



**ONDOKUZ MAYIS ÜNİVERSİTESİ**  
**MÜHENDİSLİK FAKÜLTESİ**  
**ELEKTRİK-ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**



ENERJİ DÖNÜŞÜMÜNÜN TEMELLERİ LABORATUVARI

**TRANSFORMATÖRLERDE İNDÜKSİYON, MİKNATISLANMA**  
**AKIMI VE POLARİTE**

**1. HAZIRLIK SORULARI**

(Deneye başlamadan önce bireysel olarak hazırlık soruları rapor şeklinde deney sorumlusuna teslim edilecektir. Deneyde föy ve hazırlık sorularının cevapları olmayanlar ile föyü okumadan gelenler deneye alınmayacaktır.)

- 1) Faraday yasasından yararlanarak endüktans ile akı arasındaki ilişkiyi bulunuz.
- 2) Ortak indüktans ve öz indüktans nedir? Tek fazlı bir transformatörün ortak indüktans ve öz indüktansı hakkında ne söylenebilir?
- 3) Bir manyetik çekirdek üzerine sarılmış üç sargılı bir transformatörün sargı uç gerilim denklemlerini, özindüktans ve ortak indüktans terimlerini göz önüne alarak oluşturunuz. Bu denklem takımı matris olarak nasıl ifade edilebilir?
- 4) Boşta çalışan tek fazlı iki sargılı bir transformatörün akım ve gerilim dalga biçimlerinden yararlanarak transformatör çekirdeğinin histeresiz eğrisi çizilebilir mi? Nasıl?
- 5) Mıknatıslanma akımı nedir? Bildiklerinizi anlatınız.
- 6) ‘Transformatörlerde polarite’ ne demektir? Açıklayınız.

**2. GENEL BİLGİLER**

**2.1. FARADAY YASASININ UYGULANMASI**

Transformatörler Faraday Yasasının temel bir uygulama örneğidir. Faraday Yasası matematiksel olarak;

$$e = N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

ya da

$$e = N \frac{d\phi}{di} \cdot \frac{di}{dt} \quad (2)$$

Bu denklemlerde

N: Bir sargıdaki sarım sayısı

$\Phi$ : her bir sarımla çevrelenen magnetik akımın ortalama değeri (weber)

Yukarıda (2) no'lu denklem, sargıda oluşan gerilimin, sargıdaki elektrik akımının zamanla değişimi ve indüktans olarak nitelenen ( $N \frac{d\Phi}{dt}$ ) bir büyüklüğe bağlı olduğunu göstermektedir. Manyetik devrenin geçirgenliği ( $\eta$ ),  $\frac{di}{dt}$  ile doğru orantılıdır. Bu büyüklük, durağan-doymamış sistemlerde olduğu gibi değişmez değerli ise indüktans değeri de değişmezdir.

Bu durumda  $e = \frac{d}{dt}(Li)$  bağıntısı,  $e = L \frac{di}{dt}$  şeklinde yazılabilir.

İndüktans bir devrede akımın zamanla değişimi (amper/saniye) ile gerilim arasındaki ilişkiyi simgeler. İndüktans aynı zamanda akımdaki değişimleri geciktir. Biriktirilen enerjinin ( $\frac{1}{2} Li^2$ ) oluşumu ya da boşalmasına karşı koyar. Biriktirilen enerjinin değişme hızı e.i olarak bulunur. Böylece eğer devreye sabit bir gerilim uygulanırsa, biriktirilen enerji seviyesi ile bu düzeye ulaşmak için geçen zaman arasında bir ilişki olacaktır.

İndüktans değeri, manyetik devrenin biçimine ve ferromanyetik malzemenin özelliklerine bağlıdır. Ferromanyetik malzemelerde elektriksel uyartım akımı ile oluşan manyetik akı arasındaki orantı değişkendir ve bu '*manyetik doyma olgusu*' adı verilir.

Denklem (1) ve (2)'deki bağıntılar, içinden değişken manyetik akı geçen her sargı için geçerlidir. Manyetik akı yalnızca o sargıdaki elektriksel akımın etkisiyle oluşmaz, ayrıca aralarında manyetik bağlantı bulunan diğer sargı(lar)dan akan elektriksel akım(lar)ın etkisiyle de oluşabilir. Bir sargıda diğer bir sargıdaki elektrik akımına bağlı olarak oluşan manyetik akıya '*ortak indüktans akısı*' adı verilebilir.

Örneğin; '1' ve '2' olarak nitelenen iki sargı göz önüne alındığı zaman sargı '2'deki değişken bir  $i_2$  akımının sargı '1' de indüklediği gerilim;

$$e_{12} = L_{12} \frac{di_2}{dt} \quad (3)$$

olarak bulunur (Burada  $L_{12}$  '1' ve '2' sargıları arasındaki '*ortak indüktans*' olarak adlandırılır ve iki sargılı sistemlerde 'M' ile simgelenir).

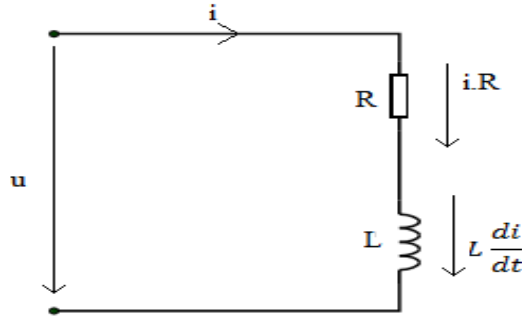
Sargı '1'de kendi akımı  $i_1$ 'in değişiminden dolayı endüklenen gerilim ise;

$$e_{11} = L_{11} \frac{di_1}{dt} \quad (4)$$

dir(Burada  $L_{11}$  sargı '1'in özindüktansı olarak tanımlanır).

$e_{11}$  ve  $e_{12}$  gerilimleri akımlardaki değişimlere bağlıdır. Uygun ölçüm yöntemleri kullanılarak denklem (3) ve (4)'de verilen indüktans değerleri belirlenebilir. Bunun için, yalnızca sargı '1'den akım geçirilerek ve sargı '2'nin uçlarında indüklenen gerilim( $e_{12}$ ) ölçülerek,  $L_{12}$  hesaplanabilir.

İndüklenen gerilimin yönü  $\frac{di}{dt}$ 'nin işareti ile belirlenir.  $L \frac{di}{dt}$  gerilimi her zaman akım değişmesine zıt yöndedir. Bunun için, şekil 1'de verilen, L indüktansı ve R direnci olan bir devre düşününüz.



Şekil 1. R, L olan devrede akım ve gerilimler

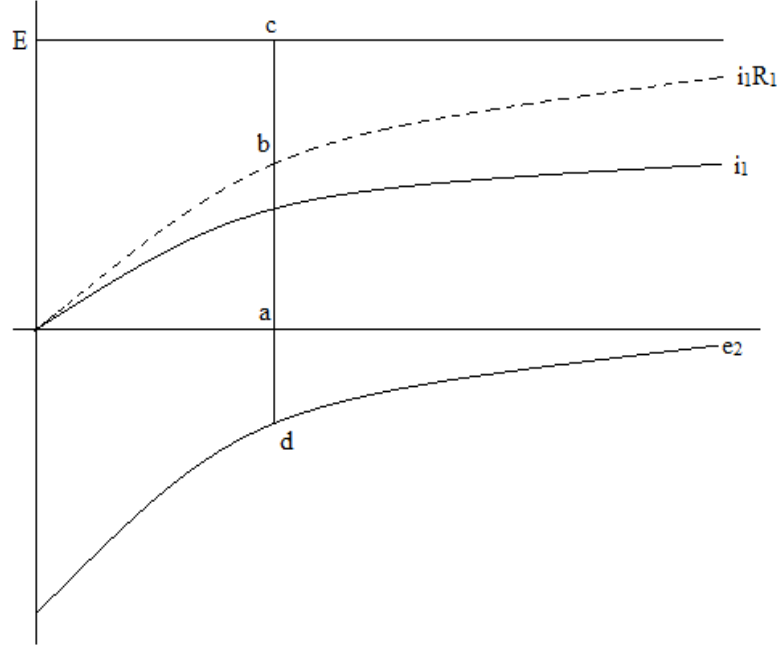
$i(t)$  akımını için herhangi bir (+) yön seçiniz. Bu yönde bir  $i.R$  büyüklüğünde gerilim düşümü olacaktır.  $L \frac{di}{dt}$  gerilimi  $i.R$  ile aynı yönde olacaktır. Eğer devreye  $u(t)$  gerilimi uygulanırsa bu gerilim direnç üzerindeki gerilim ve indüklenen gerilim ile dengelenecektir. Matematiksel olarak;

$$u = R \cdot i + L \frac{di}{dt} \quad (5)$$

bağıntısı yazılabilir. Denklem (5)'teki bağıntı bu deneyin ilk bölümünü oluşturacaktır.  $u$ ,  $i$  ve  $\frac{di}{dt}$ 'nin ölçümü ile R ve L değerleri saptanabilir.

## 2.2.TRANSFORMATÖRÜN SARGILARINA BASAMAK GERİLİM UYGULANMASI

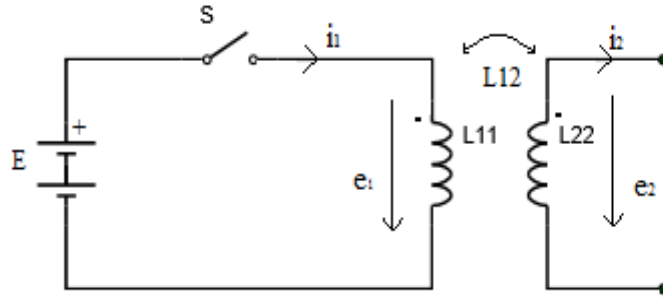
Tek fazlı transformatörün birincil sargısına basamak gerilimi uygulanırsa ( $u(t)=E, t>0$ ), sargı direnci R, özindüktans  $L_{11}$  ve ortak indüktans  $L_{12}$  gerilim grafikleri şekil 2'deki gibi olacaktır. Bu değişimlerin belirlenmesi ile R,  $L_{11}$  ve  $L_{12}(M)$  değerlerinin nasıl elde edilebileceği şekil 2'de gösterilmiştir.



Şekil 2.a. İki sargılı tek fazlı transformatörün basamak gerilim uygulamasına tepkeleri

$$ab = R_1 i_1, ad = L_{12} \frac{di_1}{dt}$$

$$ac = E, bc = L_{11} \frac{di_1}{dt}$$



Şekil 2.b. Anahtarla basamak gerilim uygulaması, sargı gerilim ve akımları

### 2.3.MİKNATISLANMA AKIMI

Manyetik bir çekirdek(nüve) üzerindeki bir uyarım sargısına AC gerilim uygulandığında, akımın dalga biçimi ‘manyetik doyma olgusu’ nedeniyle düzgün bir sinüs biçiminde olmayabilir. Bu bölümde, sürekli durumdaki akım dalga biçimi üzerinde durulacaktır. Manyetik çekirdek üzerine sarılı uyarım sargısı ise ikinci sargı uçları açık devre (boşta çalışma) olan tek fazlı transformatörün birincil sargısı olacaktır. Birincil sargının bu durumda çektiği akım mıknatıslanma akımı olacaktır.

Manyetik akı  $\Phi$  ile elektriksel akım  $i$  arasındaki bağıntı matematiksel olarak iki değişkenlidir (histeresiz özeğrisi). Bu durumda;

$$U_m \cdot \sin \omega t = R \cdot i + N \frac{d\Phi}{dt} \quad (6)$$

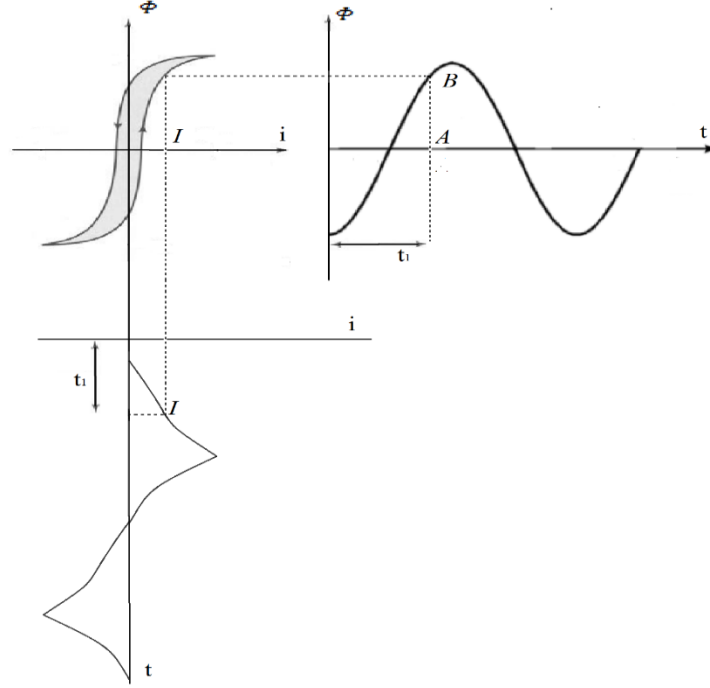
Gerilim denkleminde  $i$  değişkenini bilinen cebirsel yöntemlerle çözmek olanaksızdır. Genellikle bilgisayarda sayısal yöntemler, deneme-yanılma yoluyla hesaplama ya da yaklaşık grafiksel yöntemlerle çözüm aranabilir.

Denklem (6)'da uygulanan gerilimin genliğine bağlı olarak ( $U_m$ ),  $i$ ,  $R$ ,  $i$  ve  $\Phi$ 'nin zamanla değişimi sinüs biçimli olmayabilir. Ancak sinüs biçimli olmayan iki gerilim dalga biçiminin ( $i$ ,  $R$  ve  $N \frac{d\Phi}{dt}$ ) toplamı her zaman sinüs biçimli  $U_m \cdot \sin \omega t$ 'yi verecektir.

### **Özel Durum 1 (Çok Küçük Direnç Değeri):**

Denklem (6)'da  $i \cdot R \ll N \frac{d\Phi}{dt}$  ve bundan dolayı  $U_m \cdot \sin \omega t \approx N \frac{d\Phi}{dt}$  varsayımı yapılırsa, bu sinüs biçimli bir gerilim dalga biçiminde,  $\Phi$  akısı dalga biçiminin de bir sinüs olduğu varsayılabilir demektir. Bu durumda şekil 3'te verilen grafiksel çizim yöntemi ile mıknatıslanma akımı dalga biçimi elde edilebilir. Şekil 3'te  $t_1$  zamanında akı-zaman grafiğinden akı değeri AB'dir. Bu değeri akı-zaman grafiğine (histeresiz eğrisi) taşırsak OI akımı elde edilir. Böylece  $t_1$  anındaki akımın değeri bulunmuş olur. Aynı yöntemle, zaman eksenini boyunca değişik noktalarda akımın değeri bulunarak akım-zaman değişimi elde edilir. Bu grafik incelendiği zaman akımın dalga biçiminin düzgün sinüs olmadığı ve büyük oranda üçüncü ve beşinci harmonik içerdiği görülür. Bu akım aşağıdaki üç bileşene ayrılabilir.

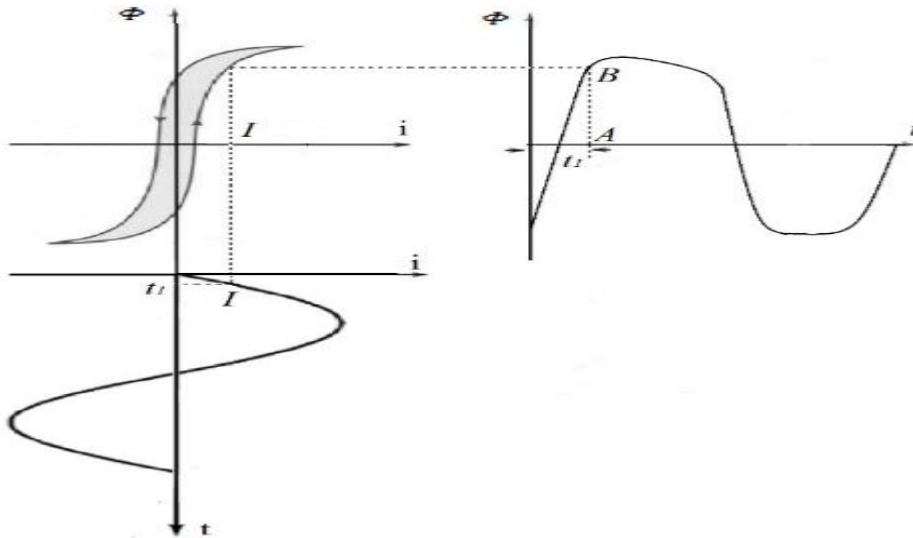
1. Gerilimle aynı fazda olan ve ana harmonik frekansındaki ( $\omega=2\pi f$ ) akım bileşeni (bu bileşen histeresiz ve fuko kayıplarını besler ( $I_c$ ))
2. Gerilimle  $90^\circ$  faz farklı ve ana harmonik frekansındaki akım bileşeni (bu bileşen transformatör çekirdeğindeki manyetik akının kaynağı olan MMK'yı oluşturur  $I_m$ ))
3. Harmonik akımlardan oluşan akım bileşeni (Manyetik akı dalga biçimini sinüs yapan bileşendir)



Şekil 3. Çok küçük direnç değerinde mıknatıslanma akımı dalga biçimi elde edilmesi

### Özel Durum 2 (Çok Büyük Direnç Değeri)

Bu durumda  $i.R \gg N \frac{d\Phi}{dt}$  varsayımı geçerlidir. Bundan dolayı  $U_m \sin \omega t \approx i.R$  olarak kabul edilebilir. Akımın dalga biçimi böylece sinüs biçimli olacaktır. Şekil 4'te verilen grafikte gösterildiği gibi, bundan önceki durumdaki yönteme başvurularak, akı-akım ve akım-zaman grafiklerinden akı-zaman grafiği çizilebilir. Bu akı tarafından indüklenen gerilim  $e = -N \frac{d\Phi}{dt}$  dir. Akı-zaman grafiğinin her noktasında türev alınarak elde edilecek olan gerilim-zaman dalga biçiminde büyük oranda üçüncü ve beşinci harmonik olacaktır.



Şekil 4.Çok büyük direnç değerinde mıknatıslanma akımından akı dalga biçimi elde edilmesi

## 2.4.TRANSFORMATÖR SARGILARINDA POLARİTE SAPTANMASI

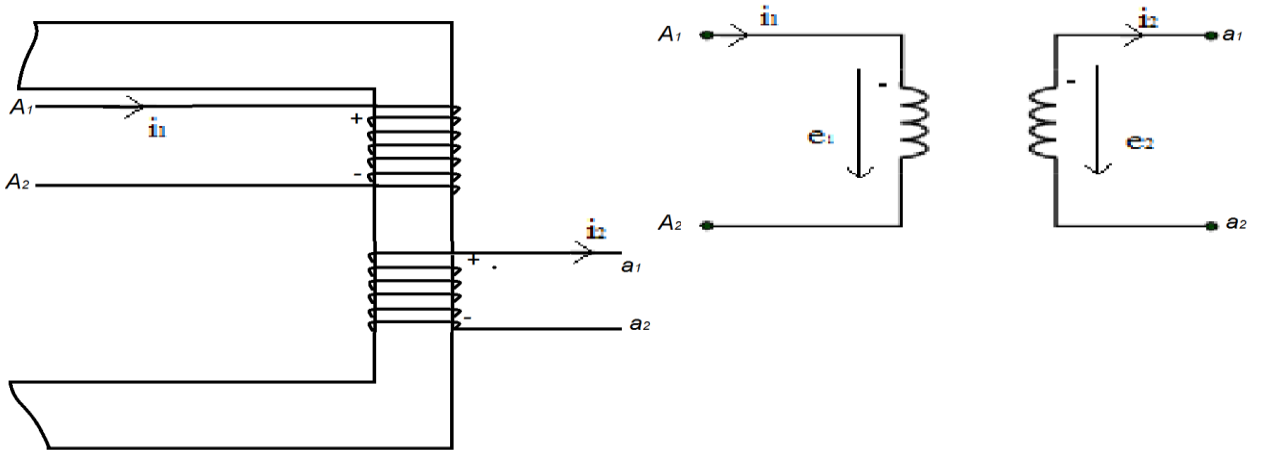
Sargı uçları belli olmayan tek fazlı iki sargılı dört uçlu bir transformatörün sargı uçlarının bulunup polaritelerinin belirlenmesi için aşağıdaki yöntem kullanılır:

- Bir avometre ile dört uç arasında direnç ölçmeleri yapılarak, uçlar arasında elektriksel ilişki bulunan iki çifte indirgenir.
- İki sargılı bir transformatörün uçlarının  $A_2-A_1$  ve  $a_2-a_1$  olarak işaretlenmesinin anlamı şekil 5'te gösterilmiştir.
- Transformatör uç çiftlerinden birine ayarlı transformatör ile düşük düzeyde (örneğin 10V) AC gerilim uygulanır ve diğer uç çiftindeki gerilim ölçülerek hangi sargının YG hangi sargının AG sargısı olduğu belirlenir.
- Yüksek gerilim sargısı uçları rastgele  $A_2-A_1$ , alçak gerilim sargısı uçları rastgele  $a_2-a_1$  olarak işaretlenir ve sargılar birbirine seri bağlanarak düşük düzeyde AC gerilim ( $U_{deney}$ ) uygulanır (şekil 6).  $U_{A_2-A_1}$ ,  $U_{a_2-a_1}$  ve  $U_{deney}$  ölçülür. Eğer rastgele yapılan polarite saptaması doğru ise;

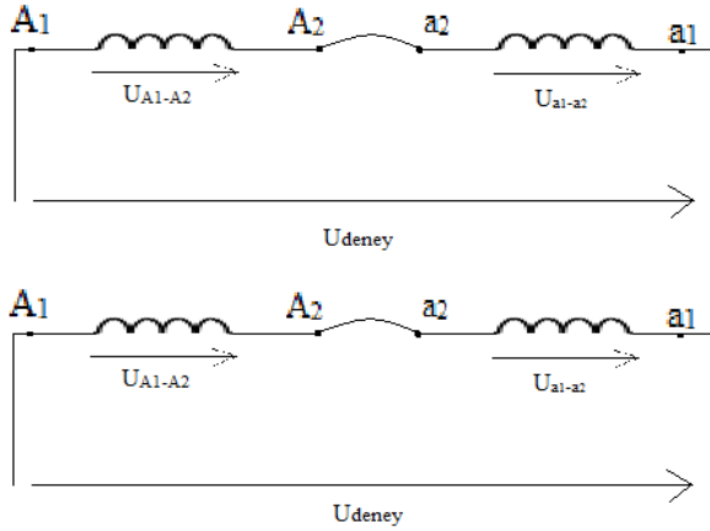
$U_{A_2-A_1} < U_{deney}$  'dir.

Eğer doğru değilse;

$U_{A_2-A_1} > U_{deney}$  olacaktır. Bu durumda  $A_2-A_1$  uç işaretlerini kendi arasında değiştirmek yeterli olacaktır.



Şekil 5. Sargılar ve polarite



Şekil 6. Polarite saptaması: iki tür bağlantı

### 3. DENEY

- 3.1. Deneyde kullanılacak transformatörün anma gücünü, birincil ve ikincil sargıların anma gerilimini öğrenip yazınız. Sargı anma akımlarını hesaplayınız.
- 3.2. 1.4'deki adımları izleyerek transformatör polaritesini belirleyiniz ve uçlarını işaretleyiniz.
- 3.3. Avometre ile sargı iç dirençlerini ( $R_1$  ve  $R_2$ ) belirleyiniz.
- 3.4. Şekil 8'de verilen devre bağlantılarını yapınız.
- 3.5. DA kaynağı çıkış gerilimini 15 V ve seri ayarlı direnç  $R_{sa} = 200 \Omega$  değerine ayarlayınız.
- 3.6. Kare dalga üretici ile anahtar transistörü 0.5-1 Hz frekansta çalıştırarak, bellekli osiloskop ekranı üzerinde akım ve gerilim dalga biçimlerini izleyiniz ve milimetrik kağıda olabildiğince ölçekli olarak çiziniz (Not: Bu işlem sırasında osiloskop ayarları ile deney sorumlusuna danışmadan oynamayınız. Tetikleme EXT.TRIG olmasına dikkat ediniz). Akım dalga biçimini osiloskopa gerilim olarak veren ölçü direnci  $R_{sh}$  direncinin değerini avometre ile bulunuz. İzlenen akım ve gerilim değerlerinden devredeki direnci hesaplayınız.
- 3.7. Bağlantıyı şekil 9'daki gibi yapınız. DA kaynağı çıkış gerilimi 15 V ve seri ayarlı direnç  $R_{sa} = 200 \Omega$  değerlerinde osiloskoptan birincil ve ikincil sargı gerilimlerinin değişimlerini inceleyiniz ve doğrulukla kağıda aktarınız.
- 3.8. Şekil 9'daki bağlantıdan DA kaynağını ve transistör anahtarlarını çıkartınız. Bunların yerine değişken bir AC gerilim kaynağı koyunuz (Şekil 10). Birincil sargı akımının etkin değerini ölçmek için de bir seri ampermetre bağlantısı ekleyiniz.

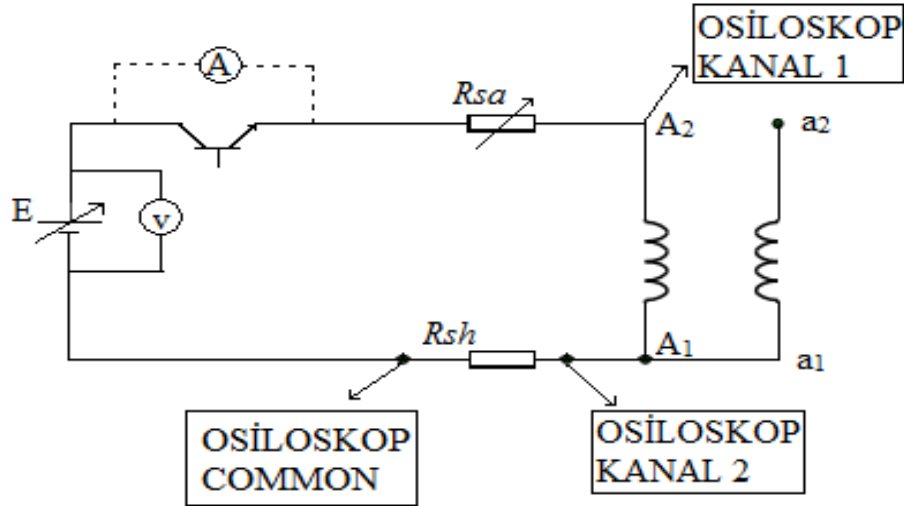


- 3.9. Ayarlı gerilim kaynağının çıkış değeri 60 V, seri direnç  $R_{sa}=0$  iken osiloskop üzerinde  $i_1(t)$ ,  $e_1(t)$  ve  $e_2(t)$  dalga biçimlerini gözlemleyiniz ve ölçekli olarak çiziniz.
- 3.10. (3.9.)'u ayarlı gerilim kaynağının çıkış gerilimi 220 V için tekrarlayınız.
- 3.11. (3.10.)'daki işlemi  $R_{sa}=200 \Omega$  için tekrarlayınız.

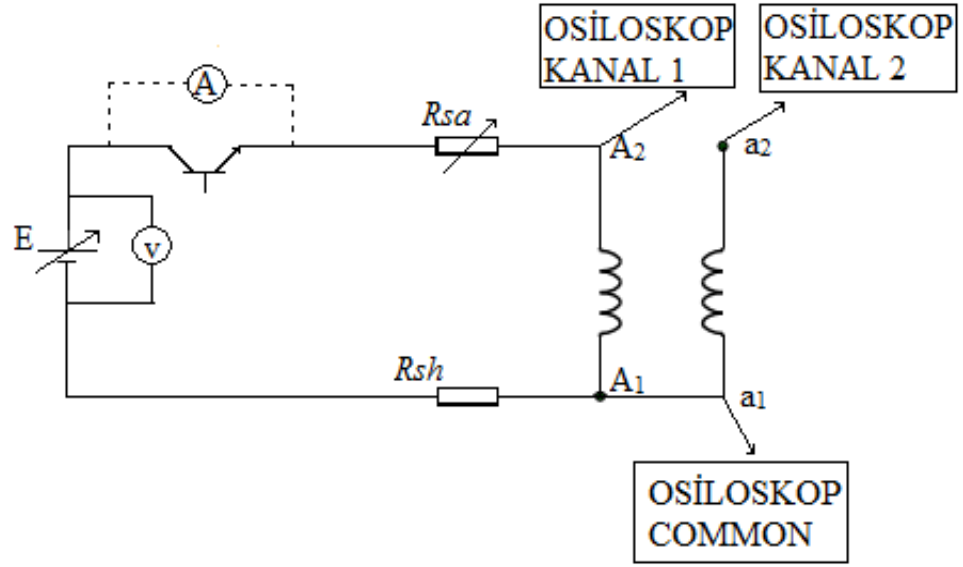
#### 4. İSTENENLER

- 4.1. 3.1, 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 ve 3.6'da elde edilen verileri ve grafikleri raporunuza aktarınız ve grafikleri ayrıntılı bir şekilde **açıklayınız**.
- 4.2. 3.7'deki grafikleri raporunuza aktarınız ve bu grafiklerden yararlanarak transformatörün öz ve ortak indüktansını belirleyiniz.
- 4.3. 3.9., 3.10. ve 3.11'de elde edilen grafikleri raporunuza aktarıp grafikleri karşılaştırınız. Direncin küçük ve büyük olması durumları için **yorumlayınız**.

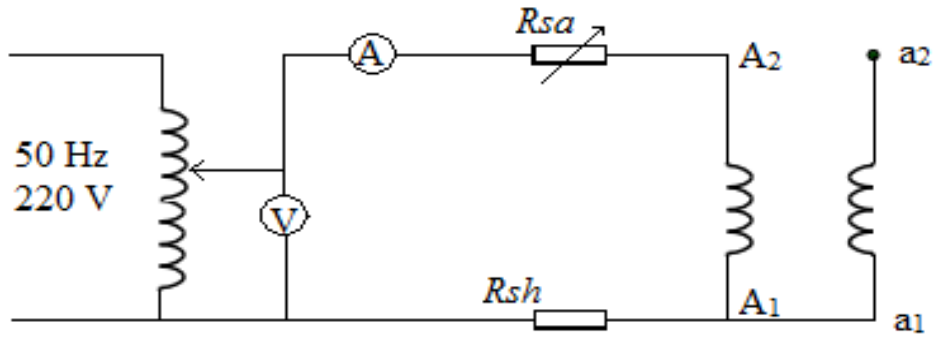
**NOT:** Sonuçları raporunuza ayrıntılı olarak aktarınız ve kullanılan yöntemleri göz önüne alarak özenle ve ayrıntılı olarak yorumlayınız.



Şekil 8. Basamak gerilim uygulaması deney bağlantı şeması 1



Şekil 9. Basamak gerilim uygulaması deney bağlantı şeması 2



Şekil 10. AC gerilim kaynağı ile besleme durumu deney bağlantı şeması