



BURSA ULUDAĞ ÜNİVERSİTESİ
FEN-EDEBİYAT FAKÜLTESİ
FİZİK BÖLÜMÜ

FZK3406
MANYETİZMA VE UYGULAMALARI
DENEY KILAVUZU

BURSA-2026

İçindekiler

LABORATUVAR DERSİ İLE İLGİLİ BİLGİLENDİRME VE KURALLAR	2
DENEY I	4
DOĞRUSAL DEĞİŞEN DİFERANSİYEL TRANSFORMATÖR (LVDT)	4
DENEY II	11
ÇEŞİTLİ ŞEKİLLERDE BAĞLI BOBİNLERİN ÖZİNDÜKTANS KATSAYILARININ BULUNMASI.....	11
DENEY III.....	19
TRANSFORMATÖRLER	19
DENEY IV	24
HELMHOLTZ BOBİNİNDE OLUŞAN MANYETİK ALANIN ÖLÇÜLMESİ	24
DENEY V.....	28
D.C. SELONÖİD, D.C. RÖLE, DİNAMİK MİKROFON, HOPARLÖR VE BUZZER'IN İNCELENMESİ.....	28
DENEY VI.....	36
SÜREKLİ MIKNATIS TAKOJENERATÖR	36
DENEY VII.....	45
DEMİR ÇEKİRDEĞİN, ELEKTRİK ÇELİKLERİNİN VE BOŞLUĞUN MANYETİK GEÇİRGENLİĞİNİN BULUNMASI.	45
DENEY VIII	54
HALL ALGILAYICISI YARDIMI İLE BİR SELENOİDİN İÇİNDEKİ MANYETİK ALANIN ÖLÇÜLMESİ VE HALL ALGILAYICISININ AYARI.....	54
DENEY IX.....	59
FARKLI MANYETİK MALZEMEDEN YAPILMIŞ TOROİD ÇEKİRDEKLERDE, MADDE CİNSİNE BAĞLI OLARAK MANYETİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ	59
DENEY X.....	74
FARADAY VE LENZ YASALARI.....	74

LABORATUVAR DERSİ İLE İLGİLİ BİLGİLENDİRME VE KURALLAR

1. 2024-2025 bahar döneminde toplam 8 deney yapılacaktır.
2. Laboratuvarda deneyler dönüşümlü olarak yapılır. Örneğin ilk hafta 5. deneyi yapan grup bir sonraki hafta 6. deneyi, 8. deneyi yapan ise 1. deneyi yapar.
3. Devamsızlık sınırı toplam deney sayısının % 20'sidir. Raporlu günler, rapor teslim edilmediği için yok sayılan deneyler ve 2'den fazla alınan telafiler de buna dâhildir.
4. Tüm rapor notlarının ortalaması arasınav notuna %40 oranında etki eder.
5. Her öğrenci deney kılavuzu edinmeli ve bu kılavuzu mutlaka laboratuvara getirmelidir. Kılavuzu yanında olmayan öğrenci derse alınmaz. (Deney kılavuzunun, akıllı telefonlardan pdf şeklinde kullanılmasına izin verilmeyecektir).
6. Öğrenci laboratuvara gelmeden önce yapılacak deneyle ilgili kaynaklara başvurarak mutlaka bir ön çalışma yapmalıdır.
7. Laboratuvar kuralları dikkatlice okunmalı, tüm deneylerde burada söz edilen bilgilere ihtiyaç duyulacağı unutulmamalıdır.
8. Laboratuvara zamanında gelinmeli ve kendi deney masası dışındaki alanlarda bulunulmamalıdır.
9. Geç gelen öğrenci çok önemli bir gerekçesi olmadıkça derse alınmayacaktır.
10. Laboratuvara yiyecek ve içecek getirmek yasaktır.
11. Deneye devam edebilmek için asistanların soracağı sorulara cevap verilmelidir. Cevap veremeyen öğrenciler telafiye bırakılırlar. İki deneden fazla telafi hakkı verilmez.
12. Telafiler devamsızlıktan sayılmazlar. Bir öğrenci maksimum 2 telafi alır. 2'den fazla telafi devamsızlık sayılır.
13. Telafi alınan deneyler telafi haftasında yapılır.
14. Deneyin yapılışı sırasında gözlemler, ölçümler ve hesaplamalar not edilmelidir.
15. Deney sonunda öğrenilen bilgiler, toplanan veriler, yapılan hesaplamalar, oluşturulan tablolar, çizilen grafikler ve gerekli açıklamalarla birlikte hazırlanan raporlar bir sonraki hafta deneye gelirken beraberinde getirilir ve ilgili asistana teslim edilir. Raporunu zamanında teslim etmeyen öğrenci o deneye katılmamış kabul edilir.
16. Laboratuvardaki tüm araç ve gereçler kullanılırken özenli ve dikkatli davranılmalıdır.
17. Çalışmalar sırasında ihtiyaç duyulduğunda görevli asistanların yardımına başvurulur ve onların bilgisi dışında araç ve gereç kullanılmaz.

18. Hazırlanan raporlar, ilgili asistan tarafından incelendikten sonra hatalarını görmeleri için öğrencilere geri verilmek üzere laboratuvarında bu amaçla ayrılan bölüme bırakılır.
19. Geri verilen raporlar için ayrılan bölümden, her öğrenci sadece kendi raporunu almalıdır. Diğer arkadaşlarının raporunu almamaya özen göstermelidir.
20. Öğrenciler tüm rapor notlarını ve ortalamasını dönem sonunda öğrenir.
21. Dönem sonunda not veya devam konusunda herhangi bir itirazı olan öğrenci, katıldığı tüm deneylerin incelenerek imzalanmış raporlarını ilgili öğretim üyesine sunmak durumundadır. Aksi halde itiraz hakkı yoktur. Ortaya çıkacak durumdan dolayı ilgili öğretim üyesi ve derse katılan asistanlar sorumlu tutulamaz. Bu gibi durumlar için öğrenciler tüm raporlarını ilgili asistandan imzalı olarak geri almalı ve muhafaza etmelidirler.

DENEY I

DOĞRUSAL DEĞİŞEN DİFERANSİYEL TRANSFORMATÖR (LVDT)

Amaç

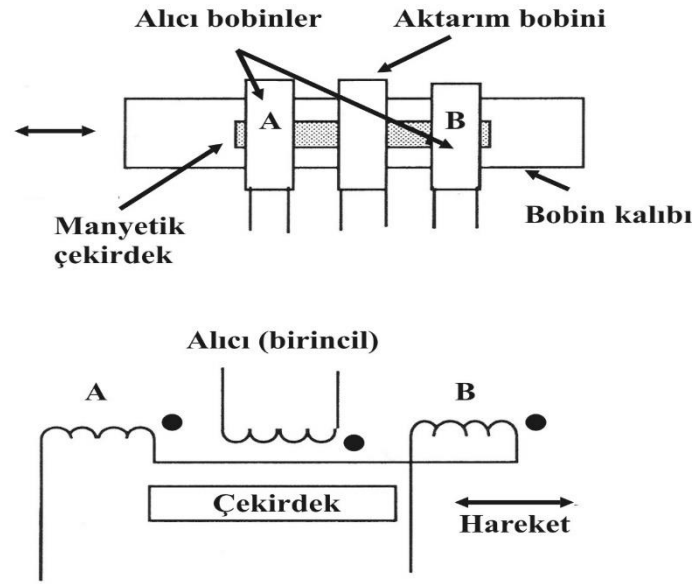
LVDT’de çekirdek konumu–çıkış gerilimi ilişkisini ve histerezis davranışını incelemek.

Deney Malzemeleri

LVDT birimi; A.C. amplifikatör; Tam dalga doğrultucu; 40 kHz osilatör; 40 kHz filtre; 2V dijital voltmetre; Yükselteç; Bağlantı Kabloları.

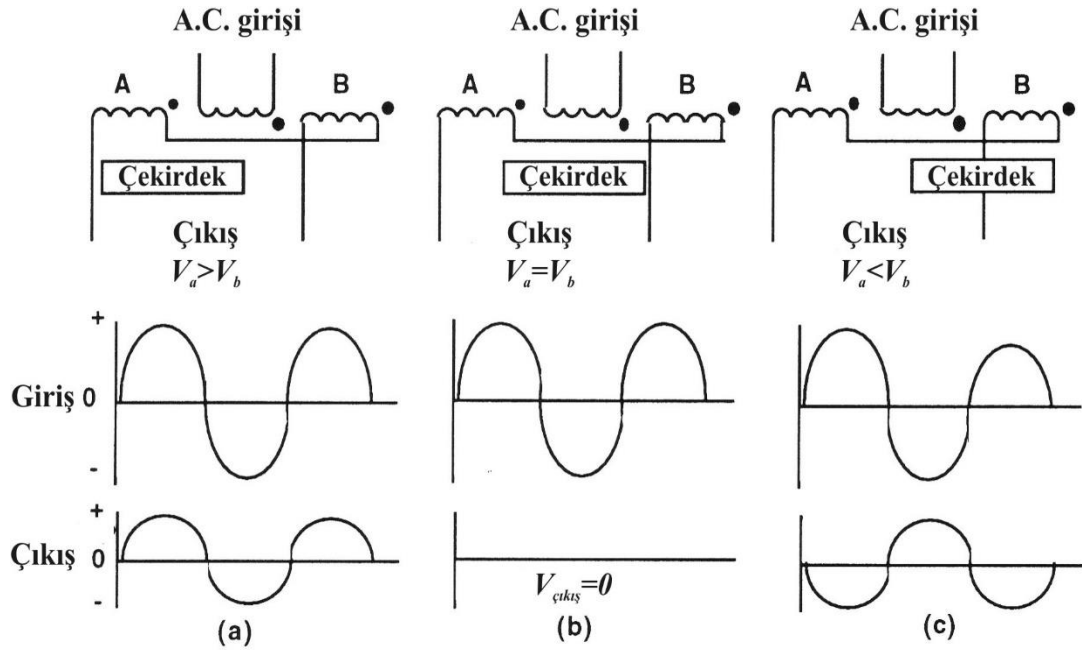
Teorik Bilgi

LVDT’nin devre düzeni ve yapısı Şekil (1.1)’de görüldüğü gibidir. Ortak plastik bir kalıp üzerine monte edilmiş üç bobinden oluşur. Bobinler arasında hareket edebilecek bir demir çekirdek vardır. Bu demir çekirdek hareket etmesini sağlayan bir çubuğa bağlanmıştır. Ortadaki bobin birinci (ana) bobindir ve alternatif akım kaynağından beslenir. Giriş dalga şekli, diğer adı da aktarım bobini olan bu ana bobine uygulanır. Diğer yanlardaki bobinler ikinci bobinlerdir ve şekilde A ve B ile gösterilmişlerdir. Alıcı bobinler olarak da isimlendirilen bu bobinler eşit sarım sayısına sahiptir ve birbirine karşı koyacak şekilde yani zıt fazda bağlanmıştır. Böylece, bobinlerde indüklenen gerilimler arasındaki fark çıkış gerilimini verir. Bunun anlamı çıkış dalga şekli, fazı ve genliğindeki değişimlerin toplanması ile oluşmaktadır.



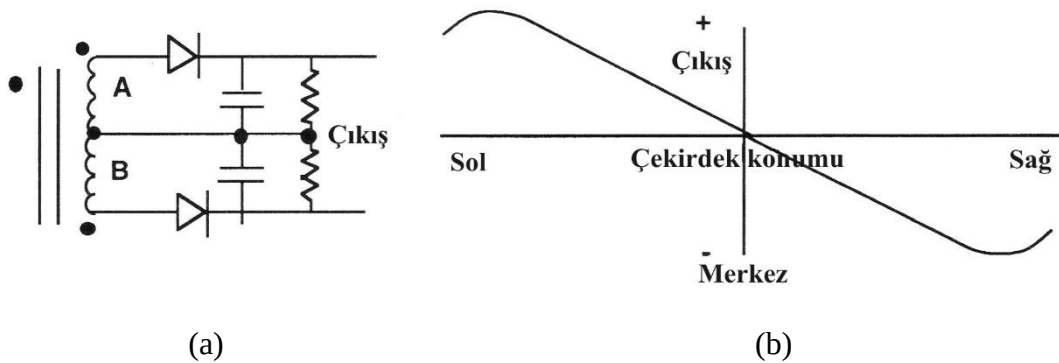
Şekil 1.1: LVDT'nin devre düzeni.

Şekil (1.2) manyetik çekirdeğin farklı konumları için elde edilen çıkış dalga şekillerini göstermektedir. Şekil (1.2b)'de görüldüğü gibi çekirdek kendi “sıfır” konumunda iken transformatörün normal işlevinden dolayı A, B bobinlerinde indüklenen gerilimler eşit fakat zıt fazda olacağından, birbirlerini yok ederek çıkış gerilim sıfır olacaktır. Şekil (1.2a)'da görüldüğü gibi çekirdeğin sola doğru hareket etmesi ile A bobininde indüklenen V_a gerilimi, B bobininde indüklenen V_b geriliminden daha büyük olacaktır. Böylece çıkış gerilimi $V_{Çıkış}=(V_a-V_b)$ ile ifade edilecek ve görüldüğü gibi giriş gerilimi ile aynı fazda olacaktır. Şekil (1.2c)'de görüldüğü gibi çekirdeğin sağa doğru hareket etmesiyle A bobininde indüklenen gerilim V_a , B bobininde indüklenen gerilim V_b 'den daha küçüktür. Bu durumda çıkış gerilimi $V_{Çıkış}=(V_b-V_a)=- (V_a-V_b)$ ile verilir. Görüldüğü gibi giriş gerilimi ile aralarında 180° faz farkı meydana gelmiştir.



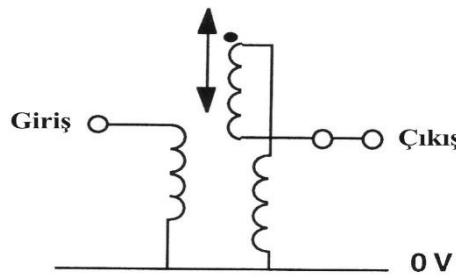
Şekil 1.2: Manyetik çekirdeğin farklı konumları için elde edilen çıkış dalga şekilleri.

Çıkış gerilimi tamamen çekirdeğin “sıfır” konumundan hareketi sonucunda oluşmaktadır. Bu gerilim sıfır konumdan hareket ile en büyük değere kadar ulaşır ve hareketin aksi yönünde bu en büyük değerden azalır. Böylece çıkış geriliminin ölçülmesi sıfır konumdan hareketin değişimini vermekte, fakat hareketin yönünü göstermeyecektir. Devreye bir faz algılayıcısı bağlanarak çıkış gerilimi çekirdeğin sıfır konumdan hareketini, yönüne ve büyüklüğüne bağlı olarak belirleyecektir. Faz algılayıcısı, genlik ve faz bilgisinin indüklenen dalga şeklinden bulunabileceğini gösterir.



Şekil 1.3: a) Tam dalga doğrultucu devre düzeneği, b) LVDT'nin konuma bağlı gerilim karakteristiği.

Çekirdeğin sola doğru hareket etmesi ile Şekil (1.3b)'de görüldüğü gibi çıkış gerilimi pozitif, sağa doğru hareket etmesi ile de çıkış gerilimi negatif olacaktır. Küçük gerilim gerektirmesi nedeniyle pratikte işlemsel yükselteç diyot devresi, basit diyot gösterimi yerine kullanılabilir. Yukarıda adı geçen faza duyarlı algılayıcı devresi kullanılan toplu devrede bulunmamaktadır. Fakat faz terslenmesi bir osiloskopun yardımı ile gözlenebilir. LVDT'nin açık devre düzenlemesi şöyledir: Burada L1 aktarım bobini, L2 ve L3 alıcı bobinlerdir. Giriş 40 kHz dalga şekli üretici tarafından kuvvetlendirilmeli, çıkış A.C. yükselteci tarafından yükseltilmeli ve 40 kHz filtre tarafından temizlenmelidir.



Şekil 1.4: LVDT'nin açık devre düzenlemesi.

LVDT yerdeğiştirme algılayıcısı diğer yerdeğiştirme algılayıcıları ile karşılaştırıldığında birçok farklı özellikler sunmaktadır. Bobinler ve çekirdek arasında herhangi bir fiziksel temas yoktur. Bu özellik sürtünme toleransı olmayan hassas bazı malzemeleri, titreşim veya dinamik sapma testleri gibi kritik ölçmelerde LVDT'nin kullanılmasına ayrıcalık sağlamaktadır. Bobinler ve çekirdek arasında herhangi bir temas veya sürtünmenin olmaması aşınmanın da olmadığı anlamına gelmektedir. Bu durum malzemelerin yorulma ömrü için en önemli özelliktir. Çekirdek ve bobinlerin birbirinden ayrı olması aralarının manyetik olmayan bir malzeme ile yalıtılarak, basınç veya aşındırıcı herhangi bir sıvıdan bobin kısmının korunmasına imkan sağlamaktadır. LVDT'nin yapısındaki doğal simetri onun tekrarlanabilir denge özelliğini de meydana getirmektedir. LVDT aslında bir transformatör olduğundan giriş ve çıkışı, yani birinci ve ikinci bobinleri arası tamamen yalıtılmıştır. Bu hali LVDT'nin herhangi bir ara yalıtım katına ihtiyaç duymadan bir analog hesaplayıcı elemanı olarak kullanılmasını sağlar. Esas olarak eksen boyunca olan çekirdek hareketine karşı duyarlıdır. Pratik olarak çapraz eksenli iki harekete karşı duyarsızdır.

Basınç dönüştürücüleri, otomatik vana konum denetimi, uçaklarda hız ve motor yakıtını denetleme sistemleri, göz içerisinden hidrostatik basıncı elektronik olarak ölçmeye yarayan tonometreler,

gerilme ölçen cihazlar, otomobil gövdelerinin robotlar yardımı ile denetlenmesi, kuvvet ölçmede kullanılan yük hücreleri ve ağırlık ölçme sistemleri LVDT'nin başlıca kullanım alanlarıdır.

Sonsuz çözünürlük, yüksek çıkış gerilimi, yüksek hassasiyet, çok iyi doğrusal çıkış, dayanıklılık, sürtünmesiz çalışma, düşük histerezis, düşük güç tüketimi LVDT algılayıcılarının diğerlerine göre üstün özellikleri olmakla birlikte, koruyucu manyetik ekranlama gereksinimi ve sıcaklık değişimlerinden etkilenmesi istenmeyen olumsuz özellikleridir.

Tablo 1.1: LVDT'nin başlıca özellikleri.

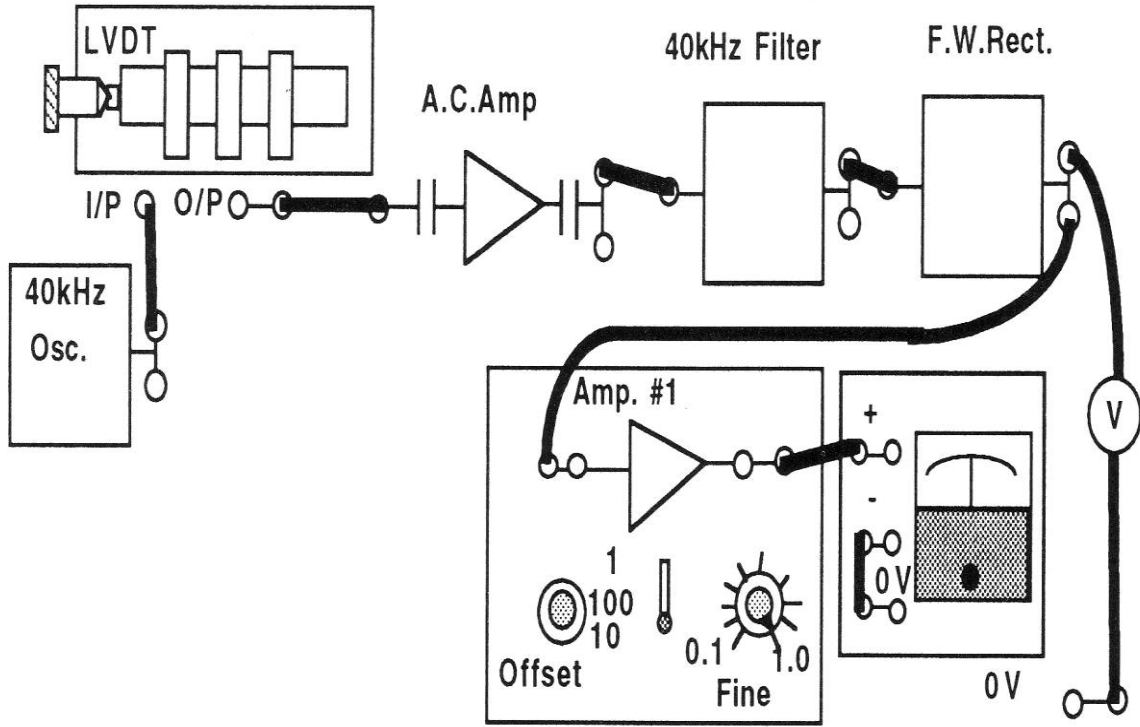
Bobin başına sarım sayısı		75
Bobin başına indüktans		68 H
40 kHz de empedans		17
Çıkış gerilimi	(sıfır konumda)	<5 mV
	(sıfır konumdan 1 mm)	10 mV (10 mV/mm)
Mekanik ilerleme		15 mm

Hazırlık Soruları

- 1) LVDT'nin yapısı ve çalışma ilkesi hakkında kısaca bilgi veriniz.
- 2) LVDT'nin kullanım alanları, üstün özellikleri ve olumsuz yönleri hakkında bilgi veriniz.
- 3) Çıkış gerilimi, çekirdeğin konumu ile nasıl değişmektedir. Bu değişim ne gibi faydalar sağlar.
- 4) Şekil (1.3)'de görülen çekirdeğin konumunun çıkış gerilimine göre grafiğindeki doğrusallığın bozulmasını açıklayınız.
- 5) Şekil (1.3a)'da görülen devrenin kullanılmasının nedenini açıklayınız. Çıkış geriliminin artı veya eksi olduğunu nasıl anlarsınız.

Deneyin Yapılışı

- 1) AC yükselteci 1000 kazanca ayarlayınız ve devreyi Şekil (1.5)'de görüldüğü gibi bağlayınız. Sonra kaynağı ON konumuna getiriniz. Yükseltecin kaba ayarını 10 ve ince ayarını 0.2 olarak ayarlayınız. Şayet mümkünse ofset kontrolü sıfır giriş ile sıfır çıkış için ayarlayıp düzeltiniz.

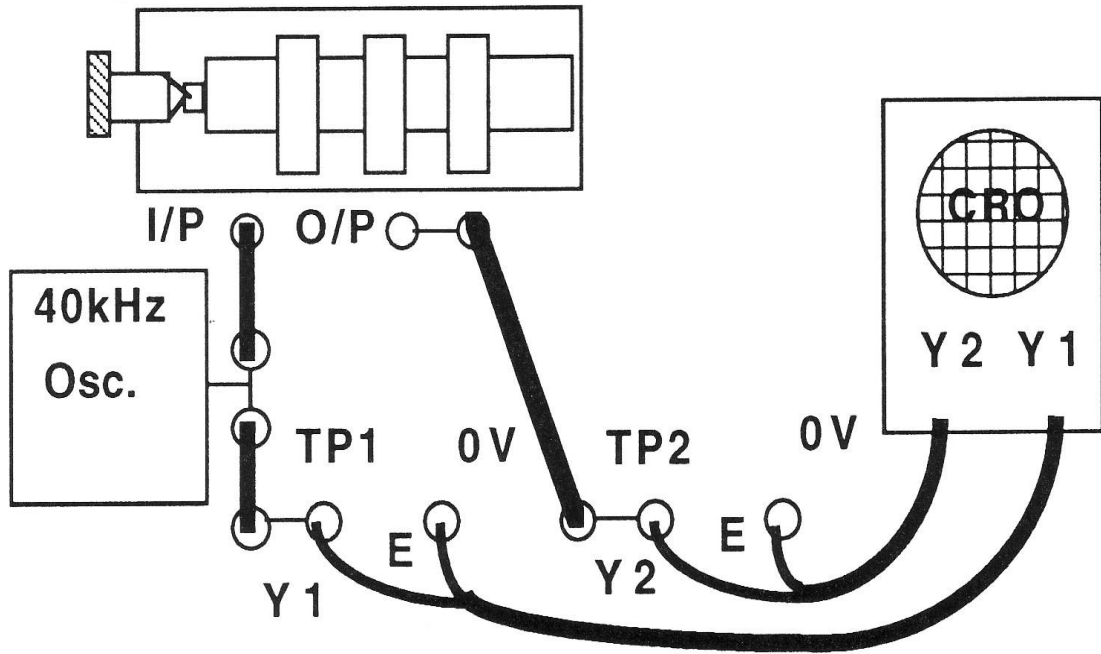


Şekil 1.5: Deney düzeneği.

- 2) İşlemsel vidayı döndürerek çekirdeği sıfır konuma ayarlayınız. Çıkış gerilimi sıfır veya en küçük değerde olmalıdır. Çıkış gerilimini aşağıdaki Tablo (1.2)'de sıfır için giriniz.
- 3) Çekirdeğin denetim vidasını yaklaşık 1 dönüşlük basamaklar ile 5 dönüş için saat yönünde döndürünüz ve her seferinde çıkış gerilimini okuyup değerleri Tablo (1.2)'ye giriniz. Aynı işlemi saat yönünün tersine döndürerek de tekrarlayınız.
- 4) Çekirdeğin çıkış gerilimini konuma göre değişimini çizin.
- 5) Devreye Şekil (1.6)'daki gibi çift izli bir osiloskop bağlayıp çekirdeğin hareketi esnasında çıkış geriliminin fazının terslenişini gözleyiniz.

Tablo 1.2: Çekirdeğin konumuna göre çıkış gerilimi değerleri.

Çekirdeğin Konumu	Çıkış Gerilimi
-5	
-4	
-3	
-2	
-1	
0	
1	
2	
3	
4	
5	



Şekil 1.6: Çıkış fazının terslenmesini gözlemek için kurulan düzenek.

DENEY II

ÇEŞİTLİ ŞEKİLLERDE BAĞLI BOBİNLERİN ÖZİNDÜKTANS KATSAYILARININ BULUNMASI

Amaç

Seri ve paralel bağlı bobinlerde eşdeğer özindüktansın deneysel olarak belirlenmesi ve teorik değerlerle karşılaştırılması.

Deney Malzemeleri

Bobinler, Güç Kaynağı, Voltmetre.

Teorik Bilgi

Özindüktans: Bir telden I şiddetinde bir akım geçtiğinde tel etrafında akımla orantılı bir manyetik alan oluşur. Oran sabiti indüktans olarak tanımlanır ve L özindüksiyon katsayısı ile gösterilir. L indüklendiği devrenin geometrisine bağlıdır. I akımının geçtiği bir devre için indüktans, devrenin kapsadığı alan içinden geçen manyetik akı ile tanımlanır;

$$\Phi = LI \quad (2.1)$$

Faraday yasasına göre devrede meydana gelen indüksiyon emk'sı devreden geçen manyetik akı değişim hızıdır.

$$\mathcal{E} = -\frac{d\Phi}{dt} = -L \frac{dI}{dt} \quad (2.2)$$

Karşılıklı indüktans: Şekil (2.2)'deki devreye göre;

$$\Phi_1 = L_1 I_1 + M I_2 \quad (2.3)$$

L_1 sabiti I. devrenin özindüktansıdır. M karşılıklı indüktans sabitidir. Bu sabitler pozitifdir ve yalnız devrenin geometrisine ve ortama bağlıdır, akımdan bağımsızdırlar. Devre simetrisinden

$$\Phi_2 = L_2 I_2 + M I_1 \quad (2.4)$$

I. devredeki akımın değişmesi ile II. devrede oluşan emk Faraday yasasına göre;

$$\mathcal{E}_2 = -M \frac{dI_1}{dt} \quad (2.5)$$

L ve M indüktansları SI birim sisteminde Henri (H) olarak ifade edilir.

$$1 \text{ H} = 1 \text{ Wb/A} = 1 \text{ T m}^2/\text{A}$$

İndüktanslar genel olarak bobin (selonoid) olarak kullanılırlar. Devre şemalarında  sembolü ile gösterilir. Karşılıklı indüktans özellikle transformatörlerde birbirleri ile manyetik akı için önem taşırlar.

İndüktansı hesaplamak için uzunluğu l ve yarıçapı R olan selonoid düşünülürse, selonoid içindeki manyetik alan,

$$B = \mu_0 n I \quad (2.6)$$

olur. Burada μ_0 boşluğun manyetik geçirgenliği, n selonoidin birim uzunluktaki sarım sayısı ve I sarımlardan geçen akımdır. Bir selonoidin içinden geçen manyetik akı;

$$\begin{aligned} \Phi &= BA = \mu_0 A n I & \text{ve} & & N &= n l \\ \Phi &= \mu_0 A n^2 l I \end{aligned} \quad (2.7)$$

Özindüksiyon katsayısı ise;

$$L = \mu_0 A l n^2 \quad (2.8)$$

Ölçülebilen karşılıklı indüktans için, bir selonoidin içine R_2 yarıçapında ve düzlemi selonoidin eksenine dik olan bir halka yerleştirilir. Selonoidin manyetik alanı $B = \mu_0 n_1 I_1$ ise halkadan geçen manyetik akı;

$$\begin{aligned}\Phi &= BA_2 = B\pi R_2^2 = \mu_0 \pi R_2^2 n_1 I_1 \\ M &= \mu_0 \pi R_2^2 n_1\end{aligned}\quad (2.9)$$

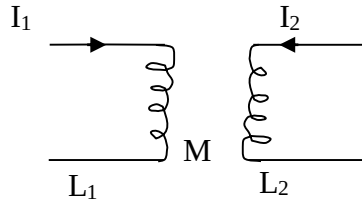
Bir halka yerine toplam sarım sayısı N_2 olan bir bobin ise;

$$M = \mu_0 \pi R_2^2 n_1 N_2 \quad (2.10)$$

Üzerinden akım geçirilen bir bobinde oluşan manyetik akı:

$$N\Phi_B = LI \quad (2.11)$$

$$N\Phi_B = MI \quad (2.12)$$



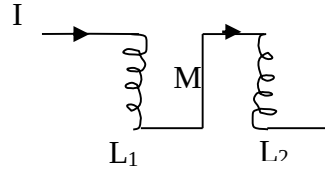
Şekil 2.1.

Şekil (2.1)'de görülen devrede oluşan akılar özindükleme ve Faraday yasasından yararlanılarak şöyle yazılabilir.

$$\Phi_1 = L_1 I_1 + M I_2 \quad (2.13)$$

$$\Phi_2 = M I_1 + L_2 I_2$$

İki bobinden oluşmuş sistemi iki farklı biçimde seri bağlayabiliriz. [Şekil (2.2) ve Şekil (2.3)]



Şekil 2.2.

Şekil (2.2)'deki sistemin özindüktansı;

$$\frac{\Phi}{I} = L \quad (2.14)$$

ifadesinden bulunur.

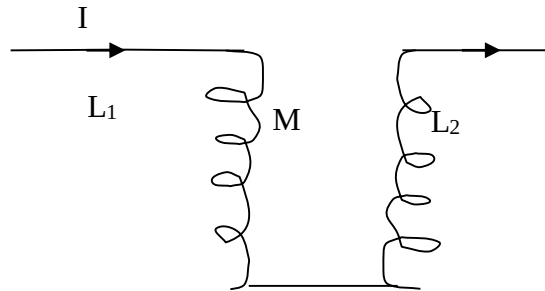
$$I_1 = I_2 = I$$

$$\Phi = \Phi_1 + \Phi_2 = L_1 I + L_2 I + 2MI$$

ifadesinden;

$$L_s = L_1 + L_2 + 2M \quad (2.15)$$

elde edilir.



Şekil 2.3.

Şekil (2.3)'deki sistemin özindüktansı:

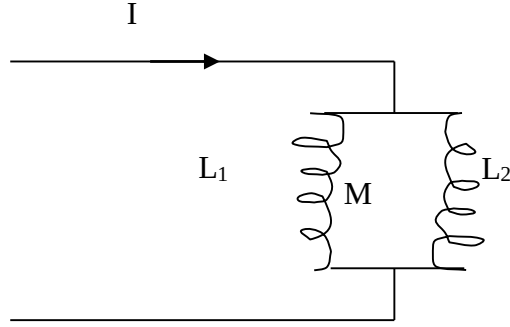
$$I_1 = I \quad I_2 = -I$$

$$\Phi = \Phi_1 - \Phi_2 = L_1 I + L_2 I - 2MI$$

$$L_{sz} = L_1 + L_2 - 2M \quad (2.16)$$

Hazırlık Soruları

1) Paralel bağlı bobin sistemini Şekil (2.4)'de görülmektedir.



Şekil 2.4.

$$\Phi_1 = \Phi_2 = \Phi$$

$$I = I_1 + I_2$$

Yukarıdaki bağıntıları kullanarak

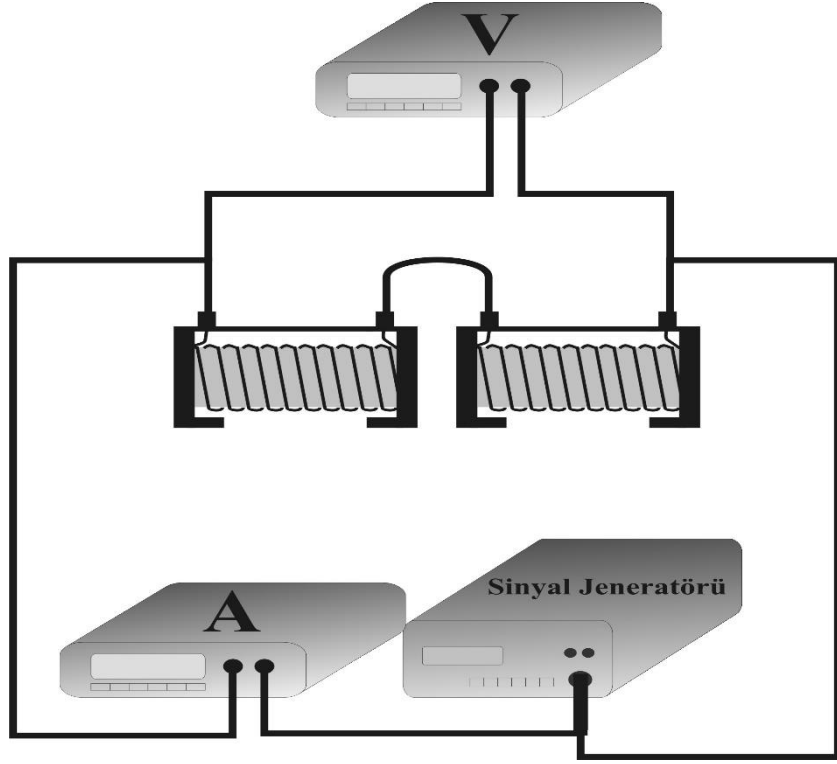
$$L_p = \frac{L_1 L_2 - M^2}{L_1 + L_2 - 2M} \quad (2.17)$$

olduğunu gösteriniz.

2) Farklı şekillerde bağlanmış iki bobinin eşdeğer indüktansını, uygulanan akıma ve indüklenen gerilime bağlı ifadesini çıkarınız.

Deneyin Yapılışı

1) Şekil (2.5)'de görüldüğü gibi bobinleri seri bağlayınız. Daha sonra farklı akım değerleri için indüklenen gerilimleri okuyunuz. Bu değerleri tabloda ilgili bölümlere yazarak eşdeğer indüktansı bulunuz. Bulduğunuz bu indüktans değerlerinin ortalamasını alınız.

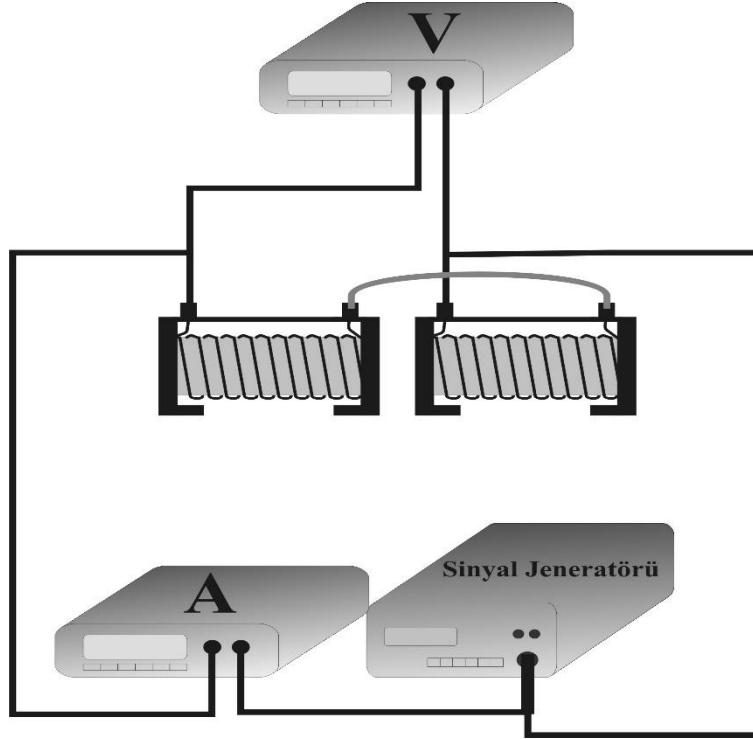


Şekil 2.5. Bobinlerin seri bağlanması.

I (A)	V (V)	f (Hz)	L_{sa} (H)

$$L_{sa(ort)} =$$

2) Şekil (2.6)'da görüldüğü gibi bobinleri zıt seri bağlayınız. Daha sonra farklı akım değerleri için indüklenen gerilimleri okuyunuz. Bu değerleri tabloda ilgili bölümlere yazarak eşdeğer indüktansı bulunuz. Bulduğunuz bu indüktans değerlerinin ortalamasını alınız.

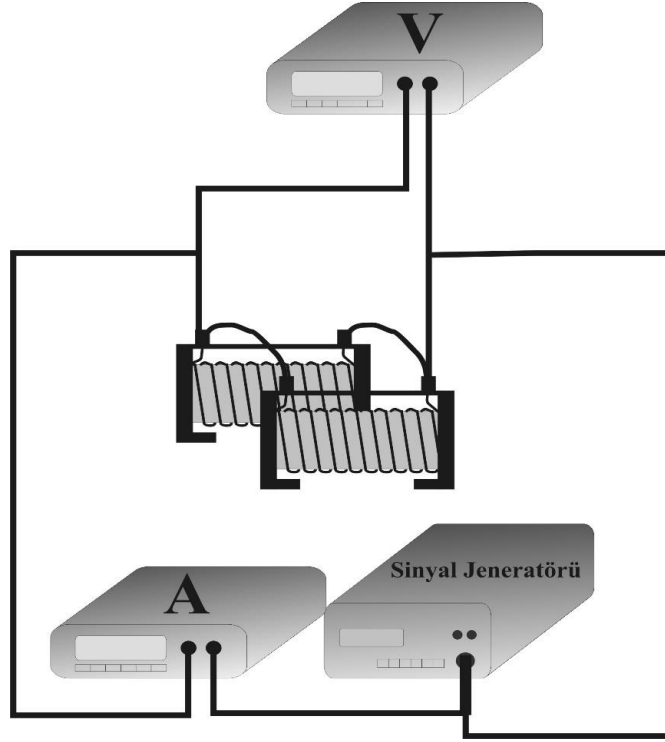


Şekil 2.6. Bobinlerin zıt ve seri bağlanması.

I (A)	V (V)	f (Hz)	L_{sz} (H)

$$L_{sz}(\text{ort}) =$$

3) Şekil (2.7)'de görüldüğü gibi bobinleri paralel bağlayınız. Daha sonra farklı akım değerleri için indüklenen gerilimleri okuyunuz. Bu değerleri tabloda ilgili bölümlere yazarak eşdeğer indüktansı bulunuz. Bulduğunuz bu indüktans değerlerinin ortalamasını alınız.



Şekil 2.7. Bobinlerin paralel bağlanması.

I (A)	V (V)	f (Hz)	L_p (H)

$$L_p(\text{ort}) =$$

4) Farklı şekillerde bağlanmış bobinlerin eşdeğer indüktanslarını kullanarak L_1 , L_2 ve M değerlerini bulunuz.

M	
L_1	
L_2	

5) Hata hesabı yapınız.

DENEY III

TRANSFORMATÖRLER

Amaç

Transformatörlerde gerilim, akım ve güç dönüşüm ilişkilerinin incelenmesi ve sarım sayısı oranının etkisinin doğrulanması.

Deney Malzemeleri

Alternatif akım güç kaynağı; Ampermetre; Sarım sayıları farklı bobinler; Bağlantı kabloları; Voltmetre.

Teorik Bilgi

Alternatif akım ve devrede gerilim de dahil tüm devre elemanları zamana harmonik fonksiyonlar (sinüs, kosinüs) ile bağlıdır. Değişen koşullara göre yüksek veya düşük gerilim kullanıldığından ac gerilimin genliği değişir. Yüksek gerilimle elektrik enerjisini iletmek çok daha ekonomik olmakla birlikte, zayıf akım devrelerinde yüksek gerilim kullanımı hem verimsiz hem de tehlikelidir. Bir ac jeneratörünün ürettiği emk;

$$\varepsilon = V_0 \sin(\omega t) \quad (3.1)$$

V_0 emk kaynağının gerilim genliğidir. Şekil 3.1'deki gibi aynı demir çekirdek üzerine sarılmış, kesitleri aynı, sarım sayıları N_1 ve N_2 olan iki ideal bobini düşünersek [Şekil (3.2)], birinci bobin veya primer bobin;

$$\varepsilon_1 = V_1 \sin(\omega t) \quad (3.2)$$

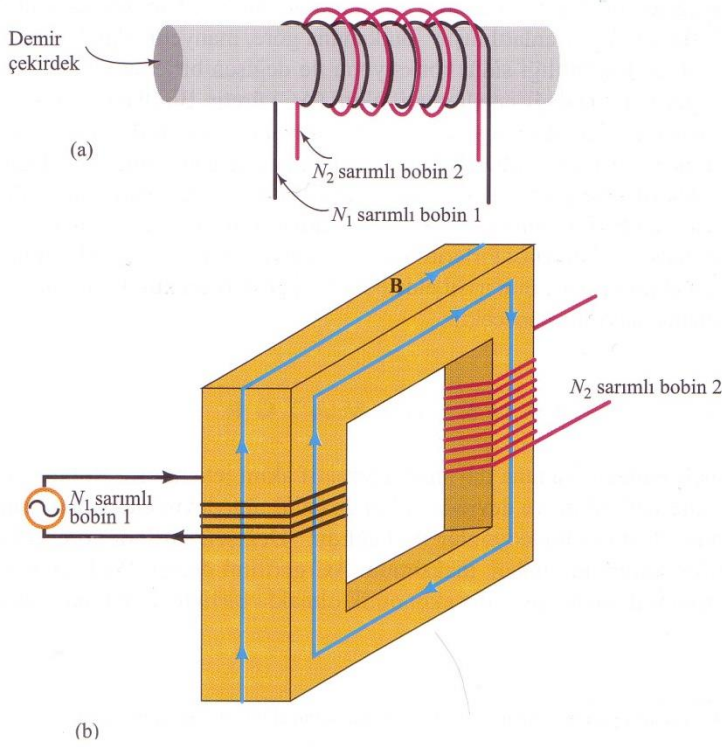
ile verilen bir gerilimle beslendiğinde, ikinci veya sekonder bobinde genliği V_2 olan ε_2 ac gerilimi oluşur. Bu durum şematik olarak Şekil (3.3)'de gösterilmektedir. Birinci bobin şiddeti zamana göre değişen bir akım taşıdığından içinden değişken bir manyetik akı geçer. Faraday yasası, birinci bobindeki zaman bağımlılığı,

$$\varepsilon_1 = -L \frac{dI_1}{dt} \quad (3.3)$$

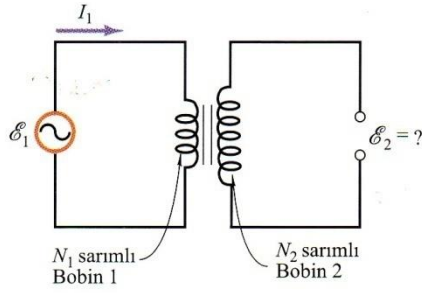
ile verilir. L özindüksiyon katsayısını gösterir. Burada amaç I_1 akımını bulmak değil, manyetik akı değişikliği nedeniyle ikinci bobinde meydana gelen indüksiyon emk ε_2 gerilimini bulmaktır.



Şekil 3.1. Değişken transformatör.



Şekil 3.2. İki bobinin farklı bağlantıları; a) bir bobin diğerinin üzerine sıkıca sarılır, b) iki bobin, manyetik alan çizgileri içinde tutan ortak ince levhalardan oluşan bir ferromanyetik çekirdek üzerine sarılır.



Şekil 3.3. Tam bağlı iki bobinin şematik çizimi. Bobinin biri ac kaynağı emk'nın bulunduğu devre içinde ise, bu devre transformatör görevi yapar.

Birinci bobindeki akım şiddetinin değişimi ikinci bobinde manyetik akı değişimi oluşturur. İkinci bobinde karşılıklı indüksiyon sonucu olarak emk;

$$\varepsilon_2 = -M \frac{dI_1}{dt} \quad (3.4)$$

$\frac{dI_1}{dt}$ Eş.3.3'den çekilerek bu denklemde yerine yazılırsa;

$$\varepsilon_2 = M \frac{\varepsilon_1}{L} \quad (3.5)$$

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{M}{L}$$

$\frac{M}{L}$ oranı sabittir ve bu nedenle ε_2 , ε_1 ile aynı harmonik zaman bağımlılığına sahiptir. Eş.3.1'deki gibi birinci bobindeki akımın açısal frekansı ω ise, ikinci bobinde indüklenen akımın açısal frekansı da ω 'dır.

Bu bobinler aslında birbiri ile temas halinde olan iki ideal selonoid olduğundan M ve L bilinen büyüklüklerdir. İki bobinin ortak indüktansı tek halka selonoid düzeneğindeki ortak indüktansın özel bir durumudur. Ortak indüktans;

$$M = \mu_0 A \frac{N_1}{l_1} N_2 \quad (3.6)$$

birinci bobinin özindüktansı;

$$L = \mu_0 A \frac{N_1^2}{l_1} \quad (3.7)$$

Bu iki denklemi Eş.3.5’de kullanarak;

$$\frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} = \frac{\mu_0 A N_1 N_2}{l_1} \frac{l_1}{\mu_0 A N_1^2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (3.8)$$

ε_1 ve ε_2 ’de ac zaman bağımlılığı aynı olduğundan Eş.3.8 iki bobinin gerilim genlikleri V_1 ve V_2 ’yi birbirine bağlar;

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1} \quad (3.9)$$

Transformatör bu gerilim genliklerini arttırıp azaltarak değiştirmeyi sağlayan bir araçtır. $N_2 > N_1$ olduğunda ikinci bobindeki gerilim genliği birincidekinden daha büyüktür ve bu transformatöre **yükseltici transformatör** denir. $N_2 < N_1$ durumunda ise ikinci bobindeki gerilimin genliği, birinci bobindeki genlikten daha küçüktür ve bu transformatöre **düşürücü transformatör** denir.

Transformatör çalışırken enerji korunur. Eğer transformatör, direnç en aza indirilerek Joule ısınmasından kaynaklanan kayıplar ortadan kalkacak şekilde verimli bir hale getirilebilirse I_e çarpımı ile verilen enerji akış hızı, transformatörün her iki bobininde eşit olur. Bu durumda;

$$I_1 \varepsilon_1 = I_2 \varepsilon_2$$
$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{I_2}{I_1} \quad (3.10)$$

Bu denklem Eş.3.8’de yerine yazılırsa;

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (3.11)$$

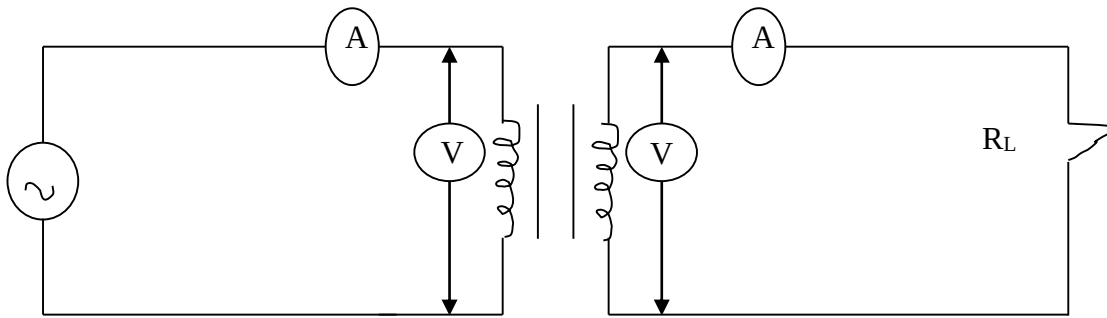
Başka bir ifade ile yükseltici transformatörün ikinci bobininde akım azalırken, düşürücü transformatörün bobininde akım artar.

Hazırlık Soruları

- 1) Transformatörün çalışma ilkesi hakkında bilgi veriniz.
- 2) Transformatördeki güç kaybı nelerden kaynaklanmaktadır.
- 3) Transformatördeki güç kaybını azaltmak için neler yapılmaktadır.
- 4) Demir çekirdeğin tek bir blok değil de levhalar halinde yapılmasının nedenini açıklayınız.
- 5) Demir çekirdekteki titreşimin nedenini açıklayınız.

Deneyin Yapılışı

- 1) Şekil (3.4)'teki devreyi kurunuz.



Şekil 3. 4

- 2) V_1 , I_1 , V_2 , I_2 değerlerini tayin ediniz.

V_1 (V)	
I_1 (A)	
V_2 (V)	
I_2 (A)	

- 3) Denklem (3.9), (3.10) ve (3.11)'deki oranları doğrulayınız.

- 4) Transformatörün verimini hesaplayınız ve sonucu tartışınız.

DENEY IV

HELMHOLTZ BOBİNİNDE OLUŞAN MANYETİK ALANIN ÖLÇÜLMESİ

Amaç

Helmholtz bobin düzeninde merkez bölgedeki düzgün manyetik alanın ölçülmesi ve teorik ifadeyle karşılaştırılması.

Deney Malzemeleri

Digiac 1750 Deney Seti; Bağlantı Kabloları.

Teorik Bilgi

Aynı eksen üzerine yerleştirilmiş eşit sarımlı iki bobinden oluşan sistem Helmholtz bobini olarak bilinir. Bu bobinin özelliği bobinler arasındaki uzaklığın bobinlerin ortak yarıçapına eşit olmasıdır.

Düzgün bir manyetik alan üretmek istendiğinde yaygın olarak Helmholtz bobini kullanılır. Bobinlerin birinden x kadar uzaklıktaki eksen üzerinde i akımı taşıyan yarıçapı a olan N sarımlı bir bobinin eksenindeki alan şöyledir;

$$H = \frac{Ni}{2a} \left(1 + \frac{x^2}{a^2} \right)^{-\frac{3}{2}} \quad (4.1)$$

Bobinlerin birini $x=0$ ve diğerini $x=a$ konumunda yerleştirelim. İki bobinden de aynı yönlü akım geçtiğinde, bobinlerin ortasındaki alan,

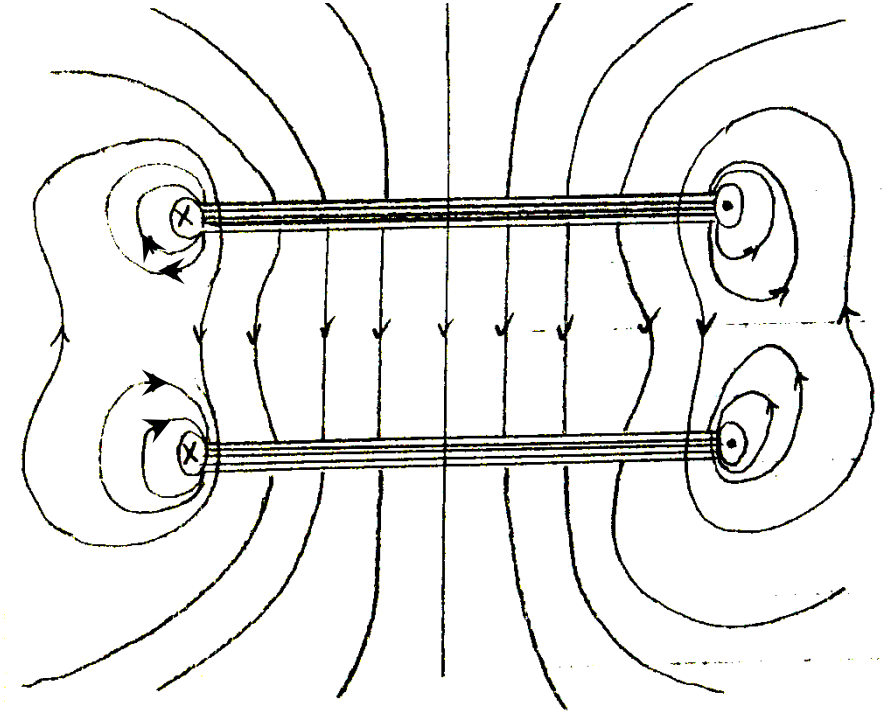
$$H = \frac{Ni}{2a} \left[\left(1 + \frac{x^2}{a^2} \right)^{-\frac{3}{2}} + \left(1 + \frac{(a-x)^2}{a^2} \right)^{-\frac{3}{2}} \right] \quad (4.2)$$

olur. Eksen üzerinde, orta noktada $\left(x = \frac{a}{2} \right)$ Helmholtz bobini için manyetik alanın eksen bileşeni,

$$H = \frac{0,8^{\frac{3}{2}} Ni}{a} = \frac{0,7155 Ni}{a} \quad (4.3)$$

şeklinde elde edilir.

Eksen üzerindeki yarıçap yönündeki bileşen simetriden dolayı sıfır olmaktadır. Sonuçta Helmholtz bobininde ortak eksen x eksenini boyunca düzgün bir alan, eksenden yarıçap doğrultusundaki yönde yani z eksenini boyunca zayıf bir alan oluşmaktadır. Bundan dolayı manyetik alan şiddeti bobinler arasındaki geniş bir bölgede oldukça sabittir. Helmholtz bobininde oluşan düzgün manyetik alan Şekil (4.1)'de gösterilmiştir.



Şekil 4.1. Helmholtz bobininde oluşan manyetik alan.

Bobinlerin birinden geçen akım terslendirilirse, oluşan alanlar zıt olacaktır. Bu koşullarda eksen üzerindeki alan;

$$H = \frac{Ni}{2a} \left[\left(1 + \frac{x^2}{a^2} \right)^{-\frac{3}{2}} - \left(1 + \frac{(a-x)^2}{a^2} \right)^{-\frac{3}{2}} \right] \quad (4.4)$$

olur. Helmholtz bobinleri, bir örneğe sabit bir kuvvet uygulamak için kullanışlı olan düzgün bir alan değişimi üretir.

Hazırlık Soruları

- 1) Teslametre ne işe yarar, açıklayınız.
- 2) Manyetik alan ölçüm teknikleri nelerdir, açıklayınız.

Deneyin Yapılışı

1. Bobinleri üzerlerinden aynı yönde akım geçecek şekilde ayarlayınız ve x uzaklığına göre manyetik akı yoğunluğunu (manyetik indüksiyonu, B) ölçüp Tablo (4.1)'e değerleri kaydediniz.

Tablo 4.1. Uzaklığa göre ölçülen manyetik akı yoğunluğu değerleri.

x (cm)	B (mT)	x (cm)	B (mT)
7,5		-7,5	
7		-7	
6		-6	
5		-5	
4		-4	
3		-3	
2		-2	
1		-1	
0			

Tablo (4.1)'deki manyetik indüksiyon değerlerini kullanarak manyetik alan şiddeti (H) değerlerini Eş. (4.5)'i kullanarak hesaplayınız.

$$B = \mu_0 H \quad \left(\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{ H/m} \right) \quad (4.5)$$

2. Hesaplanan manyetik alan şiddetinin, uzaklığa bağlı grafiğini çiziniz.
3. Bobinlerden aynı yönlü akım geçmesi durumu için Eş. (4.2)'yi kullanarak Tablo (4.1)'deki x değerlerine karşılık H (teorik) değerlerini hesaplayınız. Hesapladığınız H (teorik) değerleri ile birinci aşamada bulduğunuz H (deneysel) değerlerini karşılaştırınız.
4. Aynı işlemleri bobinlerin birinden geçen akımı terslendirerek tekrarlayınız (Teorik H değerlerini hesaplamak için Eş. (4.4)'den yararlanınız.

DENEY V

D.C. SELONOID, D.C. RÖLE, DİNAMİK MİKROFON, HOPARLÖR VE BUZZER'IN İNCELENMESİ

Amaç

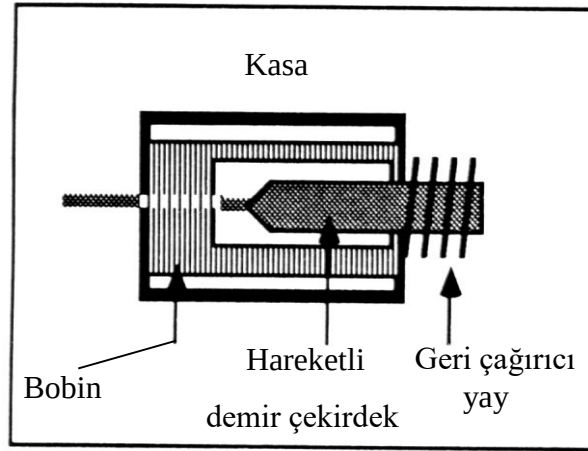
Elektromanyetik kuvvet prensibine dayalı cihazların çalışma mekanizmalarının incelenmesi ve manyetik alan–kuvvet ilişkilerinin analiz edilmesi.

Deney Malzemeleri

Digiac 1750 Deney Seti; Bağlantı Kabloları.

Teorik Bilgi

D.C. SELENOİD

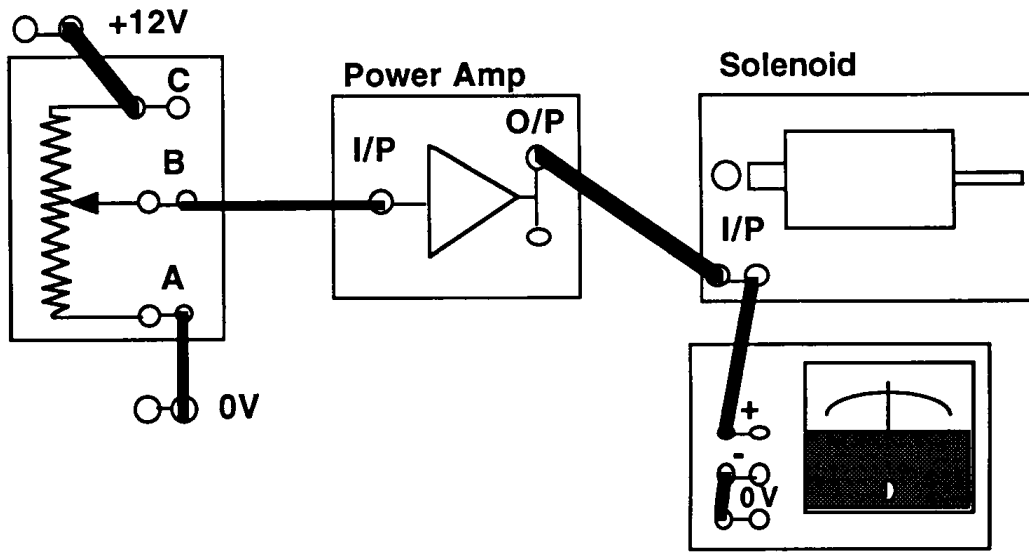


Şekil 5.1. D.C. Selenoidin yapısı.

D.C. Selenoidin yapısı Şekil (5.1)'de görüldüğü gibi bir demir çekirdek ve bu çekirdeğin serbestçe hareket edebileceği hareketli bir yataktan oluşur. Bobinden akım geçmediği sürece demir çekirdek yay tarafından kendi başlangıç konumunda tutulur. Buna mekanik olarak **“sabit konum”** da denir. Bobinden akım geçtiği zaman çekirdek, mıknatıslanmanın etkisi ile bobinin içine doğru çekilir ve öyle tutulur. Akım kesilince ise yayın geri çağırıcı kuvveti etkisi ile başlangıç konumuna geri döner. Çekirdeği bobin içinde tutan bu gerilime **“pull-in” (çekme) gerilimi** denir ve bobinde artan gerilimden daha küçüktür. Şayet bobin gerilimi kademeli olarak azaltılırsa, belirli bir değerde

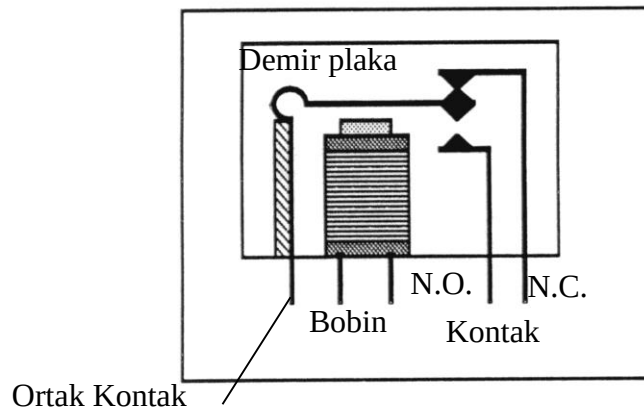
çekirdek yayın hareketi ile başlangıç konumuna dönecektir. Bu durumu sağlayan gerilime de “*drop-out*” (çıkış) ya da “*release*” (gevşeme) gerilimi denir. Şekil (5.2)’de selonoidin devre yapısı gösterilmiştir ve bazı özellikleri aşağıdaki verilmiştir.

Bobin direnci	: 50 Ω
Bobinde artan gerilim	: 12 V
Pull-in (çekme) gerilimi	: 6 V
Release (gevşeme) gerilimi	: 0,8 V



Şekil 5.2. D.C. Selonoidin devre yapısı.

D.C. RÖLE



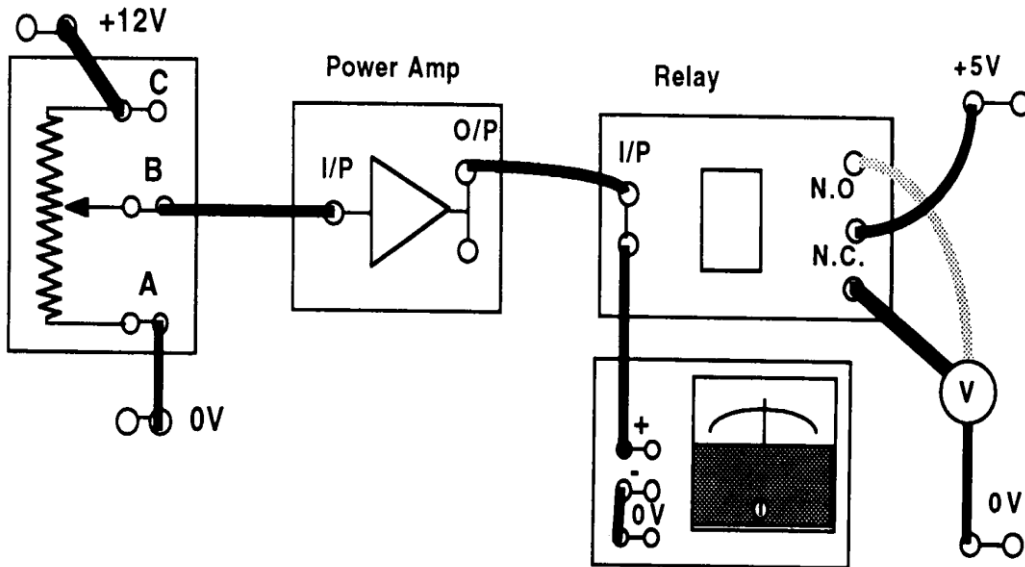
Şekil 5.3. D.C. Rölenin yapısı.

D.C. Rölenin yapısı Şekil (5.3)'teki gibidir. Yapısında, içinde demir çekirdek bulunan bir bobin, bunun üzerinde bir yaya tutturulmuş demir şerit ve yanda da D.C. Rölenin açık ve kapalı durumlarını gösteren iki şerit daha mevcuttur.

Normal durumda yani bobinden akım geçmezken demir çekirdek rölenin kapalı durumunu ifade eden N.C. (Normally Close) konumundadır. Bobinden akım geçirildiği zaman artan gerilim ile demir çekirdek mıknatıslanacak ve demir şeridi çekecektir. Bu durum N.C. bağlantısını koparıp röleyi N.O. (Normally Open) konumuna getirecektir. Bobine verilen her bir kısa akım ile kontak açık ve kapalı konuma geçer.

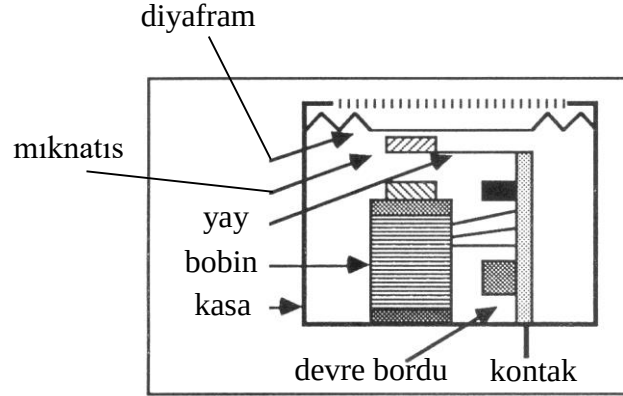
D.C. Rölenin bazı özellikleri aşağıdaki gibidir.

Bobin direnci	: 320 Ω
Bobin çalışma gerilimi	: 7,5 V
Bobin salınma gerilimi	: 1,8 V
Çalışma / Salınma zamanı	: 5 ms



Şekil 5.4. D.C. Rölenin devre yapısı.

BUZZER

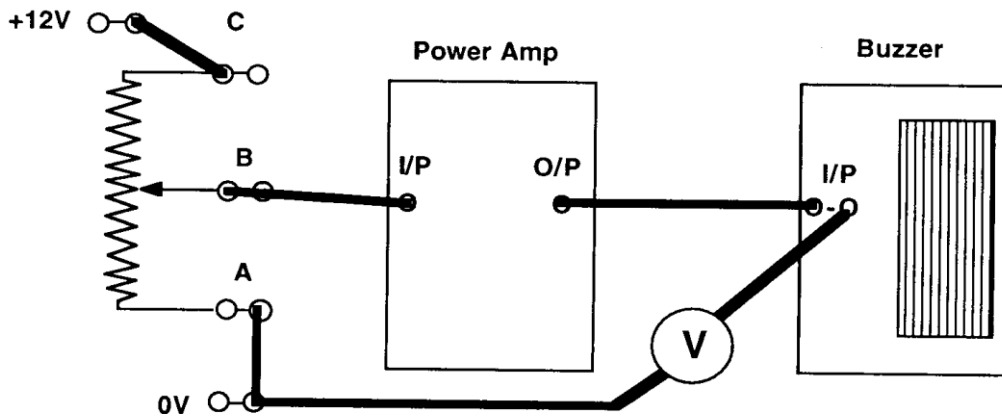


Şekil 5.5. Buzzer'ın yapısı.

Buzzer'ın yapısı Şekil (5.5)'teki gibidir. Demir çekirdekli bobini alternatif bir elektromanyetik kuvvetle beslemek için, buzzer küçük bir transistörlü devre içerir. Bu sayede bobinde oluşan alternatif manyetik alan, yaya tutturulmuş mıknatısı iter ve çeker. Aynı şekilde mıknatıs da diyaframı titreştirir ve yüksek bir gürültü meydana gelir.

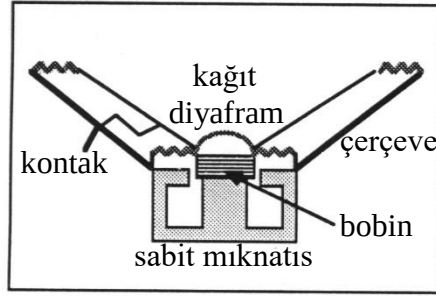
Buzzer, kontrol sistemlerinde alarm olarak kullanılır. Buzzer'ın bazı özellikleri aşağıdaki gibidir.

Kaynak gerilimi	: 12 V
Kaynak akımı	: 11 mA
Çıkış frekansı	: 400 Hz
Çıkış seviyesi	: 80 dB



Şekil 5.6. Buzzer'ın devre yapısı.

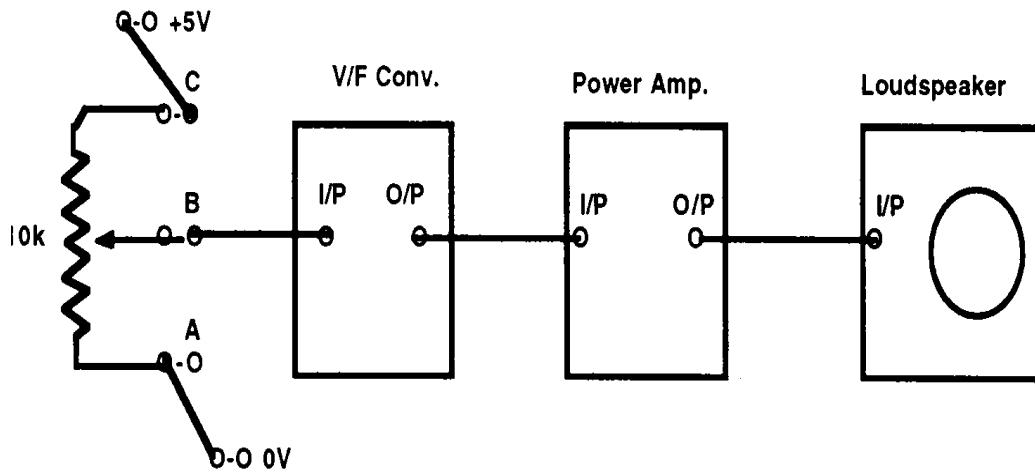
HOPARLÖR



Şekil 5.7. Hoparlörün yapısı.

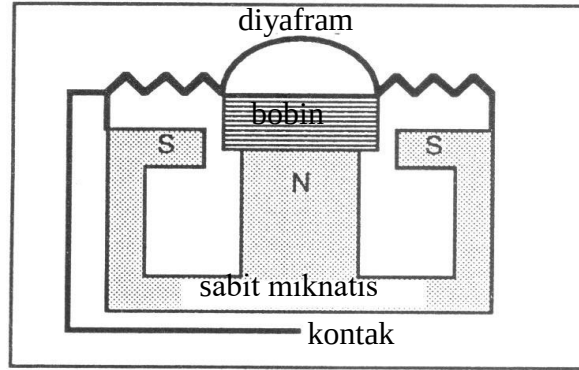
Hoparlör Şekil (5.7)'de görüldüğü gibi mıknatıs üzerinde hareket edebilen bir bobin ve diyaframdan oluşur. Diyafram bir çerçeve ile geniş bir kağıt kanaya tutturulmuştur. Bu kana bobin ile serbestçe hareket edebilmektedir. Bobine uygulanan alternatif gerilim onun manyetik alanda ileri geri hareketine sebep olur. Duyulabilir bölgede (50-20000 Hz) uygulanan frekans ile kananın hareketi hava basıncının değişimine sebep olacaktır. Bu frekansta oluşan ton insan kulağı tarafından duyulabilmektedir. Hoparlörün bazı özellikleri aşağıdaki gibidir.

Empedans	: 8 Ω
Güç oranı	: 200 mW max.
Frekans cevabı (3 dB)	: 400-5000 Hz



Şekil 5.8. Hoparlörün devre yapısı.

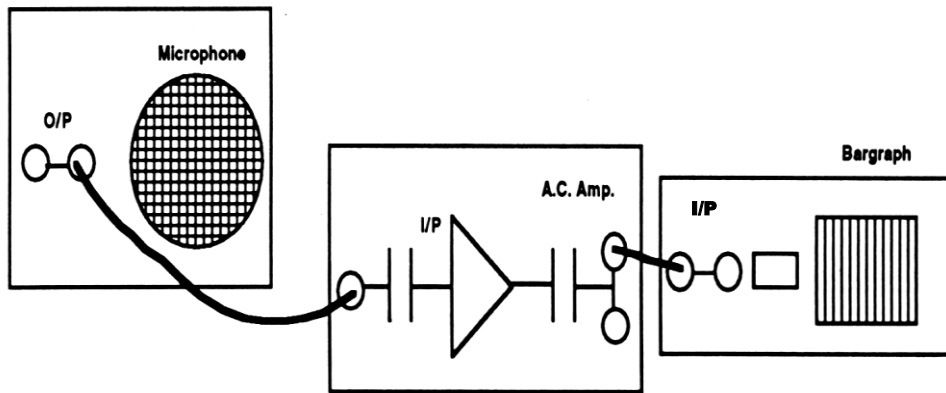
DİNAMİK MİKROFON



Şekil 5.9. Dinamik Mikrofon yapısı.

Dinamik Mikrofonun yapısı Şekil (5.9)'da görüldüğü gibi ince bir diyaframa tutturulmuş bobin içerir. Bobin mıknatis alanı içinde asılı durmaktadır. Diyafram havadaki her hangi bir ses titreşimine karşı hareket eder ve bu da bobinin manyetik alan içinde hareketine sebep olur. Bu hareket sonucu bobinde bir elektromanyetik kuvvet indüklenir. Bu kuvvetin büyüklüğü sesin genliği ile orantılıdır. Dinamik Mikrofonun bazı özellikleri aşağıdaki gibidir.

Çıkış empedansı	: 600 Ω
Cevap (-3 dB)	: 60-18000 Hz
Çıkış gerilimi	: 5 mV (normal max.)



Şekil 5.10. Dinamik Mikrofonun devre yapısı.

Hazırlık Soruları

- 1) Faraday ve Lenz yasalarını (formülleriyle birlikte) açıklayınız.
- 2) D.C. Selonoid, D.C. Röle, Dinamik Mikrofon, Hoparlör ve Buzzer' ın uygulama alanları nelerdir? Açıklayınız.

Deneyin Yapılışı

1. Şekil (5.2)'deki devreyi kurunuz ve anahtarı "on" konumuna getiriniz. Voltmetrenin sıfır ayarını yapıp gerilim değerini yavaş yavaş arttırınız. Çekirdeğin bobinin içine doğru çekildiğini göreceksiniz. İkinci "click" sesini duyunca çekirdek tamamen çekilmiştir. Artık onu eski başlangıç konumuna döndürmek oldukça zordur. Voltmetreden "pull-in" (çekme) gerilim değerini okuyup kaydediniz. Olayı bir de parmaklarınız ile tekrarlayın. Daha sonra gerilimi yavaş yavaş azaltarak çekirdeğin başlangıç konumuna dönmesini sağlayın ve "release" (gevşeme) gerilim değerini kaydedin.
2. Şekil (5.4)'deki devreyi kurunuz ve sistemi sıfır gerilime ayarlayınız. Anahtarı "on" konumuna getiriniz. Röle enerjilenmemiş duruma gelecektir. Bu durumda N.C. ve N.O. gerilimlerini aşağıdaki tabloya giriniz. 5 V, N.C. ve 0 V, N.O. durumunu ifade eder. Röleye 10 V uygulayıp tekrar N.C. ve N.O. gerilimlerini kaydediniz ve değerleri Tablo (5.1)'e giriniz.

Röle bobininin sahip olduğu "Pull-in" (çekme) ve "Release" (gevşeme) gerilim karakteristikleri selonoide benzerdir. Rölenin belirlenen "Pull-in" (çekme) ve "release" (gevşeme) gerilim değerleri, uygulanan gerilim ile artıp azalmaktadır. "click" sesi duyulması, rölenin diğer bir alternatif duruma geçtiği anlamına gelir.

Tablo 5.1. Röle için ölçülen deneysel sonuçlar.

Röle		Kontaklar		
Bobin Gerilim	Durum	Kontak	Gerilim	Durum
0 V	Enerjilenmemiş	N.C.		
		N.O.		
10 V	Enerjilenmiş	N.C.		
		N.O.		

3. Şekil (5.6)'daki devreyi kurup $10\text{ k}\Omega$ ' luk direnci sıfır çıkış gerilimi için ayarlayınız. Anahtarı “on” konumuna getirip Buzzer’ a uygulanan gerilimi arttırınız ve Buzzer’ ın çalışmaya başladığı gerilimi kaydediniz. Daha sonra uygulanan gerilimi arttırıp aşağıdaki soruları cevaplayınız.

-Buzzer’ ın çalışması için en küçük gerilim nedir?

-Gerilim artarken sesin frekansı da arttı mı?

-Gerilim artarken sesin genliği de arttı mı?

4. Şekil (5.8)'deki devreyi kurarak anahtarı “on” konumuna getiriniz. $10\text{ k}\Omega$ ' luk direnci değiştirerek çıkış frekansını V/F değiştirici üzerinden değiştiriniz. ($0 \rightarrow 5\text{ kHz}$) ve bu frekansa uygun tonu hoparlörden dinleyin. Çıkış dalga formu sinüsoidal değil de kare olduğundan kulağa gelen ses saf değildir.
5. Şekil (5.10)'daki devreyi kurunuz ve A.C. yükseltecin kazanç kontrolünü 1000 olarak ayarlayınız. Anahtarı “on” konumuna getirip parmaklarınız ile mikrofona vurarak “bargraph” ı(ışıklı göstergeyi) izleyiniz. Bu göstergedeki her bir led’ in yanması 0.5 V , 10 led yanması ise 5 V ’ u ifade eder.

Ledlerin tümünün yanması mümkün mü?

Bargraph yakınında değişik sesler çıkararak ledlerden size verdiği cevabı takip ediniz. Daha sonra devreye bir voltmeter bağlayarak işlemleri tekrarlayınız ve ledlerin tümü yandığında voltmeterin gösterdiği en büyük değeri kaydediniz.

En büyük gerilim çıkışı(Bargraph) = 5 V

En büyük gerilim çıkışı(Voltmetre) = ?

Voltmetre daha düşük değer gösterecektir.

DENEY VI

SÜREKLİ MİKNATIS TAKOJENERATÖR

Amaç

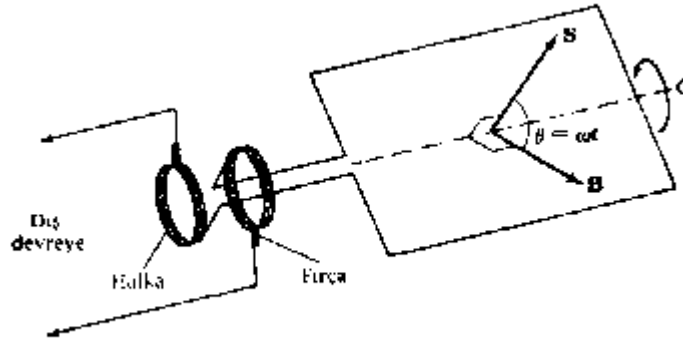
Sürekli mıknatıslı takojeneratörde açısal hız ile indüklenen gerilim arasındaki ilişkinin belirlenmesi.

Deney Malzemeleri

Helmholtz bobin takımı; Akım kaynağı; Teslametre; Bağlantı kabloları.

Teorik Bilgi

Mekanik enerjinin elektrik enerjisine çevrilmesinde temel olay Faraday yasasıdır. Bu enerji dönüşümü teknolojik uygulamalarda önemli bir yere sahiptir. Örneğin elektrik santralindeki bir elektrik üreticinde, dinamoda ve arabaların alternatörlerinde bu dönüşüm olmaktadır. Dönüşümün temel çalışma ilkesi düzgün bir manyetik alanda dönen iletken bir çerçeveyi inceleyerek anlaşılabilir [Şekil (6.1)].



Şekil 6.1: Dikdörtgen bir çerçeve düzgün bir manyetik alanda dönüyor. Elektriksel bağlantı, dönen halkalar üzerinde kayan fırçalar aracılığıyla yapılır.

Şekil (6.1)'de görüldüğü gibi manyetik alanın düzgün olduğunu ve çerçevenin bir dış etken aracılığıyla O eksenini etrafında döndürüldüğünü düşüneceğiz. Burada eksen çerçeve düzleminde ve alana diktir. Bu düzlemsel çerçeve Şekil (6.1)'de görüldüğü gibi her zaman dikdörtgen değil

herhangi bir biçimde de olabilir. θ , manyetik alan ile çerçeve düzlemine dik olan $\vec{S}$ yüzey vektörü arasındaki açıdır. Bu durumda çerçeveden geçen akı şöyledir.

$$\Phi_B = \int \vec{B} \cdot d\vec{S} = \vec{B} \cdot \vec{S} = B.S.\cos \theta \quad (6.1)$$

Çerçeve döndüğünde $\vec{B}$ ile $\vec{S}$ arasındaki θ açısı değişeceğinden, Φ_B akısı da değişecektir. Bu değişim sonucu, Faraday yasası gereği iletken çerçevede bir elektromotor kuvveti indüklenir. Çerçeve, eksen etrafında sabit bir ω açısal hızıyla dönüyorsa θ açısı aşağıdaki gibi yazılır.

$$\theta = \omega.t \quad (6.2)$$

Bu durumda çerçeveden geçen akı ve indüklenen e.m.k. ;

$$\Phi_B = B.S.\cos \omega t \quad (6.3)$$

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (6.4)$$

$$\mathcal{E} = B.S.\omega.\sin \omega t \quad (6.5)$$

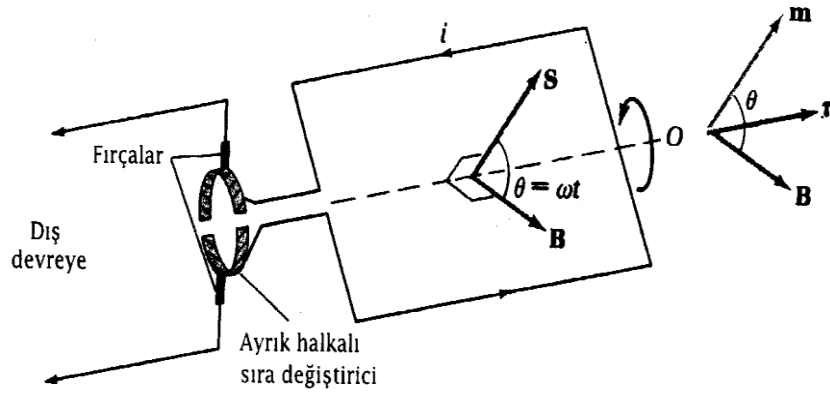
ile verilir.

Çerçevede N sarımlı bir sargı varsa her bir sarımda bir e.m.k. indüklenir ve toplam emk;

$$\mathcal{E} = N.B.S.\omega.\sin \omega t \quad (6.6)$$

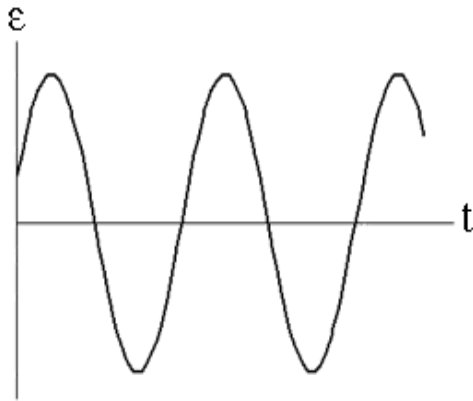
şeklindedir.

Dönen bir sargının, dış devreye üreteç olabilmesi için devreye iletken teller ile bağlanmalıdır. Dikdörtgen çerçeveden gelen teller, bir mille çerçeveye ve dönen halkalara bağlanır. Dış devreye elektriksel bağlantı, dönen halkalar üzerinde kayan iletken fırçalar aracılığıyla olur. Çıkış gerilimi V , fırçalar arasında üretilen e.m.k. olup bu aslında indüklenmiş e.m.k.' dir.



Şekil 6.2. Fırçalar, dönen bölünmüş bir sıra değiştirici halkaya elektriksel olarak değerler.

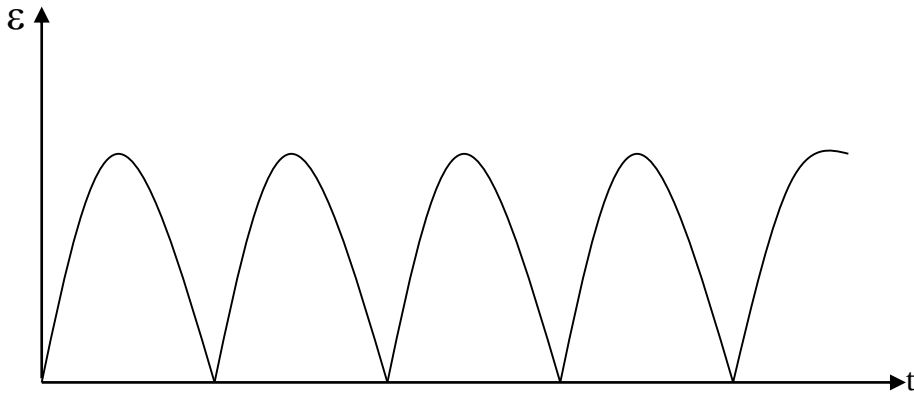
Değişik bir döner halkalı bağlantı biçimi düzeneği Şekil (6.2)'de gösterilmiştir. İki fırça ayırık halkalı sıra değiştiricinin (komütatör) ayrı yarılarına değer. Dönüşün bir kısmında sargının çıkış gerilimi Şekil (6.3)' deki çevrimin pozitif kısmına karşılık gelir. Ama çevrimin negatif kısmı başladığında, fırçalar sıra değiştiricinin ters yarılarına değer. Böylece sıra değiştirici, Şekil (6.4)' de görüldüğü gibi, çıkış geriliminin işaretinin sürekli değişmesi yerine, aynı kalmasını sağlar. Çıkış akımının yönünü koruyan böyle bir sıra değiştiricisi bulunan üretece D.C. (Doğru Akım) üretici denir.



Şekil 6.3: Bir AA üretecinin çıkış gerilimi (veya e.m.k.) salınımlıdır.

Bir üreteç çerçevesinde indüklenen akımın yönü Lenz yasası ile bulunur. Şekil (6.2)'deki çerçevede indüklenen akımın yönü, Şekil (6.4)'de θ , 0° ile 90° arasında artarken gösteriliyor. Bu sırada akı azalırken indüklenen akım bu azalmaya karşı koyar.

Bu sonuç, indüklenmiş akımın geçtiği çerçeveye manyetik alanın uyguladığı dönme momenti cinsinden de verilebilir. Şekil (6.2)'ye göre bu dönme momenti söz konusu çerçeveyi, dönme yönünün tersine döndürmeye çalışır. Bu dönme momenti, dönen çerçeveyi durdurmaya yönelik olacaktır. Yani manyetik dönme momenti çerçevenin dönmesini sağlayan dış dönme momentine karşı koyar. Bu dış etkenin çerçevenin açısal hızının değişmeden sürmesini sağlarken yaptığı iş, bu üreteşte üretilen elektrik enerjisinin kaynağıdır.



Şekil 6.4. Bir D.C. üreticinin çıkış gerilimi yönünü korur.

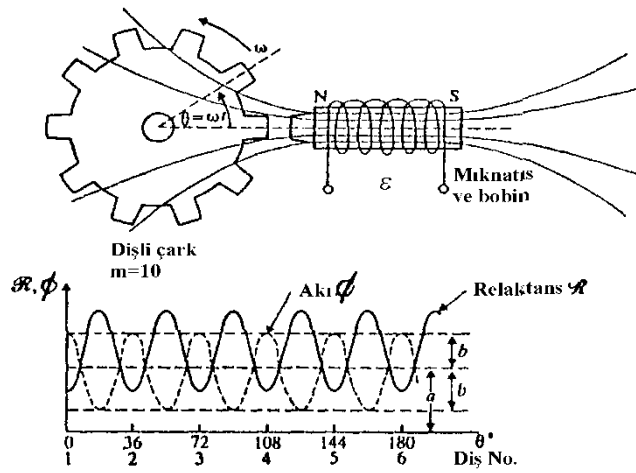
Sabit bir mıknatıs kullanılan sıradan bir D.C. üretici, hız ile orantılı olarak çıkış gerilimi üretir. Güç üreten makinalara kıyasla D.C. Takojeneratörler hız ölçümlerinde daha doğru sonuç verebilen cihazlardır.

V gerilimi, açısal hız terslendiğinde kutuplanmayı terslendiren ve hız ile orantılı olan bir D.C. gerilimidir. Sonlu sayıdaki iletkenlerden dolayı üst üste binmiş küçük bir gerilim dalgalanması vardır. Yüksek hızlarda bu dalgalanmayı azaltmak için düşük geçirgenlikli filtreleme işlemi etkin olurken düşük hızlarda bu işlem kullanışsızdır.

Değişken Relaktanslı Takometre

Elektromanyetik algılayıcılar Faraday elektromanyetik indüksiyon yasasına dayalı olarak doğrusal ve açısal hız ölçmeleri için kullanılırlar. Eğer bir iletken içindeki N manyetik akısı zamanla değişiyorsa o zaman manyetik akının değişim oranına eşit büyüklükte iletkenin bir e.m.k. ($\mathcal{E} = dN/dt$) indüklenir.

Elektromanyetik bir algılayıcı (sensör) manyetik akının değişimi incelenen hareketle olmaktadır. Bu durum indüklenen e.m.k. doğrusal veya açısal harekete bağlı demektir. Elektromanyetik algılayıcılara ortak bir örnek, açısal hızı ölçen değişken relaktanslı bir takometredir [Şekil (6.5)]. Bu algılayıcı ferromanyetik bir maddeden yapılmış ve dönen bir mil üzerine yerleştirilen dişli bir tekerlek içerir. Kutup ucu demirle uzatılmış sabit bir mıknatıs üzerine bir bobin sarılmıştır. Tekerlek veya dişli çark kutup ucuna yakın hareket ederek bobin tarafından manyetik akının zamanla değişimine sebep olmaktadır. Bu değişim ise bobinde bir e.m.k. indüklemektedir.



Şekil 6.5. Değişken relaktanslı takometre (Manyetik akıda ve relaktanstaki açısal değişimler).

İndüklenen e.m.k.'nın büyüklüğü, sabit mıknatıs, hava boşluğu ve dişli çarktan oluşan manyetik devre düşünülerek hesaplanabilir. Manyetik motor kuvveti (m.m.k.) zamanla sabittir ve sabit mıknatısın manyetik alan kuvvetine bağlıdır. Devrenin relaktansı dişli çark ve kutup başı arasındaki hava boşluğunun genişliğine bağlı olacaktır. Çarktaki bir diş kutup başına yaklaştığında relaktans en küçüktür, fakat diş uzaklaşırken artacaktır. Relaktans, çarktaki boşluk kutup başının karşısına geldiğinde en büyüktür. Fakat bir sonraki diş kutup başına yaklaşıırken relaktans yine azalacaktır. Şekil (6.5) açısal θ dönmesiyle relaktanstaki ($\mathcal{R}$) ortaya çıkan dönüşümlü değişmeyi göstermektedir. Devredeki manyetik akı,

$$\Phi = \frac{\text{m.m.k.}}{\mathcal{R}} \quad (6.7)$$

ve buna bağılı olarak n sarımlı bir bobin için toplam manyetik akı (Φ_T),

$$\Phi_T = n \cdot \Phi = \frac{n \cdot m.m.k.}{\mathfrak{R}} \quad (6.8)$$

şeklindedir. Buradan görüldüğü gibi $\Phi_T \propto \frac{1}{\mathfrak{R}}$ ile orantılıdır. θ açısına uygun toplam manyetik akıdaki değişim de Şekil (6.5)'de gösterilmiştir. Görüldüğü gibi en küçük relaktans en büyük manyetik akıya karşılıktır (veya tersi). Bu ilişki aşağıdaki gibi bir yaklaşımla açıklanabilir;

$$\Phi_T(\theta) = a + b \cos(m\theta) \quad (6.9)$$

buradaki a ortalama manyetik akı, b manyetik akı değişiminin büyüklüğü ve m ise çarktaki diş sayısıdır. $\mathcal{E} = dN/dt$ eşitliği kullanılarak indüklenen e.m.k. ,

$$\mathcal{E} = - \frac{d\Phi_T}{dt} = - \frac{d\Phi_T}{d\theta} \frac{d\theta}{dt} \quad (6.10)$$

$$\frac{d\Phi_T}{d\theta} = - b m \sin(m\theta) \quad (6.11)$$

$$\frac{d\theta}{dt} = \omega_r \quad (\text{dişli çarkın açısal hızı}) \quad (6.12)$$

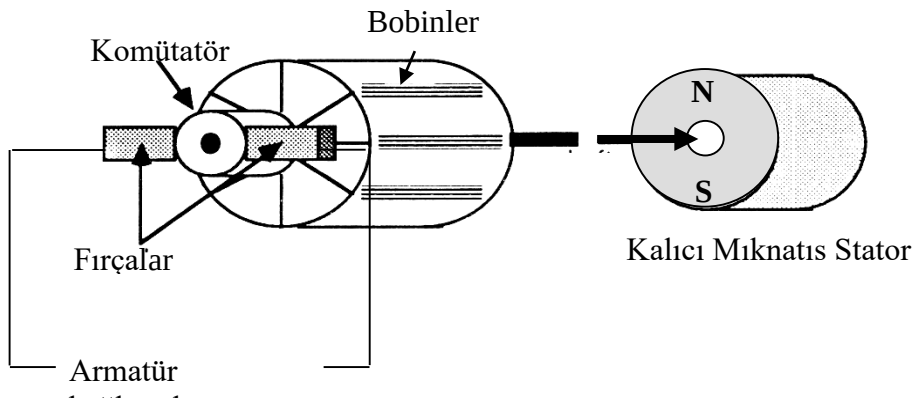
$$\theta = \omega_r t \quad (\text{başlangıçta } \theta = 0, t = 0 \text{ kabul edilir.}) \quad (6.13)$$

takometrenin değişken relaktansı için çıkış sinyali,

$$\mathcal{E} = b m \omega_r \sin(m\omega_r t) \quad (6.14)$$

Bu sinyal büyüklüğü $\mathcal{E} = b m \omega_r$ ve frekansı $f = \frac{m \omega_r}{2\pi}$ olan bir sinüs sinyaldir. Yani, hem büyüklüğü hem de frekansı çarkın açısal hızıyla orantılıdır. Temel olarak ω_r sinyalin büyüklüğünden veya frekansından bulunabilir.

Şekil (6.6) sabit mıknatıs içeren statoru (duran kısım) içinde dönen parçaların yer aldığı bir fırça düzenine (komütatör) bağlı bobin takımı içeren bir D.C. sabit mıknatıs takojeneratörünün temel yapısını gösterir. Dönen kısım armatür olarak söylenir. Bobinlerin dönmesiyle içeride değişken bir e.m.k. üretilir ve komütatör bunu D.C.'ye çevirir. Üretilen e.m.k.'nin büyüklüğü dönme hızı ve dönme yönüne bağlı olan kutuplanma ile orantılıdır.



Şekil 6.6. Takojeneratör'ün basit yapısı.

Hazırlık Soruları

- 1) D.C. Motor ve D.C. Takojeneratörün yapısını çizerek çalışma prensibini açıklayınız.

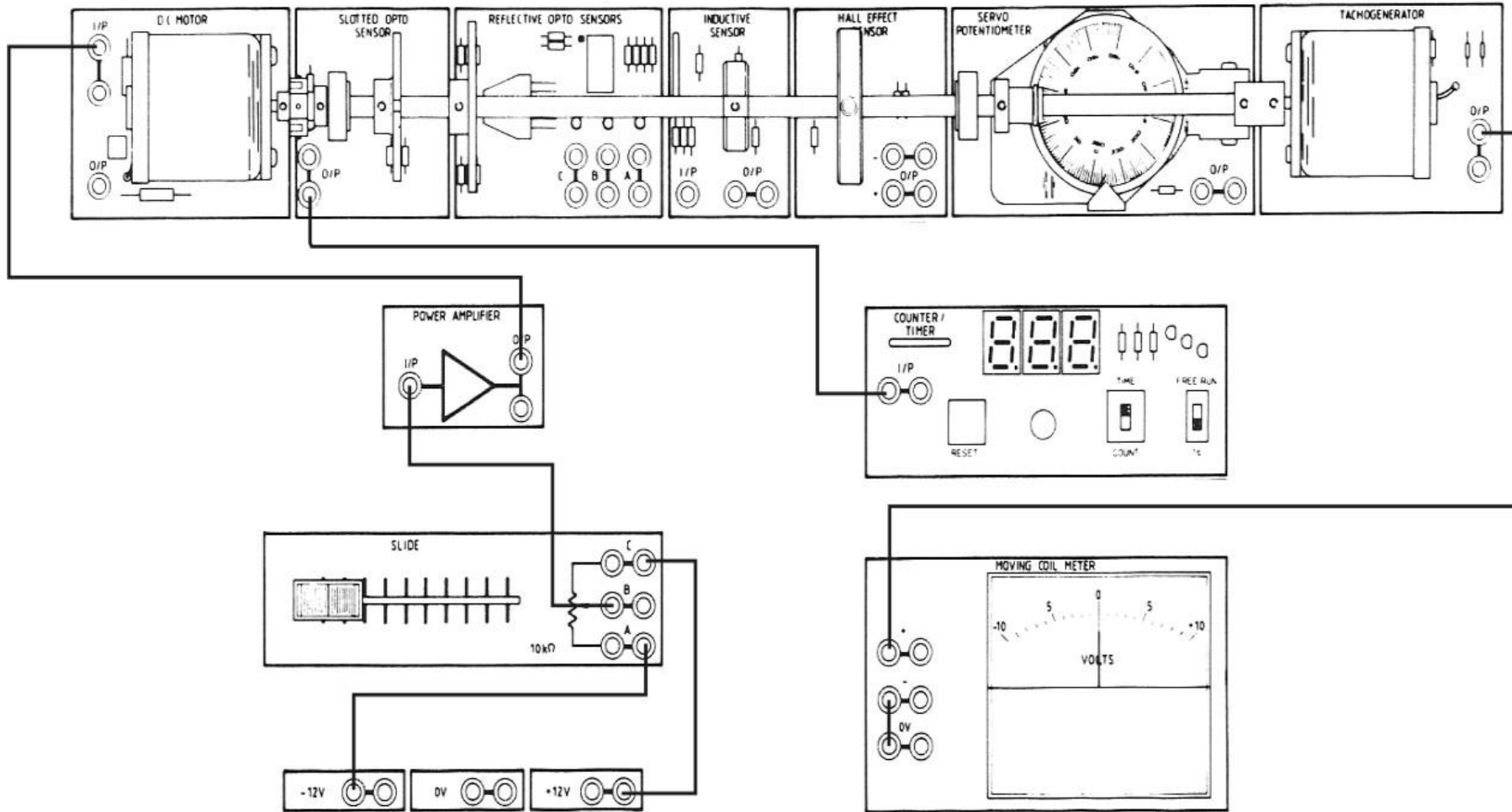
Deneyin Yapılışı

1. Şekil (6.7)'deki devreyi kurunuz.
2. Hareketli bobin ölçerden (Moving Coil Meter) gözlediğiniz gerilimi -9 V 'dan $+9\text{ V}$ 'a kadar arttırıp her seferinde devir sayısını (frekans) Tablo (6.1)'e kaydediniz.

Tablo 6.1. Gerilim değerlerine karşı ölçülen frekans değerleri.

V (volt)	f (Hz)	V (volt)	f (Hz)
-9		9	
-8		8	
-7		7	
-6		6	
-5		5	
-4		4	
-3		3	
-2		2	
-1		1	
0			

3. Jenaratörün çıkış geriliminin, motorun devir sayısına bağlı grafiğini çiziniz.
4. Jenaratörden oluşan gerilimin, motorun devir sayısı ile doğru orantılı olup olmadığını inceleyiniz.



Şekil 6.7. Sürekli Mıknatıs Takojeneratör için devre yapısı.

DENEY VII

DEMİR ÇEKİRDEĞİN, ELEKTRİK ÇELİKLERİNİN VE BOŞLUĞUN MANYETİK GEÇİRGENLİĞİNİN BULUNMASI

Amaç

Farklı manyetik ortamların bağıl manyetik geçirgenliklerinin deneysel olarak belirlenmesi ve karşılaştırılması.

Deney Malzemeleri

Demir çekirdek; Çeşitli elektrik çelikleri; İki tane bobin; L.C.R metre; Voltmetre; Güç kaynağı; Bağlantı kabloları.

Teorik Bilgi

Manyetik Maddelerin Sınıflandırılması

Manyetik alan tarafından mıknatıslanabilen maddelere manyetik maddeler denir. Bu maddeler manyetik özelliklerine bağlı olarak başlıca diamanyetik, paramanyetik ve ferromanyetik madde diye sınıflandırılırlar.

Manyetik akı yoğunluğu (B), Manyetik alan şiddeti (H) ve mıknatıslanma (M) arasındaki ilişki

$\vec{M}$ mıknatıslanmayı göstermek üzere, $\vec{B}$, $\vec{H}$ ve $\vec{M}$ arasındaki ilişki,

$$\vec{B} = \mu_0 (\vec{H} + \vec{M}) \quad (7.1)$$

$$\vec{B} = \mu_0 \vec{H} + \mu_0 \vec{M} \quad (7.2)$$

ile verilir. $\vec{M}$ mıknatıslanması sıfırlanmış veya hiç mıknatıslanmamış bir ferromanyetik madde için sıfırdır. Bir manyetik maddenin mıknatıslanma yeteneği olarak tanımlanan ve χ ile gösterilen alınganlık;

$$\chi = \frac{\vec{M}}{\vec{H}} \quad (7.3)$$

şeklinde ifade edilir. Bir ortamın manyetik geçirgenliğinin, boşluğun manyetik geçirgenliğine oranı ise bağıl geçirgenlik olarak tanımlanmaktadır ve

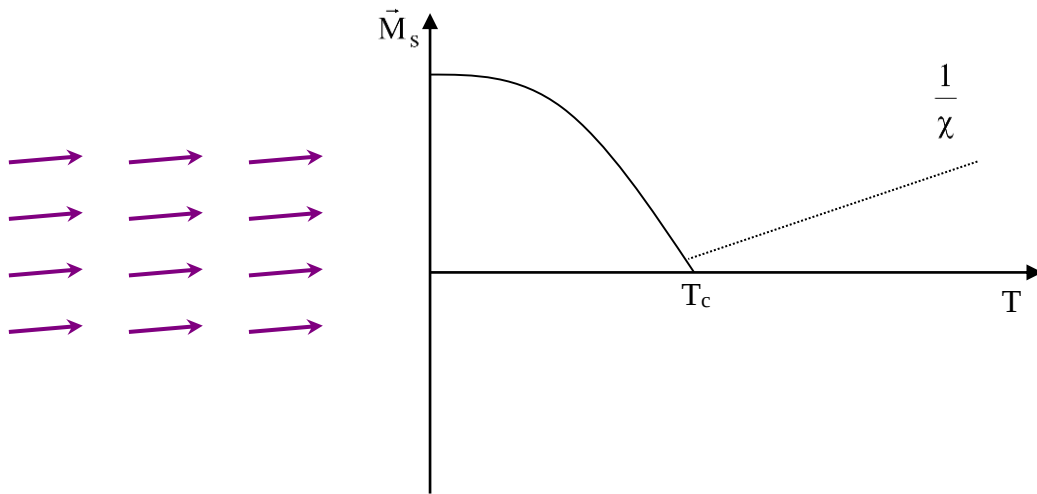
$$\mu_r = \frac{\mu}{\mu_0} \quad (7.4)$$

şeklinde ifade edilir. Bağıl manyetik geçirgenlik ile alınganlık arasında aşağıdaki bağıntı vardır.

$$\mu_r = 1 + \chi \quad (7.5)$$

Ferromanyetik Maddeler

Ferromanyetik maddelerde spinler birbirine paralel yönelmiştir. Böylece komşu spinler arasında kuvvetli bir etkileşme vardır. Bu kuvvetli etkileşme, ferromanyetik maddeyi kendiliğinden, doyum mıknatıslanması değerine ulaştırmıştır. Sıcaklıkla spin düzeni uyarılmaktadır. Şekil (7.1)'de gösterildiği gibi mıknatıslanma sıcaklığın artmasıyla azalır ve belli bir sıcaklık değerinde sıfır olur. Bu sıcaklığa Curie sıcaklığı (T_c) denilmektedir. Bu sıcaklıktan sonra mıknatıslanma tekrar artar ve madde paramanyetik özellik gösterir.



Şekil 7.1: Ferromanyetizma.

Ferromanyetik maddelerin alınganlığı diamanyetik ve paramanyetik maddelerin alınganlığından çok fazladır ve büyüklüğü 50-100.000 arasındadır. Bu maddelere demir, nikel ve kobalt örnek olarak verilebilir.

Ferromanyetik Maddelerde Domain Oluşumu

Weiss tarafından ferromanyetik maddelerde Curie sıcaklığının altında bir moleküler iç alan olduğu önerilmiştir. Bu moleküler alan öyle kuvvetlidir ki dış bir manyetik alanın yokluğunda dahi madde doyuma gitmiştir. Böylece madde kendi kendini mıknatıslamıştır. Hiç mıknatıslanmamış veya mıknatıslanması sıfırlanmış durumdaki ferromanyetik madde domain diye isimlendirilen küçük bölgelere bölünmüştür. Her domain kendiliğinden M_s doyum mıknatıslanması değerindedir. Fakat domainlerin mıknatıslanma yönleri, tüm maddenin sıfır net mıknatıslanması olacak şekildedir.

Ferromanyetik Maddelerin Manyetik Özellikleri

Manyetik maddelerin en önemlisi ferromanyetik maddelerdir. Bu maddelerin uygulama alanları çok çeşitlidir. En önemli özellikleri, kararlı manyetik alanlarla elde edilen kuvvetli manyetik indüksiyon, yüksek geçirgenlik ve artık mıknatıslanmadır.

Geçirgenlik ve Artık Mıknatıslanma

Ferromanyetik maddelerin en önemli özelliği yüksek geçirgenliğe sahip olmalarıdır. Bu maddelerin geçirgenliği manyetik akı yoğunluğunun fonksiyonudur. Bir ferromanyetik maddenin özelliklerini belirlemek için manyetik alanın sürekli olduğu bir aralıkta, manyetik alanın fonksiyonu olarak manyetik akı yoğunluğunu ölçmek, histeresis eğrisini elde etmek için önemlidir. Ferromanyetik maddeler için başlangıç geçirgenliği $10^3 - 10^5$ arasındadır. En yüksek değer permalloy ve süpermalloy adı verilen Ni-Fe alaşımlarda elde edilir. Ferromanyetik maddeler bir manyetik alana konulduğunda mıknatıslanmaktadır. Manyetik alan kaldırılrsa dahi maddede artık mıknatıslanma kalır. Artık mıknatıslanma ferromanyetik maddelere ait bir özelliktir.

Histeresis Eğrisi ve Özellikleri

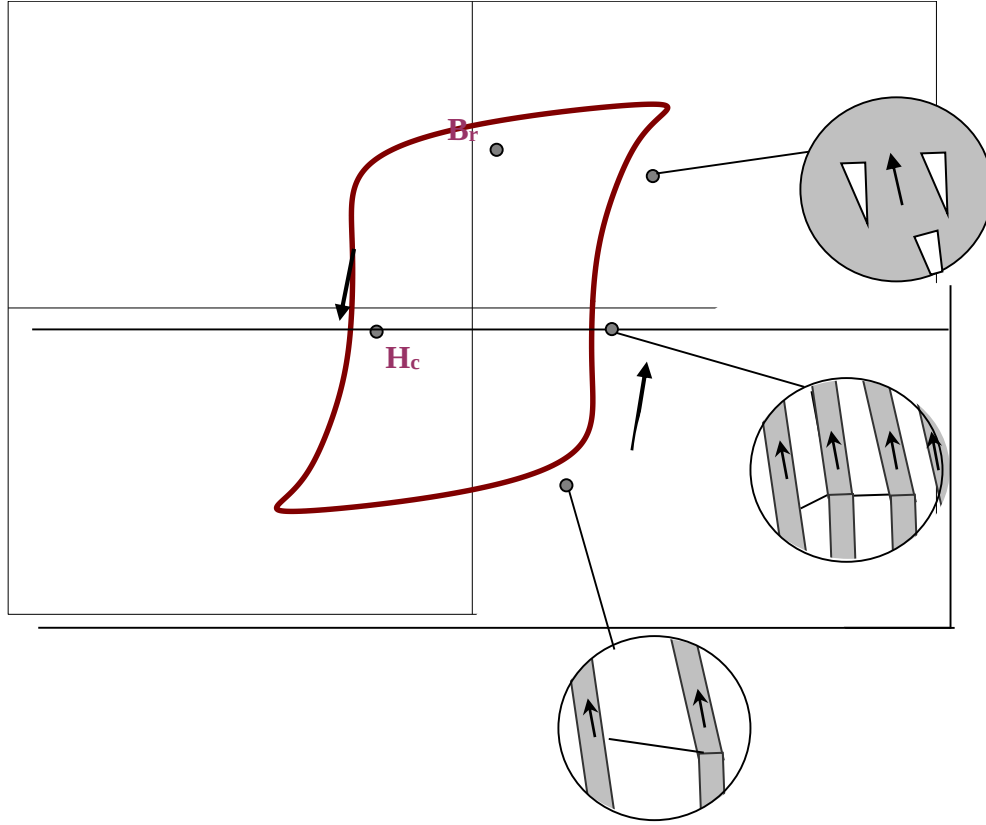
Ferromanyetik maddelerin manyetik özelliklerini belirlemenin en ortak yolu manyetik akı yoğunluğunun manyetik alanla değişimini çizmektir. Diğer bir seçenek ise manyetik akı yoğunluğu yerine mıknatıslanmayı kullanmaktır.

Ferromanyetik maddelerin uygulama için elverişliliği, temel olarak oluşturdıkları histeresis eğrisinin gösterdiği özellikten belirlenmektedir. Örneğin, transformatör çekirdekleri için yüksek geçirgenlik ve düşük histeresis kaybının olması gerekir. Bu sayede elektrik enerjisinin dönüşümü daha verimli olmaktadır.

Şekil (7.2)'deki, mıknatıslanmayla domainlerin şeklinde meydana gelen değişiklikleri gösterilen histeresis eğrisi, ferromanyetik maddelerin manyetik özelliklerini belirler. Bu manyetik özellikler bağıl manyetik geçirgenlik μ_r , manyetik doyum mıknatıslanması ($\vec{M}_s$), artık manyetik indüksiyon ($\vec{B}_r$) ve sıfırlayıcı alan ($\vec{H}_c$)'dir. Maddenin hiç mıknatıslanmadığını veya mıknatıslanmanın sıfırlandığını durumda maddeye uygulanan manyetik alan aynı yönde bir manyetik akı yoğunluğuna sebep olur. Manyetik alan arttırılmaya devam edilirse madde doyuma ulaşır ve madde manyetik olarak ulaşabileceği en üst noktaya gelir. Bu durumda madde içindeki tüm manyetik momentler manyetik alanın yönünde yönelmişlerdir. Manyetik doyum sadece atomik manyetik momentlerin büyüklüğüne ve birim hacimdeki atom sayısına bağlıdır. Herhangi bir sıcaklıktaki doyum mıknatıslanması ($\vec{M}_s$) her ferromanyetik madde için farklı olabilir ve maddenin yapısına duyarlıdır. Bazı ferromanyetik maddeler için oda sıcaklığındaki doyum mıknatıslanması değerleri Tablo (7.1)'de gösterilmiştir.

Ferromanyetik Maddelerin Sınıflandırılması

Ferromanyetik maddeler, sıfırlayıcı alana göre sınıflandırılırlar. Sıfırlayıcı alan madde yapısına duyarlı bir manyetik özelliktir. Farklı sıcaklık ve mekanik işlemler altında maddenin sıfırlayıcı alanı değişebilir. Ancak doyum mıknatıslanması bu olaylarla değişmez. Ferromanyetik maddeler mıknatıslanmalarına göre ikiye ayrılırlar. Manyetik olarak zor mıknatıslanabilir maddelerin sıfırlayıcı alanı 10 kA/m'in üzerinde, kolay mıknatıslanabilir maddelerin ise 1 kA/m'in altındadır. Kolay mıknatıslanabilir manyetik maddeler elektromıknatıslarda, motorlarda, transformatör ve rölelerin çekirdeklerinde, zor mıknatıslanabilir manyetik maddeler ise manyetik kayıt ortamlarında ve jeneratörlerde kullanılmaktadır.



Şekil 2: Histeresis eğrisi ve domainlerin yönelme durumu

Tablo 7.1. Bazı ferromanyetik maddelerin oda sıcaklığındaki doyum mıknatıslanma değerleri

Madde	M_s (10^6 A/m)
Demir	1.71
Kobalt	1.42
Nikel	0.48
Permalloy (%78 Ni, %22 Fe)	0.86
Supermalloy (%80 Ni, %15 Fe, %5 Mo)	0.63
Metglas 2605 (%80 Fe, %20 B)	1.27
Metglas 2615 (%80 Fe, %16 P, %3 C, %1 B)	1.36
Permendur (%50 Co, %50 Fe)	1.91

Manyetik geçirgenliğin hesaplanması

Manyetik geçirgenliğin hesaplanabilmesi ve için manyetik akı yoğunluğu ve manyetik alan şiddetinin bilinmesi gerekir.

İkinci bobinde indüklenen manyetik akı yoğunluğu zamana bağlı bir sinüs fonksiyonu ise,

$$B(t) = \sum_{n=1} a_n \sin(n\omega t + \phi_n) \quad (7.6)$$

şeklinde ifade edilir. Herhangi bir $t=t'$ anında B 'nin tepe değeri,

$$B(t') \equiv B_m = \sum_{n=1} a_n \sin(n\omega t' + \phi_n) \quad (7.7)$$

olur. Yarım periyot sonra ($t = \frac{\pi}{\omega} = \frac{1}{2f}$)

$$B(t' + \frac{\pi}{\omega}) = \sum_{n=1} a_n \sin(n\pi + n\omega t' + \phi_n) \quad (7.8)$$

dir ve n 'nin tek sayı değerleri için,

$$B\left(t' + \frac{\pi}{\omega}\right) = -B(t') \quad (7.9)$$

olmaktadır. Böylece Eşitlik (7.6.) ana frekansın yarım periyotlarında negatif ve pozitif en büyük değerlere ayrılacaktır. Ayrıca Faraday yasasına göre,

$$V(t) = -\frac{d\Phi}{dt} = -A_{Fe} \frac{dB}{dt} \quad (\Phi = BA) \quad (7.10)$$

olduğundan, Eşitlik (7.6)'nın zamana göre türevi,

$$\frac{dB}{dt} = \sum_{n=1} a_n n \omega \cos(n\omega t + \phi_n) \quad (7.11)$$

olmaktadır ve $t=t'+n\pi/\omega$ 'da Eşitlik (7.11)'in değeri sıfırdır. Bundan dolayı dB/dt 'in ana frekansın yarım periyodu üzerinden ortalama değeri alınırsa,

$$\left(\frac{dB}{dt}\right)_{\text{ort}} = \frac{\omega}{\pi} \int_{t'}^{t'+\pi/\omega} \sum_{n=1} a_n n\omega \cos(n\omega t + \phi_n) dt \quad (7.12)$$

elde edilir ve bu integralin sonucu,

$$\left(\frac{dB}{dt}\right)_{\text{ort}} = \frac{\omega}{\pi} \sum_{n=1} a_n \left[\sin(n\omega t' + \phi_n) - \sin(n\pi + n\omega t' + \phi_n) \right] \quad (7.13)$$

olur. Buradan,

$$\left(\frac{dB}{dt}\right)_{\text{ort}} = \frac{2\omega}{\pi} \sum_{n=1} a_n \sin(n\omega t' + \phi_n) \quad (7.14)$$

dir. Eşitlik (7.6), Eşitlik (7.14)'de yerine yazılırsa,

$$B_m = \frac{\pi}{2\omega} \left(\frac{dB}{dt}\right)_{\text{ort}} \quad (7.15)$$

elde edilir. İkinci bobininde indüklenen gerilim; $[V=NA(dB/dt)]$ ve açısal frekans ($\omega=2\pi f$) ifadeleri Eşitlik (7.15)'de yerine konulursa,

$$B_m = \frac{V_{\text{ort}}}{4N_2 A_{\text{Fe}} f} = \frac{V_{\text{rms}}}{4.44 N_2 A_{\text{Fe}} f} \quad (7.16)$$

olur. Burada V_{ort} , ikinci bobininde indüklenen gerilimin ortalama değeri (V), N_2 , ikinci bobininin sarım sayısıdır.

Ampère yasasına göre kapalı bir yol boyunca N sarımdan geçen akım

$$Ni = \oint H d\ell_{\text{Fe}} \quad (7.17)$$

şeklinde verilmektedir. Akım sinüsoidal ise değeri,

$$i(t) = i_m \sin(\omega t + \phi) \quad (7.18)$$

dir. Manyetik alan kapalı yol boyunca düzgün ise H integral dışına alınabilir.

$$N i_m = H_m \ell_{Fe} \quad (7.19)$$

$$H_m = \frac{N_1 i_m}{\ell_{Fe}} \quad (7.20)$$

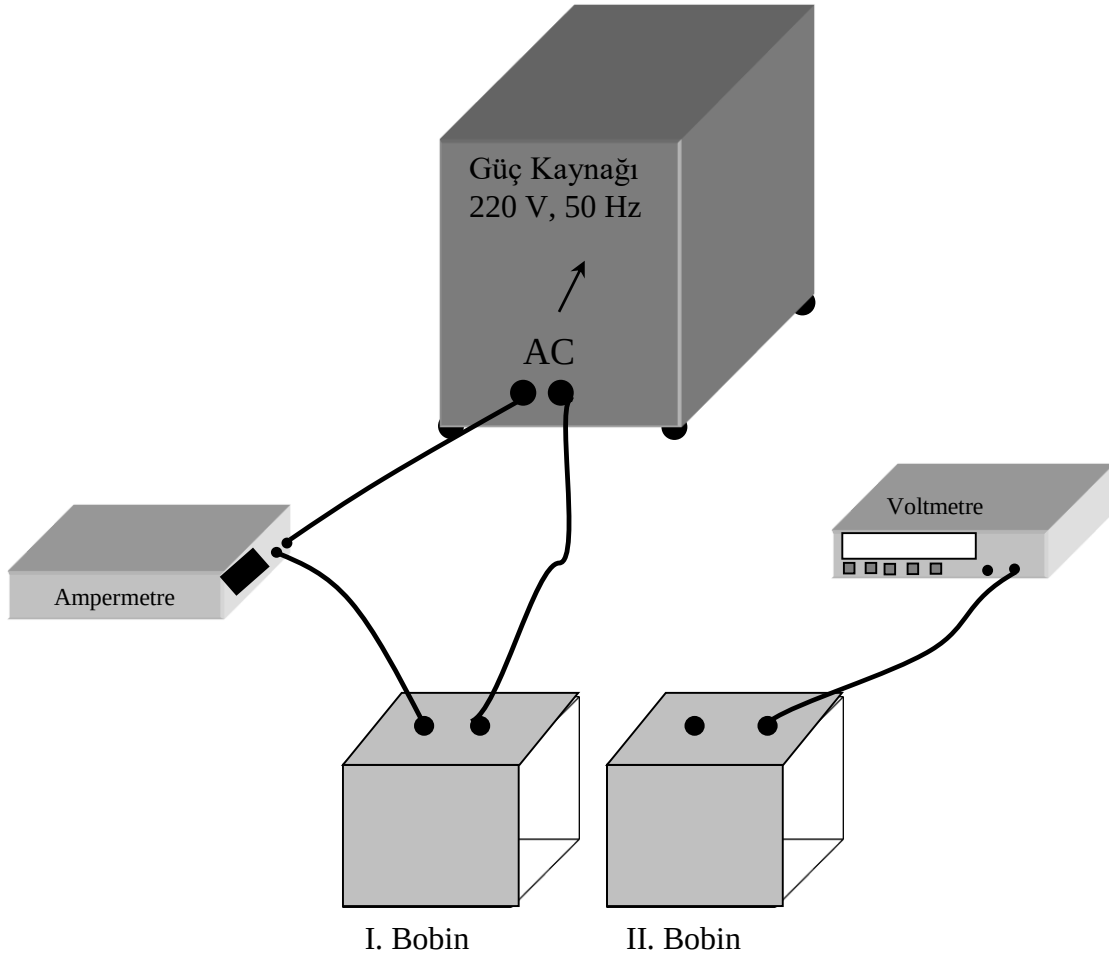
elde edilir. Burada H_m , birinci bobindeki manyetik alan şiddetinin en büyük değeri (A/m), N_1 , birinci bobinin sarım sayısı, i_m akımın en büyük değeri (A) ve ℓ_{Fe} akımın dolaştığı ortalama demir çevre uzunluğudur (m).

Hazırlık Soruları

- 1) Bir maddenin ferromanyetik olması için hangi özelliklere sahip olması gerekir? Açıklayınız.
- 2) Ferromanyetik maddeleri, paramanyetik ve diamanyetik maddelerden ayıran en önemli özellikler nelerdir?
- 3) Histeresis eğrisi hangi maddelerde oluşur? Bu eğrinin özelliklerini açıklayarak, histeresis eğrisinin matematiksel modeli hakkında bilgi veriniz.
- 4) Bir ölçme devresinde, manyetik akı yoğunluğu, manyetik alan şiddeti ve manyetik geçirgenliğin nasıl bulunacağını kısaca açıklayınız.
- 5) Faraday ve Lenz yasaları hakkında bilgi veriniz.

Deneyin Yapılışı

1. Şekil (7.3)'teki devreyi kurarak bobinler boşta iken birinden akım geçirerek diğerinde bir e.m.k indükleyiniz. Bu sırada akımın 2 A'ı geçmemesine dikkat ediniz. $\dot{I}$, V_{RMS} değerlerini okuyarak Eş. (7.6) ve (7.7)' B ve μ_0 'ı bulunuz.
2. Aynı işlemi üç farklı akım değeri için tekrarlayıp $\bar{\mu}_0$ 'ı bulunuz.



Şekil 7.3: Ölçme devresi

3. Bobinleri demir çekirdeğe geçirip kapalı devreyi tamamlayınız ve aynı işlemi üç farklı akım değeri için demir çekirdeğin manyetik geçirgenliğini bulunuz.
4. Elektrik çelikleri içinde aynı işlemi tekrarlayınız ve her birinin manyetik geçirgenliğini bulunuz.
5. (7.5) bağıntısı yardımı ile her birinin manyetik alınganlığını (χ_0, χ_1, χ_2) bulunuz.
6. Hata hesabı yaparak sonuçları yorumlayınız.

DENEY VIII

HALL ALGILAYICISI YARDIMI İLE BİR SELENOİDİN İÇİNDEKİ MANYETİK ALANIN ÖLÇÜLMESİ VE HALL ALGILAYICISININ AYARI

Amaç

Hall etkisi kullanılarak selenoid içindeki manyetik alanın ölçülmesi ve sensör kalibrasyonunun yapılması.

Deney Malzemeleri

Güç Kaynağı, Hall algılayıcısı, Selenoid, Voltmetre.

Teorik Bilgi

MANYETİK ALAN ÖLÇÜMLERİ

Birçok manyetik ölçümlerde, manyetik alanın yüzeye teğet bileşenini bulmaya ihtiyaç vardır. Manyetik alanın değerinin bulunması ve kullanılacak ölçme metodu, alternatif akım (A.C.) veya doğru akım (D.C.) ölçmesine gerek olup olmadığına, bölgesel veya örneğin tamamı için manyetik ölçüm yapılıp yapılmayacağına ve örneğin şekline bağlıdır. Manyetik alan ölçme metotları şunlardır;

- 1) Mıknatıslama akımı
- 2) Hall algılayıcısı
- 3) Manyetik alan (H) bobini
- 4) Manyetik potansiyometre

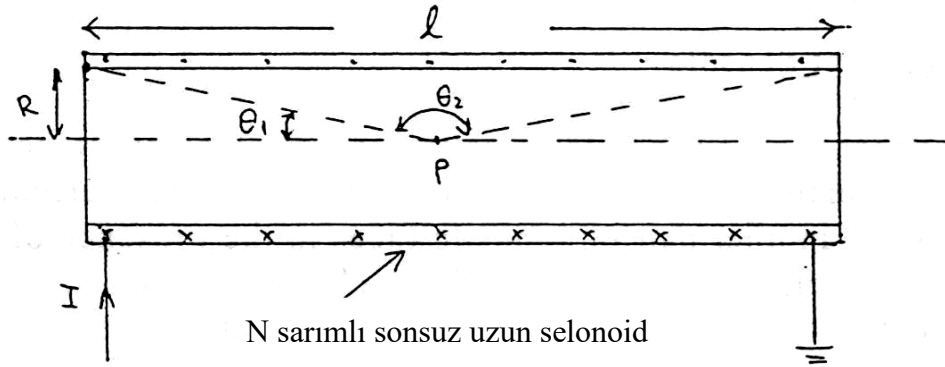
Bu metotlardan deneyde kullanacağımız ilk ikisi açıklayalım.

Mıknatıslama Akımı Metodu

Şekil (8.1)'de gösterilen I akımı ile mıknatıslanan, düzgün sarımlı, R yarıçaplı, uzunca bir selenoidin merkezindeki manyetik alan;

$$H_p = \frac{NI}{2\ell} (\cos \theta_1 - \cos \theta_2) \quad (8.1)$$

ile ifade edilmektedir. Sonsuz uzun bir selonoid için ($R \ll \ell$) $\theta_1 = 0^\circ$ ve $\theta_2 = 180^\circ$ alınabilir. Bu durumda manyetik alan;



Şekil 8.1: I akımı ile mıknatıslanan R yarıçaplı selonoid

$$H_p = \frac{NI}{\ell} \quad (8.2)$$

olacaktır. Bu yöntem A.C. ve D.C. ölçmelerin her ikisinde de ölçüm yapılabilir. Kullanımı basit olup, Hall algılayıcısı, H bobini gibi algılayıcıların kalibrasyonunda kullanılmaktadır.

Hall Algılayıcısı

Hall etkisi, bir iletken den geçen akımın manyetik alan ile etkileşmesi nedeniyle meydana gelir. Elektrik akımı taşıyan bir iletken maddeye manyetik alan uygulandığında, yük taşıyıcılara, genellikle elektron, bir **Manyetik kuvvet** $\vec{F}_M$, etki eder.

$$\vec{F}_M = \mu_0 e \vec{v} \times \vec{H} \quad (8.3)$$

Bu kuvvet ile Şekil (8.2)'de görüldüğü gibi AB yolu ile ilerleyen yük taşıyıcılar üzerine etki ederek, bu yüklerin CD yönünde dağılmasına yol açmaktadır. CD yönünde hareket eden pozitif ve negatif yükler arasında bir elektrik alanı oluşur ve yük taşıyıcılara bir kuvvet uygular.

$$\vec{F}_E = e\vec{E} \quad (8.4)$$

Taşıyıcı yükler arasında CD doğrultusunda oluşan bu elektrik alanına **Hall Elektrik alanı** denir. CD yönündeki taşıyıcı yüklerin dağılımı elektrik alan kuvveti ve manyetik kuvvet birbirine eşit oluncaya kadar devam eder.

$$\vec{F}_M = \vec{F}_E$$

$$E_{Hall} = \mu_0 \vec{v} \times \vec{H} \quad (8.5)$$

AB doğrultusunda geçen akım yoğunluğu;

$$\vec{J} = n e \vec{v} \quad (8.6)$$

$$\vec{v} = \frac{\vec{J}}{ne} \quad (8.7)$$

olduğundan, v hızı yukarıdaki Eş. (8.5)' derine yazılırsa;

$$E_{Hall} = \frac{\mu_0}{ne} \vec{J} \times \vec{H} \quad (8.8)$$

$\frac{1}{ne}$ terimine Hall sabiti denir ve R_H yazılırsa Hall elektrik alanı;

$$E_{Hall} = \mu_0 R_H \vec{J} \times \vec{H} \quad (8.9)$$

Elektrik alanı $E = \frac{V}{l}$ ve akım yoğunluğu $J = \frac{I}{A}$ olduğundan, AB ve DC yönleri arasında 90° açısı olduğu düşünülürse, CD arasındaki potansiyel fark Hall potansiyeli denir.

$$V_{Hall} = \frac{R_H \mu_0 (CD) I H}{A} \sin 90^\circ = \frac{R_H \mu_0 (CD) I H}{A} \quad (8.10)$$

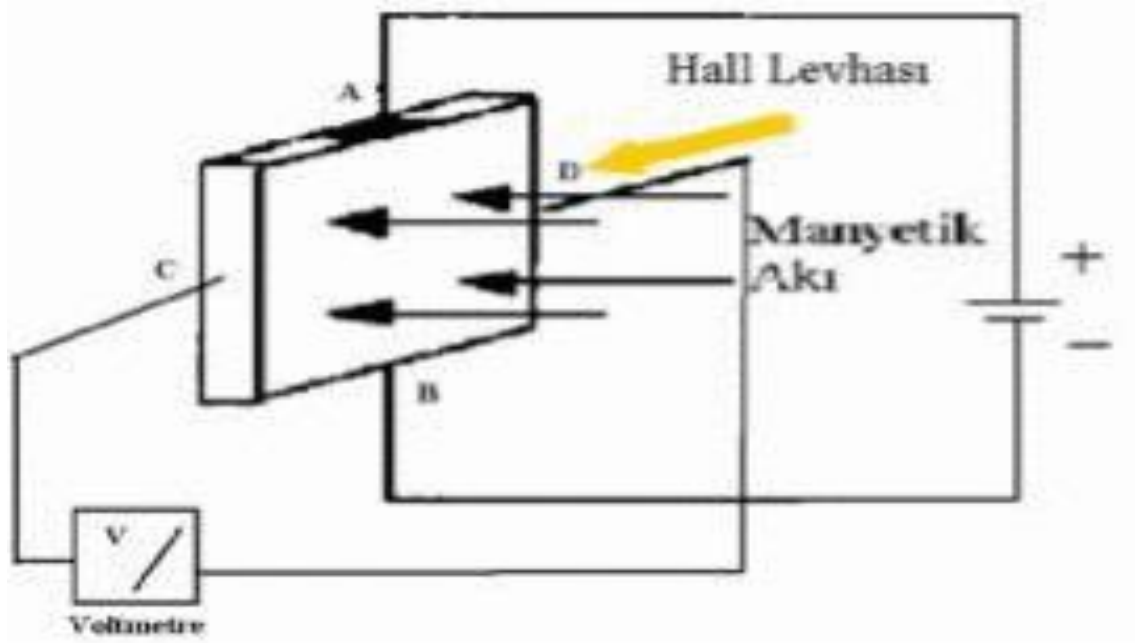
Hall maddesi genellikle ticari olarak InAs veya InSb alaşımı olarak üretilir. Sıcaklık bağımlı olması olumsuz etkilerinin en önemlisidir.

Hall algılayıcısı metodu ile yapılan manyetik ölçmelerin yararları şunlardır.

- 1) İyi doğrusallık ve kararlılık (-60°C $+80^\circ\text{C}$ arası)
- 2) AC ve DC ölçmelerin her ikisi için de uygundur.

3) Kullanımı kolay ve ekonomiktir.

Hall algılayıcısı, ayar sabiti K 'yı elde etmek için belirli bir manyetik alan bölgesinde ayarlanmalıdır (kalibrasyon).



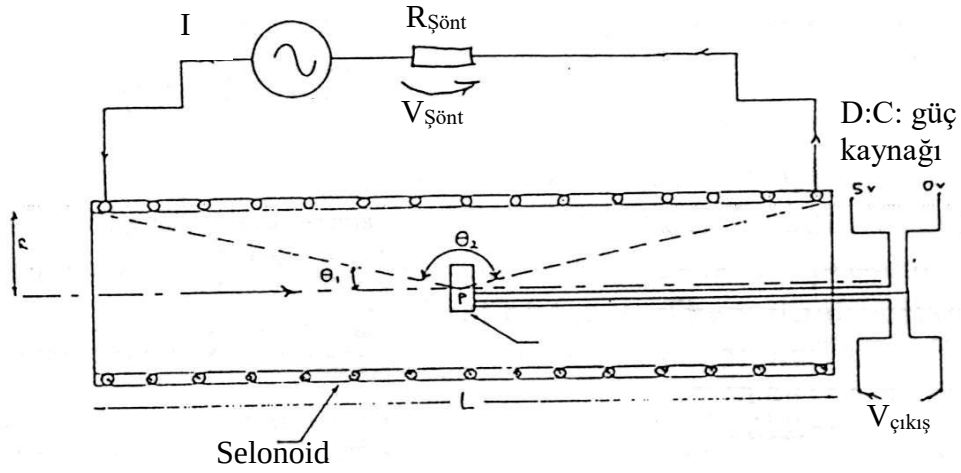
Şekil 8.2: Hall Olayı.

Hazırlık Soruları

- 1) Manyetik alan ölçümleri nelerdir? Manyetik potansiyometre ile nasıl manyetik alan ölçümü yapılacağını açıklayınız.
- 2) Hall olayı nedir? Hall geriliminin nasıl elde edildiğini açıklayınız.
- 3) Bir selenoidin merkezinde alanın büyüklüğü nelere bağlıdır?
- 4) Hall algılayıcısının ayarının önemini açıklayınız.
- 5) Hall algılayıcısının en önemli olumsuz yönü ve yapılacak ölçümlerin yararları nelerdir?

Deneyin Yapılışı

- 1) Hall algılayıcısının ayarı için Şekil 8.3'deki devreyi kurunuz.
- 2) Şekil (8.3)'de P noktasındaki manyetik alanı (H_P) Eşitlik (8.1)'i kullanarak hesaplayınız.



Şekil 8.3: Hall algılayıcısının ayarlanması.

3) Aynı zamanda H_P alanı, şönt gerilimi ($V_{şönt}$) ve selonoid içinde P noktasında bulunan Hall algılayıcısının çıkış gerilimi ($V_{çıkış}$) ile orantılıdır. O halde;

$$H_P = k V_{şönt} \text{ ve } H_P = K V_{çıkış}$$

olacaktır.

- 4) $V_{çıkış}$ 'a karşılık $V_{şönt}$ 'ün grafiğini çizerek K değerini hesaplayınız.
- 5) K üzerindeki hatayı hesaplayınız.

$V_{şönt}$	$V_{çıkış}$

DENEY IX

FARKLI MANYETİK MALZEMEDEN YAPILMIŞ TOROİD ÇEKİRDEKLERDE, MADDE CİNSİNE BAĞLI OLARAK MANYETİK ÖZELLİKLERİN İNCELENMESİ

Amaç

Farklı malzemelerin B–H karakteristiklerinin belirlenmesi ve histerezis davranışlarının karşılaştırılması.

Deney Malzemeleri

Güç kaynağı, Reosta, Toroid çekirdekler, Yalıtım transformatörü, Osiloskop, 2 adet Voltmetre,

Teorik Bilgi

MANYETİK MADDELER

ELEKTRİK ÇELİKLERİ

Elektrik çelikleri üretim yöntemlerine göre şöyle sınıflandırılabilir.

- a) Grainleri yönlendirilmemiş elektrik çelikleri
- b) Grainleri yönlendirilmiş elektrik çelikleri

Grainleri Yönlendirilmemiş Elektrik Çelikleri

Aynı doğrultuda yönelmiş bir grup domainin oluşturduğu bölgeye grain (bölgesel kristal) denilmektedir. Grainlerin yönelimi normal koşullarda her yönde olabilir. Üretim aşamasında çeşitli tekniklerle grainlerin yönleri kontrol edilebilir. Grainlerin yönleri kontrol edilmeden üretilen çeliklere yönlendirilmemiş elektrik çelikleri denir. Bu çeşit elektrik çeliklerinin her yöndeki manyetik özellikleri aynı olduğundan **izotropik madde** olarak isimlendirilir. Şekil (9.1)'de yönlendirilmemiş elektrik çeliğindeki domain yapısı görülmektedir. Bu tip elektrik çeliği kullanılan makinelerde güç kayıpları fazladır. Manyetik geçirgenlikleri düşük fakat ekonomiktirler. Genellikle motor, jeneratör ve lamba balanslarında kullanılırlar.

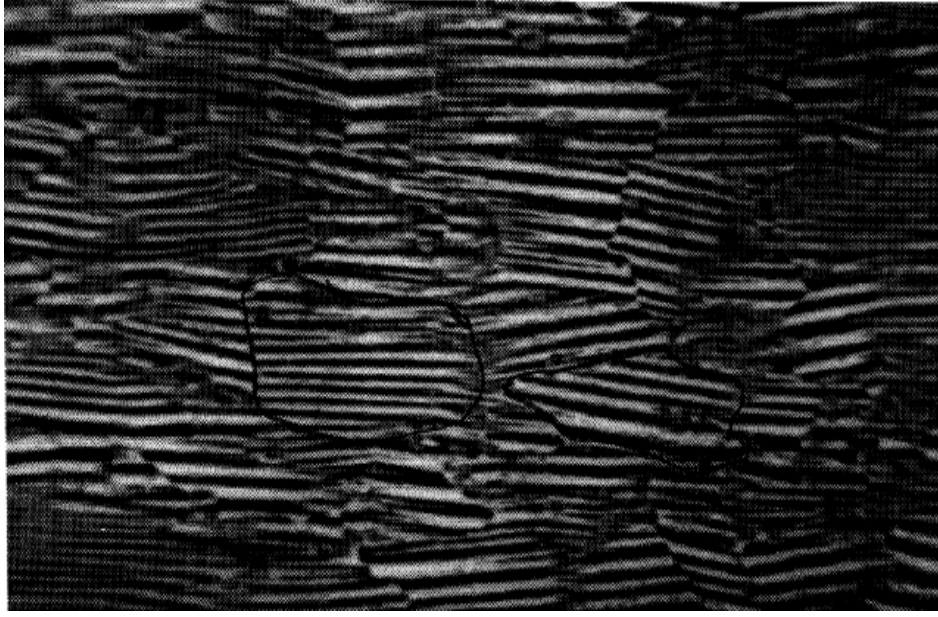
Grainleri Yönlendirilmiş Elektrik Çelikleri

Grainleri yönlendirilmiş elektrik çeliklerinin grainleri ileri teknolojik işlemlerden sonra haddeleme yönünde yönlendirilmiştir. Tüm grainlerin yönelimi yaklaşık aynı yöndedir. Şekil (9.2)'de yönlendirilmiş elektrik çeliğindeki grain ve domain yapısı görülmektedir. Haddeleme (üretim) yönündeki manyetik özellikler çok iyidir. Bu tip elektrik çelikleri **anizotropik madde** olarak isimlendirilir. Fakat diğer yönlerde aynı özelliği göstermezler ve daha kötü manyetik özelliğe sahiptirler.

Yönlendirilmiş elektrik çelikleri üretim sırasında kübik kristalin kenarları mıknatıslanma yönü olacak şekilde yönlendirilmiştir. Bu kristallerin her biri aynı yönde yönelmiş domainleri içerir. Yönlendirilmiş elektrik çelikleri kübik kristal yapıda anizotropik bir maddedir. Yani kristal yapısı ileri üretim teknikleriyle belirli kristal eksenlere göre yönlendirilmiştir. Dolayısıyla manyetik olarak anizotropik özelliğe sahiptir. Yönelme yönlerine göre kolay mıknatıslanma yönleri oluşturulmuştur. Bu yönler ortak gösterimle (Miller indisleri) demir için küp kenarı olarak [100] yönündedir. Madde içindeki domainler bu yönde yönelmişlerdir.



Şekil 9.1: Grainleri yönlendirilmemiş elektrik çeliğinin domain yapısı.



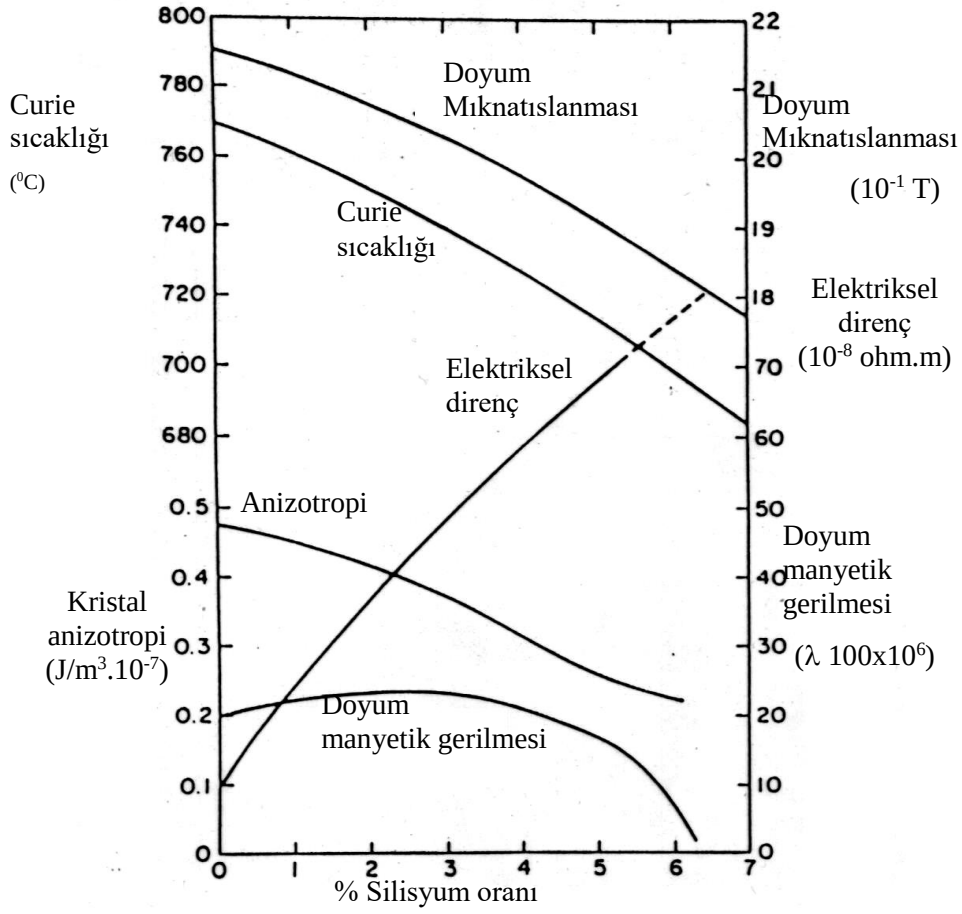
[100] → Kolay Mıknatıslanma yönü

Şekil 9.2: Grainleri yönlendirilmiş elektrik çeliğinin grain ve domain yapısı.

Elektrik çeliklerinden yapılan çekirdekler, üretim işlemleri sırasında çeşitli fiziksel kuvvetlerin (darbeler, burulma, sıkışma vb.) etkisinde kalmaktadır. Bu kuvvetler yönlendirilmiş domain yapısını bozmaktadır ve maddenin mıknatıslanması daha zor olmaktadır. Ancak fiziksel kuvvetler sonucu maddenin bozulan yapısını tekrar geri kazandırmak mümkündür. Bu işlem için madde fırında ısıtılır ve uygun bir soğuma oranıyla soğutulur. Böylece gevşeyen maddenin zarar gören kristal yapısı yeniden geri kazanılır. Bu işleme tavlama denir. Koruyucu atmosfer içinde, vakum içinde olmak üzere çeşitli şekillerde tavlama yapmak mümkündür.

Elektrik Çeliklerine Silisyumun Etkisi

Demirin içine silisyum katkısı demirin elektriksel direncini arttırmakta, manyetik gerilmeyi azaltmaktadır. % 3 Silisyum katkılı çeliğin elektriksel direnci normal çeliğe göre 4 kat fazladır. Çeliğe silisyum katkısının olumlu yönlerinin yanında olumsuz etkileri de bulunmaktadır. Silisyum manyetik bir madde olmadığından zamanla maddenin manyetik özelliklerinde bozulmaya sebep olur. % 5'ten fazla silisyum katkısı çeliği kırılgan hale getirmekte, alaşımın doyum mıknatıslanmasını azaltmaktadır. Şekil (9.3)'de silisyumun manyetik maddeye etkileri görülmektedir.



Şekil 9.3: Silisyum yüzdesinin maddenin manyetik özelliklerine etkisi.

AMORF (METAL CAMI) FERROMANYETİK MADDELER

Elektromanyetik aletlerin (içinde transformatör gibi elektromanyetik aletler bulunan) kayıplarını azaltmak için ya kullanılan maddenin özelliklerini geliştirmeli veya yeni bir gelişmiş manyetik madde bularak daha verimli hale getirilmelidir. Bu yüzden ferromanyetik amorf alaşımların gelişimi dikkat çekicidir. Amorf maddelerin temel kimyasal bileşimi T_xM_{100-x} formülüyle verilmektedir. Burada T bir veya daha fazla geçiş metallerini (Demir (Fe), Kobalt (Co) ve Nikel (Ni)), M ise bir veya daha fazla metalloid veya cam yapıcı elementi (Fosfor (P), Bor (B), Karbon (C), Silisyum (Si), Molibdeniyumu (Mo) temsil etmektedir. x ise karışımdaki elementin atomik yüzdesidir.

Amorf maddeler değişik teknikler kullanılarak üretilebilir. Ancak en yaygın üretim yöntemi erimiş haldeki alaşımı basınçla hızla dönen bir kasnak üzerine püskürtmektir. Bu sırada soğuma oranı

yaklaşık saniyede 1 milyon °C olduğundan madde kristalleşmeden amorf bir yapıya sahip olur. Bundan dolayı bu maddelere “*metal camı*” da denilmektedir.

Amorf Maddelerin Özellikleri

Amorf madde veya amorf şerit üretim tekniğinden dolayı silisli saclara göre daha üstün manyetik ve mekanik özelliklere sahiptir. Amorf maddelerin manyetik özellikleri atomik bileşimlerine bağlıdır. Böylece her uygulama için bir çeşit amorf madde uygun seçilen karışımla üretilebilir. Bu şekilde istenen manyetik özellikler sağlanmış olur. Genel olarak amorf maddelerin özellikleri;

- yüksek elektriksel direnç,
- düşük güç kayıpları,
- kuvvetinden bir şey kaybetmeden esneklik,
- yüksek aşınma direnci,
- stratejik olmayan maddelerden üretilebilir olması,

Elektromanyetik uygulamaların büyük çoğunluğunu Fe ve Co metallerinin çoğunlukta olduğu amorf şeritler oluşturmaktadır. Çizelge (9.1)’de bu maddeler ile ilgili sayısal bilgiler verilmektedir. Bu maddeler silisli sac, permalloy, ferrit ve amorf maddedir. Görüldüğü gibi doyma noktası en yüksek silisli saclarda olmaktadır ve yaklaşık 2 Tesla kadardır. Çoğunluğu demir olan amorf maddelerin doyma noktası ise 1.56 Tesla’dır. Manyetik geçirgenliği en iyi olan madde çoğunluğu kobalt olan amorf maddelerdir. Bunu takiben %80 Ni, %50 Ni ve çoğunluğu demir olan amorf maddeler gelmektedir. En az manyetik geçirgenliğe ise silisli saclar sahiptir.

Amorf maddeler uygulamada aşağıdaki yararları sağlamaktadır;

- elektronik aletler küçülmektedir,
- yüksek frekanslarda mükemmel çalışırlar,
- kaçak akımları ve gürültüyü azaltırlar,
- enerji tasarrufu sağlar.

Çizelge 9.1. Bazı manyetik maddelerin temel özellikleri.

MADDE	SiFe	Ni (%50)	Ni (%80)	Ferrit (Mn-Zn)	Amorf (Co)	Amorf (Fe)
Doyma noktası B_s (T)	2	1.55	0.74	0.5	0.58	1.56
Sıfırmala alanı H_c (A/m)	39.8	11.9	2.4	7.96	0.4	2.4
İlk manyetik geçirgenliği (μ_i)	1500	6000	40000	3000	60000	5000
Manyetik geçirgenlik (en fazla) (μ_{max})	20000	60000	200000	6000	1000000	50000
Direnç ρ ($\mu\Omega/cm$)	50	30	60	1000000	120	130
Curie sıcaklığı ($^{\circ}C$)	750	500	500	220	255	415
Kristalleşme sıcaklığı ($^{\circ}C$)	-	-	-	-	530	550
B_r/B_s oranı (%)	-	-	-	30	80	-

Amorf maddelerin Uygulama Alanları

Amorf maddeler genel olarak;

- anahtarlama (on-off) çalışan güç kaynaklarında (şok bobini),
- DC-DC dönüştürücülerde,
- kesintisiz güç kaynaklarında,
- gürültü azaltmada,
- yüksek frekansta çalışan transformatörlerde,
- pulse transformatörlerinde,
- dağıtım ve güç transformatörlerinde

kullanılmaktadır. Amorf maddeler elektrik çelikleriyle karşılaştırılırsa, güç kayıpları elektrik çeliklerine göre üçte bir oranında daha azdır. Elektriksel direnci en az üç katı fazladır. Daha küçük sıfırlayıcı alana ve daha büyük geçirgenliğe sahiptirler. Ancak şu anda silisli saclara göre daha pahalı oluşları, doyum mıknatıslanmasının düşük oluşu ve ısıtıldıklarında kırılma eğilimleri en önemli olumsuz özellikleridir.

NANO-KRİSTAL MADDELER

Elektrik çelikleri ve amorf şeritler dışında son zamanlarda yeni bir manyetik madde özellikle yüksek frekans uygulamalarında kullanım alanı bulmaktadır. Bu maddeler amorf şeritlerin daha ileri bir sıcaklık işlemiyle nano derecesinde kristaller oluşturulmasıyla elde edilmektedir ve bundan

dolayı bu maddelere “*nanokristal maddeler*” denir. Nanokristal maddelerin en önemli özelliği yüksek frekans bölgesinde çok iyi manyetik özelliklere sahip olmasıdır. Bu maddelerin başlangıç manyetik geçirgenliği ($H=0.4 \text{ A/m}$, 50 Hz) 20000 – 200000 arasında değişmektedir. Manyetik kayıplar elektrik çeliklerine ve amorf maddelere göre yüksek frekansta çok düşüktür (110 W/kg , 100 kHz , 0.3 Tesla). Doyum manyetik indüksiyon değeri (B_s) 1.2 Tesla kadardır.

TOROID ÇEKİRDEKLER

Toroid çekirdekler elektrik çeliklerinden spiral şeklinde makinelerde sarılmaktadır. Toroid çekirdekler, sanayide kesintisiz güç kaynakları, anahtarlama güç kaynakları (SMPS), güç transformatörleri gibi elektrikli aletlerde yaygın olarak kullanılmaktadır. Geometrik yapı, kullanılan manyetik maddenin kalınlığı ve cinsi gibi etkenler manyetik özellikleri etkilemektedir. Toroid manyetik çekirdekler, birçok uygulamalarda kullanılan grainleri yönlendirilmiş %3 SiFe şeritlerden, spiral şeklinde sarılmaktadır. Kesme, sarma ve yalıtım gibi fiziksel üretim süreci etkileri, manyetik özelliklerin değişimine neden olmakta ve bu etkiler verimi yüksek çekirdek elde etmek için denetim altına alınmalıdır. Şekil (9.4) toroid çekirdeğin kesitini göstermektedir.

Manyetik büyüklükleri hesaplamada kullanılan toroid çekirdeğin kesit alanı (A_{Fe}) ve ortalama manyetik yol (ℓ_{Fe}),

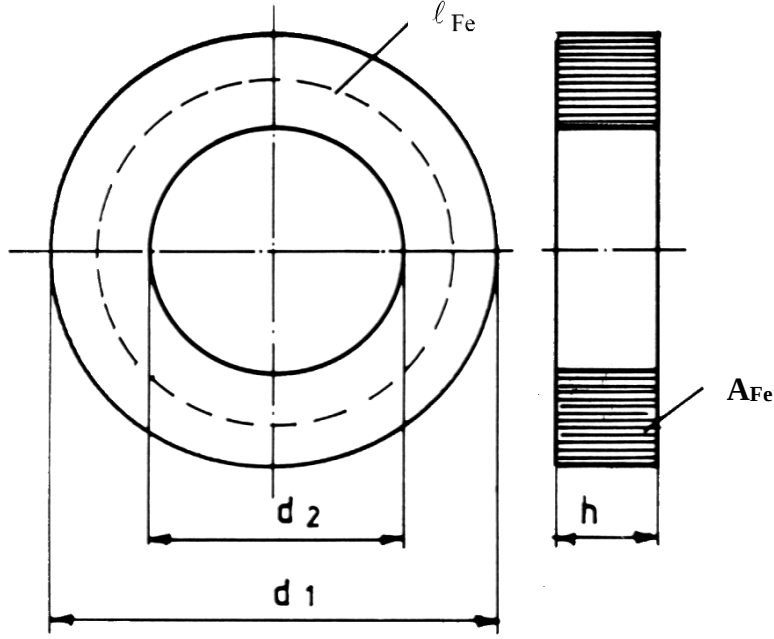
$$\ell_{Fe} = \frac{d_1 + d_2}{2} \pi \quad (9.1)$$

$$A_{Fe} = \frac{d_1 - d_2}{2} h \eta_{Fe} \quad (9.2)$$

bağıntıları yardımıyla hesaplanır. Burada d_1 dış çap, d_2 iç çap, w şerit genişliği, η_{Fe} ise demir doldurma faktörüdür ve şöyle hesaplanır:

$$\eta_{Fe} = \frac{m}{d \left(\frac{d_1 - d_2}{2} \right) h \ell_{Fe}} \quad (9.3)$$

burada m çekirdeğin kütlesi (kg), d örneğin yoğunluğu (kg / m^3)’dur.



Şekil 9.4. Toroid çekirdek ve geometrik ölçüleri.

Toroid Çekirdekte Manyetik Büyüklüklerin Hesaplanması

Şekil (9.5)'de gösterilen ölçme devresinde, belli bir manyetik indüksiyon ve manyetik alan şiddetinde gerilim şu şekilde hesaplanır.

$$V_e = 4.44 N_2 A_{Fe} f B_{max} \quad (9.4)$$

Burada V_e (Volt) algılayıcı bobinde indüklenen gerilimin etkin değeridir. B_{max} (Tesla) manyetik indüksiyonun tepe değeridir. N_2 ikinci bobinin sarım sayısı, A_{Fe} (m^2) demir kesitidir. Akım ise;

$$I_e = H_e \frac{\ell_{Fe}}{N_1} \quad (9.5)$$

Bağıntısıyla elde edilmektedir. I_e (A) akımın etkin değeri, H_e (A/m) manyetik alan şiddetinin etkin değeri, ℓ_{Fe} (m) ortalama demir uzunluğu, N_1 'de birinci bobinin sarım sayısıdır.

Bağıl manyetik geçirgenlik değerleri ise şu şekilde bulunmaktadır.

$$\mu = \frac{1}{\mu_0} \frac{B}{H} \quad (9.6)$$

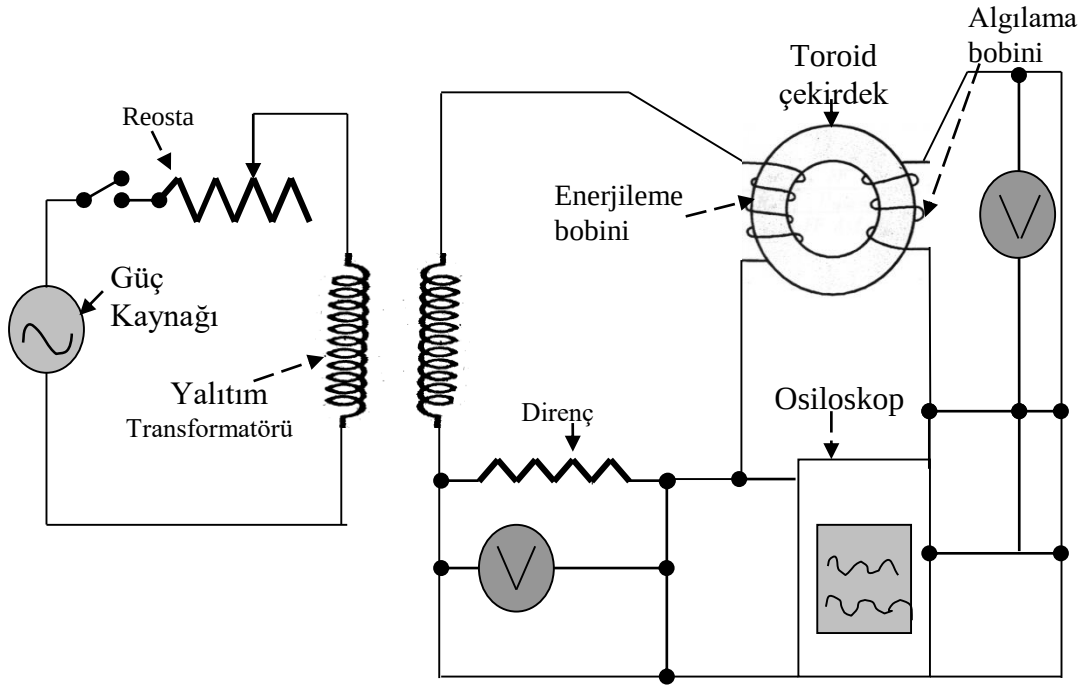
Burada B (Tesla), transformatör çekirdeği içinde dolaşan manyetik akı yoğunluğu, (manyetik indüksiyon), H (A/m), transformatör çekirdeğine uygulanan manyetik alan şiddeti, μ_0 ise boşluğun manyetik geçirgenliği olup değeri $4\pi \cdot 10^{-7}$ H/m ‘dir.

Ölçme Sistemi

Deneyde kurulacak ölçme sistemi Şekil (9.5)’de gösterilmiştir. Bu sistem güç, mıknatıslama ve ölçme devreleri olarak üç bölüme ayrılabilir. Güç devresinde şehir şebeke gerilimi kullanan (50Hz) en büyük 10 amper ve 25 volt gerilim verebilen güç kaynağı kullanılacaktır. Bu güç kaynağı ile birbirine seri bağlı 5 A, 10 ohm değerinde reosta ile yalıtım transformatörünün 1.sargısı beslenecektir. Reosta ile devreden geçen akım ayarlanarak manyetik alan şiddeti değiştirilecektir. Yalıtım transformatörünün 2. sargısında Faraday yasası ile indüklenen gerilim toroid çekirdeğin mıknatıslama bobinini ve direnci enerjileyecektir.

Örnekteki mıknatıslama bobini Eşitlik (9.5)’de verilen (H_e) yararlanılarak manyetik alanı oluşturmaktadır. Bu manyetik alan değeri, 0.47 ∓ 5 ohm olan seri bağlı direnç üzerine düşen gerilimden yararlanılıp Ohm yasasından akımın etkin değeri (i_e) bulunarak hesaplanacaktır. Kullanılan yalıtım transformatörünün iki yararı vardır. İlki güç devresinde oluşabilecek doğru akımları engelleyip mıknatıslama devresine geçişini önler. İkinci yararı ise mıknatıslama ve yalıtım transformatörü ikinci sargısı arasındaki empedansı ($Z=R+X_L$) dengelemektir.

Ayarlanan manyetik alan şiddetinin algılayıcı bobinde indüklediği gerilim (V_e) voltmetre ile ölçülerek Denklem (4)’den hesaplanacaktır. Ölçülen gerilimler aynı zamanda osiloskopda görüntülenerek manyetik alan şiddeti ve indüklenen gerilimin dalga şekilleri izlenmelidir. Ölçüler alınırken bu dalga şekillerinin sinüs veya sinüse çok yakın olmasına dikkat edilmelidir. Çünkü yüksek indüksiyon değerlerinde harmonikler oluştuğundan dalga şekilleri bozulmaktadır. Bu harmonik bileşenler ölçme hatasına sebep olmaktadır.



Şekil 9.5. Mıknatıslama ve ölçme sistemi.

Hazırlık Soruları

- 1) Grainleri yönlendirilmiş çelik ile grainleri yönlendirilmemiş çelik arasındaki fiziksel ve manyetik farklar nelerdir? Açıklayınız.
- 2) Elektrik çeliğine Silisyumun etki nelerdir? Hangi amaç için elektrik çeliğine Silisyum katılır?
- 3) Amorf maddelerin özelliklerini sıralayınız.
- 4) Nano-kristal maddenin üretim yöntemiyle ilgili bilgi veriniz.
- 5) Toroid çekirdekler nerelerde kullanılır? Bu çekirdeklerin geometrisinin manyetik özelliklere bir etkisi var mıdır?

Deneyin Yapılışı

- 1) Grainleri yönlendirilmiş %3 SiFe'den yapılmış toroid çekirdeğin, dış çapını (d_1), iç çapını (d_2) ve şerit genişliğini (h) ölçüp, Eş. (9.1) ve Eş. (9.2)'yi kullanarak ortalama demir uzunluğu (ℓ_{Fe}) ve demir kesitini (A_{Fe}) hesaplayınız.

2) Çekirdekte indüklenen manyetik akı yoğunluğunun aşağıda verilen Tablo'daki değerlerde olması için (0.1, 0.2, 0.3,.....,1.8T), algılama bobininde oluşacak gerilim değerlerini (V_e) Eş. (9.4)'ten hesaplayınız.

3) Ölçüm almaya başlamadan önce toroid çekirdeğin en büyük hangi gerilim değerine kadar enerjilenebildiğini belirleyiniz ve doyum mıknatıslanmasının değerini bulunuz. Bu seviyenin üzerinde enerjileme yapmayınız.

4) Reosta yardımıyla algılama bobinde indüklemek istediğiniz gerilim değerini elde edinceye kadar çekirdeğin enerjileme bobinine verdiğiniz akımı reosta yardımıyla artırınız. Direnç üstündeki gerilimi, direncin büyüklüğüne bölerek akımı (I_e), denklem (5)'den H_e 'yi hesaplayınız. Eş. (9.6)'yı kullanarak bağıl manyetik geçirgenliği (μ) de bularak Aşağıdaki tabloya kaydediniz. Bu işlemi manyetik doyuma kadar tekrarlayınız.

5) İşlemleri % 6.5 SiFe, amorf ve nano-kristal çekirdekler için tekrarlayınız.

6) %3 SiFe'den sarılmış çekirdeğin B-H, grafiğini çiziniz.

7) %3 SiFe'den sarılmış çekirdeğin μ -B, grafiğini çiziniz.

8) %6.5 SiFe'den sarılmış çekirdeğin B-H, grafiğini çiziniz.

9) %6.5 SiFe'den sarılmış çekirdeğin μ -B, grafiğini çiziniz.

10) Amorf maddeden sarılmış çekirdeğin B-H, grafiğini çiziniz.

11) Amorf maddeden sarılmış çekirdeğin μ -B, grafiğini çiziniz.

12) Nano Kristal maddeden sarılmış çekirdeğin B-H, grafiğini çiziniz.

13) Nano Kristal maddeden sarılmış çekirdeğin μ -B, grafiğini çiziniz.

14) Bu grafikleri yorumlayarak, çekirdeklerin manyetik performanslarını değerlendiriniz.

Manyetik madde	d_1 (mm)	d_2 (mm)	h (mm)	η_{Fe}	A_{Fe} (m ²)	ℓ_{Fe} (m)	B (T)	V_e (V)	i_e (A) = V_{direnc}/R	H (A/m)	μ
%3 SiFe				0.94			0.1				
%3 SiFe				0.94			0.2				
%3 SiFe				0.94			0.3				
%3 SiFe				0.94			0.4				
%3 SiFe				0.94			0.5				
%3 SiFe				0.94			0.6				
%3 SiFe				0.94			0.7				
%3 SiFe				0.94			0.8				
%3 SiFe				0.94			0.9				
%3 SiFe				0.94			1.0				
%3 SiFe				0.94			1.1				
%3 SiFe				0.94			1.2				
%3 SiFe				0.94			1.3				
%3 SiFe				0.94			1.4				
%3 SiFe				0.94			1.5				
%3 SiFe				0.94			1.6				
%3 SiFe				0.94			1.7				
%3 SiFe				0.94			1.8				

Manyetik madde	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	h (mm)	η_{Fe}	A _{Fe} (m ²)	ℓ_{Fe} (m)	B (T)	V _e (V)	$i_e \text{ (A)}$ $= V_{\text{direnç}} / R$	H (A/m)	μ
%6.5 SiFe				0.94			0.1				
%6.5 SiFe				0.94			0.2				
%6.5 SiFe				0.94			0.3				
%6.5 SiFe				0.94			0.4				
%6.5 SiFe				0.94			0.5				
%6.5 SiFe				0.94			0.6				
%6.5 SiFe				0.94			0.7				
%6.5 SiFe				0.94			0.8				
%6.5 SiFe				0.94			0.9				
%6.5 SiFe				0.94			1.0				
%6.5 SiFe				0.94			1.1				
%6.5 SiFe				0.94			1.2				
%6.5 SiFe				0.94			1.3				
%6.5 SiFe				0.94			1.4				
%6.5 SiFe				0.94			1.5				
%6.5 SiFe				0.94			1.6				
%6.5 SiFe				0.94			1.7				
%6.5 SiFe				0.94			1.8				

Manyetik madde	d ₁ (mm)	d ₂ (mm)	h (mm)	η_{Fe}	A _{Fe} (m ²)	ℓ_{Fe} (m)	B (T)	V _e (V)	$i_e \text{ (A)}$ $= V_{\text{direnç}} / R$	H (A/m)	μ
Amorf				0.79			0.1				
Amorf				0.79			0.2				
Amorf				0.79			0.3				
Amorf				0.79			0.4				
Amorf				0.79			0.5				
Amorf				0.79			0.6				
Amorf				0.79			0.7				
Amorf				0.79			0.8				
Amorf				0.79			0.9				
Amorf				0.79			1.0				
Amorf				0.79			1.1				
Amorf				0.79			1.2				
Amorf				0.79			1.3				
Amorf				0.79			1.4				
Amorf				0.79			1.5				
Amorf				0.79			1.6				
Amorf				0.79			1.7				
Amorf				0.79			1.8				

Manyetik madde	d_1 (mm)	d_2 (mm)	h (mm)	η_{Fe}	A_{Fe} (m ²)	ℓ_{Fe} (m)	B (T)	V_e (V)	i_e (A) = V_{direnc}/R	H (A/m)	μ
Nano Kristal				0.79			0.1				
Nano Kristal				0.79			0.2				
Nano Kristal				0.79			0.3				
Nano Kristal				0.79			0.4				
Nano Kristal				0.79			0.5				
Nano Kristal				0.79			0.6				
Nano Kristal				0.79			0.7				
Nano Kristal				0.79			0.8				
Nano Kristal				0.79			0.9				
Nano Kristal				0.79			1.0				
Nano Kristal				0.79			1.1				
Nano Kristal				0.79			1.2				
Nano Kristal				0.79			1.3				
Nano Kristal				0.79			1.4				
Nano Kristal				0.79			1.5				
Nano Kristal				0.79			1.6				
Nano Kristal				0.79			1.7				
Nano Kristal				0.79			1.8				

DENEY X

FARADAY VE LENZ YASALARI

Amaç

Faraday ve Lenz yasalarının deneysel olarak doğrulanması ve indüksiyon yönünün incelenmesi.

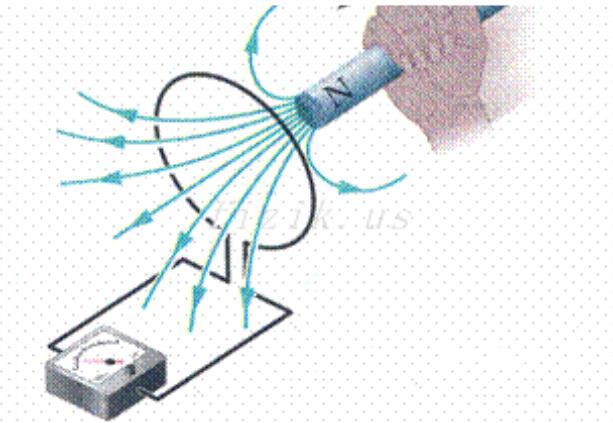
Deney Malzemeleri

Güç kaynağı, sinyal üretici, çeşitli transformatör bobinleri, algılayıcı bobin, Osiloskop, 2 adet Voltmetre,

Teorik Bilgi

İki temel deneyle Faraday'ın indüksiyon Yasası açıklanabilir.

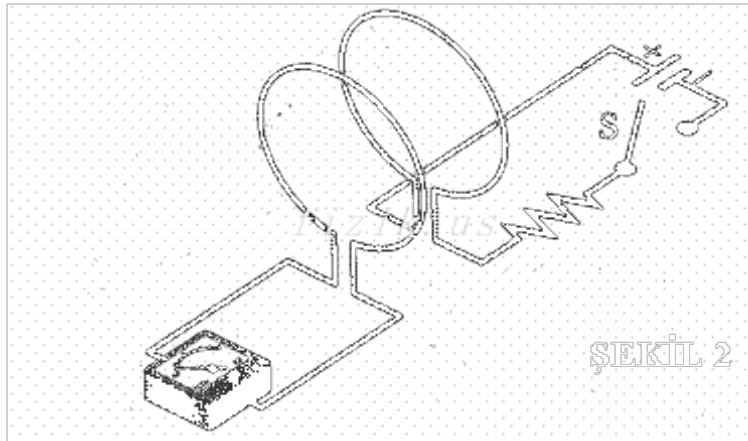
1. Deney: Şekil (10.1)'de gösterildiği gibi bir iletken halka hassas bir ampermetreye (galvonometre) bağlanmıştır ve bu durumda içinde geçen akım sıfırdır, çünkü taşıyıcılara enerji verecek bir emk kaynağı devreye bağlı değildir. Eğer bu halkaya doğru bir çubuk mıknatıs hareket ettirilirse, devreden aniden akım geçmeye başlar. Mıknatıs durduğu zaman akım kaybolur. Mıknatıs devreden uzaklaştırılacak şekilde tekrar hareket ettirildiğinde devreden tekrar akım geçmeye başlar, ancak bu kez zıt yöndedir. Bu deneyin sonuçları şöyle sıralanabilir:



Şekil 10.1: Bir halkaya yaklaştırılan mıknatıs ile halka içinde akım meydana gelir.

1. Yalnızca halka ve mıknatısın birbirlerine göre bir hareketi varsa, akım gözlenir. Hareket olmadığında akım yok olur.
2. Mıknatısı daha hızlı hareket ettirmek, daha büyük akım yaratılmasını sağlar.
3. Mıknatısın kuzey kutbunun halkaya doğru hareket ettirilmesi saat yönünde, kuzey kutbunun halkadan uzaklaştırılması da saat yönünün tersine akım oluşmasına neden olur. Güney kutbu için tam tersi durumlar geçerlidir.

Halkada üretilen akıma **indüklenmiş akım**, akımı yaratmak için birim yük başına yapılan iş **indüklenmiş emk** ve akım ile emk üretme sürecine **indüksiyon** denir.



Şekil 10.2: Birbirinden bağımsız iki halkada indüksiyon akımı elde edilmesi.

2. Deney: Şekil 2'deki gibi birbirine yakın ancak temas etmeyen iki iletken halka düşünülürse, sağ taraftaki halkadan bir akım geçmesini sağlamak için S anahtarı kapatılır, gösterge aniden bir akım gösterir, bunun kaynağı sol taraftaki halkada indüklenmiş akımdır. Anahtar tekrar açılırsa, sol taraf halkada yine ani bir akım, ancak bu kez önceki akımla zıt yönlü olarak gözlenir. Yalnızca sağ taraftaki halkadaki akım değiştiğinde devrede indüklenmiş bir akım (indüklenmiş bir emk) gözlenir ve akım sabit olduğunda indüklenme gözlenmez.

Bu deneylerde **'birşey'** değiştiğinde, indüklenmiş emk ve indüklenmiş akım oluşmaktadır. Fakat bu değişen **'şey'** nedir? Yanıtı veren Faraday'dı.

Faraday önceleri, devreden geçen kararlı bir akımın manyetik alan üretebilmesi gibi, kararlı bir manyetik alanın da bir devrede akım üretebileceğini düşünmüştü. Ancak sonraları bir emk ve

akımın halkadan geçen **manyetik alan değeri** değiştirilerek elde edilebileceğini fark etti. Manyetik alan değerinin, halkadan geçen manyetik alan çizgileriyle ilişkili olduğunu buldu. **Faraday indüksiyon Yasası** bu deneylerin sonuçları ile şöyle özetlenebilir:

Şekil (10.1) ve Şekil (10.2)'deki sol taraftaki halkada, halkadan geçen manyetik alan çizgilerinin sayısı değiştiğinde bir emk indüklendi. Halkadan geçen çizgiler değil, **değişen manyetik alan çizgilerinin sayısı** indüklenmiş emk ve indüklenmiş akımı yaratır.

İlk deneyde, manyetik alan çizgileri mıknatısın kuzey kutbundan ayrılır. Mıknatısın kuzey kutbu halkaya doğru hareket ettirildiğinde halkadan geçen alan çizgilerinin sayısı artar. Bu artış halkadaki iletkenlik elektronlarının hareket etmesine (indüklenmiş akım) neden olur ve hareket etmeleri için elektronlara enerji sağlar (indüklenmiş emk). Mıknatısın hareketi durduğunda halkadan geçen alan çizgileri değişmez ve indüklenmiş akım ve emk sıfır olur.

İkinci deneyde ise anahtar açıkken alan çizgileri yoktur çünkü akım yoktur. Fakat anahtar kapatıldığında sağ taraftaki halkadan akım geçmeye başlar, artan akım halka etrafında ve sol taraftaki halkada bir manyetik alan yaratır. Alan oluştuğunda, sol taraftaki halkadan geçen manyetik alan çizgilerinin sayısı artar. İlk deneydeki gibi halkadan geçen alan çizgileri burada bir akım ve bir emk indükler. Sağ halkadaki akım kararlı duruma ulaştığında sol taraftaki halkadaki alan çizgilerinin sayısı değişmez ve indüklenen akım ve indüklenen emk yok olur.

Faraday Yasası **neden** her iki deneyde de akım ve emk oluştuğunu açıklamaz, yalnızca indüksiyonun varlığından bizi haberdar eder. Faraday Yasası'nın denklemini vermeden önce halkadan geçen **manyetik alan değerini** hesaplamak gereklidir. Elektrik akısına benzer olarak, bir manyetik alan içinde bulunan bir A alanını çevreleyen bir halkadaki **net manyetik akı**;

$$\Phi = \int \vec{B} \cdot d\vec{A} \quad (10.1)$$

bağıntısıyla verilir. $d\vec{A}$ diferansiyel elemanı dA alanına dik olan vektördür (normal). Eğer manyetik alan ile A vektörü birbirine paralelse;

$$\Phi = BA \quad (10.2)$$

olur. Manyetik akının birimi **Weber (Wb)** olarak adlandırılır:

$$1 \text{ weber} = 1 \text{ Wb} = 1 \text{ T.m}^2$$

Bir halkadan geçen değişken manyetik akıyla, halkada indüklenen emk arasındaki bağıntı ‘**Faraday Yasası**’ dır:

Bir iletken halkanın çevrelediği bir yüzeydeki manyetik akı zamana göre değiştiiğinde, iletken halkada bir emk indüklenir.

İndüklenen emk;

$$\varepsilon = -\frac{d\Phi_B}{dt} \quad (10.3)$$

dir. Emk manyetik alanın değişme hızına bağlıdır. Faraday Yasası’ndaki (-) işareti indüklenen akımın yönüyle ilgilidir. Bu yön **Lenz yasası** ile açıklanır: ***İndüklenen gerilim veya akım kendisini oluşturan ile zıt fazdadır.*** Bu ifadeden, emk’nın devrede pek çok yolla indüklenebileceği görölmektedir:

- **B**’nin büyüklüğü zamanla değiştiiğinde
- Halkanın çevrelediği alan zamanla değiştiiğinde,
- **B** ile halkanın normali arasındaki θ zamanla değiştiiğinde

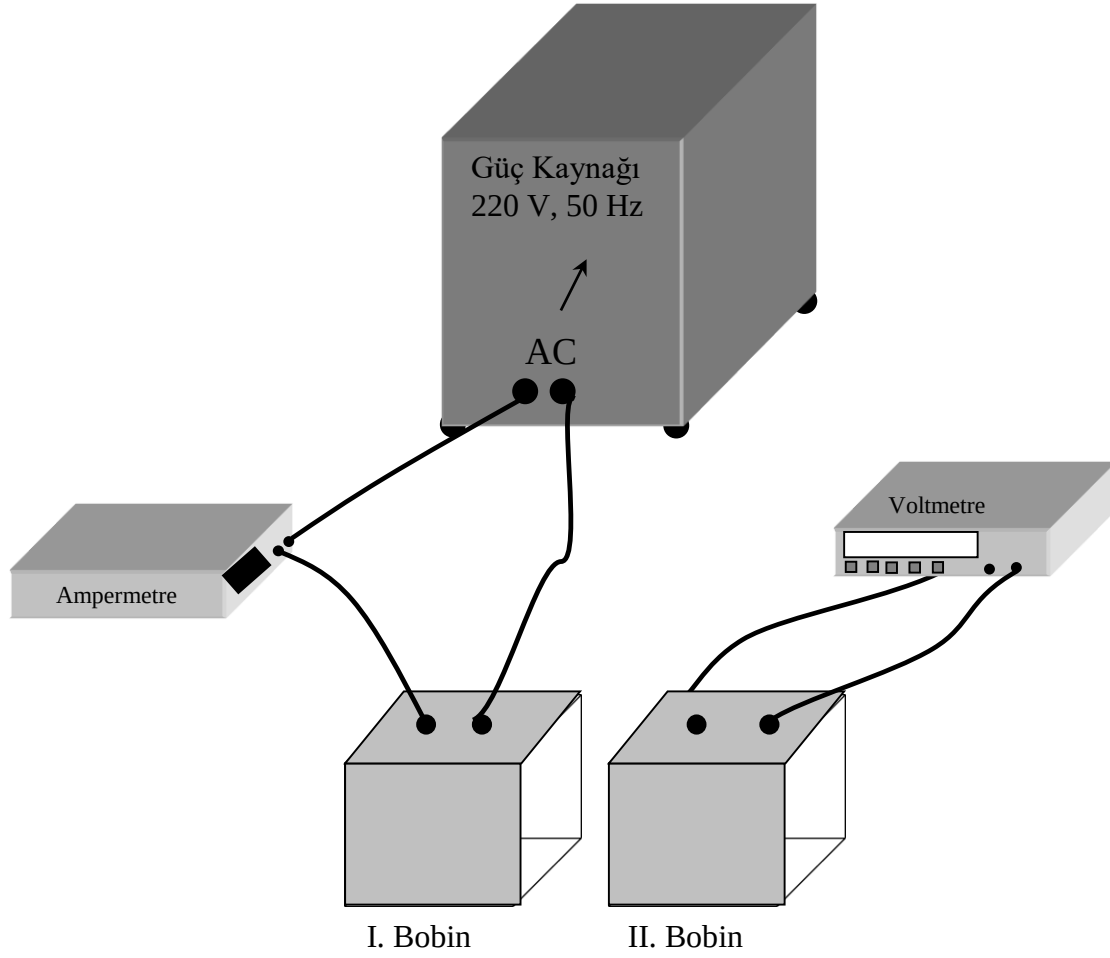
indüklenen emk değişebilir. N sarımlı bir bobinden geçen akıyı değiştirirsek, her dönüşte bir emk oluşur ve toplam emk bu bağımsız emk’ların toplamıyla bulunur:

$$\varepsilon = -N \frac{d\Phi_B}{dt} \quad (10.4)$$

Hazırlık Soruları

1) Yarıçapı 35 mm olan 75 sarımlık dairesel bir sargının eksenini, uzayda düzgün bir manyetik alana paraleldir. Alanın büyüklüğü sabit bir hızla, 240 ms içinde 18’den 73 mT’ya çıkıyor. Bu zaman aralığı içinde sargıda indüklenen emk’nın büyüklüğünü bulunuz (cevap $\varepsilon=30 \text{ mV}$).

- 2) Faraday indüksiyon yasasının sonuçları nelerdir?
- 3) Faraday yasasında bulunan negatif işaretin anlamını açıklayınız.
- 4) Bir devrede emk hangi değişik yöntemlerle indüklenebilir?



Şekil 10.3: Devre bağlantı şeması.

- 1) Şekil 10.3'deki devreyi kurunuz.
- 2) Birinci devreden geçen akım değerinden yararlanarak giriş gerilimini hesaplayınız (V_1).
- 3) İkinci bobinde indüklenen gerilimin büyüklüğünü kaydediniz. Birinci devrenin giriş gerilimi $\varepsilon(t) = V_1 \sin \omega t$ ise indüklenen gerilim $\varepsilon(t) = V_2 \sin(\omega t + \varphi)$ arasındaki faz farkını bulunuz.
- 4) Gerilim değerlerini 10 farklı şekilde değiştirerek alınan değerleri tekrarlayınız ve bir tablo oluşturunuz.
- 5) Farklı sarım sayılarındaki bobinleri kullanarak deneyi tekrarlayınız.
- 6) Ölçmelerden birisi için hata hesabı yapınız.

KAYNAKLAR:

- 1) An Introduction to Transducers And Instrumentation Digiac 1750 Curriculum Manual (Vol.1) L. J. Technical Systems.
- 2) Bentley J. P. Principles of Measurement Systems, John Wiley & Sons, New York, 1988.
- 3) Bertotti G. Hysteresis in Magnetism, Academic Press, USA, 1998.
- 4) Brailsford F. Physical Principles of Magnetism, D. Van Nostrand, 1964.
- 5) Chikazumi S. Physics of Magnetism, Rober E. Krieger Publishing Co. Florida, 1986.
- 6) Cullity B. D. Introduction to Magnetic Materials, Addison Wesley, 1972.
- 7) Derebasi N. Effect of Tension and Surface Properties on Magnetic Domains and Power Loss in Amorphous Ribbons, Ph. D. Thesis, Cardiff University, UK, 1994.
- 8) Derebasi N. and Meydan T. Effect of Stress on Localised Flux Direction in Amorphous Toroidal Transducers, Sensors & Actuators A: Physical, V.59, 1-3, p. 342-346, 1997.
- 9) Derebaşı N. Transformatör Çekirdeklerinde Üretim Yöntemlerinin Geliştirilmesine ve Kullanılan İleri Malzemeye Bağlı Olarak Verimin Arttırılması, TÜBİTAK TİDEB 0305 s.95, 1996.
- 10) Doebelin E. O. Measurement Systems Application and Design, McGraw Hill, New York, 1990.
- 11) Gettys W. E., Keller F. J. and Skove M. J. Fizik, Cilt 2, McGraw Hill, Literatür Yayıncılık, İstanbul, 1996.
- 12) Grimmond W. Moses A. J. and Ling P: C. Y. Geometrical Factors Affecting Magnetic Properties of Wound Cores, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 25, No 3, p. 2686-2693, 1989.
- 13) Jiles D. Introduction to Magnetism and Magnetic Materials, Chapman and Hall, 1991.
- 14) Kittel C. and Galt J. K. Ferromagnetic Domain Theory, Solid State Physics, Vol. 3, 1956.
- 15) Luborsky F. E. Amorphous Metallic Alloy, Butterworth, London, 1983.
- 16) Meydan T. and Derebasi N. The Effect of Surface Layers on Power Loss in Amorphous Ribbon Materials, IEEE Transactions on Magnetics, Vol. 6, p. 4818-4820, Part I, 1994.
- 17) Moses A. J. Development of Alternative Magnetic Core Materials and Incentives for Their Use, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, 112, p. 150-155, 1992.
- 18) Petzold J. Nanocrystalline Vitroperm Alloys an New Class of Soft Magnetic High-Tech Materials, Power Conversion, 1998.
- 19) Micrometals, Arnold Powder Cores, 2011.
- 20) Wilson J. Sensor Technology Handbook, Newnes, UK, 2005.

- 21) Flanagan M. F. Handbook of Transformer Design and Applications, McGraw Hill, 1986.
- 22) McLyman C. Wm. T. Transformer and Inductor Design Handbook, Marcel Dekker, New York, 1988.
- 23) Fishbane P. M., Gasiorowicz S. and Thornton S. T. Temel Fizik Cilt II, Printice Hall, Arkadaş Yayınevi, 1996.
- 24) Ripka P. Magnetic Sensors and Magnetometers, Artech House, London, 2001
- 25) Derebaşı N. Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, FZK3406 Manyetizma ve Uygulamaları Dersi Ders Notları, 1995.
- 26) Derebaşı N. Uludağ Üniversitesi, Fen Edebiyat Fakültesi, Fizik Bölümü, FZK4203 Sensörler Dersi Ders Notları, 1995