

**T.C.
AKDENİZ ÜNİVERSİTESİ
FEN FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ**

DALGALAR LABORATUARI

DENEYLER

DENEY-1:	2
ÇİFTLENİMLİ SARKAÇLARIN SERBEST SALINIMLARI.....	2
DENEY-2:	6
KÜTLE-YAY SİSTEMLERİNİN BOYUNA SERBEST SALINIMLARI.....	6
DENEY- 3:	13
A-İPTE DURAN (KARARLI) DALGALAR	13
B- BOYUNA DURAN DALGALAR	15
DENEY-4:	17
A-CHLADNİ LEVHALARI	17
B-DAİRESEL TEL ÜZERİNDE DURAN DALGALAR	18
C-METAL REZONANS ŞERİTLERİ.....	19
DENEY-5	21
A-DİRENÇ-SİĞA (R-C) DEVRELERİ	21
B-DİRENÇ-İNDÜKSİYONCU KANGAL (R-L) DEVRELERİ	31
DENEY 6	37
SERİ BAĞLI (R-L-C) REZONANS DEVRELERİ.....	37
DENEY 7	42
ÇİFTLENİMLİ L-C DEVRESİ	42
DENEY 8	48
A-SESİN HAVADAKİ HIZININ SICAKLIĞIN BİR FONKSİYONU OLARAK BELİRLENMESİ:	48
B- KUNDT BORUSU İLE DURAN SES DALGALARININ DALGA BOYUNUN ve HIZININ BELİRLENMESİ:	51
DENEY-9	54
IŞIK HIZI ÖLÇÜMÜ.....	54
Deney 10	60
DALGA LEĞENİNDE İKİ BOYUTLU DALGALAR	60

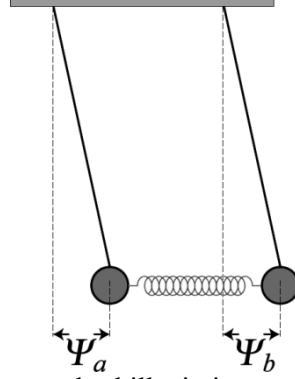
DENEY-1:

ÇİFTLENİMLİ SARKAÇLARIN SERBEST SALINIMLARI

DENEYDE KULLANILAN ARAÇ VE GEREÇLER: İp, gevşek yay, cetvel (100 cm uzunluğunda) krometre ve 150 gr kütleli iki adet cisim.

AMAÇ: Çiflenimli sarkaç sistemlerinin boyuna salınımlarının kiplerinin ve vuru olayının incelenmesi

ÖN BİLGİ: iki basit sarkacın Şekil 1.1' deki gibi, gevşek bir yayla birbirine tutturulmasıyla oluşan çiflenimli sarkaç sistemi, iki serbestlik dereceli sistemlere iyi bir örnektir. Aslında sistem genelde altı serbestlik derecesine sahiptir. Ancak; sistemin yalnızca düşey düzlemdeki küçük salınımlarını göz önüne alınırsa, sistemin yalnızca iki serbestlik derecesinin kaldığı, bir başka deyimle sistemin hareketini tam olarak saptamak için gerekli olan minimum parametre sayısının sadece iki olduğunu görürüz. Bu iki parametreyi sarkaçların yatay yönündeki ötelenmelerini ifade etmek üzere Ψ_a ve Ψ_b ile gösterebiliriz ($m_a=m_b=m$).



Şekil 1.1: Çiftenimli sarkaç sisteminin genel şekillenimi.

Sarkaçlara etkiyen kuvvetler sırasıyla (küçük salınımlar için):

$$\begin{aligned} F_a &= -mg \sin \theta_a + K(\Psi_b - \Psi_a) \\ &= -mg\theta_a + K(\Psi_b - \Psi_a) \\ &= -mg(\Psi_a/l) + K(\Psi_b - \Psi_a) \end{aligned} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} F_b &= -mg \sin \theta_b - K(\Psi_b - \Psi_a) \\ &= -mg\theta_b - K(\Psi_b - \Psi_a) \\ &= -mg\left(\frac{\Psi_b}{l}\right) - K(\Psi_b - \Psi_a) \end{aligned} \quad (2)$$

olacağından, sistemin hareket denklemlerini

$$m \frac{d^2 \Psi_a}{dt^2} = -mg \frac{\Psi_a}{l} - K(\Psi_b - \Psi_a) \quad (3a)$$

$$m \frac{d^2 \Psi_b}{dt^2} = -mg \frac{\Psi_b}{l} - K(\Psi_b - \Psi_a) \quad (3b)$$

şeklinde yazabiliriz.

Sistemin iki serbestlik derecesi bulunduğundan, kip şekillenimlerinin de sayısı iki olacaktır.

Şimdi bu kipleri ayrı ayrı inceleyelim:

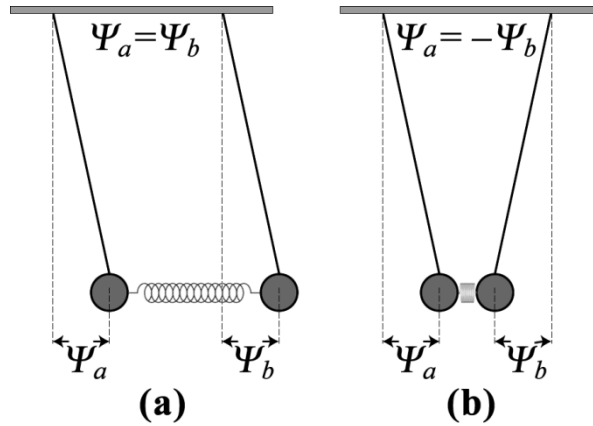
i. Kip-1'de sarkaçlar aynı yönde eşit miktarlarda yer değiştireceklerdir. (anti-simetrik kip). Bu nedenle şekillenim Şekil 1.2(a)'daki gibi olacaktır. Bu durumda (3) denklemlerini yeniden yazarsak,

$$\begin{aligned}\Psi_a &= \Psi_b \\ m \frac{d^2 \Psi_a}{dt^2} &= -mg \frac{\Psi_a}{l}\end{aligned}\quad (4)$$

olacağı açıktır. Kip-1'in frekansı ise,

$$\omega_1^2 = \frac{g}{l} \quad (5)$$

ile verilir.



Şekil 1.2: Çiftlenimli sarkacın kip şekillenimleri: (a) Kip-1, (b) Kip-2.

Kip-2'de sarkaçlar zıt yönlerde eşit miktarlarda yer değiştireceklerdir. Bu nedenle şekillenim Şekil 1.2(b)'deki gibi olacaktır. Bu durum için (3) denklemlerini yeniden yazarsak

$$\begin{aligned}\Psi_a &= -\Psi_b \\ m \frac{d^2 \Psi_a}{dt^2} &= -mg \frac{\Psi_a}{l} - 2K\Psi_a \\ \frac{d^2 \Psi_a}{dt^2} &= -\left(\frac{g}{l} + \frac{2K}{m}\right) \Psi_a\end{aligned}\quad \begin{aligned}(6a) \\ (6b)\end{aligned}$$

bulunur. Böylece Kip-2 için frekansın da

$$\omega_1^2 = \frac{g}{l} + \frac{2K}{m} \quad (7)$$

ile verileceği kolayca görülür.

Şimdi sistem durgunken sarkaçlardan birini sabit tutarak, diğerine küçük bir öteleme verdikten sonra sistemi serbest bırakalım. Sistemin hareketini dikkatlice incelediğiniz zaman başlangıçta hareketsiz olan ilk sarkacın zamanla hareketli ve yine başlangıçta sisteme ilk hareketi veren ikinci sarkacın zamanla hareketsiz kaldığı görülür. Böylece enerji bir sarkaçtan diğerine (aradaki yay vasıtasıyla) aktarılmıştır. Bu olay sürtünme yeterince azsa uzun bir süre gözlenecektir. İşte bu olaya **vuru** denir. Çiftlenimi sağlayan yay yeterince zayıfsa vuru frekansı,

$$\omega_{vuru} = \omega_2 - \omega_1 \quad (8)$$

ile verilir.

DENEYİN YAPILIŞI

Boyuna salınımlar: Her iki sarkacı (sarkaçları birbirine birleştiren doğrultuda) aynı yöne doğru 10 cm kadar öteleyip serbest bırakınız. Böylece Kip-1'de salınan sistemin periyodunu, kronometre yardımıyla peş peşe 10 salınım ölçerek, bulduğunuz değerleri Tablo 1.1'de ilgili yerlere yazınız. (Her öğrenci bunu en az iki kez tekrarlamalıdır).

Tablo 1.1

KİP-1					KİP-2				
$10T_1$	T_1	v_1	$\omega_1=2\pi v_1$	ω_1^2	$10T_2$	T_2	v_2	$\omega_2=2\pi v_2$	ω_2^2

Daha sonra sistemin Kip-2'de salınması için her iki sarkacı birbirine zıt yönlerde (yine sarkaçları birbirine birleştiren doğrultuda) 10 cm öteleyip serbest bırakınız. Kip-1'deki gibi salınımların periyotlarını ölçerek Tablo 1.1'deki ilgili yerleri doldurunuz.

Şimdi de vuru olayını incelemek için önce sağdaki sarkacı sabit tutup diğerini herhangi bir yöne 10 cm öteledikten sonra sistemi serbest bırakınız ve 10 tam salınım için periyodu ölçünüz. Daha sonra aynı işlemi soldakini sabit tutarak tekrarlayınız ve yine 10 tam salınım için periyodu ölçünüz (Bu işlemi her öğrenci en az ikişer kere tekrarlamalıdır). Bulduğunuz değerleri Tablo 1.2'ye kaydediniz.

Tablo 1.2

1. DURUM				2. DURUM			
$10T_1$	T_1	v_1	ω_{1-vuru}	$10T_2$	T_2	v_2	ω_{2-vuru}

Tablo 1.1 ve Tablo 1.2 yardımıyla deneysel olarak bulduğumuz sonuçları aşağıya yazarak bunları teorik değerlerle karşılaştırınız.

Tablo 1.3: Deneysel değerler

ω_1	ω_2	$\omega_{vuru} = \omega_2 - \omega_1$
ω_{vuru}^{ort}		

- Sarkacın kütlesi : $m=$
- Sarkacın boyu : $l=$
- Yay sabiti : $K=$
- Yerçekimi ivmesi : $g=$

Tablo 1.4: Teorik değerler

$\omega_1^2 = g/l$	$\omega_2^2 = g/l + 2K/m$	ω_1	ω_2	$\omega_{vuru} = \omega_2 - \omega_1$

SORULAR:

1. Tek bir sarkacın frekansı ile çiftlenimli sarkaçların birinci kip frekansı neden aynıdır?
2. Çiftlenimli sarkalarda kipleri söndürmek için ne yapılabilir?
3. Vuru ve vuru frekansı nedir?
4. Vuru olayında sarkaçların her ikisinin de hareketli olduğu herhangi bir anda sarkaçların hangisinin süren, hangisinin sürülen olduğu nasıl bilinir?
5. Enine salınımlar için kip şekillenimleri nasıldır?

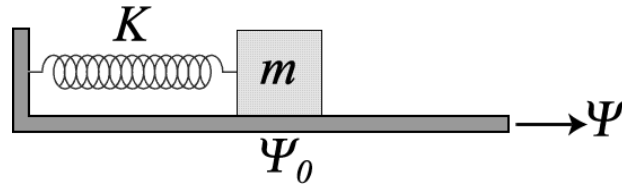
DENEY-2:

KÜTLE-YAY SİSTEMLERİNİN BOYUNA SERBEST SALINIMLARI

DENEYDE KULLANILAN ARAÇ VE GEREÇLER: Hava masası, iki adet hava motoru, 3 adet yay (yay sabitleri aynı), ip, 5 farklı ağırlıkta cisim, cetvel kağıdı ve kronometre.

AMAÇ: Tek serbestlik dereceli yay-kütle-yay sistemi ile iki serbestlik dereceli yay-kütle-yay-kütle-yay sisteminin boyuna serbest salınımlarının incelenmesi ve sistemlerin normal kiplerinin ve kip frekanslarının tartışılması.

ÖN BİLGİ: İlk olarak gerek klasik mekanikte, gerekse kuantum mekaniğinde tam olarak çözülebilmesi nedeniyle oldukça önemli bir model olan harmonik (uyumlu) osilatörü (salınganı) inceleyelim. En basit şekliyle harmonik osilatörü Şekil 2.1'deki gibi yay-kütle sistemi olarak tanımlayabiliriz. Kolaylık için hareketin sadece Ψ_0 doğrultusunda olduğunu kabul edelim. Eğer m kütlelerini denge konumundan Ψ_0 kadar öteler, sonra serbest bırakır ve sürtünmenin olmadığını da kabul edersek cisim sabit iki nokta arasında gidip gelecektir ki, işte periyodik olan bu hareket **harmonik osilatör hareketi** olarak tanımlanır. Bu hareketi başka modellerle de tanımlamak olasıdır (örnek veriniz).



Şekil 2.1: Bir boyutlu harmonik osilatörün genel şekillenimi.

Şimdi bu hareketin Newton hareket denklemini yazalım. Cisim üzerine etkiyen tek kuvvet yayın gevşeme veya sıkışması sonucu ortaya çıkacağı için;

$$F = -K\Psi \quad (1)$$

şeklinde yazabiliriz. Öte yandan,

$$F = ma \quad (2)$$

olduğundan, sistemin hareket denklemi

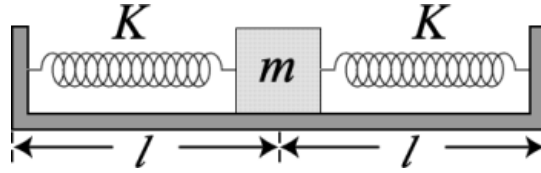
$$-K\Psi = m \frac{d^2\Psi}{dt^2} \quad (3)$$

ile verilecektir. Bu denklemin çözümleri de kolayca bulunur. Çözümü

$$\omega_0^2 = K/m \quad (4)$$

sabiti cinsinden yazmak daha uygundur. Burada ω , sistemin açısal frekansıdır.

Şimdi Şekil 2.2'deki sistemi ele alalım. Yayların gergin değilkenki boylarını ihmal ederek, sürtünmenin olmadığını ve cismin sağa doğru Ψ kadar ötelendiğini kabul edersek Şekil 2.2'deki m kütlelerine etkiyen kuvvetler;



Şekil 2.2: Yay-kütle-yay sisteminin denge konumu.

$$F_{SOL} = -K(1 + \Psi)e_x \quad (5)$$

$$F_{SAĞ} = -K(1 - \Psi)e_x \quad (6)$$

olacağından kütle üzerine etkiyen toplam kuvvet;

$$F_{TOP} = F_{SOL} + F_{SAĞ} = -2K\Psi e_x \quad (7)$$

olacaktır. Böylece, sistem için Newton hareket denklemi;

$$-2K\Psi = m(d^2\Psi/dt^2) \quad (8)$$

ile verilir. Sistem tek serbestlik derecesine sahip olduğu için, kip sayısı da tek olacaktır ve bu kipe karşı gelen açısal frekans;

$$\omega_0^2 = 2K/m \quad (9)$$

ile verilecektir. Bu bağıntı Şekil 2.2'deki sistemin enine salınımlar için de geçerlidir. (8) denkleminin çözümü ise,

$$\Psi(t) = A \cdot \cos(\omega_0 t + \varphi) = B \cdot \sin(\omega_0 t + \varphi) \quad (10)$$

şeklinde olacağı kolayca görülebilir.

Eğer Şekil 2.2'deki sisteme etkiyen sürtünme kuvvetini ihmal etmezsek ve sürtünme kuvvetinin

$$F_{SÜR} = -\mu(d\Psi/dt) \quad (11)$$

şeklinde olduğunu kabul edersek, hareket denklemi;

$$m \left(\frac{d^2\Psi}{dt^2} \right) + \mu \left(\frac{d\Psi}{dt} \right) + 2K\Psi = 0 \quad (12)$$

şeklinde olacaktır. Burada μ sönüm sabitidir. Bu denklemi, (3) bağıntısının yardımıyla yeniden yazarsak

$$\left(\frac{d^2\Psi}{dt^2} \right) + \frac{\mu}{m} \left(\frac{d\Psi}{dt} \right) + \omega_0^2 \Psi = 0 \quad (13)$$

buluruz. Şimdi bu denklem için

$$\Psi(t) = \Psi_0 e^{-\beta t} \sin(\omega t + \varphi) \quad (14)$$

şeklinde bir çözüm önerelim. Bu durumda (14)'ün (13)'ü sağlaması için

$$\beta = \frac{\mu}{2m}, \omega^2 = \frac{2K}{m} - \left(\frac{\mu}{2m}\right)^2 = \omega_0^2 - \beta^2 \quad (15)$$

olması gerek,tği kolayca görülebilir. Burada

$$\tau = \frac{1}{\beta} = 2m/\mu \quad (16)$$

sabitine gevşeme (relaxation) zamanı denir; yani genliğin ilk değerinin 1/e değerine düşmesi için geçen zamandır.

Yarı ömür ise, genliğin ilk değerinin yarısına düşmesi için geçen zaman olarak tanımlanır ve

$$T_{1/2} = \tau \ln(2) = 0.693\tau \quad (17)$$

İle verilir. Öte yandan bir başka kullanışlı sabit, nitelik çarpanı denilen (15) ve (16) bağıntılarının yardımıyla tanımlanan

$$\theta = \omega\tau/2 \quad (18)$$

sabitidir.

Son olarak, Şekil 2.3'teki sistemin hareketini inceleyelim. Yine sürtünme kuvvetlerinin ihmal edildiği durumda cisimlere etkiyen kuvvetler

$$F_1 = -K\Psi_a + K(\Psi_a - \Psi_b) \quad (19a)$$

$$F_2 = -K\Psi_b - K(\Psi_a - \Psi_b) \quad (19b)$$

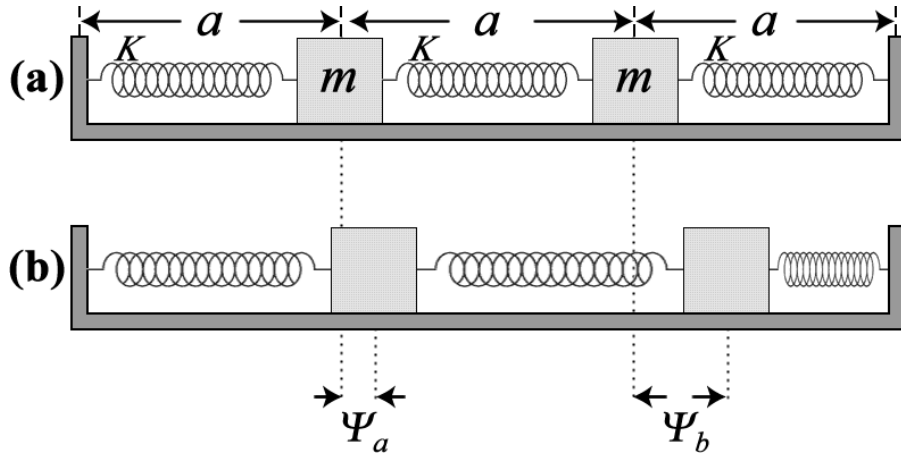
olacağından hareket denklemlerini,

$$m \frac{d^2\Psi_a}{dt^2} = -K\Psi_a + K(\Psi_a - \Psi_b) \quad (20a)$$

$$m \frac{d^2\Psi_b}{dt^2} = -K\Psi_b - K(\Psi_a - \Psi_b) \quad (20b)$$

şeklinde yazabiliriz.

Sistemin en genel hareketi (denklemlerin çizgisel olmalarının sonucu olarak) aynı anda var olan iki yalın hareketin, yani iki kipin hareketlerinin üst üste gelmiştir. Bu hareketin incelenmesi zordur. Bu nedenle bu karmaşık hareket yerine sistemin kiplerini incelemek daha uygun olacaktır. O halde kip veya normal kip nedir sorusunun cevabı olarak şunu söyleyebiliriz. Eğer bir sistemde bütün kesimler aynı frekansla salınıyor, $\Psi \neq 0$ denge konumundan aynı anda geçiyor ve faz sabitleri aynı oluyorsa sistem herhangi bir kipte salınıyor denir. Böyle bir harekette, genliklerin de aynı olması şart değildir.



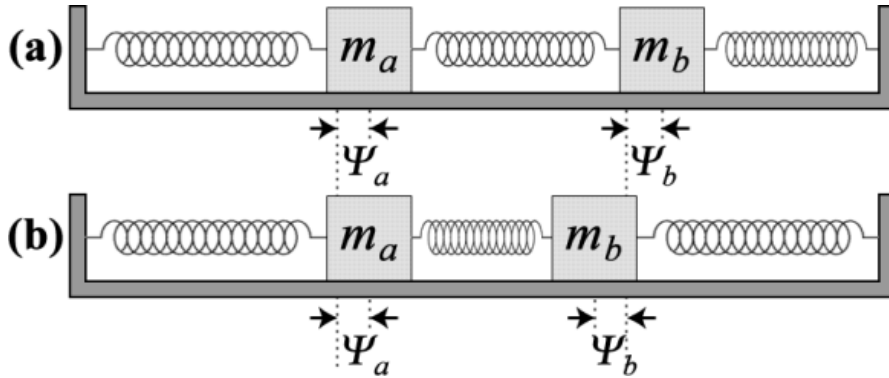
Şekil 2.3: Boyuna titreşimler: (a) denge konumu, (b) genel şekillenim.

Yukarıdaki tanımlamanın ışığında sistemin 1. ve 2. kiplerinin hareket denklemlerinin ve açısal frekanslarının sırasıyla,

$$m \frac{d^2 \Psi_1}{dt^2} = -K \Psi_1, \quad \omega_1^2 = K/m \quad (21)$$

$$m \frac{d^2 \Psi_2}{dt^2} = -3K \Psi_2, \quad \omega_2^2 = 3K/m \quad (22)$$

ile verileceğini göstermek zor değildir. Burada. $\Psi_1 = \Psi_a + \Psi_b$, $\Psi_2 = \Psi_a - \Psi_b$ şeklinde tanımlanan normal koordinatlardır. 1. ve 2. kip şekillenimleri Şekil 2.4'te görülmektedir.

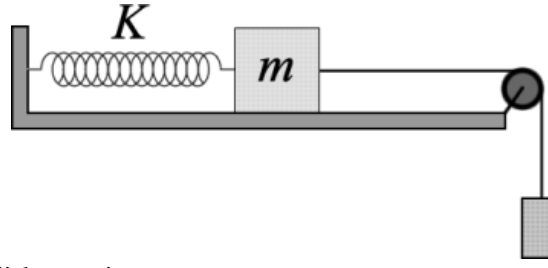


Şekil 2.4: Boyuna salınımların normal kipleri: (a) Kip-1, (b) Kip-2 şekillenimi.

DENEYİN YAPILIŞI

I. Yay Sabitinin Hesabı: Deneyde kullanacağınız yayların yay sabitlerinin hesaplanmasına geçmeden önce hava rayının tamamen yatay olup olmadığını kontrol ediniz. Eğer tamamen yatay değilse, hava motoru çalışırken vagonun ray üzerinde hareketsiz kalmasını sağlayıncaya kadar hava rayının dengesini ayarlayınız.

Daha sonra, deneyde kullanılacak yayın bir ucunu hava rayının çengeline, diğer ucunu ise vagonun bir ucuna bağlayınız. Vagonun diğer ucuna bağlayacağınız 1.5-2.0 m uzunluğunda ipi makaradan geçirdikten sonra, diğer ucuna da ağırlık çengelini bağlayınız (Şekil 2.5).



Şekil 2.5: Yay sabitinin belirlenmesi.

Hava motorunu çalıştırdıktan sonra dengeye gelmesini sağlayınız. Denge konumu ile çengelin ağırlıklarını saptayınız. Daha sonra, çengele 10 g ekleyerek (yavaşça) sistemin yeni konumunu saptayınız ve işlemi her defasında 10'ar g eklemek suretiyle 10 kez tekrarlayınız. Bulduğunuz değerleri Tablo 2.1'e kaydediniz.

Tablo 2.1

M (g)										
M.g (N)										
Δx (cm)										

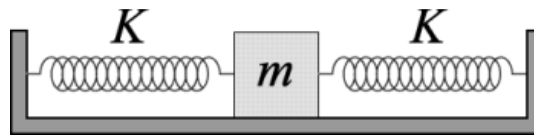
Tablo 2.1 yardımıyla yayın uzaması ile uygulanan kuvvet arasında bir grafik çiziniz. Bu grafiğin eğiminden yayın yay sabitini bulunuz (Eğim neden yay sabitine eşittir?).

II. ω 'nın Hesabı: Yukarıdaki K değerini (9) denkleminde yazmak suretiyle ω_0^2 'yi bulunuz. Daha sonra, ilk yayın aynı olan bir başka yayla Şekil 2.6'daki sistemi kurunuz. Hava motorunu çalıştırdıktan sonra sistem dengede iken vagonu denge konumundan 5 cm öteleyip bırakınız ve hareketin periyodunu 10 kez ölçünüz. Aynı ölçümü genliğin 7 cm ve 9 cm olduğu durumlar için tekrarlayarak Tablo 2.2'yi doldurunuz.

$$m =$$

$$K =$$

$$\omega_0^2 = K/m =$$



Şekil 2.6: ω 'nın hesabında kullanılan sistem.

Tablo 2.2

T_1										
T_2										
T_3										
$T_{ORT} =$					$\omega = 2\pi/T_{ORT} =$					$\omega^2 =$

Periyot için bulduğunuz ortalama değeri kullanarak ω 'yı bulunuz ve sonuçları karşılaştırınız.

III. Sönüm Sabitinin Hesabı: Şekil 2.6'daki sistem hava sürtünmesi, yüzeydeki pürüzler, vb. nedeniyle tam olarak sürtünmesiz bir sistem değildir. Bu nedenle, aynı düzenek yardımıyla sönümlü hareketi de gözlemek mümkündür. Bunun için hava motoru çalışırken vagonu denge konumundan 5 cm ayırıp bıraktıktan sonra genliğin ilk değerinin yarısına düşmesi için geçen zamanı ($T_{1/2}$) ve bu süre

içindeki dönem sayısını (N) bulunuz. Değerlerinizi Tablo 2.3'e kaydediniz ve aşağıdaki hesapları yapınız.

Tablo 2.3

$T_{1/2}$									
N									
$(T_{1/2})_{ORT} =$					$N_{ORT} =$				

-Gevşeme zamanı : $\tau =$

-Sönüm sabiti : $\mu =$

-Nitelik çarpanı : $\theta =$

IV. Çiftlenimli Salınanlar: Şekil 2.3'teki yay-kütle-yay-kütle-yay sistemini kurduktan sonra her kip için periyodu 10 kez ölçünüz ve değerleri Tablo 2.4'e yazarak ω_1 ve ω_2 açısal frekanslarını bulunuz.

Tablo 2.4

T_1 (Kip -1)									
T_2 (Kip -2)									
$T_{1-ORT} =$					$T_{2-ORT} =$				

$$(\omega_1)_{DENEY} = \frac{2\pi}{T_1} =$$

$$(\omega_2)_{DENEY} = \frac{2\pi}{T_2} =$$

$$(\omega_1)_{TEORİK} = \sqrt{K/m}$$

$$(\omega_2)_{TEORİK} = \sqrt{3K/m}$$

Sonuçlarınız uyuşmakta mıydı? Vuru frekansı nedir?

$$(\omega_{vuru})_{DENEY} = \omega_2 - \omega_1 =$$

$$(\omega_{vuru})_{TEORİK} = \omega_2 - \omega_1 =$$

V. Son olarak vuru olayını (aynı düzenek yardımıyla) deneysel olarak inceleyiniz ve sonuçlarınızı yukarıdaki değerlerle karşılaştırınız. Bunun için sırasıyla önce vagonlardan birini sabit tutup diğerini herhangi bir yöne 10 cm öteledikten sonra serbest bırakınız; sonra da aynı işlemi diğer vagon için yapınız. Gözleyeceğiniz olay oldukça ilginçtir. Zira başlangıçta hareketsiz duran vagonun zamanla hareketli, başlangıçta hareketli olan vagonun da zamanla hareketsiz kaldığını göreceksiniz. Bu olay enerjinin yay vasıtasıyla bir vagondan diğerine aktarılması sonucunda oluşmaktadır.

Her iki durum için 10 tam dönemlik periyodu ölçerek (her öğrenci ikişer kez) değerlerini Tablo 2.5'e yazınız.

Tablo 2.5

1. DURUM			2. DURUM		
$10T_{1-vuru}$	T_{1-vuru}	ω_{1-vuru}	$10T_{2-vuru}$	T_{2-vuru}	ω_{2-vuru}

$$\omega_{1-vuru} =$$

$$\omega_{2-vuru} =$$

$$\omega_{vuru-ort} = (\omega_{1-vuru} + \omega_{2-vuru})/2 =$$

Vuru için bulduğunuz 3 değer uyuyor mu?

SORULAR

1. (9) bağıntısı ile verilen ω^2 'nin $\{\omega^2 = \text{Geri çağırma kuvveti} / (\text{Birim kütle} \times \text{Birim ötelenme})\}$ bağıntısını doğruladığını gösteriniz.

2. Kip (mod) nedir?

3. Şekil 2.2' deki sistem için kinetik enerji ve potansiyel enerji ne zaman maksimum ve minimum olur?

4. Yay sabitleri K olan iki ucuca (seri) veya yan yana (paralel) bağlanırsa yay sabitleri ne olur?

5. Kipleri nasıl söndürebilirsiniz?

6. Vuru olayında enerjinin salınım frekansı için ne söyleyebilirsiniz?

DENEY- 3:

A-İPTE DURAN (KARARLI) DALGALAR

Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler: Mekanik dalga sürücüsü, güç kaynağı, ip, çeşitli ağırlıkta cisimler, cetvel, iki adet kablo, makara ve grafik kağıdı.

AMAÇ

İp üzerinde elde edilen duran dalgaların dalgaboyu ile, ipi geren kuvvet arasındaki ilişkinin incelenmesi.

ÖN BİLGİ

Aynı ortam içinde zıt yönlerde ilerleyen, dalgaboyu, hızı ve genliği aynı iki dalganın girişmesiyle oluşturulan duran dalgaların incelenmesi oldukça önemlidir. Zira piyano teli, keman teli, diyapojen çatalı gibi titreşen cisimlerin titreşimlerinin çoğu duran dalgalardır. Yine bir davul zarının herhangi bir yeri, periyodik olarak titreşmeye zorlanırsa tıpkı tel üzerinde olduğu gibi zar üzerinde de duran dalgalar oluşacaktır. Öte yandan org borularının üflenmesi sonucu boru içinde titreşen hava sütununun da yine duran dalga deseni oluşturduğu bilinmektedir. (Bu olay kunt borusu yardımıyla gözlenebilir.) Dolayısıyla duran dalgaların incelenmesi dalgaların genel görünümü hakkında fikir vermesinin yanı sıra, piyano, keman, hoparlör, mikrofon, telefon alıcılarındaki diyaframların vb. geliştirilmesi bakımından da oldukça önemlidir.

Herhangi bir sistemi tam olarak tanımlamak için gerekli parametre sayısına o sistemin **serbestlik derecesi** denir. Bu sayı aynı zamanda sistemin kiplerinin (modlarının) sayısıdır. Çiftlenimli sarkaç gibi sonlu sayıda serbestlik derecesine sahip sistemleri incelerken, tek tek parçacıkların ötelenmesini gösteren $\Psi_1(t), \Psi_2(t), \dots, \Psi_N(t)$ gibi fonksiyonlarla ilgilenmemize karşılık, ip gibi sürekli sistemleri incelerken artık $\Psi_1(t)$ ' lerin yerine $\Psi(x,y,z; t)$ gibi dalga fonksiyonlarıyla ilgileneceğiz. Şimdi bu genel gösterimden daha basit bir duruma geçmek için ipin denge halindeyken sadece z ekseninde boyunca gerilmiş olduğunu kabul eder ve ipin sadece enine titreşimleriyle ilgilenirsek o zaman $\Psi (r; t)$ yerine

$$\Psi (z; t) = i\Psi_x (z; t) + j\Psi_y (z; t) \quad (1)$$

funksiyonunu alabiliriz. Daha da ileri giderek enine titreşimlerin de sadece x doğrultusunda olduğunu kabul edersek, denge konumu olan, parçacıklarının anlık enine yer değiştirmesinin

$$\Psi (z, t) = i\Psi_x (z; t) \quad (2)$$

İle vereceği kolayca görülür. Öte yandan ipte enine titreşimlerini dalga denkleminin (Klasik dalga denklemi)

$$\frac{\partial^2 \psi(z; t)}{\partial t^2} = \frac{T_0}{\rho_0} \frac{\partial^2 \psi(z; t)}{\partial z^2} \quad (3)$$

ile verileceği biraz matematikle gösterilebilir. Burada T_0 (dyn) ipin denge halindeki gerginliği, ρ_0 ise ipin birim uzunluğunun kütlesi (gr/cm) dir. Bu denklemin çözümü olarak

$$\Psi (z; t) = A(z) \cos(\omega t + \theta) \quad (4)$$

şeklinde bir fonksiyon önerelim. Burada $A(z)$ kiplin biçimini verecek bir fonksiyondur. (4) çözümünün (3) denkleminde yazılmasıyla elde edilen

$$\left(\frac{d^2 A(z)}{dz^2} \right) = -\omega^2 \left(\frac{\rho_0}{T_0} \right) A(z) \quad (5)$$

denkleminin çözümü bize kiplerin biçimini verecektir. (5) denkleminin genel çözümünün

$$k^2 = \omega^2 \left(\frac{\rho_0}{T_0} \right) \quad (6)$$

olmak üzere;

$$A(z) = A \sin kz + B \cos kz \quad (7)$$

ile verileceği kolayca görülür. Burada A ve B sınır koşullarıyla belirlenen sabitlerdir. ω açısal frekanstır ve T zaman periyoduna $\omega = 2\pi \nu = (2\pi / T)$ şeklinde bağlıdır. Öte yandan k' nında uzay periyotluğunu belirleyen bir sabit olduğu biliniyor. Bu nedenle k (açısal dalga sayısı) ile λ uzay periyodu (dalga boyu) arasındaki ilişkinin,

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \left(\frac{rad}{cm} \right) \quad (8)$$

ile verileceğini söyleyebiliriz. Biraz işlemle:

$$\omega = \left(\sqrt{\frac{T_0}{\rho_0}} \right) k \quad (9)$$

$$\lambda \nu = V = \sqrt{\frac{T_0}{\rho_0}}$$

bulunur ki hız boyutunda olan bu bağıntıya ilerleyen dalganın **faz hızı** denir.

DENEYİN YAPILIŞI

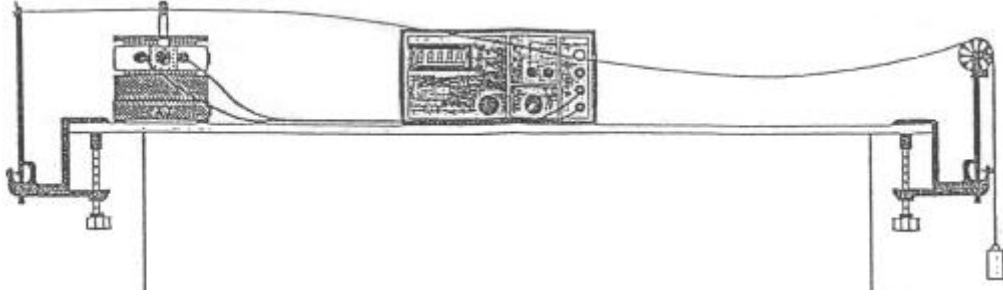
Bu deneyde ipte duran dalgalar şekil 3.1' deki düzenek vasıtasıyla elde edilir ve bir ucundan ip titreştiricisi (kapı zili) tarafından titreştirilen ip üzerinde oluşan dalga katarının ipin sonuna kadar gidip yansdıktan sonra, gelen dalgayla girişmesiyle sağlanır. İpin gerginliğini değiştirmek suretiyle de farklı kipler elde edilebilir.

Deneye başlamadan önce kullanılacak ipin ağırlığını (hassas terazi yardımıyla) bulunuz (her öğrenci ayrı bulacak). Sonuçları tablo 3.1' e geçirin.

Tablo 3.1

G₁	G₂	G₃	G_{ort}

Tartma işleminden sonra ipin bir ucunu titreştiriciye bağlayıp diğer ucunu makaradan geçirerek askı çengeline bağlayınız ve makara ile titreştiricinin ucu arasındaki mesafeyi 100 cm olarak ayarlayınız. Daha sonra titreştiriciyi çalıştırınız ve ip tek bölümde titreşene kadar askı çengeline gram ekleyiniz. İlmeklerin genliğini küçük ağırlıklar ilave ederek veya çıkararak maksimuma ayarlayınız. Bu işi titreştiricinin konumuna milimetre boyutunda değiştirerek te yapabilirsiniz. Maksimum genlikli bir bölüm elde ettikten sonra ipi geren kuvveti ve iki düğüm noktası arasındaki mesafeyi ölçerek tablo 3.2' ye yazınız.



Şekil 3.1. Deney düzeneği

Yukarıdaki işleme bölüm sayısı 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 olana kadar yavaş yavaş ağırlıkları çıkararak gerilimi azaltmak suretiyle devam ediniz. Her bir durumda ipteki gerilme ile bir bölümün uzunluğunu Tablo 3.2' ye yazınız. Gerekli işlemleri yaparak tabloyu doldurunuz. İpin birim uzunluğunun kütlesini bulunuz.

$L = 100 \text{ cm}$

$\rho_0 = \dots\dots\dots \text{gr / cm}$

Tablo 3.2

Bölüm Sayısı	Gerilme Gram	(T_0) Dyn	$\sqrt{T_0}$	Bir Böl. Uz. (L)	Dalga boyu $\lambda=2L$ (cm)	İpteki Dalga hızı (v)	$v = \frac{1}{\lambda} \sqrt{\frac{T_0}{\rho_0}}$
1							
2							
3							
4							
5							
6							
7							
8							

Son olarak Tablo 3.2 yardımıyla bir grafik üzerinde λ 'yı $\sqrt{T_0}$ 'ın fonksiyonu olarak çiziniz. Grafiğin eğiminden faydalanarak titreştiricinin frekansını hesaplayınız. Tablodan bulduğunuz frekansla bunu karşılaştırınız.

B- BOYUNA DURAN DALGALAR

Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler: Mekanik dalga sürücüsü, güç kaynağı, yay, destek, ve tutucu ayaklar.

AMAÇ

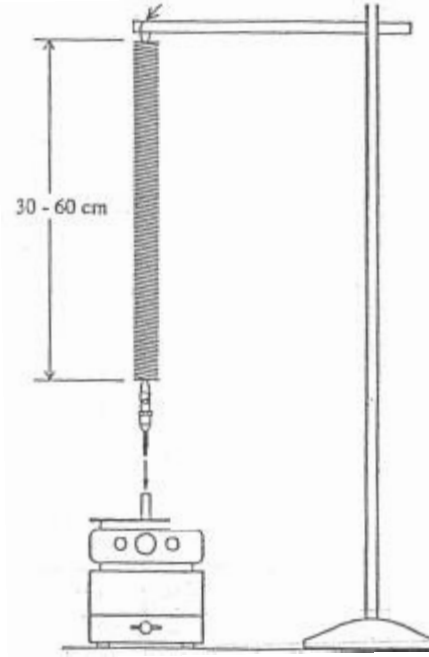
Yaydaki boyuna dalgaların incelenmesi.

DENEYİN YAPILIŞI

Şekil 3.2'de görüldüğü gibi yayın bir ucunu mekanik dalga sürücüsüne, diğer ucunu da desteğe takınız. Dalga sürücüsünü güç kaynağına bağlayınız. Yaklaşık 1 mm genlikte, 10 HZ frekansında sürücüyü çalıştırınız ve frekansı yavaşça artırınız. Bu esnada çeşitli frekanslarda duran dalgalar göreceksiniz. Bu durumların frekanslarını ve düğüm noktalarının sayısını not alınız. Frekans artarken düğüm ve karın noktalarının sayısı artacak, bunlar arasındaki uzaklık azalacaktır. Rezonans noktalarına ulaşıldığında sürücü genliğini azaltmak gerekebilir. Düğüm noktaları ve sürücü frekansı arasındaki ilişkiyi bir grafik kağıdına çiziniz.

Aynı deneyi yayın

uzunluğunu değiştirerek (böylece yaydaki gerilme değişir.) tekrarlayınız ve her bir durumda aynı sayıda düğüm noktası elde etmek için frekansın ne olması gerektiğini not alınız.



şekil 3.2 boyuna duran dalgalar deney düzeneği

NOT: Deney düzeneşlerini kurarken mekanik dalga sürücüsü mutlaka LOCK konumunda olmalıdır. Deneye başlamadan önce bu konumu UNLOCK konumuna kaydırınız.

DENEY-4:

A-CHLADNİ LEVHALARI

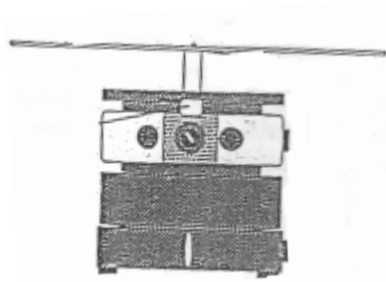
Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler: Mekanik dalga sürücüsü, güç kaynağı, karesel Chladni levhası, Dairesel Chladni levhası, çok ince kum, kum serpme kabı, gürültü azaltıcı kapak.

AMAÇ

Rezonans frekanslarında titreşen levhalar üzerindeki duran dalga desenlerini gözlemlemek.

ÖN BİLGİ

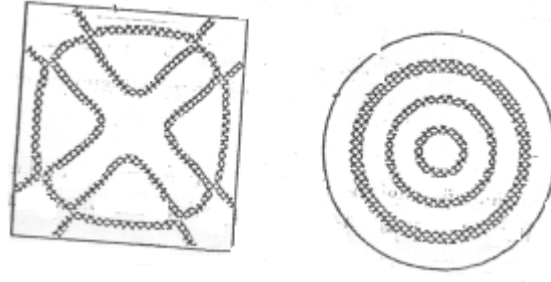
Rezonans frekansında titreşen bir yay duran bir dalga deseni verir. Yay üzerinde titreşmeyen noktalar düğüm noktalarını (nodlar), titreşim genliğinin maksimum olduğu noktalar ise karın noktalarını (antinodlar) gösterir. Daha ilginç duran dalga desenleri dalganın iki boyutta yayılmasını sağlayan ortamdaki (metal ya da gerilmiş davul) titreşimlerle yaratılmaktadır. 19. yüzyılın başlarında Ernst Chladni, iki boyutlu dalga desenlerini araştırmak için bir teknik geliştirmiştir. Bir levha üzerine kum serpmiş ve levhayı titreştirmek için bir keman yayı kullanmıştır. Kum, titreşimin oluşmadığı nodal çizgiler üzerinde durur. Nodal bir çizgi üzerinde durmayan kum, sonuçta bir nodal çizgi üzerine gelinceye ve duruncaya kadar sıçrar.



Şekil 4.1 deneyde kullanılan chladni levhasının dalga sürücüsüne takılmış kesiti

DENEYİN YAPILIŞI

Bu deneyde Chladni'nin orijinal metodu kullanılmaktadır. Dalga sürücüsünü **lock** konumuna getiriniz. ve Şekil 4.1'deki deney düzeneğini kurunuz. Levhanın üzerine kum serpiniz. Dalga sürücüsünü **unlock** konumuna getiriniz. Frekansı 100 Hz'e ayarlayınız ve yavaş yavaş 5 kHz 'e kadar artırarak levhayı titreştiriniz. Bu arada Şekil 4.2'de örnek olarak verilen desenleri göreceksiniz. Temiz bir desen elde etmek için kumun miktarını ve dalga sürücüsünün genliğini ayarlayınız.



Şekil 4.2 Karesel ve dairesel Chladni levhaları üzerinde örnek duran dalga desenleri

Önce karesel, sonra dairesel Chladni levhaları ile deneyi tekrarlayınız. Hem dairesel hem de karesel Chladni levhaları ile elde ettiğiniz duran dalga desenlerinin hangi rezonans frekanslarında elde edildiğini ve hangi desenlerin oluştuğunu not alınız. Elde ettiğiniz bir duran dalga deseninde levhanın bir kenarını elinizle tutarak, bunun rezonans frekansı ve desen üzerine etkisini açıklayınız. Simetrik olmayan duran dalga desenleri elde etmek için levhayı merkez dışı bir yere tutturunuz ve bu durumu açıklayınız.

B-DAİRESEL TEL ÜZERİNDE DURAN DALGALAR

Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler: Mekanik dalga sürücüsü, güç kaynağı, dairesel tel

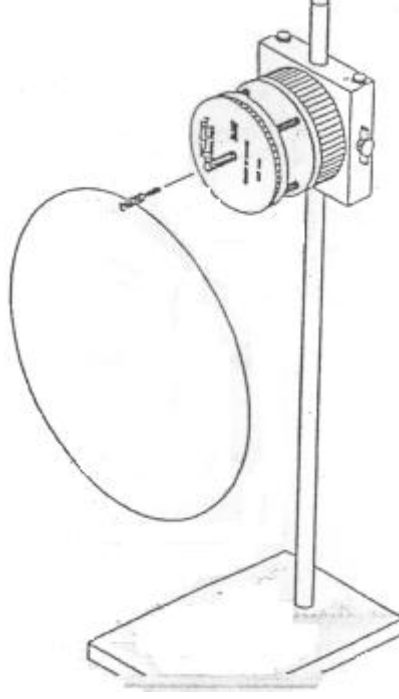
AMAÇ

Dairesel bir tel üzerindeki duran dalgaları ve rezonans frekanslarını elde etmek

ÖN BİLGİ

Bohr, 1913'de, atomun iyi bilinen gezegen modelini formüleştirmiştir. Bu modelde, çekirdekten uzak bir yörüngede dolanan elektron, yakın yörüngede dolanandan daha yüksek enerjili bir seviyededir. Elektron, yüksek enerjili bir düzeyden daha alçak enerjili bir seviyeye düşerken ışıma yayar. Bu model atom tayfının gizemini çözmüştür. Ancak, Elektronların belirli enerji düzeylerinde bulunabilmeleri gerçeği Bohr ve diğer araştırmacıları şaşırttı. Elektron bir parçacık olarak göz önüne alınmaktaydı ve hızına bağlı olarak çekirdek etrafında herhangi bir radyal uzaklıkta dönebilirdi. Fakat bu böyle olmuyordu. Ayrı (kesikli) enerji seviyelerinin gizemi, elektronun bir parçacık olarak değil bir madde dalgası olarak ele alınmasıyla anlaşılabilir.

1924'de Louis de Broglie'nin madde dalgaları fikrini ortaya atmıştır. Her parçacığa bir dalga eşlik eder. Bir madde dalgasının dalga boyu, parçacığın momentumu ile ters orantılıdır. Elektron madde dalgasının bulunduğu bir Bohr yörüngesidir. Bu açıdan, elektron yüklü kütleli düşünülse bile, atom çekirdeği etrafında duran dalga gösterir. Madde dalgasının dalga boyu yörüngenin çevresine muntazam bir şekilde uymalıdır. En içteki yörünge, bir elektron dalga boyunun çevresine sahiptir vs. her bir yörünge için, elektron tek bir hıza ve bu nedenle de tek bir dalga boyuna sahiptir.



Şekil-4.3 Rezonans tel ilmeği için deney düzeneği

DENEYİN YAPILIŞI

Bu deneyde kullanılan dairesel tel, ayırık (kesikli) frekanslardaki duran dalgaları gözlemlemek için kullanılmaktadır.

Dairesel telin her iki ucunu tutan vidayı gevşetiniz. Şekil 4.3'te görüldüğü gibi vidayı dairesel tel düzlemine dik olacak şekilde ayarlayıp vidayı sıkıştırınız. Mekanik dalga sürücüsünü masa üzerinden yaklaşık 40 cm yukarıya gelecek şekilde tutturunuz ve dairesel teli mekanik dalga sürücüsüne takınız. Sürücüyü güç kaynağına bağlayınız ve yaklaşık 1 mm genlikte 5 Hz civarında çalıştırmaya başlayınız. Frekansı yavaşça arttırırken telin, karın noktalarının tek sayıda olduğunu çeşitli modlarda titreştiğini göreceksiniz. Bu karın noktaları, elektronlarının çekirdek etrafındaki yörüngelerde nasıl bir rezonans frekansına sahip olabildiklerinin grafiksel bir gösterimidir.

C-METAL REZONANS ŞERİTLERİ

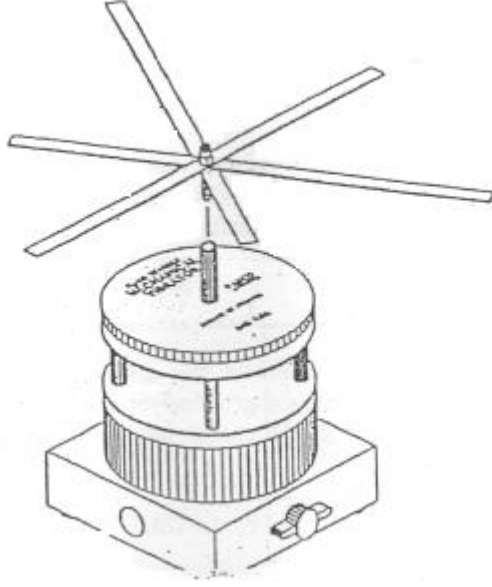
Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler: mekanik dalga sürücüsü,güç kaynağı,metal rezonans şeritleri (6 adet)

AMAÇ

Çeşitli uzunluktaki metal şeritlerin uzunluğu ve frekansı arasındaki bağıntıyı göstermektir.

DENEYİN YAPILIŞI

Alet, birim uzunluktaki kütlesi aynı olan fakat uzunluğun değişen 6 şeritten oluşmaktadır. Şekil 4.4'te görüldüğü gibi metal şeritleri birbirleri ile eşit açılar yapacak şekilde ayarlayınız ve mekanik dalga sürücüsüne takınız. Sürücüyü güç kaynağına bağlayıp yaklaşık 1mm genlikle alıştırınız. Frekansı 5 Hz'den başlayarak yavaş yavaş arttırınız. Her şeridin maksimum genlikte titreştiği frekansları not alınız.(Rezonansa ulaşıldığında sürücü genliğini azaltmak gerekebilir.) rezonans frekansını, metal şerit uzunluğunun fonksiyonu olarak çiziniz.



Şekil 4.4. Metal rezonans şeritleri deney düzeneği

DENEY-5

A-DİRENÇ-SIĞA (R-C) DEVRELERİ

Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler: Osiloskop, sinyal üretici, güç kaynağı, avometre, kronometre, dirençler (10 kΩ, 20 MΩ) ve sığalar (0.1μF, 1μF), kablolar, devre panosu.

AMAÇ

Seri bağlı direnç-sığa (R-C) devresinin, sabit ve değişken (sinüsel) gerilime karşı göstereceği tepkinin incelenmesi.

ÖN BİLGİ

Kondansatör, doğru akım ve alternatif akım devrelerinde, elektrik yükünü biriktirmek, kapasitif reaktans sağlamak amacıyla kullanılan gereçtir. Temelde bir ince yalıtkan ile birbirinden ayrılmış iki iletken levhadan oluşan aygıttır.

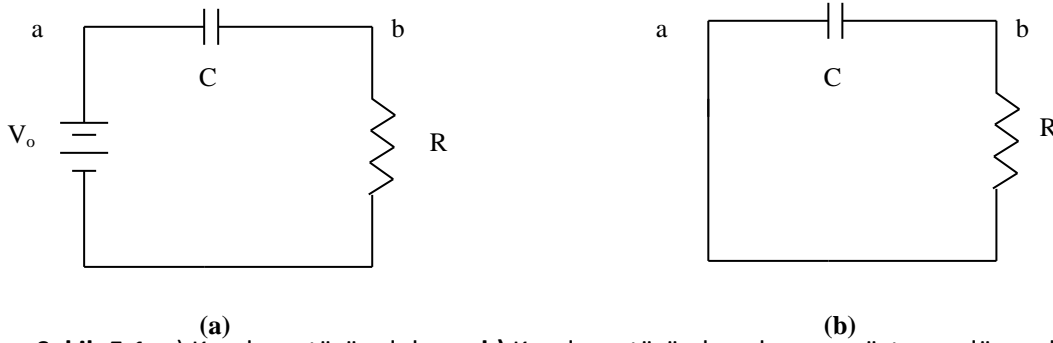
Bir kondansatörün elektrik yükü taşıyabilme yeteneği yani kapasitesi C ile gösterilir ve levhalarda birikmiş elektrik yükünün ($Q = \text{Coulomb}$) levhalar arasındaki potansiyel farkına ($V = \text{Volt}$) oranına eşittir.

$$C = Q/V \quad (1)$$

Bir kondansatörün yüklenmesi; levhaları üzerinde eşit ve zıt işaretli yük toplanması olarak tanımlanır. Levhalardan biri üzerinde toplanan Q yükü, kondansatörün C sığasına;

$$Q = CV \quad (2)$$

bağıntısı ile bağlıdır. Burada Q *Coulomb*, C *Farad* ve V *Volt* birimindedir.



Kondansatörün boşalması; levhalar üzerindeki zıt işaretli yüklerin kısmen ya da tamamen birbirlerini nötrleşmesi olayıdır. Şekil 5.1.a 'daki gibi sığası C olan bir kondansatör, sabit bir V_0

gerilimi altında doldurulurken, kondansatör üzerindeki V gerilimi bir zıt elektromotor kuvveti gibi davranır. Kirchoff 'un gerilim kanununa göre ;

$$V_0 - V - IR = 0 \quad (3)$$

yazılabilir. Burada;

V_0 : Üretecin emk'sı (sabit),

V : Kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkı,

IR : Direnç üzerindeki potansiyel farkıdır.

$$V = Q / C \quad (4)$$

bağıntısı yardımıyla Kirchoff 'un gerilim kanunu :

$$V_{ad} = V_0 = Q / C + IR \quad (5)$$

şeklinde (a – d uçları arasında) yazılabilir. Burada V_0 , C , R sabitlerdir. Q ve I ise zamana bağlı olarak değişen niceliklerdir. Bize kondansatörün uçları arasındaki potansiyel farkının zamanla değişimini veren bir bağıntı gerekmektedir.

Şekil 5.1.a 'da üreteç çalıştırılırsa kondansatör, levhaları üzerinde yük toplanmaya başlar. Levhaları arasındaki potansiyel farkı, önce hızlı sonra yavaş artış gösterir. Neden? (Bu olgunun nedenini düşünürken; dolu bir otobüse binmekle, boş bir otobüse binmek ve dolu bir otobüsten inmekle, boş bir otobüsten inmek arasındaki farkı düşünebilirsiniz.) Kısa zaman sonra kaynağın gerilimine eşit olur. R direnci üzerinde, potansiyel azalması yoktur. Bu yüklenmeyi, matematiksel olarak açıklarsak:

Devre açıldıktan dt zaman sonra, dt zaman aralığında I akımını sabit kabul ederek, levhalar üzerinde toplanan yükü;

$$dQ = I dt \quad (6)$$

şeklinde yazabiliriz.

$$dQ = C dV \quad (7)$$

$$I dt = C dV \quad (8)$$

ifadeleri kullanılarak;

$$I = C dV / dt \quad (9)$$

elde edilir. bağıntısı yardımıyla herhangi bir t anında eşitliği;

$$V_0 = Q / C + (dQ / dt)R \quad (10)$$

gibi bir diferansiyel denklem verir.

Şimdi üreteç, devreden çıkarılıp, Şekil 5.1.b 'deki gibi a-d uçları birleştirilirse, kondansatör direnç üzerinden boşalmaya ve zıt yönde akım geçmeye başlar. denkleminin çözümü;

$$Q = Q_0 e^{-t/RC} \quad (11)$$

şeklinde olur.

Q_0 : t=0 anındaki (kondansatörün tam boşalmaya başladığı an) yük miktarıdır.

Q : Kondansatör boşalmaya başladıktan sonra herhangi bir t anındaki yük miktarıdır.

denkleminin çözümünden kondansatörün bir R direnci üzerinden yüklenmesi sırasındaki yük miktarının zamana bağlı değişimi;

$$Q = Q_0 [1 - \exp(-t / RC)] \quad (12)$$

şeklinde bulunur.

Eşitliğin her iki tarafını C ile bölünürse;

$$Q / C = V_{ab} , Q_0 / C = V_0 , I = dq / dt \quad (13)$$

ifadeleri de yerlerine yazılırsa;

$$V_{ab} = V_0 [1 - \exp(-t / RC)] \quad (14)$$

$$I = I_0 \exp(-t / RC) \quad (15)$$

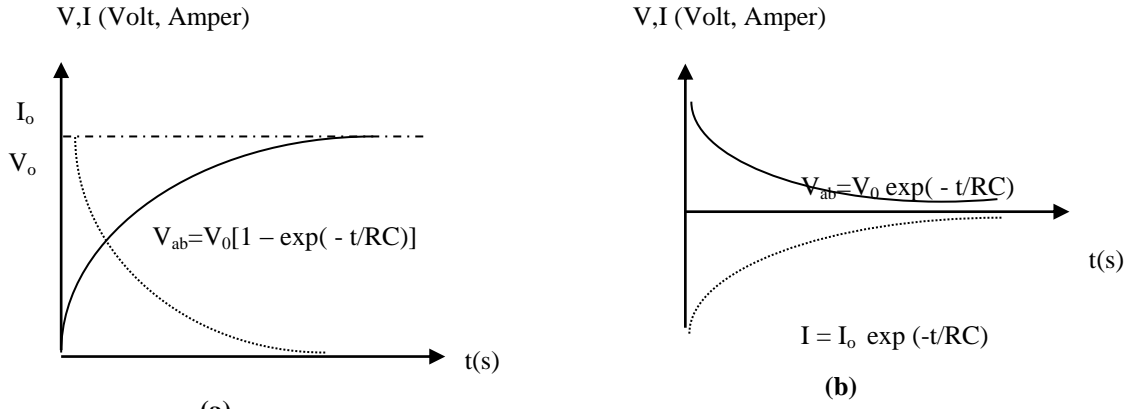
ifadeleri elde edilir.

denkleminde I_0 , t =0 anındaki akım şiddetidir. Kondansatörün dolması sırasında V_{ab} ve I 'nın zaman göre değişimini gösteren grafik Şekil 5.2.a' da verilmiştir.

Kondansatörün direnç üzerinde boşalması ile ilgili bağıntılar denkleminin her iki tarafı C ile bölünerek bulunabilir. Potansiyel farkı için elde edilen bağıntı;

$$V_{ab} = V_0 \exp(-t / RC) \quad (16)$$

olur. ve ifadeleri ile ilgili grafikler Şekil 2.b' de görülmektedir.



Şekil 5.2 a) Kondansatörün zamanla dolmasını **b)** Kondansatörün zamanla boşalmasını gösteren grafik

Kondansatörün bir direnç üzerinden boşalmasına ait , ve bağıntıları Q , V_{ab} ve I 'nın zamanla üstel olarak azaldıklarını göstermektedir.

Zamanla üstel değişen niceliklerde, değişme hızını belirlemek üzere *zaman sabiti* kavramı tanımlanır. Üstel olarak değişen niceliğin herhangi bir andaki değerinin $1/e$ değerine düşmesi için geçen zamana, **zaman sabiti** denir ve τ ile gösterilir. (11) eşitliğinde $t = R C$ seçilirse;

$$V_{ab} = V_0 / e \quad (17)$$

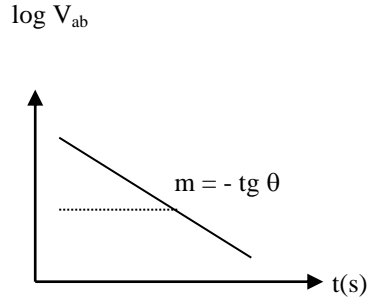
elde edilir. Zaman sabitini deneyle iki şekilde ölçmek mümkündür :

1. Kondansatör boşalmaya başladığı anda kronometre çalıştırılmaya başlanır. Ve bir voltmetre ile V_{ab} potansiyel farkı sürekli gözlenir. (12) ifadesine göre V_{ab} değeri;

$$2. \quad V_{ab} = V_0 / e = 20 / 2.72 = 7.35 \text{ Volt}$$

oluncaya kadar geçen zaman bize zaman sabiti τ 'yu verir.

3. Kondansatör boşalırken değişik zamanlarda V_{ab} gerilimleri ölçülür. Bu ölçümler, tabloya yazılır. Ölçülen V_{ab} değerlerinin logaritmaları alınır ve Şekil 5.3 'teki grafik çizilir.



Şekil 5.3

bağıntısının logaritması alındığı zaman ;

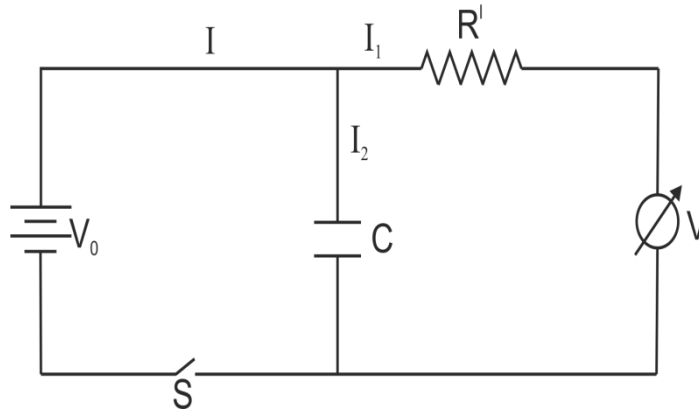
$$\log V_{ab} = \log V_0 - t / RC \quad , \quad \log e = \log V_0 - (\log e / RC)t \quad (18)$$

şeklinde yazılabileceğinden, $\log V_{ab}$ 'nin zamana göre değişim grafiği Şekil 5.3 'teki gibi bir doğru olur. Bu doğrunun eğimi;

$$m = -\log e / RC = -0,43 / \tau \quad (19)$$

olarak bulunur ve değeri buradan hesaplanır.

Şekil 5.4' deki devreyi göz önüne alıp kondansatörün dolmasını ve boşalmasını inceleyiniz.



Şekil 5.4. R-C devresi

Şekil 2.b' den görüleceği gibi kondansatörün yükü zamanla azalmaktadır. Fiziksel olarak önemli diğer bir kavram da **yarı-ömür**dür. Kondansatörün Q yükünün başlangıçtaki Q_0 değerinin yarısına düşmesi için geçen zaman olarak tanımlayacağımız yarı-ömür denkleminde kolayca bulunur.

$$T_{1/2} = RC \ln 2 = 0.693 RC \quad (20)$$

buradaki R direncinin devrenin toplam direncine karşı geldiği açıktır. Bu nedenle (R_{iC}) voltmetrenin direnci olmak üzere

$$R = R + R_{iC} \quad (21)$$

yazılır.

Öte yandan RC devresini mekaniksel sistemlere benzetmekte mümkündür. Böylece mekaniksel sistemlerde olup bitenin gözlenebilmesinden yararlanarak, RC devresinde olup bitenleri daha iyi anlayabiliriz.

Bunun için Şekil 5.5' deki gibi yağ dolu bir silindir içindeki delikli bir pistonun hareketini göz önüne alalım. Pistonun x ötelemesini, RC devresindeki Q yükü ile özdeşlersek ve pistona etkiyen toplam kuvvetin, yayın geri çağırıcı kuvveti $-kx$ ile, yağın viskozluğu nedeniyle göstereceği direnç kuvvetinin (küçük hızlar için) $-\mu (dx/dt)$ toplamı olduğunu göz önüne alırsak Newton'un 2. Kanununa gereğince,

$$ma = -kx - \mu(dx/dt) \quad (22)$$

denklemini buluruz. Eğer pistonun kütesinin yeterince küçük olduğunu kabul edersek denkleminin,

$$\mu(dx/dt) = -kx \quad (23)$$

şeklini alacağı açıktır. Çözümü de ' e benzer biçimde

$$x = x_0 e^{-\left(\frac{k}{\mu}\right)t} \quad (24)$$

olur ve buradan ve karşılaştırılınca, yağın μ viskozluk sabitinin devredeki toplam R direncine, K yay sabitinin ise $(1/C)$ ' ye karşı geldiği görülür.



Şekil 5.5

Şimdi de Şekil 5.6' daki devreyi göz önüne alalım. Şekil 5.1 ' deki devreyle bu devre arasındaki fark, bu devrenin sinüsel gerilimle sürülmesi olduğu açıktır. Eğer sürücü V geriliminin

$$V = V_0 \cos \omega t \quad (25)$$

şeklinde olduğunu düşünürsek Kirchhoff kanununun da (gerilim) yardımıyla,

$$V_0 \cos \omega t = -\omega R Q_0 \sin(\omega t + \theta) + (Q_0 / C) \cos(\omega t + \theta) \quad (26)$$

$$V_0 \cos \omega t = R(dQ/dt) + Q/C \quad (27)$$

yazılır.

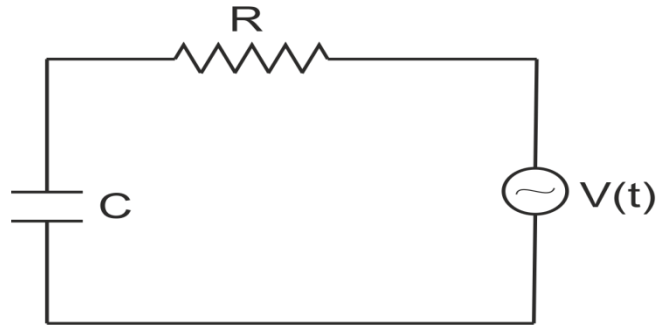
Eğer gerilimin değişimi hızlı ise (salınım periyodu RC den çok küçük ise) yüksek frekanslarda kondansatörün direnç üzerinden dolup boşalma hızı gerilim değişimine ayak uyduramaz ve bunu sonunda Q yükü ile V gerilimi arasında bir faz farkı ortaya çıkar. Bu nedenle denkleminin çözümünü

$$Q = Q_0 \cos(\omega t + \theta) \quad (28)$$

şeklinde yazabiliriz.

Eğer gerilim değişimi yavaş ise kondansatörün dolup boşlama hızı gerilim değişimine ayak uyduracağı için yük ve gerilim arasında bir faz farkı oluşmayacaktır. Gerilimin hızlı değişiminde 'nin çözümü mademki ile veriliyor, o halde 'ün ' i sağlaması gerekir. Böylece Q_0 ve θ sabitlerini bulabiliriz.

$$V_0 \cos \omega t = -\omega R Q_0 \sin(\omega t + \theta) + (Q_0 / C) \cos(\omega t + \theta) \quad (29)$$



Şekil 5.6.

(29) bağıntısı trigonometrik özdeşlikler yardımıyla yeniden düzenlenir ve $\cos \omega t$ ' li terimlerin katsayıları birbirine, $\sin \omega t$ ' li terimlerin katsayıları da sıfıra eşitlenirse Q_0 ve θ sabitleri için,

$$Q_0 = \frac{V_0}{-\omega R \sin \theta + \frac{1}{\tau} \cos \theta} \quad (30)$$

$$\tan \theta = -\omega RC \quad (31)$$

bağıntıları bulunur. ve bağıntılarından da

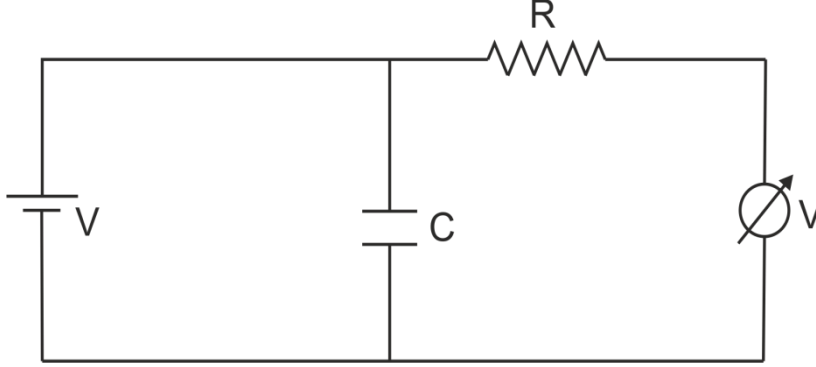
$$Q_0 = CV_0 \cos \theta = \frac{CV_0}{\{(\omega RC) + 1\}} \quad (32)$$

bulunur.

DENEYİN YAPILIŞI

i- (a) Yük Gevşemesi (Relaxation): Yük gevşemesini göstermek için Şekil 5.7' deki devreyi kurunuz ve devre kapalıyken voltmetrenin gösterdiği değeri saptayınız. $V=15\text{ V}$, $C=1\text{ }\mu\text{F}$ ve $R=10\text{ k}\Omega$ değerleri ile çalışınız.

$V_0 = \dots\dots\dots\text{Volt}$



Şekil 5.7.

Sonrada devreden üretici çıkararak kondansatörün yükünün boşalmasını ($Q=CV$) gözleyiniz ve voltmetrenin ilk değerinin yarısına ($V_0 / 2$) düşmesi için geçen $T_{1/2}$ zamanını kronometre ile ölçünüz.

Tablo 5.1

$T_{1/2}$									
-----------	--	--	--	--	--	--	--	--	--

$(T_{1/2})_{ort} = \dots\dots\dots\text{ s}$

Daha sonra bulduğumuz bu sonucu teorik olarak denkleminde bulacağınız sonuçla karşılaştırınız. Burada ölçü aletinin iç direncini öğreniniz.

$R_{iç} = \dots\dots\dots\Omega$

$T = 0.693RC = \dots\dots\dots\text{ s}$

ii-(b) Çabuk Gevşeme : İlk deneydeki yük gevşemesini osiloskop vasıtasıyla da gözlemek mümkündür. Bunu için Şekil 5.8' deki devreyi kurunuz. Osiloskopda gözleyeceğiniz şekil (kondansatörün direnç üzerinden dolup boşalması nedeniyle) artık kare olmayacaktır. Bu eğri için yarı ömrü bulunuz ve sonucunuzu denklem 20' den bulacağınız sonuçla karşılaştırınız. Burada dalga üreticinin iç direncini göz önüne almayınız. $R=R^1+R_{iç}$

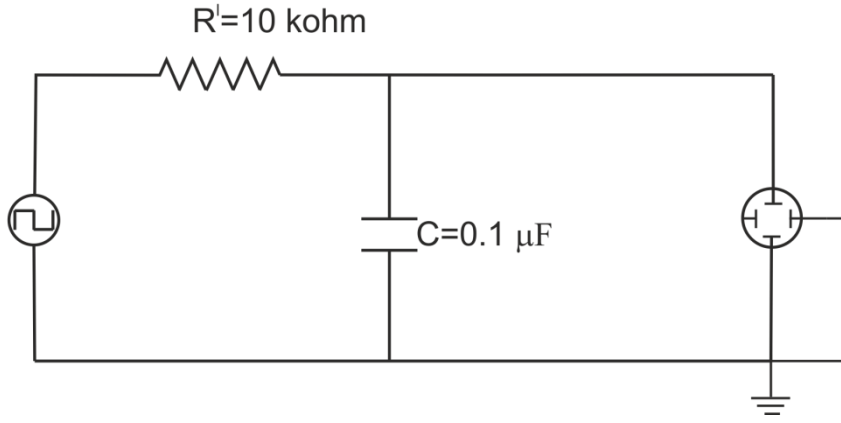
$R_{iç} = \dots\dots\dots\Omega$

$R^1 = \dots\dots\dots\Omega$

$C = \dots\dots\dots\text{ F}$

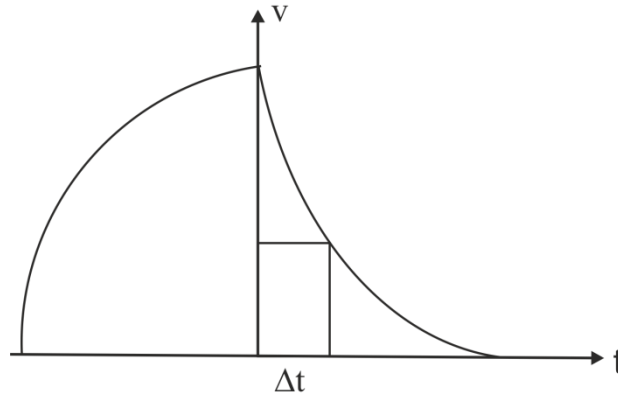
$(T_{1/2})_{ort} = \dots\dots\dots\text{ s}$

$(T_{1/2})_{teorik} = 0.693 RC = \dots\dots\dots\text{ s}$



Şekil 5.8.

Yardım : Şekildeki gibi bir eğrinin yarı-ömrü, eğriyi (V,t) ekseninin (+) bölgesine aldıktan sonra $T_{1/2} = x \Delta t$ (osiloskoptaki zaman skalasından okunan değer) bağıntısı yardımıyla hesaplanır.



Şekil 5.9.

iii- (c) Sinüsel Tepki : Şekil 5.8' deki devre dalga üreticinin sinüs dalga çıkışı kullanılarak RC devresinin sinüsel gerilime karşı tepkisini gözlemede de kullanılabilir. Bunun için önce kondansatörün uçları arasındaki gerilim V_c , dalga üreticinin uçları arasındaki gerilim de V_0 olmak üzere (V_c/V_0) oranı yaklaşık olarak 1/2'ye eşit olacak şekilde dalga üreticinin frekansını ayarlayınız ve faz açısını denklem (32)den bulunuz.

$V_0 = \dots\dots\dots$ volt

$V_c = \dots\dots\dots$ volt

$\nu = \dots\dots\dots$ 1/s (dalga üreticinden elde edilen sinüs dalgasının frekansı)

$\cos \theta = V_c / V_0 = 1/2 = \dots\dots\dots$

$\theta = \dots\dots\dots$

Daha sonra RC' yi hem deneysel hem de teorik olarak hesaplayarak sonuçları karşılaştırınız. (denklem 31' den).

$RC = \tan \theta / \omega = \tan \theta / 2 \pi \nu = \dots\dots\dots$ s

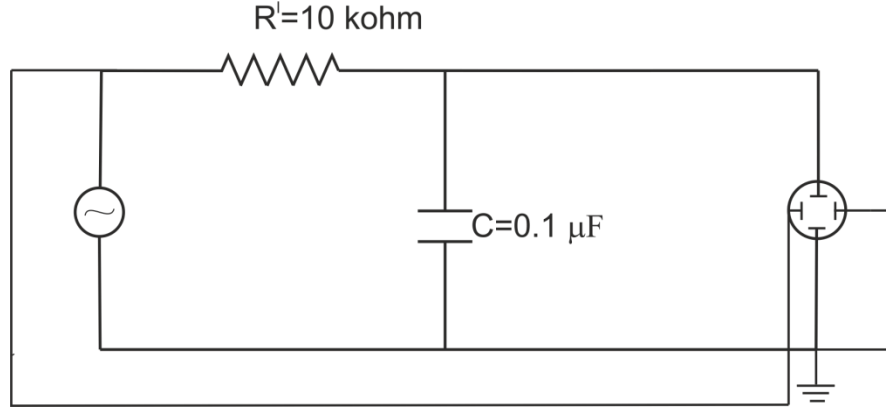
$RC = \dots\dots\dots$ s

Burada,

$R = \dots\dots\dots$ Ohm,

$C = \dots\dots\dots$ Farad

iii- Faz Kayması- Lissajous Eğrileri: Dalga üretici (sürücü gerilim) ile kondansatör gerilimi arasındaki faz farkı Lissajous eğrileri vasıtasıyla gözlenebilir. Bunun için Şekil 5.10' daki devreyi kurunuz.



Şekil 5.10.

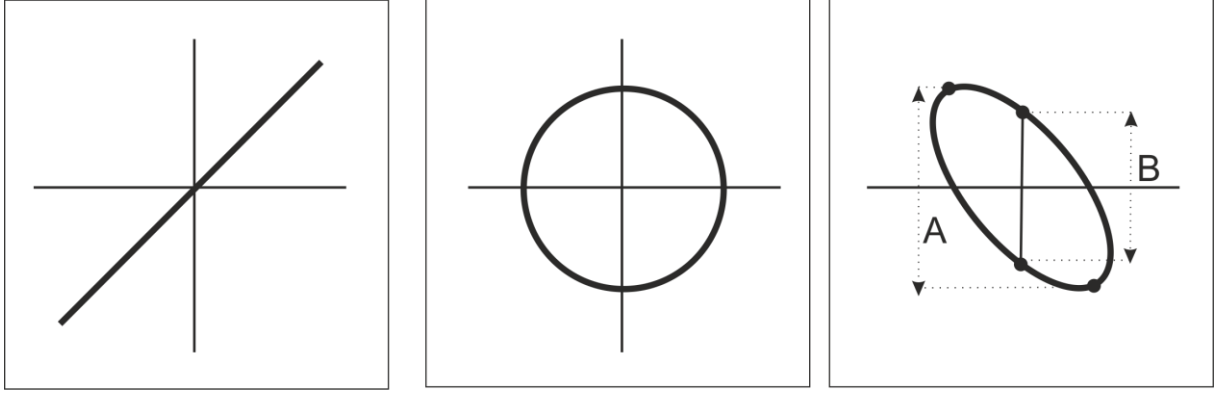
Dikkat edilirse bu devrede Şekil 5.8' daki devreye ek olarak osiloskobun yatay girişinin de sinyal jeneratörü ile direnç arasına bağlanmış olduğu görülecektir.

Şekil 5.10' daki devre vasıtasıyla osiloskopta gözlenen elips için A ve B ölçümlerini bulunuz ve bu işlemi frekansı eşit aralıklarla değiştirmek üzere (örneğin 20 sn^{-1} aralıklarla) her frekans için tekrarlayınız ve bulduğunuz değerleri Tablo 5.3' e yerleştiriniz. Daha sonra tablodaki değerler yardımıyla $\tan\theta$ ile ω arasında bir grafik çiziniz. Grafik bir doğru mu? Grafiğin eğimini bulunuz. Bulduğunuz bu sonuçta teorik olarak bulacağınız RC değeri uyuyor mu?

Lissajous Eğrileri: Aynı frekanstaki iki sinüs dalgasından biri osiloskobun dikey, diğeri yatay girişine uygulanırsa osiloskoba gelen iki sinüs gerilimi arasındaki faz farkına bağlı olarak daire , elips, (+) veya (-) eğilimli doğrular elde edilir ki bu şekillere **Lissajous eğrileri** denir. Bunlar iki frekansın oranı ile karakterize edilirler. Alçak frekanslarda iki gerilim arasındaki faz farkı sıfır ise osiloskoptaki gözlenen eğri 45° eğilimli bir doğru, eğer yüksek frekanslarda iki gerilim arasındaki faz farkı 90° ise eğri tam bir daire, ara frekanslarda şekil elips ve faz farkının 180° olduğu durumda ise yine bir doğru; ancak eğimi (+) olacaktır.

Tablo 5.3.

B	A	$\sin\theta=B/A$	θ	$\tan\theta$	ν	$W = 2\pi\nu$



Lissajous eğriler

B-DİRENÇ-İNDÜKSİYONCU KANGAL (R-L) DEVRELERİ

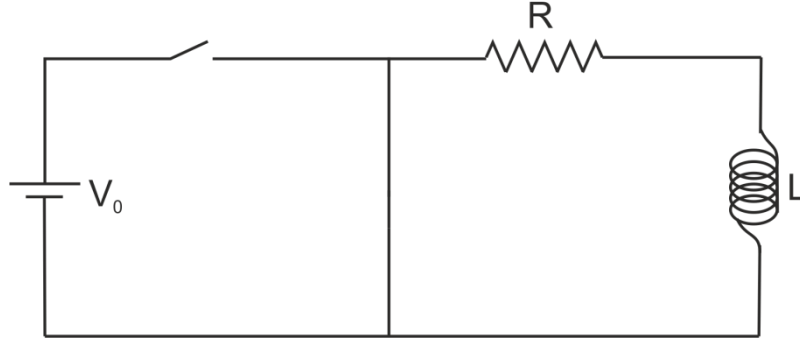
Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler: Osiloskop, sinyal üretici, güç kaynağı, avometre, kronometre, dirençler (10 kΩ, 20 MΩ) ve kangal (36 mH), kablolar, devre panosu

AMAÇ

R-L devresinin sinüsel bir gerilime karşı gösterdiği tepkinin incelenmesi.

ÖN BİLGİ

İndüksiyoncu kangal, demirden bir çekirdek üzerine sarılmış veya içinde hiçbir şey olmayan tel bir kangaldır. Kangaldan geçen değişken bir akım kangal çevresinde değişen bir manyetik akı oluşturur. Bu değişme uçlar arasında $V = L (dI / dt)$ geriliminin oluşmasını sağlar. Şimdi Şekil 5.11' daki devreyi göz önüne alalım. Devrede üreteç bağlıyken oluşan akım Ohm Kanunu'na göre $I_0 = V_0 / R$ olacaktır. (Burada kangalın iç direncini ihmal ediyoruz.)



Şekil 5.11.

Eğer herhangi bir anda üretici devreden çıkarırsak akımın birden sıfır olmadığını görürüz. (Tıpkı RC devresindeki gibi). Bu olayı daha iyi anlamak için $I(t)$ ' yi bulmaya çalışalım. Bunun için devreye Kirchoff' un gerilim yasasını uygulayalım:

$$IR + L(dI / dt) = 0 \quad (1)$$

Bu denklemin çözümü,

$$I(t) = I_0 e^{-(R/L)t} \quad (2)$$

şeklinde olacaktır. Burada I_0 akımın ilk değeridir.

Akımın ilk değerinin yarısına düşmesi için geçen zaman,

$$T_{1/2} = (L/R) \ln 2 = 0.693 (L/R) \quad (3)$$

ile verilecektir.

RL devresinin mekanik benzeri olarak Şekil 6.2' deki gibi hız kutusunu göz önüne alabiliriz. Pistonun kütlesi ihmal edilmezse, pistona etkiyen tek kuvvet yağın viskozluk kuvveti olacaktır ve Newton' un 2. yasası gereğince hareket denklemi

$$m(dV/dt) = -\mu v \quad (4)$$

şeklinde olacaktır. Çözüm ise,

$$V(t) = V_0 e^{-(\mu/m)t} \quad (5)$$

olur. Eğer (5) ve (2) çözümlerini karşılaştırsak akıma hızın, dirence viskozluk katsayısının, indüksiyon katsayısına da kütlenin karşı geldiği kolayca görülür.

Şimdi RL devresinin sinüsel gerilime karşı tepkisini incelemek üzere Şekil 6.3' deki devreyi göz önüne alalım. Devreye uygulanan sinüsel gerilimin $V(t) = V_0 \cos \omega t$ şeklinde olduğunu kabul edelim. Eğer uygulanan gerilimin ω frekansı çok küçükse devre sanki kangal yokmuş gibi davranacak, bunun sonunda akım değişiminin çok yavaş olması nedeniyle devrede akım ile gerilim arasında faz farkı bulunmayacaktır. Yüksek frekanslarda ise L ' nin uçları arasındaki gerilim R ' nin uçları arasındaki gerilimden daha büyük olabilir, bunun sonucunda da akımın maksimum değeri V_0 / R ' den daha küçük olacak; dolayısıyla da gerilim ile akım arasında bir faz farkı olacaktır. Şekil 6.3' deki devreye Kirchhoff' un gerilim yasasını uygularsak,

$$RI + L(dI/dt) = V_0 \cos \omega t \quad (6)$$

buluruz. Bu denklemin çözümü,

$$I(t) = I_0 \cos(\omega t + \phi) \quad (7)$$

olsun. Şimdi I_0 ve ϕ sabitlerini bulalım. (7) denklemi (6) denklemini sağlamalıdır. Yani

$$RI_0 \cos(\omega t + \phi) - LI_0 \omega \sin(\omega t + \phi) = V_0 \cos \omega t \quad (8)$$

olmalıdır. Burada trigonometrik özdeşlikler kullanılır ve $\sin \omega t$ ve $\cos \omega t$ li terimlerin katsayıları birbirine eşitlenirse,

$$I_0 = V_0 / (R \cos \phi - L \omega \sin \phi) = V_0 \cos \phi / R \quad (9)$$

$$\tan \phi = -(L/R)\omega \quad (10)$$

bulunur. (9) ve (10) bağıntılarını birleştirerek,

$$I_0 = V_0 / (L^2 \omega^2 + R^2)^{1/2} \quad (11)$$

bulunur. Burada,

$$Z = (L^2 \omega^2 + R^2)^{1/2} \quad (12)$$

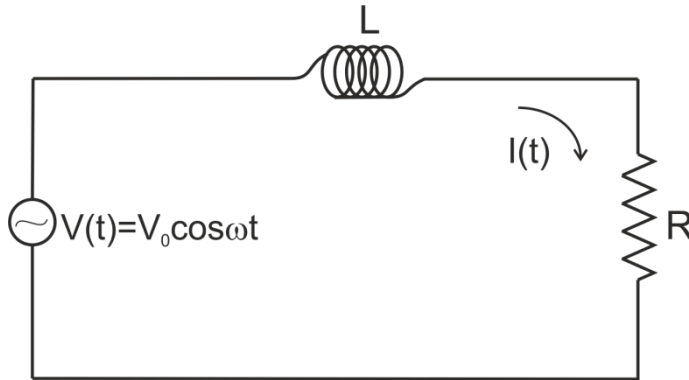
ifadesine devrenin **empedansı** denir. Böylece (11) ifadesi,

$$I_0 = V_0 / Z \quad (13)$$

şeklinde de yazılabilir.

Özetle:

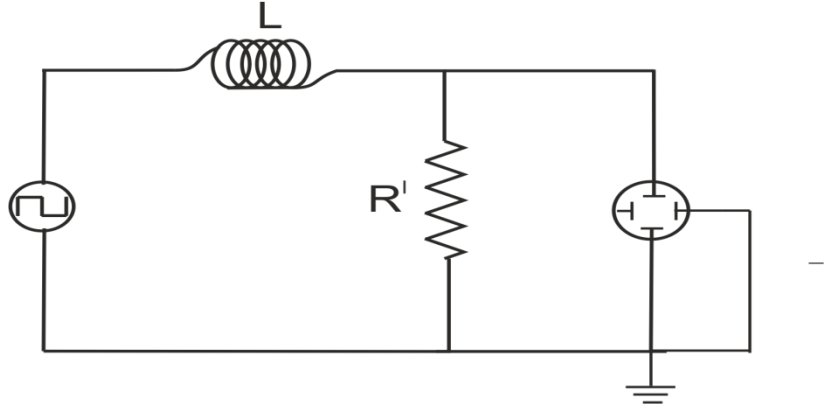
- Alçak frekanslarda ($\omega \ll R/L$), $I_0 = V_0 / R$ 'dir ve akım ile gerilim arasında $\phi = 0$ 'dır
- Çok yüksek frekanslarda ($\omega \gg R/L$) sanki devre direnç yokmuş gibi davranacak ve $\phi \rightarrow -\pi/2$ 'ye, $I_0 \rightarrow V_0 / \omega L$ 'ye ulaşacaktır.
- Ara frekanslarda daima akımın fazı gerilimden ($0 - \pi/2$) kadar geridir.



Şekil 5.12.

DENEYİN YAPILIŞI

i. Üstel Artış : RL devresinde akımın üstel azalmasının voltmetre ile gözlemek mümkün olmadığından bu olayı gözlemek için Şekil 6.4' deki devreyi göz önüne alalım. Devreyi kurduktan sonra osiloskopta görünen eğri Şekil 6.5' deki gibidir ve akımın üstel artışı ile üstel azalmasını gösterir.

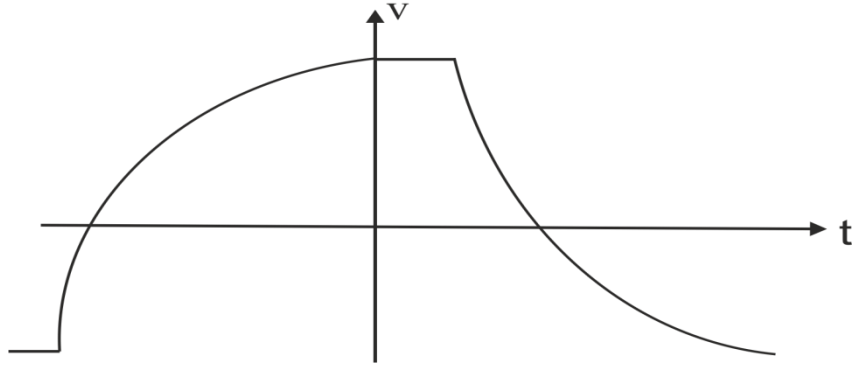


Şekil 5.14.

$L = 35\text{ mH}$, $R' = 1\text{ k}\Omega$ kullanınız.

Her öğrencinin Şekil 6.5' deki eğri yardımıyla akımın gerek üstel artışı gerekse üstel azalmasını gösteren bölümleri için ayrı $T_{1/2}^+$, $T_{1/2}^-$ zamanını ölçerek bulduğu sonuçların aynı olup olmadığını ve teorik sonuçla uyuştuğunu kontrol etmelidir.

Yardım : $T_{1/2}^+$ 'nin Hesabı : Osiloskoptaki eğriyi yatay eksene göre simetrik hale getirdikten sonra, alt ucunu düşey eksenle çakıştırınız. Sonra eğrinin yatay ekseni kestiği noktanın orjine olan uzaklığını ölçünüz. Daha sonra bu değeri osiloskobun zaman skalasındaki değerle çarparak $T_{1/2}^+$ 'yi bulunuz. Yani $T_{1/2}^+ = (\Delta t)$ (osiloskoptaki değer). $T_{1/2}^-$ de benzer şekilde hesaplanır.



Şekil 5.14.

$T_{1/2}^+$									
$T_{1/2}^-$									

$(T_{1/2}^+)_{\text{ort}} = \dots\dots\dots\text{s}$

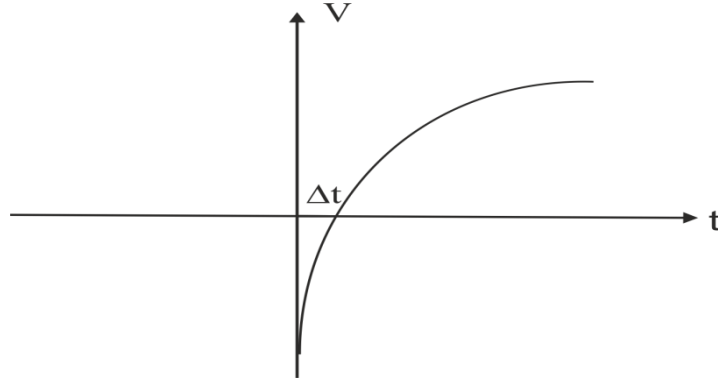
$(T_{1/2}^-)_{\text{ort}} = \dots\dots\dots\text{s}$

Teorik olarak :

$T_{1/2} = (L/R) 0.693 = \dots\dots\dots\text{s}$

Burada $R = R' + R_{iç}$ olup, $R_{iç}$ dalga üreticinin iç direncidir ve değeri

$R_{iç} = \dots\dots\dots\text{ohm}$ dur.



Şekil 5.15.

ii. Sinüsel Tepki : RL devresinin sinüsel gerilime karşı tepkisini gözlemek için şekil 6.6'daki devrede dalga üreticinin sinüs dalga çıkışı kullanınız. Osliskoptan direncin uçları arasındaki gerilimi ölçünüz ve ohm kanunu yardımıyla I_0 'ı bulunuz.

$V_R = \dots\dots\dots$ volt

$I_0 = V_R / R = \dots\dots\dots$ amper

Daha sonra dalga üreticinin frekansını, V_0 üreticinin çıkışları arasındaki gerilim olmak üzere V_R / V_0 oranını yaklaşık olarak 1/2 yapacak şekilde ayarlayınız ve $\cos \phi = V_R / V_0$ bağıntısı yardımıyla ϕ faz kayma açısını hesaplayınız.

$\phi = \dots\dots\dots$ rad

$\nu = \dots\dots\dots$ s⁻¹

Son olarak L / R zaman sabitini teorik ve deneysel olarak hesaplayınız. Sonuçlarınız uyuşuyormu?

$L / R = (1/\omega) \tan \phi = (1/2\pi\nu) \tan \phi = \dots\dots\dots$ s

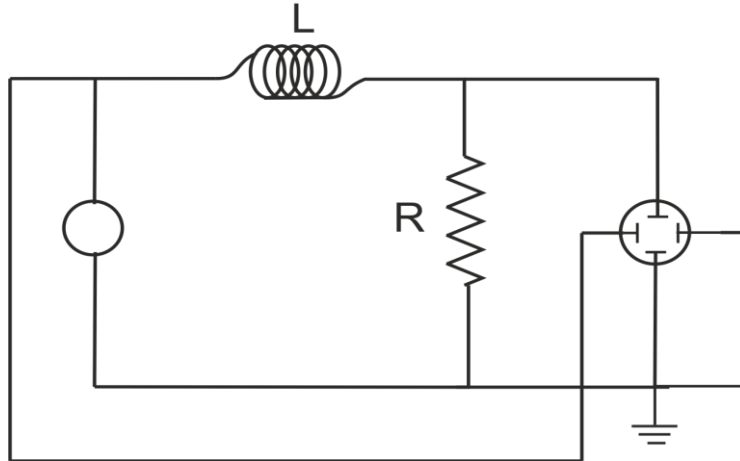
$L / R = \dots\dots\dots$ sn

Burada ,

$L = \dots\dots\dots$ H

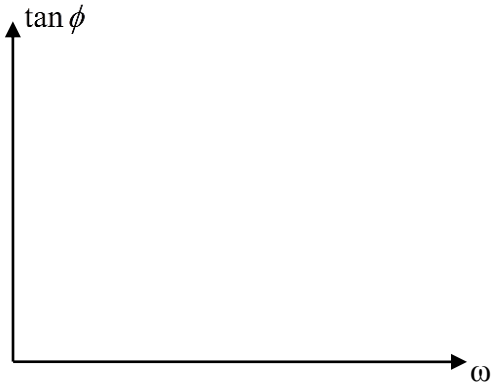
$R = \dots\dots\dots$ ohm

iii-Faz Kayması : Gerilim ile akım arasındaki faz kaymasını Lissajous eğrileri vasıtasıyla da bulabiliriz. Bunun için Şekil 6.7 'deki devreyi kurunuz ve frekansın 2000 sn'lik her artışına karşılık gelen A ve B ölçümlerini bulunuz. Sonuçlarınızı aşağıdaki tabloya yazınız. $\tan \phi$ ile ω arasında bir grafik çiziniz. Grafik bir doğru oluyor mu? Doğrunun eğimini bulunuz. Sonuç öncekilerle uyuyor mu?



Şekil 5.16.

$L = 35\text{ mH}$, $R = 1\text{ k}\Omega$ kullanınız.



B	A	$\sin \phi = \frac{B}{A}$	ϕ	$\tan \phi$	ν	$W = 2\pi \nu$

SORULAR

1. (10) bağıntısını elde ediniz.
2. (11) bağıntısını elde ediniz.
3. Neden faz kayma açısı (9) bağıntısında $V / V_0 = 1/2$ yapan değere karşı geliyor?
4. L / R neden zaman boyutundadır.

DENEY 6

SERİ BAĞLI (R-L-C) REZONANS DEVRELERİ

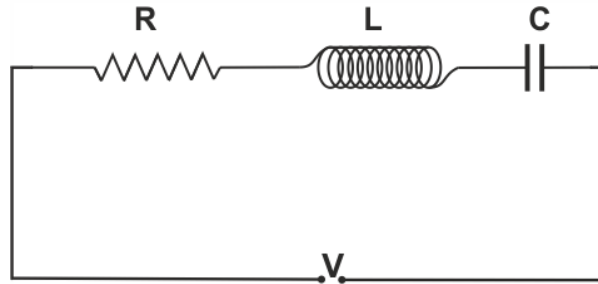
Deneyde Kullanılan Araç ve Gereçler: Osiloskop, sinyal üretici, dirençler (1k Ω , 100 Ω) kangal (9 mH), sığa (47 nF), devre panosu ve kablolar.

AMAÇ

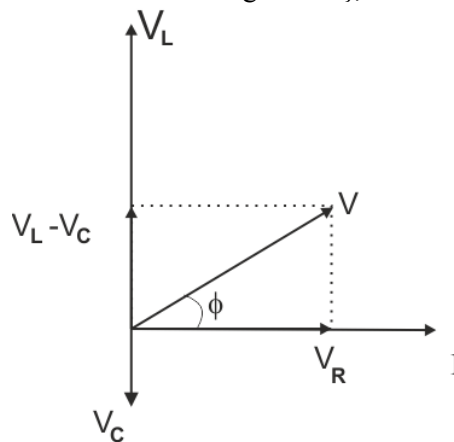
Direnç, indüktans ve sığaçtan oluşan seri rezonans devrelerinin incelenmesi.

ÖN BİLGİ

R direnci, L indüksiyoncu kangal ve C kondansatörünün Şekil 6.1' de görüldüğü gibi seri bağlandıktan sonra devrenin uçları arasına etkin değeri V olan bir alternatif potansiyel farkı uygulayalım. Devreden akım geçerken R, L ve C' nin uçları arasındaki V_R , V_L , V_C etkin potansiyel farklarını ölçelim. $V_R + V_L + V_C$ toplamının devrenin uçları arasına uyguladığımız V potansiyel farkından büyük olduğunu görürüz. Bunun nedeni V_R , V_L ve V_C ' nin aynı fazda olmamalarıdır. Bu nedenle cebirsel toplam değil faz farklarını da dikkate alarak geometrik toplam yapmak gereklidir. Kıyas doğrultusu ve yönü olarak akımını seçebiliriz. V_R ' nin akımla aynı fazda, V_L ' nin akımdan T / 4 saniye veya 90° önde, V_C ' nin ise akımdan T / 4 saniye veya 90° geride olduğunu dikkate alarak ölçülen V_R , V_L , V_C değerlerini Şekil 6.2 deki gibi bir vektör diyagramında belirtebiliriz. Bileşke V vektörü devrenin uçları arasına uygulanmış olan alternatif gerilimin etkin değeri olacaktır.



Şekil 6.1. Alternatif akım devresinde seri bağlı direnç, indüksiyoncu kangal ve kondansatör.



Şekil 6.2. Şekil 6.1' deki devre elemanları üzerindeki potansiyel farklarının vektör diyagramında gösterilişi.

Şekilden,

$$V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \quad (1)$$

yazabiliriz. Burada $V_R = IR$, $V_L = IL\omega$, $V_C = I / \omega C$ dir. O halde (1) eşitliği,

$$V = I \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (2)$$

biçiminde yazılabilir. Burada,

$$Z = \sqrt{R^2 + \left(L\omega - \frac{1}{\omega C} \right)^2} \quad (3)$$

çarpmanı direnç boyutunda bir büyüklük olup ilgili devrenin **empedansı** adını alır. Elemanları paralel veya karışık bağlanmış diğer alternatif akım devreleri için de benzer yoldan Z impedansı hesaplanabilir. O halde bir alternatif akım devresi için Ohm kanunu genel olarak,

$$V = IZ \quad (4)$$

biçiminde yazılabilir.

Şekil 7.1' deki devreden geçen akımla bu devrenin uçları arasındaki toplam potansiyel farkı aynı fazda değildir. Şekil 7.2' ye göre **faz farkı açısı**,

$$\cos \phi = \frac{V_R}{V} = \frac{R}{Z} \quad (5)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. Bu faz farkı nedeniyle, devrede harcanan elektriksel güç artık VI olmayıp,

$$P = VI \cos \phi \quad (6)$$

dir. $\cos \phi$ 'ye **güç çarpmanı** da denir.

Şimdi (3) bağıntısını dikkate alalım. $\omega = 2\pi\nu$ olduğuna göre; L ve C' yi veya alternatif akımın ν frekansını uygun seçerek,

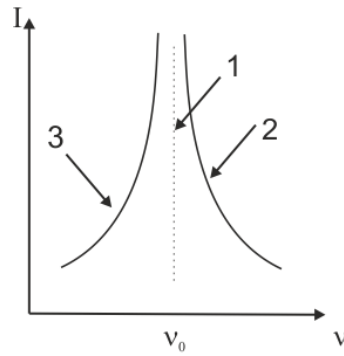
$$L\omega - \frac{1}{\omega C} = 0 \quad (7)$$

yapabiliriz. Bu taktirde devrenin impedansı minimum ve dolayısıyla geçen akım maksimum olacaktır. Bu hale **elektriksel rezonans** denir. L ve C' nin seri bağlı olduğu Şekil 7.1' deki devre bir **seri rezonans devresidir**. (7) bağıntısından böyle bir devrenin rezonans frekansı hesaplanırsa,

$$\nu_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = 0 \quad (8)$$

bulunur. Bu bağıntıya **Thomson bağıntısı** denir. Devre ν_0 frekansının harmonikleri için de rezonans gösterir. Şekil 7.3' de bir seri rezonans devresinde akımın frekansla değişimi görülmektedir. $R = 0$ için rezonans halinde akımın sonsuz olması gerekir. Fakat bir devrenin direnci pratik bakımdan sıfır olamayacağı için sınırlı bir maksimumdan geçer. Mekanik

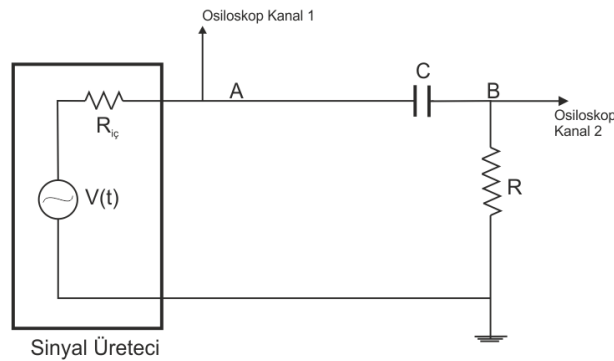
rezonans eğrilerine benzeyen bu eğrilerin rezonans maksimumları devrenin R direnci arttıkça azalır. Şekilde direncin değişik birkaç değeri için bu durum belirtilmiştir.



Şekil 6.3. Elektriksel rezonans eğrileri: (1) $R_1 = 0$, (2) $R_2 > 0$, (3) $R_3 > R_2$

DENEYİN YAPILIŞI

i) Şekil 6.4' deki kurunuz. Sinyal frekansına bağlı olarak üreteç çıkış geriliminin değişimi nasıl olur? Açıklayınız. Sinyal üreticinin çıkış gerilimini her defasında aynı değerde tutarak B noktasındaki gerilimi aşağıdaki frekanslarda okuyunuz. Bu değerleri tablo 1'e geçirin. B noktasında ölçülen gerilim sığaçtan geçen akımla orantılıdır. Aynı deneyi sığaç yerine 36 mH'lık bir indüksiyon bobini bağlayarak yapınız ve Tablo 6.2'yi doldurunuz.



Şekil 6.4 Sinyal üretici ve osiloskoptan oluşan sistem ($R_{iç}$: sinyal üreticinin iç direncidir).

Buradaki X_L indüktif ve X_C kapasitif reaktanslarını frekansa karşılık aynı grafik kağıdı üzerine çizerek $X_C = X_L$ olduğu andaki frekansı bulunuz. Bu değerlerin rezonans frekansıyla olan ilişkisini açıklayınız.

Bobin telinin direnci 100 ohm'dur. Bu sonucu nasıl etkiler?

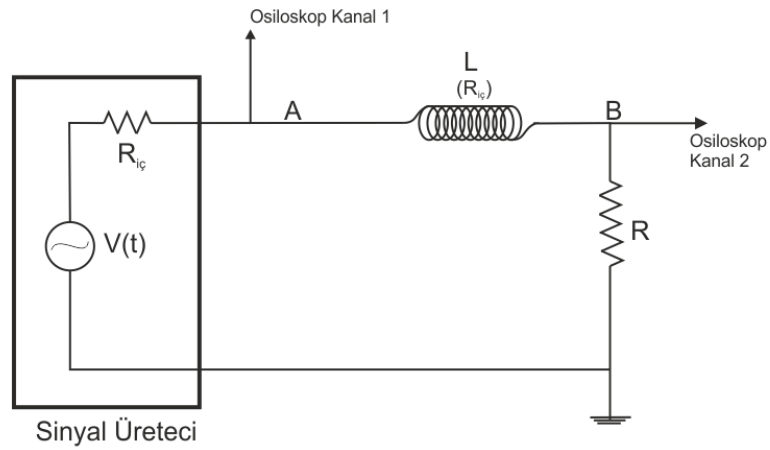
Tablo 6.1

v (kHz)	V_A (volt)	V_B (volt)	$I_C = V_B / R$	$X_C = (V_A - V_B) / I_C$

Tablo 6.2

v(kHz)	V _A (volt)	V _B (volt)	I _L = V _B / R	X _L = (V _A -V _B) / I _L

ii) Şekil 6.5'deki devreyi kurunuz.

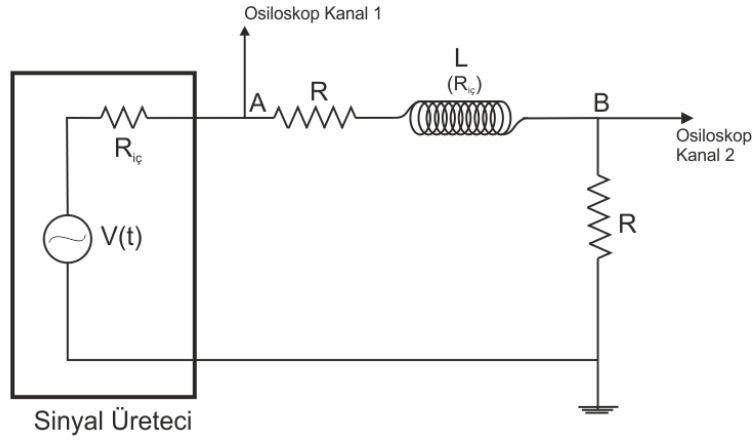
**Şekil 6.5**

V_A' yi sabit alınız ve B noktasındaki gerilimi Tablo 6.3'deki frekanslarda okuyunuz.

Tablo 6.3

v (kHz)	V _A (volt)(sabit)	V _B (volt)	I= V _B / R

iii) Şekil 6.6 'daki devreyi kurunuz ve ii kısmındaki işlemleri tekrar ediniz. sonuçlarınızı Tablo 6.4' e yazınız.



Şekil 6.6

Her iki kesimde elde ettiğiniz sonuçlara aynı grafik kağıdına $I = f(v)$ grafiğini çiziniz ve devrelerin rezonans frekansını bulunuz.

Tablo 6.4

v(kHz)	V_A (volt)	V_B (volt)	I= V_B /R

DENEY 7

ÇİFTLENİMLİ L-C DEVRESİ

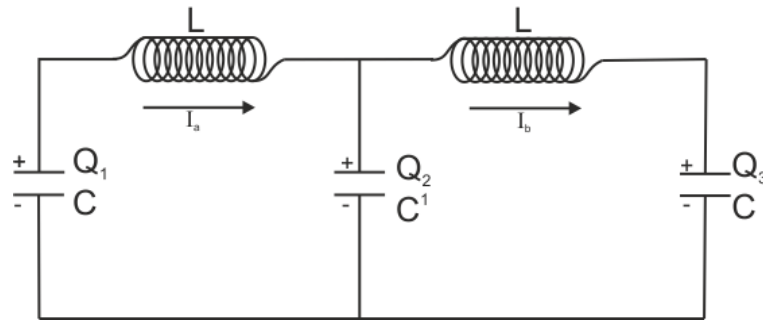
Deneyde kullanılan araç ve gereçler : Osiloskop, sinyal üretici, 9 mH'lık iki kangal 3 adet sığa (0.1 μ F), direnç (10 k Ω), kablolar ve devre panosu.

AMAÇ

Çiflenimli L-C devresinin serbest ve zorla salınımları ile vuru olayının incelenmesi.

ÖN BİLGİ

Şekil 7.1'deki devreyi göz önüne alalım ve devre denklemlerini yazalım. Denklemleri yazarken sattin dönme yönündeki e.m.k ve akımları (+), ters yöndeki e.m.k ve akımları (-) alalım.



Şekil 7.1

Her ilmek için toplam gerilim sıfır olacağından (neden?) devre denklemleri,

$$\begin{aligned} -L(dI_a / dt) + (Q_1 / C) - (Q_2 / C^1) &= 0 \\ -L(dI_b / dt) + (Q_2 / C^1) - (Q_3 / C) &= 0 \end{aligned} \quad (1)$$

şeklinde olacaktır. Bu denklemleri akımlar cinsinden yazmak için bir kez türevini alalım:

$$\begin{aligned} -L(d^2 I_a / dt^2) + (1 / C)(dQ_1 / dt) - (1 / C^1)(dQ_2 / dt) &= 0 \\ -L(d^2 I_b / dt^2) + (1 / C^1)(dQ_2 / dt) - (1 / C)(dQ_3 / dt) &= 0 \end{aligned} \quad (2)$$

Öte yandan yük korunumu nedeniyle,

$$-dQ_1 = dQ_2 + dQ_3 \quad (3)$$

veya

$$-(dQ_1 / dt) = (dQ_2 / dt) + (dQ_3 / dt) \quad (4)$$

bağıntılarını yazabiliriz. Eğer ,

$$\begin{aligned} I_a &= -(dQ_1 / dt) \\ I_b &= -(dQ_3 / dt) \end{aligned} \quad (5)$$

Tanımlarını yaparsak (4) denkleminin

$$I_a - I_b = (dQ_2 / dt) \quad (6)$$

Olacağı açıktır. Böylece (5) ve (6) denklemlerinin yardımıyla (2) denklemleri

$$\begin{aligned} L \left(d^2 I_a / dt^2 \right) &= - \left(1 / C \right) I_a + \left(1 / C^1 \right) (I_b - I_a) \\ L \left(d^2 I_b / dt^2 \right) &= - \left(1 / C^1 \right) (I_b - I_a) - \left(1 / C \right) I_b \end{aligned} \quad (7)$$

Şeklinde yeniden yazılabilir.

Görüldüğü gibi bu denklemler çiftlenimlidir. Bu nedenle normal koordinatları arayarak çözmeye çalışalım. Bunun için (7) denklemlerini taraf tarafa toplar, taraf tarafa çıkarır ve

$$\begin{aligned} I_1 &= I_a + I_b \\ I_2 &= I_a - I_b \end{aligned} \quad (8)$$

Tanımlarını yaparsak

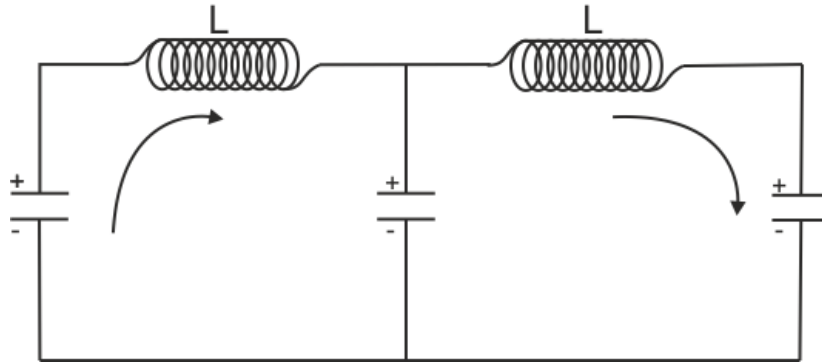
$$\begin{aligned} \left(d^2 I_1 / dt^2 \right) + w_1^2 I_1 &= 0 \\ \left(d^2 I_2 / dt^2 \right) + w_2^2 I_2 &= 0 \end{aligned} \quad (9)$$

denklemlerini buluruz. Burada kip frekanslarının

$$\begin{aligned} w_1^2 &= 1 / LC \\ w_2^2 &= 1 / LC + 2 / LC^1 \end{aligned} \quad (10)$$

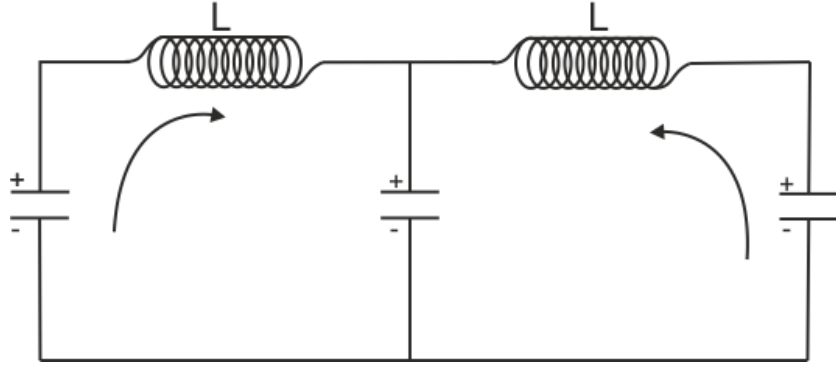
şeklinde olacağı açıktır.

Şimdi kip şekillenimlerini kestirebilmek için çiftlenimli yay- kütle sistemini göz önüne alalım. çiftlenimli yay- kütle sisteminin ilk kipinde ortadaki yayın sıkışıp gerilmeden sanki hiç yokmuşçasına davrandığını, her iki kütleinde aynı yönde hareket ettiğini göz önüne alırsak, çiftlenimli L-C devresinin 1. Kipinin kip şekilleniminin Şekil 7.2 'deki gibi olacağı kolayca bulunur.



Şekil 7.2 çiftlenimli L-C devresinin kip 1 şekillenimi

Çiftlenimli yay-kütle sisteminin 2.kipte tamamen simetrik bir hareket yaptığını, ortadaki yayın sıkışıp bir gevşediğini göz önüne alırsak, çiftlenimli L-C devresinin 2.kip şekilleniminin de Şekil 7.3 'deki gibi (akımlar zıt yönde) olacağı açıktır.



Şekil 7.3 Çiftlenimli L-C devresinin kip 2.şekillenimi.

(9) denklemlerinin çözümlerine gelince : Bunların

$$\begin{aligned} I_1 &= A_1 \cos (w_1 + \phi_1) \\ I_2 &= A_2 \cos (w_2 + \phi_2) \end{aligned} \quad (11)$$

Şeklinde olacağı kolayca gösterilebilir. Böylece

$$\begin{aligned} I_a &= A_1 \cos w_1 t + A_2 \cos w_2 t \\ I_b &= A_1 \cos w_1 t - A_2 \cos w_2 t \end{aligned} \quad (12)$$

Bulunur. $(\phi_1 = \phi_2)$ seçtik. Şimdi (12) bağıntılarını biraz daha farklı formda yazmaya çalışalım. Bunun için

$$\begin{aligned} w_{ort} &= \{ (w_1 + w_2) / 2 \} = (1 / \sqrt{LC}) \{ 1 + (C / 2C^1) \} \\ w_{mod} &= \{ (w_1 - w_2) / 2 \} = (C / 2C^1) w_1 \end{aligned} \quad (13)$$

tanımlarını yapalım. Eğer genlikleri de birbirine eşit seçersek yani $A_1 = A_2 = A$ ise

$$\begin{aligned} A_{mod}(t) &= 2A \cos w_{mod} t \\ B_{mod}(t) &= 2A \sin w_{mod} t \end{aligned} \quad (14)$$

Olmak üzere (12) denklemleri

$$\begin{aligned} I_a &= A_{mod}(t) \cos w_{ort} t \\ I_b &= B_{mod}(t) \sin w_{ort} t \end{aligned} \quad (15)$$

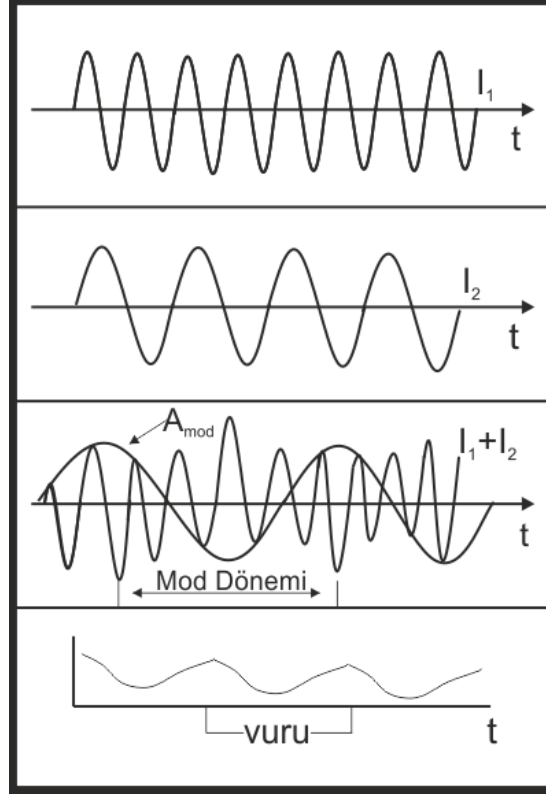
Şeklinde yeniden yazılabilirler. Ancak artık $A_{mod}(t)$ ve $B_{mod}(t)$ genliklerinin sabit olmadığı açıktır. Bununla beraber $w_1 = w_2$ durumunda $w_{mod} \ll w_{ort}$ olacağı için bir kaç salınım boyunca bu genlikler sabit kabul edilir. Bu durumda sistemin w_{ort} frekansı ile **hemen hemen harmonik** salınım yaptığını söyleyebiliriz. Öte yandan çiftlenimli sarkaç ya da yaylarda olduğu gibi çiftlenimli L-C devresi için de vuru olayını gözlemek mümkündür ve vuru frekansı

$$\omega_{vuru} = 2\omega_{mod} = \omega_2 - \omega_1 \quad (16)$$

şeklinde tanımlanır. Böylece (13) bağıntısının da yardımıyla

$$\omega_{vuru} = (C / C^1) \omega_1 \quad (17)$$

bulunur.



Şekil 7.4 Eşit genlikli iki akım için vuru olayının grafik gösterimi.

Zorla Salınım: Eğer çiftlenimli L-C devresi $V(t) = V_0 \cos \omega t$ gerilimi ile sürülüyorsa (9) homojen denklemlerinin

$$\begin{aligned} (d^2 I_1 / dt^2) &= -\omega_1^2 I_1 + (F_0 / L) \cos \omega t \\ (d^2 I_2 / dt^2) &= -\omega_2^2 I_2 + (F_0 / L) \cos \omega t \end{aligned} \quad (18)$$

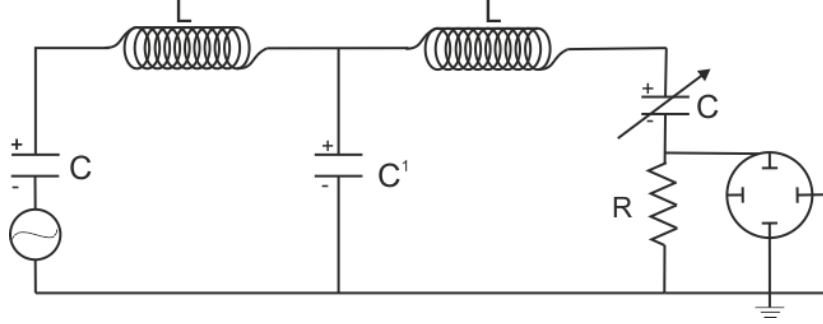
şeklini alacağı kolayca görülür. Öte yandan denklemlerin homojen olmayan çözümlerinin

$$\begin{aligned} I_1(t) &= \left\{ F_0 / L (\omega_1^2 - \omega^2) \right\} \cos \omega t \\ I_2(t) &= \left\{ F_0 / L (\omega_2^2 - \omega^2) \right\} \cos \omega t \end{aligned} \quad (19)$$

şeklinde olacağını göstermek kolaydır. Böylece (18) denklemlerinin en genel çözümlerinin (11) ile (19) çözümlerinin toplamı olacağı açıktır.

DENEYİN YAPILIŞI

I - Serbest Salınımlar: Çiftlenimli L-C devresinin serbest salınımlarını incelemek için Şekil 7.5' deki devre yardımıyla önce osiloskopta gözlenen eğri için alış-veriş (vuru) periyodunu ölçünüz. Ölçme işlemini her öğrenci ayrı ayrı yaptıktan sonra değerleri Tablo 7.1' e yazınız ve sonuçları teorik değerlerle karşılaştırınız.



Şekil 7.5

Tablo 7.1

	DeneySEL			Ortalama	Teorik
T					
$w = 2\pi / T$					

L =

R =

C =

C' =

II - Zorla Salınımlar: Bu kez Şekil 7.5' deki devrenin sinüsel bir sürücü gerilime karşı tepkisini inceleyelim. Bu devre yardımıyla osiloskopta sin eğrisine benzer bir eğri elde ettikten sonra sinyal üreticinin frekansını değiştirerek (her 100 sn⁻¹ aralıkla) karşı gelen gerilimi ölçünüz. Değerleri Tablo 7.2' ye yazınız. Sistemin serbestlik derecesi iki olduğu için frekansta iki maksimum değer gözlenmelidir. Bunlar sistemin kiplerine karşılık gelir. Bu değerler denklem (10) 'dan bulunacak teorik değerlerle ne kadar uyushmaktadır?

(w₁) deney =

(w₂) deney =

(w₁) teorik =

(w₂) teorik =

Tablo 7.2

$\nu \text{ (sn}^{-1}\text{)}$	ν_1	ν_2	ν_3	ν_{ort}

SORULAR

1. Serbest salınımları incelerken kullanılan devrede C^1 sığası devreden çıkarılırsa ne olur? Kısa devre yapılırsa ne olur?
2. Zorla salınımlarda kiplere karşı gelen frekansları osiloskoptaki eğri yardımıyla nasıl ölçebilirsiniz.
3. Sürücü frekansı serbest salınım frekanslarından birine yakinken ne olur?

DENEY 8

A-SESİN HAVADAKİ HIZININ SICAKLIĞIN BİR FONKSİYONU OLARAK BELİRLENMESİ:

Deneyin amaçları:

1. Oda sıcaklığında, sesin havadaki hızının c ölçülmesi.
2. Sıcaklığın v bir fonksiyonu olarak havadaki ses hızının c ölçülmesi
3. $c = f(v)$ doğrusal fonksiyonunun grafiğinin çizilmesi ve grafiğin eğiminin belirlenmesi.

Teorik Bilgi:

Ses dalgaları, katı, sıvı veya gaz ortamlarında yayılabilen mekanik dalgalarıdır. Dalgaların yayılma hızı, bulundukları ortamın özelliğine bağlıdır. Ses dalgası bir ortamda yayılırken ortamın parçacıkları (molekülleri) dalgaanın hareket doğrultusu boyunca yoğunluk ve hacim değişikliklerine uğrayarak titreşirler. Bu titreşim hareketi, denge konumundan itibaren her bir molekülün boyuna yer değiştirmesini sağlar. Bu durum sıkışma ve genişleme şeklinde yüksek ve alçak basınç bölgelerinin oluşmasına yol açar. Örneğin; ses dalgası kaynağı sinüsel olarak titreşirse, basınç değişimleri de sinüsel olur.

Gazlarda ses hızı v için, aşağıdakiler geçerlidir:

$$v = \sqrt{\frac{K}{\rho}}$$

(K : hacim modülü , ρ : yoğunluk) Ses dalgasında basınçtaki değişimler adyabatiktir. (Laplace, 1816), hacim modülü şöyle verilir:

$$K = p \cdot \kappa$$

(p : basınç, κ : adiabatik üs)

Böylece, ses hızı v için, şunları söyleyebiliriz:

$$v = \sqrt{\frac{p \cdot \kappa}{\rho}} \quad (1)$$

İdeal gaz için, aşağıdakiler geçerlidir:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} \quad (2)$$

(c_p , c_v : gazların öz ısılarıdır.)

Basıncın, yoğunluğa oranının sıcaklığa bağlılığını veren ifade;

$$\frac{p}{\rho} = \frac{p_0}{\rho_0} \cdot (1 + \alpha \cdot \theta) \quad (3)$$

şeklindedir, burada $\alpha = \frac{1}{273 \text{ } ^\circ\text{C}}$ dır.

Bu ifadeyi Denklem (3)'de yerine koyarsak θ 'nin küçük değerleri için aşağıdaki ifade elde edilir:

$$v_\theta = v_0 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{2} \cdot \theta\right)$$

(4)

Bu deneyde, bir ses pulsunun havada yayılma hızını belirleyeceğiz. Ses pulsunda grup ve faz hızları sesin hızına özdeştir. Ses pulsı ani değişen voltaj farkıyla hoparlör membranının titreşiminden

meydana gelir. Bu hareket havada basınç değişimine neden olur. Bu ses pulsu hoparlörden belli bir mesafede bulunan mikrofon tarafından alınır. Ses hızı v yi belirlemek için, pulsun hoparlörde üretilme anından mikrofon tarafından algılanıncaya kadar geçen süreyi t ölçeriz. Ses pulsunun üretildiği yer tam nokta olarak hoparlörde tespit edilemediğinden iki ölçüm yapılır, birisi mikrofonun bulunduğu s_1 noktası diğeri s_2 noktası. Sesin hızı, yol farkı $\Delta s = s_1 - s_2$ ve buna karşılık gelen geçiş zamanı farkı $\Delta t = t_1 - t_2$ den $v = \Delta s / \Delta t$ olarak bulunur.

Cihaz, ölçümü etkileyebilecek, ısı değişimi veya hava konveksiyonu gibi ölçümü etkileyebilecek çevresel etkilerden yalıtılmıştır. Cam boru içindeki havayı ısıtıcıyla ısıtalım. Bu sistemde basınç p sabit kalır (buradaki değeri açık hava basıncı). T sıcaklığı arttıkça, yoğunluk ρ azalır ve dolayısıyla ses hızı artar.

Araç ve Gereçler:

Ses ve hız aparatı.

Ses ve hız aparatı için sehpa.

Geniş bant hoparlör.

Çok amaçlı mikrofon.

CASSY paketi

Disk: Ölçme ve Değerlendirme (CASSY paketi için).

Tek girişli dijital termometre.

NiCr-Ni sıcaklık sensörü.

Transformatör 12 V, 3.5 A .

DC voltaj kaynağı yaklaşık 5 V DC örneğin pil kutusu ve 3 Adet pil.

2 adet ayak.

Metal metre.

Bunlara ek olarak 1 Adet bilgisayar.

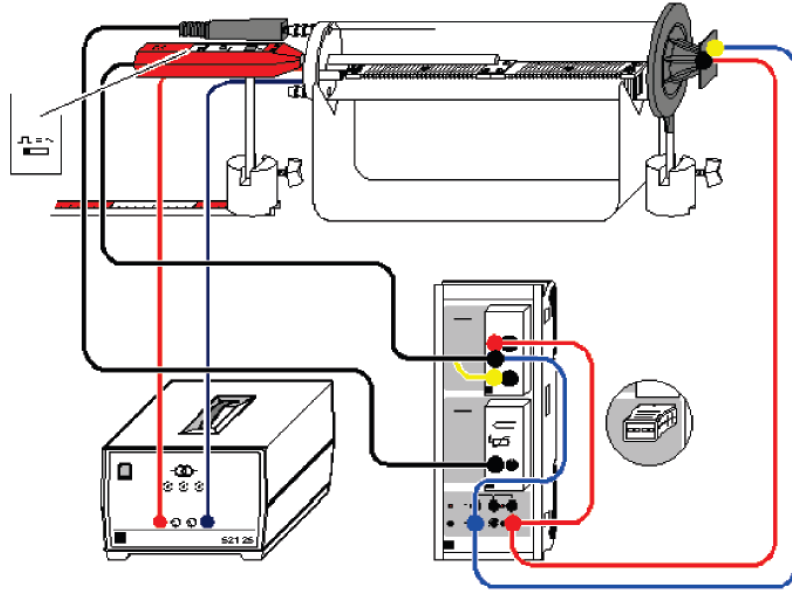
Deneyin Kurulumu: (Bakınız Şekil 1)

- 1) Isıtıcının fişlerini ses hız aparatının kapağındaki ilgili yere takınız.
- 2) Plastik tüpü sehpanın üzerine koyunuz, geniş band hoparlörü keçeleri tamamen kapatacak şekilde mümkün olduğunca sonuna kadar iterek düzgün bir şekilde yerleştiriniz.
- 3) Çok amaçlı mikrofonu hareket ederken plastik tüpe paralel kalacak şekilde, s_1 konumundan yaklaşık 1 cm mesafede kapağın merkezindeki deliğe yerleştiriniz. Çok amaçlı mikrofon üzerindeki anahtarı “trigger” moduna (kare dalga şekline) getiriniz.
- 4) Metal metreyi tam olarak çok amaçlı mikrofonun altına yerleştiriniz.(Bkz. Şekil 1)
- 5) Kablo bağlantılarını şekildeki gibi yapınız.
- 6) Programdan ilgili deneyi yükleyiniz. (Programı açınca help menüsünden Experiment examples / Physics / Velocity of sound in air / Şeklin altındaki Load settings butonu tıklayarak dosyayı açınız. Aktivasyon dosyasını kapatınız.)

UYARI: Plastik tüp aşırı sıcaklıklardan tahrip olabilir.

Plastik tüp içindeki havanın sıcaklığını 80°C nin üzerine çıkartmayın.

Isıtma filamanı için 25 V (yaklaşık 5 A) izin verilen maksimum gerilimi aşmayın.



Şekil 1

Deneyin Yapılışı:

a) Oda sıcaklığında Ölçüm:

- 1) CASSY Lab 2 programında **Window** menüsünden **Show Measuring Parameters** i tıklayınız, **Sensör-CASSY 2** den **Voltage source S₁** i tıklayınız. **Recording** de **Manual** den **Automatic** e geçiş yapınız. **Meas. Time** 50 s **interval** 100 ms şeklinde ayarları yapınız.
- 2) Mikrofonu plastik tüpün kapağından 1 cm kadar içeriye (s₁ konumu) itiniz. Metal metreden üzerine koyduğunuz mikrofon ayağının bir noktasını referans olarak s₁ konumunu belirleyiniz. Mikrofonun açma düğmesinden açınız. Deney esnasında ölçüme ara verdiğiniz zamanlarda kendiliğinden kapanacağından tekrar açınız.
- 3) Ölçüm için **Measurement** menüsünden **Start/ Stop Measurement** tıklayınız. Ölçüm işlemi tamamlandığında (üstte çalışan kronometre durduğunda) ölçülen geçiş zamanlarının ortalamasını bulmak için grafik ekranından Δt_{A1} seçilir, sağ tuşla açılan yerden **Draw Mean** tıklanır. Verilerin başlangıç ve bitiş noktaları üzerine tıklanarak ortalama alınan aralık seçilir. Ortama değeri hata payı ile birlikte ekranın alt kısmında görebilirsiniz. Bu değer sizin t₁ sürenizdir.
- 4) Mikrofonu bu kez plastik tüp içinde her hangi bir noktaya getiriniz (s₂ konumuna). Metal metreden yine aynı referans noktasını alarak s₂ konumunu belirleyiniz. 3. basamaktaki işlemleri bu kez mikrofonun bu s₂ konumu için tekrarlayınız. Bulacağınız ortalama değer sizin t₂ süreniz olacaktır.
- 5) Sesin oda sıcaklığında havadaki hızını, yol farkı $\Delta s = s_1 - s_2$ ve buna karşılık gelen geçiş zamanı farkı $\Delta t = t_1 - t_2$ den $v = \Delta s / \Delta t$ olarak hesaplayınız.
- 6) Hesapladığınız bu hız ifadesini bir yere kaydediniz.

b) Sıcaklığının bir fonksiyonu olarak hız ölçümü:

- 1) Mikrofonu tekrar s₁ konumuna çekiniz. Aynı yöntemle geçiş zamanını ölçünüz. Bulacağınız geçiş zamanının ortalamasından yukarıda hesapladığınız sesin oda sıcaklığındaki hızı c kullanılarak $c \Delta t_{A1}$ den s değeri hesaplanır. Bulunan bu değeri CASSY Lab 2 programına

kaydetmek için **Window** menüsünden **Show Measuring Parameters** i tıklayınız, **Calculator** 'u açınız, **Parameter** i tıklayınız açılan **Path S** yi tıklayınız. Açılan yerde **Value** kısmına hesapladığınız s değerini birimine dikkat ederek giriniz. Ölçüm süresini **Meas. Time** 350 s ve veri alma aralığını **interval** 100 ms olarak kaydediniz.

- 2) Isıtıcının güç kaynağına (yaklaşık 12 V, 3.5 A bu bağlantı için (12 V için) güç kaynağının en sağındaki ve en solundaki çıkışlar kullanılır) bağlantısını, hız ve ses aparatının kapağındaki uygun yerleri kullanarak kablolarla yapınız ve güç kaynağını açınız. Plastik tüp içindeki havanın sıcaklığını 80 ° C nin üzerine çıkartmayın.
- 3) Ölçüm için **Measurement** menüsünden **Start/ Stop Measurement** tıklayınız. Ölçüm işlemi tamamlandığında (350 s sonunda) güç kaynağı kapatılır.Yoksa plastik tüp aşırı sıcaklıklardan tahrip olabilir.
- 4) CASSY Lab 2 programında **Window** menüsünden **Show Measuring Parameters** i tıklayınız, **Displays** den **Standart** ' ı tıklayınız. Standart'tan **c(t)** 'yi seçiniz. Göreceğiniz Curve menüsünde x-axis'i (x eksenini) \mathcal{G}_{B11} olarak y eksenini c olarak seçiniz. Elde ettiğiniz grafiğin üzerinde mouse'da sağ tıkla **Fit Function / Best-fit Straight Line** 'ı seçip elde ettiğiniz grafiğe doğru uydurmuş olursunuz. Bu doğrunun denklemi $y(x)=A+Bx$ şeklindedir. Buradaki sabitler ile denklem (IV) $v_g = v_0 \cdot \left(1 + \frac{\alpha}{2} \cdot \mathcal{G}\right)$ arasında ilişki kurarak herhangi bir sıcaklıkta örneğin 100 °C de vs. ses hızını elde ediniz.

B- KUNDT BORUSU İLE DURAN SES DALGALARININ DALGA BOYUNUN ve HIZININ BELİRLENMESİ:

Deneyin amaçları:

- 1) Duran ses dalgalarında karın ve düğüm noktalarının saptanması
- 2) Farklı uyarma frekanslarında (f) karın veya düğüm noktaları arasındaki mesafelerden dalga boyunun (λ) belirlenmesi
- 3) Duran ses dalgalarında ses hızının hesaplanması

Kullanılacak Araç ve Gereçler:

Ses ve hız aparatı.
Ses ve hız aparatı için sehpa.
Geniş bant hoparlör.
Çok amaçlı mikrofön.
Metal metre
Sinyal Üreteci
Osilokop

Teorik Bilgi:

Kundt borusu 1866'da Alman fizikçi August Kundt tarafından ses hızının ölçümü amacıyla tasarlanmıştır. Kundt borusunun çalışma prensibi duran dalgalara dayanmaktadır. Zıt yönlerde yayılan boyuna dalgalar arasındaki girişimin bir sonucu olarak, boru şeklinde hava taşıyan bir tüpte, kararlı dalgalar oluşturulabilir. Gelen dalga ve bir uçtan yansıyan dalga arasındaki faz bağıntısı, borunun ucunun açık ya da kapalı olmasına bağlıdır. Bu bağıntı, bağlı ve serbest uçlu bir telde yayılan ve uçlarından yansıyan enine dalgalar arasındaki faz bağıntısına benzer.

Bir ucu kapalı boruda, **kapalı uç bir yerdeğiştirme düğümüdür. Çünkü bu uçtaki duvar (kapalı uç) hava moleküllerinin enine hareketine izin vermez.** Sonuç olarak hava borusunun kapalı ucundan yansıyan dalga ile gelen dalga arasındaki 180° faz farkı vardır. Dahası, basınç dalgası ile

öteleme dalgası arasında 90° lik faz farkı olduğundan; **hava sütununun kapalı ucu, basınç dalgasının karın noktasına karşılık gelir** (yani, maksimum basınç değişiminin bir noktasıdır).

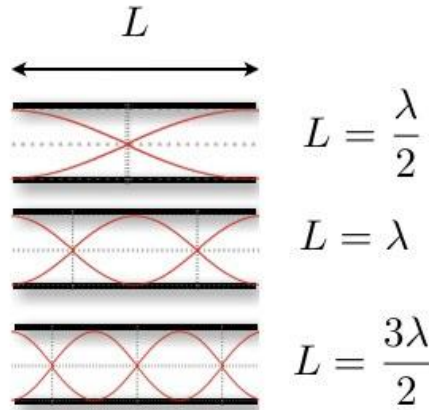
Hava sütunun açık ucu, yaklaşık olarak bir yerdeğiştirme karın bölgesi ve bir basınç düğümüdür. Biz hava sütununun ucunun atmosfere açılmasını dikkate alarak neden açık uçta basınç değişiminin olmadığını anlayabiliriz; o halde, açık uçtaki basınç, atmosfer basıncında sabit olmalıdır.

Bir ses dalgasının açık uçtan yansıması, bu noktadaki ortamda bir değişiklik açıkça görülemediğinden tuhaf gelebilir. Bu o kadar gerçektir ki, ses dalgasının hareket ettiği ortamın borunun dışında ve içinde hava olmasındandır. Sesin bir basınç dalgası olduğunu hatırlayın. O halde ses dalgasının sıkışma bölgesi, borunun içi kadar, borunun cidarlarıyla sınırlıdır. Borunun açık ucunda sıkışmış bölge mevcut olurken, sınırlama kaldırılır ve sıkışmış hava atmosfere çıkar. Ortamı meydana getiren maddede bir değişiklik olmamasına rağmen borunun içi ve dışı arasındaki ortamın karakterinde bir değişiklik vardır. Karakterdeki bu değişiklik bir yansıma olması için yeterlidir.

İki ucu açık olan borudaki ilk üç titreşim kipi aşağıdaki şekilde görülmektedir. Soldan hoparlör havayı titreştirerek boyuna duran dalgalar oluşturulur ve boru doğal frekansları ile rezonansa gelir. Tüm titreşim kipleri aynı anda meydana gelirler (tüm kipler aynı genlikte olmamasına rağmen). Uçların yerdeğiştirme karınları olduklarına dikkat edin (yaklaşık olarak). İlk normal kipte, duran dalga iki komşu karın arasında yer alır ve uzunluğu yarım dalga boyudur. Bu şekilde dalgaboyu, borunun iki katı uzunluktadır ve böylece f_1 temel frekansı $f_1 = v/2L$ ile verilir. Yüksek harmoniklerde $2f_1$, $3f_1$, ... olur. O halde denilebilir ki **her iki ucu bir boruda, salınımın doğal titreşim frekansları bir harmonik seri oluşturur. Yani yüksek harmonikler doğal salınımın tam katlarıdır.** Doğal titreşimlerin frekanslarını

$$f_n = n \frac{v}{2L} \quad n = 1, 2, 3, \dots$$

olarak ifade edebiliriz.

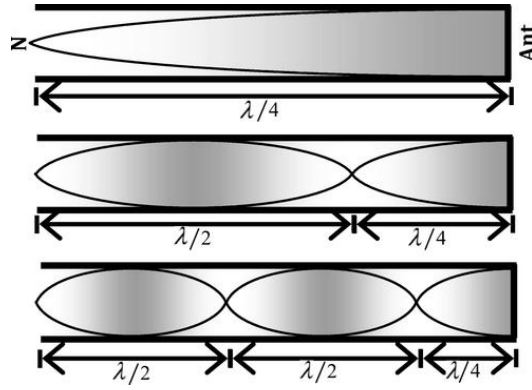


Şekil 8.1 İki ucu açık boruda ilk üç mod

Borunun bir ucu açık diğer ucu kapalı ise kapalı uç bir yer değıştirme düğümüdür.(Bkz. alttaki şekil). Bu haldeki temel kipteki kararlı dalga, bir karından dörtte bir dalgaboyu uzaklıktaki düğümüne uzanır. Böylece birinci normal kipi dalgaboyu $4L$ dir ve temel frekans $f_1 = v/4L$ 'ye eşit olur. Şekilde görüldüğü gibi koşullarımızı sağlayan yüksek frekanslı dalgalar, kapalı uçta bir düğümüne ve açık uçta bir karına sahip olanlardır. Bu Yüksek harmoniklerin $3f_1$, $5f_1$, ... frekansına sahip olduğunu ifade eder. **Bir ucu kapalı ve diğer ucu açık bir boruda, salınımın doğal titreşim frekansları bir harmonik seri oluşturur. Bu seri temel frekansların sadece tek sayı katlarını içerir.** Bu sonucu matematiksel olarak

$$f_n = n \frac{v}{4L} \quad n = 1, 3, 5, \dots$$

ile tanımlayabiliriz.



Şekil 8.2 Bir ucu kapalı öteki ucu açık boruda ilk üç mod

Deneyin Yapılışı:

Şekil 8.1 deki deney düzeneğinden plastik tüpteki sıcaklık sensörünü çıkartınız ve plastik tüpteki bütün kablo bağlantılarını sökünüz. Mikrofonunun osiloskoba, sinyal üreticini ise hoparlöre bağlantılarını uygun şekilde yapınız. Osiloskopu ve sinyal üreticini açınız. Sinyal üreticinden hoparlöre sinüs dalgası ayarında belli bir frekansta (1- 5 kHz arasında) gerilim uygulayınız. Osiloskopta gerekli ayarlamaları yaparak ekranında dalga şeklini elde ediniz. Mikrofonu plastik tüp içerisinde, tüpe paralel bir şekilde hareket ettirirken osiloskoptan gözlediğiniz dalganın genliğinin maksimum ve minimum olduğu durumlar göreceksiniz. İki minimum arasındaki mesafeyi (d) mikrofonun altındaki metal metreden ölçünüz. Buna göre aşağıdaki tabloyu doldurunuz. Ölçümünüz farklı frekans değerleri için tekrarlayınız.

Frekans f (kHz)	Mod Sayısı (n)	Uzunluk d (cm)	Dalga Boyu λ (cm)	Sesin Hızı $v = f \lambda$ (m/s)

Vort=

DEĞERLENDİRME SORULARI

1. Ses dalgaları hakkında bilgiler veriniz, seslerde en kullanışlı frekans aralığı nedir?
2. Osiloskopta gözlediğiniz sinüs dalgasını kağıt üzerine çizerek, yaptığınız deneyde max. ve minimuma denk gelen kısımları gösterebilir misiniz?

DENEY-9

IŞIK HIZI ÖLÇÜMÜ

Deneyin amaçları:

1. Işığın havadaki hızının belirlenmesi.
2. Işığın sudaki hızının belirlenmesi ve kırılma indisinin hesaplanması.
3. Işığın akrilik camdaki hızının belirlenmesi ve kırılma indisinin hesaplanması.

Araç ve Gereçler:

Işık hızı ölçüm cihazı,
2 Adet BNC kablo,
25 MHz 2 Kanallı Osiloskop,
Akrilik cam,
Boru Şeklindeki Su Kabı.

Teorik Bilgi:

Deneyin çalışma prensibi yüksek frekansla modüle edilmiş ışık şiddetinin verici ve alıcı arasındaki faz ifadelerinin karşılaştırılmasına dayanmaktadır. Işık hızı ışığın aldığı yol ve fazındaki değişim arasındaki bağıntıdan (ilişki) hesaplanır.

Maxwell denklemlerinden ışık hızı şu şekilde elde edilir:

$$c = \frac{1}{\sqrt{\epsilon_0 \mu_0}}$$

Burada $\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}$ boşluğun elektriksel geçirgenliği, $\mu_0 = 1.257 \cdot 10^{-6} \frac{H}{m}$ boşluğun manyetik geçirgenliğidir. ϵ ve μ ise sırasıyla ortamın elektriksel ve manyetik geçirgenliğidir. Ortamın kırılma indisi ışığın boşluktaki hızının, ışığın ortamdaki hızına oranıdır.

$$n = \sqrt{\epsilon \cdot \mu}$$

En saydam maddeler için $\mu = 1$ dir.

Atom ve moleküllerin doğal titreşimlerinden bağıl geçirgenlik ve dolayısıyla kırılma indisi frekansa bağlıdır (dağınım). Deneyde kırmızı ışık kullanılacaktır. Vericiden çıkan ve alıcıda algılanan sinyaller arasındaki faz ilişkisi osiloskopta Lissajous eğrilerinden de anlaşılır. Eğer düz bir çizgi ise ve eğim pozitifse faz farkı 0° dir, eğim negatif ise faz farkı 180° (π rad) dir.

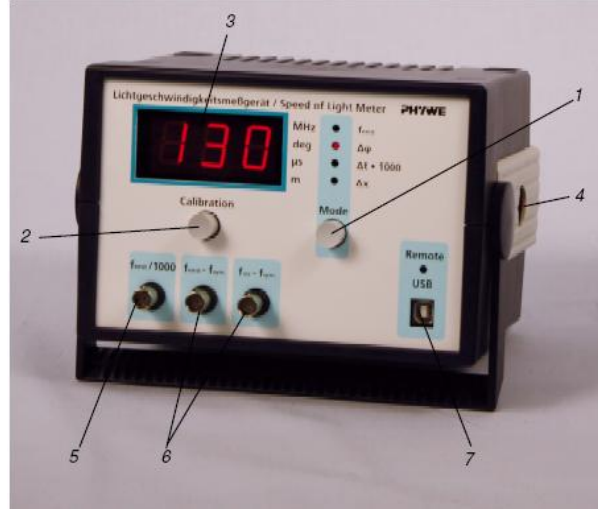
Işık Hızı Ölçüm Cihazı:

Işık hızı ölçüm cihazı, havada, şeffaf sıvılarda yada şeffaf katı ortamlarda görünür ışığın yayılım hızını belirlememizi sağlar. Işık kaynağı, şiddeti yüksek frekanslı (yaklaşık 50 MHz) alternatif voltajla modüle edilmiş lazer diyottur. Işık ışını kaynağından çıktıktan sonra retro-reflektöre çarpar, bu reflektör uygun bir şekilde yerleştirilmişe ışını bir foto-diyot üzerine yönlendirir. Foto-

diyot üzerine orijinal sinyalle yine aynı frekansta fakat ışığın kat ettiği yola bağlı olarak orijinal sinyalle karşılaştırıldığında fazında bir değişim olan ışın düşmektedir.

Işık hızı ölçüm cihazı bir optik rayın üzerine monte edilmiş bir taşıyıcının üzerindedir. Optik rayın üzerindeki manyetik film taşıyıcıların stabil bir konumda kalmasını ve sadece yatay yönde hareket ettirilebilmesini sağlar.

Işık hızı ölçüm cihazında ayrıca 50.1 MHz olan modülasyon frekansı yaklaşık 50 KHz'e düşürülür, böylece alıcı ve verici sinyalleri osiloskopta gözlenebilir.



Şekil 9.1 Işık Hızı Ölçüm Cihazı

Deneyde kullanacağınız ışık hızı ölçüm aparatı şu kısımlarda oluşmaktadır.

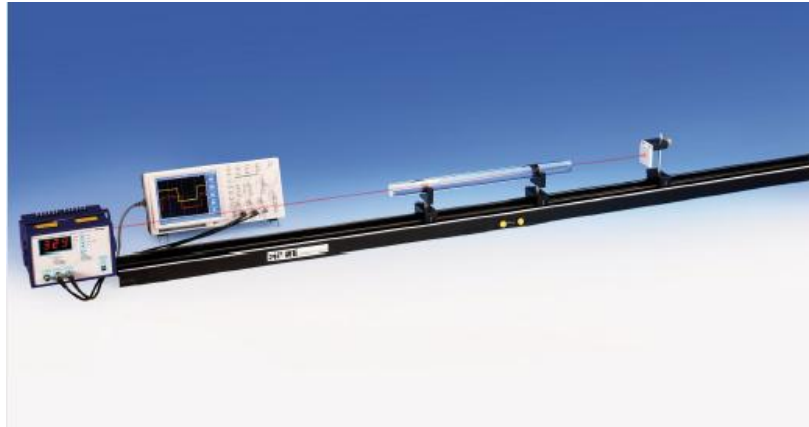
- 1) Mod Tuşu: Beş farklı modda modlar arasında geçiş sağlar, daha doğrusu hangi moda olduğunuzu ekranda gösterir. Aktif olan modun LED'i kırmızı olarak yanar. Bu modlar;
 - a) OFF
Bu başlangıç modu. En kısa sürede gerilim alet uygulanır olarak aktiftir. Lazer kapalı, dijital gösterge OFF gösterir, her LED kapalıdır.
 - b) f_{emit}
Yayımlanan lazer ışığının modülasyon frekansı görüntülenir.
 - c) $\Delta\phi$
Bu modda, yayımlanan ve alınan sinyaller arasındaki faz farkı görüntülenir. Çözünürlük 1 derece, değer aralığı 0 ila 359 derece.
 - d) $\Delta t \cdot 1000$
Sinyalin varış zamanı, faz kayması ve modülasyon frekansından doğrudan hesaplanır ve gösterilir. Hesaplanan bu değer geçiş zamanının 1000 katıdır. Gerçek değeri ekranda okuduğunuz rakamı nanosaniye olarak bulursunuz
 - e) Δx
Bu mod iki konum arasındaki mesafeyi ölçmek için uygundur. Burada retro-reflektörün yer değiştirmesi Δx , literatürdeki ışık hızı ve geçiş zamanı Δt kullanılarak hesaplanır. (Bu yüzden bu modu değilde optik raydaki cetveli referans alınız.)
- 2) Kalibrasyon Tuşu
Kalibrasyon tuşuna basıldığında ışık hızı ölçüm aparatı retro-reflektörün bulunduğu noktayı başlangıç noktası olarak tanır $\Delta x = 0 m$. Bu noktada faz farkı ve zamanda sırlanmış olur. (

$\Delta\phi = 0$ ve $\Delta t \cdot 1000 = 0$ olur.). Işık hızı ölçüm aparatı açıldığında ekranda “CAL” yazısı yanıp sönecektir. Bu durumda ölçüme başlamadan önce kalibrasyon yapılmalıdır.

- 3) Dijital Gösterge
- 4) Lazer Işını Çıkış Açıklığı
(Dikkat: Cihaz çalışırken doğrudan lazer kaynağına bakmayınız.)
- 5) Modülasyon Frekansı BNC Soketi
- 6) Yayımlanan Sinyal / Alınan Sinyal BNC Soketleri
- 7) USB Bağlantı Soketi

Deneyin Kurulumu ve Yapılışı:

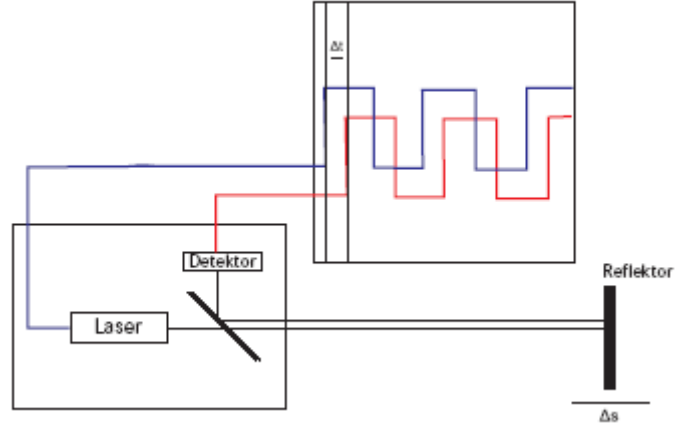
Ölçüm sonucunu etkileyecek olan termal etkiyle şiddet dalgalanmalarından kaçınmak için deneye başlamadan en az beş dakika önce lazeri açınız. Ölçümlerinizin hatasız olması için öncelikle ışık hızı ölçüm cihazından çıkan modüle edilmiş lazer ışığının deneyin her aşamasında retro-reflektörün tam orta noktasına düşmesini sağlamalısınız. Bunun için önce retro-reflektör, ışık hızı ölçüm cihazının hemen önüne konulup ışığın reflektörün orta noktasına, yansıyan ışığına foto-diyot üzerine düşmesi sağlanır, ardından retro-reflektör optik bencin en sonuna götürülerek lazer ışığının yine reflektörün orta noktasına, yansıyan ışığına yine foto-diyot üzerine düşmesi için gerekli ayarlamalar yapılır. Böylelikle gelen ve yansıyan ışık ışınları optik raya paralel olacak biçimde (aşağıda şekli gösterildiği gibi) ve alıcı diyoda maksimum sinyal ulaşacak şekilde düzenlenmiş olur.



Şekil 9.2 Işık hızı ölçümü deney düzeneği

1. Işığın havadaki hızı:

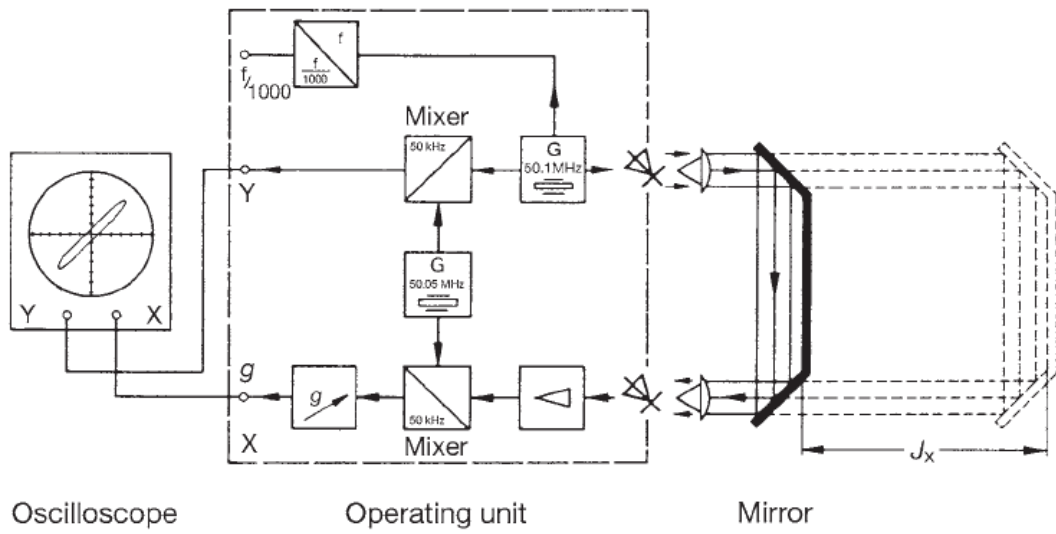
Her şeyden önce, retro-refrektor işletim ünitesine olabildiğince yakın olacak şekilde (ölçekte sıfır noktası) yerleştirilir. Osiloskobun X ve Y kanallarına yayımlanan ve alınan sinyal BNC çıkışları bağlanır. Şekil 9.3 de verildiği üzere faz kaymasına bakılır. Bunun için mod tuşundan $\Delta\phi$ seçilir, kalibrasyon tuşuna basılarak faz farkı bu noktada sıfır yapılır. Retro-refrektor faz farkı π kadar değişecek şekilde optik ray üzerinde kaydırılır. Mod tuşuna bir kez daha basılarak $\Delta t \cdot 1000$ moduna geçilip geçiş süresi nanosaniye olarak okunur. Aynanın yer değiştirmesi Δx optik raydaki cetveldен ölçülür. Ölçülen değerler aşağıdaki tabloya yazılır. Ölçümü farklı noktalardan başlatarak tekrarlayınız.



Şekil-9.3 Işık hızı ölçümü deney düzeneği çalışma prensibi

Ölçüm Numarası	Δl (m)	Δt (sn)	$c = \frac{\Delta l}{\Delta t}$ (m/sn)
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

Tablo 9.1



Şekil 9.4: Işığın havadaki hız ölçümünün deneysel şeması

Yapılmış deneyde 10 ölçümün ortalaması

$$c_L = (2.98 \pm 0.01) \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad (1)$$

Literatürdeki değer

$$c_L = 2.98 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad (2)$$

2. Su dolu tüp ve akrilik cam blokta ışığın hızı:

Yine retro-reflektor işletim ünitesine olabildiğince yakın olacak şekilde (ölçekte sıfır noktası) yerleştirilir. Su dolu tüp veya akrilik cam bloğu (deneyi hangisiyle yapıyorsanız) ışın yolu üzerine uç yüzeyleri optik eksene dik olacak şekilde yerleştirilir. Osiloskobun X ve Y kanallarına yayımlanan ve alınan sinyal BNC çıkışları bağlanır. Şekil 4 de verildiği üzere faz kaymasına bakılır. Bunun için mod tuşundan $\Delta\phi$ seçilir, kalibrasyon tuşuna basılarak faz farkı bu noktada sıfır yapılır. Retro-reflektor faz farkı π kadar değişecek şekilde optik ray üzerinde su dolu tüp veya akrilik cam bloğun arka kısmında kaydırılır. Mod tuşuna bir kez daha basılarak $\Delta t \cdot 1000$ moduna geçilip geçiş süresi nanosaniye olarak okunur. Aynanın yer değiştirmesi Δx optik raydaki cetveldен ölçülür. Tüpün veya bloğun uzunluğu ile birlikte ölçülen değerler not alınır. Ölçüm farklı noktalardan başlanarak tekrarlanır.

Işığın sudaki yada akrilik camdaki hızı c_M , havadaki hızı c_L ile karşılaştırılarak ölçülür (Bkz. Şekil 3). İlk ölçümde (ortam içinde) ışık l_1 uzunluğunu t_1 zamanında kat eder.

$$l_1 = 2x_1$$
$$t_1 = \frac{1}{c_L}(l_1 - l_m) + \frac{1}{c_M}l_m \quad (3)$$

İkinci ölçümde (ortam yok) ışık l_2

$$l_2 = l_1 + 2\Delta x \quad (4)$$

uzunluğunu,

$$t_2 = \frac{1}{c_L}(l_2 + 2\Delta x) \quad (5)$$

zamanında kat eder. Verici ve alıcı sinyal arasındaki faz ilişkisi her iki durumda da aynıdır böylece;

$$t_1 = t_2 + \frac{k}{f} \quad ; \quad k = 0, 1, 2, \dots \quad (6)$$

Böylece kırılma indisini;

$$n = \frac{c_L}{c_M} = \frac{2 \cdot \Delta x}{l_m} + 1 + \frac{k \cdot c_L}{f \cdot l_m} \quad (7)$$

Suda ölçülen mesafe $l_m = 1$ m böylece yukarıdaki ifadedeki 3. terim

$$k \cdot \frac{c_L}{f \cdot l_m} \cong 20 \cdot k \quad (8)$$

Kırılma indisinin beklenen büyüklüğünden

$$k = 0 \text{ ve buradan } t_1 = t_2$$

sonucuna varabiliriz.

Yapılmış deneyde sudaki ölçümlerden

$$n_{H_2O} = 1.335 \pm 0.002$$

$$c_{H_2O} = (2.23 \pm 0.01) \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad (9)$$

sonuçları elde edilmiştir. Literatürdeki değerler ise

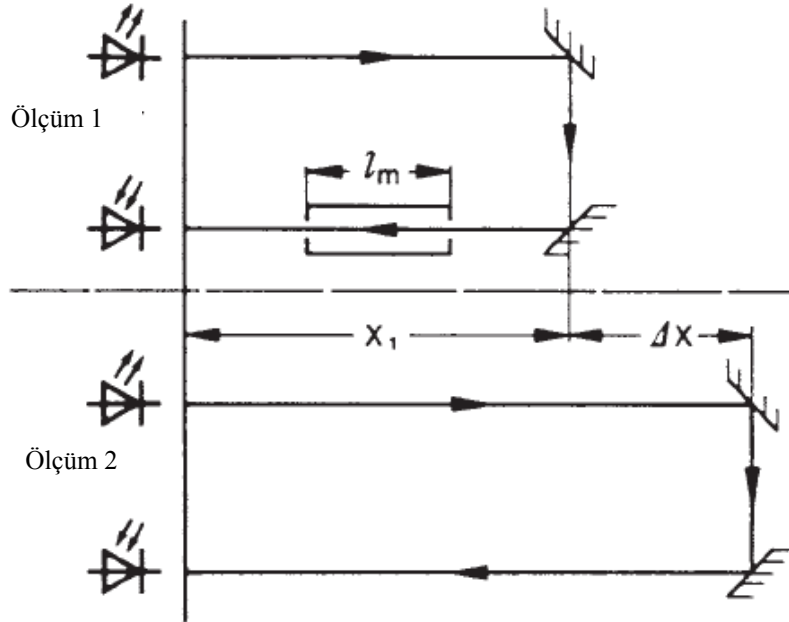
$$n_{H_2O} = 1.333$$

$$c_{H_2O} = 2.248 \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad (10)$$

Akrilik cam bloğu için elde edilen değerler ise

$$n_{Akrilik} = 1.497 \pm 0.003$$

$$c_{Akrilik} = (2.001 \pm 0.01) \cdot 10^8 \frac{m}{s} \quad (11)$$



Şekil 9.5: Başka ortamda ışık hızının ölçülmesi

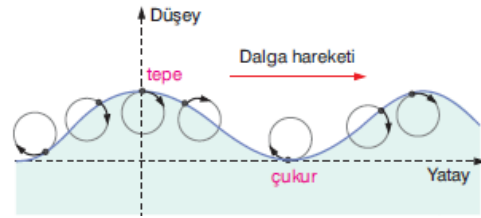
Deney 10

DALGA LEĞENİNDE İKİ BOYUTLU DALGALAR

Deneyin Amacı: Dalga Leğeninde iki boyutlu dalgaların davranışını (dalga yayılma hızının sadece ortama bağlı olduğunu), dalga boyunun frekansa bağlı olarak değişimini ve dalgaların yansıması, kırılması, kırınımı gibi bazı özelliklerini incelemek.

Genel Bilgi

Durgun su yüzeyi, su molekülleriyle oluşmuş gergin bir zar gibidir. Bu zarla oluşturulan şekil değişikliğinin ya da enerjinin ortam boyunca yayılmasıyla elde edilen dalgaya, *su dalgası* denir. Su dalgaları suyun yüzeyinde oluşup yayılır.

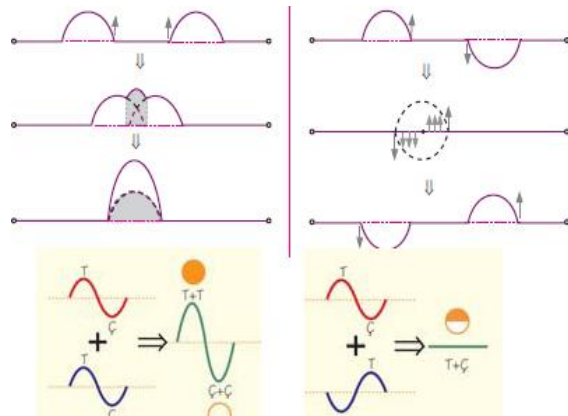


Suyun derinliklerini etkilemez. Su dalgaları su yüzeyinde yayıldıkları ve derinliklere inmedikleri için yüzey dalgaları olarak bilinir. Bundan dolayı fırtınalı bir denizde, deniz yüzeyindeki gemiler fırtınadan etkilenirken denizaltılar etkilenmez. Su dalgaları hareket ederken su yüzeyindeki parçacıklar, dairesel harekete benzer biçimde hareket eder.

Dalga hareketi titreşim (salınım) olayı ile yakından ilgilidir. Ses dalgaları, deprem dalgaları, gerilmiş yaydaki dalgalar ve su dalgaları gibi bütün dalgalar, titreşim kaynakları tarafından oluşturulur. Bir ses dalgası, hava gibi bir ortam içinde ilerlerken ortamın molekülleri ileri-geri titreşir. Su dalgaları da bir havuzda yayılırken, su molekülleri aşağı yukarı doğru titreşir.

a) Dalga Olayında Girişim:

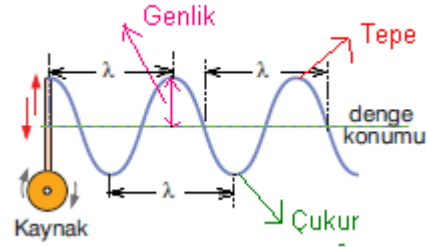
İki ya da daha fazla dalga bir noktayı aynı anda etkilemesiyle oluşan olaya girişim denir. Girişim olayını su dalgaları örneği ile açıklayabiliriz. Suyu bir taş atarsanız iç içe halkalar oluşur, benzer olarak suya daldırılmış iki çubuk düşünelim, bunlar elektrikli bir motor sayesinde devamlı iç içe halkalar oluştursun, o zaman bu iki kaynaktan gelen yuvarlak dalgalar birbirlerini birçok noktada



keser. Burada üç önemli olasılık vardır:

1. Dalga tepeleri üst üste gelince en yüksek noktalar oluşur.
2. Dalga çukurları üst üste gelince en çukur noktalar oluşur.
3. Bir dalganın tepesi ile diğerinin çukuru üst üste gelirse orada herhangi bir dalga hareketi gözlenmez.

Dalgaları tanımlamada, dalga boyu, frekans, periyot, dalganın hızı, uzanım ve genlik gibi temel özellikler kullanılır. Dalga olayları açıklanırken kullanılan matematiksel bağıntılar bütün dalgalar için genelde aynıdır. Ortam gerektiren dalgalarda, dalganın kaynağı ve ortamın cinsi, dalganın ilerlemesini etkiler.



- **Periyot(T):** Bir tam dalganın oluşması için geçen süredir. T ile gösterilir. Birimi saniye' dir. Periyodun büyük olması, bir tam dalganın oluşma süresinin büyük olması, küçük olması ise bir tam dalganın kısa sürede oluşması demektir. Dalgaların periyodu, yalnız kaynağa bağlıdır. Dalga ortam değişirse bile kaynak değişmediği sürece periyodu değişmez.
- **Frekans(f):** Birim zamanda dalga kaynağının oluşturduğu dalga sayısına denir. f ile gösterilir. Birimi s^{-1} dir. s^{-1} aynı zamanda Hertz' e eşittir.
- **Dalga boyu(λ):** Bir dalganın bir periyotluk zamanda aldığı yoldur. λ ile gösterilir. Birimi cm ya da Å(Angström)' dur. Dalga boyu, ardışık iki tepe arası ya da ardışık iki çukur arası uzaklık olabildiği gibi, aynı yönde hareket eden ardışık iki nokta arası uzaklıkta bir tam dalga boyudur.

Dalgalar eşit zaman aralıkları ile elde ediliyorsa bu dalgalara *periyodik dalga* denir. Periyodik olarak hareket eden bir dalgada, ardışık bir tepe ile bir çukur arası uzaklık ile baş yukarı bir atmanın yatay uzaklığı $\lambda/2$ ye eşittir. Dalganın birim zamandaki yer değiştirmesine *dalganın hızı* (v) denilirse dalga boyu;

$$\lambda = v f \quad (1)$$

bağıntısı ile hesaplanır.

Doğrusal ve Dairesel Atmalar

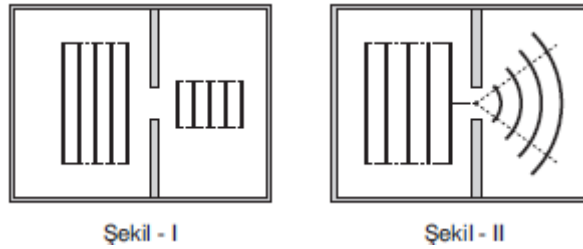
Su yüzeyindeki dalgalar, doğrusal dalga kaynağı ya da noktasal dalga kaynağı ile oluşturulabilir. Doğrusal dalga kaynağının oluşturduğu dalgalara *doğrusal dalgalar*, noktasal kaynağın oluşturduğu dalgalara da *dairesel dalgalar* denir. Su derinliğinin her yerinde aynı olduğu bir dalga leğenindeki doğrusal dalgalar, daima dalga tepesine dik doğrultuda yayılır. Dairesel dalgalar ise şeklini bozmadan devamlı genişleyen halkalar şeklinde yayılır. Dairesel

dalgalar daima yarıçap doğrultusunda her yöne doğru yayılır.

Su yüzeyindeki dalgaların yayılma hızı, suyun derinliğine bağlıdır. Derinlik arttıkça hız artar. Derinlik azaldıkça hız azalır. Su derinliği dalga boyuna göre az ise dalga hızı derinlik ile doğru orantılıdır.

b) Su Dalgalarında Kırınım:

Su dalgalarının dar bir aralıktan geçerken, sanki aralığın içindeki bir nokta kaynaktan çıkıyormuş gibi eğriselleşerek dairesel dalga biçiminde yayılmasına *su dalgalarının kırınımı* denir.



Şekil 5

Şekillerde, dalga leğenindeki bir aralığa, frekansı azaltılarak gönderilen dalgaların aralıktan geçişi görülmektedir. Aralık genişliği w , su dalgalarının dalga boyu λ iken, $\lambda > w$ ise kırınım olayı gerçekleşir. Kırınım olayının gerçekleşmesi için dalga boyu büyük, aralık genişliği küçük olmalıdır.

Dalga Leğeni: Aksesuarlarıyla birlikte komple dalga yayılım leğeni Şekil. 1’de gösterilmiştir.



Şekil 6.’ de gösterildiği gibi bir çizim tablası dalga yayıcı leğen ünitesi üzerine yerleştirilir. Dalga şeklini gözlemlemek için çizim tablasının üzerine yansıtma ekranı olarak bir tabaka beyaz kağıt ya da diyapozitif yerleştirilir.

Dalga yayılım leğeninin işlevleri

Dalga yayılım leğeninin özellikleri arasında bir kontrol paneli ve kullanılan ayarları göstermek

için bir LCD ekran bulunmaktadır.

LED: LED' in sabit olarak açık ve kapalı ve stroboskopik ışık arasında değiştirilmesi için kullanılır.

Vib: Titreşim jeneratörünü (dahili ve harici) açar ve kapatır.

Pulse: Bu düğmeye basıldığında jeneratör ünitesi içerisinde tek bir vuruş tetiklenir ve dalıcı kepçenin suya bir kez dalmasına neden olur. Düğme bırakıldığında dalıcı kepçe tekrar kendi başlangıç pozisyonuna tekrar geri döner.

Genlik: Titreşim jeneratörünün genliğini artırır (+) ya da azaltır (-) Seviye 1 ila 8 arasındaki genlik ayarlanabilir.

f : Jeneratörün frekansını 5 Hz ila 60 Hz arasında artırır (+) ya da azaltır (-).

Deneyin Yapılışı

A) Frekans ve Dalga Boyu Arasındaki İlişki

Araç ve gereçler: Dalga jeneratörü, daldırıcı, cetvel, kâğıt.

- 1) Bu deney hem düzlemsel hem de dairesel dalgalar kullanılarak incelenebilmektedir. Daha kolay ayarlanabilmesinden dolayı tekli daldırıcı kullanınız ve dalga leğenin alt köşesine hareket ettiriniz.
- 2) 10 Hz' lik bir uyarım frekansı ayarlayınız.
- 3) Çizim tablosunun olduğu kâğıt üzerinde dalgaların iniş eve çıkışlarını çiziniz. Maksimum iki dalga tepesi veya iki dalga çukuru arasındaki mesafeyi cetvel yardımı ile ölçünüz.
- 4) Frekans taraması yaparak faz hızlarını hesaplayınız.

f / Hz	$n\lambda / \text{cm}$	n	λ / cm	$\lambda . f / \text{cm} \cdot \text{s}^{-1}$
10				
15				
20				
30				

B) Su Dalgalarında Kırınım

Araç ve gereçler: Dalga jeneratörü, U-şeklinde kenar düzeltme, Bariyer 1 = 30 mm, Bariyer 2 = 71 mm,

- 1) Dalga tepesi içerisinde düz dalgalar üretiniz. 10 mm genişlikte bir yarık elde etmek için 71 mm lik bariyerler kullanınız. Frekans da 18 ila 25 Hz arasında bir değere ayarlayınız.
- 2) Küçük bir engeldeki ve dar bir yarıktaki kırınım olayını gözlemleyiniz.. t Çizim tablosunun olduğu kâğıt üzerinde dalgaların kırınımını çiziniz.
- 3) Leğen içerisinde yaklaşık 3 cm lik bir yarık elde etmek için 71 mm' lik bariyerleri kullansa idik şekil nasıl oluşurdu. Çizim yaparak gösteriniz.
- 4) 71 mm uzunluğundaki iki adet engel ve 30 mm uzunluğundaki bir adet engel yardımıyla

çift yarıklı kırınım gerçekleştirerek kırınım ağını çiziniz.

C) Su dalgalarında Girişim

Bölüm 1

Araç ve gereçler: İki Dalga jeneratörü,

Her iki dalga jeneratörü faz içerisinde salındığından, Δl mesafe farklılıkları için aşağıdaki eşitlik bütün bölgelerde beklenmektedir.

$$\Delta l = m\lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (2)$$

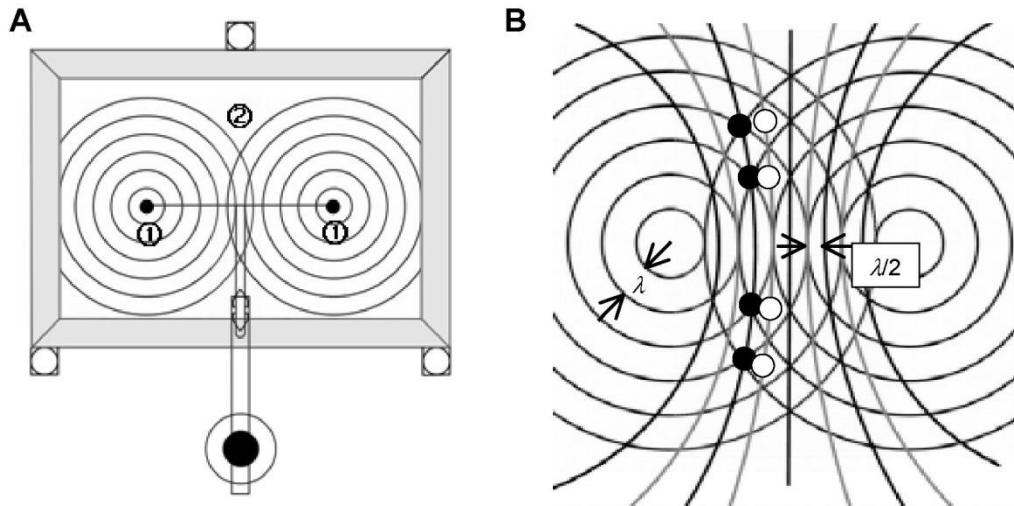
Uyarıcıdan yol farkı aşağıdaki gibi olan bölgeler için

$$\Delta l = \frac{2m+1}{2} \cdot \lambda \quad (m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots) \quad (3)$$

her iki dalga karşılıklı olarak birbirini yok etmelidir.

Deneyin yapılışı

- 1) İki daldırıcı, her biri farklı bir köşede olmak üzere bir tarağa tutturulmaktadır.
- 2) Şekildeki sistem kurulur.
- 3) Çizim tablosunun olduğu kağıt üzerinde dalgaların kırınımı çiziniz.
- 4) Dalga boyunu bulunuz.



Şekil 7: A - Farklı yönlerde hareket eden dalgaların girişimleri için deney düzeneği. Tarak şeklindeki dalga üretici iki daldırıcı ile donatılmış bir şekilde iki dairesel dalga (1) üretmektedir, bu dalgalar dalga tankının ortasında girişim oluşturmaktadır; uyarıcı kolun (2) altındaki bağlantı hattı boyunca.

B - Dalga uzunluğu λ olan iki nokta jeneratörünün dalga alanlarının birbirleri üzerine binmesini gösteren şematik çizim. Dalga trenlerinin yapısal olarak birbirlerine girişim yaptıkları bölgede (dolgu daireler) siyah çizgilerin üzerine denk gelmektedir; yıkıcı olarak girişim yapan (dolgu olmayan daireler) ise gri çizgiler üzerine denk gelir. Bunlar beraber bir durağan dalga düzeni

oluştururlar. Yapıcı karışımların hiperbolü dalga düzeni içerisinde açık renkli çizgiler olarak görünür, yıkıcı girişimlerin hiperbolü ise koyu çizgiler olarak görünmektedir. Jeneratörler arasındaki bağlantı hattında oluşan birbirleri üzerine girişim yapmış durağan dalgaların dalga boyları $\lambda/2$ kadardır.

Bölüm 2

İki uyarıcı merkezi arasında orta dikey çizgiler boyunca üst üste binen dairesel dalgalar arasında hiçbir yol farkı (faz farkı) bulunmamaktadır, bundan dolayı büyüklükleri birbiri üzerine eklenmektedir. İki geometrik bölge boyunca, iki uyarıcı merkezi arasındaki Δl mesafe farkı için aşağıdaki bağıntı ile tanımlanmaktadır.

$$|\Delta l| = \frac{\lambda}{2} \quad (4)$$

her iki dalga birbirini sönümler. Bundan sonra dalga boyunun yarım katlarında sönümleme işlemi olacaktır.

$$|\Delta l| = \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda, \frac{7}{2}\lambda, \dots \quad (5)$$

Dalga boyunun tam katlarında ise;

$$|\Delta l| = \lambda \cdot m \quad (m = 1, 2, 3, \dots) \quad (6)$$

iki dalganın üst üste binmesi durumu oluşmaktadır. Bir diğer taraftan ise, eğer dalga jeneratörleri arasındaki mesafe artacak olursa gözlemlenen dalga alanında dalga jeneratörleri arasındaki mesafe de artmaktadır.

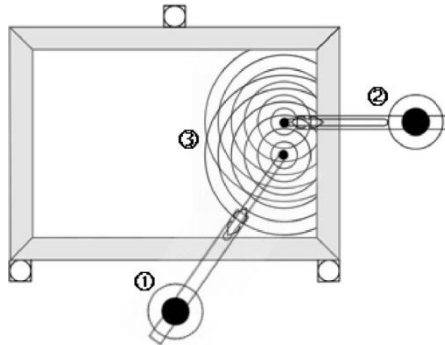
İki nokta dalga jeneratörlerinden yayılan dairesel halkalar birbirlerine girişim yaparlar. Eğer iki dalga jeneratörünün girişim düzeni değişirse, girişim düzeni de değişecektir.

Araç ve Gereçler: 2 dalga jeneratörü, daldırıcılar.

Bir girişim düzeni oluşturmak için faz farkı olmayan ($\Delta\phi = 0^\circ$) iki farklı titreşim dalga jeneratörü iki dairesel dalga üretmektedir. Bundan sonra iki dalga üreticisi arasına bir faz farkı ayarlanır ($\Delta\phi \neq 0^\circ$) ve girişim düzeni içerisinde farklılıklar gözlemlenir.

Deneyin Yapılışı

1. Şekildeki sistem kurulur.



Şekil 8: İki dairesel dalganın girişim düzenleri üzerindeki $\Delta\phi$ faz farkının etkisini göstermeye dayalı deney düzeneğinin hazırlanması. Dahili ① ve harici titreşim jeneratörü ② ile oluşturulan dairesel dalgalar, bir karakteristik girişim düzeni ③ oluşturabilmek için üst üste binerler.

2. Dalga tankında 20 ila 25 Hz arasında bir uyarıcı frekansı ayarlanır ve stroboskopik ışık açık konuma getirilir. Düzenli bir girişim düzeni oluşacak şekilde bir büyüklük seçilmelidir. Bu andan itibaren her iki uyarıcı da faz içerisinde salınım gösterecektir ($\Delta\phi = 0^\circ$).
3. Bir kalem artık kullanarak çizim masasının üzerine bir kağıdın yerleştirilmesi ile birkaç dalga tepeleri ve çukurları çizilir. (Kağıt parçasını yapıştırıcı bant ya da benzer malzemeler kullanarak masaya sabitlemek yardımcı olabilir.). 45° , 90° , 135° , 180° , 225° , 270° , 315° ve $360^\circ = 0^\circ$ değerlerinde bir faz farkı ($\Delta\phi$) oluşturulur. Bu aşamadan sonra her bir durum için girişim düzeni incelenir. Her bir durumda, görülen girişim düzeninin dalga tepeleri ve çukurları kağıt üzerine çizilen dalga tepeleri ve çukurları ile karşılaştırılır ($\Delta\phi = 0^\circ$).

D) Engeller ve yarıklardaki kırınım ve girişim

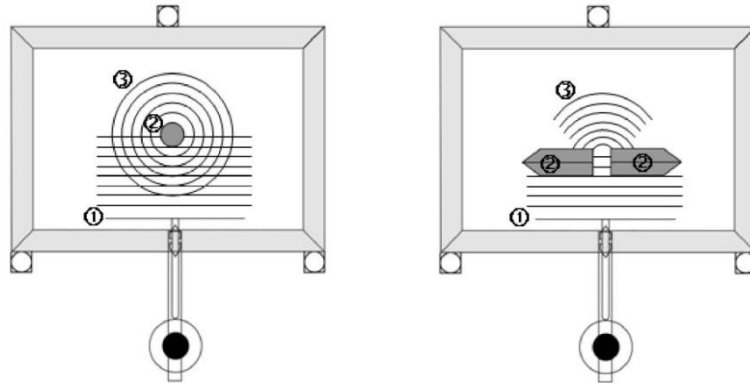
Araç Gereçler: Dalga jeneratörü tutucusu, U-şeklinde kenar düzeltme, Bariyer 1 = 30 mm, Bariyer 1 = 71 mm, Lastik tapa.

Deney 1 – Engeller ve dar yarıklardaki kırınım

Kurulum

Düz dalga jeneratörü dahili uyarıcı üniteye takılır ve dalga tepsisinin alt kenarına götürülür. İlk bölüm deneyi için lastik tapa Şekil 1. de görüldüğü şekilde dalga tankının içerisine yerleştirilir.

Dar bir yarıktaki kırınımı göstermek için, yaklaşık olarak 10 mm genişlikte bir yarık elde etmek için 71 mm lik bariyerler kullanılır ve Şekil 2. de gösterildiği gibi yerleştirilir.



Şekil 9: (a) Bir cisimdeki kırınımı göstermek için düzenek. Düzlemsel bir dalga jeneratörü tarafından üretilen dalga yüzeyi ① küçük bir engele ② çarpar (lastik tapa), buradan çıkan dairesel dalgalar her yöne çoğalarak yayılırlar ③. (b) Dar bir yarıktaki kırınımı göstermek için düzenek. Düzlemsel bir dalga jeneratörü tarafından üretilen dalga yüzeyi ① iki bariyer tarafından oluşturulmuş bulunan 10 mm lik bir yarığa ② çarpar. Bu yarıktan dairesel dalgalar çıkar.

Deneyin Yapılışı

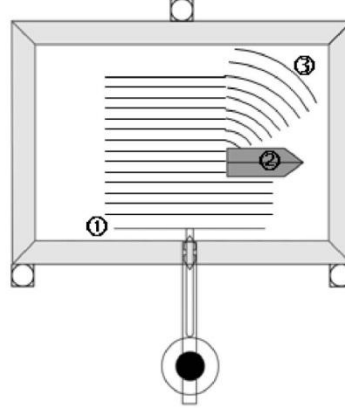
1. Dalga yayılım tankında jeneratör dikkatli bir biçimde ayarlanır ve frekans da 18 ila 25 Hz arasında bir değere ayarlanır.
2. Bir cisimdeki kırınım: Başlangıç olarak sürekli dalga üretimi ile birlikte dalga şekli gözlemlenir, bununla uyarıcı genliği ayarlanır ki böylelikle dalga şekillerinin net olarak oluşması sağlanır. Daha sonra kısa dalga dizinimleri elde etmek için “Pulse” modu kullanılır ve cisimden yayılan dalgalar gözlemlenir.
3. Bir yarıktaki kırınım: Sürekli dalga üretimi ile dalga şekilleri gözlemlenir. Uyarıcı genliği ayarlanır ve böylece engelin önündeki düz dalgalar net olarak belirlenebilir. Daha sonra yarığın arkasındaki dalgalar net olarak görülebilir hale gelinceye kadar genlik artırılmaya

devam edilir.

Deney 2 Bir kenardaki kırınım

Kurulum

Deney 1 de olduğu gibi düzlemsel dalga jeneratörü ayarlanır ve 71 mm lik bariyer Şekil 10. da görüldüğü şekilde dalga tankının içerisine yerleştirilir.

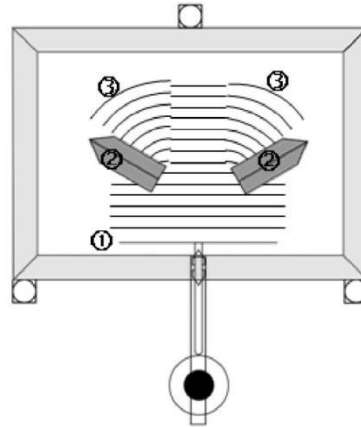


Şekil 10: Bir kenardaki kırınımı göstermek için deney düzeneği. Düzlemsel dalga jeneratörü tarafından üretilen dalga yüzeyi ① bariyere ② çarpar ki burada bariyer kenar görevi görür. Buradan dairesel dalgalar yayılır ve geometrik gölge alanı içerisine girer ③.

Deney 3 Geniş bir yarıktaki kırınım ve girişim

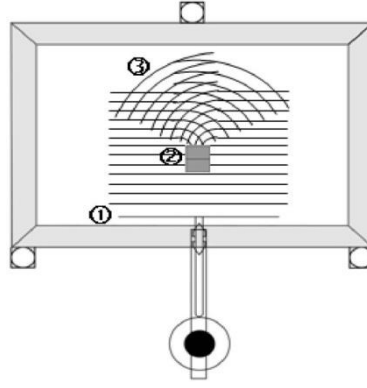
Kurulum

Tank içerisinde yaklaşık 3 cm lik bir yarık elde etmek için 71 mm lik bariyerler Şekil 4. de görüldüğü gibi yerleştirilirler.



Şekil 11: Geniş bir yarıktaki kırınım için deney düzeneği. Düzlemsel bir dalga jeneratörü tarafından üretilen dalga yüzeyi ① iki bariyer tarafından oluşturulmuş bulunan 3 cm genişliğindeki yarığa ② çarpar. Burada dalga yüzeyi kırınıma uğrar; bariyerlerden dairesel dalgalar çıkar ve geometrik gölge alanı içerisinde ③ çoğalırlar.

Daha sonra 71 mm lik bariyerler kaldırılır ve yarığın daha önceki bulunduğu yere aynı pozisyonda 30 mm lik bariyerler yerleştirilir (Şekil 5). Bariyerin arka kısmında tanımlanabilen girişim yapısı bu deneyin ilk bölümünde yarığın arkasında görülmüş olan girişim yapısıyla karşılaştırılır.



Şekil 12: 30 mm bariyerdeki kırınım ve girişim için deney düzeneği. Düzlemsel dalga jeneratörü tarafından üretilen dalga yüzeyi ① bariyere ② çarpar. Buradan dairesel dalgalar çıkar ve bariyerin arkasında karışır - girişim - ③.

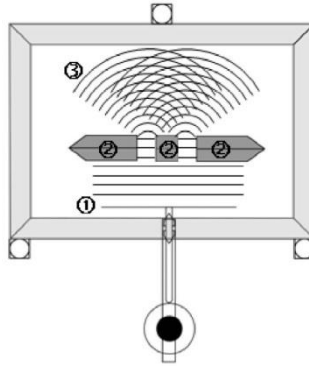
E) Çift yarıklardaki kırınım ve girişimler

Düz dalgaların karşılaştıkları çift yarığın arkasında karakteristik bir girişim yapısı gözlemlenebilir. Bu girişim yapısı yarıklara yerleştirilen iki nokta dalga jeneratörleri ile elde edilen şekillere karşılık gelir.

Araç-Gereçler: Düz dalga jeneratörü, U-şeklinde kenar düzeltme, Barrier l = 10 mm, Barrier l = 30 mm, 1 Barrier l = 71 mm.

Kurulum

Düz dalga jeneratörü dahili uyarıcı ünitesine takılır ve dalga yayılım tankının alt ucuna yerleştirilir. 71 mm uzunluğundaki iki adet engel ve 30 mm uzunluğundaki bir adet engel yardımıyla dalga tepsisinin içerisinde Şekil 13. de görüldüğü gibi çift bir yarık oluşturulur. Bu yarıklar yaklaşık aynı ölçüde olmalıdırlar.



Şekil 13: Çift bir yarıktaki kırınım ve girişim için deney düzeneği. Düzlemsel bir dalga jeneratörü yardımıyla üretilen dalga yüzeyi ① üç adet bariyer ② tarafından oluşturulan çift yarığa çarpar. Her iki yarıktan da dairesel dalgalar çıkar ve yarıkların arkasındaki alanda girişimde bulunurlar ③.

Frekans da 15 ila 30 Hz arasında ayarlanır. İlk olarak genlik seçilmelidir ki böylelikle çift yarığın ön tarafındaki düz dalgalar net olarak tanımlanabilir. Daha sonra çift yarığın arka kısmında net bir girişim yapısı oluşuncaya kadar genlik yükseltilmeye devam edilir.

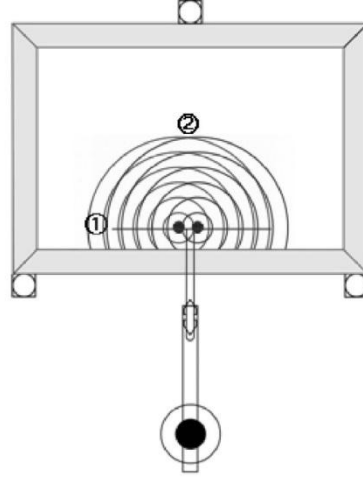
Aynı frekansta iken, 30 mm lik bariyer doğrudan 71 mm lik bariyerlerin birisine doğru itilmek suretiyle ve yarığın tam ortasına 10 mm lik bir bariyer yerleştirilerek yarık boşluğu daraltılır ve daha dar yarıklar elde eldir. Şimdi girişim yapısı gözlemlenir ve daha büyük boşluklarda oluşan girişim yapısı ile karşılaştırılır.

F) Çok noktalı uyarıcıların girişim yapısı (Huygens prensibi)

Araç-Gereçler: 2 Dalga jeneratörü, tarak, 10 dişli tarak, Dalıcı kepçe.

Kurulum

İki dalıcı kepçe tarak şeklindeki dalga jeneratörüne takılır; dalıcı kepçelerin her biri diğerinden aynı mesafededir ve tarağın üzerine doğru itilirler. İlk iki tarak dişinin ekranın ortasından görülebilecek şekilde kullanılması önerilir. Daha sonra taraklı montaj çubuğu uyarıcı kola takılır ve tankın alt ucuna doğru yerleştirilir (Şekil 1).



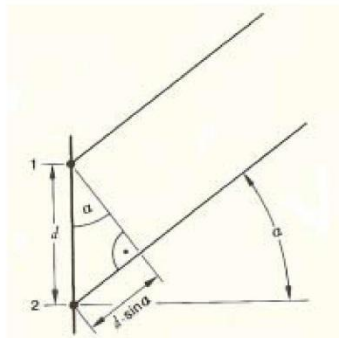
Şekil 14: İki dalıcı kepçe ile girişim için deney düzeneği. Tarak şeklindeki dalga jeneratörleri ① tarafından üretilen iki dairesel dalga karakteristik bir girişim yapısı oluşturmak üzere üst üste binerler ②.

Yaklaşık 20 ila 25 Hz arasında bir uyarıcı frekansı ayarlanır ve genlik seçilir. Bunun sonucu olarak net bir dalga yapısı elde edilir. Daha sonra girişim yapısı gözlemlenir. Daha sonra üç, dört ve on dairesel dalga jeneratörü için girişim yapısı sırasıyla gözlemlenir. Tüm gözlemler için uyarıcı frekansı aynı kalır.

Açıklama

Basitleştirme nedeniyle, dalga jeneratörlerinin sayısı artırıldığında sıfırıncı ve birinci sıra arasındaki ilave girişim bantlarının formasyonunu netleştirmek amacıyla yakın çevreleri hariç tutmak istiyoruz. Jeneratörlere olan mesafesi, jeneratörler arasındaki mesafe d ile karşılaştırıldığında daha fazla olan bölgeler için, aşağıdaki formül, iki dalga arasındaki yol farkı Δl için uygulanır:

$$\Delta l = d \sin \alpha.$$



Şekil 15: İki dalga jeneratörü ile maksimum ve minimum formasyonun şematik diyagramı.

İlk sıradaki maksimum için, $\Delta l = \lambda$ olması gerekir o nedenle (jeneratörlerin sayısını hesaba katmadan!):

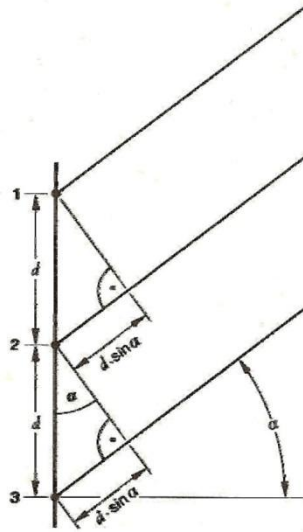
$$\sin \alpha = \frac{\lambda}{d} \quad (7)$$

doğrudur.

Benzer şekilde komple bozulma için (bozucu girişim / dalgaları iptal eden) sıfırıncı ve ilk sıradaki sonuçlar ($\Delta l = \lambda / 2$) aşağıdaki gibidir:

$$\sin \alpha = \frac{1}{2} \cdot \frac{\lambda}{d} \quad (8)$$

Şekil 16 dan, aynı açıdaki üç jeneratör ile komple sönümlenme oluşmayacağı görülebilir çünkü komple sönümlenme sonucu olarak, örneğin jeneratör 1 ve 2 den çıkan dalgalar, gözlem bölgesine ulaşan üçüncü jeneratörden çıkan dalgalarla tamamen girişim yapmamış olarak kalırlar. Bununla birlikte, üç adet sinüs dalgası, periyodun 1/3 ya da 2/3 süresince sürecin dışında olmaları durumlarında her biri diğerini tamamen iptal eder ve dışarı atar. Bu durum, özellikle vektörel bir diyagramda grafiksel olarak açık ve net olarak görülebilir.



Şekil 16: Üç dalga jeneratörü ile maksimum ve minimum formasyonunun şematik diyagramı.

Böylece, iki tane ikincil minimum sonucu:

1 nci ikincil minimum:

$$d \cdot \sin \alpha = \frac{1}{3} \lambda \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = \frac{1}{3} \frac{\lambda}{d}$$

2 nci ikincil minimum:

$$d \cdot \sin \alpha = \frac{2}{3} \lambda \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = \frac{2}{3} \frac{\lambda}{d}$$

Dört dalga jeneratörü ile üç ikincil minimumun formasyonu Şekil 17. kullanılarak mümkün olabilir. 1 ve 2 nolu jeneratörlerden den çıkan dalgaların 2 ve 4 nolu jeneratörlerden çıkan dalgalarla olduğu gibi birbirlerini kompanse etmeleri durumunda iptaller oluşur. Diğer taraftan, 1 ve 3 nolu jeneratörlerden çıkan dalgalar ile 2 ve 4 nolu jeneratörlerden çıkan dalgalar da birbirlerini iptal edebilirler.

Böylece, sıfırlanan sıradan başlayarak, aşağıdaki sekonder minimumlar elde edilir:

1 nci ikincil minimum:

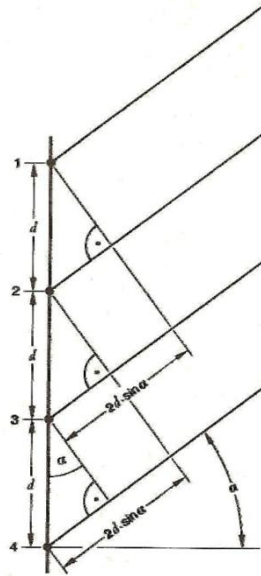
$$2 \cdot d \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \lambda \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = \frac{1}{4} \frac{\lambda}{d}$$

2 nci ikincil minimum:

$$d \cdot \sin \alpha = \frac{1}{2} \lambda \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = \frac{1}{2} \frac{\lambda}{d}$$

3 ncü ikincil minimum:

$$2 \cdot d \cdot \sin \alpha = \frac{3}{2} \lambda \quad \Rightarrow \quad \sin \alpha = \frac{3}{4} \frac{\lambda}{d}$$



Şekil 17: Dört dalga jeneratörü ile maksimum ve minumum formasyonunun şematik diyagramı.

Eğer jeneratörlerin sayısı daha fazla artırılırsa, yukarıda tanımlanan prensip uyarınca dairesel dalgalar üst üste binerler. Dairesel dalga jeneratörlerin sayısı ne kadar fazla olursa ortaya çıkan girişim yapısı düz dalganın dalga yapısı ile o derece fazla benzerlik gösterir.