

**T.C.  
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

# **ELEKTRİK-ELEKTRONİK TEKNOLOJİSİ**

## **GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİ 522EE0125**

**Ankara, 2012**

- Bu modül, mesleki ve teknik eğitim okul/kurumlarında uygulanan Çerçeve Öğretim Programlarında yer alan yeterlikleri kazandırmaya yönelik olarak öğrencilere rehberlik etmek amacıyla hazırlanmış bireysel öğrenme materyalidir.
- Millî Eğitim Bakanlığınca ücretsiz olarak verilmiştir.
- **PARA İLE SATILMAZ.**

# İÇİNDEKİLER

AÇIKLAMALAR .....	iii
GİRİŞ .....	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1 .....	3
1. GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN YAPISI .....	3
1.1. Transformatörler.....	3
1.1.1. Transformatörlerin Önemi.....	3
1.1.2. Genel Tanımı ve Yapısı.....	4
1.1.3. Genel Çalışma Prensibi .....	7
1.1.4. İndüklenen EMK Değeri .....	8
1.1.5. Dönüştürme Oranı .....	8
1.1.6. Transformatörlerde Kaçak Akılar .....	10
1.1.7. Transformatörlerin Çalışma Durumları.....	11
1.1.8. Trafo Sargı Direncinin Ölçülmesi .....	16
1.1.9. Trafolarında Polarite.....	17
1.1.10. Trafoların Gerilimine Göre Çeşitleri.....	20
1.1.11. Gerilim Yükseltme veya Alçaltmasına Göre Çeşitleri.....	21
1.1.12. Trafoların Eş Değer Devreleri.....	22
1.1.13. Trafolarında Regülasyon .....	24
1.1.14. Trafolarında Verim.....	27
1.2. Oto Trafoları.....	30
1.2.1. Tanımı .....	30
1.2.2. Yapısı .....	30
1.2.3. İki Sargılı Trafo İle Farkı .....	30
1.2.4. Kullanıldığı Yerler .....	31
1.2.5. Üstünlük ve Sakıncaları .....	31
1.3. Güç Trafoları (Üç Fazlı).....	31
1.3.1. Üç Adet Bir Fazlı Trafolardan Meydana Gelen Trafolar .....	31
1.3.2. Bir Nüveli Üç Fazlı Trafolar .....	34
UYGULAMA FAALİYETİ.....	41
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	43
ÖĞRENME FAALİYETİ-2 .....	44
2. GÜÇ TRAFOLARI SARGI BAĞLANTI ŞEKİLLERİ.....	44
2.1. Bağlantı Şekilleri.....	44
2.1.1. Üçgen Bağlantı ve Özelliği .....	44
2.1.2. Yıldız Bağlantı ve Özelliği.....	45
2.1.3. Zikzak Bağlantı ve Özelliği.....	45
2.2. Bağlantı Grupları, Sembolleri ve Grup Açıları .....	46
2.2.1. Grup Açıları.....	46
2.2.2. Bağlantı Grupları Çeşitlerinin Sembolleri (Harf Sembolleri) .....	47
2.2.3. Bağlantı Grup Çeşitleri ve Vektörleri .....	47
2.3. Güç Trafo Gerilim Ayar Düzenneği.....	52
UYGULAMA FAALİYETİ.....	54

ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	56
ÖĞRENME FAALİYETİ-3 .....	57
3. TRAFOLARIN PARALEL BAĞLANTILARI .....	57
3.1. Paralel Bağlantıları.....	57
3.1.1. Paralel Bağlama Nedenleri.....	57
3.1.2. Paralel Bağlama Şartları.....	58
3.1.3. Paralel Bağlantı Şeması.....	58
3.2. Trafoların Yüke İştiraki.....	58
3.3. Paralel Bağlı Trafolarda Yüke Dağılım .....	59
UYGULAMA FAALİYETİ.....	61
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME.....	63
MODÜL DEĞERLENDİRME .....	64
CEVAP ANAHTARLARI.....	66
KAYNAKÇA .....	67

# AÇIKLAMALAR

<b>KOD</b>	<b>522EE0125</b>
<b>ALAN</b>	<b>Elektrik Elektronik Teknolojisi</b>
<b>DAL/MESLEK</b>	<b>Yüksek Gerilim Sistemleri</b>
<b>MODÜLÜN ADI</b>	<b>Güç Transformatörleri</b>
<b>MODÜLÜN TANIMI</b>	Güç transformatörleri yapısı, bağlantıları, paralel bağlantıları ile ilgili bilgi ve becerilerin kazandırıldığı öğrenme materyalidir.
<b>SÜRE</b>	40/32
<b>ÖN KOŞUL</b>	Ön koşulu yoktur.
<b>YETERLİK</b>	Güç transformatörleri yapısı ve özelliklerini hatasız seçmek
<b>MODÜLÜN AMACI</b>	<b>Genel Amaç</b> Gerekli ortam sağlandığında Kuvvetli Akım Yönetmeliği'ne uygun ve hatasız olarak güç trafolarını, güç trafo bağlantı şekillerini, trafoların paralel bağlantı yöntemlerini seçebileceksiniz. <b>Amaçlar</b> <b>1.</b> Dağıtım güç trafolarını hatasız olarak seçebileceksiniz. <b>2.</b> Dağıtım güç trafoları sargı bağlantı şekillerini hatasız olarak seçebileceksiniz. <b>3.</b> Dağıtım güç trafoları paralel bağlantı yöntemlerini hatasız olarak seçebileceksiniz.
<b>EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI</b>	<b>Ortam:</b> Elektrik atölyesi, elektrik makineleri laboratuvarı, işletme ortamı <b>Donanım:</b> Projeksiyon, bilgisayar
<b>ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME</b>	Modülün içinde yer alan her faaliyetten sonra, verilen ölçme araçlarıyla kazandığınız bilgileri ve becerileri ölçerek kendi kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen, modül sonunda size ölçme aracı (çoktan seçmeli, doğru yanlış, tamamlamalı test ve uygulama vb.) uygulayarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek değerlendirecektir.



# GİRİŞ

## **Sevgili Öğrenci,**

Bu modül sonunda edineceğiniz bilgi ve becerilerle kuvvetli akım yönetmeliğine uygun ve hatasız olarak güç trafolarını, güç trafoları bağlantı şekillerini, trafoların paralel bağlantı yöntemlerini seçebilecek yeterliliğe ulaşmış olacaksınız.

Elektrik santralleri çoğu zaman baraj veya kömür yakıtlarının merkezden uzak olması nedeni ile tüketim merkezlerinden uzakta kurulur.

Enerjinin santralden tüketim merkezlerine kadar iletimi verimli bir şekilde iletilebilmesi için yüksek gerilime ihtiyaç vardır. Oysaki santrallerde üretilen gerilim orta gerilim kademesinde olup üretilen enerjinin yükseltilmesi gerekmektedir.

Gerilimi yükseltmek ve enerjinin uzaklara verimli bir şekilde iletilmesini sağlamak için transformatörler kullanılmaktadır. Kullanılan bu dağıtım güç trafolarını hatasız olarak seçebileceksiniz.

Dağıtım güç trafoları sargı bağlantı şekillerini ve yöntemlerini hatasız olarak seçebileceksiniz.

Transformatörler hakkında size verilecek bu bilgiler uygulamaya basamak teşkil edecek şekilde hazırlanmıştır. Uygulama alanlarında güç transformatörlerini hatasız olarak tanıyıp seçimini yapabileceksiniz.

Bu modülde enerji iletiminin vazgeçilmez elemanlarından biri olan güç transformatörleri hakkında bilmeniz gereken tüm bilgiler mevcuttur.





# ÖĞRENME FAALİYETİ-1

## AMAÇ

Her türlü yerde standartlara ve kuvvetli akım yönetmeliğine uygun olarak dağıtım güç trafolarını hatasız olarak seçebileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Transformatörlerin yapısını ve çalışma prensibini araştırınız.
- Oto trafolarını yapısını ve çalışma prensibini araştırınız.
- Güç trafoları (üç fazlı) bağlantı şekillerini araştırınız.
- Güç trafoları (üç fazlı) soğutma sistemlerini araştırınız.

Araştırma işlemleri için internet ortamı, şalt sahası ve trafo üretim merkezlerini gezmeniz gerekmektedir. Araştırma yaptığınız konuları raporlayarak sınıfta arkadaşlarınıza sununuz.

## 1. GÜÇ TRANSFORMATÖRLERİNİN YAPISI

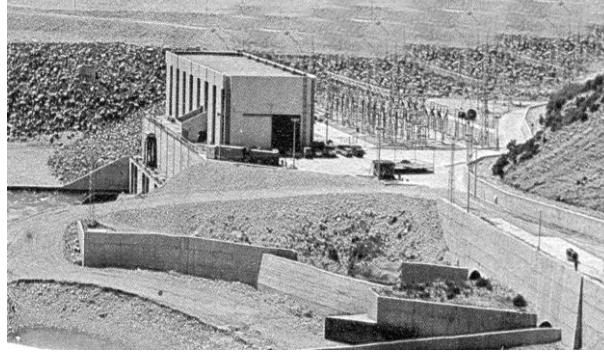
### 1.1. Transformatörler

#### 1.1.1. Transformatörlerin Önemi

Elektrik enerjisinin en önemli özelliklerinden biri de üretildiği yerden çok uzak bölgelere kolayca taşınabilmesidir. Bu taşınmanın verimli bir şekilde yapılabilmesi için gerilimin yeteri kadar büyük olması gerekir.

Bilindiği gibi elektrik enerjisi doğru veya alternatif akım olarak üretilir. Doğru akımda yüksek gerilimli enerji iletimi son zamanlarda büyük önem kazanmıştır. Ancak bu konuda istenilen düzeye gilememiştir. Buna karşılık alternatif akımlı elektrik enerjisinin gerilimi transformatörler yardımıyla yükseltilip düşürüldüğünden, enerjinin alternatif akımla taşınması önemini korumaktadır. Alternatif akımın gücünü ve frekansını değiştirmeden alçaltmaya veya yükseltmeye yarayan bir elektrik makinesi olarak transformatörlerin, elektrik enerjisinin AC’de taşınmasında önemli bir yeri vardır.

Resim 1.1’de elektrik enerjisinin üretimi ve AC gerilimin yükseltilmesi, Resim 1.2 ’de elektrik enerjisinin AC ile taşınması, Resim 1.3’te AC gerilimin alçaltılması ile ilgili resimler verilmiştir.



**Resim 1.1: Aslantaş hidroelektrik santrali (Elektrik enerjisinin üretimi ve AC gerilimin yükseltilmesi)**



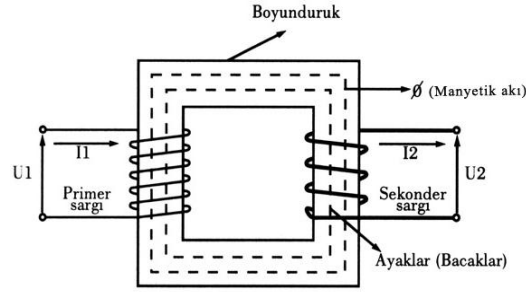
**Resim 1.2: İletim hattı (Elektrik enerjisinin AC ile taşınması)**



**Resim 1.3: Köy trafosu (AC gerilimin alçaltılması)**

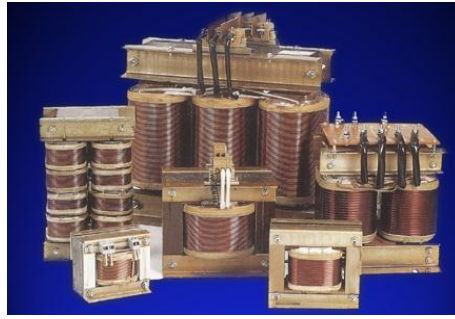
### **1.1.2. Genel Tanımı ve Yapısı**

- **Genel tanımı:** Elektromanyetik indüksiyon yolu ile frekansta değişiklik yapmadan gerilim ve akım değerlerini ihtiyaca göre bir oran dâhilinde değiştiren makinelere transformatör denir. Transformatörlere kısaca trafo da denilmektedir.



**Şekil 1.1: Transformatörlerin genel prensip şeması**

- **Genel yapısı:** Transformatörler ince saclardan yapılmış ve demir gövde adı verilen kapalı bir manyetik devre ile yalıtılmış iletkenlerden sarılıp demir gövde üzerine yerleştirilmiş iki bobinden meydana gelmiştir. Oto trafoları dışında bu iki bobin elektrikli olarak birbirinden tamamen yalıtılmıştır (Şekil 1.1'e bakınız.).



**Resim 1.4: Trafo örnekleri**

### 1.1.2.1. Nüve Yapısı ve Çeşitleri

Transformatörde manyetik nüve (gövde), fuko ve histerisiz kayıplarını önlemek için 0,30 – 0,50 mm kalınlığındaki birer yüzleri yalıtılmış silisli sacların paketlenmesinden meydana gelir. Yalıtım işinde ise yalıtkan olarak carlit kullanılır.

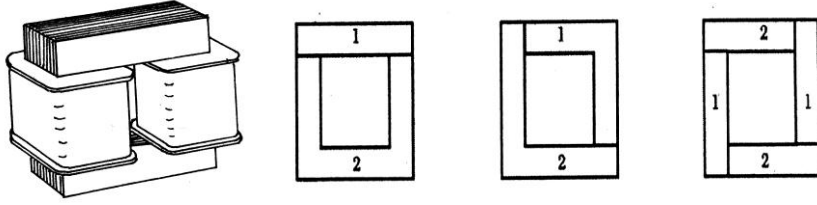
Manyetik nüve iki parçadan oluşur:

- **Ayak veya bacak:** Manyetik nüve üzerinde sargıların sarıldığı kısma denir.
- **Boyunduruk:** Ayakları birleştiren kısma denir.

Transformatör nüveleri üç şekilde yapılıdır. Bunlar:

- **Çekirdek tipi nüve**

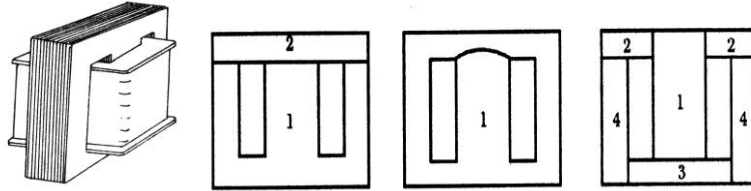
Çekirdek tip nüveli transformatörlerde yalıtma işi için daha fazla yer vardır. Bu bakımdan çekirdek tip nüveli transformatörler büyük güçlerde ve yüksek gerilimlerde kullanılır. Çekirdek tip nüveli transformatörlerin üstünlüklerinden biri de sargı kontrolünün kolay olmasıdır. Şekil 1.2'de çekirdek tip nüve, sac şekilleri ve çeşitli dizilişleri görülmektedir.



Şekil 1.2: Çekirdek tip nüve

➤ **Mantel tip nüve**

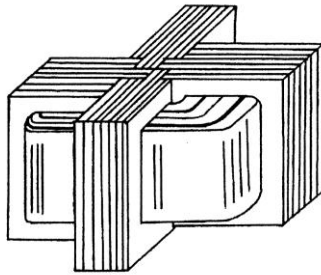
Mantel tip nüveli transformatörlerde ortalama manyetik alan yolu çekirdek tip nüveli transformatörlere göre daha kısadır. Bunun sonucu da demir kaybı daha az olacaktır. Mantel tip nüveli transformatörler alçak gerilimli ve küçük güçlü transformatörlerde kullanılır. Şekil 1.3'te mantel tip nüve, sac şekilleri ve çeşitli dizilişleri görülmektedir.



Şekil 1.3: Mantel tip nüve

➤ **Dağıtılmış tip nüve**

Dağıtılmış tip nüveli transformatörlerde kaçak akılar en küçük değerde olduğundan boş çalışma akımı çok azdır. Bunun sonucu iç gerilim düşümleri de azalmıştır. Dağıtılmış tip nüveli transformatörler daha çok küçük güçlü özel tip transformatörlerde kullanılır. Şekil 1.4'te dağıtılmış tip nüve görülmektedir.



Şekil 1.4: Dağıtılmış tip nüve

**1.1.2.2. Sargı Çeşitleri**

Şekil 1.1'de görüldüğü gibi basit bir transformatörde iki sargı vardır. Bunlar:

- Primer sargı
- Sekonder sargı

### ➤ Primer Sargı

Transformatörde gerilim uygulanan sargıdır. Bu sargıya birinci sargı veya birinci devrede denir.

- Alçaltıcı transformatörde ince kesitli iletkenle çok sipirli olarak sarılır.
- Yükseltici transformatörde kalın kesitli iletkenle az sipirli olarak sarılır.

### ➤ Sekonder sargı

Transformatörde gerilim alınan ve alıcının bağlandığı sargıdır. Bu sargıya ikinci sargı veya ikinci devrede denir.

- Alçaltıcı transformatörde kalın kesitli iletkenle az sipirli olarak sarılır.
- Yükseltici transformatörde ince kesitli iletkenle çok sipirli olarak sarılır.

## 1.1.3. Genel Çalışma Prensibi

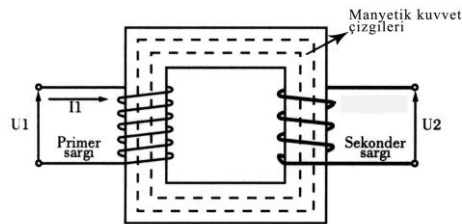
- Alternatif gerilim uygulandığında
- Doğru gerilim uygulandığında çalışma durumları incelenecektir.

### 1.1.3.1. Alternatif Gerilim Uygulandığında

Şekil 1.5'teki transformatöre alternatif gerilim uygulanırsa primer sargılarından alternatif bir akım geçer. Bu  $I_1$  akımı, demir nüve üzerinde zamana göre yönü ve şiddeti değişen bir manyetik alan meydana getirir.

Bu manyetik alan devresini, nüve üzerinden ve sekonder sargının bulunduğu bacak üzerinden de geçerek tamamlar. Devresini sekonder sargının bulunduğu bacak üzerinden tamamlayan değişken manyetik alan kuvvet çizgileri, sekonder sargı iletkenlerini keserek sekonder sargılarında bir E.M.K. indüklenir.

Böylece aralarında hiçbir elektriki bağ olmadığı halde, primer sargıya uygulanan alternatif gerilim sekonder sargıda, elektromanyetik indüksiyon yolu ile aynı frekanslı bir gerilim indüklenmiş olmaktadır.



Şekil 1.5: Transformatörün çalışma prensip şeması

### 1.1.3.2. Doğru Gerilim Uygulandığında

Şekil 1.5'teki transformatöre doğru gerilim uygulanırsa primer sargıdan bir doğru akım geçer ve nüve üzerinde manyetik alan meydana gelir. Ancak bu manyetik alan, yönü ve şiddeti değişmeyen sabit bir manyetik alandır. Sekonder sargı, sabit manyetik alan içinde kaldığından üzerinde bir EMK indüklenmez.

Ancak, doğru gerilimin uygulandığı ve kesildiği anlarda bir değişme olur. Bunun sonucunda kısa süreli olarak sekonder sargıda EMK indüklenir.

Doğru gerilim uyguladığımız primer sargı devresine, devreyi sık açıp kapayan adına vibratör denilen bir elektronik devre elemanı konulursa primer sargılarına alternatif bir gerilim uygulanmış gibi olacağından sekonder sargıdan alternatif gerilim alınabilir.

Sonuç olarak transformatörlerde sekonderden gerilim alabilmemiz için primere zamana göre yönü ve şiddeti değişen bir gerilim-akım uygulanması gerekmektedir. Eğer uygulanmazsa sekonderden sürekli bir gerilim almamız mümkün değildir.

### 1.1.4. İndüklenen EMK Değeri

Bir fazlı transformatörlerde indüklenen EMK genel ifade olarak

$$E = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{\max} \cdot N_1 \cdot 10^{-8} \quad (\text{Volt}) \text{ yazılır.}$$

Bu formülden yararlanarak primer ve sekonder gerilimleri için

$$U_1 = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{\max} \cdot N_1 \cdot 10^{-8} \quad \text{Volt (Primer gerilimi)}$$

$$U_2 = 4,44 \cdot f \cdot \Phi_{\max} \cdot N_2 \cdot 10^{-8} \quad \text{Volt (Sekonder gerilimi) bulunur.}$$

Sipir başına indüklenen gerilim ise:

$$U_s = U_1 / N_1 \quad \text{veya} \quad U_s = U_2 / N_2 \quad (\text{volt / sipir}) \text{ dir.}$$

### 1.1.5. Dönüştürme Oranı

$$K = \frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} = \frac{I_2}{I_1} = a \quad \text{Bu orana dönüştürme oranı denir.}$$

Her transformatörün sabit bir dönüştürme oranı vardır.

- Formüldeki değerlerde
  - $E_1$ : Primerde indüklenen EMK (Volt)
  - $E_2$ : Sekonderde indüklenen EMK (Volt)

- $U_1$ : Primere uygulanan gerilim (Volt)
- $U_2$ : Sekonderden alınan gerilim (Volt)
- $N_1$ : Primer siper sayısı (Siper)
- $N_2$ : Sekonder siper sayısı (Siper)
- $I_1$ : Primer akımı (Amper)
- $I_2$ : Sekonder akımı (Amper)
- $a, K$ : Dönüştürme oranı -
- $U_s$ : Siper başına düşen gerilim (Volt/Siper)
- $f$ : Frekans (Hz)
- $\emptyset$ : Manyetik akı MKSA (Weber), CGS (Maxwell)
- 4,44: Sabit sayı
- $10^{(-8)}$ : İndüklenen EMK'nin volt cinsinden çıkması için kullanılan sabit sayıyı ifade eder.

### ➤ Problemler

- Problem-1

Dönüştürme oranı 5 olan bir transformatörün sekonder gerilimi 110 voltur. Bu transformatörün primer gerilimini hesaplayınız.

#### Çözüm:

$$a = U_1 / U_2 \Rightarrow U_1 = a \cdot U_2 \Rightarrow U_1 = 5 \cdot 110 = 550 \text{ Volt.}$$

- Problem-2

Bir transformatörün primer siper sayısı 500, primer gerilimi 220 volt, sekonder gerilimi ise 110 volt olduğuna göre

- Dönüştürme oranını
- Sekonder siper sayısını
- Siper başına indüklenen gerilimi hesaplayınız.

#### Çözüm:

- $a = U_1 / U_2 = 220 / 110 = 2$   $a = 2$
- $a = N_1 / N_2 \Rightarrow N_2 = N_1 / a = 500 / 2 = 250$  Siper  
veya  
 $U_1 / U_2 = N_1 / N_2 \Rightarrow U_1 \cdot N_2 = N_1 \cdot U_2 \Rightarrow N_2 = N_1 \cdot U_2 / U_1$   
 $N_2 = 500 \cdot 110 / 220 = 250$   
 $N_2 = 250$  siper.
- $U_s = U_1 / N_1 = 220 / 500 = 0,44 \text{ V / Siper}$   
Veya  
 $U_s = U_2 / N_2 = 110 / 250 = 0,44 \text{ V / Siper}$

### Problem–3

Bir transformatörün primer gerilimi 220 volt, sekonder gerilimi 55 volt, primer akımı 4 amper ve sipir başına indüklenen gerilim 0,5 volt olduğuna göre

- Sekonder akımını
- Primer sipir sayısını
- Sekonder sipir sayısını hesaplayınız.

#### Çözüm:

- $U_1 / U_2 = I_2 / I_1 \Rightarrow I_2 = U_1 \cdot I_1 / U_2 \Rightarrow I_2 = 220 \cdot 4 / 55 = 16$  Amper
- $U_s = U_1 / N_1 \Rightarrow N_1 = U_1 / U_s \Rightarrow N_1 = 220 / 0,5 = 440$  Sipir
- $U_s = U_2 / N_2 \Rightarrow N_2 = U_2 / U_s \Rightarrow N_2 = 55 / 0,5 = 110$  Sipir

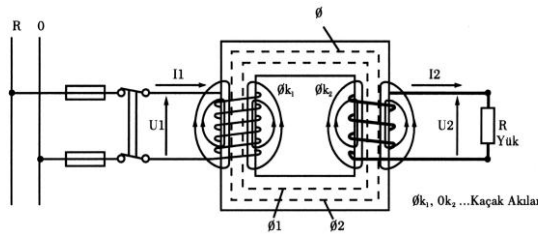
## 1.1.6. Transformatörlerde Kaçak Akılar

### 1.1.6.1. Tanım

Bir transformatörün primerine alternatif bir gerilim uygulandığında geçen akımın oluşturduğu manyetik akının tamamı ikinci devre iletkenlerini kesmez. Akımın küçük bir kısmı devresini havadan tamamlar. Devresini havadan tamamlayan akılara kaçak akılar denir.

Şekil 1.6’da görüldüğü gibi primer sargılarında meydana gelen kaçak akılara 1.devre kaçak akıları denir ve  $\phi_{k1}$  ile gösterilir. Sekonder sargılarında meydana gelen kaçak akılara 2. devre kaçak akıları denir ve  $\phi_{k2}$  ile gösterilir.

Kaçak akılar ne kadar fazla olursa faydalı akı da o kadar azalma olur. Bunun sonucunda ikinci devre sargılarında sipir başına indüklenen gerilim, primer sargılarında sipir başına indüklenen gerilimden küçük olur. Böylece sekonder sargılarda indüklenen gerilim azalır.



Şekil 1.6: Transformatörlerde kaçak akılar

### 1.1.6.2. Kaçak Akıyı Azaltıcı Önlemler

- Primer ve sekonder sargılarının uygun şekilde sarılmış olmaları,
- Nüve için kullanılan sacların manyetik geçirgenliğinin havaya göre çok yüksek olması,



- Transformatörler primer ve sekonder sargılarının üst üste ve aynı ayağa sarılması kaçak akıları azaltır.

### 1.1.6.3. Kaçak Akıdan Faydalanılan Yerler

Bazı özel transformatörlerde kaçak akılar istenir.

#### Örneğin,

Kaynak makinelerinde, kısa devre akımlarını azaltmada, paralel çalışmayı kolaylaştırmada ve ark fırınlarının güç devrelerinde kullanılan transformatörün kaçak reaktansı büyük istenmektedir.

### 1.1.7. Transformatörlerin Çalışma Durumları

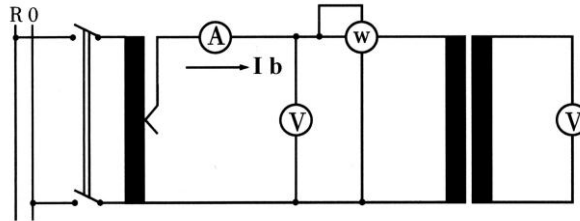
Transformatörlerin çalışması üç farklı andaki durumlar için incelenecektir. Bunlar:

- Boş çalışma durumu
- Yüklü çalışması
- Kısa devre olma durumlarıdır.

#### 1.1.7.1. Boş Çalışma ve Vektör Diyagramı

Transformatörün boş çalışması, primere gerilim uygulandığında sekonderi yüksüz (açık) durumda olması demektir.

Şekil 1.7'deki devrede sekonderi yüksüz olan bir transformatörün primere  $U_1$  gerilimi uygulandığında, primerden çok küçük bir akım geçer. Bu akıma boş çalışma akımı denir. Boş çalışma akımı  $I_b$  ile gösterilir ve uygulanan gerilimden  $90^\circ$  geridedir. Şekil 1.8'de boş çalışma akımı ve bileşenlerinin vektör diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.7: Transformatörün boş çalışma devre bağlantısı



Alınan değerleri aşağıdaki tabloya yazınız.

Gözlem No	$U_1$ (V)	$I_b$ (A)	$P_b$ (W)	Düşünceler	$\cos\phi_b$	$P_{1\text{cu}}$	Re

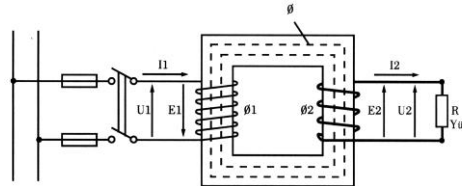
**Tablo 1.1: Boş çalışmada alınacak değerler tablosu**

Deneyde alınan değerler yardımıyla  $\cos\phi_b$ ,  $P_{1\text{cu}}$ , Re değerlerini hesaplayınız.

$$\begin{aligned}\cos\phi_b &= P_b / U_1 \cdot I_b = \\ P_{1\text{cu}} &= I_b^2 \cdot R_1 = \\ Re &= R \cdot I_1 =\end{aligned}$$

Deney alınan ve hesaplanan değerlere göre transformatörün, boş çalışma vektör diyagramı çizilir.

### 1.1.7.2. Yüklü Çalışması



**Şekil 1.9: Transformatörün yüklü çalışma bağlantı şeması**

Transformatörün yüklü çalışması, primerine şebeke gerilimi uygulayıp sekonderine bir yük bağlanılan zamanki durumdur(Şekil 1.9).

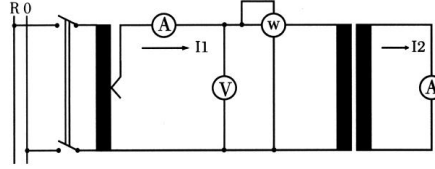
Transformatörün yüklü çalışmasında primer ve sekonder devrelerinden geçen akımlar 2. devreye bağlanan yüke göre değişir. Transformatörün sekonderi yüklendiği zaman primer akımı boş çalışma değerinde kalmaz. Sekonder akımı arttıkça primer akımı da artar. Bu durum kayıplar dikkate alınmadığı zaman 1. ve 2. devre güçlerinin birbirine eşit olması ile açıklanabilir.

$$U_1 \cdot I_1 \cdot \cos\phi = U_2 \cdot I_2 \cdot \cos\phi \quad \text{veya} \quad U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2$$

Yüklü çalışma devresi aşağıdaki işlem basamaklarına uygun şekilde kurulur.

- Deney bağlantı şemasına göre(şekil) devreyi hazırlanır.
- Şalteri kapatılarak şebeke gerilimi primer sargı uçları uygulanır.
- Devredeki ölçü aletlerinde okunan değerler gözlem tablosuna yazılır.
- Enerji kesilerek deneye son verilir.
- Deney farklı birkaç yükte transformatör yüklenerek sonuçları değerlendirilebilir.

### 1.1.7.3. Kısa Devre Çalışması



**Şekil 1.10: Transformatörün kısa devre deneyi bağlantı şeması**

Transformatörün kısa devre olması istenmeyen bir durum olup sadece deney amaçlı yapılacaktır.

Bu deney transformatörün birinci sargısında (primer sargısında) yapılacağı gibi ikinci sargısında (sekonder sargısında) da yapılabilir. Şekil 1.10'da görüldüğü gibi devrenin sekonderine ampermetre bağlanarak kısa devre edilmiştir.

Primere uygulanan gerilim sıfırdan başlanarak sekonderden normal çalışma akımı (anma akımı) geçene kadar artırılır. Transformatörün sekonderinden normal çalışma akımı geçtiğinde primere uygulanan gerilime kısa devre gerilimi ( $U_k$ ), primerde wattmetreden ölçülen güce de demir kayıplar ihmal edilerek (Uygulanan gerilim küçük değerde olduğu için demir kayıpları da çok küçük değerde olduğundan) bakır kayıpları denir. Bakır kayıpları yükün cinsine göre değişir.

#### ➤ Kısa devre akımı

Sekonderi kısa devre edilmiş bir transformatörün primerine herhangi bir gerilim uygulandığında sekonderden geçen akıma kısa devre akımı denir ve  $I_k$  ile gösterilir.

#### ➤ Kısa devre gerilimi

Primere uygulanan gerilim, sıfırdan başlanarak yavaş yavaş artırılır. Sekonderden anma akımı geçtiğinde gerilim artırmaya son verilir. Bu anda transformatörün primerine uygulanan gerilime kısa devre gerilimi denir.  $U_k$  ile gösterilir.

Kısa devre gerilimi anma geriliminin yüzdesi olarak belirtilir.

$$\% U_k = (U_k / U_1) \cdot 100$$

Kısa devre gerilimi güce bağlı olarak anma geriliminin %3'ü ile % 12' si kadardır.

## Sonuç olarak

Bu deneyde wattmetre ile ölçmüş olduğumuz değer transformatörün primerinde ve sekonderinde sarf edilen bakır kayıplarını verir.

Boş çalışma devresi aşağıdaki işlem basamaklarına uygun şekilde kurulur.

- Deney bağlantı şemasına göre (Şekil 1.10) devre hazırlanır.
- Transformatör etiketinden sekonder anma akımı değeri öğrenilir.
- Transformatör sargılarının soğuk dirençleri ölçülür.
- Oto trafosu sürgü kolu sıfırda iken devreye enerji uygulanır.
- Oto trafosu ile primer gerilimi sıfırdan başlanarak yavaş yavaş artırılır.
- Primer gerilimi, sekonder devresinden anma akımı geçinceye kadar artırılır.
- Her kademe için  $U_1, I_1, P_1$  ve  $I_2$  değerlerini alarak gözlemler tablosuna kaydedilir.
- Primer gerilimi, sekonder devresinden anma akımının % 120'sini geçinceye kadar artırılır.
- Değerleri alınarak gözlemler tablosuna kaydedilir.
- Bu akımda sargıların ısınması için 15 ~ 20 dakika beklenir.
- Enerji kesilir.
- Transformatör sargılarının sıcak dirençleri ölçülür.

Alınan değerler aşağıdaki tabloya yazılır.

Gözlem No	$I_1$ (A)	$U_1$ (V)	$P_1$ (W)	$I_2$ (A)	Düşünceler

**Tablo 1.2: Kısa devre çalışmada alınacak değerler tablosu**

Deneyde alınan değerler yardımıyla test sıcaklığı, eş değer empedans, eş değer direnç ve eş değer reaktans değerlerini aşağıdaki formüllerle hesaplayınız.

$$\text{Test sıcaklığı} = \frac{R_{\text{test}} (\text{sıcak})}{R_{\text{soguk}}} \cdot (\text{test}_{\text{soguk}} + 234,5) - 234,5$$

$$\text{Eş değer empedans } Z_{e1} = \frac{U_{k1}}{I_{k1}} \quad \text{Eş değer direnç } R_{e1} = \frac{P_{k1}}{I_{k1}^2}$$

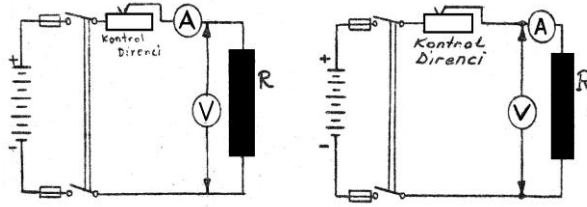
$$\text{Eş değer reaktans } Z_{e1} = \sqrt{R_{e1}^2 + X_{e1}^2} \Rightarrow X_{e1} = \sqrt{Z_{e1}^2 - R_{e1}^2}$$

### 1.1.8. Trafo Sargı Direncinin Ölçülmesi

Direncin ampermetre voltmetre metodu ile ölçülmesi ohm kanunu yardımıyla olur. Bilindiği gibi Ohm Kanunu:

$$R = \frac{U}{I} \text{ dir.}$$

Bu formülde I, R direncinden geçen akım, amper; U, R direnci uçlarındaki volt cinsinden potansiyel farkıdır. Bu durumda direncin birimi ohm cinsinden bulunur. Aletlerin çalışmaları için akım gerekli olduğundan, bu akımın hassas direnç ölçülmesinde dirençten geçen akıma mümkün olduğu kadar az etkiye bulunması için aletlerin devreye uygun şekilde bağlanmaları gerekir.



Şekil 1.11: a) Küçük değerli sargı direncinin ölçülmesi b) Büyük değerli sargı direncinin ölçülmesi

Voltmetre direnciyle karşılaştırılabilecek kadar büyük dirençlerin ölçülmesinde voltmetre, seri bağlanan R direnci ve ampermetrenin uçlarına bağlanmalıdır (Şekil 1.11. b).

Voltmetre yalnız bilinmeyen direncin uçlarına bağlansaydı ampermetre hem bilinmeyen dirençten geçen akım ve hem de voltmetreden geçen akımı ölçmekle büyük hataya sebep olurdu.

Büyük dirençlerin ölçülmesinde Şekil 1.11. b'ye göre direnç ölçme hesaplarında hata çok küçüktür. Çünkü bilinmeyen direncin uçlarındaki potansiyel farkına nazaran ampermetre uçlarındaki potansiyel farkı çok küçüktür. Voltmetre çok az bir hata ile direncin uçlarındaki gerilimi ölçmüş olur. Bu durumda hata ampermetrenin direncinden ibarettir ki bu da ölçülen büyük direnç yanında kolayca ihmal edilebilecek kadar küçük kalmaktadır (Yaklaşık olarak 0,05 ohm civarında).

1 ohm veya daha küçük dirençlerin ölçülmesinde voltmetrenin Şekil 1.11.a'daki gibi bilinmeyen direnç uçlarına bağlanması gerekir. Bu durumda voltmetrenin Şekil 1.11.b'deki gibi bağlanması direnç hesaplarında büyük hataya sebep olur. Bu hata, ölçülecek direncin ampermetre direncine yakın ve daha küçük olduğu hâllerde daha da artar.

Transformatör sargı dirençleri, çok küçük transformatörler hariç, voltmetre direnci yanında çok küçüktür. En az hata ile sargı direncini ölçülmesi için ölçü aletlerinin Şekil 1.11.a'daki gibi devreye bağlanması gerekir. Devreden geçecek akımı sınırlayan uygun değerli bir reostanın da şekilde görüldüğü gibi devreye bağlanması faydalıdır.

Direncin daha hassas bulunması için deney, birkaç çeşitli akımda yapılır ve bulunacak direnç değerlerinin ortalaması alınır. Büyük akımlı transformatör sargılarının direnç

değerleri çok küçük olduğu için bu sargıların uçlarında okunabilecek bir gerilim bulunabilmesi için geçirilecek akımın oldukça yüksek olması gerekir. Bu küçük gerilimin hassas bir şekilde okunabilmesi için de çok küçük gerilimleri ölçebilecek uygun voltmetrorenin seçilmesi gerekir.

Küçük dirençlerin ölçülmesinde çok hassas voltmetreler kullanılacağı için deneyin çok dikkatle yapılması gerekmektedir. Voltmetrorenin, devreden akım geçtiği görüldükten sonra direnç uçlarına bağlanması gerekir. Eğer sargıdan (sargıdaki açık devre dolayısıyla) akım geçmezse voltmetre uçlarında devre gerilimi bulunur. Bu da voltmetreye zarar verebilir.

Transformatör sargılarının self endüksiyon katsayısı genellikle çok büyük olduğu için devrenin ani açılması sonucu bobinlerde çok yüksek endüksiyon gerilimi oluşur. Bu gerilimin gerek sargılara gerek özellikle voltmetreye zarar vermemesi için gerekli tedbirler alınmalıdır. Voltmetrorenin devre kapatıldıktan sonra sargı uçlarına bağlanması ve voltmetre sargı uçlarından alındıktan sonra devrenin açılması gerekir. Devrede depo edilen enerjin devre açılırken ark şeklinde atlayarak şaltere zarar vermemesi için devre açılmadan önce sargı uçlarına bir deşarj direnci bağlanmalıdır.

Birçok hâllerde, sargıların normal çalışma sıcaklığındaki dirençlerin bilinmesi istenir. Bu durumda ölçmenin yapıldığı sıcaklıktaki direnç değerinden, normal çalışma sıcaklığındaki direnç değeri aşağıdaki formülle bulunabilir:

$$R_1 = \frac{t_1 + 234,5}{t_2 + 234,5} R_2$$

Bu formül yalnız bakır iletkenlere uygulanır. Burada  $R_1$ ,  $t_1$  sıcaklığındaki direnç değeridir.  $R_2$  ise  $t_2$  sıcaklığındaki direnç değeridir. Elektrik makinelerinde normal çalışma sıcaklığı genel olarak  $75\text{ }^\circ\text{C}$  alınmaktadır.

## 1.1.9. Trafolarda Polarite

### 1.1.9.1. Tanımı, Önemi

Transformatörlerin sargılarında indüklenen gerilimlerin ani yönlerini veya sargı uçlarının işaretlerinin belirtilmesine polarite denir.

- **Polaritenin önemi:** Transformatörlerin primer ve sekonder sargılarının her iki uçları, alternatif gerilimin frekansına bağlı olarak zaman zaman işaret değiştirir. Transformatörlerin birbiri ile paralel bağlanmasında veya çeşitli sargıların kendi aralarında bağlanmalarında transformatörün hangi ucunun hangi işareti taşıdığı bilinmesi gereklidir ki bağlantılar buna göre yapılsın.

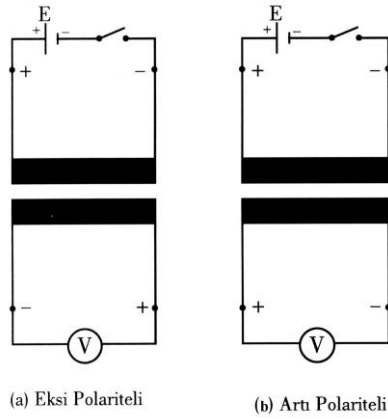
Sargıların polaritenin bilinmesi, transformatörlerin birbiri ile paralel bağlanmasında veya çeşitli sargıların kendi aralarında bağlanmalarında büyük kolaylıklar sağlar.

### 1.1.9.2. Polarite Tayini

Bir fazlı transformatörlerde polarite tayini iki şekilde yapılır.

- Doğru akım ile polarite tayini
- Alternatif akım ile polarite tayini
- **Doğru Akım ile Polarite Tayini**

Doğru akım ile polarite tayini daha çok ölçü transformatörlerinde ve küçük güçlü transformatörlerde uygulanabilir. Pil yeterli değilse pil yerine akü de kullanılabilir.



**Şekil 1.12: Doğru akım ile polarite tayini**

Transformatörün primer devresine, devreden akım geçirecek şekilde bir akım kaynağı bağlanır. İkinci devre uçlarına da D.A. voltmetresi bağlanır.

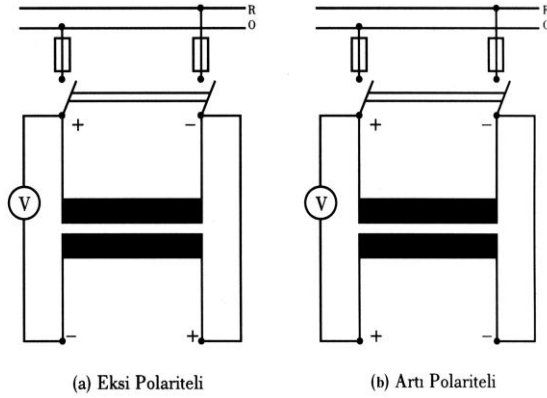
Primer devrenin kapatılıp açılması sırasında sekonder devresindeki voltmetre ibresi;

- **Doğru yönde sapıyorsa:** Primer devresine bağlanan kaynağın (+) ucu ile voltmetrenin (+) ucunun bağlandığı sekonder sargı ucu aynı polaritededir. (Şekil 1.12.a)
- **Eğer ters sapma olmuşsa:** Sekonder sargı polaritesi de terstir. Bu uçların dikkatle işaretlenmesi gerekir (Şekil. 1.12.b)

#### ➤ Alternatif akım ile polarite tayini

- Bir sargılı transformatörlerde polarite tayini





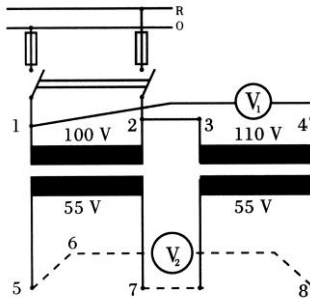
**Şekil 1.13: Alternatif akımı ile polarite tayini**

Bir sargılı transformatörün polarite tayininde deney bağlantısı, primer sargısının bir ucu ile sekonder sargısının bir ucu kısa devre edilir. Primer sargısının diğer ucu ile sekonder sargısının boşta kalan ucu arasında bir AC voltmetresi bağlanır (Şekil 1.13).

**Not:** Voltmetrenin maksimum değeri primer ve sekonder gerilimleri toplamını gösterecek değerde olmalıdır.

Primer sargısına bir AC gerilim uygulanırsa voltmetre bir değer gösterir.

- **Voltmetrede okunan değer:**  $U_1 - U_2$ 'yi gösteriyorsa bu uçlar ters işaretli ani değerdedir. Şekil 1.13.a'daki gibi transformatör eksi polaritelidir.
- **Voltmetrede okunan değer:**  $U_1 + U_2$ 'yi gösteriyorsa bu uçlar aynı işaretli ani değerdedir. Şekil 1.13.b'deki gibi transformatörümüz artı polaritelidir.
- **İki sargılı transformatörde polarite tayini**



**Şekil 1.14: İki sargılı transformatörde sargı uçlarının bulunması**

Şekil 1.14'teki gibi 110 voltluk devreye bağlandığında

- Primer sargılar için

Primere ait bir sargıya 110 volt verilir.

$V_1$  voltmetresi 220 volt gösteriyorsa

1 :  $P_1$  (+) 2 :  $P_2$  (-) 3 :  $P_3$  (+) 4 :  $P_4$  (-) olur

$V_1$  voltmetresi 0 volt gösteriyorsa

1 :  $P_1$  (+) 2 :  $P_2$  (-) 3 :  $P_3$  (-) 4 :  $P_4$  (+) olur.

Primer sargılar kendi aralarında seri veya paralel olarak bağlanabilir. Seride  $P_2$  ile  $P_3$ ,  $P_1$  ile  $P_4$  şebekeye bağlanır . Paralel bağlamada ise  $P_1$  ile  $P_3$ ,  $P_2$  ile  $P_4$  veya  $P_1$  ile  $P_4$ ,  $P_2$  ile  $P_3$  bağlanır.

- Sekonder sargılar için

$V_2$  voltmetresi 110 voltu gösterirse 5 :  $S_1$  6 :  $S_2$  7 :  $S_3$  8 :  $S_4$  olur.

$V_2$  voltmetresi 0 voltu gösterirse 5 :  $S_1$  6 :  $S_2$  7 :  $S_4$  8 :  $S_3$  olur.

- Transformatörün uç işaretleri için

- Primer için ( $P_1, P_2$ ), (A,B) Yüksek gerilim tarafı ( $H_1, H_2$ )
- Sekonder için ( $S_1, S_2$ ), (a, b) Alçak gerilim tarafı ( $X_1, X_2$ )
- Akım transformatörü için (K,L), (k,l)
- Gerilim transformatörü için (U,V), (u,v) olur.

**Not:** Bu harflendirme yapıldıktan sonra kendi aralarında seri veya paralel bağlandığı gibi başka transformatörlere de kolayca paralel bağlanabilir.

### 1.1.10. Trafoların Gerilimine Göre Çeşitleri

Transformatörler gerilimlerine göre dört çeşitte incelenir.

#### 1.1.10.1. Alçak Gerilim Trafoları

Alçak gerilim (AG) 0 – 1 kV arası gerilim değerleridir.

#### 1.1.10.2. Orta Gerilim

Orta gerilim (O.G.) 1 – 3 – 5 – 10 – 20 – 25 – 30 – 35 kV değerleridir.

#### 1.1.10.3. Yüksek Gerilim

Yüksek gerilim (YG) 45 – 60 – 154 kV değerleridir.

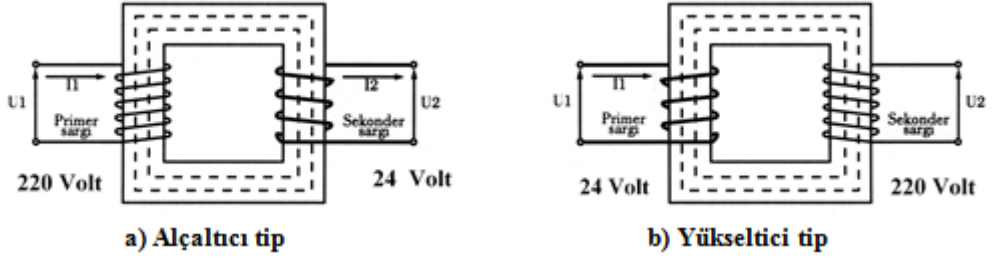
#### **1.1.10.4. Çok Yüksek Gerilim**

Çok yüksek gerilim (ÇYG)154 kV ve üzeri değerleridir.

#### **1.1.11. Gerilim Yükseltme veya Alçaltmasına Göre Çeşitleri**

Transformatörler, gerilimi alçaltma veya yükseltme şekline göre iki çeşittir.

- Alçaltıcı trafolar
- Yükseltici trafolar



Şekil 1.15: Transformatörlerin prensip şeması

### 1.1.11.1. Alçaltıcı Trafolar

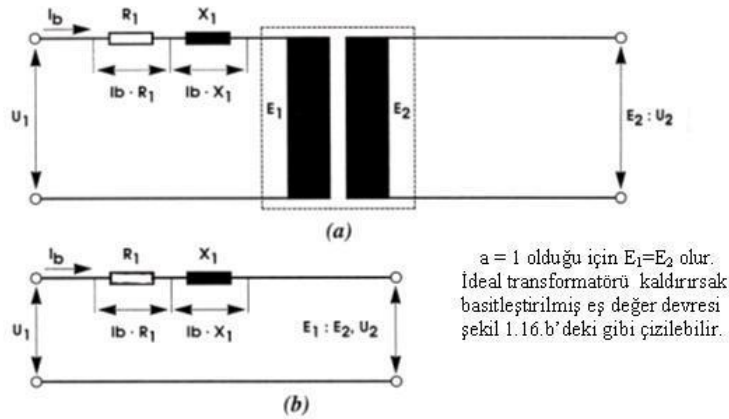
Uygulanan gerilimi alçaltan tip transformatlara alçaltıcı transformatörler denir. Şekil 1.15.a' da alçaltıcı transformatörün genel prensibi ve gerilim değerleri verilmiştir.

### 1.1.11.2. Yükseltici Trafolar

Uygulanan gerilimi yükselten tip transformatlara yükseltici transformatörler denir. Şekil 1.15.b'de yükseltici transformatörün genel prensibi ve gerilim değerleri verilmiştir.

## 1.1.12. Trafoların Eş Değer Devreleri

### 1.1.12.1. Transformatörlerin Boş Çalışmadaki Eşdeğer Devreleri



Şekil 1.16: Dönüşürme oranı  $a = 1$  olan bir transformatör boştaki

a) Eş değer devresi

b) Basitleştirilmiş eş değer devresi

Transformatörde gerilim düşümü kaçak akıllar ve sargı dirençleri üzerinde meydana gelir.

İdeal transformatörlerde sadece direnç ve reaktanslar üzerinde gerilim düşümü söz konusudur. Burada da ideal bir transformatör düşünülmüştür. İdeal bir transformatör kesik çizgi ile gösterilir (Şekil 1.16.a).

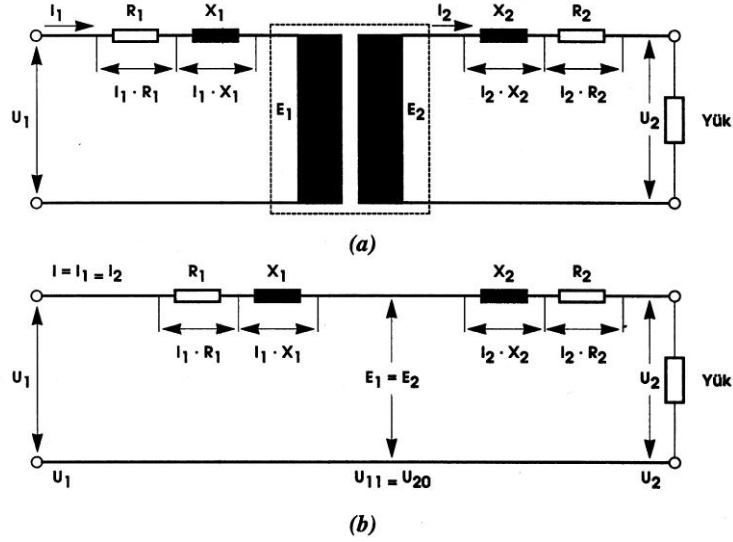
Boş çalışan bir transformatörden sadece primer devresinden akım geçer. Bu akım boş çalışma akımı olan  $I_b$  akımıdır.

Şekil 1.16'da görüldüğü gibi primer devresinde direnç ve reaktans görülmekte ve gerilim düşümleri de bunlar üzerinde olmaktadır.

$$\begin{aligned} \text{Direnç üzerindeki gerilim düşümü} & : I_b \cdot R_1 \\ \text{Reaktans üzerindeki gerilim düşümü} & : I_b \cdot X_1 \text{ olur.} \end{aligned}$$

Transformatörlerde eş değer direnç, eş değer reaktans, eş değer empedans primer ve sekondere göre kısa devre deneyleri ile bulunur.

### 1.1.12.2. Transformatörlerin Yüklü Çalışmadaki Eş Değer Devreleri



Şekil 1.17: Dönüşürme oranı  $a = 1$  olan bir transformatörün yükteki

a) Eş değer devresi

b) Basitleştirilmiş eşdeğer devresi

Şekil 1.17'de de görüldüğü gibi transformatörün yüklü çalışmasında primerden  $I_1$  akımı, sekonderden ise  $I_2$  akımı geçmektedir.

Primer devresindeki kaçak akının ve sargı direncinin oluşturduğu gerilim düşümleri direnç üzerinde  $I_1 \cdot R_1$  reaktans üzerinde  $I_1 \cdot X_1$ 'dir.

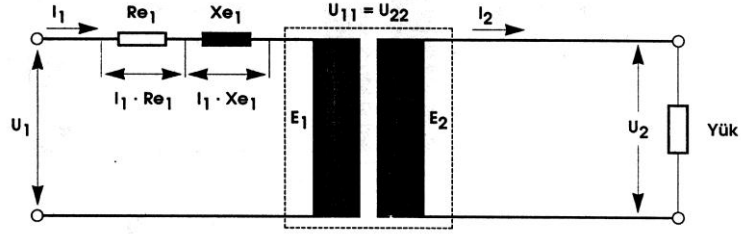
Sekonder devresindeki kaçak akının ve sargı direncinin oluşturduğu gerilim düşümleri direnç üzerinde  $I_2 \cdot R_2$  reaktans üzerinde  $I_2 \cdot X_2$ 'dir.

Şekil 1.17'de gösterilen gerilim düşümleri dikkate alındığında,

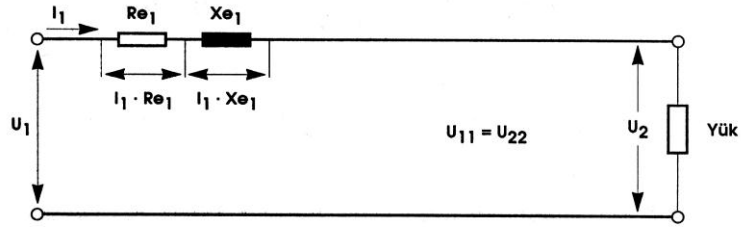
$$U_1 > E_1, \quad E_1 = E_2, \quad E_2 > U_2 \text{ olduğu görülür.}$$

$a = K = 1$  olduğundan primer ve sekonder akımları yaklaşık olarak birbirine eşit kabul edildiğinden  $I = I_1 = I_2$  olarak gösterilmiştir.

- Transformatörlerin primere göre bulunan eş değer direnç ve reaktans dikkate alınarak çizilen eş değer devre şeması



(a)



(b)

Şekil 1.18: Primere göre bulunan eş değer direnç ve reaktans dikkate alınarak çizilmiş

a) Eş değer devre şeması

b) Basitleştirilmiş eş değer devresi

### 1.1.13. Trafolarda Regülasyon

- **Gerilim regülasyonu:** Transformatörün sekonder geriliminin boştaki ve yüklü durumdaki gerilimleri arasındaki farka, transformatörün gerilim değişmesi veya gerilim regülasyonu denir.

Gerilim Regülasyonu = Boştaki sekonder gerilimi - Tam yükteki sekonder gerilimi

Bu farkın, tam yüklü durumdaki sekonder gerilimleri oranının 100 ile çarpımına gerilim regülasyonu yüzdesi denir.

$$\% \text{ Reg } = \frac{\text{Boştaki sekonder gerilimi} - \text{Tam yükteki sekonder gerilimi}}{\text{Tam yükteki sekonder gerilimi}} \cdot 100$$

Formül olarak 
$$\% \text{ Reg } = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100$$

$$\text{Primere göre ise } \% \text{ Reg} = \frac{U_1 - U_{11}}{U_{11}} \cdot 100 \text{ 'dir}$$

Formülde

% Reg: Gerilim regülasyon yüzdesi

U1 : Primere uygulanan gerilim. ( Boştaki primer gerilimi)

U11 : Yükteki primer gerilimi

U20 : Boştaki sekonder gerilimi

U2 : Yükteki sekonder gerilimi

Regülasyon yüzdesi bilinen bir transformatör yüklendiği zaman sekonder geriliminin ne kadar değiştiği kolayca hesaplanabilir. Transformatörlerin % regülasyonu ne kadar küçükse kaçak akısı da o kadar azdır.

#### ➤ Gerilim regülasyonunun bulunması

Transformatörlerde gerilim regülasyonu iki şekilde bulunur:

- Transformatörü yüklemeksizin eş değer direnç ve eş değer reaktanstan faydalanarak regülasyonu bulmak
- Transformatör yükleyerek regülasyonu bulmak

**NOT:**Transformatörlerde gerilim regülasyonu yüzdesi ister sekonder devresi için hesaplınsın ister primer devresi için hesaplınsın çıkan sonuç aynıdır.

#### 1.1.13.1. Transformatör Regülasyonunu Yüklemeksizin (Eş değer direnç ve eşdeğer reaktanstan faydalanarak) Bulma

Transformatörümüzün eş değer direnci ve eş değer reaktansı biliniyorsa transformatörün omik yükteki eş değer devresi konusundan faydalanarak boştaki sekonder gerilimi ve anma yükündeki sekonder gerilim değerlerinden regülasyon bulunabilir.

$$U_1 = \sqrt{(U_{11} + I_1 \cdot R_{e1})^2 + (I_1 \cdot X_{e1})^2}$$

$$\text{➤ Primere göre } \% \text{ Reg} = \frac{U_1 - U_{11}}{U_{11}} \cdot 100$$

$$\text{➤ Sekondere göre } \% \text{ Reg} = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100 \text{ dir.}$$

Transformatörün omik yükteki eş değer devresindeki konunun 1. problemini ele aldığımızda

$$U_{20} = 110 \text{ V} \quad \text{ve} \quad U_2 = 107,37 \text{ Volt} \quad \text{değerleri bulunmuştu.}$$

Buna göre

$$\% \text{ Reg} = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100 = \frac{110 - 107,37}{107,37} \cdot 100 = \frac{2,63}{107,37} \cdot 100$$

$$\% \text{ Reg} = 0,024 \cdot 100 = 2,4 \quad \Rightarrow \quad \% \text{ Reg} = 2,4 \text{ olarak bulunur.}$$

Aynı transformatörün aynı yükteki regülasyonu bu defa primere göre bulunsun.

$$U_1 = 220 \text{ Volt}, \quad U_{11} = 214,74 \text{ V değerleri bulunmuştur.}$$

$$\% \text{ Reg} = \frac{U_1 - U_{11}}{U_{11}} \cdot 100 = \frac{220 - 214,74}{214,74} \cdot 100 = \frac{5,26}{214,74} \cdot 100$$

$$\% \text{ Reg} = 0,024 \cdot 100 = 2,4 \quad \Rightarrow \quad \% \text{ Reg} = 2,4 \text{ olarak bulunur.}$$

Görüldüğü gibi % regülasyon her iki yolla da hesaplandığında aynı değerler elde edilmektedir.

### **Problem**

$U_{11} = 213,7 \text{ Volt}$ ,  $R_{e1} = 0,6 \Omega$ ,  $X_{e1} = 1,2 \Omega$ ,  $I_1 = 10 \text{ A}$  olan bir transformatörün % regülasyonunu hesaplayınız.

### **Çözüm:**

$$U_1 = \sqrt{(U_{11} + I_1 \cdot R_{e1})^2 + (I_1 \cdot X_{e1})^2}$$

$$U_1 = \sqrt{(213,7 + 10 \cdot 0,6)^2 + (10 \cdot 1,2)^2} = \sqrt{(213,7 + 6)^2 + (12)^2}$$

$$U_1 = \sqrt{219,7^2 + 12^2} = \sqrt{48268 + 144} = \sqrt{48412} = 220 \text{ Volt}$$

$$\% \text{ Reg} = \frac{U_1 - U_{11}}{U_{11}} \cdot 100 = \frac{220 - 213,7}{213,7} \cdot 100 = \frac{6,3}{213,7} \cdot 100$$

$$\% \text{ Reg} = 0,029 \cdot 100 = 2,9 \text{ olarak bulunur.}$$

### **1.1.13.2. Transformatör Regülasyonunu Yükleyerek Bulma**

Bir transformatörü yükleyerek regülasyonunu bulma, büyük güçlü transformatörlerde çok zordur.

Çünkü, transformatörün anma yüküne eşit yük bulmak her zaman mümkün olmayabilir. Bu nedenle bu metot küçük güçlü transformatörlerde uygulanır.



### ➤ Regülasyonu bulmak için

- Transformatörün primerine anma gerilimi uygulanır.
- Sekonderin boştaki gerilimi  $U_{20}$  ölçülür.
- Daha sonra transformatör anma yükü ile yüklenerek sekonder çıkış gerilimi  $U_2$  ölçülür.

Deney sırasında  $U_1$  primer geriliminin sabit tutulmasına dikkat edilmelidir.

Ölçülen değerlere göre

$$\% \text{ Reg} = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100 \quad \text{formülü ile bulunur.}$$

### Problem

Primer gerilimi 220 volt olan bir transformatörün anma yükünderken sekonder gerilimi 106 volt, boşta iken sekonder gerilimi 110 volt olarak ölçülmüştür. Transformatörün regülasyonunu hesaplayınız.

### Çözüm

$$\% \text{ Reg} = \frac{U_{20} - U_2}{U_2} \cdot 100 = \frac{110 - 106}{106} \cdot 100 = \frac{400}{106} = 3,77 \text{ olarak bulunur.}$$

## 1.1.14. Trafolarda Verim

Bilindiği gibi transformatöre verilen gücün bir kısmı demir ve bakır kayıplarına sarf olunmaktadır yani transformatöre verilen gücün tamamı sekonderden alınmamaktadır.

### 1.1.14.1. Tanım

Transformatörden alınan gücün verilen güce oranına verim denir.

Verim  $\eta$  ( eta ) ile gösterilir. Birimi için sonuç 100 ile çarpılırsa yüzde (%) olarak ifade edilir.

$$\text{Verim} = \eta = \frac{P_{\text{alınan}}}{P_{\text{verilen}}} = \frac{P_a}{P_v}$$

Transformatör' e verilen güç → Primer gücü ( $P_1$ )

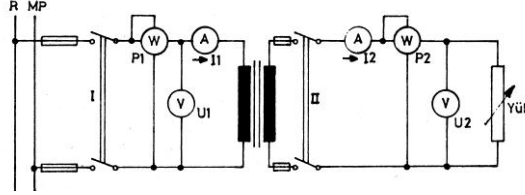
Transformatör' den alınan güç → Sekonder gücü ( $P_2$ ) olduğuna göre

$$\text{Verim} = \eta = \frac{P_a}{P_v} = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{olarak yazılabilir.}$$

### 1.1.14.2. Verimin Bulunması

Transformatörde iki metotla verim bulunmaktadır.

#### ➤ Direkt metotla verimin bulunması



Şekil 1.19: Direkt metotla veriminin bulunması için transformatörün yüklü çalışması

Direkt metotla verimin bulunmasında Şekil 1.19'daki devrede görüldüğü gibi transformatörün primer ve sekonderine birer ampermetre, voltmetre ve wattmetre bağlanır. Transformatör, yüksüz durumdan tam yüklü duruma kadar kademe kademe yüklenir. Böylece çeşitli yük akımlarında transformatöre verilen ve alınan güç wattmetre yardımıyla ölçülür. Alınan gücün verilen güce oranı ile verim bulunur.

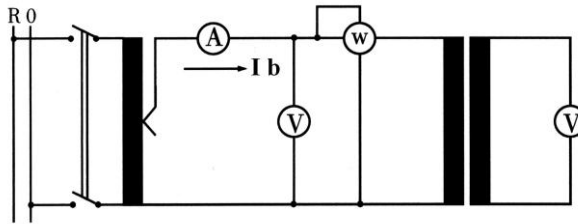
$$\text{Verim} = \eta = \frac{P_a}{P_v} \quad \text{veya} \quad \eta = \frac{P_2}{P_1} \quad \text{olur.}$$

Ancak transformatörlerde kayıplar çok küçük olduğundan hassas ölçü aletleri kullanılmazsa çıkan sonuçlar hatalı olur. Bundan başka, çok büyük güçlü ve gerilimli transformatörlerin yüklenmesi ve gerekli ölçü aletlerinin bulunması çok zordur. Ayrıca bu yolla yapılacak deney, büyük enerji kayıpları meydana geleceğinden pahalı olur.

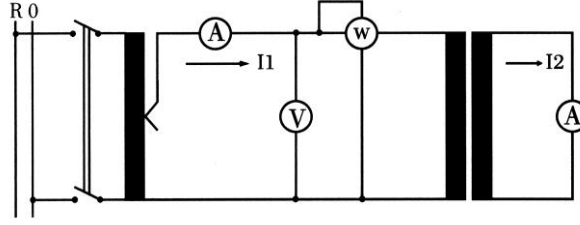
#### ➤ Endirekt metotla verimin bulunması

Yukarıda sayılan nedenlerden dolayı verimin bulunmasında daha çok endirekt metot kullanılır. Bunun için transformatörün demir kayıpları boş çalışma deneyinden ve bakır kayıpları kısa devre deneyinden ölçülür.

Şekil 1.20'de transformatörün boş çalışma deney bağlantı şeması ve Şekil 1.21'de transformatörün kısa devre çalışma deney bağlantı şeması verilmiştir.



Şekil 1.20: Transformatörün boş çalışma deney bağlantı şeması



**Şekil 1.21: Transformatörün kısa devre çalışma deney bağlantı şeması**

Bu kayıplar çıkış gücüne eklendiğinde giriş gücü elde edilir. Böylece transformatörün verimi bulunur. Kayıplara göre verim bulmak için:

Transformatörün boş çalışma ve kısa devre deneylerinden

$$P_b = P_{fe} = P_o \quad P_{cu} = I_1^2 \cdot R_{e1} \quad \text{veya} \quad P_{cu} = I_2^2 \cdot R_{e2} \quad \text{bulunur.}$$

Transformatörün toplam kayıpları ise  $P_{tk} = P_{fe} + P_{cu}$  formülü ile bulunur.

Endirekt metotla  $\text{Verim} = \eta = \frac{P_a}{P_a + P_{tk}}$  bulunur.

Formüldeki ifadelerde

- Eta (  $\eta$  ) : Verim --
- $P_2$  ( $P_a$ ) : Alınan güç (W)
- $P_1$  ( $P_v$ ) : Verilen güç (W)
- $P_{tk}$  : Toplam kayıplar (W)
- $P_{cu}$  : Bakır kayıpları (W)
- $P_{fe} : P_b : P_o$  :Demir kayıpları (W) ifade edilir.

S (kVA)	1	5	10	20	50	100	200	500	1000
(%) $\eta$	92	95,3	95,8	96,2	96,7	97,3	97,7	98,1	98,5

**Tablo 1.3: Transformatörün görünür güçlerine göre ortalama verimleri**

**Not:** Transformatörün güçleri büyüdükçe verimleri artar(Tablo 1.3).

Güç transformatörlerinde en yüksek verim bakır kayıplarının demir kayıplarına eşit olduğu durumda görülür.

Bulunan  $\eta$  , eğer 100 ile çarpılırsa %  $\eta$  bulunur.

### Problem:

380 / 220 voltluk 10 KVA lık bir transformatör bir yük ile yüklendiği zaman sekonderden çekilen güç  $P_a = 10$  KW, primere verilen güç  $P_v = 10,41$  KVA'dır. Transformatörün verimini bulunuz.

### Çözüm:

$$\text{Verim} = \eta = \frac{P_a}{P_v} = \frac{10}{10,41} = 0,96 \quad \eta(\text{eta}) = \% 96 \text{ dır.}$$

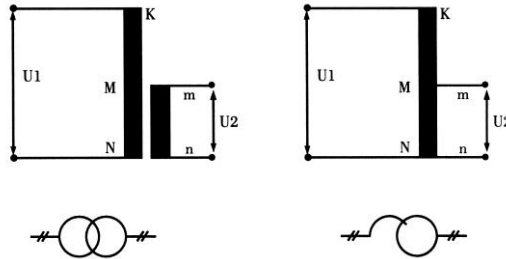
## 1.2. Oto Trafoları

### 1.2.1. Tanımı

Primer sargının bir kısmı veya tamamının sekonder sargı olarak da kullanıldığı ve aynı manyetik alanın etkisinde kalan tip transformatörlere oto transformatör denir.

### 1.2.2. Yapısı

Şekil 1.22.a'da normal transformatörlerde primer ve sekonder olmak üzere iki ayrı sargı bulunur. Oto transformatörlerinde ise bir tek sargı vardır.(Şekil 1.22.b) Bu sargı hem primer hem de sekonder sargı görevini yapar. Gerilim dönüşümü bu bir tek sargı üzerinden yapıldığından ikinci bir sargıya gerek yoktur. Sargı sayısı bire düşürüldüğünden kaçak reaktansları azalmıştır.



Şekil 1.22: Bir sargılı transformatörden oto transformatörüne geçiş

Oto transformatörlerinden çok sayıda dışarıya uç çıkarılarak (veya sürgü ile) değişik değerlerde gerilim elde edilebilir. Bu bakımdan oto transformatörleri bir potansiyometre gibi kullanılabilir.

### 1.2.3. İki Sargılı Trafo İle Farkı

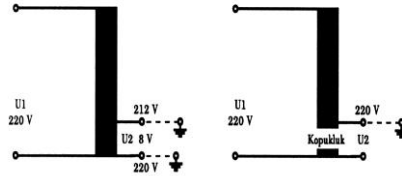
İki sargılı trafoda primer ve sekonder olmak üzere iki sargı vardır. Oto trafosunda ise tek bir sargı vardır. Bu sebepten dolayı kaçak reaktansları iki sargılı trafoları nazaran azdır.

## 1.2.4. Kullanıldığı Yerler

- Gerilim azaltarak asenkron motorlara yol vermede,
- Gerilim yükseltmede,
- Potansiyometre olarak,
- Gerilim düşümlerini karşılamada,
- Çeşitli gerilimlerin elde edilmesinde,
- Bazı üç fazlı yüksek gerilimli sistemlerin birbirine bağlanmasında kullanılır.

## 1.2.5. Üstünlük ve Sakıncaları

- **Oto transformatörlerinin faydaları (üstünlükleri)**
  - Hafif ve maliyeti ucuzdur.
  - Demir kayıpları azdır.
  - Bakır kayıpları azdır.
  - Verimi yüksektir.
  - Diğer transformatörlere göre regülasyonu iyidir.
- **Oto transformatörlerinin sakıncaları**
  - Kısa devre gerilimleri küçük olduğundan dolayı kısa devre akımları büyüktür. Bu sebeple tehlikeli değer alır.
  - Paralel bağlanmaları zordur.
  - Sekonder sargıda kopukluk meydana gelirse tehlikelidir(Şekil 1.23)



Şekil 1.23: Oto transformatörlerinde sekonder sargıdaki kopukluk

## 1.3. Güç Trafoları (Üç Fazlı)

### 1.3.1. Üç Adet Bir Fazlı Trafolardan Meydana Gelen Trafolar

Büyük güç gereken sistemlerde, üç fazlı transformatör yerine üç adet bir fazlı transformatör kullanmak, taşıma kolaylığı ve yedekte bir fazlı transformatör bulundurma yönü ile iyidir. Ancak yıldız veya üçgen bağlantılarının nasıl yapıldığının iyi bilinmesi gerekir.

Transformatör polariteleri belli değilse bağlantılar aşağıdaki gibi yapılır:

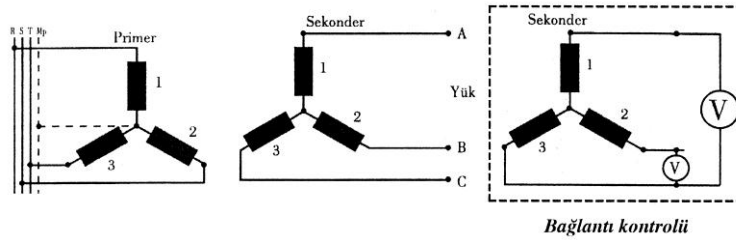
- Yıldız – Yıldız bağlantı
- Üçgen – Üçgen bağlantı
- Üçgen – Yıldız bağlantı
- Yıldız – Üçgen bağlantı

### 1.3.1.1. Bağlantı Şekilleri

#### ➤ Yıldız-yıldız bağlantı

Eşit güçlü ve gerilimleri eşit üç adet bir fazlı transformatörün her birinin primer sargılarından birer uç alınıp birbirine bağlanır. Böylece primerin yıldız bağlantısı yapılmış olur.

Transformatörlerin manyetik nüveleri ayrı olduğu için bu bağlantıda polarite dikkate alınmaz yani birbirine bağlanan uçların seçiminde bir kural yoktur. Transformatörün serbest kalan uçları uygun gerilimli bir şebekeye bağlandığında, primerin bağlantıları tamamlanmış olur.



Şekil 1.24: Üç adet bir fazlı transformatörün yıldız – yıldız bağlantısı

Primer bağlantısı tamamlanıp uygun gerilime bağlandıktan sonra sekonderin bağlantısı yapılır.

Bunun için sekonder sargılarından iki tanesinin birer uçları birleştirilir. Bu sargıların serbest kalan iki ucu arasına bağlanan voltmetre, sekonder geriliminin  $\sqrt{3}$  katını gösterirse bu iki sargının bağlantıları doğrudur. Voltmetre bir faz gerilimini gösterirse bu iki sargıdan yalnız birinin uçları değiştirilir.

Bundan sonra iki sargı ucunun birbirine bağlandığı noktaya 3. transformatörün sekonder uçlarından biri bağlanır. Bu transformatörün açık ucu ile daha önce bağlanmış transformatörün açık uçları arasına voltmetre bağlanarak gerilimleri ayrı ayrı ölçülür.

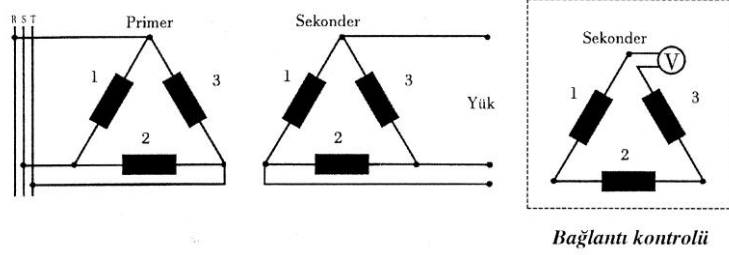
Ölçülen bu gerilimler faz geriliminin  $\sqrt{3}$  katı kadar olmalıdır. Voltmetre bir faz gerilimi kadar gösterirse 3. transformatörün iki ucu yer değiştirilir. Bundan sonra sekonderin açıkta kalan üç ucu yük hattına bağlanarak sekonderin yıldız bağlantısı tamamlanır (Şekil 1.24).

**NOT:** Yük sekonderdeki ABC uçlarına bağlanır.

#### ➤ Üçgen-üçgen bağlantı

Primerin üçgen bağlanması için 1. transformatörün herhangi bir ucu ile 2. transformatörün herhangi bir ucu birbiri ile bağlanır. Sonra 2. transformatörün açıkta kalan ucu ile üçüncü transformatörün herhangi bir ucu bağlanır. 3. transformatörün açıkta kalan

ucu ile 1. transformatörün açık ucu birleştirildiğinde primerin üçgen bağlantısı gerçekleşmiş olur. Bundan sonra primer uygun bir gerilime bağlandığında bağlantılar tamamlanmış olur(Şekil 1.25'e bakınız.).



**Şekil 1.25: Üç adet bir fazlı transformatörün üçgen – üçgen bağlantısı**

Sekonderin üçgen bağlanması için sekonder sargılarından iki tanesinin birer uçları birleştirilir. Bu sargıların serbest kalan iki ucu arasına bağlanan voltmetre, bir faz gerilimine eşit bir değer gösterirse bu iki sargının bağlantıları doğrudur. Voltmetre bir faz geriliminin  $\sqrt{3}$  katı bir gerilim gösterirse bu iki sargıdan yalnız birinin uçları değiştirilir.

Sonra 2. transformatörün açıkta kalan ucu ile 3. transformatörün herhangi bir ucu bağlanır. 3. transformatörün açıkta kalan ucu ile, 1. transformatörün açık ucu arasına bağlanan voltmetre sıfırı gösterirse bağlantı doğrudur. Voltmetre faz geriliminin iki katını gösterirse 3. transformatörün bir ucu yer değiştirilir. Bundan sonra voltmetre çıkartılıp bu iki uç birbirine bağlanır.

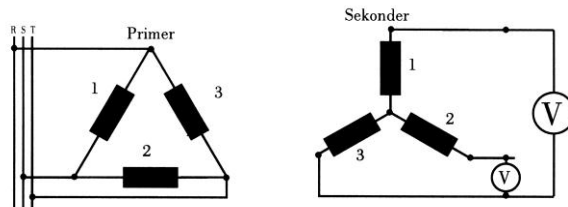
Üçgen köşelerinden üç bağlantı ucu yük hattına bağlanarak sekonderin üçgen bağlantısı tamamlanmış olur(Şekil 1.25).

#### ➤ Üçgen-yıldız bağlantı

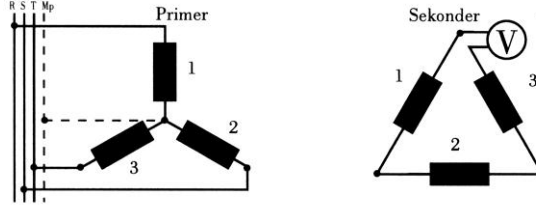
Primerin üçgen bağlantısı b bölümünde, sekonderin yıldız bağlantısı ise a bölümünde açıklandığı gibi yapılır (Şekil 1.26.a'ya bakınız.).

#### ➤ Yıldız-üçgen bağlantı

Primerin yıldız bağlantısı a bölümünde, sekonderin üçgen bağlantısı ise b bölümünde, açıklandığı gibi yapılır (Şekil 1.26.b'ye bakınız.).



**Şekil 1.26: a. Üçgen – yıldız bağlantı**



Şekil 1.26: b. Yıldız – üçgen bağlantı

### 1.3.2. Bir Nüveli Üç Fazlı Trafolar

#### 1.3.2.1. Tanımı

Üç fazlı alternatif akım sisteminde bir nüve üzerine sarılan aralarında 120° faz farkı bulunan üç ayrı fazdan oluşan trafolarla bir nüveli üç fazlı trafolar denir.

#### 1.3.2.2. Standart Gerilim Değerleri

Ülkemizde dağıtım transformatörlerinin seri olarak yapıldığı standart gerilimler, Frekans 50 Hz. olmak üzere

Üst gerilim [kV]	Alt gerilim [V]
15,33 <sup>(*)</sup>	400/231

(\*) Ülkemizde OG şebekelerinde 35 kV gerilim basamağında değişik gerilimlerle karşılaşıldığından transformatör siparişlerinde önceden, bu basamakta şebeke geriliminin kaç kV olduğu (örneğin, 34.5 kV) TEDAŞ'tan öğrenilmelidir.

#### 1.3.2.3. Standart Güç Değerleri

Ülkemizde dağıtım transformatörlerinin seri olarak yapıldığı standart gerilimler,

Standart güçler [kVA]													
25 <sup>(**)</sup>	40 <sup>(**)</sup>	50	63 <sup>(**)</sup>	80 <sup>(**)</sup>	100	125 <sup>(**)</sup>	160	200 <sup>(**)</sup>	250	315 <sup>(**)</sup>	400	500 <sup>(**)</sup>	630
800	1000	1250	1600	2000	2500								

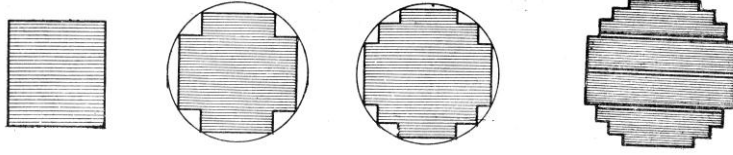
(\*\*) Seri yapım olmadığından bu değerler öncelikle seçilmez.

#### 1.3.2.4. Yapısı

Transformatörlerin nüveleri, silisli alaşımli özel transformatör saclarından yapılır. Kayıplar, işçilik ve ekonomik nedenlerden dolayı nüve 0,35 mm kalınlıktaki saclardan yapılır. Bu sacların birer yüzleri yalıtkan bir tabaka (lak, kâğıt, karlit) ile kaplanmıştır.



Nüvenin kesiti transformatör gücüne göre kare, dikdörtgen, artı işareti şeklinde veya çok basamaklı olarak yapılır. Küçük ve orta büyüklükteki transformatörlerin nüve kesitleri Şekil 1.27.a ve b’de görüldüğü gibi kare, dikdörtgen ve artı şeklinde yapılır. Daha büyük transformatörlerde ise nüve Şekil 1.27.c’de görüldüğü gibi çoklu artı şeklinde olur. Büyük transformatörlerde soğumayı sağlamak için Şekil 1.27.d’de görüldüğü gibi demir nüvede aralıklar bırakılmış olabilir.



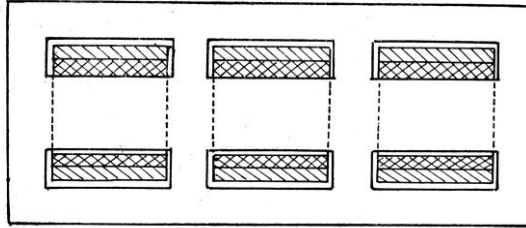
Şekil 1.27: Transformatör nüve kesitleri

#### ➤ Nüve tipleri

Üç fazlı transformatörlerin nüveleri,

- Mantel tip nüve,
- Çekirdek tip nüve olmak üzere iki tipte yapılmaktadır.
- **Mantel tipi**

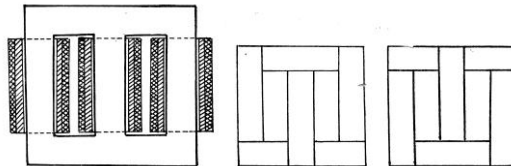
Çok az kullanılan mantel tipinde üç faza ilişkin sargılar bir bacağa yerleştirilir ve sargılar dıştaki bacaklarla örtülür. Şekil.1.28’de mantel tip nüve görülmektedir.



Şekil 1.28: Üç fazlı transformatörlerde mantel tip nüve

- **Çekirdek Tipli**

Çekirdek tipli nüveler üç bacaklıdır ve her bacağa bir faza ait sargılar yerleştirilir. Şekil 1.29’da çekirdek tip nüve, sac kesimi ve diziliş şekilleri görülmektedir.

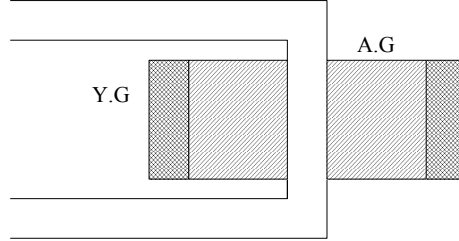


Şekil 1.29: Üç fazlı transformatörlerde çekirdek tip nüve, sac kesimi ve diziliş şekilleri

➤ **Sargılar**

• **Silindirik sargı**

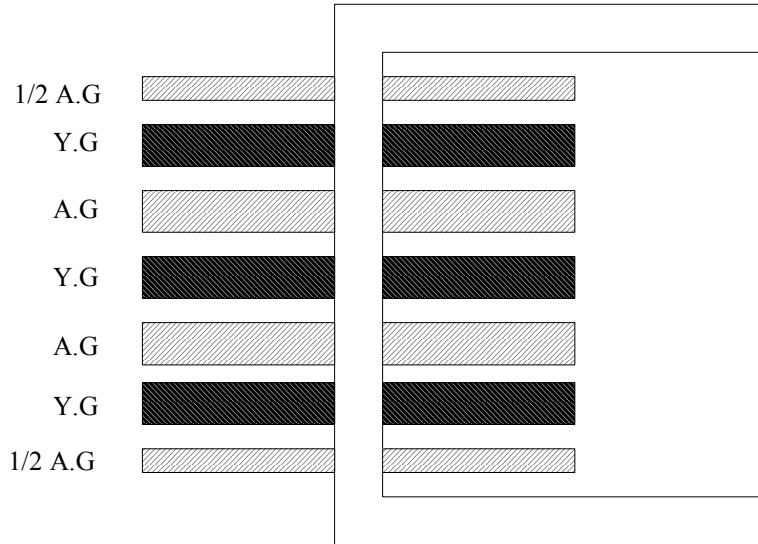
İzolasyon kolaylığını sağlamak, trafo yüksekliğini düşürmek için silindirik sargılar kullanılır. Büyük kesitli iletkenlerle yapılır. Silindirik sargılar AG ve YG sargıları, AG sargıları içte olmak üzere silindirik olarak üst üste sarılır(Şekil 1.30'a bakınız.)



Şekil 1.30: Basit silindirik sargı

• **Dilimli sargı**

Büyük akımlarda akım yığılmalarını önlemek amacıyla çok sayıda dikdörtgen kesitli bobinler içerde birbirleri ile bağlantılıdır. Bu yüzden dilimin dışında yalnız iki uç bulunur.



Şekil 1.31: Dilimli sargı

**1.3.2.5. Soğutma**

➤ **Trafolar da soğutmanın önemi**

Bütün elektrik makinelerinde olduğu gibi transformatörler de çalışmaları sırasında ısınır. Bu ısınma transformatörün özellikle sargılarında ve demir nüvesinde oluşan kayıpların bir sonucudur. Döner makinelerde soğutmayı az da olsa sağlayan hava akımlarının oluşmasına karşın, duran makine olan transformatör daha olumsuz şartlarda çalışır.

Transformatörlerde ısı artışı belirli bir sınırı aşmamalıdır. Bunun için de iyi bir soğutma gereklidir.

Transformatörlerin soğutma yöntemi harf simgelerle belirtilir. Her simge 4 harften oluşur.

Birinci harf: Sargılarla temasta bulunan iç soğutma ortamı:

- O Yanma noktası  $\leq 300$  °C olan mineral yağ veya sentetik sıvı yalıtkan
- K Yanma noktası  $> 300$  °C olan sıvı yalıtkan
- L Yanma noktası ölçülemeyen (yanıcı olmayan) sıvı yalıtkan

İkinci harf: İç soğutma ortamı için dolaşım türü:

- N Soğutma donanımı içinden ve sargılardan doğal termosifon akış
- F Soğutma donanımı içinden zorlamalı dolaşım ve sargılardan termosifon akış
- D Soğutma donanımı arasından zorlamalı dolaşım, soğutma donanımı sisteminden en azından ana sargılar içine yönlendirme

Üçüncü harf: Dış soğutma ortamı:

- A Hava
- W Su

Dördüncü harf: Dış soğutma ortamı için dolaşım türü:

- N Doğal konveksiyon
- F Zorlamalı dolaşım (Vantilatörler, pompalar)

**Örnek:** ONAN/ONAF: Transformatörün, yüksek yükte arzulandığı gibi işletmeye sokulabilen bir vantilatör grubu bulunur. Yağ dolaşımı, her iki durumda da yalnız termosifon etkisiyle oluşur.

➤ **Soğutma şekilleri seçim faktörleri**

- Transformatörün çalışacağı yer ve işletme şartları
- Transformatörden uzaklaştırılması gereken ısı miktarı
- Transformatörün yapım ve taşıma güçlükleri
- İşletme giderleri ve fiyatı

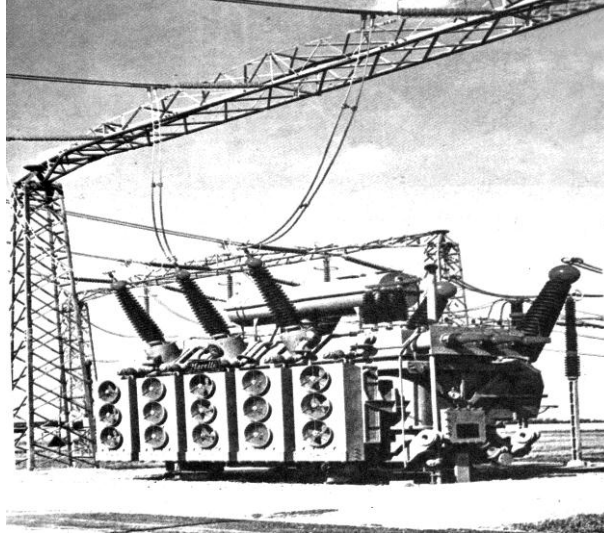
➤ **Soğutma çeşitleri**

Transformatörlerde oluşan ısıyı dışarıya iletebilmek ve soğumalarını sağlayabilmek için üç çeşit soğutma yapılır:

- Hava ile soğutma
- Yağ ile soğutma
- Su ile soğutma

- **Hava ile soğutma**

Genellikle kuru tip trafolarla uygulanır. Suni reçine izolasyonlu 10–15–30 kV gerilimde çalıştırılmak üzere yaklaşık olarak 300 kVA güce kadar yapılan kuru transformatörler genellikle doğal hava dolaşımı (sirkülasyon) ile kendi kendine soğurlar. Nüve ve sargılar hava ile doğrudan doğruya temas hâlinindedir. Bu tip transformatörler yağlı tiplere göre birçok üstünlükler taşımaktadır. Verimleri oldukça yüksek, gerilim düşümleri ise oldukça düşüktür.

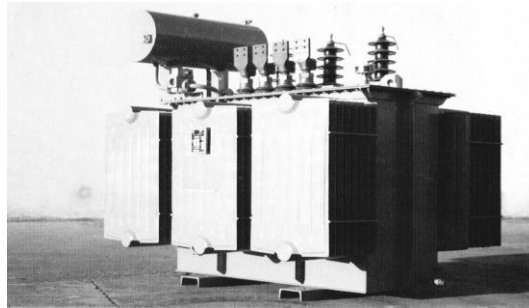


**Resim 1.4: Soğutması zorlamalı hava ile yapılan yağlı tip transformatör**

- **Yağ ile soğutma**

Orta ve büyük güçlü transformatörler, özellikle yüksek gerilim için yapılanların hemen hemen hepsi birer yağ kazanı içine yerleştirilir. Transformatör yağının kendisi çok iyi bir yalıtıcıdır. Transformatörde kullanılan yağ soğutma görevi de yapar.

Doğal yağ dolaşımli sistem, bütün soğutma türlerinin en basit, en sessiz çalışan, en fazla güvenlik sağlayan ve en az bakım isteyen sistem olarak değerlendirilebilir. Buna karşılık maliyeti yüksektir.

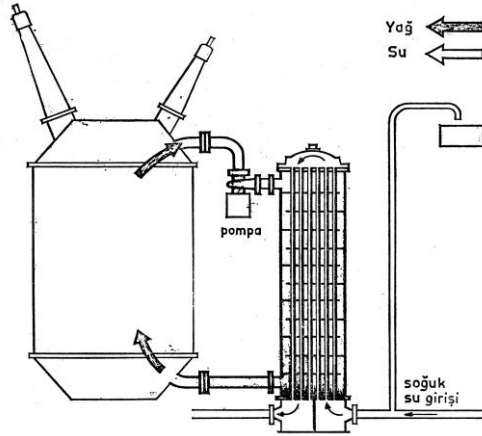


**Resim 1.5: Yağlı tip transformatör**

### ➤ Su ile soğutma

Su ile soğutma, işletme süresince devamlı su sağlanabilen yerlerde uygulanır. Örnek olarak termik ve hidroelektrik santralleri gösterilebilir.

Su ile soğutmada transformatör yağ kazanı borularla, içinde yağın su ile soğutulduğu bir soğutucuya bağlanır. Küçük bir pompa yağın dolaşımını sağlar. Bu tip soğutmada soğutucu kazanın dışındadır. Şekil 1.31’de su ile soğutulan bir transformatörün yağ ve su akış diyagramı verilmiştir.



Şekil 1.32: Su ile soğutulan bir transformatörün yağ ve su akış diyagramı

#### 1.3.2.6. Güç Trafo Etiket Değerleri

Transformatörlerin plakasında TS 267’ye göre bulunması gereken bilgiler (Bakınız Şekil 1.33):

- Transformatörün cinsi: Dağıtım transformatörü, oto transformatörü vb.
- Yapım standardının işaret ve numarası: TS 267, VDE 532/71, vb.
- Yapımcının ticaret unvanı veya kısa adı, adresi, varsa tescilli markası
- Yapım tipi ve seri numarası
- Yapım yılı
- Faz sayısı: Örneğin, 3
- Anma gücü: Örneğin, 1000 kVA
- Anma gerilimi: Primer anma gerilimi ve basamak gerilimleri ile skonder. Anma gerilimi yazılır.
- Anma akımı: Primer anma gerilimi basamağındaki anma akımı ile sekonder, anma akımı
- Bağlantı kümesi: Örneğin, Dyn5
- Anma yüzde kısadevre gerilimi: Örneğin, % 6,08
- Soğutma yöntemi: Örneğin, ONAN
- Toplam ağırlık: Örneğin, 2,195 t
- Yağın ağırlığı: Örneğin, 0,633 t

Ayrıca standartta belirtilmiş olmamasına karşın:

- Etkin kısmı ağırlığı: Örneğin, 1,590 t
- Çevre sıcaklığı: Örneğin, 40 °C
- Anma frekansı: Örneğin, 50 Hz
- Yalıtım düzeyi: Örneğin, 170–70/-3
- Sürekli kısadevre akımı: Örneğin, 0,275 kA
- Kısa devre süresi: Örneğin, 2 s
- İşletme sınıfı: Örneğin, S1
- Yapımcı gerekli gördüğü başka bilgiler bulunur.

LİSANS:TRAFÖ UNİON			
TİP TSUC 60465	NO 45879	YAPIM YILI 1991	TS 267
AN. GÜCÜ 1000 kVA	İŞLETME S1	CİNSİ DT	FAZ 3
	FREKANS 50 Hz		
KONUM 1	36225 V	V	ÇEVRE SICAKLIĞI 40 °C
KONUM 2	35363 V	V	BAĞLANTI KÜMESİ Dyn5
AN. GER.	KONUM 3	34500 V	400 V
			SOĞUTMA YÖNTEMİ ONAN
KONUM 4	33638 V	V	AN. KISADEVRE GER. % 6,08
KONUM 5	32775 V	V	SÜR. KISADEVRE AK. 0,275 kA
ANMA AKIMI	16,73 A	1443,4 A	MAX.KISADEVRE SÜRESİ 2s
YAĞ CİNSİ	TECHNOL 2000	YALITIM DÜZEYİ	170-70/-3
TOP.AĞIRLIK	2,915 t	YAĞ AĞIRLIĞI	0,633 t
		ETKİN KISIM AĞ.	1,590 t
TÜRKMALİ			TSE

Şekil 1.33: Transformatörün plakası

## UYGULAMA FAALİYETİ

Kullanım yerlerine göre trafo seçimini yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bir fazlı transformatörün primer ve sekonder sargılarını inceleyip ölçü aleti kullanarak primer ve sekonder sargıların birbirinden bağımsız olduğunu görünüz.</li><li>➤ Nüve yapısını inceleyerek nüve tipini tespit ediniz.</li><li>➤ Transformatörün primer sargısına giriş gerilim uygulayarak sekondere ölçü aleti bağlayarak çıkış gerilimini ölçünüz. Aynı işlemi farklı transformatörlerde uygulayarak çıkan sonuçları değerlendiriniz.</li><li>➤ Oto trafosuna enerji uygulayarak çıkışta istenilen gerilim değerlerini alınız.</li><li>➤ İnternet, kütüphaneler, şalt sahaları veya güç trafo üretim yerlerinden güç trafosu etiket değerleri olarak etiket üzerindeki değerleri yorumlayınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bu işlemler sırasında ölçü aletinin ucunu dokunduracağınız sargı ucunun yalıtımının kaldırılmasına (değilse kazıyarak yalıtımın kaldırılmasına) dikkat ediniz.</li><li>➤ Nüve saclarının sıkıştırılmış olmasına dikkat ediniz.</li><li>➤ Kullanılan ölçü aletinin gerilim kademesinde olmasına dikkat ediniz. Bu işlemleri öğretmen veya bir uzman gözetiminde yapınız.</li><li>➤ Bu işlemleri öğretmen veya bir uzman gözetiminde yapınız.</li><li>➤ Birkaç tane etiket değeri olarak bu etiket değerlerini karşılaştırınız.</li></ul>

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için Evet, kazanamadıklarınız için Hayır kutucuklarına ( X ) işareti koyarak öğrendiklerinizi kontrol ediniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Kullanım yerlerine göre trafoları seçebildiniz mi?		
2. Soğutma şekline göre trafoları seçebildiniz mi?		
3. Montaj yerine göre trafoları seçebildiniz mi		

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.



## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümleleri dikkatlice okuyarak boş bırakılan yerlere doğru sözcüğü yazınız.

1. Elektromanyetik indüksiyon yolu ile frekansta değişiklik yapmadan gerilim ve akım değerlerini ihtiyaca göre bir oran dâhilinde değiştiren makinelere ..... denir.
2. Transformatör nüveleri üç şekilde yapılır. Bunlar:
  - a) .....tipi nüve
  - b) ..... tip nüve
  - c) ..... tip nüve
3. Basit bir transformatörde .....sargı ve ..... sargı olmak üzere iki sargı vardır.
4. Transformatörlerde sekonderden gerilim alabilmek için primere .....gerilim-akım uygulanması gerekmektedir.
5. Bir transformatörün primerine alternatif bir gerilim uygulandığında geçen akımın oluşturduğu manyetik akının tamamı ikinci devre iletkenlerini kesmez. Akımın küçük bir kısmı devresini havadan tamamlar. Devresini havadan tamamlayan akılara ..... denir.
6. Transformatörlerin sargılarında indüklenen gerilimlerin ani yönlerini veya sargı uçlarının işaretlerinin belirtilmesine ..... denir.
7. Transformatörün sekonder geriliminin boştaki ve yüklü durumdaki gerilimleri arasındaki farka, transformatörün ..... denir.
8. Primer sargının bir kısmı veya tamamının sekonder sargı olarak Da kullanıldığı ve aynı manyetik alanın etkisinde kalan tip transformatörlere ..... denir.
9. Üç fazlı alternatif akım sisteminde bir nüve üzerine sarılan aralarında 120o faz farkı bulunan üç ayrı fazdan oluşun trafolarla bir nüveli ..... denir.
10. Transformatörlerde oluşan ısıyı dışarıya iletilemek ve soğumalarını sağlayabilmek için üç çeşit soğutma yapılır.  
..... ile soğutma  
..... ile soğutma  
..... ile soğutma

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-2

## AMAÇ

Her türlü yerde standartlara ve kuvvetli akım yönetmeliğine uygun olarak güç trafoları sargı bağlantı şekillerini hatasız olarak seçebileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Güç trafoları sargı bağlantı şekillerini araştırınız.
- Güç trafoları bağlantı grupları, sembolleri ve grup açılarını araştırınız.
- Güç trafo gerilim ayar düzeneğini araştırınız.

## 2. GÜÇ TRAFOLARI SARGI BAĞLANTI ŞEKİLLERİ

### 2.1. Bağlantı Şekilleri

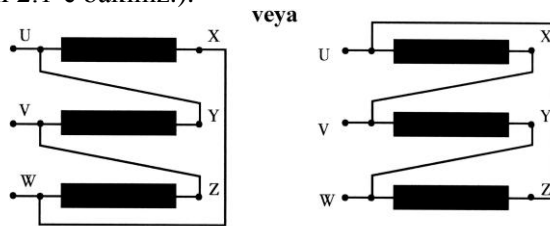
Bağlantı şekilleri üç gruba ayrılır:

#### 2.1.1. Üçgen Bağlantı ve Özelliği

Üçgen bağlantı yapmak için her faz sargısının giriş ucu öteki sargının çıkış ucu ile birleştirilir.

Bu bağlantı hem primerde hem de sekonderde aynı şekilde yapılır. Bu bağlantıda nötr hattı yoktur.

RST fazları primer sargılarının giriş uçlarına, yük ise sekonder sargılarının çıkış uçlarına bağlanır(Şekil 2.1'e bakınız.).

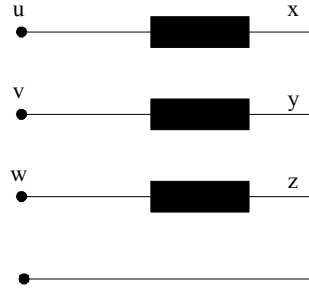


Şekil 2.1: Üçgen bağlantı

## 2.1.2. Yıldız Bağlantı ve Özelliği

Yıldız bağlantı yapmak için transformatörün her faz sargısının çıkış uçları (veya giriş uçları) birbirine bağlanır. Bu bağlantı hem primerde hem de sekonderde aynı şekilde yapılır.

RST fazları primerin boşta kalan uçlarına, YÜK ise sekonderin boşta kalan uçlarına bağlanır.



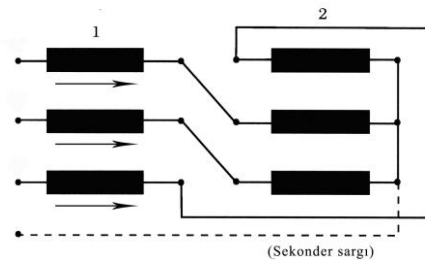
Şekil 2.2:Yıldız bağlantı

## 2.1.3. Zikzak Bağlantı ve Özelliği

Bu bağlantı transformatörün sekonderinde uygulanır. Bağlantı için sekonderde aynı fazın eşit gerilimli iki sargısı bulunmalıdır. Sargıların polaritesi belli olduğu için bağlantılar kolayca yapılabilir.

Zikzak bağlantı da sekonder sargılarının her fazının bir sargısı, öteki fazlardan birinin başka bir sargısı ile seri bağlanmalıdır (Şekil 2.3'e bakınız.).

Primeri ise üçgen veya yıldız bağlanır.



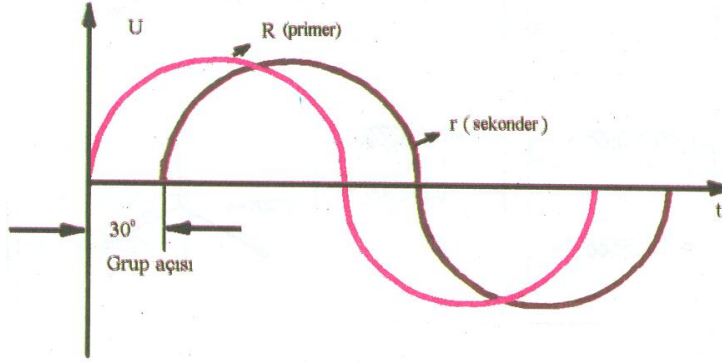
Şekil 2.3: Zikzak bağlantı

## 2.2. Bağlantı Grupları, Sembolleri ve Grup Açıları

### 2.2.1. Grup Açıları

Bir trafoda primerin bir fazına, gerilim tatbik edildiğinde aynı fazın sekonderinde bir gerilim indüklenir. İndüklenen gerilimler arasında bir faz farkı oluşur. Oluşan bu faz farkına grup açısı denir.

Bağlantı gruplarında grup açısı  $30^\circ$ 'ye bölünerek bir sabite olarak verilir.



Şekil 2.4: Grup açısının gerilim zaman eğrisi

#### 2.2.1.1. 0 (0 derece)

Grup açısı  $0 \times 30 = 0$  derece olarak bulunur.

#### 2.2.1.2. 1 (30)

Grup açısı  $1 \times 30 = 30$  derece olarak bulunur.

#### 2.2.1.3. 5 (150)

Grup açısı  $5 \times 30 = 150$  derece olarak bulunur.

#### 2.2.1.4. 6 (180)

Grup açısı  $6 \times 30 = 180$  derece olarak bulunur.

#### 2.2.1.5. 7 (210)

Grup açısı  $7 \times 30 = 210$  derece olarak bulunur.

#### 2.2.1.6. 11 (330)

Grup açısı  $11 \times 30 = 330$  derece olarak bulunur.

## 2.2.2. Bağlantı Grupları Çeşitlerinin Sembolleri (Harf Sembolleri)

Genellikle güç trafoları bağlantı şekilleri iki harf bir rakamla belirtilir.

Örneğin: Yd 1 gibi

Birinci harf primer sargının bağlantı şeklini gösterir.

Yukarıdaki örnekte Y=Yıldız

İkinci harf sekonder sargının bağlantı şeklini gösterir.

Yukarıdaki örnekte d=üçgen

Rakam primer ve sekonder gerilimleri arasındaki faz farkını gösterir. 'Grup Açısı'

Bağlantı gruplarının ifadesinde kullanılan kısaltmalar

Y -Yıldız                      y -yıldız

D -Üçgen                      d -üçgen

Z -Zikzak                      z -zikzak

Büyük harfler (Primer) yüksek gerilim için, küçük harfler (Sekonder) alçak gerilim için kullanılır.

## 2.2.3. Bağlantı Grup Çeşitleri ve Vektörleri

Üç fazlı transformatörlerde bağlantı grupları, üst ve alt gerilim sargılarının bağlantı şekillerini ve bunların gerilim vektörlerinin birbirine karşı durumlarını gösterir.

Şekil 2.4'te TS-267'ye göre üst gerilim sargılarının üçgen, yıldız ve zikzak bağlanmasına ait vektör diyagramları ve bağlantı şekilleri verilmiştir.

Bağlantı Adı	Vektör Diyagramı	Bağlantı Şekli
Üçgen (D)		
Yıldız (Y)		
Zikzak (Z)		

**Şekil 2.4: TS - 267'ye göre üst gerilim sargılarının üçgen, yıldız ve zikzak bağlanmasına ait vektör diyagramları ve bağlantı şekilleri**

Üç fazlı transformatörlerin primer ve sekonder sargılarının yıldız, üçgen veya zikzak bağlanıldığı söylendi. Bu bağlama şekillerinin çeşitli düzenlenmelerinden bağlantı grupları çıkar.

Üç fazlı transformatörlerin bağlantılarını başlıca dört ana grupta toplarız. Bunlar:

- A veya O grubu
- B veya 6 grubu
- C veya 5 grubu
- D veya 11 grubudur.

Bu gruplar da kendi aralarında üçe ayrılarak 12 çeşit bağlantı meydana gelir.

Şekil 2.5'te bu gruplar; bağlantı şekilleri ve fazlar arası gerilimlere ait vektör diyagramları ile verilmiştir.

SEMBOL	VEKTÖR DİYAGRAMI	BAĞLANTI ŞEMASI	SEMBOL	VEKTÖR DİYAGRAMI	BAĞLANTI ŞEMASI
Dd0 (10°) (A <sub>1</sub> )			Dd6 (180°) (B <sub>1</sub> )		
Yy0 (10°) (A <sub>2</sub> )			Yy6 (180°) (B <sub>2</sub> )		
Dz0 (10°) (A <sub>3</sub> )			Dz6 (180°) (B <sub>3</sub> )		
Dy5 (150°) (C <sub>1</sub> )			Dy11 (330°) (D <sub>1</sub> )		
Yd5 (150°) (C <sub>2</sub> )			Yd11 (330°) (D <sub>2</sub> )		
Yz5 (150°) (C <sub>3</sub> )			Yz11 (330°) (D <sub>3</sub> )		

Şekil 2.5: Üç fazlı transformatörlerin bağlantı gruplarının bağlantı şekilleri ve fazlar arası gerilimlere ait vektör diyagramları

### 2.2.3.1. A Grubu Bağlantı

A grubu bağlantıları, üçgen - üçgen (Dd O), yıldız - yıldız (Yy O) ve üçgen - zikzak (Dz O) olarak yapılır. A grubu bağlantıda primer ve sekonder gerilimler arasında hiç faz farkı yoktur. Sıfır rakamı bunu belirtir.

Parantez içinde belirtilen harfler:

D, d : Üçgen bağlantıyı

Y, y : Yıldız bağlantıyı

z : Zikzak bağlantıyı

O : Primerle sekonder fazlar arası gerilimleri arasındaki faz farkını belirtir.

### 2.2.3.2. B Grubu Bağlantı

B grubu bağlantı da aynen A grubu gibi olmakla beraber primer ve sekonder gerilimleri arasında  $180^\circ$  faz farkı vardır. Tabloda A2 ve B2 bağlantılarına dikkat edilirse sekondere ait fazların ters bağlandığı görülür. Bu gruba ait bağlantılar Dd 6, Yy 6 ve Dz 6 dır. Faz farkı 6 rakamı ile belirtilmiştir. Bu değer  $30^\circ$ 'la çarpılırsa faz farkını derece olarak bulunur.

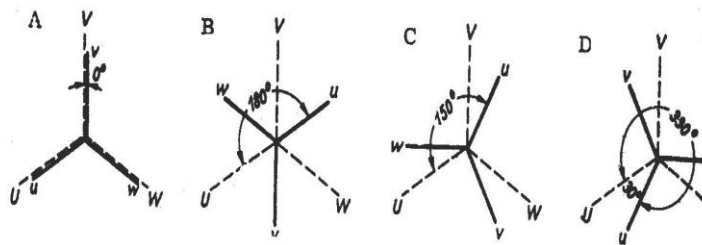
### 2.2.3.3. C Grubu Bağlantı

C grubundaki bağlantılar; Dy 5, Yd 5 ve Yz 5 olarak üçe ayrılır. Bu grupta primer ve sekonder gerilimler arasındaki faz farkı  $5 \cdot 30 = 150$  derecedir.

Yani sekonder gerilimi primerden  $150^\circ$  geridedir.

### 2.2.3.4. D Grubu Bağlantı

D grubu ise C grubunun tersidir. Aradaki fark yine ikinci devre uçlarının bağlanışındadır. Bu durumda ikinci devre gerilimi ile birinci devre gerilimi arasındaki faz farkı  $11 \cdot 30 = 330$  derece ve sekonder gerilimi geride olur. D grubundaki bağlantılar Dy 11, Yd 11 ve Yz 11 olarak yapılmıştır.

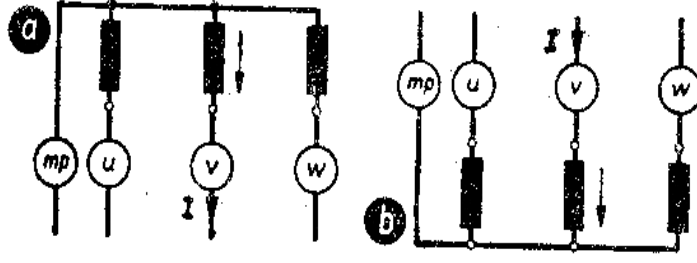


Şekil 2.6: Üç fazlı transformatörlerin vektör diyagramları

Şekil 2.6'da üç fazlı transformatörlerin primer ve sekonder fazlar arası gerilimlerin gruplara göre genel vektör diyagramları görülüyor.



A ile B ve C ile D gruplarının birbirinin tersi olduğu söylenildi. Bunun için bu gruplar arasında geçiş yapmak mümkündür. Şekil 39'da B2 bağlantısından A2 bağlantısına geçiş için sekonder sargıda yapılması gerekli değişiklik görülmektedir. Buradan da görüleceği gibi faz sargılarının üst uçlarındaki kısa devre sökülürken, bunun yerine alt uçlar kısa devre yapılmaktadır. Böylece, orta faz da akım girişken çıkış olmaktadır.



Şekil 2.7: Yıldız bağlı transformatörlerde grup değiştirme için yapılan bağlantı değişikliği

Şebekelerde, yerin özelliğine göre bu dört grup bağlantıdan birisi kullanılır. Bugün en çok sıra ile A2, C3, C1 ve C2 bağlantıları kullanılmaktadır.

### 2.2.3.5. Çeşitli Bağlantı Gruplarının Özellikleri

#### ➤ Yy bağlantı grubu

Yıldız-yıldız bağlanmış transformatörlerde bir faz sargısına uygulanan gerilim, hat geriliminin  $1 / \sqrt{3}$ 'üdür. Bu durumda belirli bir gerilim için sipir sayısı azaltılmış olduğundan, yalıtma işi de kolaylaşmış olur. Çok yüksek olmayan yapım giderleri bir hayli azdır. Yy0 bağlantı yapılmış transformatörlerde, primer ve sekonder gerilimleri arasında faz farkı yoktur.

#### ➤ Dy bağlantı grubu

Üçgen bağlantının üstünlüğü, faz akımının, hat akımından  $1/\sqrt{3}$  kadar küçük olmasıdır. Sakıncası ise, sipir sayısının ve izolasyonun hat gerilimine göre düzenlenmesidir.

#### ➤ Yz bağlantı grubu

Küçük dağıtım transformatörlerinin alt gerilim taraflarında zikzak bağlantı uygulanır. Bu bağlantıda her sekonder faz bobini, iki ayrı sargıdan oluşur. Bu iki sargı iki ayrı ayağa yerleştirilmiş olup birbirine ters olarak bağlanmıştır.

### 2.2.3.6. Çeşitli Bağlantıların (Yy o, Dy 5, Yd 5 ve Yz 5) Kullanım Alanları

Üç fazlı transformatörlerde yalnız bir tek bağlantı grubunun kullanılması en uygun yol olarak görülebilir. Ancak Şekil 37'de görüldüğü gibi kullanım alanları çok değişik olan çeşitli bağlantı grupları vardır. Bunlardan Yy O, Dy 5, Yd 5 ve Yz 5 yeni kurulan işletmelerde çok kullanılmaktadır.

Bu grupların kullanım alanları kısaca şöyledir:

#### ➤ Yy o (yıldız-yıldız) bağlantı

Sekonderlerindeki nötr hattı çok az yüklenebildiğinden dağıtım transformatörleri olarak alçak gerilim şebekelerinde kullanılmaz. Daha çok büyük güçlü yüksek gerilim transformatörlerinde kullanılmaktadır.

#### ➤ Dy 5 (üçgen-yıldız) bağlantı

Sekonderlerindeki nötr hattı tam yükte yüklenebilen büyük dağıtım transformatörlerinde kullanılır.

#### ➤ Yd 5 (yıldız-üçgen) bağlantı

Sargıları yıldız bağlanmış büyük santral generatörlerinin çıkışına bağlanan transformatörler bu gruptandır. Ayrıca büyük akımlarda çok kullanılan bir bağlantı şeklindedir.

#### ➤ Yz 5 (yıldız-zikzak) bağlantı

Sekonderlerindeki nötr hattı tam yükte yüklenebilen küçük dağıtım transformatörlerinde kullanılır.

## 2.3. Güç Trafo Gerilim Ayar Düzenegi

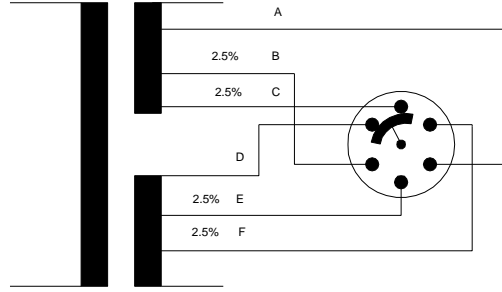
Trafoalarda gerilim ayarı trafonun dönüştürme oranının değiştirilmesi ile yapılır.

$$K = \frac{N_1}{N_2} = \frac{U_1}{U_2}$$

Bağıntısına göre dönüştürme oranının değiştirilmesi için trafonun sargılarının spir sayılarının değiştirilmesi gerekmektedir. Transformatör ayaklarına yerleştirilen ve gerilim ayarı için kullanılan bu uçların çıkarıldığı sargılara gerilim ayar bobini denir. Gerilim ayar bobininin sargısı trafonun gerilim ayarına göre değişmektedir.

Transformatörlerin gerilim ayarı boşta ve yükte olmak üzere iki şekilde yapılır:

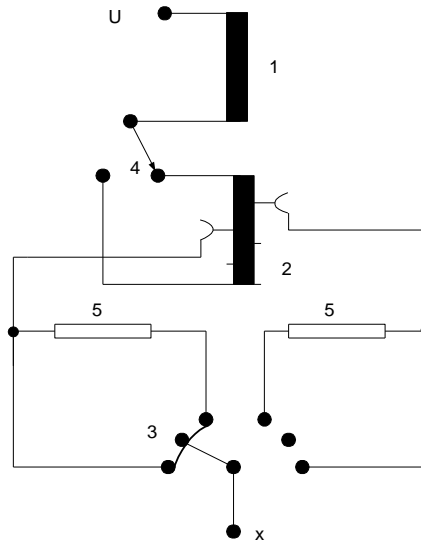
Boşta gerilim ayarı yapabilmek için özel yapılmış olan düzeneklerden faydalanılır. Bu düzenek trafonun kapak altına ve dip tarafına yerleştirilmiştir. Kumanda kolu ya kapak üzerinde ya da kazan üzerinde bulunur. İstenilen gerilim ayarı kumanda kolu vasıtasıyla ayarlanabilir.



**Şekil 2.8: Boşta gerilim ayarı yapan şalterin trafoya bağlantısı**

Transformatörlerin yük altında gerilimlerinin ayarlanması boşta yapılan ayarlardan daha zordur, yük altında gerilim ayarı yapılırken şu koşulların yerine getirilmesi gerekir:

- Yük devresi akımı kesilmemelidir.
- Ayar bobinleri kısa devre olmamalıdır.
- Basamak değiştirme süresi kısa olmalıdır.



**Şekil 2.9: Yük altında basamak değiştirilebilen bir transformatörün bağlantı şeması. 1- Ana faz sargısı, 2- Gerilim ayar bobini, 3-Yük aktarma şalteri, 4-Yön değiştirme şalteri, 5- Dirençler**

Transformatör primeri bir ana faz sargısı (1) ile bir gerilim ayar bobininden (2) oluşmaktadır. Ayar bobini uçları, basamak şalteri (3) ile devreye sokup çıkarılır. Yön değiştirme şalteri (4) ile de ayar bobini ters yönde ana sargıya bağlanabilir. Bu durumda çıkış gerilimi azalır. Ayar bobininin her basamaktaki sivrileri, transformatörün bütün ayağı boyunca düzgün olarak sarılmıştır. Böylece simetrimin bozulmasından dolayı akım kuvvetlerinin oluşması önlenmiş olur.

## UYGULAMA FAALİYETİ

3 fazlı trafo bağlantılarını yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Üç fazlı trafoların bağlantı şekillerinin trafo üzerinde nasıl yapıldığını görünüz.</li><li>➤ Bağlantı şekillerini tek tek bağlayınız.</li><li>➤ Trafo üzerindeki etiket değerinden grup açısını ve bağlantı grup çeşidini belirleyiniz.</li><li>➤ Belirlediğiniz bağlantı grubunun kullanım alanını belirleyiniz.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bağlantı şekil farklılıklarına dikkat ediniz.</li><li>➤ Bu işlemi öğretmen veya bir uzman gözetiminde yapınız.</li><li>➤ Farklı trafo etiket değerlerini alarak bu değerleri karşılaştırınız</li><li>➤ Bağlantı gruplarının kullanım alanlarının bilinmesi trafo seçim kolaylığı sağlayacağını unutmayınız.</li></ul>

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Trafo sargı bağlantı şekillerini seçebildiniz mi?		
2. Gerilim ayar bobin ve şalterini seçebildiniz mi?		

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız

1. ( ) Üçgen bağlantı yapmak için her faz sargısının giriş ucu öteki sargının çıkış ucu ile birleştirilir.
2. ( ) Yıldız bağlantı yapmak için transformatörün her faz sargısının çıkış uçları (veya giriş uçları) birbirine bağlanır.
3. ( ) Bir trafoda primerin bir fazına, gerilim tatbik edildiğinde aynı fazın sekonderinde bir gerilim indüklenir. Bu iki gerilim arasındaki açığa grup açısı denir.
4. ( ) Güç trafoları bağlantı şekillerinden Yd olarak verilen bir sembolde Y harfi yıldız bağlı olduğunu ve d harfi ise zikzak bağlı olduğunu gösterir.
5. ( ) Bağlantı gruplarında grup açısı 20°'ye bölünerek bir sabite olarak verilir.
6. ( ) Trafolarda gerilim ayarı trafonun dönüştürme oranının değiştirilmesi ile yapılır.

## DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise bir sonraki öğrenme faaliyetine geçiniz.

# ÖĞRENME FAALİYETİ-3

## AMAÇ

Her türlü yerde standartlara ve kuvvetli akım yönetmeliğine uygun olarak güç trafolarının paralel olarak bağlantılarını ve yüke iştiraklerini hatasız olarak seçebileceksiniz.

## ARAŞTIRMA

- Trafoların paralel bağlantılarını araştırınız.
- Trafoların yüke iştirakini araştırınız.
- Paralel bağlı trafolarında yük dağılımını araştırınız.

## 3. TRAFOLARIN PARALEL BAĞLANTILARI

### 3.1. Paralel Bağlantıları

#### 3.1.1. Paralel Bağlama Nedenleri

Santrallerde ve transformatör istasyonlarında günlük enerji ihtiyacı arttığında jeneratörlerin ve transformatörlerin birbirine paralel bağlanması gerektiği gibi bazı hâllerde komple santrallerin dahi aynı şebeke üzerine paralel çalışmalarına ihtiyaç hasıl olabilir.

Normal işletmede bu paralel çalışma belirli bir plan dâhilinde yapıldığı hâlde, arıza hâlinde bazı enerji kaynaklarının devreden çıkması ile kısa bir zaman zarfında yeni kaynakların devreye girmesi gerekebilir.

Bundan başka, belirli bir enerji kaynağından beslenmekte olan önemli bir tesiste, ya işletme zaruretinden dolayı yahut da bir arıza sebebi ile akım kaynağının değiştirilmesi ve bu işlemin çok kısa bir zamanda yapılması icap edebilir. Bu gibi işlemler ve manevralar, bir işletme mühendisinin her gün normal olarak karşılaştığı veya her an karşılaşması beklenen olaylardır.

Gerek paralel bağlama ve gerekse kaynak değiştirme ancak bazı elektriki şartların yerine getirilmesinden sonra yapılabilir. Bu şartlar yerine gelmeden yapılan her bağlama, derhal tesisin normal işletmeden çıkmasına yol açar. Bazı arıza hâllerinde ise stabilitenin sağlanması ve işletmenin normal bir şekilde devam edebilmesi için paralel bağlama veya kaynak değiştirme olayının gayet süratle ikmal edilmesi gerekir.

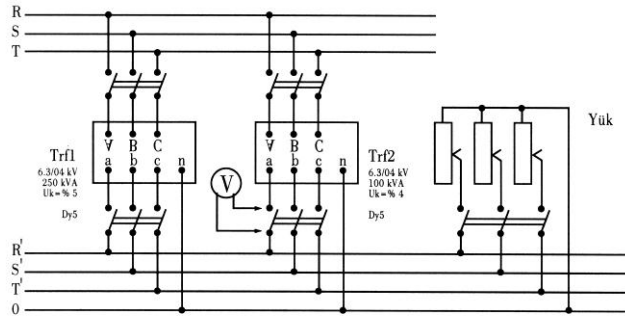
### 3.1.2. Paralel Bağlama Şartları

Transformatörlerin paralel bağlanabilmeleri için bazı şartların olması gerekir.

Bunlar:

- Paralel bağlanacak transformatörün primer ve sekonder gerilimleri her an eşit olmalıdır.
- Anma güçleri birbirine eşit veya güçleri arasındaki oran 1/3'ten büyük olmamalıdır.
- Paralel bağlanacak transformatörlerin kısa devre gerilimleri ( $U_k$ ) birbirine eşit olmalı veya aralarındaki fark % 10'dan büyük olmamalıdır.
- Paralel bağlanacak transformatörlerin aynı polariteli uçları birbirine bağlanmalıdır. Böylece transformatörlerin birbiri üzerinden kısa devre olmaları önlenmiş olur.
- Paralel bağlanacak transformatörlerin bağlantı grupları uyumlu olmalıdır.

### 3.1.3. Paralel Bağlantı Şeması



Şekil 3.1: Üç fazlı transformatörlerin paralel bağlanma deney bağlantı şeması

## 3.2. Trafoların Yüke İştiraki

Paralel bağlama ve yüke iştirak için Şekil 3.1'deki deney bağlantı şeması hazırlanır. Paralel bağlanacak transformatörler boşa çalıştırılarak primer ve sekonder gerilimleri ölçülerek eşitlik kontrol edilir (Kısa devre gerilimleri arasında % 10'dan daha az fark bulunduğu % 5'e kadar gerilim farkına izin verilebilir.).

Kısa devre gerilimlerinin eşit olması, paralel çalışan transformatörler arasında, yükün transformatörlerin güçleri oranında dağılmasını sağlar. Paralel çalışan transformatörlerin üzerlerine aldıkları yük kısa devre gerilimleri ile ters orantılıdır. Buna göre kısa devre gerilimi küçük olan transformatör daha fazla yüklenir. Eğer paralel bağlama şartları yerine getirilmişe iki transformatör birbiri ile paralel bağlanır.



### 3.3. Paralel Bağlı Trafoların Yüke Dağılımı

Paralel bağlı trafoların toplam bara yükünü kısa devre gerilimlerine uygun olarak paylaşır. Anma güçleri birbirine eşit veya güçleri arasındaki oran 1/3'ten büyük olmamalı, aynı zamanda paralel bağlanacak transformatörlerin kısa devre gerilimleri ( $U_k$ ) birbirine eşit olmalı veya aralarındaki fark % 10'dan büyük olmamalıdır.

$S_1, S_2$  : Trafoların görünür gücü (kVA)

$U_k$ : Kısa devre gerilim yüzdesi

#### Örnek:

Güçleri  $S_1 = S_2 = 100$  KVA olan iki transformatörün tam yük kısa devre gerilimleri  $U_{k1} = \% 4$  ve  $U_{k2} = \% 5$ 'tir. Şebeke yükü 200 KVA olduğuna göre her bir transformatöre düşen yükü hesaplayalım.

#### Çözüm:

Bunun için ortalama kısa devre gerilimi bulunur. P devrenin toplam yükü,  $U_k$  ortalama kısa devre gerilimi ise:

$$\frac{S}{U_k} = \frac{S_1}{U_{k1}} + \frac{S_2}{U_{k2}} \Rightarrow \frac{200}{U_k} = \frac{100}{4} + \frac{100}{5} \Rightarrow \frac{200}{U_k} = 25 + 20$$

$\frac{200}{U_k} = 45 \Rightarrow U_k = \frac{200}{45} = 4,44$  Her iki transformatör üzerine ortalama kısa devre gerilimine göre yük alır.

$$\text{Bu yükler } S_1^1 \text{ ve } S_2^1 \text{ olup } S_1^1 = \frac{S_1}{U_{k1}} \cdot U_k \Rightarrow S_1^1 = \frac{100}{4} \cdot 4,44 = 111 \text{ KVA}$$

$$S_2^1 = \frac{S_2}{U_{k2}} \cdot U_k \Rightarrow S_2^1 = \frac{100}{5} \cdot 4,44 = 89 \text{ KVA}$$

Devrenin toplam yükü  $S = S_1^1 + S_2^1 = 111 + 89 = 200$  KVA

Dikkat edilirse transformatörlerin güçleri aynı olduğu hâlde birisi 111 KV A ile normalden fazla yüklenmiştir. Bu durum 1. transformatör için tehlikeli olabilir. 2. transformatör ise normal yükünün altında ve 89 KVA ile çalışmaktadır. Bunun nedeni, kısa devre gerilimlerinin farklı oluşudur.

Birinci transformatörün aşırı yüklenmemesi için ortalama kısa devre geriliminin bu transformatör, kısa devre gerilimi olan % 4'ten fazla olmaması gerekir.

$U_k = \% 4$  için transformatör yükleri bulunursa

$$S_1^1 = \frac{S_1}{U_{k1}} \cdot U_k \Rightarrow S_1^1 = \frac{100}{4} \cdot 4 = 100 \text{ KVA}$$

$$S_2^1 = \frac{S_2}{U_{k2}} \cdot U_k \Rightarrow S_2^1 = \frac{100}{5} \cdot 4 = 80 \text{ KVA}$$

Devrenin toplam yükü  $S = S_{11} + S_{21} = 110 + 80 = 180 \text{ KVA}$  olur.

Bu iki transformatörün tehlikesizce paralel çalışabilmesi için şebeke yükü transformatör güçleri toplamı olan 200 KVA değil, en çok 180 KVA olmalıdır.

Bu durumda ise transformatörlerden tam yararlanılamaz.

## UYGULAMA FAALİYETİ

Trafo paralel bağlantısını yapınız.

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Paralel bağlantı şartlarını seçiniz.</li><li>➤ Trafo Paralel bağlantıları yapınız.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>➤ Bağlantı şekil farklılıklarına dikkat ediniz.</li><li>➤ Bu işlemi öğretmen veya bir uzman gözetiminde yapınız.</li></ul>

## KONTROL LİSTESİ

Bu faaliyet kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadığınız beceriler için **Hayır** kutucuğuna (X) işareti koyarak kendinizi değerlendiriniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Paralel bağlantı şartlarını seçebildiniz mi?		
2. Trafo paralel bağlantılarını yapabildiniz mi?		

## DEĞERLENDİRME

Değerlendirme sonunda “**Hayır**” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “**Evet**” ise “Ölçme ve Değerlendirme”ye geçiniz.

## ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME

Aşağıdaki cümlelerin başında boş bırakılan parantezlere, cümlelerde verilen bilgiler doğru ise D, yanlış ise Y yazınız.

1. ( ) Paralel bağlanacak transformatörlerin bağlantı grupları uyumlu olmalıdır.
2. ( ) Paralel bağlanacak transformatörlerin kısa devre gerilimleri (U<sub>k</sub>) birbirinden farklı olmalı veya aralarındaki fark % 10'dan büyük olmamalıdır.
3. ( ) Kısa devre gerilimlerinin eşit olması, paralel çalışan transformatörler arasında, yükün transformatörlerin güçleri oranında dağılmasını sağlar.
4. ( ) Paralel bağlı trafolarda toplam bara yükünü kısa devre gerilimlerine uygun olarak paylaşır.
5. ( ) Paralel bağlanacak transformatörlerin farklı polariteli uçları birbirine bağlanmalıdır.
6. ( ) Paralel çalışan transformatörlerin üzerlerine aldıkları yük kısa devre gerilimleri ile ters orantılıdır.

### DEĞERLENDİRME

Cevaplarınızı cevap anahtarıyla karşılaştırınız. Yanlış cevap verdiğiniz ya da cevap verirken tereddüt ettiğiniz sorularla ilgili konuları faaliyete geri dönerek tekrarlayınız. Cevaplarınızın tümü doğru ise “Modül Değerlendirme”ye geçiniz.

# MODÜL DEĞERLENDİRME

Bu modül kapsamında aşağıda listelenen davranışlardan kazandığınız beceriler için **Evet**, kazanamadıklarınız için **Hayır** kutucuklarına ( X ) işareti koyarak öğrendiklerinizi kontrol ediniz.

Değerlendirme Ölçütleri	Evet	Hayır
1. Transformatörün önemini kavradınız mı?		
2. Nüve ve sargı çeşitlerini doğru seçtiniz mi?		
3. Alternatif ve doğru gerilimde çalışmasını kavradınız mı?		
4. İndüklenen EMK değerini doğru seçtiniz mi?		
5. Dönüştürme oranı doğru buldunuz mu?		
6. Transformatörde kaçak akıları kavradınız mı?		
7. Transformatörlerin çalışma durumlarını kavradınız mı?		
8. Trafo sargı direncini doğru ölçtünüz mü?		
9. Polarite tayinini doğru yaptınız mı?		
10. Trafoların gerilimine göre çeşitlerini kavradınız mı?		
11. Gerilim yükseltme ve alçaltmasına göre çeşitlerini kavradınız mı?		
12. Trafoların eş değer devrelerini çizdiniz mi?		
13. Trafolarda regülasyonu doğru buldunuz mu?		
14. Trafolarda verimi doğru buldunuz mu?		
15. Oto trafolarını kavradınız mı?		
16. Üç adet bir fazlı trafolardan meydana gelen trafoları kavradınız mı?		
17. Bir nüveli üç fazlı trafoları kavradınız mı?		
18. Soğutma seçimini doğru yaptınız mı?		
19. Güç trafoları etiket değerlerini doğru okudunuz mu?		
20. Bağlantı şekillerini doğru seçtiniz mi?		
21. Bağlantı grupları, sembolleri ve grup açılarını doğru seçtiniz mi?		
22. Güç trafosu gerilim ayar düzeneğini doğru seçtiniz mi?		
23. Paralel bağlama şartlarını doğru seçtiniz mi?		
24. Paralel bağlama bağlantı şemasını doğru çizdiniz mi?		
25. Paralel bağlı trafolarda yüke dağılımı doğru yaptınız mı?		

---

## **DEĞERLENDİRME**

Değerlendirme sonunda “Hayır” şeklindeki cevaplarınızı bir daha gözden geçiriniz. Kendinizi yeterli görmüyorsanız öğrenme faaliyetlerini tekrar ediniz. Bütün cevaplarınız “Evet” ise bir sonraki modüle geçmek için öğretmeninize başvurunuz.

# CEVAP ANAHTARLARI

## ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	Transformatör
2	Çekirdek Mantel Dağıtılmış
3	Primer sekonder
4	zamana göre yönü ve şiddeti değişen (alternatif)
5	Kaçak Akılar
6	Polarite
7	Gerilim Değişmesi Veya Gerilim Regülasyonu
8	Oto Transformatörü
9	Bir Nüveli Üç Fazlı Trafolar
10	Hava, Yağ, Su

## ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Doğru
3	Doğru
4	Yanlış
5	Yanlış
6	Doğru

## ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Yanlış
3	Doğru
4	Doğru
5	Yanlış
6	Doğru



## KAYNAKÇA

- ALTUNSAÇLI Adem, **Elektrik Makineleri**, Color Ofset, İskenderun, 2003.
- ALTUNSAÇLI Adem, **Elektrik Makineleri – 1**, Color Ofset, İskenderun, 2003.
- ALTUNSAÇLI Adem, **Elektrik Makineleri – 1 Deneyleri**, Color Ofset, İskenderun, 2003.
- SANER, **Yetkin Güç Dağıtımı (Enerji Dağıtımı) Dağıtım Transformatörleri** İstanbul, 2000.