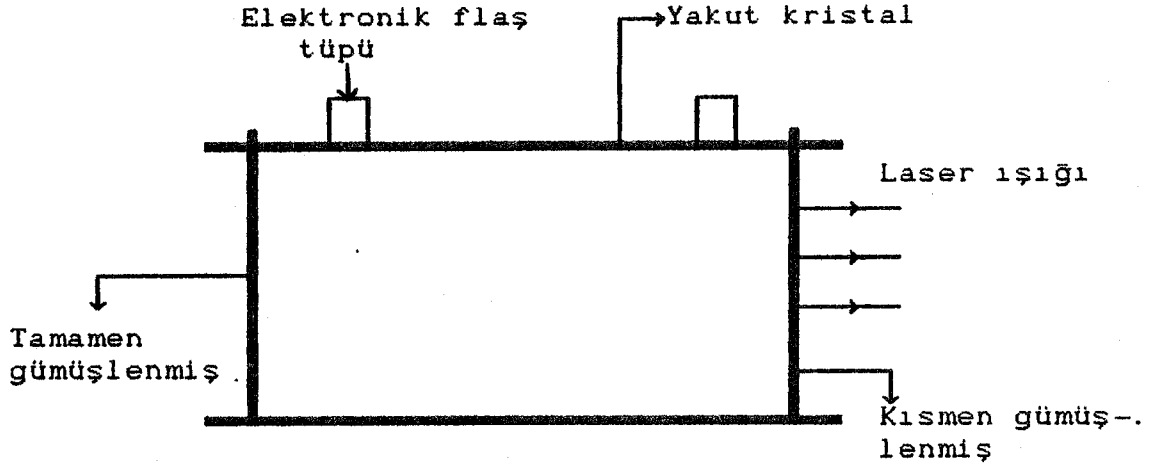
Şekil:II.6 da görüldüğü gibi, aynalardan bir tanesi oluşturulan ışığın bir kısmını çıkışa imkan vermek için yarı geçirgendir. Bu yarı geçirgen aynanın kaplama kalınlığı ayarlanarak, üzerine düşen fotonların sayısı belli bir değere ulaştıktan sonra fotonların laser ışığı olarak dışarıya çıkmaları sağlanır. ν frekanslı pompalayan ışık, tbn yanlarından aktif ortama doğrultulur ve tutulan ışığın ileri geri hareketleri, çıkan ışık demetinin paralellliğini korumak için, ν frekanslı emisyonları meydana getirir.



Şekil:II.6 Laserin yapısı

Laserin katı, sıvı ve gaz tipleri mevcuttur. İlk katı laser içine krom iyonları (Cr^{+3}) katılmış Al_2O_3 (yakut) kristalinden yapılmış laserdir. Dalga boyu 6943Å olan kırmızı ışık verir. Bu katı laserde uzunluğu 4cm, çapı 0.5cm olan bir yakut kristalinin uçları gümüşlenerek uçlarından biri tam yansıtıcı, diğeri yarı geçirici hale getirilmiş ve bu kristal çubuğun etrafında flaş ampulü sarılmıştır. (Şekil:II.7).

Bu şekilde oluşturulan laserin çıkış enerjisi 1500J olabilir. Böylece bir milisaniye kadar çok kısa bir zaman süren laser ışığı elde edilebilir. Bu çıkış gücü özel bir düzenleme ile ortalama 1000 megawatt 'a çıkarılabilir. Çapı



Şekil:II.7.Katı laser

0.1mm den daha küçük bir noktada yoğunlaştırılabilen bu enerji ise yeryüzüne gelen ışığın akı yoğunluğundan on binlerce defa daha büyüktür.

Gaz laseri, içinde gaz bulunan uçlarından biri tam yansıtıcı, diğeri yarı geçirgen paralel iki ayna olan bir tüpten oluşur. Gaz laseri katı laserden farklıdır. Katı laserlerin etkisi sürekli değildir. Gaz laserleri ise oldukça çeşitli ve sürekli güç kaynaklarıdır. Gaz laserlerini, atom, molekül ve iyon laserleri şeklinde gruplandırabiliriz. Atom laserine örnek olarak 6328Å dalga boylu ışık veren helyum-neon laserini verebiliriz. Molekül laserleri genellikle kırmızı ötesi ışık yayarlar. Bunlardan en çok kullanılanı karbondioksit laseridir. Aynı anda yeşil ve mavi ışık yayabilen argon laseri de iyon laserine bir örnektir. Gaz laserlerinde uyarma veya pompalama işi, flaş ışığı yerine güçlü bir radyo frekans jeneratörü kullanılarak veya elektrik boşalmasıyla yapılabilir.

Laser maddesi olarak yarı iletkenler kullanarak yarı iletken laserleri, sıvı kullanarak sıvı laserleri yapılabilir. Yarı iletken laserlere galyum arsenid laserini, sıvı lasere de boya laserlerini örnek olarak verebiliriz.

Genel olarak laserler güçlü araçlardır. Ancak bunların verimleri düşüktür. Mesela, en güçlü laserden biri olan

Yakut laserinin verimi %1 dir. Karbondioksit laserinde verim daha yüksek olup %20 civarındadır. Laser ışığı, normal ışığa göre daha az dağılan tek renkli(monokromatik), şiddetli, kolay odaklaştırılabilen ve yönlendirilebilen bir ışıktır.

Laserler sağladıkları önemli imkanlar nedeniyle bilim ve teknolojide değişik uygulama alanları bulmaktadır. Laser ışığı bir noktada odaklanarak enerji yoğunlaştırılabilir ve saniyede milyonlarca derecelik sıcaklık oluşturabilirler. Yoğunlaştırılan enerji maddeleri delme, kesme ve buharlaştırma işlemlerinde kullanılabilir. Laser kullanılarak, üç boyutlu(holografik) görüntüler oluşturulabilir. Çok duyarlı ameliyatlarda dikişsiz ve kesme anında kanı pıhtılaştırdığından kanamasız bir şekilde yapılabilir. Laser ışığı ile hava tahminleri yapılabilir, binlerce telefon konuşması veya televizyon kanalı işletilebilir. Ancak atmosferdeki bulut, yağmur, sis gibi olaylar, laser denetimini etkiler. Bunun yanında uzaydaki haberleşmeler için diğer araçlara göre daha kullanışlıdır.

II.D. İŞLEMSEL YÜKSELTEÇLER VE ÖNEMLİ PARAMETRELERİ

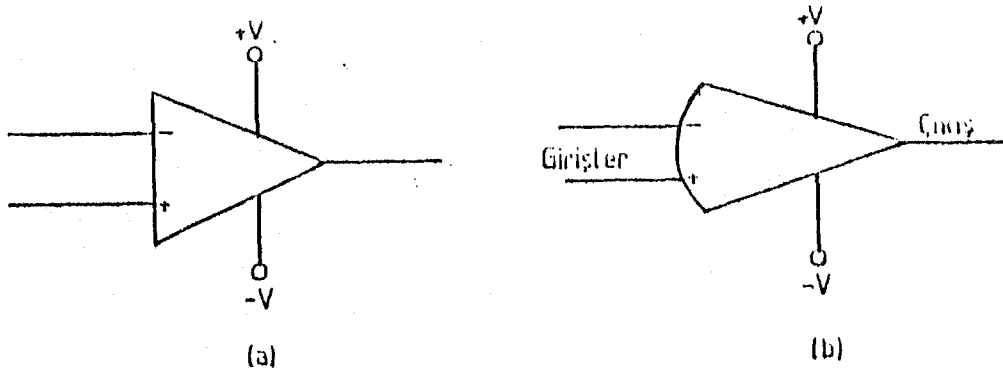
İşlemsel yükselteçler (kısaca op-amp) 1940'lı yıllardan beri bilinmekle beraber, asıl yaygın kullanım alanına 1960'lı yılların sonlarına doğru tümleşik devre teknolojisi ile üretilmeye başlandığı zaman kavuşmuştur. Bugün artık op-amp denildiğinde tümleşik devre durumunda olanlar akla gelir.

Genel olarak op-amp, çok yüksek kazançlı bir DC yükselteçidir. Çeşitli özellikleri, devreye dışardan bağlanan devre elemanları ve bunların sağladığı geri besleme ile kontrol altına alınabilir.

Op-amp devresi tek başına düşünüldüğünde 5 önemli özelliğe sahiptir. Bunlar:

- 1-Kazancı çok fazladır.
- 2-Giriş empedansı çok yüksektir.
- 3-Çıkış empedansı sifıra yakındır.
- 4-Band genişliği fazladır. (1MHz gibi)
- 5-Girişe sıfır volt uygulandığında çıkışta yaklaşık sıfır volt elde edilir.

Op-amp devresinin iki tür sembolik gösterilişi vardır. Bunlar aşağıdaki gibi verilebilir. Genellikle kullanılan sembol (a) 'daki gibidir.

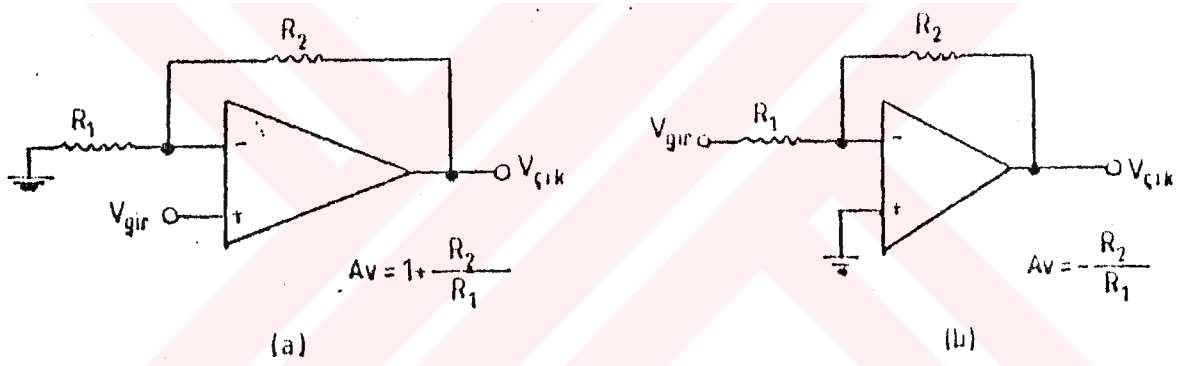


Şekil:II.8 İşlemsel yükseltecin sembolik gösterimleri

Op-amp devrelerinde genel olarak birbirine ters polaritede iki kaynak kullanılır. Bu kaynaklar devre şemalarında her zaman gösterilmezler. Daha ziyade girişler ve çıkışlar belirtilir.

Şekil:II.8 de görüldüğü gibi op-amp devresinin biri (+) diğeri (-) ile işaretlenmiş iki giriş ucu vardır. (+) girişe uygulanan işaret çıkışa aynı fazda, (-) girişe uygulanan işaret ise çıkışa 180° ters fazda aktarılır. İki girişe birden uygulanan aynı işaret çıkışa aktarılmaz. (-) giriş "terslendiren(inverting)", (+) giriş ise "terslendirmeyen (non-inverting)" giriş olarak isimlendirilmiştir.

Devrenin özellikleri giriş ucu olarak hangi ucun kullanıldığına ve çıkıştan girişe yapılan geri beslemenin miktarına bağlıdır.



Şekil:II.9 Terslendiren ve terslendirmeyen yükselteç

a)Terslendirmeyen yükselteç b)Terslendiren yükselteç.

Şekil:II.9.a 'da giriş ucu olarak (+) uç kullanılmıştır. Bu devreye "terslendirmeyen yükselteç" denir. Şekil(b) de ise giriş (-) uçtan yapılmıştır ve devre "terslendiren yükselteç" olarak bilinir. Burada yükselteç kazançlarının farklı olduğuna dikkat etmek gerekir. Burada, A_v , çıkış geriliminin giriş gerilimine oranı olup, yükseltecin gerilim kazancıdır.

Şimdi op-amp devresinin önemli parametreleri üzerinde duralım:

GİRİŞ OFSET GERİLİMİ (V_{i0}): Op-amp'nin (+) ve (-) girişleri arasında ideal olarak sıfır volt olması gerekir. Ancak pratikte, giriş uçlarının bağlı oldukları transistörlerin tam uyum içinde olmamaları nedeni ile giriş uçları arasında çok da küçük olsa bir gerilim oluşur. Bu gerilim op-amp'in kazancı ile çarpılarak çıkışına aktarılır ve çıkışta V_o çıkış ofset gerilimi meydana gelir. V_o gerilimi devrenin kazancına bağlı olduğu halde, V_{i0} gerilimi sabittir. V_o ölçüldüğünde, V_{i0} giriş ofset gerilimi,

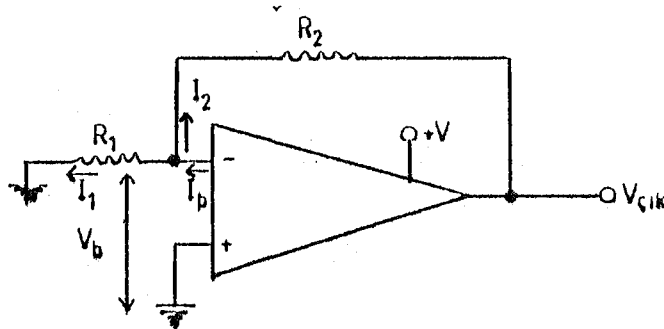
$$V_o = V_{i0} (1 + R_2/R_1) \quad (\text{II.7}).$$

formülünden bulunur. Bu formül, op-amp'nin devresinin eviren veya evirmeyen yükselteç olarak çalışmasına bağlı değildir. Her iki durum için de geçerlidir.

Op-amp devresinin kazancı yüksek tutulduğundan (R_2/R_1 oranı büyük seçilerek) çıkışta oluşacak ofset gerilimi istenmeyen boyutlarda olabilir. Bu nedenle, op-amp'lerin çoğunda dışardan ofset sıfırlama uçları bulunur.

Sıcaklığın giriş ofset gerilimi üzerinde etkisi vardır. Transistör tekniği ile imal edilen op-amp'lerde her bir santigrat derece sıcaklık artışında, giriş ofset gerilimi $(5-10)\mu\text{V}$ artış gösterir.

GİRİŞ POLARMA AKIMI (I_b): Her iki girişten op-amp devresine akan akımların ortalama değeridir. Şekil:II.10'daki devrede $V_{gir} = 0$ volt iken akım yönleri görülmüyor.



Şekil :II.10 İşlemsel yükseltece akan akımların gösterimi

Burada,

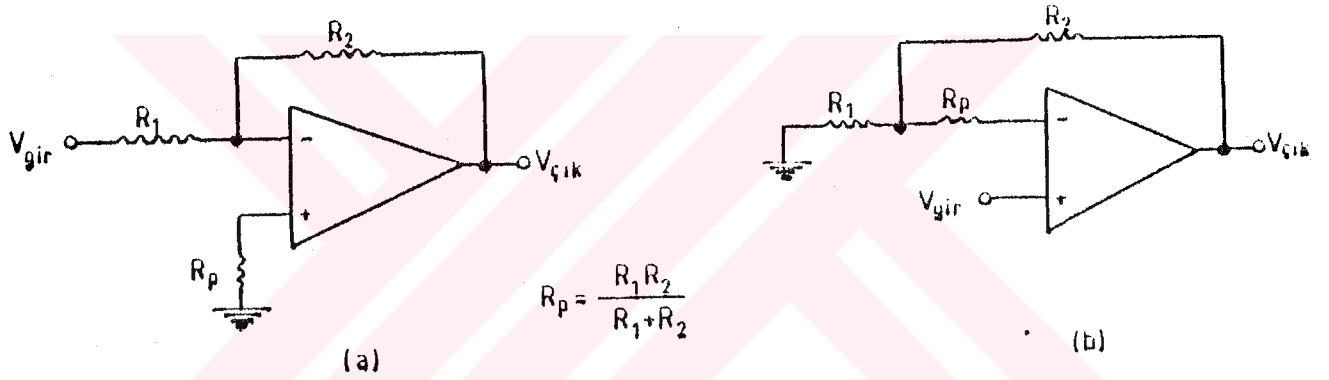
$$I_b = I_1 + I_2$$

$$I_b = \frac{V_b}{R_1} + \frac{V_{cık} - V_b}{R_2}$$

olur. V_b 'nin çok küçük olduğu göz önüne alınırsa,

$$V_{cık} = I_b R_2 \quad (II.8).$$

olur. Şu halde polarma akımının çıkış ofset gerilimine olan katkısı bu şekilde bulunabilir. Giriş polarma akımının çıkışta yol açacağı ofset gerilimi oluşumunu minimum düzeye indirmek için Şekil:II.11 'deki (a) ve (b)'deki yöntemler kullanılabilir.



Şekil:II.11 Çıkış ofset gerilimi oluşumunu minimum düzeye indirmek için bağlantı şekilleri

ÇIKIŞ OFSET AKIMI (I_{i0}): $V_{cık} = 0$ volt olduğunda her iki giriş polarma akımı arasındaki farktır ve çıkışta

$$V_{cık} = R_2 I_{i0} \quad (II.9).$$

kadar ilave bir ofset geriliminin oluşmasına yol açar.

GİRİŞ EMPEDANSI (Z_i): Girişlerden birinden bakıldığında diğeri topraklanmış durumda iken görülen empedanstır. Çok yüksektir. (Bir integre devrenin giriş ve çıkış empedansının bulunması Ek-1'de verilmiştir.)

ÇIKIŞ EMPEDANSI (Z_o): Çıkıştan bakıldığında görülen empedanstır. Oldukça düşüktür.

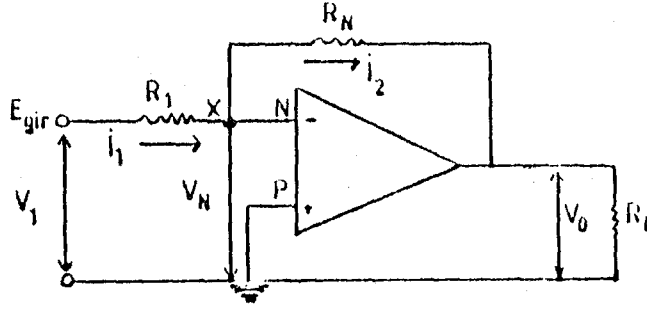
ÇIKIŞ KISA DEVRE AKIMI: Op-amp devresinden çekilebilecek maksimum akımdır.

GERİ BESLEME YOK İKEN GERİLİM KAZANCI (A_{V_o}): Op-amp devresine dışardan herhangi bir geri besleme sağlanmadığı zaman ki çıkış geriliminin giriş gerilimine oranına denir.

ORTAK MOD TEPKİ ORANI (COMMON-MODE REJECTION RATIO): Op-amp devresinin her iki girişine de ortak olan işareti kabul etmeme özelliğidir. Her iki girişe aynı anda uygulanan işaretin, çıkış işaretine oranına denir.

KANAL AYRIMI: Bazı tümleşik op-amp devrelerinde birden fazla op-amp bulunabilir. Bu tip op-amp devrelerinde, op-amp'lerden birinin girişine uygulanan işaret, diğerinin çıkışında çok düşük de olsa bir işaret oluşturur. Bu işaret ne kadar küçük ise kanal ayırımı o kadar iyidir. Genellikle dB cinsinden oran ifadesi kullanılır.

II.D.1 OP-AMP UYGULAMASI OLARAK EVİREN YÜKSELTEÇ



Şekil:II.12 Evirici veya faz çeviren kuvvetlendirici olarak çalışan işlemsel yükselteç

Şekil:II.12'de op-amp devresinin eviren yükselteç olarak kullanımı görülmektedir. Burada işaret (-) girişe uygulanmıştır. R_1 giriş direnci, R_N ise geri besleme direncidir. Op-amp devresinin özelliğinden dolayı X noktasındaki gerilim sıfır volta yakındır. Bu nedenle,

$$V_1 = I_1 R_1$$

yazılabilir. Benzer şekilde,

$$V_0 = -I_2 R_N$$

ve $I_1 = I_2$ olduğundan

$$V_0 = -I_2 R_N = -(V_1 / R_1) R_N$$

yazılabilir. Sonuç olarak,

$$A_v = V_0 / V_1 = -(R_N / R_1) \quad (II.10).$$

olur. Şu halde eviren yükseltecin gerilim kazancı $-(R_N / R_1)$ oranına eşit olmaktadır. İfadenin önündeki (-) işareti, eviren yükseltecin giriş ve çıkışı arasında 180° faz farkı olduğunu göstermektedir.

Eviren yükseltecin giriş empedansı R_1 direnci de-

değerine eşittir. Çıkış empedansı ise çok küçüktür ve A_v ile ters orantılıdır. $R_N = R_1$ olarak seçildiğinde devrenin kazancı 1 olur. Böyle bir devre, genellikle bir işaretin polaritesi değiştirilmek istendiğinde kullanılır. R_N direnç değerini değiştirmek suretiyle kazanç kontrol edilebilir. Böylece band genişliği de değişir. Hangi band genişliğinde yükselteç yapılacaksa, yükseltecin gerilim kazancı da ona göre ayarlanmalıdır. Band genişliği (Hz) arttıkça kazancın değeri 1'e yaklaşır.

Özet olarak,

Çalışma kazancı $A_v = -(R_N/R_1)$

Giriş direnci $R_{in} = V_1/I_1 = R_1$

Çıkış direnci $R_o = 0$

eşitlikleri vardır.

Bu eşitlikler için aşağıdaki koşulların sağlanması gerekmektedir:

Açık çevrim kazancı $A_v \gg 1$.

Açık çevrim kazancı $A_v \gg R_N/R_1$

Yük direnci $R_L \rightarrow \infty$

Sonuç olarak faz çeviren yükselteç başlıca şu özellikleri sağlamaktadır:

1- Giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki faz farkı 180° değerindedir. A_v ifadesindeki (-) işareti bunu göstermektedir.

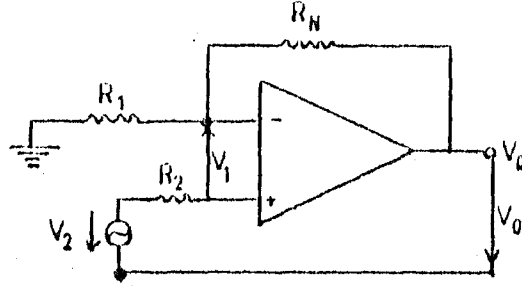
2- Çalışma kazancı (kapalı çevrim kazancı: geri beslemeli kazancı) yükselteç tarafından değil, daha önce de değinildiği gibi, dış devre elemanları yani R_N/R_1 oranı tarafından belirlenmektedir.

3- Açık çevrim kazancının çok yüksek olması nedeniyle N ve P noktaları arasındaki gerilim çok küçüktür. Bu nedenle gerilimi sifıra eşittir. Dolayısıyla x noktası "sözde toprak noktası" veya "toplama noktası" olarak da isimlendirilmektedir.

4- X noktasının sözde toprak olması ($V_N \approx 0$) nedeniyle, E

noktasından içeriye bakıldığında ölçülecek giriş direnci R_1 direncine eşit olmaktadır.

II. D. 2 FAZ ÇEVİRMEYEN YÜKSELTEÇ



Şekil:II.13 Terslendirmeyen işlemsel yükselteç

Uç önemli çalışma büyüklüğü olan A_v , R_{in} ve R_o için:

Çalışma kazancı $A_v = 1 + R_N / R_1$

Giriş direnci $R_{in} = \infty$

Çıkış direnci $R_o = 0$

bağıntıları verilmiştir. Bu bağıntılar için aşağıdaki kabuller yapılmıştır.

$$R_L \rightarrow \infty, \quad A_v \rightarrow \infty, \quad R_2 \rightarrow 0$$

Faz çevirmeyen yükselteç şu özellikleri sağlamaktadır:

- 1- Giriş ve çıkış gerilimleri arasındaki faz farkı 0° dir.
- 2- Çalışma kazancı (kapalı çevrim) dış çevre elemanlarına bağlıdır. $R_N \ll R_1$ için bu kazanç 1 sınır değerine ulaşmaktadır. Bu durumda işlemsel yükselteç bir gerilim izleyiciye dönüşmektedir.
- 3- Giriş yüksek dirençlidir.

II.E. TRANSİSTÖRLER VE TRANSİSTÖRÜN ANAHTAR OLARAK KULLANILMASI

II.E.1. TRANSİSTÖRLER HAKKINDA GENEL BİLGİ

Bir transistör "aktif" elemana en iyi örnektir. Giriş sinyalinin daha güçlü bir çıkış sinyali üretebilen bir cihazdır. Transistörün en basit amplifikatör veya osilatörden en karmaşık dijital bilgisayara kadar her elektronik devrenin vazgeçilmez bir parçası olduğu açıktır. Kolay takılıp çıkarılabilen integre devreler transistörlerden oluşan devrelerdir.

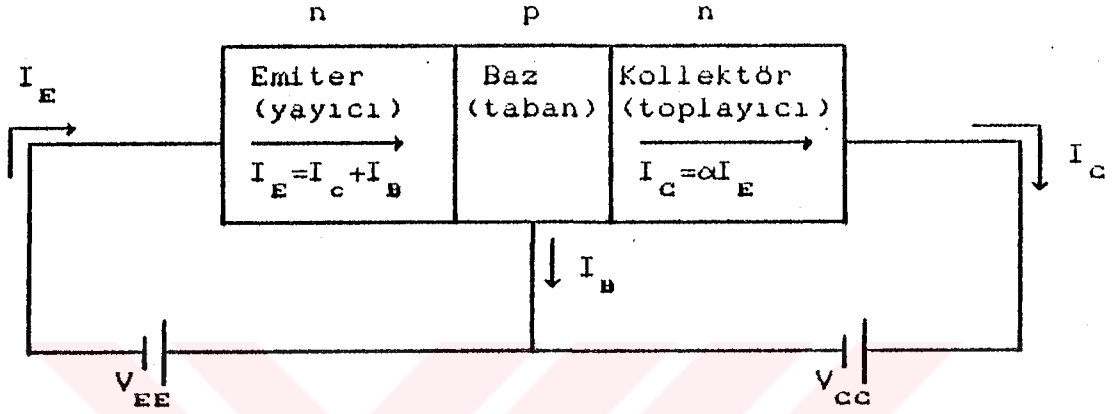
Transistörler iki aynı cins kristal arasına, farklı cins bir kristalin sandviç şeklinde birleştirilmesiyle yapılırlar. Bu tür transistörlere eklem transistörler denir. İki n tipi kristal arasına bir p tipi kristalin birleştirilmesiyle yapılan transistöre npn tipi transistör, iki p tipi kristal arasına bir n tipi kristalin birleştirilmesiyle yapılan transistöre de pnp tipi transistör denir. Bu iki tip transistör, ön gerilim kutupluluğu ve çoğunluk akım taşıyıcılarının birbiriyle yer değiştirmesinin dışında tamamen özdeşler. npn tipi transistörlerde çoğunluk akım taşıyıcılar elektronlar, azınlık akım taşıyıcılar deşiklerdir. pnp tipi transistör de ise çoğunluk akım taşıyıcılar deşikler, azınlık akım taşıyıcılar elektronlardır.

Bir transistörün genel olarak iki tip çalışması vardır:

- 1) Aktif bölgede (örneğin, yükselteç olarak çalışması)
- 2) Doyum - kesim bölgelerinde (örneğin, anahtar olarak çalışması)

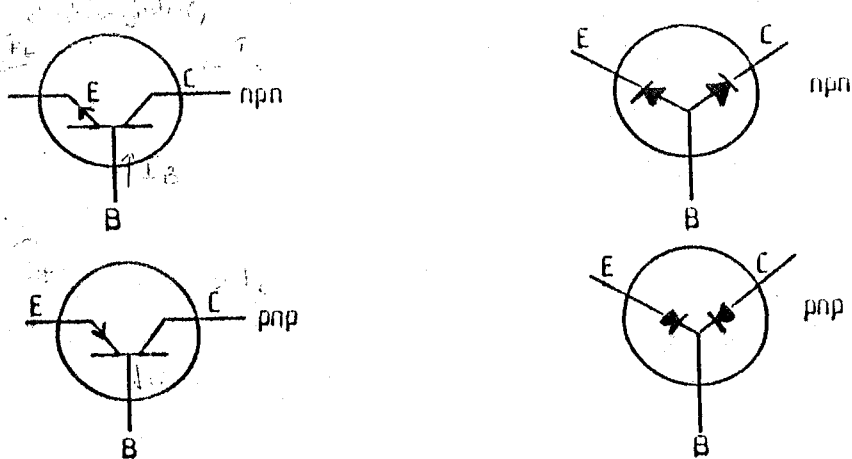
Transistörün aktif bölgede çalışması için baz - emiter birleşim yüzeyinin düz, baz - kollektör birleşim yüzeyinin ters polarılması gerekir. Çalışması sırasında, doğru yönde beslenen kristale yayıcı (emitter), ters yönde beslenen kristale toplayıcı (collector), aradaki kristale de ta-

ban (base) adı verilir. Yayıcı - taban arasındaki doğru ön gerilim sonucu, yayıcı eklemeden p tipi taban bölgesine giren elektronlar, toplayıcı eklemedeki elektriksel alan nedeniyle, toplayıcı ekleme doğru yayılırlar. Böylece toplayıcı çıkışından bir elektrik akımının geçmesine neden olurlar. Elektrik akım yönü elektron akım yönünün tersi olduğundan, elektrik akım yönleri Şekil:II.14'deki yönlerin tersi yönünde olacaktır.



Şekil:II.14 npn tipi bir transistörün ön gerilimlenmesi ve elektronların gidiş yönleri

pnp tipi ve npn tipi transistörlerin devre gösterimiyle, bu transistörlerin ardarda iki diyod şeklinde göz önüne alınabilen gösterimleri Şekil:II.15 'deki gibidir.



Şekil:II.15 pnp tipi ve npn tipi transistörlerin devre gösterimiyle, bunların iki diyod şeklinde gösterimi

Doğru ön gerilimli yayıcı küçük bir direnç, ters ön gerilimli toplayıcı ise büyük bir direnç gösterir. İkisinde de akım hemen hemen aynı olduğundan büyük bir güç kazancı söz konusu olur. En büyük yükseltme için, toplayıcı akımının yayıcı akımının büyük bir oranı olması istenir. Tabandan yayıcıya geçendeşikler, toplayıcı akımında etkin olmadığı için, toplayıcı eklemine doğru akan akım, elektron aracılığı taşınmalıdır. Bu iş, p tipi taban bölgesinin az katkılanması ile yapıldığı gibi, toplayıcı eklemeye ulaşmadan önce, çok az sayıda elektron kaybolması için taban bölgesi çok ince tutulmalıdır.

Bir transistörün niteliği, α akım kazancı ile belirtilir. Bu akım kazancı tam olarak,

$$\alpha = \Delta I_c / \Delta I_e \quad (\text{II.11})$$

şeklinde, toplayıcı akımındaki değişiminin, yayıcı akımındaki değişime oranı olarak verilir. Yayıcıdan gelen I_e kadarlık akımın, αI_e kadarlık kısmı toplayıcıya geçer. Yayıcı ile toplayıcı akımları arasındaki $(1-\alpha)I_e$ şeklindeki akım farkı, taban akımını oluşturur.

α akım kazancının büyüklüğü 0.95 ile 0.99 arasında değişir. Görüldüğü gibi bu değer 1'e çok yakındır. O nedenle yayıcı akımının tamamı, toplayıcıda gözlenir. Ayrıca ortak yayıcılı transistörlerde, β akım kazancı denilen bir büyüklük tanımlanmıştır. Bu akım kazancı da,

$$\beta = \frac{\Delta I_c}{\Delta I_b} = \frac{\alpha \Delta I_e}{\Delta I_b} = \frac{\alpha \Delta I_e}{(1-\alpha) \Delta I_e} = \frac{\alpha}{1-\alpha} \quad (\text{II.12})$$

şeklinde, toplayıcı akımındaki değişimin, taban akımındaki değişime oranı olarak tanımlanır.

Transistörler elektronik devrelerde kullanılan bağlantı şekillerine göre, ortak tabanlı devre, ortak yayıcılı devre ve ortak toplayıcılı devre olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

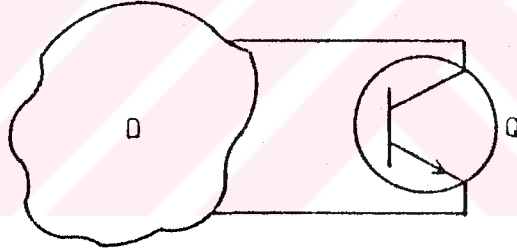
Transistörler hakkında ayrıntılı bilgileri hemen hemen her elektronik kitabında bulmak mümkündür. Girişim sa-
çaklarını saymak için yapılan elektronik sayaç kısmında
transistör, anahtar olarak kullanılmıştır. Bu yüzden tran-
sistörün anahtar olarak kullanımı aşağıda verilmiştir.

II.E.2. TRANSİSTÖRÜN ANAHTAR OLARAK KULLANIMI

Bir transistörün yükselteç olarak kullanılabilmesi için, transistörün "aktif" bölgede çalıştırılması gerektiği söylenmişti. Transistörlerin kullanıldığı diğer bir geniş alan ise "sayısal elektronik" alanıdır. Bu tür uygulamada transistörlerin "kesim" ve "doyum" çalışma durumlarından yararlanılır.

Bir devrede, herhangi bir transistörün hangi türde çalıştığı kısa hesaplamalarla anlaşılabilir.

Bir D devresinin herhangi bir kısmında bir Q tran-
sistörü bulunsun.



Şekil:II.16 Transistörün hangi çalışma durumunda olduğunu anlamak için yardımcı şekil

Bu transistörün kesimde mi, aktifte mi, yoksa doyum-
da mı olduğunu anlamak için şu yöntem uygulanmalıdır:

1) Transistörü yerinden çıkartılmış varsayıp, V_{BE} ve V_{BC} gerilim farkları hesaplanır. Eğer bu gerilim farkları, sırasıyla baz-emiter ve baz-kolektör birleşim yüzeylerini ters polarlıyorsa, transistör kesimdedir. Bu durum başka türlü şöyle ifade edilebilir.

npn tipi transistörlerde $V_{BE} < V_0$, $V_{BC} < V_0$

pnp tipi transistörlerde $V_{EB} < V_0$, $V_{CB} < V_0$
ise transistör kesimdedir.

Burada V_0 transistörün birleşim yüzey gerilimidir ve silikon transistörlerde 0.6V, germanyum transistörlerde ise 0.2V'dur. Bu şartlar sağlanmıyorsa transistör kesimde değildir. O zaman ya aktif ya da doyum durumundadır. Bunu anlamak için aşağıdaki işlemler yapılır:

ii) $I_{C_{max}}$ ve I_B akımları hesaplanır.

Eğer $\beta I_B < I_{C_{max}}$ ise transistör aktif durumdadır.

Eğer $\beta I_B > I_{C_{max}}$ ise transistör doyum durumundadır.

Burada $I_{C_{max}}$, $V_{CE} = 0$ olduğunda akan kolektör akımını ifade eder.

Bir transistörün kesim, aktif ve doyum türü çalışmaları, kısaca şöyle de ifade edilebilir. Baz akımı sıfır olduğunda transistör kesimde, belli bir değere ulaştığında ise doyumdadır. Transistör kesimde iken kolektör-emiter arası açık devre, doyumda iken kısa devre gibi kabul edilebilir. Bu durum transistörü bir anahtar gibi kullanma imkanı sağlar. Elektronik sayaç devresinde kullanılan transistörler LED'lere bağlanmıştır.

Artık mekanik anahtarlar yerine, bir yük akımı devresinin kontaklarını hareket etmeden açıp kapayan devre elemanları olan elektronik anahtarlar kullanılmaktadır. Bu kontaklız anahtarlara diyotlar, transistörler, tristörler, triyaklar, fotoelektrik yarı iletkenler veya lambalar verilebilir.

Elektronik anahtarların mekanik anahtarlara karşı olan üstünlükleri, hızlı ve gürültüsüz çalışmaları, kıvılcım aralığının bulunmaması ve eskimemeleridir. Bunlardan doğrudan doğruya elektriksel büyüklükler, gerilim veya ışık şiddetine bağlıdırlar.

Küçük kontrol işaretine (sinyali) gelince, çıkış devresi üzerindeki büyük bir gücü anahtarlar kontrol eder. Bu sırada devre elemanı olarak kullanılan, örneğin transistör yalıtkan durumdan iletken duruma geçer veya bunun tersi olur.

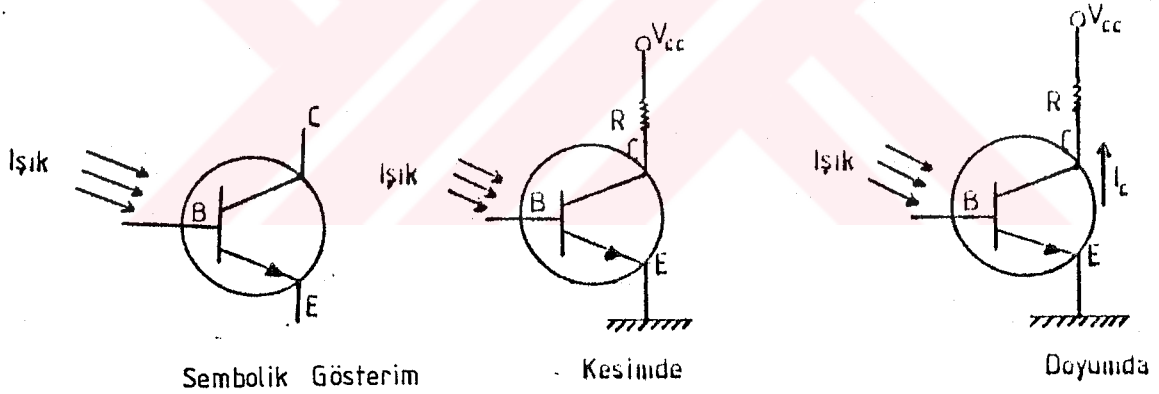
Yalıtkan durumdan iletken devre durumuna geçme olayı için belirli bir anahtarlama zamanına gerek vardır. Bu anahtarlama zamanı elektronik anahtarların önemli bir teknik karakteristiğidir ve dış devredeki devre elemanı ve kontrol işareti (sinyali), aynı zamanda da çıkış devresindeki yük direncinin kapasitif, omik veya indüktif olmasına bağlıdır.

Anahtar transistörleri hızlı ve güvenilir anahtarlama yapılması istenen yerlerde, sayıcı devrelerde, lojik devrelerde ve hesaplayıcı cihazlarda kullanılırlar.

Transistörün anahtar olarak kullanımına elektronik sayaç kısmında yer verilmiştir.

II.F. FOTOTRANSİSTÖRÜN ÇALIŞMA PRENSİBİ VE ÖZELLİKLERİ

Transistörün normal çalışması sırasında baz-kolektör birleşim yüzeyi ters, baz-emiter birleşim yüzeyi ise düz polarılmaktadır. Fototransistörlerde ışık, baz-kolektör eklemine düşecek şekilde yapılmıştır. Bu eklem bölgesinde soğurulan ışık, elektron-boşluk çiftleri oluşturur. npn yapısında artık elektronlar taban bölgesine hareket ederler. Bundan ötürü bir anlamda bu foto uyarılmış elektronlar dıştan sağlanan taban akımı gibi davranırlar. Yani, uygun dalga boyuna sahip ışınlar, burada akım oluştururlar. Fototransistörün duyarlığı çok yüksektir. Fototransistörlerde duyarlık yaklaşık olarak $3A/lümen$ 'dir. Bu akım, transistörün akım kazancı kadar büyür. Buna göre, fotodiyod ile elde edilen akımdan çok daha fazlası fototransistör ile sağlanabilir. Şekil:II.17'de fototransistörün sembolik gösterilişi ve kesim haliyle doyum halinde olma durumları çizilmiştir.



Şekil:II.17 Fototransistörün sembolik gösterimi ile kesim ve doyum halinde olma durumu

Çoğu zaman baz ucu boşa bırakılır. Bu durumda, fototransistör üzerine uygun dalga boyunda ışık düşmüyorsa kesimde, yeterli miktarda ışık düşüyorsa doyumda çalışacaktır. Fototransistör, elektronik sayaç yapımında kullanılmıştır.

II.G. SAYISAL MANTIK

II.G.1. ONLUK SAYMA GÖSTERGESİ

Genellikle kolaylık olsun diye ikili sayı sisteminde bir çıkış için her saymayı onluk sayı olarak gösteren bir doğrudan okunabilen gösterim istenir. İkiliden onluğa kod çözücü olarak adlandırılan şebeke, onluk sayı göstericisini çalıştırmak için gerekli sinyali oluşturur.

Bu nedenle ikili sayı sistemini ve onluk sayı sistemini kısaca tekrar etmekte yarar vardır.

II.G.2. ONLUK VE İKİLİ SAYI SİSTEMİ

Onluk sayı sisteminde örnek olarak 482 gibi bir sayı aşağıda ifade edildiği gibi bir anlama sahiptir.

$$482 = 4 \times 10^2 + 8 \times 10^1 + 2 \times 10^0$$

10 sayısına bu sistemin tabanı denir ve sistemin sayıları 0,1,2,3,4,.....,9'dur. Eğer sayı onluk bir kesre sahip ise o zaman üsleri negatif yapmak gerekir. Örneğin,

$$827.43 = 8 \times 10^2 + 2 \times 10^1 + 7 \times 10^0 + 4 \times 10^{-1} + 3 \times 10^{-2}$$

Bu örnekler aşağıdaki gibi yazılabilen herhangi bir N sayısının özel halidir.

$$N = d_n R^n + d_{n-1} R^{n-1} + \dots + d_1 R^1 + d_0 R^0 + d_{-1} R^{-1} + \dots \quad (\text{II.13}).$$

Burada d'ler sayılar ve R'de tabandır.

İkili sayı sisteminde taban 2 ve sayılar 0 veya 1'dir. 101 ikili sayısını göz önüne alalım ve değerini (II.13). bağıntısına uygun olarak ifade edelim.

$$N = 101 (\text{ikili}) = 1 \times 2^2 + 0 \times 2^1 + 1 \times 2^0$$

Öyleyse sayının onluk değeri 4+0+1 yani 5'dir. Bunun için de N sayısının genel şekli için,

$$N=(0 \text{ veya } 1)2^n+(0 \text{ veya } 1)2^{n-1}+\dots+(0 \text{ veya } 1)2^0+(0 \text{ veya } 1)2^{-1}$$

yazılabilir. Sayı kesirsel kısımlı olabilir. 0 zaman da, 1011.11 sayısını şu şekilde ifade edebiliriz.

$$1011.11=1 \times 2^3+0 \times 2^2+1 \times 2^1+1 \times 2^0+1 \times 2^{-1}+1 \times 2^{-2}$$

olur. Böylece 1011.11 ikili sayısı $8+0+2+0.5+0.25$ yani onluk sayı olarak 11.75 olur.

Sayısal devrelerin kararlılık üstünlükleri, işaretin dalga biçimleri sadece iki genlikli olduğu zaman daha iyi anlaşılır. Bu iki genlik 0 ve 1 durumu ya da kapalı ve açık durum olarak bilinir. Bunlar, örneğin bir transistörün ya tamamen iletimde ya da tamamen kesilimde olmasını gerektirir. Böylece yalnız iki sayı elde edildiğinden on tabanı üzerine kurulan ve herkesçe bilinen ondalık sistemden daha çok ikili sayı sistemi kullanılır.

Bazı ikili sayıların onluk eşdeğeriyle karşılaştırılması Tablo:II.1 'de gösterilmiştir. İkili sistemde bir değeri ifade etmek için gereken sayılar onluk sistemdenkinden daha çoktur.

İkili sayılar, eşit genlikli ve düzgün aralıklı pulslar şeklinde olan gerilim dalga biçimleri ile gösterilebilir. Aşıldığı gibi, 2 'nin artan kuvvetlerine karşılık gelen pulslar zamana göre, 2^0 ile başlayan sıra ile oluşur. 1011 ve 0011 ikili sayıların dalga biçimleri, bunların toplamı olan 1110 sayısı ile birlikte Şekil:II.20 de gösterilmektedir. Hem 0 ve hem de 1 sayılarının puls genişliklerinin eşit olduğuna dikkat ediniz. 0 veya 1 sayısına, ikili sayı sisteminde kısaca, atma (bit) denir.

Toplam dalga biçiminin, iki sayının dalga biçimleri doğrudan ilgili olmadığına dikkat edilmelidir.

İkili sayılar ve onluk eşdeğerleri hakkında verilen bilgiden sonra onluk sayıcılara da değinmek yerinde olacaktır.

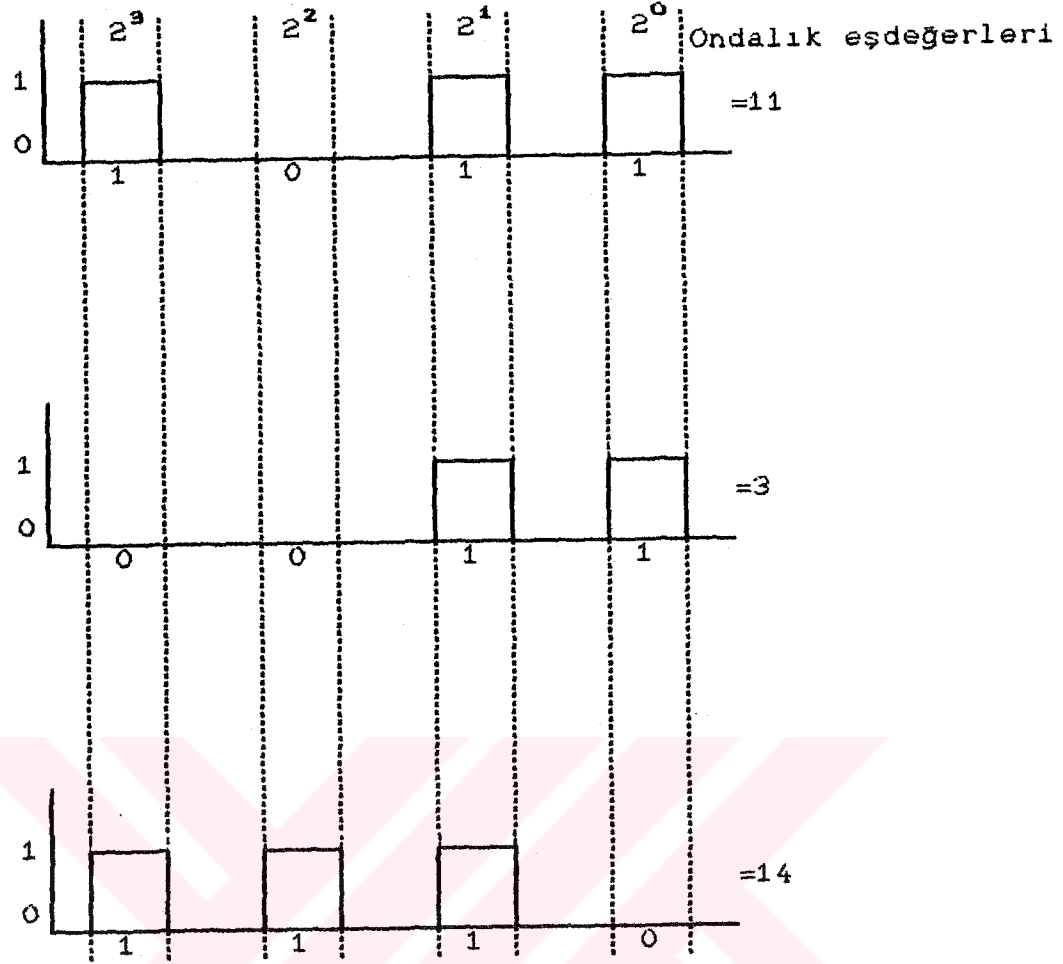
Modern onluk sayıcılar, sayıyı gözleyiciye bilinen sayısal biçimde verir. Bu gösterme aygıtı Nixie tüpüdür. Bu

İkili sayılar	Onlu sayılar
0000	0
0001	1
0010	2
0011	3
0100	4
0101	5
0110	6
0111	7
1000	8
1001	9
1010	10
1011	11
1100	12
1101	13
1110	14
1111	15
10000	16

Tablo:II.1 İkili sayılar ve onluk eşdeğerleri

tüp, bir soğuk katot gaz boşalma tüpüdür. 1 anodu, 10 katotu vardır. Katotlar ince ince tellerden 0'dan 9'a kadar sayılar biçiminde yapılmış ve paralel düzlemlerde birbirlerine yakın konulmuşlardır. Bu katotlardan biri akım taşıdığında negatif kızararak tel sayısını kapsar ve böylece tek sayı doğrudan okuma verir. Işıklı diyodlardan (LED), ışığın oluştuğu alan aslında çok küçüktür. Ancak epoksi plastik mercek kapsüller kullanılarak göze ışıklı alan büyümüş olarak gelir.

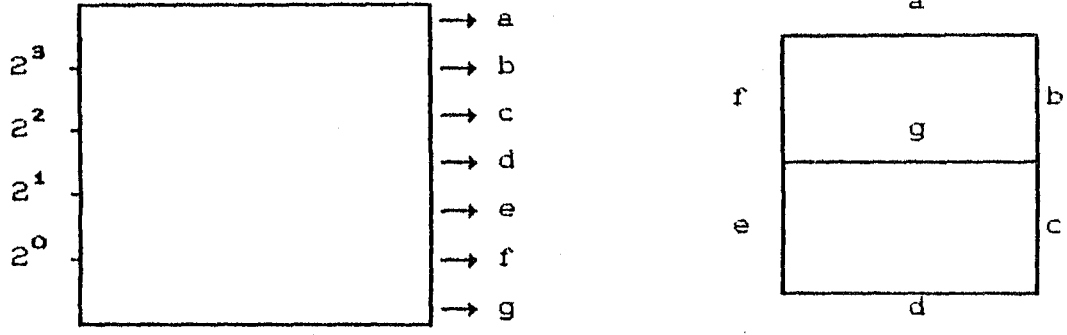
Bir çok dıştan okumalı aygıt, Şekil:II.21 'de gösterilen yedi dilimli gösterim ilkesi kullanılır. Burada ikili kodlanmış onluk girişi kullanılmıştır ve kod çözücü yedi dilimden hangilerinin çalıştırılacağını seçmelidir. Örneğin



Şekil:II.20 1011 ve 0011 ikili sayılar ile bunların toplamı olan 1110 sayısının dalga biçimleri

5 sayısı için çalıştırılan a,f,g,c ve d'dir. Gösterme aygının kendisi yedi ışık yayan diyod (LED) veya sıvı kristalden ibaret olabilir. Çubuk şeklinde imal edilen LED'lerin 7 tanesi Şekil:II.21 'deki gibi bir araya getirilirse 7'li gösterge elde edilmiş olur. Her bir çubuk LED bir harf ile belirlenmiştir. Çubuk LED'lere çeşitli kombinasyonlarda ışık verdirilirse değişik rakamlar elde edilir.Örneğin, a, b,g,c,d LED'lerine ışık verildiğinde 3 rakamı, f,g,b,c LED'lerine ışık verildiğinde de 4 rakamı oluşur.

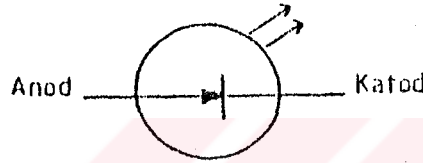
Işıklı diyod (light-emitting diode, LED), düz polarıldığında içinden akım geçer. Işıklı diyodun sembolü Şekil:II.22 'de gösterilmiştir.



a) Yedi dilimli gösterme ilkesi

b) LED'in gösterimi

Şekil:II.21 Kod çözücü ve LED 'in gösterimi



Şekil:II.22 Işıklı diyodun sembolü

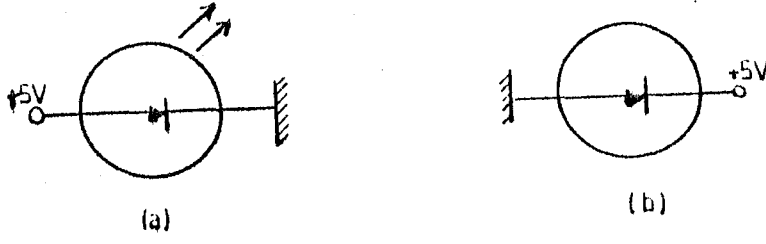
Normal diyotta olduğu gibi anot ve katodu bulunur. Bir ışıklı diyod,

Düz polarıldığında akım geçer ve ışık verir.

Ters polarıldığında içinden akım geçmez ve ışık vermez.

Şekil:II 23 'de düz ve ters polarılması gösterilmiştir. Normal diyodlarda olduğu gibi, eğer ışıklı diyod düz polarıldığında içinden belirli bir miktarın üzerinden akım geçecek olursa harap olur ve kullanılmaz hale gelir. Bu yüzden ışıklı diyodlarla birlikte, ona seri durumda, akım sınırlayıcı dirençler kullanmak gerekir. Akım sınırlatıcı direnç değeri seçilirken dikkat edilmelidir. Eğer direnç değeri çok küçük olursa ışıklı diyod içinden fazla akım çekecek ve diyod harap olacaktır. Aksine direnç değeri fazla büyük olursa, o zaman da diyod içinden çok az akım geçecek ve diyodun parlak bir şekilde ışık vermesi mümkün olmayacaktır.

caktır.

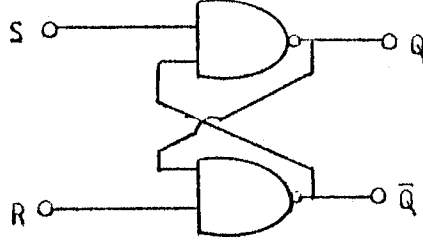


Şekil:II.23 a) Işıklı diyodun düz polarılması
b) Işıklı diyodun ters polarılması

R akım sınırlayıcı direnç 75Ω ile 600Ω arasında seçilebilir. 75Ω seçildiğinde diyod içinden geçen akım yaklaşık 40mA , 600Ω seçildiğinde ise yaklaşık 5mA olmaktadır. Şu halde R direncinin değeri, hem devreden az akım geçecek, hem de istenilen parlaklık elde edilecek şekilde seçilmelidir. Bu konu başlığı altında verilen bilgiler elektronik sayaç kısmında kullanılmıştır.

II.H. İKİ DURUMLU DEVRELER (FLIP FLOPS)

İki ters çevirici geçit iki VED (Ve değil mantık geçidi) geçidi durumunda olduğu gibi çapraz biçimde bağlanırsa, bu birleşim iki kararlı duruma sahip olur. (Şekil:II.24).



Şekil:II.24. Çapraz bağlantılı iki durumlu VED geçidi.

Örneğin S girişi (kurmak için) 1 durumunda ve R girişinin (yeniden kurma ve silme için) de 1 durumunda olduğunu varsayalım. Eğer üst VED geçidinin öteki çapraz girişi 1 durumunda ise çıkışı Q, 0 durumunda olmalıdır. Q ve \bar{Q} her zaman zıt mantık durumunda bulunurlar. Eğer S girişi 1 durumunda, R girişi de 0 durumunda ise, çıkışta Q 0 durumunda \bar{Q} ise 1 durumunda olur.

Bir VED iki durumlu devre için doğruluk tablosu Tablo:II.2.'de verilmektedir.

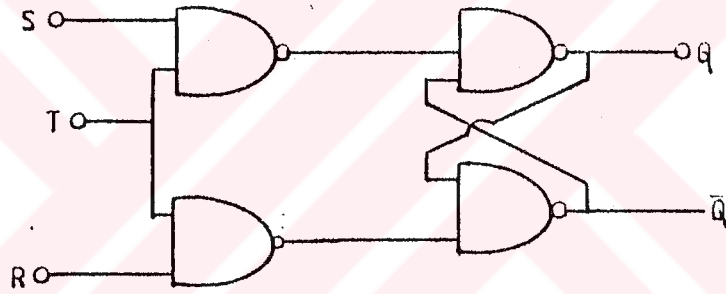
R	S	Q
0	0	Belirsiz
0	1	0
1	0	1
1	1	Q

Tablo:II.2 İki durumlu VED devresi için doğruluk tablosu.

S sıfır durumunda olduğu zaman iki durumlu kurulmuştur denir. Çünkü Q=1'dir. R'ye verilen 0 durumlu giriş için

Q'u sıfır durumuna getirerek iki durumluyu siler. Bu iki durumlu bir hafıza devresi gibidir. Çünkü, iki durumlu en son hangi girişin 0 olduğunu gösterir. Aynı anda hem R hem de S girişi 1 durumunda olursa, bu devreyi ilk durumuna getirir. 0 durumlu iki giriş ise belirsiz bir sonuç verir. Çünkü devrenin mantığı sağlanmamakta ve bu giriş işaretlerinden sonra son durum tamamen şansa bağlı kalmaktadır.

Eğer giriş geçitleri, Şekil:II.25 'deki VED iki durumlu devresine eklenirse, yalnız T veya saat girişi 1 durumunda olduğu zaman, devre mantık işaretlerine cevap verir. Bunun nedeni, T veya saat girişi 0 durumunda olduğu zaman giriş geçitlerinin her ikisinin de 1 durumunda olmasıdır. (R ve S 'deki işaretlerden bağımsız).



Şekil:II.25 Geçitli VED iki durumlu devresi.

Tablo:II.2 'e göre iki durumlu devre bu şart altında ilk durumda kalır. T girişi 1 durumunda olduğu zaman R ve S'deki mantık işaretleri, Tablo:II.2. ile açıklandığı üzere, devrede geçişe neden olabilir. Giriş geçitlerindeki ters çevirme nedeniyle bu mantık basit VED iki durumlu devresi ile karşılaştırıldığında ters olduğuna dikkat ediniz. Gerçekten bu devre T girişindeki işaretlerle kontrol edilir veya geçitlendirilir. Çünkü R ve S 'deki mantık işaretleri yalnız T girişi 1 durumunda olduğu zaman etkilenebilirler.

R	S	Q
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	Belirsiz

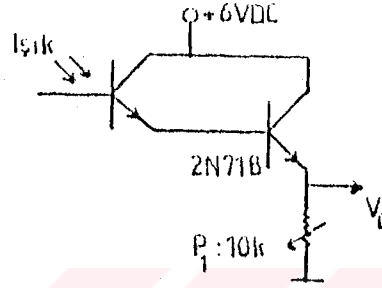
Tablo:II.3 Geçitli VED iki durumlu devresi için doğruluk tablosu

Bu konu başlığı altında verilen bilgiler elektronik sayaç kısmında kullanılmıştır.

III. ELEKTRONİK GİRİŞİM SAYACI

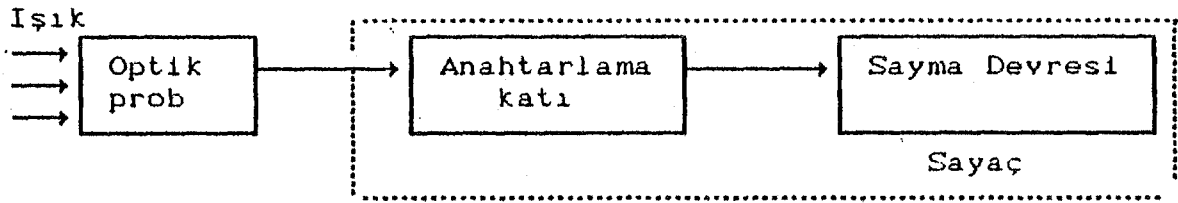
Sayaç iki kısımdan oluşur. İlki ışığın şiddetinin elektriksel işarete dönüştürüldüğü optik problar, diğeri işareti anahtarlayan sayısal mantık ve sayan birim.

Optik prob, temel olarak üzerine ışık düştüğü zaman iletme geçerek, devreden bir akım geçmesine izin veren fototransistördür.



Şekil:III.1 Optik prob kısmının gösterimi

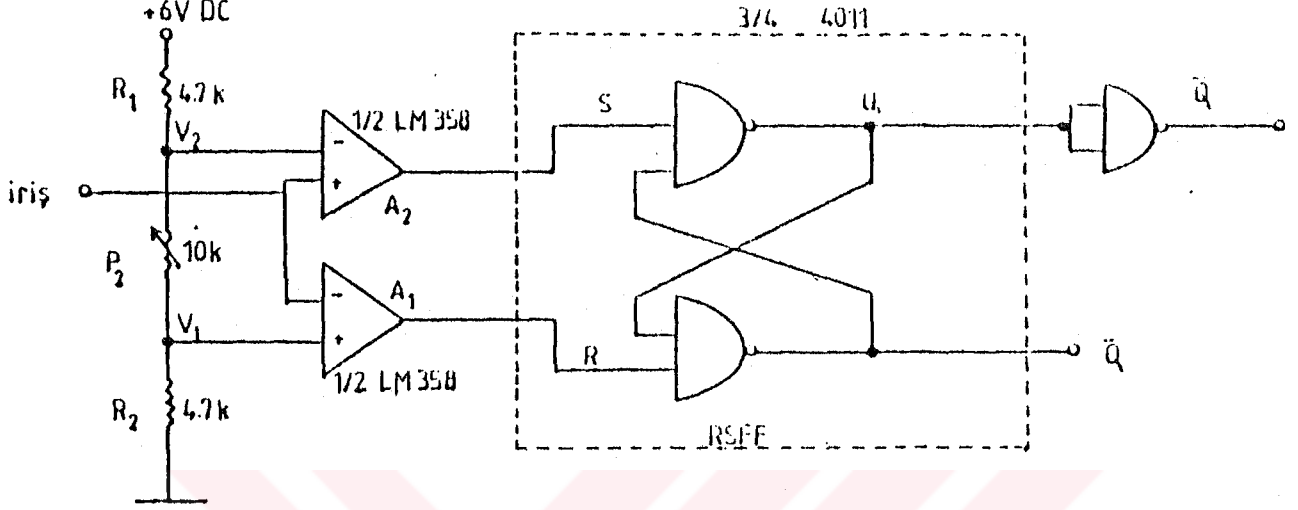
2N718 transistörünün BC (baz-kolektör) eklemine paralel yerleştirilen fototransistörün iletkenliği karanlıkta en düşük, aydınlıkta belirli bir değerdedir. 2N718'in yayıcısına bağlı 10k 'luk değişken direnç ile aydınlık durumda olması gereken V_o 'ın büyüklüğü ayarlanabilir.



Şekil:III.2 Sayısal mantığın sayaca iletilmesi

Şekil:III.2'de gösterildiği gibi, optik probun verdiği elektriksel sinyallerin belirli değerlerini anahtarlayıp 0 ya da 1 şeklinde sayısal mantık iletir. Üretilen sayma darbeleri sayma devresinde sayılır. Anahtarlama katı-

nın çalışması işlemsel yükselteçlerin çalışma şekilleri ile sıkı sıkıya bağlıdır. Şekil:III.3 'de görüldüğü gibi iki adet işlemsel yükselteç bir RSFF (reset set flip flop) devresi ile birleşiktir.



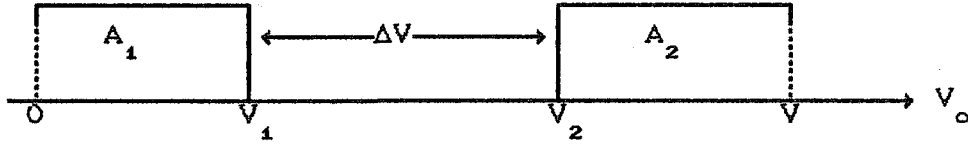
Şekil:III.3 Anahtarlama katı

Girişe gelen V_0 sinyali A_1 ve A_2 işlemsel yükselteçlerine aynı anda gelir. A_1 yükseltecinin terslendiren girişine gelen V_0 gerilimi V_1 geriliminden küçük ise ($V_0 < V_1$), A_1 'in çıkışı yaklaşık +5V DC'dir ki bu "1" sayısal mantığına karşılık gelir. Eğer $V_0 > V_1$ olursa bu durumda çıkış toprak düzeyine karşılık gelir ki bu "0" mantığına karşılıktır.

$V_0 < V_2$ olduğunda A_2 işlemcisinin çıkışı toprak düzeyindedir. Çünkü referans gerilim terslendiren girişte, yani giriş gerilimi terslendirmeyen girişe uygulanmaktadır. $V_0 > V_2$ olunca A_2 'nin çıkışı yaklaşık +5V DC 'e erişir ki bu "1" mantığına karşılıktır.

Giriş gerilimi için yazılanları bir gerilim ekseninde özetleyebiliriz.

Eksen üzerinde de görüldüğü gibi A_1 yükselteci V_1 referans gerilimine göre, A_2 yükselteci ise V_2 referans gerilimine göre giriş gerilimini anahtarlarken "0" ya da "1"



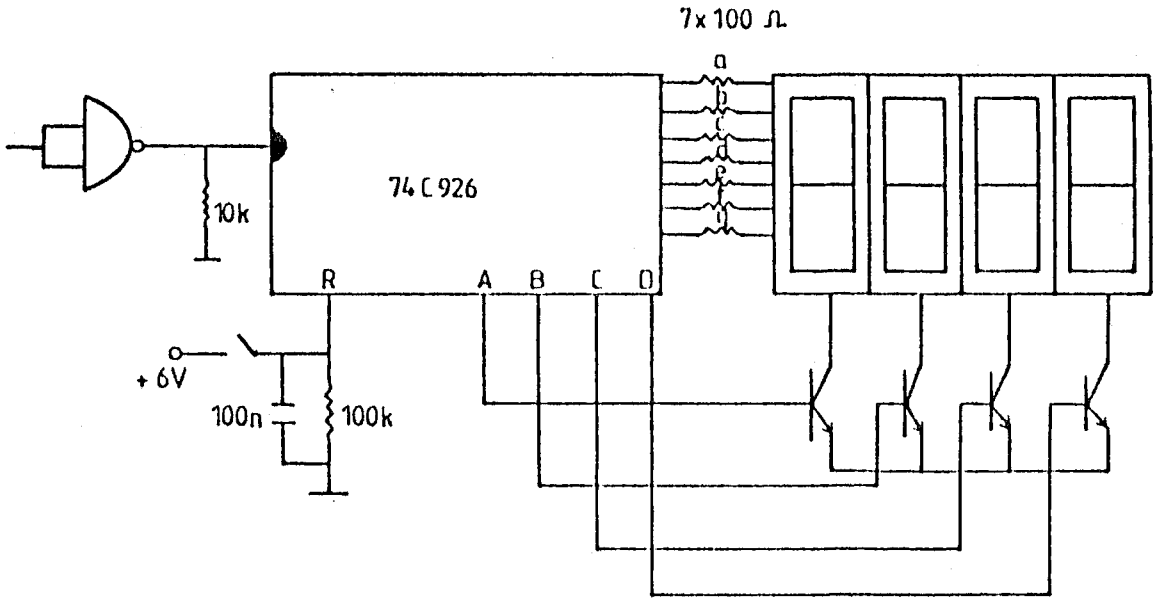
Şekil:III.4 Giriş geriliminin gerilim ekseninde gösterimi

mantık darbelerini oluşturmaktadır. ΔV gerilim aralığı P_2 potansiyometre ile açılıp sıkıştırılabilir. Bu nedenle çıkışın aynı anda "0" ya da "1" arasında karşılıklı sıçramalarının önlenmesi için bir NAND kapılarından oluşturulmuş bir RSFF devresi vardır. Bilindiği gibi flip-flop devreleri bir bitlik (0 ya da 1) bellek elemanlarıdır. Çalışma mantığı Tablo:III.1'deki gibidir.

R	S	Q
0	0	Q
0	1	1
1	0	0
1	1	Belirsiz

Tablo:III.1 Flip-flop 'un çalışma mantığı

Dikkat edilmesi gereken S ve R'nin her ikisinin aynı anda "1" olmaması için ΔV gerilim aralığı iyi kalibre edilmelidir. $\Delta V = V_1 - V_2$ dir. Yapılan çalışmada ΔV 'nin maksimum genişliği 3V DC'dir ki bu gerekenden fazladır. RSFF'nin çıkışlarından birine bir NAND kapısının iki ucu kısa devre edilerek bir evirici/sürücü oluşturularak sayma devresine çıkış vermektedir.

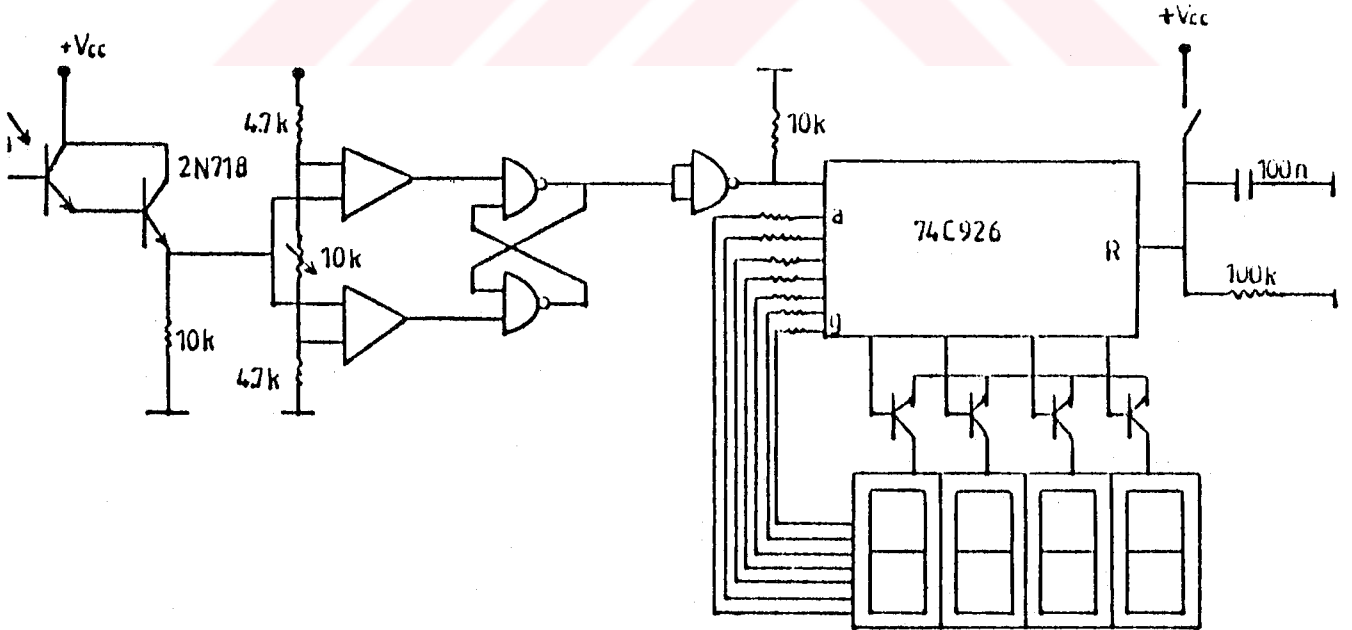


Şekil:III.5 Sayma devresi

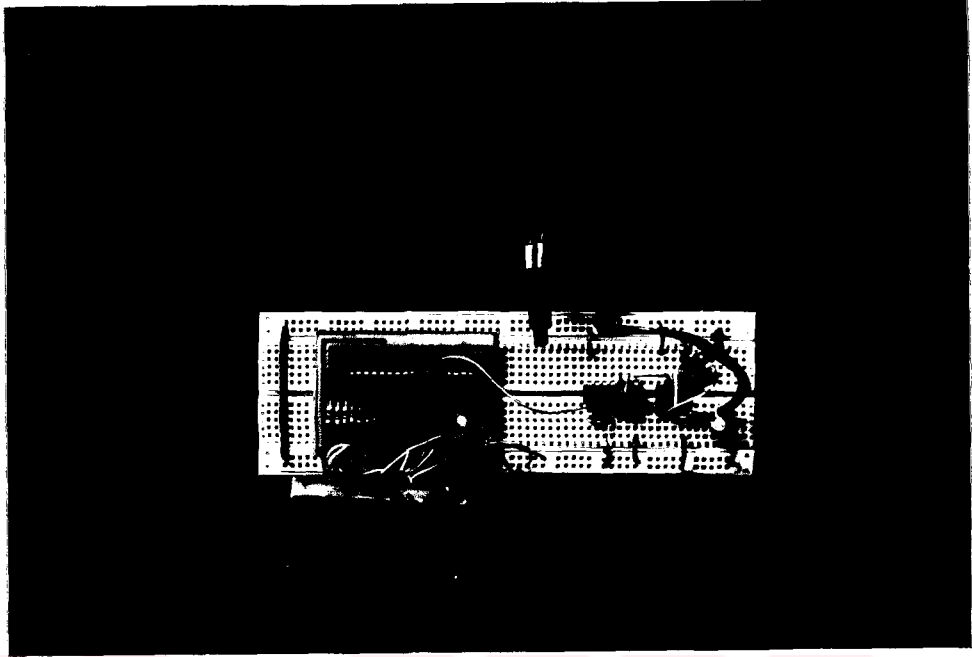
CMOS teknolojisi, 7 çubuk çıkış sürücüleri çoğullamalı ve 4 onluk sayaç 74C926 tüm devresi, sayma darbelerini ardışık sayarak girişim saçaklarının toplam sayısını ışıklı gösterimi ile bize verir.

İç yapısı teknik olarak karışık olduğu için burada ele alınmayacaktır. Kaynak olarak National Semiconductor, CMOS databook 6/191'e bakılabilir.

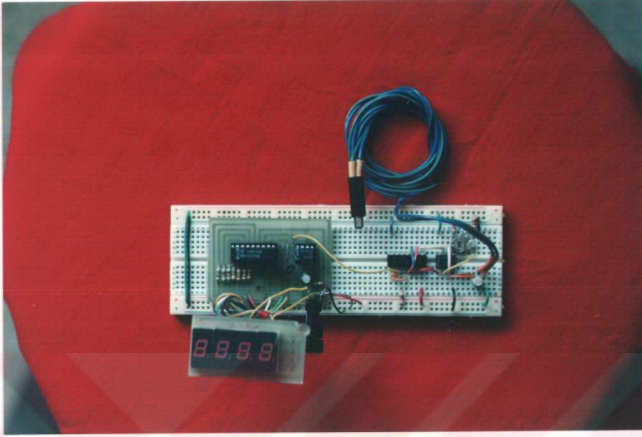
Girişim sayıcısının toplu devresi Şekil:III.6'da verilmiştir.



Şekil:III.6 Girişim sayıcısının toplu devresi



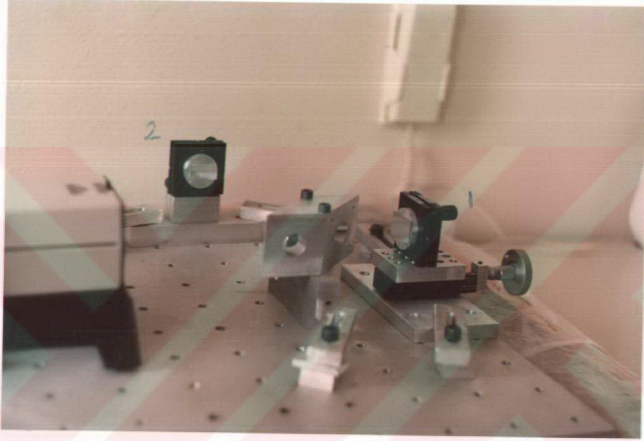
Fotograf:III.1 Girişim Sayıcısı



Fotograf:III.1 Girişim Sayıcısı

IV. İNTERFEROMETRENİN YAPIMI, ÇALIŞMASI VE DENEY SONUÇLARI

İnterferometrenin yapımına laboratuvar gibi uygun bir yer seçmekle başlanabilir. Çok az sayıda optik parçalarla aleti tamamlamak mümkün olmakla beraber, bu optik parçaları monte etmeye yarayacak parçalara da ihtiyaç vardır. İnterferometrenin yapımı için kullanılan parçalar ve aletin fotoğrafı Şekil:IV.1'de gösterilmiştir.



Şekil:IV.1 Michelson interferometresi

IV. A. İNTERFEROMETRENİN YAPIMI

Michelson'un kullandığı ışık tamamen monokromatik olmadığı için ilk yaptığı interferometrelerinde zayıf girişim saçakları elde etmişti. Şimdi ise "He-Ne laser" ile çalışan ve çok net girişim saçakları veren bir interferometre elde edilmiştir. Şekil:IV.1'deki fotoğraf Michelson cihazının benzeridir. İstenilen şekilde hassasiyetin elde edilmesi interferometrenin tatmin edici şekilde çalışmasına bağlıdır. Bununla birlikte yapımda ve detaylarda yeterli dikkat gösterildiği takdirde düzgün çalışan bir model elde etmek mümkün olacaktır. Aşağıda ana hatları açıklanan inter-

ferometrenin parçalarını temini mümkündür. Yapılan interfe-rometreyle, helyum-neon laserinin saldığı ışığın dalga bo-nyunu belirlemek ve havanın kırma indisini bulmak mümkün olacaktır.

IV. A. 1. İNTERFEROMETRENİN YAPIMINDA KULLANILAN PARÇALAR

Interferometrenin yapımında kullanılan parçaların adları şunlardır:

- 1) Alüminyum şase
- 2) Sabit düzlem ayna (fixed mirror)
- 3) Hareketli düzlem ayna (movable mirror)
- 4) Işın yarıcı (beamsplitter)
- 5) He-Ne laseri
- 6) İki yüzü konkav mercek
- 7) Bütün bu parçaları şaseye sabitleştirecek kelepçeler
- 8) Aleti içine oturtmak için kum havuzu
- 9) Girişim sayacı

Parçalar hakkında bilgiler aşağıda verilmiştir.

Alüminyum şase: Interferometrenin tüm parçalarının monte edileceği bu şase, işlenmesi kolay olduğu için alüminyumdan yapılmış olup, (150cm*50cm) boyutlarında, 2cm yüksekliğin- dedir. Kenarlarından 2.5cm kalacak şekilde ayarlandıktan sonra, delikler arası 5cm olacak şekilde şaseye metrik 8 lik vida ile delikler açılmıştır.

Sabit Düzlem Ayna: Düzlem aynanın monte edildiği ayna tutturucuları hazır olarak piyasadan temin edilmiştir. Ayna tutturucularındaki yaylı vidalar sayesinde aynayı sağa so- la çevirme imkanı vardır. Şekil:IV.1'de ayna tutturucuların şekli ve aynanın nasıl üzerine monte edildiği gösterilmiş- tir. (Aynalar yapışkanla tutturulmuştur.)

Hareketli Düzlem Ayna: Aynalardan diğeri ise kızak üzerinde hareket edebilecek bir parçanın üzerine monte edilmiştir. Kızağın bir ucunda mikrometre vardır. Mikrometre hareket ettirilerek ayna kızak üzerinde ileri geri hareket etme im- kanına sahiptir. Şekil:IV.1'de hareketli ayna laserin tam karşısındadır. Mikrometrenin bir turu 0.0635cm 'lik hareke-

te karşılıktır. Bir dönme 20 eşit parçaya ayrılmıştır. Buna göre mikrometrenin duyarlılığı 0.0635/20cm 'dir.

Işın Yarıcıcı: Gelen ışığın %50'sini geçiren ve %50'sini yansıtan bu optik parça geçen ve yansıyan ışınların yolu boyunca olan üç tane delik içeren bir parçanın dış yüzüne yapıştırıcı ile monte edilir. Işın yarıcıcıya şasesinin kenarlarına 45°'lik bir açı ile yerleştirildikten sonra kelepçelerle sabitleştirilir.

He-Ne Laseri: Helyum-Neon laseri 38cm uzunluğunda, 6.8cm yüksekliğinde, 8.7cm genişliğinde olup üstten bir kelepçe ile Şekil:IV.1.'de görüldüğü gibi şase üzerine sabitleştirilmiştir.

İki Yüzü Konkav Mercek: Laserden gelen ışığın bir kısmı ışın yarıcıdan geçip, bir kısmı yansıldıktan sonra, tekrar ışın yarıcıda birleştikten sonra ekran üzerine düşürmeden önce ekranın önüne konarak, birleşen ışınlar bu mercekten geçirilir. Böylece girişim modeli genişletilmiş olup, sayacın algılama aralığına girilmiştir. Bu parça şasesinin üzerinde olmayıp, bir tutturucuya monte edilmiştir.

Kelepçeler: Şekil:IV.1'de görüldüğü gibi parçaları monte etmekte kullanılan kelepçeler yapılmıştır. Bu kelepçelerin boyu 10'ar cm olup içleri oyulmuştur. Böylece vida deliği ayarlamasını yapıp, sabitleştirmek daha kolay olmaktadır.

Kum Havuzu: Çok küçük sarsıntılardan bile etkilenen girişim modelini bu titreşimlerden korumak için aletin tümü, bütün montaj işlemleri bittikten sonra bir kum havuzuna yerleştirilir.

Elektronik Girişim Sayacı: Girişim oluştuktan sonra, yol farkını değiştirmekle meydana gelen girişim saçaklarındaki kaymaları anahtarlama tekniğiyle sayabilen elektronik bir cihazdır. Işık, dedektörde fototransistör üzerine düşürülür. Sayacın devre şeması, fotoğrafı ve çalışması bir önceki bölümde verilmiştir.

IV. B. İNTERFEROMETRENİN AYARI VE ÇALIŞMASI

Bu bölüm hem eğlenceli hem de oldukça sabır isteyen kısımdır. İnterferometreyi kum havuzuna yerleştirdikten sonra, bütün optik parçalar iyice temizlenir. Çünkü toz ve parmak izleri girişim sonucu oluşan deseni bozabilir veya çok az görüntü sağlanabilir.

Kızağı ileri geri hareket ettiren mikrometreyi çevirerek, aynalarla ışın kırıcı eşit bir uzaklığa ayarlanır. Şekil:IV.1'de gösterildiği gibi ışının yarısı ışın kırıcıdan geçerek şasenin kenarındaki 1 numaralı hareketli aynaya ulaşacaktır. Diğer yarısı ışın yarıcıdan yansıyarak 2 numaralı aynaya gelecektir. Eğer ışın 2 numaralı aynaya ya yansımıyorsa, ışın yarıcının açısının gerektiği gibi ayarlanması gerekir.

2 numaralı aynaya yansıyan ışın doğrudan ışın yarıcıdan geçerek ekran üzerinde bulanık, yuvarlak kırmızı nokta şeklinde bir görüntü verir. 1 numaralı aynadan yansıyan ışın, ışın yarıcıya ulaşarak ekran üzerinde görüntü verir. Büyük bir ihtimalle bu ışın, ilk ışın ile çakışmaz. 1 numaralı veya 2 numaralı aynayı çevirerek yatay mesafeler ayarlanır. 1 ve 2 numaralı aynaları dikkatle aşağı yukarı eğerek de dikey farklılıklar giderilebilir.

Aynaları ve ışın yarıcılı ekranda yansıyan iki ışın çakışmaya kadar devam edilir. Her iki ışının da paralel olması son derece önemlidir. Işınlardan birinin yatay ve dikey olarak çok az sapması girişim deseninin görülmesine engel olur.

Her ayarlamadan sonra 15s ile 30s arasında bekleyerek interferometredeki titreşimlerin durması beklenir. Işınlardan birbirlerine paralel hale geldiklerinden emin olduktan sonra, girişimin oluşup oluşmadığı kontrol edilir.

Girişim deseni "öküz gözü" şeklindedir. Laser kaynağını oynatmak suretiyle ışınlar aynı ekseninde toplanabilir. Laseri oynatmak perdedeki deseni etkilemez.

Ekranda girişim oluştuğu zaman, optik parçalar şase-

ye biraz daha sıkıştırılabilir. Sıkma işlemini yaptıktan sonra, girişimin görünür olup olmadığı kontrol edilmelidir.

Şaseye yapılacak en ufak bir darbe bile girişim saçaklarının kaybolmasına neden olacağından, düzener kum havuzuna oturtularak titreşimlerin minimuma inmesi sağlanır. Ekran yerine elektronik girişim sayacını koymak suretiyle belirli bir çemberde en zayıf bir hareketi bile görmek mümkün olur. Girişim saçaklarındaki değişiklikler fototransistör tarafından algılanarak, sayaç tarafından kaydedilir.

Yapılan interferometrede kızaklı bir ayna sistemi olduğu için, ışık yolu mesafelerini değiştirerek, bu değişikliğin sebep olduğu neticeler gözlenebilir. Kızağın hareketini sağlayan mikrometrelili kol hafifçe çevrilirse girişim saçaklarında kaymaların olduğu gözlenir. Ekranı aynı fazda gelen ışınlar parlak noktaları oluştururlar. Bu da toplam yol farkının,

$$\Delta l = 0, \lambda, 2\lambda, \dots, n\lambda \quad (\text{IV.1}).$$

olmasına karşılık gelir. Aynı zamanda aynanın $\lambda/2$ kadarlık yer değiştirmesini ifade eder. O zaman,

$$\Delta l = 2\Delta x \quad (\text{IV.2}).$$

olur. Burada Δx , aynanın yer değiştirmesidir.

Eğer yol farkı,

$$\Delta l = \frac{\lambda}{2}, \frac{3\lambda}{2}, \frac{5\lambda}{2}, \dots, (n + \frac{1}{2})\lambda \quad (\text{IV.3}).$$

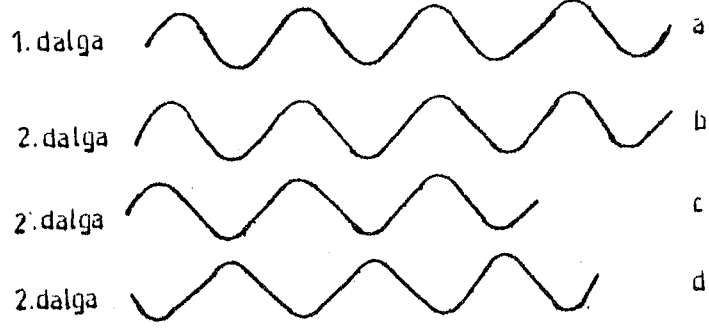
ise karanlık noktalar oluşur. ($n=0,1,2,\dots$)

Bu aynı zamanda aynanın $\lambda/4$ kadarlık yer değiştirmesini ifade eder.

Şekil:IV.2'de gelen dalgaların girişimini karakterize etmek için, gelen iki dalga alınmış ve yol farklarına göre parlak veya aydınlık noktaların oluşması için şartlar belirtilmiştir.

Hareketli aynanın mikrometre ile hareket ettirilmesiyle iki ışın arasındaki yol farkı değişmektedir. Bu esnada sadece bir kere aydınlıktan ardışık aydınlığa geçiş göz-

lenmez. Göz saçakları kayıyormuş gibi görür.



Şekil:IV.2 Dalgaların girişimi.

- a) ve b) arasında $\Delta l=0$ olup, aydınlık nokta verir.
- a) ve c) arasında $\Delta l=\lambda$ olup, aydınlık nokta verir.
- a) ve d) arasında $\Delta l=\lambda/2$ olup, karanlık nokta verir.

IV.C. IŞIK DALGA BOYUNUN VE HAVANIN KIRMA İNDİSİNİN BULUNMASI, ALINAN DENEYSEL SONUÇLAR.

Interferometre çalışır duruma gelince, girişim saçaklarını sayan sayaçla He-Ne laserinin saldıdığı ışığın dalga boyu şöyle bulunabilir:

Daha öncede belirtildiği gibi iki kol arasındaki yol farkı,

$$2l = N\lambda$$

ise bir maksimum oluşur. l , hareketli aynanın yerdeğiştirilmesidir. λ , ışığın dalga boyudur. Aynanın, $l = \lambda/2$ kadar ileri veya geri hareketi, bir maksimumdan ardışık diğer maksimuma geçişi sağlar. Bu açıklamadan sonra deneysel olarak elde edilen N (saçak sayısı) değerleri ve her bir değere karşılık hesaplanan dalga boyları Tablo:IV.1'de verilmiştir.

Ortalama λ değeri ise,

$$\lambda_{\text{ort}} = 6152.35\text{Å}$$

olarak bulunur. Tablodaki λ değerlerinin standart sapması ise şu formüllerle bulunmuştur.

$$S.S_{n-1} = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n-1}} \quad \text{ve} \quad S.S_n = \sqrt{\frac{\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n}}$$

Buna göre, bulunan standart sapma değerleri,

$$S.S_{n-1} = 221.82$$

$$S.S_n = 219.03$$

şeklindedir. Sonuç olarak,

$$\lambda = (6152 \mp 221.82)\text{Å}$$

şeklinde yazılır.

He-Ne laserinin saldığı ışığın dalga boyu ise, 6328Å'dur.

N Saçak sayısı	$\lambda(\text{Å})$ Dalga boyu	N Saçak sayısı	$\lambda(\text{Å})$ Dalga boyu
2134	5950	2033	5610
2113	6010	2138	5940
2078	6110	2192	5793
2018	6290	2038	6231
2154	5890	2103	6028
2137	5940	1975	6430
2086	6080	2037	6234
2058	6170	1975	6430
2102	6040	1996	6362
2054	6180	2033	6246
2112	6010	2102	6041
1961	6476	2002	6344
2018	6293	1982	6408
2090	6076	1899	6688
2152	5901	2108	6024
2208	5751	2054	6183
1980	6410	2112	6013
2000	6350	2054	6183
2089	6070	1989	6385
2263	6240	2024	6274

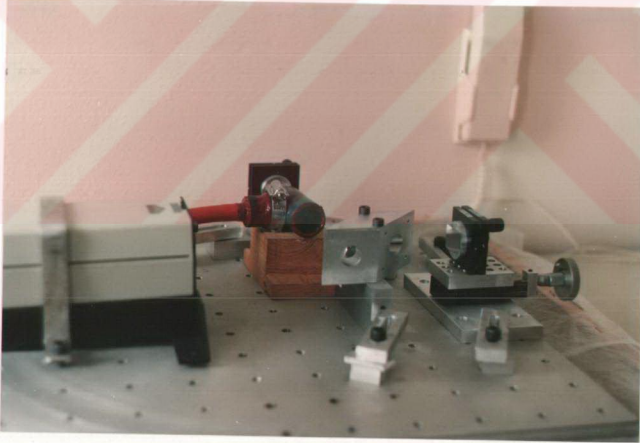
Tablo:IV.1 Mikrometrenin 0.0635cm 'lik yerdeğiştirmesine karşılık gelen N ve λ değerleri.

IV.C.1 DENEYSEL OLARAK BULUNAN DALGA BOYUNDAN HAREKETLE HAVANIN KIRMA İNDİSİNİN BULUNMASI

Havanın kırma indisini bulmak için, aşağıdaki fotoğrafta gösterildiği gibi L boyunda bir tüp kollardan birinin yolu üzerine konur. İlk önce bu tüpün vakum pompasıyla havası alınır. Havası boşaltılmış tüp için (bir gidiş, bir dönüş gözönüne alındığında),

$$N_1 = \frac{2L}{\lambda} \quad (IV.4).$$

tane dalga sığar. Burada λ , deney sırasında kullanılan standart ve monokromatik ışığın boşluktaki dalga boyudur. Daha sonra havası boşaltılmış tüpün içine yavaş yavaş hava bırakılır.



Fotoğraf:IV.1 Havanın kırma indisini bulmak için hazırlanan deney düzeneği.

Havanın kırma indisi n_x olsun. $n_x > 1$ olduğundan, bu tüpün içindeki dalga boyu $\lambda_x < \lambda$ 'dir. Yani $\lambda_x = \lambda/n_x$ 'dir. ($n_x = c_0/c$ dir. c_0 ışığın boşluktaki hızı, c ise ele alınan ortamdaki hızıdır. $\lambda_x = c/\nu$, $\lambda = c_0/\nu$ 'dür.) O zaman (IV.4) bağıntısına benzer şekilde,

$$N_2 = \frac{2L}{\frac{\lambda}{n_x}} = \frac{2L}{\lambda} n_x \quad (\text{IV.5}).$$

yazılır. Böylece hava dolu tüp içine N_2 tane dalga sığacaktır. (IV.5) ve (IV.4) bağıntıları arasındaki dalga sayısı cinsinden fark,

$$N_2 - N_1 = N = \frac{2L}{\lambda} n_x - \frac{2L}{\lambda}$$

$$N = \frac{2L}{\lambda} (n_x - 1) \quad (\text{IV.6}).$$

olur. Optik yol farkı cinsinden,

$$N\lambda = 2L(n_x - 1) \quad (\text{IV.7}).$$

şeklinde ifade edilir. Burada L , tüpün boyu ; n_x , havanın kırma indisi ; λ , kullanılan ışığın dalga boyu, ; N ise sa-yaç tarafından sayılan girişim saçak sayısıdır.

$\lambda = 6152\text{\AA}$ ise, deklemler (IV.7)'den hareketle de havanın kırma indisi n_x bulunabilir. Tüpün boyu $L = 6.58\text{cm}$ 'dir. Tablo:IV.2'de havanın kırma indisi için bulunan değerler görülmektedir.

N	n_x
Saçak sayısı	Havanın kırma indisi
43	1.0002060
48	1.0002356
49	1.0002356
53	1.0002548
56	1.0002693

Tablo:IV.2 Havanın kırma indisi

Kırma İndisi n_x 'in ortalama değeri,

$$n_x = 1.000240258$$

olarak bulunur. Standart sapması ise,

$$S.S_{n-1} = 2.345 \times 10^{-5}$$

$$S.S_n = 2.098 \times 10^{-5}$$

bulunmuştur.



SONUÇ VE TARTIŞMA

Bu çalışmada, yapılan He-Ne laser interferometresinde girişim olayı gözlenmiş ve elektronik girişim sayacı da kullanılarak He-Ne laserinin saldığı ışığın dalga boyunun ortalama değeri,

$$\lambda = (6152 \mp 219.03) \text{Å}$$

olarak bulunmuştur. Havanın kırma indisinin ortalama değeri ise,

$$n_x = 1.000240258 \mp 2.345 \times 10^{-5}$$

bulunmuştur.

Yapılan interferometre o kadar hassastır ki, elde edilen girişim deseni en ufak bir sarsıntıdan, ortamın sıcaklığından bile etkilenebilmektedir. Bu yüzden interferometrenin mümkün olduğu kadar hava akımının az olduğu bir yere konulmasında yarar vardır. Ayrıca, aynanın ileri geri hareketini sağlayan mikrometre elle direk temas halinde olduğu için istenmeyen sarsıntılar olmakta ve girişimde bozulmalar gözlenmektedir. Bu da dalga boyunun belirlenmesinde hata yapılmasına neden olmaktadır.

Temel olarak bir interferometreyi geliştirmek için bir kaç yol vardır. Bunlardan birisi daha ince dişli civata kullanarak daha hassas bir şekilde ayar etmektir.

Daha kolay bir yaklaşım ise bir redüksiyon dişli kutusu ile ilerlemeleri istenilen artışlara ayarlamaktır. Ağır ilerleme kaydeden bir dişli kutusu veya bir DC motoru ile bu sağlanabilir. Bu durumda kontrol çarkı dişli kutusunun giriş çarkına ve interferometrenin ayar koluna da çıkış çarkına V-kayışı vazifesi göreceğ bir lastik bant takılır. Lastik bant interferometreyi titreşimlerden korur. Böylece 140nm hassasiyette bir ilerleme 16:1 oranında bir redüksiyon dişli kutusu veya DC elektrik motoru ile temin edilebilir. Dişli oranları kullanılan modele göre değişmektedir.

Interferometrede yapılacak diğ er geliştirme ise ekranı kaldırarak görüntüyü duvara veya başka bir yüzeye yan-

sıtmaktır. Daha büyük "öküz gözü" elde etmek görmeyi ve girişim saçaklarındaki geçişi saymayı kolaylaştırır.

Interferometrede bir kaç değişik ışık kaynağı kullanılabilir. Eğer Argon veya Kripton laser lambaları kullanılırsa girişimlerini incelemek suretiyle dalga boyları arasındaki farklar tespit edilebilir.

Ayrıca havanın kırma indisinden başka, değişik basınçlarda çeşitli gazların kırma indisi bulunabilir.

Interferometredeki bu geliştirmelerin yanında elektronik girişim sayacını da geliştirmek mümkündür. Böylece sonuçlar daha iyi bir şekilde elde edilebilir.



ÖZET

Bu çalışmada bir He-Ne laser ışık kaynağı kullanarak Michelson Interferometresi ve elektronik girişim sayacı yapılmıştır. He-Ne laserdeki ışığın dalga boyunu belirlemek için, yapılan interferometrede ışığın katettiği mesafe ($2l$) değiştirilerek girişim gözlenmiş ve girişim sayacından ardarda geçen aydınlık saçaklar sayılmıştır. (N). Böylece, yol farkı ile sayılan saçak arasındaki $2l=N\lambda$ bağıntısından yararlanarak ışığın dalga boyu (λ) hesaplanmıştır. Sonuçta dalga boyu ve kırma indisi arasındaki $N\lambda=2l(n_x-1)$ bağıntısından yararlanarak interferometrenin kollarından biri üzerindeki tüp içindeki gazın kırma indisi hesaplanmıştır.

ABSTRACT

In this study, a He-Ne laser is used as a light source, Michelson interferometer and interference fringe counter have been built. By changing the optical path length of the light in the interferometer we have determined the wave-length of He-Ne laser light. The interference was observed and the bright bands which passes consecutive from the interference fringe counter were counted (N). Using the equation $2l=N\lambda$, the wave-length of the light was measured from the path difference between the two arms. As a result of this and with the help of the equation $N\lambda=2L(n_x-1)$ between wave-length and refractive index of the gas in the tube was found, where L is the tube length.

KAYNAKLAR

1. J.H.Moore, C.C.Davis, M.A.Coplan, Building Scientific Apparatus, (University of Maryland, 1983) s.237-242
2. J.J.Brophy, M.Zengin, F.Köksal, Fenciler İçin Temel Elektronik, (Ank.Ün., 1984) s.240-375
3. G.B.Clayton, Experiments With Operational Amplifiers, (London and Basingstoke,1975) s.50-91,597-598
4. G.Bruhat, F.Yeniçay, Optik Dersleri, Cilt 1, (İst.1944) s.170-173
5. A.Besier, M.Çetin, H.Yıldırım, Z.Gülsün, Çağdaş Fiziğin Kavramları, (Ank, 1988-1989) s.3-9
6. Endüstriyel Elektronik, M.E.B., (Ank., 1989)
7. Elo Elektronik, Cilt 2, (Yücel Yayımevi, 1988) s.23-45

TEŞEKKÜR

Bu çalışmada, bana her türlü problemimde yardımcı olan, beni yönlendiren ve destekleyen hocam Sayın Prof. Dr. Ali GÜNGÖR'e, elektronik sayacın yapımında yardımını gördüğüm Arş. Gör. Cengiz AKAY'a, alüminyumun işlenmesinde yardımını esirgemeyen Ahmet BALDAN'a ve Perçem ALTINÖZ 'e ve maddi ve manevi olarak bana destek veren sevgili aileme teşekkürü bir borç bilirim.

ÖZGEÇMİŞ

16/11/1968 yılında İzmir 'de doğdum. Orta öğrenimi-
mi Isparta 'da tamamladıktan sonra, U.Ü. Necatibey Eğitim
Fakültesi, Fen Bilimleri Eğitimi Bölümü, Fizik Anabilim
Dalında lisans eğitimimi tamamladım. Halen aynı fakültede
Fizik Anabilim Dalında araştırma görevlisi olarak görev
yapmaktayım.

EK:1-İŞLEMSEL YÜKSELTECİN ETKİN GİRİŞ VE ÇIKIŞ EMPEDANSLARININ BULUNMASI

Negatif geri besleme bir yükseltecin giriş ve çıkış empedansını değiştirir. Bunun nasıl olduğunu görmek için, Şekil:1.1 'de olduğu gibi, yükselteç yerine Thevenin eşdeğerini göz önüne alınız. Bu durumda çıkış gerilimi ve giriş işareti

$$v_o = \alpha v_1 - i_o r_o \quad (1.1).$$

$$v_1 = v_i + \beta v_o \quad (1.2).$$

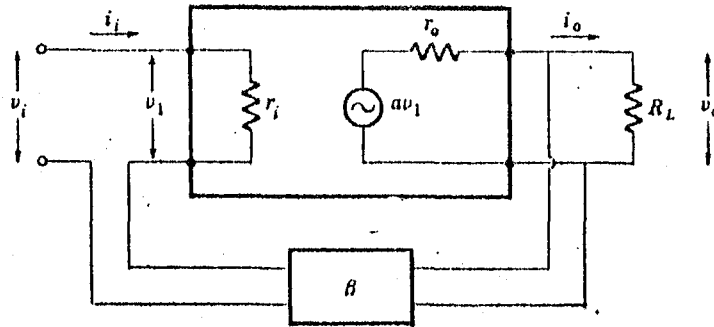
Burada α , yükseltecin kazancı, β ise geri besleme oranıdır. Denklem (1.1), (1.2) de yerine konulursa,

$$v_o = \alpha v_1 + \alpha \beta v_o - i_o r_o$$

elde edilir. Buradan v_o 'ın çözümü,

$$v_o = \frac{\alpha}{1 - \alpha \beta} v_i - \frac{r_o}{1 - \beta \alpha} i_o \quad (1.3).$$

olur.



Şekil:1.1 Gerilim geri besleme kullanıldığı zaman, yükseltecin etkin giriş ve çıkış empedanslarını bulmaya yarayan devre.

Denklem (1.3) negatif geri beslemeli bir yükselteç için Thevenin bağıntısıdır. Burada v_i 'nin katsayısının kazanç

olduğuna dikkat ediniz. i_o 'ın katsayısı etkin çıkış empedansıdır. Denklem (1.3) 'e göre çıkış empedansı azalmaktadır ve eğer $-\alpha\beta$ büyükse oldukça küçülebilir. Etkin giriş empedansı, denklem (1.1) ve (1.2) 'de v_o yerine $R_L i_o$ ve v_i yerine $r_i i_i$ koyarak bulunur. Elde edilen bağıntılar v_i/i_i yi yani, giriş empedansını bulmak üzere çözülürse,

$$R_i = r_i \left(1 - \frac{\alpha\beta}{1+r_o/R_L} \right) \quad (1.4).$$

bulunur. Denklem (1.4) 'e göre, giriş empedansı negatif geri besleme etkisi ile artırılır. Hem çıkış empedansının azalması hem de giriş empedansının artması yükselteçlerde istenen özelliktir.