

**T.C.
MİLLÎ EĞİTİM BAKANLIĞI**

YENİLENEBİLİR ENERJİ TEKNOLOJİLERİ

RÜZGÂR TÜRBİNLERİNDE ÜRETİLEN ALTERNATİF AKIMIN TEMELLERİ 522EE0399

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	vi
GİRİŞ	1
ÖĞRENME FAALİYETİ-1	2
1. RÜZGÂR ENERJİSİ.....	2
1.1. Rüzgârın Oluşumu	2
1.2. Rüzgâr Enerji Dönüşümü.....	3
1.3. Enerji Dönüşümünde Rüzgâr Türbinlerinin Etkisi	3
1.3. Rüzgâr Hızı ve Türbinde Üretilen Güç Arasındaki İlişki	5
1.4. Kule Yüksekliği ile Türbinde Üretilen Güç Arasındaki İlişki	9
1.5. Rüzgârdan Elde Edilen Mekanik Güç.....	9
1.6. Rüzgârdan Türbinlerinde Kullanılan Elektrik Makinaları	12
1.6.1. Doğru Akım (DA) Makinaları	12
1.6.2. Alternatif Akım (AA) Makinaları.....	13
UYGULAMA FAALİYETİ	18
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	20
ÖĞRENME FAALİYETİ-2	22
2. ALTERNATİF AKIM.....	22
2.1. Alternatif Akımın Tanımı	22
2.2. Alternatif Akımın Elde Edilmesi	23
2.3. Sinüs Dalgası	25
2.3.1. Saykıl	26
2.3.2. Periyot.....	26
2.3.3. Alternans.....	27
2.3.4. Frekans.....	28
2.3.5. Açısal Hız	28
2.3.6. Dalga Boyu	29
2.4. Alternatif Akım Değerleri.....	30
2.4.1. Ani Değer	30
2.4.2. Maksimum Değer	31
2.4.3. Ortalama Değer.....	32
2.4.4. Etkin Değer.....	33
2.5. Alternatif Akımın Vektörlerle Gösterilmesi	35
2.5.1. Sıfır Faz	36
2.5.2. İleri Faz.....	36
2.5.3. Geri Faz	37
2.5.4. Faz Farkı	37
2.6. Alternatif Akımın Etkileri.....	38
2.6.1. Isı Etkisi.....	38
2.6.2. Kimyasal Etkisi.....	40
2.6.3. Manyetik Etkisi.....	41
UYGULAMA FAALİYETİ	43
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	46
ÖĞRENME FAALİYETİ-3	48
3. ALTERNATİF AKIM DEVRELERİ.....	48
3.1. A.C Devrelerde Bobinler	48

3.1.1. Endüktans	49
3.1.2. A.C’de Gösterdiği Özellikler	50
3.1.3. A.C’de Seri ve Paralel Bağlantıları	52
3.1.4. Nüvenin Endüktansa Etkisi	53
3.2. A.C Devrelerinde Kapasitörler	54
3.2.1. Kapasitans	54
3.2.2. A.C’de Gösterdiği Özellikler	55
3.2.3. A.C’de Seri ve Paralel bağlantıları	57
3.3. Alternatif Akım Devre Çeşitleri	58
3.3.1. Seri Devreler	58
3.3.2. Paralel Devreler	65
3.3.3. Rezonans Devreleri	70
3.3.4. Alternatif Akımda Güç	78
3.3.5. Endüktif Yüklü (R-XL) Devrelerde Güç Üçgeni	80
3.3.6. Güç Katsayısı	82
3.3.7. Üç Fazlı Sistemler	84
UYGULAMA FAALİYETİ	88
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	91
ÖĞRENME FAALİYETİ-4	95
4. TRANSFORMATÖRLER	95
4.1. Transformatörün Yapısı	95
4.2. Transformatörün Çalışma Prensibi	96
4.3. Transformatör Çeşitleri	97
4.3.1. Nüve Tipine Göre	97
4.3.2. Faz Sayısına Göre	99
4.3.3. Çalışma Ortamına Göre	99
4.3.4. Kullanma Amacına Göre	99
4.4. Dönüştürme Oranı	100
4.5. Transformatör Kayıpları	102
4.5.1. Fuko Kaybı	102
4.5.2. Histerisiz Kaybı	102
4.5.3. Bakır Kaybı	103
4.6. Transformatörlerde Güç	103
4.7. Transformatörlerde Verim	104
UYGULAMA FAALİYETİ	105
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	108
ÖĞRENME FAALİYETİ-5	111
5. A.C MOTORLAR	111
5.1. A.C Motorların D.C. Motorlarla Karşılaştırılması	112
5.2. A.C Motor Çeşitleri	113
5.2.1. Bir Fazlı Motor	113
5.2.2. Üç Fazlı Motor	115
UYGULAMA FAALİYETİ	118
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	120
MODÜL DEĞERLENDİRME	121
CEVAP ANAHTARLARI	127

KAYNAKÇA.....	131
---------------	-----

AÇIKLAMALAR

KOD	522EE0399
ALAN	Yenilenebilir Enerji Teknolojileri
DAL/MESLEK	Alan Ortak
MODÜLÜN ADI	Rüzgâr Türbinlerinde Üretilen Alternatif Akımın Temelleri
MODÜLÜN TANIMI	Rüzgâr türbinlerinin elektrik enerjisi üretimi ile ilgili temel bilgileri içeren ve üretilen alternatif akımın kullanıldığı devreleri ve devre elemanlarının alternatif akımda davranışları ile ilgili bilgi ve becerilerin kazandırıldığı bir öğrenme materyalidir.
SÜRE	40/16
ÖN KOŞUL	Bu modül için önkoşul yoktur.
YETERLİK	Rüzgâr türbinlerinde üretilen alternatif akım devre çözümlerini ve bağlantılarını yapmak. Direnç, kondansatör ve bobinden oluşan A.C devreleri kurup ölçümlerini yapabilmek, A.C devrelerde transformatör kullanabilmek, A.C motor devreleri kurabilmek
MODÜLÜN AMACI	Genel Amaç Bu modül ile gerekli araç gereçle donatılmış laboratuvar ortamı ve açık alanda rüzgâr türbini sağlandığında rüzgâr türbininin çalışma şeklini kavrayacak, farklı rüzgâr güçlerinde türbin jeneratörlerinin davranışlarını kavrayacak ve alternatif akım devre çözümlerini yapabileceksiniz. Rüzgâr türbin jeneratörlerinin çeşitleriyle birlikte transformatörleri ve A.C motorların kullanım yerlerini seçebileceksiniz. Amaçlar <ol style="list-style-type: none">1. Rüzgâr enerjisi ve türbinlerinde üretilen rüzgâr enerjisinin dönüşümü ile ilgili hesaplamaları yapabileceksiniz.2. Rüzgâr türbinlerinde kullanılan jeneratörlerin birbirlerine göre üstünlüklerini kavrayacak ve kullanım yerlerine göre uygun jeneratör seçimi yapabileceksiniz.3. Rüzgâr türbinlerinde üretilen alternatif akımda bobin ve kondansatör devrelerini kurarak sonuçlarını değerlendirebileceksiniz.4. Alternatif akımda direnç, bobin, kondansatörlerin seri/paralel devrelerini kurarak bu devrelerde ölçme ve hesaplamalar yapabileceksiniz.5. Transformatörlerin, çalışma prensiplerini kavrayarak devreye bağlantısını yapabileceksiniz.6. Alternatif akım motorlarının, doğru akım

	motorlarına olan üstünlüklerini kavrayacak, kullanım yerlerini seçebilecek ve devreye bağlantılarını yapabileceksiniz.
EĞİTİM ÖĞRETİM ORTAMLARI VE DONANIMLARI	Ortam: Rüzgâr sistemleri atölyesi ve açık saha ortamı Donanım: Rüzgâr türbini, rüzgâr türbin jeneratörleri, rüzgâr direği, Rüzgâr türbin kanatları, anemometre, dirençler, kondansatörler, bobinler, avometre ve osiloskop gibi ölçüm cihazları, transformatörler, A.C motorlar, deney bordu, iletken teller, bağlantı kabloları
ÖLÇME VE DEĞERLENDİRME	Modül içinde yer alan her öğrenme faaliyetinden sonra verilen ölçme araçları ile kendinizi değerlendireceksiniz. Öğretmen modül sonunda ölçme aracı (çoktan seçmeli test, doğru-yanlış testi, boşluk doldurma, eşleştirme vb.) kullanarak modül uygulamaları ile kazandığınız bilgi ve becerileri ölçerek sizi değerlendirecektir.

GİRİŞ

Sevgili Öğrenci,

Elektrik enerjisi, evlerde ve iş yerlerinde birçok değişik amaç için kullanılabilen yaygın bir enerji türüdür. Günümüzde, dünyanın çok büyük bölümünde termik, hidroelektrik ve nükleer santrallerin ürettiği elektrik enerjisi, ihtiyacı karşılamaktadır. Tükenmeye yüz tutmuş ve çevresel zararları olan bu tür enerji kaynakları yerine günümüzde tüm dünyada hızla artış sağlayan şekilde binalarda ve iş yerlerinde fotovoltaik piller ya da rüzgâr türbinleri kullanılarak temiz elektrik enerjisi üretimi yapılmaktadır.

Rüzgâr santrallerinde üretilen ve yerleşim alanlarına, sanayi bölgelerine insanların kullanımı için iletilen elektrik enerjisi alternatif olarak adlandırılan sinüs eğrisi şeklindedir. Bu formdaki elektrik sinyallerine alternatif akım ya da İngilizce kısaltmasıyla A.C (Alternative Current) denir.

Rüzgâr türbinlerinde üretilen alternatif akımın temeller modülünde edineceğiniz bilgiler, yenilenebilir enerji teknolojileri alanında kariyer sahibi olmak isteyen herkesin edinmesi gereken ve daha sonra karşılaşacağınız rüzgâr türbinlerinde üretilen alternatif akım enerjisi ve bu alternatif akımın kullanımı ile ilgili karmaşık devre analizlerinde mutlaka kullanmanız gereken bilgilerdir. Modül boyunca karşılaşacağınız matematik, fizik ve trigonometrik eşitliklerin çokluğu yılgınlığa neden olmamalıdır. Yapılacak tekrarlar ve örnek çözümlerde sabırlı ve kararlı hareket edilmesi öğrenmeyi kolaylaştıracaktır. Birkaç temel teoremin öğrenilmesi veya tekrar gözden geçirilmesi bu modülde verilen bilgilerin zihninizde kolaylıkla yer etmesine yardımcı olacaktır.

ÖĞRENME FAALİYETİ-1

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyeti sonunda rüzgâr enerjisini ve bu enerjinin rüzgâr türbinleride oluşturduğu mekanik enerji ile ilgili temel bilgileri edinecek ve bu mekanik enerjiyi kullanarak elektrik enerjisi üreten jeneratörleri tanıyacak ve rüzgâr gücü ile ilgili temel hesaplamaları yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Yeryüzünde rüzgârın nasıl oluştuğunu araştırınız.
- Rüzgârın taşıdığı kinetik enerji hakkında bilgi toplayarak arkadaşlarınızla paylaşınız.
- Kinetik enerjinin mekanik enerjiye dönüşümü ile ilgili temel prensipleri araştırınız.
- Rüzgâr türbini, rüzgâr kulesi, türbin kanadı, rüzgâr hızı, atmosfer basıncı gibi terimler hakkında bilgi toplayarak arkadaşlarınızla paylaşınız.
- Rüzgâr enerjisinden elektrik üretmenin faydalarını araştırarak arkadaşlarınızla tartışınız.

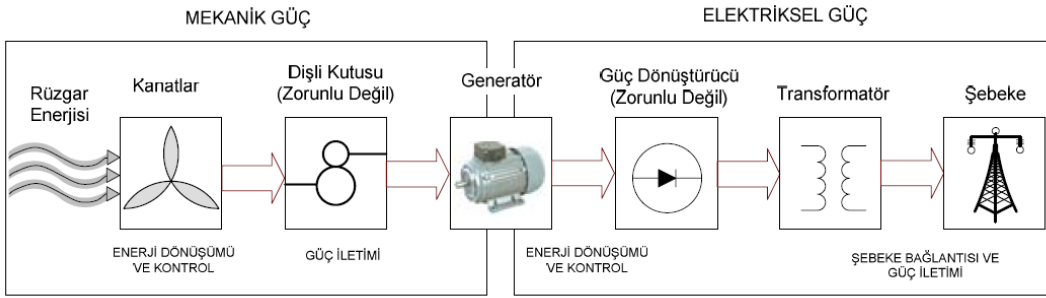
1. RÜZGÂR ENERJİSİ

1.1. Rüzgârın Oluşumu

Rüzgâr, güneşin doğusundan batısına kadar yeryüzündeki farklı yüzeylerin, farklı hızlarda ısınıp soğumasıyla oluşmaktadır. Hareket hâlindeki havanın kinetik enerjisine ise, rüzgâr enerjisi denmektedir. Rüzgâr, atmosferdeki havanın dünya yüzeyine yakın, doğal yatay hareketleridir. Hava hareketlerinin temel prensibi, mevcut atmosfer basıncının bölgeler arasında değişmesidir. Rüzgâr, alçak basınçla yüksek basınç bölgesi arasında yer değiştiren hava akımıdır, daima yüksek basınç alanından alçak basınç alanına doğru hareket eder. İki bölge arasındaki basınç farkı ne kadar büyük olursa, hava akım hızı o kadar fazla olur.

1.2. Rüzgâr Enerji Dönüşümü

Bir rüzgâr enerji dönüşüm sisteminin temel safhaları Resim 1.1’de gösterilmiştir. Türbin rotoru aerodinamik (hareket eden katı cisimlerin rüzgâr ile etkileşimi) olarak tasarlanmış kanatları yardımı ile rüzgâr dalga enerjisinin bir kısmını yakalayarak mekanik enerjiye çevirir. Düşük hızlı bu mekanik enerji dişli kutusu yardımı ile yüksek jeneratör hızı seviyesine çıkarılır. Eğer jeneratör yüksek kutup sayısına sahip ise dişli kutusuna ihtiyaç duyulmayabilir. Yüksek dönüş hızına sahip mekanik enerjiye çevrilmiş bu enerji ise jeneratör aracılığı ile elektrik enerjine dönüştürülür. Daha sonra transformatör ve iletim hatları aracılığı ile yerel elektrik şebekesine elektrik sayacı ve kesici üzerinden bağlanır. Tercih edilen rüzgâr enerji sistemi yapısına bağlı olarak transformatörden önce güç elektroniği üniteleri ile elektrik enerjisi farklı formlarda dönüştürülebilir.

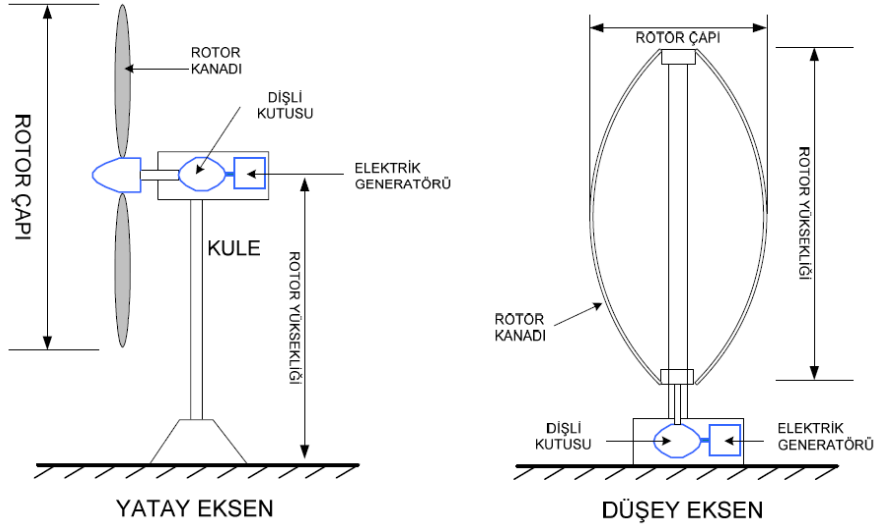


Resim 1.1: Rüzgâr enerjisinin dönüşüm aşamaları

1.3. Enerji Dönüşümünde Rüzgâr Türbinlerinin Etkisi

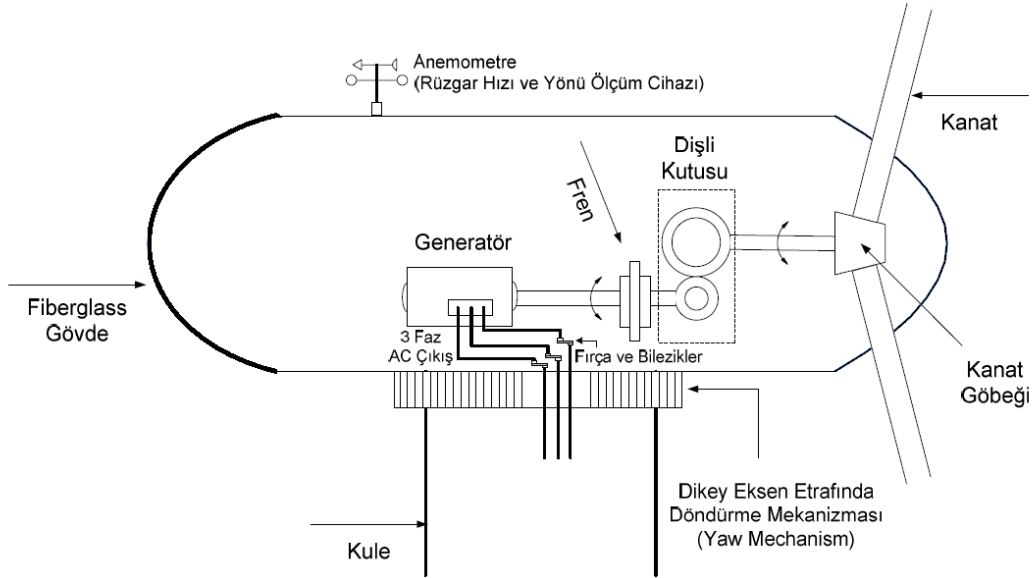
Rüzgâr türbinleri mekaniksel olarak elektrik jeneratörüne bağlı iki veya daha fazla kanatlarına bağlı olan rotorları yardımıyla rüzgârın kinetik enerjisini yakalar. Bu türbin bir direk veya yüksek bir kule üzerine monte edilerek, yakalayacağı kinetik enerjisi artırılmaya çalışılır. İstenilen güç üretim kapasitesini elde etmek için bir bölgeye birden fazla rüzgâr türbini kurulur. Bu tür yapılara rüzgâr çiftliği denir.

Türbinler genellikle Şekil 1.2’deki gibi yatay eksenli rüzgâr türbinleri ve düşey eksenli rüzgâr türbinleri olarak iki farklı şekilde tasarlanırlar.



Şekil 1.2: Rüzgâr türbin şekilleri

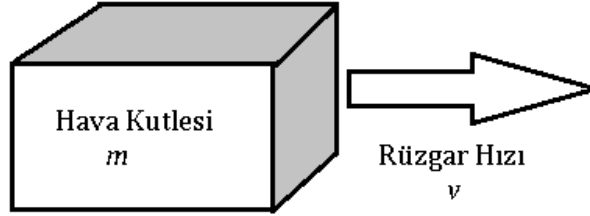
Yatay eksenli rüzgâr türbinleri hem rüzgâr yönünde (downwind) hem de rüzgâra karşı (upwind) yönde çalışabilmektedir. Dikey eksenli türbinler ise rüzgârı her yönden kabul eder. Rotor dışındaki tüm bileşenler her iki rüzgâr türbininde de aynıdır. Günümüzde modern türbinlerin çoğu yatay eksen şeklinde tasarlanır. Şekil 1.3'te yatay eksenli rüzgâr türbininin ayrıntılı iç yapısı görülmektedir.



Şekil 1.3: Yatay eksenli bir rüzgâr türbininin iç yapısı

1.3. Rüzgâr Hızı ve Türbinde Üretilen Güç Arasındaki İlişki

Rüzgâr türbin kanatlarına çarpan ve rotorun dönmesini sağlayan bir hava kütlesi olduğunu bilmekteyiz. Bu durumda türbinin hareketi esen rüzgârın hızı ile ilişkili olarak değişmektedir. Bu durumda “ v ” hızı ile hareket eden “ m ” kütleli havanın bir kinetik enerjisi olacaktır. Bu durumda SI birim sistemine göre bu havanın meydana getirdiği kinetik enerji aşağıdaki şekilde olacaktır.



Şekil 1.4: v rüzgâr hızındaki m kütleli hava

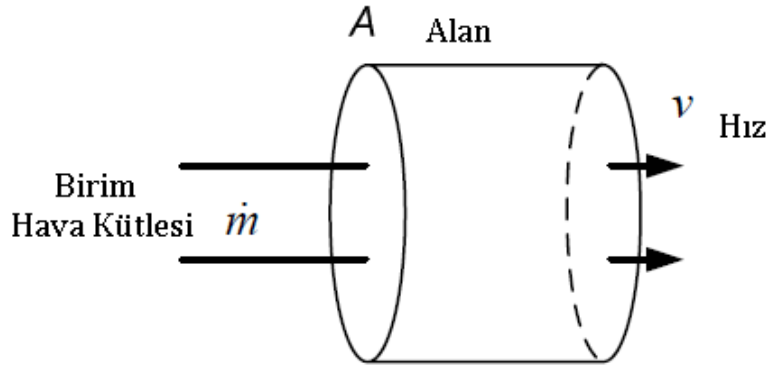
$$W_{KinetikEnerji} = \frac{1}{2}mv^2 [Joule]$$

Bu şekilde hareket hâlinde olan hava akışındaki güç, birim zamanda akan kinetik enerji akışı olacaktır.

Enerji = Güç X Zaman eşitliğinden birim zamanda ki enerji akışı;

$$W_{KinetikEnerji} = P.t = P.1$$

Bu durumda birim zamanda akan hava kütlesi için $W = P$ olacaktır. Burada A gibi bir alan boyunca v hızı ile hareket eden hava kütlelerinin oluşturacağı güç;



Şekil 1.5: A alanı boyunca hareket eden v hızı ile hareket eden hava kütlesi

$P_A = A$ alanı boyunca akan güç olarak alırsak bu durumda;

$$P_A = \frac{1}{2} \left(\frac{\text{kütle}}{\text{zaman}} \right) \cdot v^2 = \frac{1}{2} m' v^2$$

Olacaktır. Hava kütleini hesaplamak için hava yoğunluğunu (ρ) ve hacmini (V) çarpmamız gerekecektir.

$$m = \rho \cdot V$$

Hava kütlei m nin A alanı boyunca v hızı ile birim zamanda hareket edecek olursa birim hane kütlei m' ;

$$m' = \rho \cdot A \cdot v$$

m' eşitliğini güç ifadesinde yerine yazacak olursak ;

$$P_A = \frac{1}{2} m' v^2 = \frac{1}{2} (\rho \cdot A \cdot v) \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Elde etmiş oluruz. Burada denklemi genel anlamda A alanı boyunca oluşan rüzgâr gücü açısından tekrar yazarsak;

$$P_W = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$$

Burada;

P_W : Rüzgâr(hava) akışındaki mekaniksel güç[watt]

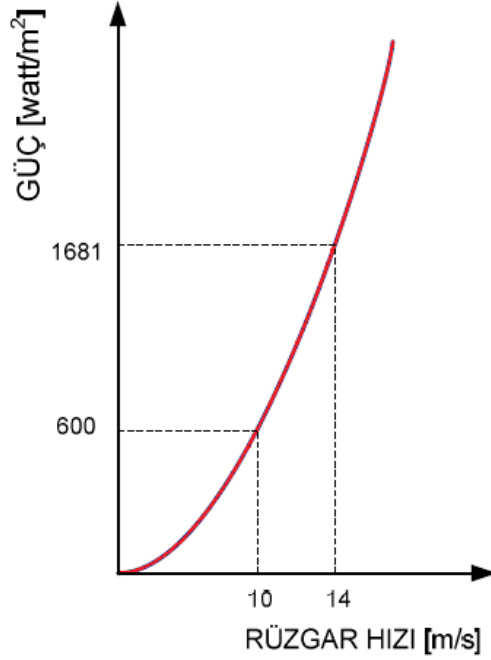
ρ : Hava yoğunluğu[kg/m³]

Not: 1 atmosferlik hava basıncında (deniz seviyesi) ve 15° C sıcaklıkta, $\rho=1,225 \text{kg/m}^3$

A : Rotor kanatlarının süpürdüğü alan(Rüzgârın geçtiği bölgenin kesit alanı)[m²]

$\rho \cdot A \cdot v$: Birim zamanda akan havanın kütlei[kg/s]

Güç eşitliğinden de anlaşılacağı gibi güç ifadesinin rüzgâr hızına bağlı olarak değişimi hızın kübü ile orantılı olarak değiştiği görülmektedir.



Şekil 1.6: Rüzgâr hızının güç ile ilişkisi

Burada verilen güç, birim m^2 başına karşılık gelen güç olup, bu büyüklük bir bölgenin özel gücü olarak veya güç yoğunluğu olarak adlandırılır. Dolayısıyla bir bölgenin özel gücü $\frac{P_w}{A} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v^3$ olup birimi: [watt/ m^2]’ dir.

Not: İki bölgenin rüzgâr potansiyeli, özel rüzgâr güçleri cinsinden karşılaştırılır ve dönen kanatların süpürdüğü alan açısından w/m^2 olarak verilir. Bu güç rüzgâr hızının küpü ile orantılı olarak değiştiğinden, örneğin rüzgâr hızının iki katına çıkması gücün 8 kat artması anlamına gelir. Yani rüzgâr türbininin 1 saatte 20 mph rüzgâr hızında yakaladığı enerji, 10mph hızında 8 saatte elde edilebilir. Hız 5 mph’ye düşerse aynı enerjiyi yakalayabilmek için türbini 64 saat çalıştırmak gerekir(yaklaşık 2,5 gün). Tabi düşük hızlarda rüzgâr türbinleri hareket ettirilemez.

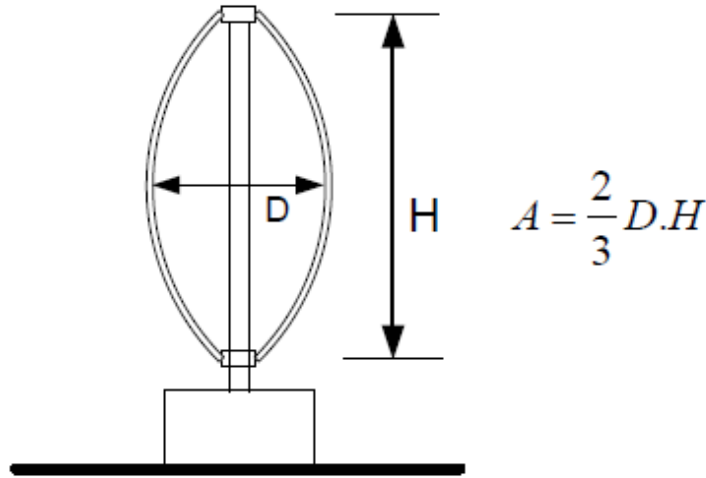
$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3$ güç ifadesi aynı zamanda türbin rotorunun süpürdüğü alan ile doğru orantılıdır. Yatay eksenli türbin için rotor süpürme alanı;

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot D^2$$

D: Rotor çapı

Görüldüğü üzere A alanı yatay eksenli türbinlerde kanat çapının karesi ile orantılıdır. Dolayısıyla rüzgâr gücü “D²” ile orantılıdır [$P_w \propto A$]. Yani kanat çapı iki katına çıkarıldığı takdirde, rüzgâr gücü 4 katına çıkar. Bu basit inceleme daha büyük rüzgâr türbinleri ile çalışma konusunda ekonomik ölçüt hakkında bize genel karşılaştırma imkanı verir. Bir rüzgâr türbininin maliyeti yaklaşık kanat çapı ile orantılı olarak artar, hâlbuki güç kanat çapının karesi ile orantılıdır. Sonuç olarak daha büyük rüzgâr türbinleri daha ekonomiktir. Düşey eksenli rüzgâr türbininin (rotorun) süpürdüğü alan tam dairesel olmamasından dolayı daha karmaşık bir yapı arz eder. Bu alan yaklaşık olarak;

$$A = \frac{2}{3} \cdot D \cdot H \text{ ile verilebilir.}$$



Şekil 1.7: Düşey eksenli rüzgâr türbinin alan hesabı

Burada;

D: Rotor kanatlarının maksimum genişliği

H: Rotor kanatlarının dikey maksimum yüksekliğini göstermektedir.

Rüzgâr türbinlerindeki en önemli noktalardan biri farklı rüzgâr hızlarındaki yakalanacak enerji miktarıdır. Rüzgâr ve güç arasındaki düzensiz ilişkiden dolayı, rüzgâr ortalama güç formülünü elde edilebilecek toplam enerji tahmininde kullanamayız.

Örnek 1: 0 °C’de ve 1 atmosfer basınç altında 8 m/s rüzgâr hızında 200 saatlik bir çalışma süresince 1m² lik alanda üretilebilecek enerji miktarını hesaplayınız. $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,293 \cdot 1 \cdot 8^3$$

$$P_w = 331,008 \text{ X } 200 \text{ saat} = 66201,6 \text{ Wh'lik enerji üretilir.}$$

Örnek 2: 0 °C’de ve 1 atmosfer basınç altında 4 m/s rüzgâr hızında 100 saat boyunca ve 12 m/s rüzgâr hızında 100 saat lik bir çalışma süresince 1m² lik alanda üretilebilecek enerji miktarını hesaplayınız. $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$

$$P_{w1} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,293 \cdot 1 \cdot 4^3$$

$$P_{w1} = 41,376 \times 100 \text{ saat} = 4137,6 \text{ Wh'lik enerji üretilir.}$$

$$P_{w2} = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot A \cdot v^3 = \frac{1}{2} \cdot 1,293 \cdot 1 \cdot 12^3$$

$$P_{w2} = 1117,152 \times 100 \text{ saat} = 111715,2 \text{ Wh'lik enerji üretilir.}$$

$$P_T = 4137,6 + 111715,2 = 115852,8 \text{ Wh'lik enerji elde edilmiş olur.}$$

Görüldüğü üzere bir işletme periyodu boyunca ortalama rüzgâr hızı kullanımı oldukça büyük hatalar oluşturabilmektedir. Her iki örnekte de ortalama hız aynı olmasına rağmen 2. Örnekteki sonuç 1. Örneğe oranla daha fazladır.

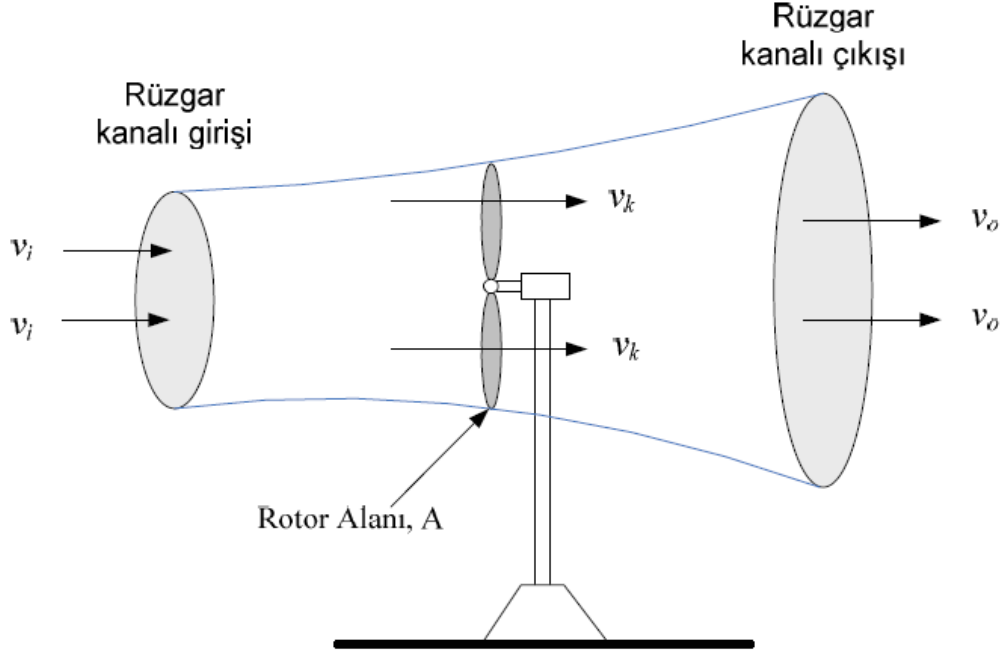
1.4. Kule Yüksekliği ile Türbinde Üretilen Güç Arasındaki İlişki

Rüzgâr gücü, rüzgâr hızının küpü ile doğru orantılı olduğundan, rüzgâr hızındaki ufak bir artış bile hem üretilen güç açısından dolayısıyla ekonomik açıdan oldukça önemlidir. Türbini yüksek hızlı rüzgârlara maruz bırakmanın bir yolu da türbinleri daha yüksek kulelere monte etmektir. Yer seviyesinin ilk birkaç yüz metre yüksekliklerinde, rüzgâr hızı yeryüzü ile olan sürtünme ve etkileşiminden dolayı oldukça fazla etkilenir. Pürüzsüz yüzeyler örneğin durgun deniz yüzeyi rüzgâra karşı oldukça düşük bir direnç gösterir. Rüzgâr hızındaki değişim oranı yüksekliğin artmasıyla birlikte daha düşük seviyelerde kalacaktır. Diğer yandan yüzey rüzgârları oldukça tümsekli arazilerde, orman ve bina alanlarında oldukça düşük olacaktır.

1.5. Rüzgârdan Elde Edilen Mekanik Güç

Türbin kanatlarını kesen rüzgârın tamamı rotorda mekanik güce dönüşmez. Rüzgârın kinetik enerjisinden elde edilen mekaniksel güç ifadesi için rotor verimi hesaplanmalıdır.

Rotor kanatları tarafından yakalanan gerçek güç miktarı, rüzgâr kanalı girişi ile rüzgâr kanalı çıkışı hava akışları arasındaki kinetik enerjilerin farkıdır.



Şekil 1.8: Bir rüzgâr türbininin maruz kaldığı rüzgâr kanalı boyunca oluşan rüzgâr hızları

$$P_k = \frac{1}{2} x(\text{birim_zamanda_akan_kütle_miktarı})x[v_i^2 - v_o^2]$$

$$P_k = \frac{1}{2} .m'.(v_i^2 - v_o^2)$$

P_k → Rotor kanatlarının yakaladığı mekanik güç (Türbin gücü)

v_i → Rotor kanatlarının girişindeki rüzgâr hızı

v_o → Rotor kanatlarının çıkışındaki rüzgâr hızı

v_k → Rotor kanatları düzlemindeki rüzgâr hızı (v_{kanat})

$$v_k = \frac{v_i + v_o}{2}$$

Görüldüğü gibi rüzgâr kanalı boyunca (rüzgâr hızı v_i ' den v_o ' ya) hareket ederken sürekli sabit formda değildir. Dolayısıyla dönen kanatlar boyunca hareket eden havanın kütle akış oranı (birim zamanda akan kütle miktarı) ortalama hız ile hava yoğunluğunun çarpımından elde edilebilir (veya rotor düzlemindeki rotor süpürme alanı içerisindeki hızı dikkate alınır).

$$m' = \rho.A.v_k = \rho.A.\frac{v_i + v_0}{2}$$

İfadesini P_k güç denkleminde yerine yazarsak;

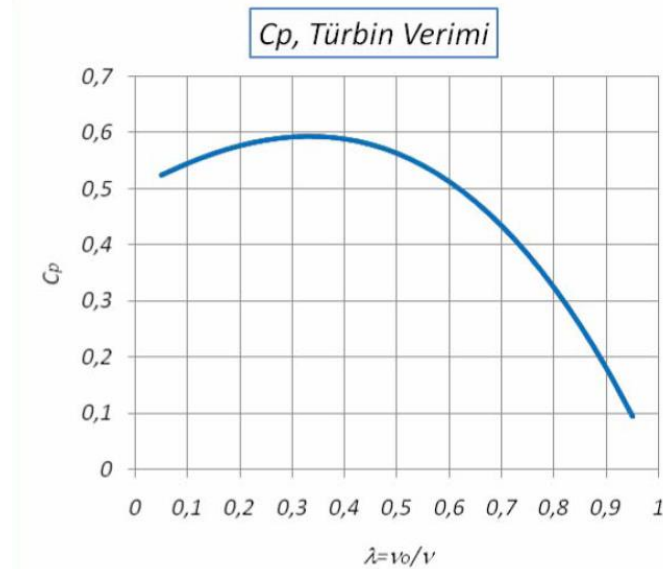
$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \left(\rho.A.\frac{v_i + v_0}{2} \right) \cdot (v_i^2 - v_0^2)$$

Olacaktır. İfade sadeleştirildiğinde ;

$$P_k = \frac{1}{2} \cdot \rho.A.v_i^3 \cdot \frac{\left(1 + \frac{v_0}{v_i} \right) \left[1 - \left(\frac{v_0}{v_i} \right)^2 \right]}{2} = \frac{1}{2} \cdot \rho.A.v_i^3 \cdot C_p$$

Elde edilir. Burada C_p rotor verimi olarak bilinir. Aynı şekilde genel olarak $v_i = v$ ve $\lambda = v_0 / v$ tanımlandığında rotor veriminin maksimum değeri $\lambda = 1/3$ iken elde edilir ve değeri $C_{pmax} = 0.5926$ yada %59.26 olmaktadır. Bu maksimum verime “Betz” limiti veya “Betz” kanunu denir. Yalnız pratik uygulamalarda bu değer 0.5’in altında kalmaktadır. Türbin veriminin λ ile olan değişimi çizilirse şekil 1.9’daki grafik elde edilmiş olur.

Verilen bir rüzgâr hızı için, rotor verimi rotor dönüş oranının bir fonksiyonudur. Eğer rotor çok yavaş dönüyor ise verim düşer çünkü kanatları etkilemeden geçen rüzgâr miktarı daha fazladır. Eğer rotor çok hızlı dönüyorsa rotor verimi yine düşer çünkü bir kanatın neden olduğu türbülans gittikçe artan bir oranla takip eden diğer kanadı etkiler.



Şekil 1.9: Rotor (türbin) veriminin değişimi

1.6. Rüzgârdan Türbinlerinde Kullanılan Elektrik Makinaları

Rüzgâr türbinlerindeki kanatlar, rüzgârın kinetik enerjisini dönen mil gücüne çevirerek jeneratörün dönmesini sağlamaktadır ve böylece elektrik gücünün üretilmesini yardımcı olmaktadır. Üretilen elektrik enerjisinin depolanabilmesi için akü şarjı yapan küçük güçlü rüzgâr türbinlerde doğru akım generatorleri kullanırken şebekeye paralel olarak çalışan ve şebekeye enerji veren rüzgâr türbinlerinde ise alternatif akım jeneratörleri (asenkron ve senkron) kullanılmaktadır. Her ne kadar bu modülde rüzgâr türbinlerinin ürettiği alternatif gerilim üzerinde durulacaksa da doğru gerilim üreten jeneratörler hakkında da bilgi sahibi olmak gerekmektedir.

1.6.1. Doğru Akım (DA) Makinaları

İç yapıları itibari ile bütün elektrik makineleri alternatif akım makinesidir çünkü iletkenler NS kutupları arasındaki manyetik alan içerisinde alternatif şekilde dönmektedir. DA makineleri AA'den DA'a dönüşümü mekanik anahtarlama yoluyla yapar. Buradaki dönüşüm, AA-DA işlemini karbon fırçaların kolektör (yapı olarak araları yalıtılmış bakır dilimlerden oluşan) üzerinde kaydırarak gerçekleştirilir. Buradaki fırçaların sürekli bakım gerektirmeleri, zaman içerisinde aşınmadan kaynaklanan bozulma ve buna bağlı olarak oluşan elektriksel arklar nedeni ile maliyetin artmasına ve düşük güvenilirliğe sebep olur. Bu olumsuzluklarına rağmen doğru gerilimde hız kontrolü kolay olduğu için geçmişte sıkça kullanılmaktaydı.

Kalsik DA makineleri doğru akım taşıyan şönt (paralel) veya seri bobin aracılığı ile kendinden uyarımlı olarak (manyetik alanı üretmek için) tasarlanır. Günümüzde ise DA makinelerinde manyetik alan, sabit mıknatıs kutupları aracılığı ile elde edilmektedir. Böylece alan akımı ihtiyacı ve komütatör ihtiyacı ortadan kalmaktadır. Sabit mıknatıs kutupları rotora yerleştirilmiş olup statora AA akım üreten armatür (endüvi) sargıları yerleştirilmiştir. Daha sonra AA, güç elektroniği elemanları vasıtasıyla DA'ya çevrilir. Bu şekildeki bir makine fırçalara ve komütatöre ihtiyaç duymaz, böylece güvenilirlik artırılmış olur. Bu şekildeki sabit mıknatıs kutuplu DA makineler ancak küçük boyutlu rüzgâr türbinlerinde kullanılabilir.

Bir doğru akım jeneratöründe indüklenen gerilim;

$$E_0 = \frac{Z.n.\Phi}{60}$$

Olur. Burada;

E_0 = Fırca uçlarındaki gerilim

Z = Armatürdeki (DC generatordeki dönen parça, Endüvi) toplam iletken sayısı

n = Devir sayısı [dev/dk]

Φ = Kutup başına düşen manyetik alan akısı [wb]

Bu eşitlikten anlaşılacağı üzere DA generatorde üretilen gerilim doğrudan kutup başına düşen manyetik alan akısı ve dönüş hızı ile doğru orantılıdır.

1.6.2. Alternatif Akım (AA) Makinaları

Bu gruptaki makinalar, senkron ve asenkron makinalardır. Asenkron makinalar sabit hızlı veya değişken hızlı sistemlerde kullanılabilirken, senkron makinalar normal olarak değişken hızlı sistemlerde güç elektroniği ile birlikte kullanılır.

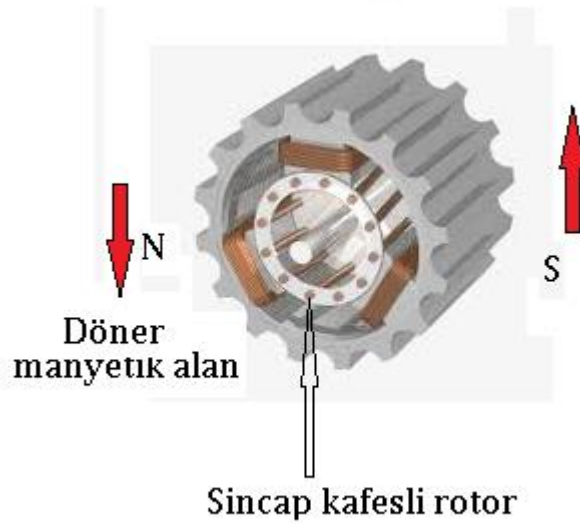
1.6.2.1. Asenkron Makinalar

➤ Sincap kafesli asenkron makinalar

Rotorun üzerinde açılmış oluklara gömülü olan izolesiz bakır çubukların rotorun her iki ucundan çıkan uçlarını bir halka ile birleştirilmesi veya kısa devre edilmesi ile meydana getirilir. Asenkron jeneratörün stator oluklarında ise 3 fazlı sargı gruplarının döner alan meydana getirecek şekilde yerleştirilmesi ile meydana getirilmiştir. Stator sargılarından dolaşan akım sayesinde rotor etrafında döner bir manyetik alan meydana gelir. Bu manyetik alan asnkron makinelerin en temel ve önemli çalışma özelliğidir. Burada ki döner manyetik alanın açılal hızı aynı zamanda senkron hızdır ve n_s ile gösterilir.

$$n_s = \frac{60 \cdot f}{P}$$

f = Frekans, P = manyetik alan kutup çifti



Şekil 1.10: Sincap kafesli asenkron makine

Şekil 1.10'da döner manyetik alan içerisindeki sincap kafesli rotorlu asenkron makinenin görülmektedir. Stator sargıları yüksek manyetik geçirgenliğe sahip bir nüve içerisine yerleştirilmiştir. Böylece düşük uyarma akımları ile istenilen manyetik alan yoğunluğu elde edilmiş olur.

Statorda meydana gelen döner manyetik alan senkron hıza (ns) sahiptir. Statordaki bu manyetik alan rotor çubuklarını kesecek ve rotorda bir gerilim endükleyecektir. Bu durum her rotor dönüşünde devam edecek ve stator akıları (Φ) rotor tarafından kesilecek ve gerilim endüklemesi faraday yasasına göre birim zamanda kesilen kı miktarı kadar gerilim endüklenecektir.

$$e = -\frac{\Delta\phi}{\Delta t}$$

Endüklenen bu gerilim rotorda bir sürkülasyon akımı meydana getirir. Rotorda meydana gelen bu akım ile stator akısı arasında oluşan etkileşim makinada bir momente (T) neden olur. Bu momentin (T) büyüklüğü;

$$T = K.\phi.I_2.Cos\varphi_2$$

Formülde K = Oransallık katsayısı, Φ = Stator akısı, φ_2 = Rotorun akım ve gerilimi arasındaki faz açısı, I_2 = Rotor çubuklarındaki akımı ifade etmektedir. Rotor bu momentle ivme kazanacaktır. Rotora herhangi bir yük bağlı olmaksızın, yani boşta çalıştırıldığında, sürtünme ve kayıplar ihmal edildiğinde, rotorun hızı statorun döner alan hızı ile aynı olacaktır. Rotor senkron hızda dönecek ve rotorda bir akım indüklenmez ve moment oluşmaz. Herhangi bir yük rotora bağlandığında bu yük rotoru yavaşlatacak ve stator döner alanı ile arasında bir bağıl hız oluşturacak ve ve rotor sargılarında akım indükleneceğinden bir momen ortaya çıkacaktır. İndüklenen gerilim ile akım ve dolayısıyla momen rotorda üretilir. Makine bu durumda motor olarak çalışır ve bu hızda yükü kaldırabilecek kadar bir moment üretmesi gerekecektir.

Eğer bu rotorumuzu bir rüzgâr türbinine bağlarsak ve statorda meydana gelen döner alan hızından (senkron hız) daha yüksek bir hızla döndürürsek, rotorda endüklenen akım ve momentin yönü motor çalışma durumuna göre ters yönde olur. Bu durumda makinemiz jeneratör olarak çalışır. Türbindeki mekanik güç elektrik gücüne çevirir ve statorun uçlarından yükü beslemiş oluruz. Eğer bu makinemizi şebekeye uygun şekilde paralel bağlarsak şebekeye güç temin etmiş oluruz.

Senkron makinanın çalışma prensibi transformatöre benzetilebilir. Statordaki yüksek gerilim sargıları, stator üserinde kısa devre edilmiştir ve güç her iki sargı yönünde de akabilme imkânına sahiptir. Stator ile rotor arasındaki hız farkını ifade eden bağıl hız, kayma olarak ifade edilir ve “s” ile gösterilir.

$$s = -\frac{(ns - nr)}{ns} = 1 - \frac{nr}{ns}$$

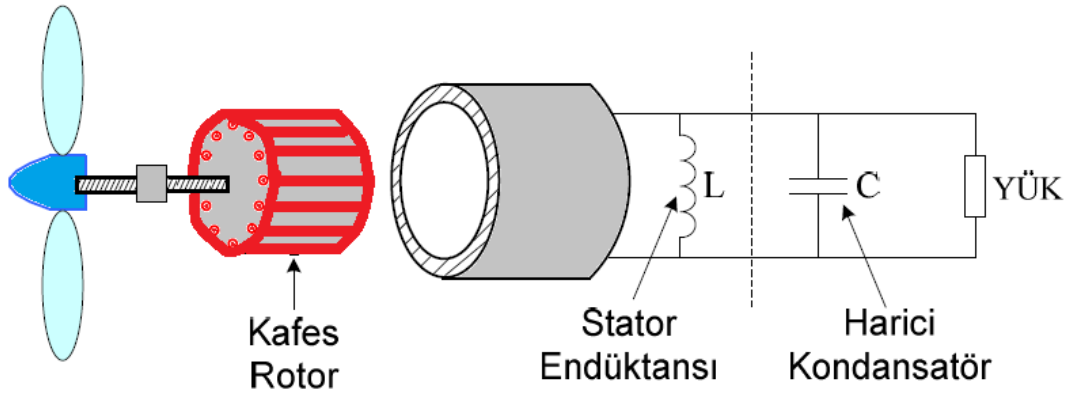
Burada “s” rotorun kaymasını, ns senkron hızı = 60.f/P ve nr ise rotor hızını temsil etmektedir.

NOT: “s” motor çalışmada pozitif değer alırken, jeneratör çalışmada ise negatiftir. “s” büyüdükçe elektromekanik enerji dönüşümü artar ve elektriksel kayıplarda artar. Elektriksel kayıplar ısı şeklinde açığa çıktığından bu ısının rotordan uzaklaştırılması gerekir. Küçük makinelerde bu işlem fanlar ile yapılırken büyük boyutlu makinelerde su sürkülasyonu ile yapılmaktadır.

Asenkron makinanın rotoruna etki eden rüzgâr hızı senkron hızı aşacak şekilde olduğunda makinada jeneratör çalışma başlayacaktır. Elde edilen elektrik enerjisi şebekeye aktarılacaktır. Fakat bu çalışma esnasında 3 fazlı mıknatıslanma akımı nereden temin edilecektir? Eğer makine şebekeyle paralel çalışıyorsa bu akım şebekeden temin edilir. Bunun dışındaki durumlarda ise makinaya harici bir kondansatör bağlanarak makinanın ihtiyaç duyduğu uyarıtık akımı sağlanmış olur.

Kendinden uyarıtlı jeneratörün temel çalışma prensibi statör sargılarının sahip olduğu endüktansa dışarıdan bir kondansatör bağlanarak rezonans durumu meydana getirmektir. Buradaki rotor uyarıtım frekansı dışarıda bağlanmış kondansatörün boyutuna bağlıdır. Bu kondansatör tek yönlü olarak rüzgâr türbin hızını kontrol etme imkânı sağlar.

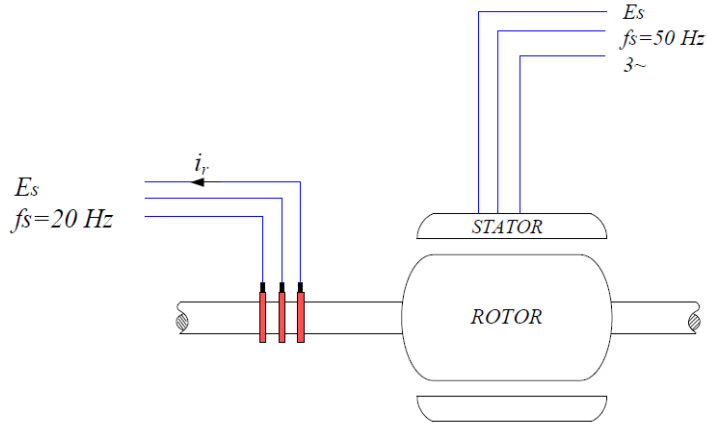
Asenkron jeneratörlerin bir diğer önemli avantajıda ani ve sert rüzgâr değişimlerinde oluşabilecek zararlı darbeleri absorbe etmesidir. Çünkü rüzgâr hızının ani değişmesi s kaymasının artmasına veya azalmasına neden olacak ve dolayısıyla mekanik ekipmanlar üzerinde rüzgârın oluşturduğu zararları absorbe edilmesine yardımcı olacaktır.



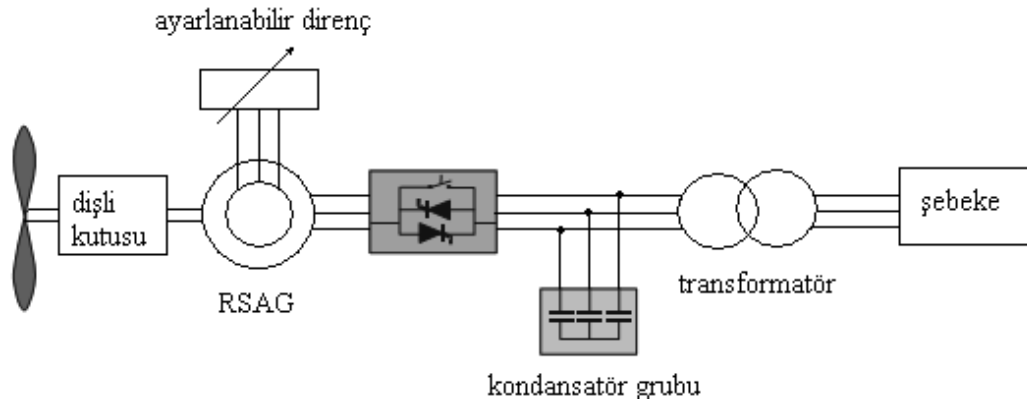
Şekil 1.11: Kendinden uyarıtlı asenkron jeneratör

➤ Rotoru sargılı (bilezikli) asenkron makinalar

Asenkron makinanın statorunda var olan sargılara benzer 3 fazlı sargılar rotor üzerinde de vardır. Rotor sargıları rotor oluklarına düzgün olarak dağıtılır ve bu 3 faz sargıların çıkış uçları yıldız olarak bağlanır. Sargıların diğer uçları ise rotor üzerindeki bilezik ve fırçalar üzerinden dış devreye alınır. Bu uçlar dış devrede ya direnç veya frekans dönüştürücüye bağlanır. Böylece bu tipteki asenkron makinaların rotor ve stator sargıları birbirinden farklı frekanslara sahip iki farklı alternatif akım kaynağına bağlanabilir. Böylece yol alma akımı sınırlandırıldığı gibi hız ayarında yapılabilir.



Şekil 1.12: Rotoru sargılı asenkron makina

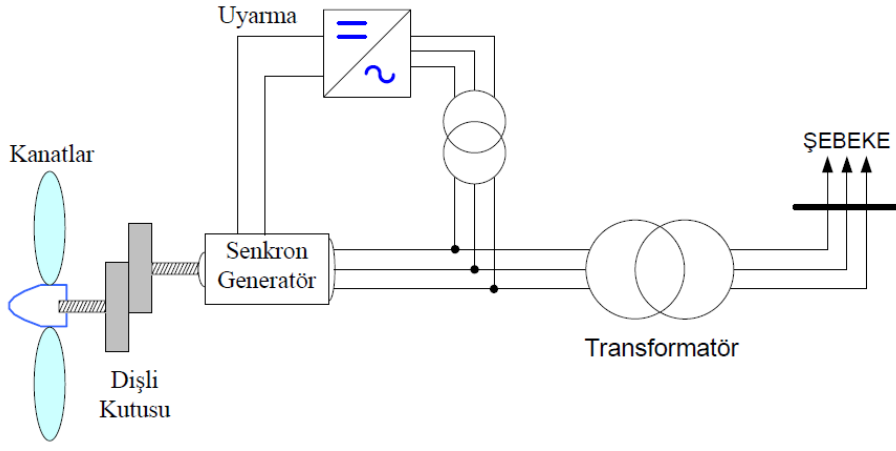


Şekil 1.13: Rüzgâr türbinine bağlanmış rotoru sargılı asenkron makinanın şebeke bağlantısı

1.6.2.2. Senkron Makinalar

Senkron makine belirli sabit bir frekans üreten ve sabit hızda çalışan bir elektrik makinasıdır. Bu yüzden rüzgâr türbinlerinde değişken hızlardaki işletmelere uygun değildir. Bunun yanında senkron makinanın doğru akım uyarıma ihtiyaç duyduğundan bilezikler üzerinde karbon fırçalara ihtiyaç duyar. Bu durum senkron makinanın rüzgâr türbinlerinde kullanılmasında sınırlamalara neden olmaktadır. Bunun yanında senkron makine şebeke ile paralel çalıştığında asenkron makinaya göre daha uyumlu ve üstün bir özelliğe sahiptir çünkü senkron makinanın şebekeden gelecek olan herhangi bir reaktif güce ihtiyaç duymamaktadır. Fakat günümüzde rüzgâr santrallerinde kullanılan elektrik jeneratörü genellikle asenkron makinalardır.

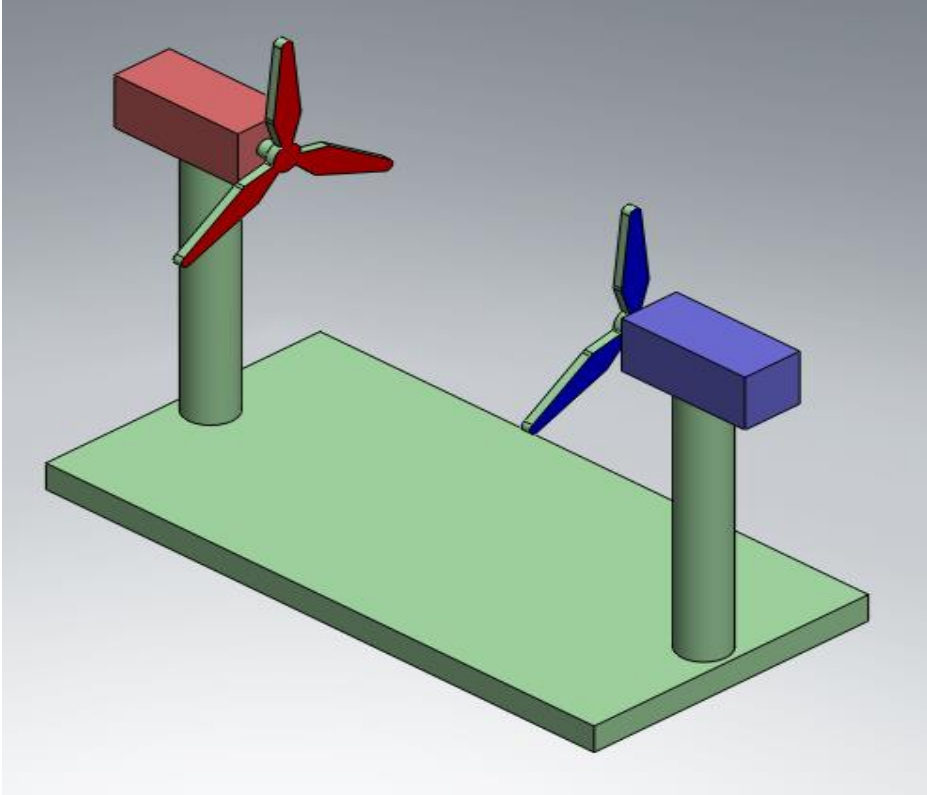
Senkron jeneratörler ada şebeke uygulamalarında bağımsız (stand-alone) uygulamalar için uygundur. Senkron makinanın şebekeye direkt olarak bağlanması sonucu oluşacak bir diğer olumsuz durum ise şebekedeki yük değişimlerinin jeneratör üzerinde yüksek mekanik zorlamalar neden olmasıdır. Bu nedenlerden dolayı senkron makinalar genellikle şebekeye direkt olarak bağlanmaz.



Şekil.14: Senkron jeneratörün doğrudan şebeke bağlantısı

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki şekilde farklı rüzgâr hızlarına göre pervane hızlarını gözlemleyiniz.



Rüzgâr gücü ölçüm seti

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Elektrik motoru ve sürücü bağlantısını yapınız.➤ Jeneratör ve yük bağlantısını yapınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Devreyi kurmadan önce devre elemanlarını ölçerek kontrol ediniz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Elektrik motoruna enerji veriniz.➤ Jeneratör çıkışındaki akım ve gerilimi ölçünüz.	<ul style="list-style-type: none">➤ Gerekli güvenlik tedbirlerini alınız.
<ul style="list-style-type: none">➤ Elektrik motorunun hızını yükseltiniz.➤ Jeneratör çıkışındaki akım ve gerilimi ölçünüz.	<ul style="list-style-type: none">➤ Ölçüm yapacağınız voltmetre ve ampermetrenin kademe ayarlarını yapınız.

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. İş ile ilgili güvenlik tedbirlerini aldınız mı?		
2. Elektrik motorunu bağlantılarını yaptınız mı?		
3. Jeneratör bağlantılarını yaptınız mı?		
4. Elektrik motoruna enerji verdiniz mi?		
5. Jeneratör çıkışında akım ve gerilimi ölçtünüz mü?		
6. Rüzgâr hızını yüksettiniz 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. () Hareket hâlindeki havanın kinetik enerjisine rüzgâr enerjisi denmektedir.
2. () Rüzgâr hızının iki katına çıkması gücün 6 kat artması anlamına gelir.
3. () Senkron makine değişken bir frekans üreten ve sabit hızda çalışan bir elektrik makinasıdır.
4. () Senkron makinalar genellikle şebekeye direkt olarak bağlanmazlar.
5. () Sincap kafesli asenkron makinalarda kayma (s) motor çalışmada pozitif değer alırken, jeneratör çalışmada ise negatiftir.

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

6. Yüksek dönüş hızına sahip mekanik enerjiye çevrilmiş rüzgâr enerjisi aracılığı ile elektrik enerjine dönüştürülür.
7. Türbinler genellikle eksenli rüzgâr türbinleri ve eksenli rüzgâr türbinleri olarak iki farklı şekilde tasarlanırlar.
8. Rüzgâr akışındaki mekanik güç rüzgâr hızına bağlı olarak değişimi hızın ile orantılı olarak değişmektedir.
9. Yani kanat çapı iki katına çıkarıldığında, rüzgâr gücü katına çıkar.
10. Türbini yüksek hızlı rüzgârlara maruz bırakmak için türbinleri daha kulelere monte etmek gerekir.
11. Rüzgâr hızı yeryüzü ile olan ve dolayı oldukça fazla etkilenir.
12. Rüzgâr türbinlerindeki, rüzgârın kinetik enerjisini dönen mil gücüne çevirerek jeneratörün dönmesini sağlamaktadırlar
13. asenkron makine rotorunun üzerinde açılmış oluklara gömülü olan izolesiz bakır çubukların rotorun her iki ucundan çıkan uçlarını bir halka ile birleştirilmesi veya kısa devre edilmesi ile meydana getirilir.

14.ada Şebeke uygulamalarında bağımsız (stand-alone) uygulamalar iÇin uygundur.

AŞağıdaki problemleri  ozünüz.

15. 0  C'de ve 1 atmosfer basınÇ altında 8 m/s rüzgâr hızında 100 saatlik bir çalışma süresince 1m² lik alanda  retilbilecek enerji miktarını hesaplayınız. $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$
16. 0  C'de ve 1 atmosfer basınÇ altında 4 m/s rüzgâr hızında 50 saat boyunca ve 12 m/s rüzgâr hızında 100 saat lik bir çalışma süresince 1m² lik alanda  retilbilecek toplam enerji miktarını hesaplayınız. $\rho = 1,293 \text{ kg/m}^3$

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

Bu öğrenme faaliyeti sonunda alternatif akım ile ilgili temel bilgileri edinecek ve alternatif akımın temel değerlerini ölçerek hesaplamalarını yapabileceksiniz.

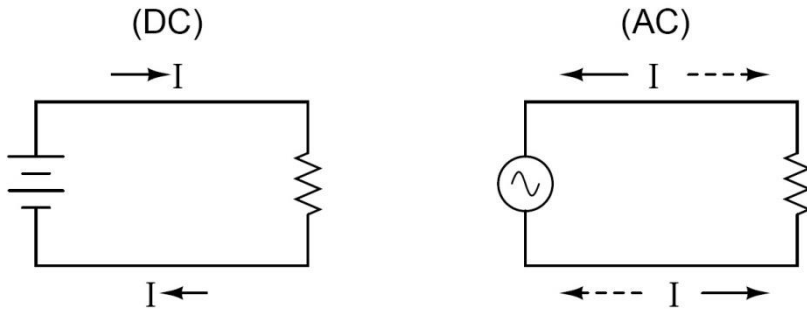
ARAŞTIRMA

- Alternatif akım üretim ve iletim teknikleri hakkında araştırma yaparak edindiğiniz bilgileri sınıf ortamında arkadaşlarınızla paylaşınız.
- Alternatif akımın elde edildiği makineler olan alternatörler hakkında bilgi toplayarak arkadaşlarınızla paylaşınız
- Alternatif akım eğrisinin neden sinüzoidal olduğu hakkında bilgi toplayarak edindiğiniz bilgileri arkadaşlarınızla paylaşınız
- Elektrikli cihazların prizlerin üzerinde bulunan yazıların (220Vac, 50hz vb.) anlamlarını araştırınız.

2. ALTERNATİF AKIM

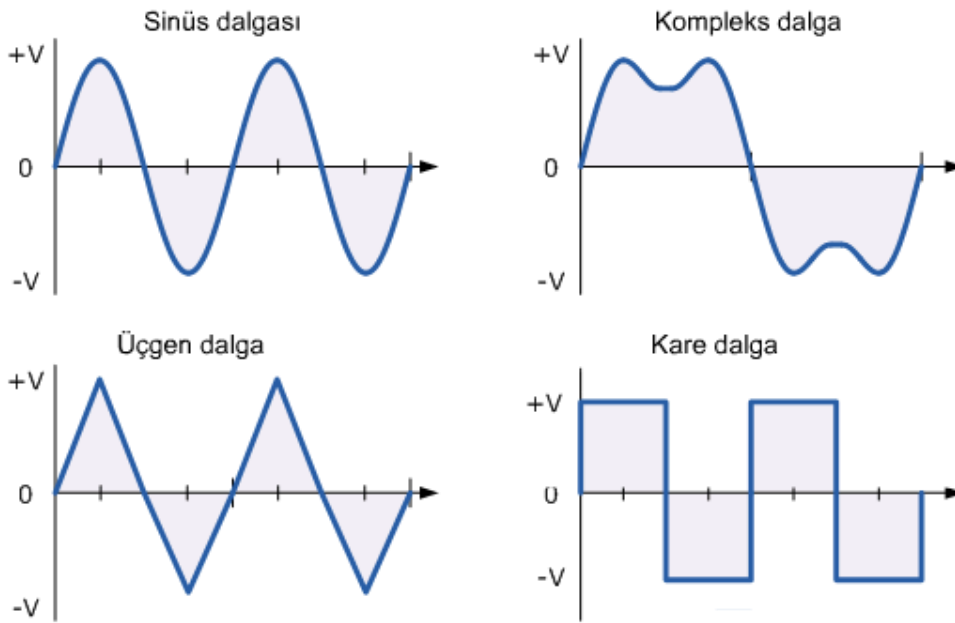
2.1. Alternatif Akımın Tanımı

Zaman içerisinde yönü ve şiddeti belli bir düzen içerisinde değişen akıma alternatif akım denir. En bilinen A.C dalga biçimi sinüs dalgasıdır. Yine de farklı uygulamalarda üçgen ve kare dalga gibi değişik dalga biçimleri de kullanılmaktadır.



Şekil 2.1: Doğru ve alternatif akım

Doğru akım ve alternatif akım devrelerinde akım yönleri Şekil 2.1’de görüldüğü gibidir. D.C. gerilim kaynağı bulunan devrede akım üreticinin “+” kutbundan “-” kutbuna doğru direnç üzerinden geçerek ulaşır. A.C gerilim kaynağı bulunan devrede ise kaynağın sabit bir “+” ya da “-” kutbu yoktur. Kutuplar sürekli değiştiği için her kutup değişiminde direnç üzerinden geçen akımın da yönü değişecektir. Bu şekilde zamana göre yönü ve şiddeti değişen akıma alternatif akım denir. Alternatif akımın direnç üzerinden geçmesini sağlayan gerilim kaynağına ise alternatif gerilim kaynağı denir.



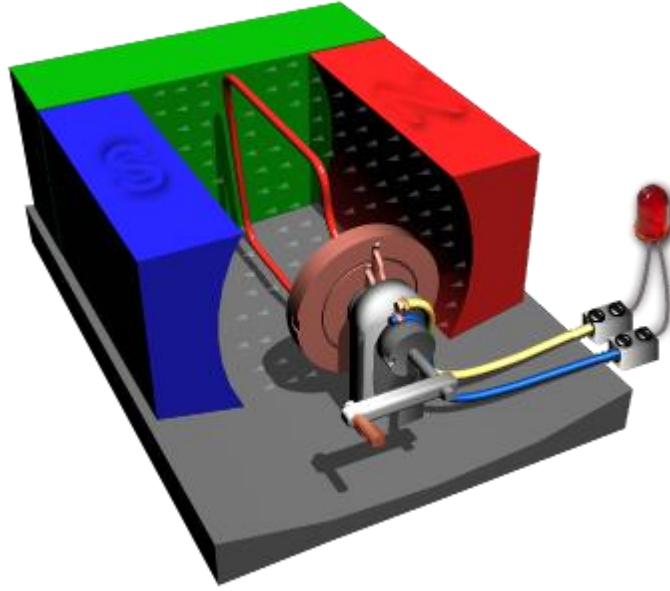
Şekil 2.2: Alternatif akım eğrileri

Bir alternatif gerilim kaynağının uçlarından birinin potansiyeli toprağa göre sıfır (0) iken diğer ucun potansiyeli sürekli artı (+) ve eksi (-) şeklinde farklı değerler almaktadır. Kaynağın sıfır potansiyelli ucu nötr olarak adlandırılırken diğer uç faz ya da canlı uç olarak adlandırılmaktadır. Şekil 2.2’de farklı alternatif kaynaklarına ait gerilim eğrileri görülmektedir.

Üretim ve iletim avantajlarının dışında alternatif akım kullanımında da bazı avantajlara sahiptir. Örneğin alternatif akım makinelerinin daha basit yapıda ve daha az bakım gerektirmeleri ve doğru akım ihtiyacı olan cihazlar için kolaylıkla doğru akıma çevrilebilmesi alternatif akımın başlıca üstünlükleridir. Doğru akımın alternatif akıma dönüştürülmesi işlemi daha karmaşık ve daha pahalıdır.

2.2. Alternatif Akımın Elde Edilmesi

Alternatif akım ya da gerilimin elde edilmesinde alternatör denilen aygıtlar kullanılır. Bir fazlı alternatör modeli ve A.C’nin elde edilmesi Resim 2.1 ve Şekil 2.3’te gösterilmiştir.

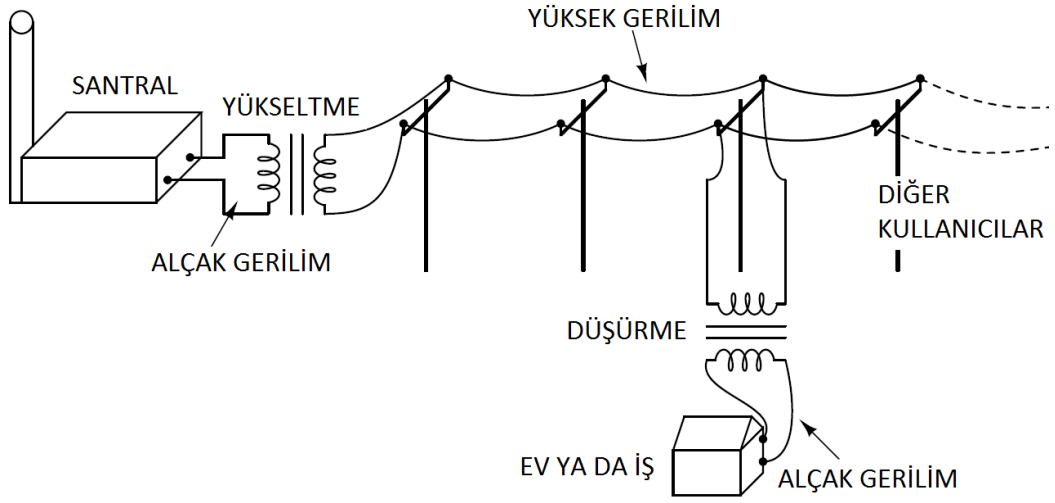


Resim 2.1: Bir fazlı alternatör modeli

Manyetik alan içinde tel çerçeve dönerken bir tam devir için (360° lik dönüş için) geçen süre T ise bu süre içinde akımın zamana bağlı değişimi, aşağıdaki şekilde gibidir. Tel çerçevenin harekete başladığı an ile $T/4$ zaman aralığında akım, sıfırdan pozitif maksimum değerine ulaşır. $T/4$ ile $T/2$ zaman aralığında akım maksimum değerinden en küçük değerine iner. $T/2$ ile $3T/4$ zaman aralığında sıfırdan negatif maksimum değerine ulaşır. $3T/4$ ile T zaman aralığında ise akım ters yönde maksimum değerinden başlangıç konumuna döner. Böylece tel çerçeve 360° dönmüş olur. Akım bu esnada iki kez yön değiştirir.



Şekil 2.3: Manyetik alan içinde hareket eden iletken

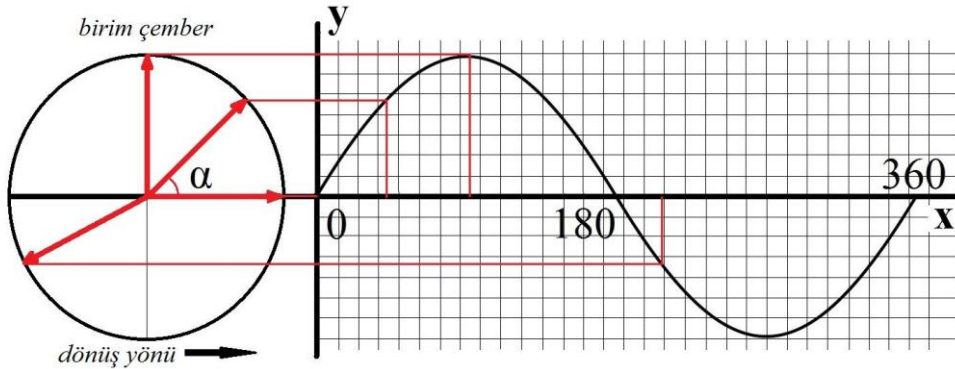


Şekil 2.4: A.C gerilimin üretilmesi ve aktarılması

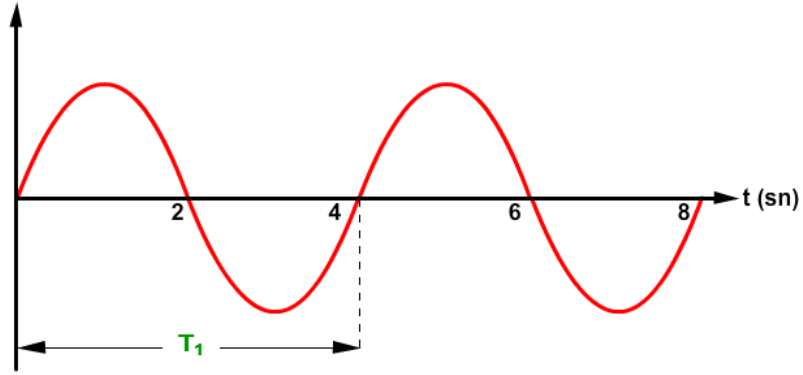
A.C gerilim, elektrik santrallerinde çok daha büyük alternatörler yardımıyla üretilir. Üretilen bu A.C gerilim iletim hatlarında meydana gelebilecek kayıpları azaltabilmek için transformatörler ile yükseltilir. Gerilim yükseltilirken akım düşürülerek iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin çapları da küçültülmüş olur. Son kullanıcıya ulaştırılmadan önce bu yüksek gerilim tekrar transformatörler ile düşürülür. Bu sefer gerilim düşürülürken akım yükseltilmiş olur (Şekil 2.4). Bu konuda ayrıntılı bilgi transformatörler konusunda verilecektir.

2.3. Sinüs Dalgası

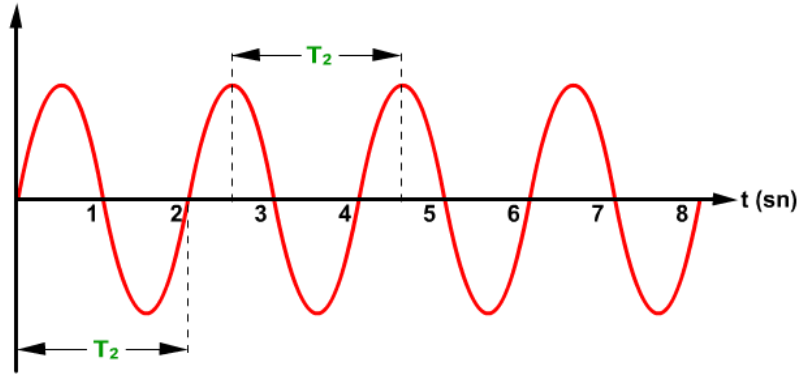
Alternatör ile A.C gerilim üretilirken akım yönünün zamanın bir fonksiyonu olarak sürekli değiştiğinden daha önce bahsedilmişti. Alternatör ile üretilen bu alternatif akım ya da gerilimin şekli sinüs dalgası (sinüzoidal sinyal) olarak isimlendirilir.



Şekil 2.5: Sinüs dalgası



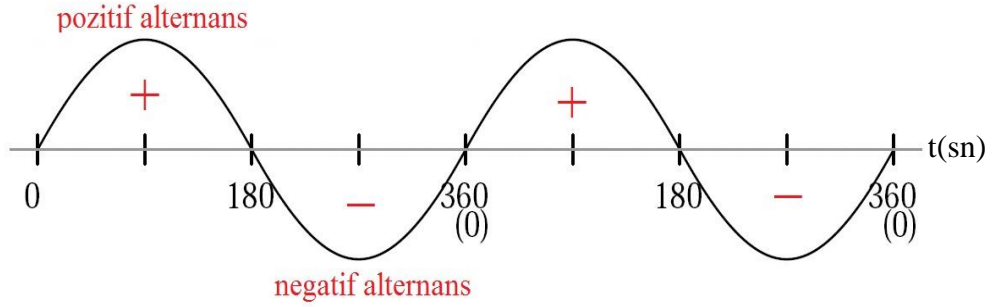
Şekil 1.7: Sinüs dalgasında periyot



Şekil 1.8: Sinüs dalgasında periyot

2.3.3. Alternans

Bir sinüs sinyalinde x eksenini referans olarak kabul edilirse sinyalin x ekseninin üzerinde kalan kısmı pozitif (+) alternans, altında kalan kısmı ise negatif (-) alternans olarak isimlendirilir.(Şekil 2.9)



Şekil 2.9: Sinüs dalgasında alternans

2.3.4. Frekans

Frekans, sinüs sinyalinin bir saniyede tekrarlanan saykıl sayısıdır. Bir A.C sinyalin frekansından bahsedebilmek için o sinyalin bir periyoda sahip olması gerekir. Diğer bir deyişle bir A.C sinyal belirli bir saykılı sürekli tekrarlıyorsa o sinyalin frekansından söz edilebilir.

Frekans periyodun matematiksel tersi olarak ifade edilir:

$$f = \frac{1}{T}$$

Bu denklemde f sinyalin frekansını belirtir ve birimi hertz (Hz)dir. En çok kullanılan üst katları kilohertz (1KHz=10³Hz), megahertz (1MHz=10⁶Hz) ve gigahertz [(giga, ciga diye okunur.) 1GHz=10⁹Hz]dir. T periyottur ve birimi saniye (s)dir. Örnek olarak Şekil 2.7'deki sinüs sinyallerinin frekansları aşağıdaki gibi hesaplanır.

Örnek 2.1: T1 = 0,25 s periyoda sahip sinyalin frekansı:

$$f = \frac{1}{0,25s} = \frac{100}{25} = 4Hz$$

Örnek 2.2: Şekil 1.9'daki sinyalin periyodu T2 = 0,5 s periyoda sahip sinyalin frekansı:

$$f = \frac{1}{0,5s} = \frac{10}{5} = 2Hz$$

olacaktır.

Frekans, A.C sinyalleri ifade edebilmek için kullanılan çok önemli bir parametredir. Bu nedenle frekansın ve diğer A.C parametrelerinin iyi kavranması ileride sıkça karşılaşılabilecek bu terimlerin karışıklık yaratmasının önüne geçecektir.

Alternatif gerilim santrallerde üretilir ve insanların kullanımı için evlere ve iş yerlerine taşınır. Kullanılan bu sinyalin sabit bir frekansı vardır. Avrupa ülkelerinde şebeke geriliminin frekansı 50 Hz, ABD'de ise 60 Hz'dir. Yani evlerde kullanılan A.C gerilim saniyede bir saykılı 50 ya da 60 kez tekrar eden bir dalga şeklindedir.

2.3.5. Açısal Hız

Sinüs sinyalinde açısal hız, sinyalin saniyede radyan cinsinden kaç salınım yaptığını gösteren bir parametredir. Açısal hız ω (omega) ile gösterilir. Zamanın bir fonksiyonu olarak sinüs sinyalinin matematiksel olarak genel formu aşağıdaki gibidir:

$$y(t) = A.\sin(\omega t + \varphi)$$

Burada:

A : Sinyalin genliğini, yani sinyalin alabileceği en büyük gerilim değerini,

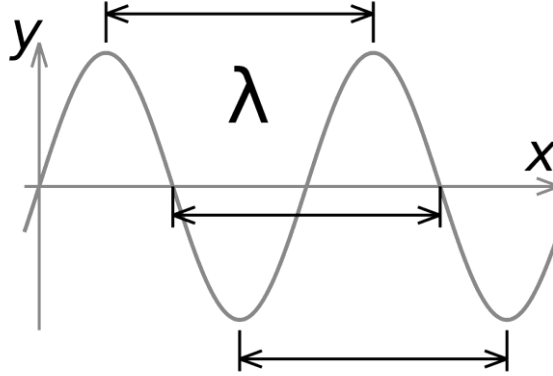
ω : açısal hızı,

φ : faz açısını, yani $t=0$ anındayken sinyalin açısal pozisyonunu belirtir.

$\omega = 2\pi \cdot f$ açısal hızı ifade eder.

2.3.6. Dalga Boyu

Dalga boyu, sinüs sinyalinin iki saykılıının birbirinin aynı olan iki noktası (örneğin saykıl başlangıçları) arasındaki uzaklıktır. " λ " ile gösterilir.(Şekil 1.10)



Şekil 2.10: Sinüs dalgasında dalga boyu

Dalga boyu aşağıdaki formülle ifade edilir:

$$\lambda = \frac{v}{f}$$

Burada:

λ : dalga boyunu, metre (m),

v : dalga hızını, metre/saniye (m/s),

f : sinyalin frekansını, hertz (Hz) ifade eder.

Elektromanyetik radyasyon ya da ışık serbest ortamda, ışık hızıyla yani yaklaşık 3×10^8 m/sn. hızla hareket eder. Havadaki ses dalgalarının hızı ise oda sıcaklığında ve atmosfer basıncında 343 m/sn'dir.

Örnek 2.3 100MHz frekansa sahip elektromanyetik (radyo) sinyalinin dalga boyu:

$$\lambda = \frac{3 \cdot 10^8}{100 \cdot 10^6} = 3m \text{ olarak bulunur.}$$

2.4. Alternatif Akım Değerleri

A.C'de sinyalin genlik değeri sürekli olarak değiştiğinden akım ve gerilim değerleri için birden çok ifade belirlenmiştir. Pratikte A.C için ani değer, maksimum değer, ortalama değer ve etkin değer olmak üzere çeşitli parametreler kullanılmaktadır.

2.4.1. Ani Değer

Sinüs şekline sahip ve şiddeti sürekli değişen alternatif akım ya da gerilimin herhangi bir t anındaki genlik değerine ani değer denir (Şekil 2.11). Ani değerler küçük harflerle gösterilir. Ani gerilim “ v ” ile ani akım ise “ i ” ile gösterilir. Ani değerler şu şekilde ifade edilir:

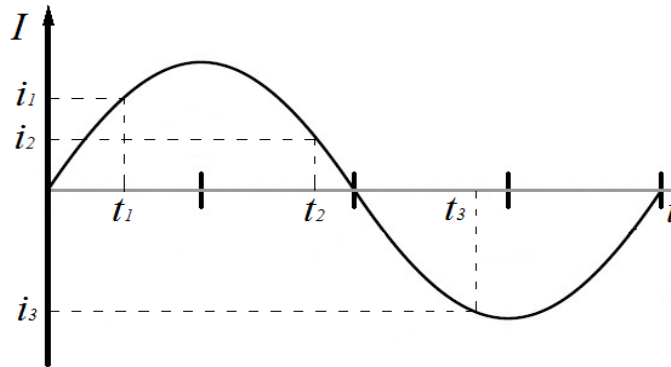
Akımın ani değeri:

$$i = I_m \cdot \sin \omega t$$

Gerilimin ani değeri:

$$v = V_m \cdot \sin \omega t$$

Burada V_m ve I_m , gerilim ve akımın maksimum değerleridir.



Şekil 2.11: Sinüs dalgasında ani değer

Örnek 1: $f = 50\text{Hz}$ frekansa sahip ve maksimum değeri $V_m = 220\text{V}$ A.C gerilimin $t = 20\text{ms}$ anındaki ani değeri bulunmak istenirse;

$$v = V_m \cdot \sin \omega t = 220 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot 2/100) = 220 \cdot \sin(2\pi) = 0\text{V} \text{ olarak bulunur.}$$

($\sin 2\pi = \sin 360 = 0$,dır)

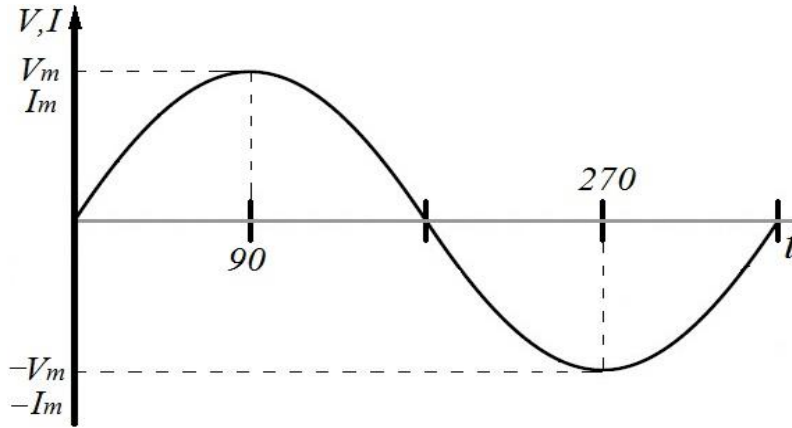
Örnek 2: Bir alıcı uçlarındaki 50Hz 'lik gerilimin maksimum değeri 310V 'dir. Alıcı uçlarında $t = 0,00166\text{s}$ anındaki gerilimin ani değerini hesaplayalım.

$$\omega = 360 \cdot f = 360 \cdot 50 = 18000$$

$$v = V_m \cdot \sin \omega t = 310 \cdot \sin(18000 \cdot 0,00166) = 310 \cdot \sin(30) = 310 \cdot 0,5 = 155V$$

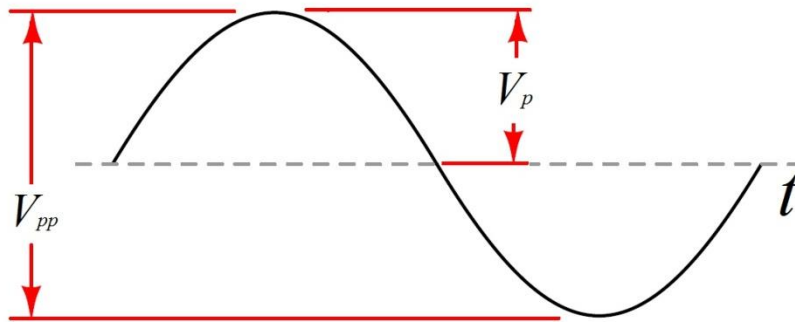
2.4.2. Maksimum Değer

Maksimum değer, alternatif akım ya da gerilimin ani değerlerinin en büyüğüdür. Gerilimin maksimum değeri V_m , akımın maksimum değeri I_m ile gösterilir. Sinüs dalga şekline sahip alternatif akım ya da gerilim, pozitif maksimum değerini $(+V_m, +I_m)$ 90° ya da $\pi/2$ 'de, negatif maksimum değerini $(-V_m, -I_m)$ ise 270° ya da $3\pi/2$ 'de alır.(Şekil 1.12)



Şekil 2.12: Sinüs dalgasında maksimum değer

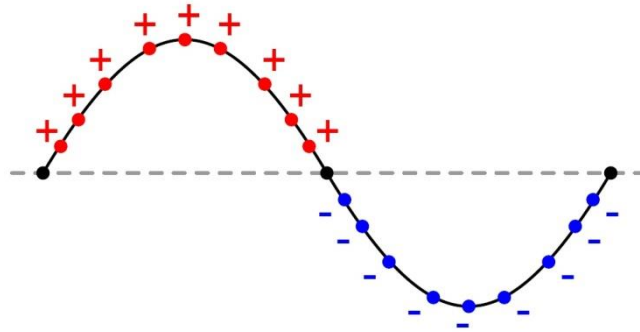
Sinüs dalgasında pozitif ve negatif maksimum değerler arasındaki genlik değerine tepeden tepeye gerilim denir ve V_{pp} (pp , İngilizce peak to peak –pik tu pik diye okunur-termininin kısaltmasıdır) olarak isimlendirilir (Şekil 2.13). Pozitif maksimum değer $+V_p$, negatif maksimum değer de $-V_p$ olarak da isimlendirilir.



Şekil 2.13: Sinüs dalgasında V_{pp} ve V_p değerleri

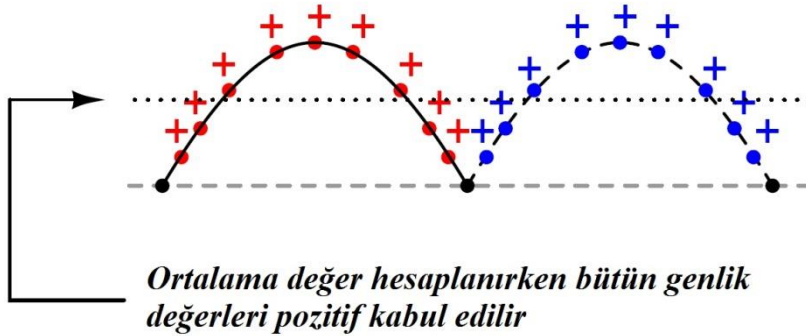
2.4.3. Ortalama Değer

Sinüs dalgasının ortalama değeri hesaplanmak istenirse bütün periyotlar birbirinin aynısı olduğundan sadece bir periyodun ortalama değerini bulmak yeterli olacaktır ancak Şekil 2.14'te görüldüğü gibi ortalama değer hesaplanırken periyot boyunca bütün genlik değerleri toplanmalı ve hesaba katılan genlik sayısına bölünmelidir. Toplama işlemi yapıldığında periyodun yarısı pozitif, diğer yarısı da negatif değerler aldığından sonuç sıfır çıkacaktır.



Şekil 2.14: Sinüs dalgasında ortalama değer

Ancak pratikte A.C bir gerilim kaynağının uçlarına yük olarak bir direnç bağlanırsa akımın yönü direnç üzerinden yayılan ısıyı etkilemez. Isı sadece akımın şiddetine bağlıdır. Bu nedenle uygulamada A.C akım ya da gerilimin ortalama değeri bulunurken bütün alternanslar pozitif olarak kabul edilir (Şekil 2.15) ve hesaplama buna göre yapılır.



Şekil 2.15: Sinüs dalgasında ortalama değer

Şekil 2.14'teki sadece pozitif alternansın ortalama değeri hesaplanacak olursa da

$$V_{ort} = 0,636.V_m$$

$$I_{ort} = 0,636.I_m \text{ eşitlikleri elde edilir.}$$

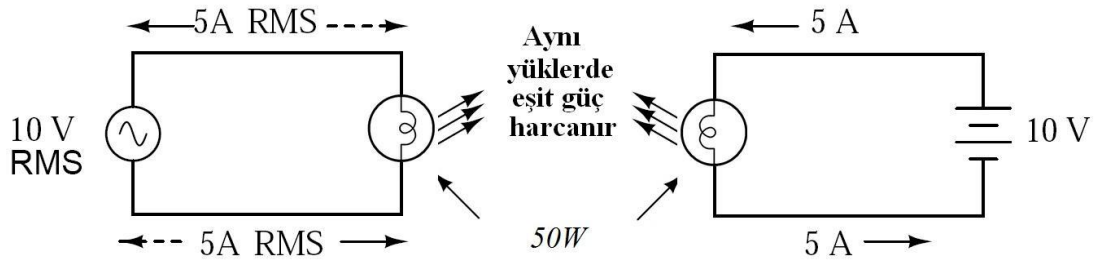
V_{ort} ifadesi yerine V_{avg} (avg/ average –evırıc diye okunur.) ifadesi de kullanılabilir.

Örnek 1: Şekil 1.15'teki sinüs sinyalinin maksimum değeri 10V ise bu sinyalin ortalama değerini hesaplayalım.

$$V_{ort} = 0,636.V_m = 0,636.10 = 6,36V \text{ olarak bulunur.}$$

2.4.4. Etkin Değer

Etkin değer, A.C'nin bir alıcı üzerinde yaptığı işe eşit iş yapan D.C karşılığıdır. Örnek olarak belirli bir zaman aralığında bir ısıtıcıya verilen alternatif akımın sağladığı ısı miktarını elde etmek için aynı ısıtıcıya aynı sürede uygulanan doğru akımın değeri alternatif akımın etkin değeridir.



Şekil 2.16: Sinüs dalgasında etkin (efektif) değer

Şekil 1.16'da etkin değeri 10V olan bir alternatif gerilim kaynağı ve 10V D.C gerilim kaynağı uçlarına 50W değerinde bir lamba bağlanmıştır. Bu gerilim kaynaklarından her ikisi de lamba üzerinden 5A RMS akım geçirir ve dirençler üzerinde 50W güç etkisi yaratır. Dolayısıyla her iki direnç de aynı miktarda ışık enerjisi yayar.

A.C ampermetrede ölçülen akım ve A.C voltmetrede ölçülen gerilim etkin değerdir. Etkin gerilim V ya da V_{eff} (V_e) ile ve etkin akım değeri ise I ya da I_{eff} (I_e) ile gösterilir. Alternatif akım veya gerilim değeri söylenirken aksi belirtilmediyse söylenen değer etkin değeri ifade eder.

RMS=Karesel ortalama değer (root mean square) anlamına gelir ve etkin değer, efektif değer olarak da isimlendirilir.

Örneğin, şebeke gerilimi 220V denildiğinde bu değer şebeke geriliminin etkin değeridir.

Sinüs dalgasının etkin değeri aşağıdaki gibi hesaplanır:

$$V_{eff} = 0,707.V_m$$

$$I_{eff} = 0,707.I_m$$

Örnek 1: 10 V maksimum değere sahip bir gerilim kaynağı 1Ω direnç ile seri bağlanmışsa direnç üzerindeki gerilimin RMS değeri;

$$V_{eff} = 0,707 \cdot V_m = 0,707 \cdot 10 = 7,07V$$

Direnç üzerinden geçecek akımın RMS değeri ise;

$$I_{eff} = \frac{V_{eff}}{R} = \frac{7,07V}{1\Omega} = 7,07A$$
 olarak bulunur.

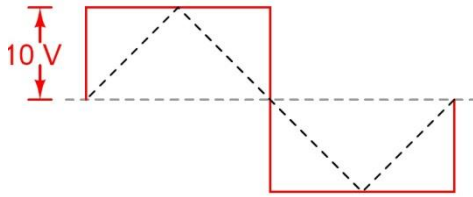
Örnek 2: Şehir şebeke gerilimi 220 V olduğuna göre maksimum değeri hesaplanacak olursa;

$$V_{eff} = 0,707 \cdot V_m \Rightarrow V_m = \frac{V_{eff}}{0,707} = \frac{220V}{0,707} = 311,17V$$
 olarak bulunur.

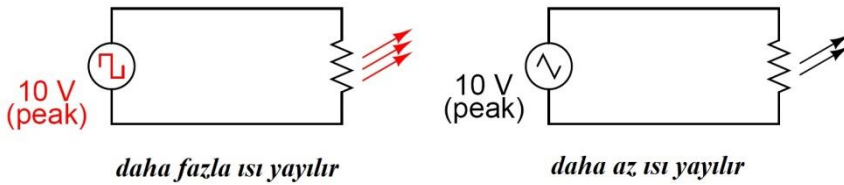
Şekil 1.17 incelendiğinde kare ve üçgen dalga şekillerine sahip ve her ikisinin de maksimum değeri 10V olan sinyallerin aynı direnç uçlarına uygulandığı görülmektedir. Kare dalgada $V_{eff} = V_p$, üçgen dalgada ise $V_{eff} = 0,577 \cdot V_p$ olduğundan uçlarına kare dalga uygulanan direnç daha fazla ısı yayacaktır.

Sinüs, kare ve üçgen dalgalarda etkin değer eşitlikleri incelendiğinde, büyüklük bakımından sıralamanın kare dalga, sinüs dalgası ve üçgen dalga şeklinde olduğu görülecektir.

Sinüs dalgasında $V_{eff} = 0,707 \cdot V_p$ olduğunu hatırlayınız.



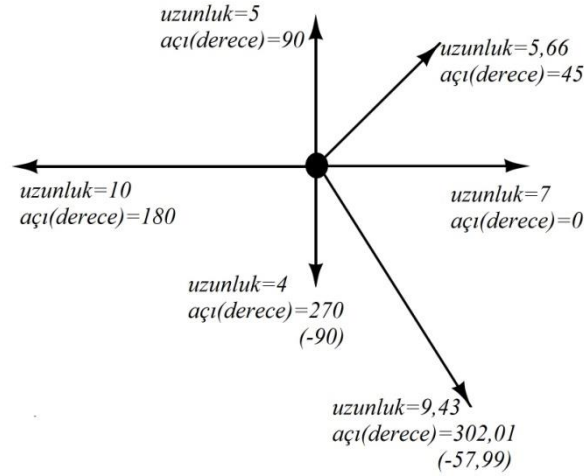
(aynı değerde yükler)



Şekil 2.17: Üçgen ve kare dalgada etkin değerler

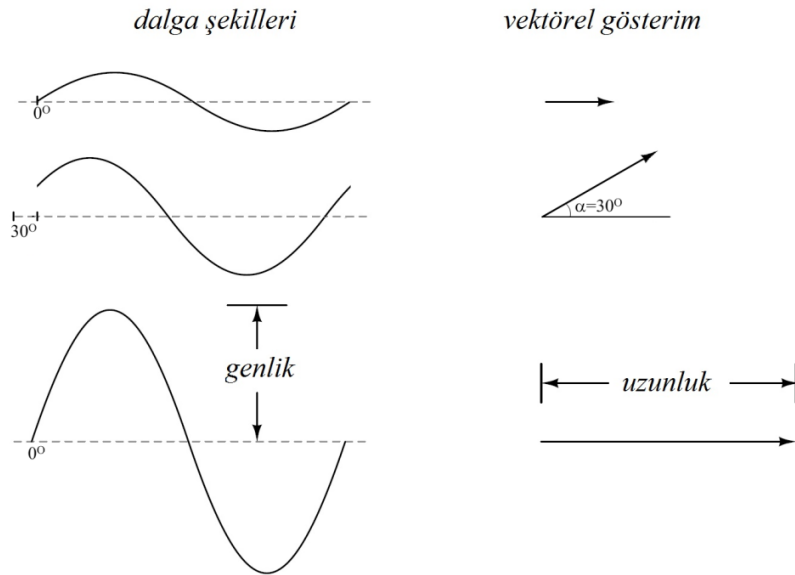
2.5. Alternatif Akımın Vektörlerle Gösterilmesi

Bir yönü, doğrultusu ve şiddeti (genliği) olan büyüklüklere vektörel büyüklükler denir. Vektörel büyüklükler aritmetik olarak toplanamaz. Alternatif akımın sinüs eğrisi ve eğriler arasındaki açı farkları dikkate alındığında, alternatif akımın da vektörel bir büyüklük olduğu kolaylıkla anlaşılabilir.(Şekil 1.18)



Şekil 2.18: Vektör gösterimleri

D.C bir gerilim kaynağının genlik değeri ya da bir direncin ohm cinsinden değeri birer skalar büyüklüktür. A.C bir gerilim kaynağının genlik değeri ise hem büyüklük hem de yön gösterilmesi gerektiği için vektörel bir büyüklüktür.



Şekil 2.19: Sinüs dalgasının vektörlerle gösterimi

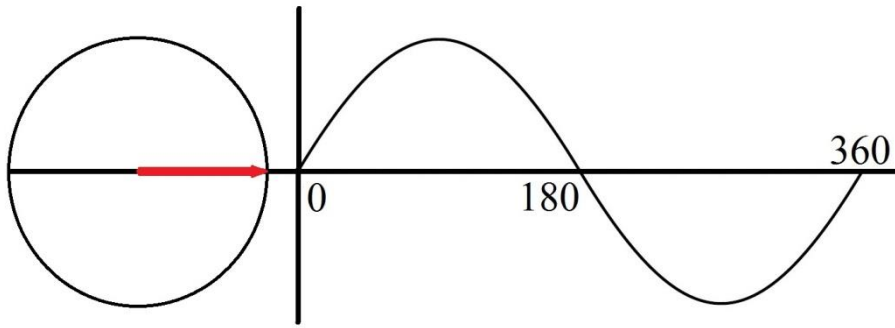
Bir doğru akım devresinde devre elemanlarından geçen akım ya da elemanlar üzerinde düşen gerilim değerleri skaler büyüklüklerdir. Alternatif akım devrelerinde ise akım ve gerilim değerleri devre elemanlarının cinslerine bağlı olarak skaler ya da vektörel olabilir. Şayet bir alternatif akım devresinde yalnızca sabit dirençler varsa akım ve gerilim değerleri skaler; sabit dirençlerin yanında bobin ya da kapasitör(ler) bulunuyorsa bu devrede akım ve gerilim değerleri vektörel büyüklüklerdir.

Alternatif akım devrelerinde bobin ve kapasitörler faz farkına neden olur. Aralarında faz farkı bulunan akım ve gerilim değerleri aralarında belli bir açı bulunan vektörlerle ifade edilir. Bu konuda ayrıntılı bilgi devre hesaplamalarında verilmiştir.

Şekil 1.19'da üç farklı sinüs sinyalinin vektörlerle gösterimi verilmiştir. Sinüs sinyallerinin üçünün de pozitif alternansı 0° de başlamıştır. Bu nedenle her birinin vektörü aynı doğrultudadır ancak vektörlerin uzunlukları farklıdır. Genliği (maksimum değeri) en büyük olan sinyalin vektörü en uzundur.

2.5.1. Sıfır Faz

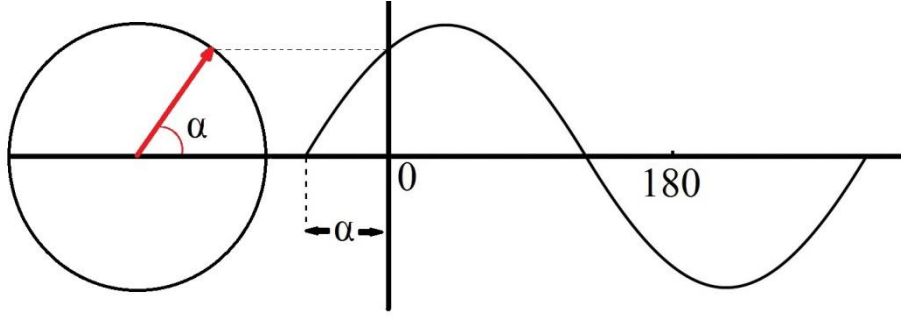
Eğer sinüs sinyali $t=0$ anında, x eksenini referans olmak üzere sıfır genlik değerinden başlayarak pozitif yönde artıyorsa bu sinyale sıfır fazlı sinüs sinyali denir. ω açısal hızı ile saat ibresinin tersi yönde dönen bir vektörün $t=0$ anında referans eksenini ile yaptığı açı sıfır ise bu vektöre sıfır faz vektörü denir.(Şekil 2.20)



Şekil 2.20: Sıfır fazlı sinüs sinyali

2.5.2. İleri Faz

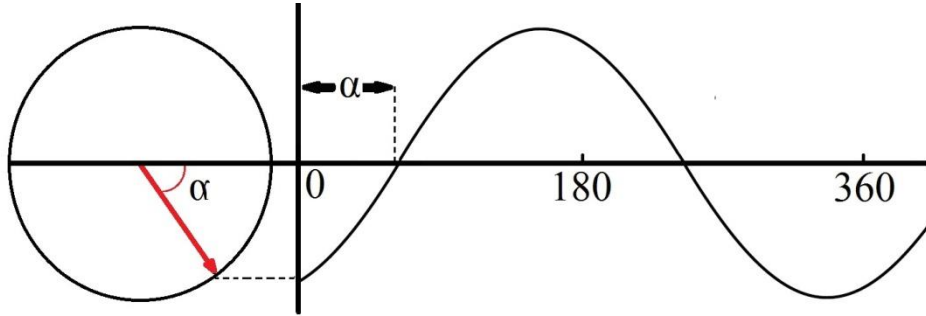
Eğer sinüs sinyali $t=0$ anından önce, x eksenini referans olmak üzere pozitif genlik değerinden başlayarak pozitif yönde artıyorsa bu sinyale ileri fazlı sinüs sinyali denir. ω açısal hızı ile saat ibresinin tersi yönde dönen bir vektörün $t=0$ anında referans eksenini ile yaptığı açı sıfırdan büyük ise bu vektöre ileri faz vektörü denir. Şekil 2.21'de sinüs sinyali, sıfır fazlı sinüs sinyalinden α (alfa) açısı kadar ileri fazdadır.



Şekil 2.21: İleri fazlı sinüs sinyali

2.5.3. Geri Faz

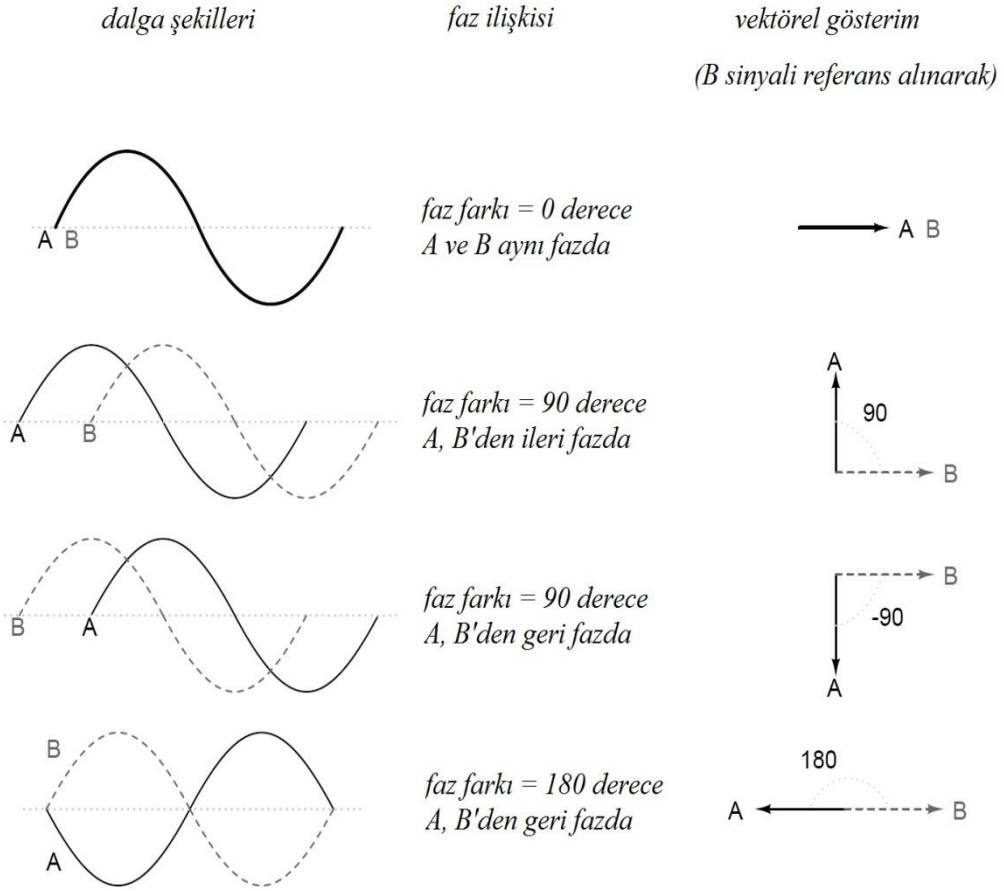
Eğer sinüs sinyali $t=0$ anından sonra, x eksenine referans olmak üzere negatif genlik değerinden başlayarak pozitif yönde artıyorsa bu sinyale geri fazlı sinüs sinyali denir. ω açısal hızı ile saat ibresinin tersi yönde dönen bir vektörün $t=0$ anında referans eksenine yaptığı açı sıfırdan küçük ise bu vektöre geri faz vektörü denir. Şekil 2.22’de sinüs sinyali, sıfır fazlı sinüs sinyalinden α açısı kadar geri fazdadır.



Şekil 2.22: Geri fazlı sinüs sinyali

2.5.4. Faz Farkı

Faz farkı, iki ya da daha çok sinyalin fazları arasındaki ilişkidir. Sinüs şekline sahip iki sinyalin faz farkından bahsederken iki sinyalden birinin diğerinden ileride ya da geride olduğu belirtilir ve bu fark açı, radyan veya zaman cinsinden ölçülendirilir. Şekil 2.23’te A ve B gibi iki sinüs sinyali arasındaki faz ilişkileri ve vektörel gösterimleri verilmiştir.



Şekil 2.23: A ve B sinyallerinin faz ilişkisi

2.6. Alternatif Akımın Etkileri

Alternatif akımın etkileri doğru akıma kıyasla farklıdır. Bunun nedeni, alternatif akım genliğinin yönü ve şiddetinin sürekli değişmesidir. Bobinli ve kapasitörlü devrelerde alternatif akımın etkileri akımın frekansı ile doğrudan ilişkilidir.

2.6.1. Isı Etkisi

Elektrik enerjisinin ısı etkisinden bahsedebilmek için önce iletkenlerin dirençleri üzerinde durmak gerekir. Her iletkenin çapı, uzunluğu ve yapıldığı malzemenin öz direnci ile ilişkili bir direnci vardır. Bu iletkenen elektrik akımı geçtiği zaman eğer iletken akım geçişine fazla zorluk gösteriyorsa bu zorluk iletken üzerinde ısı enerjisi olarak ortaya çıkar.



Resim 2.2: Elektrikli ısıtıcılar

Alternatif akımdan klasik ısıtma cihazlarından faydalandığı gibi üç fazlı akımla çalışan ark fırınları ve indüksiyon fırınlarında da faydalanılmaktadır.



Resim 2.3: Bir ark fırınında ergitme işlemi

Ark fırınları demir ve çelik ergitme işlerinde kullanılır (Resim 1.3). Bu fırınların çalışma prensibi elektrot-elektrot ya da elektrot-malzeme arasındaki arklara dayanmaktadır.

Endüksiyon fırınlarında ise çeşitli düzeneklerle akımın frekansı yükseltilir. Isıtılacak madde büyük bir bobinin içerisinde duracak şekilde yerleştirilir. Böylece malzeme bir transformatörün tek siperlik sekonder sargısı durumuna geçer (Resim 2.4).

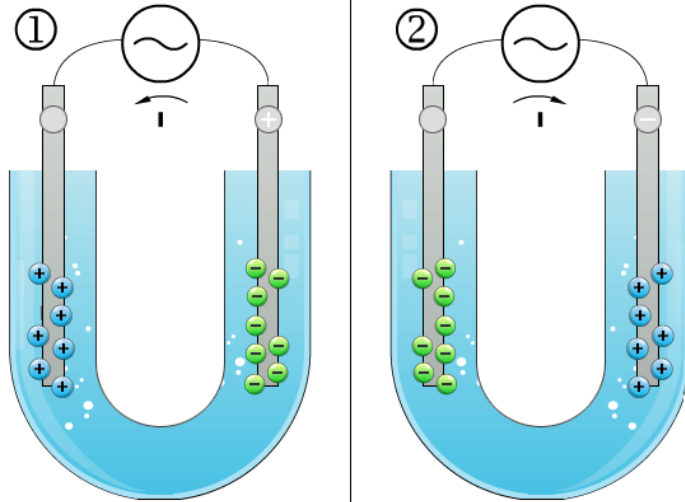
Bobinden yüksek frekanslı akım geçirilince malzemede indüksiyon gerilimi oluşur ve bu gerilim de malzemeden yüksek değerli akımlar (fuko akımı) dolaştırır. Malzemenin elektriksel direncine göre malzeme ısınır, hatta eriyebilir de (Resim 2.4). Endüksiyonla ısıtmanın en önemli avantajı klasik ısıtmaya göre daha az zamanda daha fazla ısıtmanın gerçekleşebilmesidir.



Resim 2.4: İndüksiyon fırınıyla ısıtma

2.6.2. Kimyasal Etkisi

Alternatif akımla, doğru akımla yapıldığı gibi elektroliz işleminden faydalanılamaz. Bunun nedeni alternatif akımın sürekli yön değiştirmesidir.



Şekil 2.24: Alternatif akımla elektroliz

Şekil 2.24'te görüldüğü gibi alternatif akım pozitif yönde geçerken anyonlar (- yüklü iyonlar) kaynağın pozitif ucuna bağlı elektroda giderken katyonlar ise kaynağın negatif ucuna bağlı elektroda gider. Alternans değiştiğinde yani negatif alternansa geçildiğinde akımın yönü değişeceğinden iyon hareketi bu defa tam tersi yönde olur.

Alternatif akımla elektrolizde elektrot cinsleri ve elektrolitik sıvı uyumu sağlandığı takdirde bazı gazların elde edilmesi mümkün olabilse de sistemin verimi, doğru akımla kıyaslanamayacak kadar düşük olur. Bu nedenle de gaz ayrıştırma işlemlerinde alternatif akımla elektroliz kullanılmaz.

Metallerin arılaştırılması, sertleştirilmesi ya da kaplanması işlemleri ise alternatif akımla elektrolizle gerçekleştirilemez. Yukarıdaki şekilde de görüldüğü gibi bir metalden kopan iyonlar akımın bir sonraki alternansında geri metale döneceklerdir.

Yukarıdaki açıklamalardan anlaşılacağı gibi alternatif akım kimyasal olarak depolanamaz.

2.6.3. Manyetik Etkisi

Bir elektromıknatıs bobininden doğru akım geçirildiğinde akımın yönüne bağlı olarak elektromıknatısın kutupları sabittir. Bir kutbu doğal mıknatısın bir kutbunu çekerse diğer kutbu doğal mıknatısın aynı kutbunu iter.

Bir telden alternatif akım geçirildiğinde ise telin etrafında sürekli şiddeti ve yönü değişen bir manyetik alan oluşur. Bu nedenle bir elektromıknatıs bobininden alternatif akım geçirilirse elektromıknatısın kutupları sürekli yer değiştirir.



Resim 2.5: Çeşitli transformatörler

Alternatif akımda bir elektromıknatıs kutuplarının sürekli yer değiştirmesi elektromıknatısın metal ve alaşımlarını çekmesinde bir sorun teşkil etmez. Bu konuda doğru akımdan tek farkı elektromıknatıs nüvesinin tek parça değil de birer yüzü yalıtılmış metal sacların preslenmesi ile yapılmasıdır.

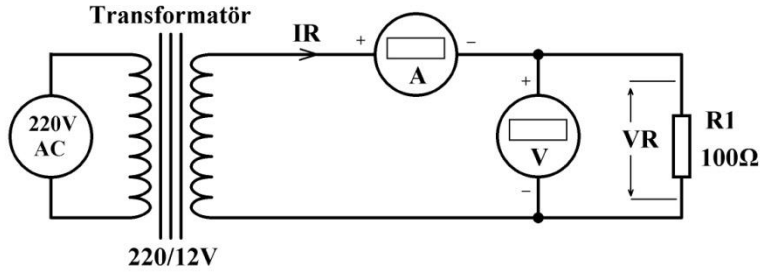


Resim 2.6: Motor

Alternatif akımın bu karakteristik özelliğinden en çok transformatörler ve asenkron motorlarda faydalanılır. Isı etkisi konusunda belirtildiği gibi indüksiyon fırınları da alternatif akımın manyetik etkisi ile çalışır.

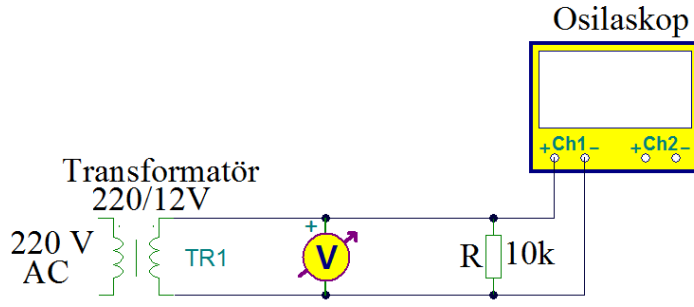
UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki uygulamaları yaparak Alternatif akım temel değerlerini ölçebilecek ve hesaplamalarını gerçekleştiriniz.



Transformatörlü uygulama devresi

İşlem Basamakları	Öneriler						
<ul style="list-style-type: none">➤ Şekildeki devre için gerekli olan malzemeleri ve cihazları hazırlayınız ve devreyi breadboard üzerine kurunuz.➤ Deney şemasında verilen devreye ait büyüklükleri hesaplayarak sonuçları gözlem tablosuna kaydediniz. <table border="1"><thead><tr><th></th><th>I_R</th><th>V_R</th></tr></thead><tbody><tr><td>Hesaplanan</td><td></td><td></td></tr></tbody></table>		I_R	V_R	Hesaplanan			<ul style="list-style-type: none">➤ Devreyi kurmadan önce devre elemanlarını ölçerek kontrol ediniz.
	I_R	V_R					
Hesaplanan							
<ul style="list-style-type: none">➤ Deney şemasında verilen devrenin girişine 220V 50Hz A.C uygulayınız.➤ Devreden geçen akımı ve direnç üzerine düşen gerilimi ölçerek sonuçları gözlem tablosuna kaydediniz. <table border="1"><thead><tr><th></th><th>I</th><th>V_R</th></tr></thead><tbody><tr><td>Ölçülen</td><td></td><td></td></tr></tbody></table>		I	V_R	Ölçülen			<ul style="list-style-type: none">➤ Hesaplama yaparken hesap makinesi kullanınız ve hata yapmamaya dikkat ediniz.
	I	V_R					
Ölçülen							
<ul style="list-style-type: none">➤ Hesaplama ve ölçüm sonuçlarını devre elemanlarının toleranslarını da göz önünde bulundurarak kıyaslayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Ölçüm yapacağınız voltmetre ve ampermetrenin A.C konumunda olduğundan emin olunuz.						



Transformatörlü uygulama devresi

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şekildeki devre için gerekli olan malzemeleri ve cihazları hazırlayınız ve devreyi breadboard üzerine kurunuz. ➤ Osilaskop ekranında görüntüyü tam olarak görmek için gerekli ayarları yapınız. ➤ Osilaskop ekranındaki görüntüyü çiziniz. <div data-bbox="238 1085 654 1425" style="border: 1px solid black; width: 280px; height: 164px; margin: 10px 0;"> </div>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ İş güvenliği tedbirlerini alınız. ➤ Osiloskop kullanımını ile ilgili bilgilerinizi tazeleyiniz.
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Volt/Div, Time/Div ve prob değerlerini not alınız. Volt/Div:..... Time/Div:..... Prob kademesi: 1x – 10x ➤ Voltmetrede okunan değeri not alınız. ➤ Devrenin enerjisini kesiniz. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ A.C voltmetrenin etkin değer ölçtüğünü hatırlayınız. ➤ Sinyal görüntüsü ve Time/div bilgisini kullanarak periyodu (T) daha sonra $f=1/T$ formülünü kullanarak frekansı hesaplayınız.

<ul style="list-style-type: none"> ➤ Osilaskop görüntüsüne göre sinyalin periyodunu ve frekansını hesaplayınız. ➤ Osilaskop görüntüsüne göre sinyalin tepeden tepeye, maksimum ve etkin gerilim değerlerini hesaplayınız. ➤ Voltmetrede ölçtüğünüz değerle önceki işlem basamağında bulduğunuz değerleri karşılaştırınız. 	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Sinyal görüntü ve Volts/div bilgisini kullanarak tepeden tepeye gerilimi hesaplayınız. $V_m = V_{pp}/2$ ve $V_{eff} = V_m \cdot 0.707$ formüllerini kullanarak maksimum ve etkin gerilim değerlerini hesaplayınız.
--	--

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.	Alternatif akımda temel değerlerin ölçümünü ve hesaplamalarını yapabildiniz mi?		
2.	Alternatif akımı vektörel olarak gösterebildiniz 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 soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Zaman içerisinde yönü ve şiddeti değişen akıma ne denir?
 - A. Alternatif Akım
 - B. Eğri Akım
 - C. Düzgün Akım
 - D. Doğru Akım
2. Aşağıdakiler hangisi şehir şebekesinde kullanılan alternatif akım sinyalidir?
 - A) Testere
 - B) Sinüs
 - C) Üçgen
 - D) Kare
3. Aşağıdakilerden hangisi alternatif akımın avantajlarından değildir?
 - A) Kolay üretilmesi
 - B) Kolay depolanması
 - C) Kolay düşürülmesi
 - D) Kolay yükseltilmesi
4. “Pozitif ve negatif alternans biroluşturur.” ifadesinde boş bırakılan yere aşağıdakilerden hangisi gelmelidir?
 - A) Periyot
 - B) Frekans
 - C) Hertz
 - D) Saykıl
5. Pozitif alternansını 0,1ms’de tamamlayan alternatif akımın periyodu hangisidir?
 - A) 2s
 - B) 0,1s
 - C) 0,2s
 - D) 1s
6. Periyodu 10 ms olan alternatif akımın frekansı kaç hertzdir?
 - A) 100Hz
 - B) 50Hz
 - C) 1000Hz
 - D) 20Hz

7. 50 Hz'lik alternatif akımın bir periyodu ne kadar sürer?
- A) 20 ms
B) 50 ms
C) 25 ms
D) 1 s
8. Etkin değeri 20V olan alternatif akımın maksimum değeri kaç voltur?
- A) 20 V
B) $10\sqrt{2}$ V
C) $20\sqrt{2}$ V
D) 10 V
9. Etkin değeri 20 V olan alternatif akımın ortalama değeri olarak kaç voltur?
- A. 10 V
B. 12,56 V
C. 18 V
D. 25 V
10. Alternatif akımın aşağıdaki etkilerinden hangisi uygulamada kullanılmaz?
- A. Manyetik etkisi
B. Isı etkisi
C. Işık etkisi
D. Kimyasal etkisi

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

Bu öğrenme faaliyeti sonunda alternatif akımda bobin ve kondansatör devrelerini kurarak sonuçlarını değerlendirebilecek, alternatif akımda direnç, bobin, kondansatörlerin seri-paralel devrelerini kurarak bu devrelerde ölçme ve hesaplamalar yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Bobin ve kondansatör elemanlarının A.C devrelerdeki davranışlarını araştırınız ve ulaştığınız sonuçları sınıf ortamında arkadaşlarınızla tartışınız.
- Bobinler için endüktans ve kondansatörler için kapasitans kavramlarını, kapasitans ve endüktansı etkileyen fiziksel faktörleri araştırarak sınıf ortamında arkadaşlarınızla tartışınız.
- Evde kullanılan prizler ile sanayi tesislerine kullanılan prizler niçin farklıdır? Elde ettiğiniz sonuçları rapor hâlinde sununuz.

3. ALTERNATİF AKIM DEVRELERİ

Bildiğiniz gibi alternatif akım sürekli yönü ve şiddeti değişen bir akımdır. Alternatif akımda bazı devre elemanları (bobin, kapasitör, yarı iletken devre elemanları) doğru akım devrelerinde olduğundan farklı davranır.

Bu konuyu basit bir örnekle açıklayabiliriz. Örneğin bir kapasitör doğru akım devresinde üzerinden geçen akımın miktarına bağlı olarak belli bir zaman sonra dolar. Dolduktan sonra da üzerinden akım geçirmez. Oysa alternatif akım devresinde akım sürekli yön değiştirdiğinden bir kapasitörden sürekli akım geçer.

Şimdi bobin ve kapasitörün alternatif akım devrelerindeki karakteristik özelliklerine daha yakından bakalım.

3.1. A.C Devrelerde Bobinler

Bobinler alternatif akımdaki özelliğinden dolayı A.C motorlar, transformatörler, doğrultma devreleri, flüoresan lambalar, endüksiyon fırınları vb. yerlerde ve elektroniğin farklı dallarında farklı amaçlar için kullanılmaktadır.(Resim 3.1)

3.1.1. Endüktans

Bobin doğru akıma karşı devreye enerji verildiği ilk anda nispeten büyük bir zorluk gösterir ancak kısa bir süre sonra bu zorluk telin direncinden ibaret olur. Bir bobin uçlarına alternatif akım uygulandığında ise durum böyle olmaz. Alternatif akım bobin uçlarında yönü ve şiddeti sürekli değişen bir manyetik alan oluşturur. Bu manyetik alan bobin üzerinden geçen akım yönüne ters yönde bir akım geçirmek ister. Bu nedenle bobin uçlarında akım aniden yükselmez. Buna telin endüktans etkisi ya da bobinin endüktansı denir. Endüktans birimi Henry (H)'dir. Uygulamada H'nin ast katları kullanılır.

$$1 \text{ mili Henry} = 1\text{mH} = 10^{-3}\text{H} \text{ ya da } 1\text{H} = 10^3\text{mH}$$
$$1 \text{ mikro Henry} = 1\mu\text{H} = 10^{-6}\text{H} \text{ ya da } 1\text{H} = 10^6 \mu\text{H}$$

Şayet bobinden geçen akım sabit bir akımsa bobin etrafında oluşan manyetik alanın şiddeti de sabittir. Bir bobinden geçen akım değişirse bobinde oluşan alan şiddeti de değişken olacaktır. Bir bobin, kendi değişken alanının etkisi ile kendi üzerinde bir EMK (elektromotor kuvvet) indükler. İndüklenen bu EMK'ye zıt EMK denmektedir.

Endüktans, bir bobinin fiziksel özellikleri ve üzerinden geçen akımın değişim hızına (amper/saniye) bağlı olarak üzerinde enerji depolama ya da kendi üzerinde EMK endükleme kapasitesi olarak da tanımlanabilir.



Resim 3.1: Çeşitli bobinler

Bir bobinin endüktansı aşağıdaki gibi hesaplanabilir:

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{\lambda}$$

Bu formülde;

L : Bobin endüktansı, Henry (H),

μ : Manyetik geçirgenliği Henry/metre (H/m),

N : Sarım sayısını,

A : Bobin kesit alanı, santimetrekare (m²),

λ : Tel uzunluğunu, santimetre (m) ifade eder.

Örnek 1: Nüvesinin bağıl geçirgenliği $\mu_r = 200$ olan bir bobinin sarım sayısı $N = 10$, bobin kesit yarıçapı $r = 1 \text{ cm}$, tel uzunluğu $\lambda = 10 \text{ cm}$ havanın manyetik geçirgenliği $\mu_o = 1,256 \cdot 10^{-6} \text{ H / m}$ ise

$$A = \pi \cdot r^2 = 3,14 \cdot 0,01^2 = 314 \cdot 10^{-6} \text{ cm}^2$$

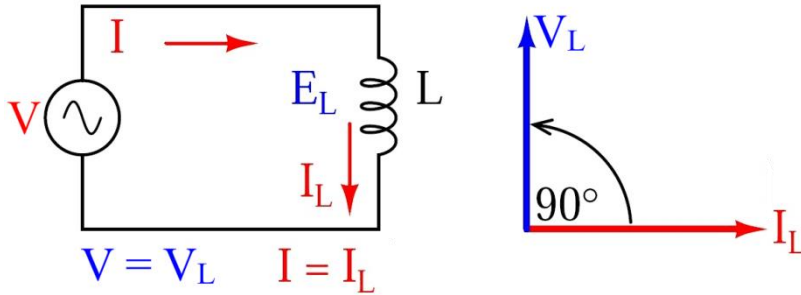
$$\mu = \mu_r \cdot \mu_o = 200 \cdot 1,256 \cdot 10^{-6} = 251 \cdot 10^{-6} \text{ H / m} = 251 \cdot 10^{-4} \text{ H / cm}$$

$$L = \frac{\mu \cdot N^2 \cdot A}{\lambda} = \frac{251 \cdot 10^{-4} \cdot 100 \cdot 314 \cdot 10^{-6}}{10} = 78,81 \mu\text{H}$$

olarak bulunur.

3.1.2. A.C'de Gösterdiği Özellikler

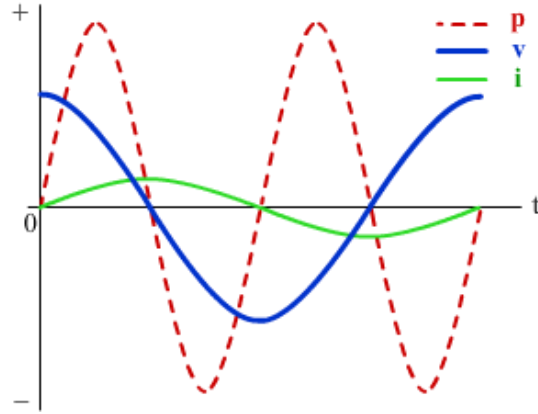
Bobinin alternatif akımın değişimine karşı zorluk gösterdiğinden daha önce bahsedilmişti. Şekil 3.1'deki saf endüktif devre incelenecek olursa bobin geriliminin devrenin toplam gerilimine, bobin akımının da devrenin akımına eşit olduğu görülür. Ancak bobin gerilimi ve akımı arasında faz farkı vardır. Şekil 3.1'deki vektör diyagramda gösterildiği gibi bobin akımı bobin geriliminden 90° ($\pi/2$) geridedir.



Şekil 3.1: Saf endüktif devre

Saf endüktif devrede akım ve gerilimin dalga şekilleri Şekil 3.2'de gösterilmiştir. Burada kalın sürekli çizgi v_L bobinin ani gerilimini, ince sürekli çizgi ise i_L bobinin ani akımını ifade eder. i_L bobin akımı v_L bobin geriliminden 90° geridedir.

Saf endüktif devrede ani güç ani akım ve ani gerilim değerlerinin çarpımıyla ($p = v \cdot i$) bulunur. Şekil 3.2 incelenecek olursa ani akım ve ani gerilimin her ikisi de pozitif veya negatif olduğunda ani gücün pozitif, herhangi birinin negatif olduğunda ani gücün negatif ve herhangi birinin sıfır olduğunda ani gücün sıfıra eşit olduğu görülebilir.



Şekil 3.2: Saf endüktif devrede akım, gerilim ve güç dalga şekilleri

Her bobin, alternatif akım devrelerinde frekansla doğru orantılı olarak değişen bir direnç gösterir. Bu dirence endüktif reaktans denir. Endüktif reaktans X_L ile gösterilir ve birimi ohm (Ω)'dur. A.C devrelerde endüktif reaktans;

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

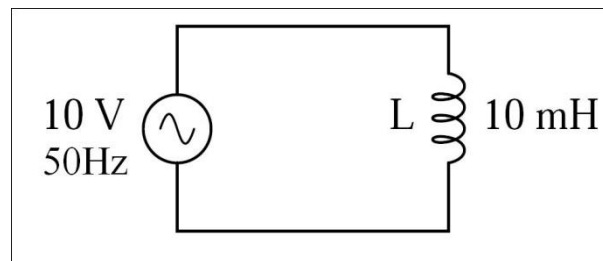
Burada;

X_L :endüktif reaktansı, ohm (Ω),

f : A.C geriliminin frekansını, Hertz (Hz),

L : bobin endüktansını, Henry (H) ifade eder.

Örnek 1: Şekil 2.3'te görülen devrede bobinin endüktif reaktansı ve devre akımı hesaplanmak istenirse;



Şekil 3.3: A.C bobin devresi

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 3,14 \Omega$$

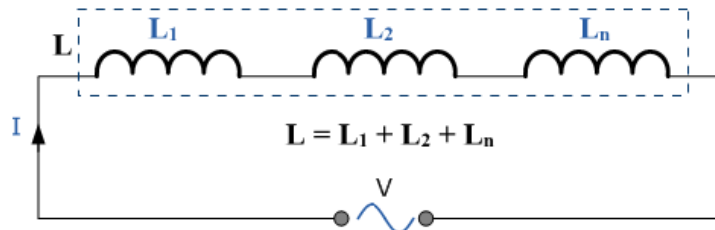
$$I = \frac{V}{X_L} = \frac{10}{3,14} = 3,18 A$$

olarak bulunur.

3.1.3. A.C’de Seri ve Paralel Bağlantıları

Bobinlerin A.C devrelerde seri ve paralel bağlantılarında eş değer endüktansları ve endüktif reaktansları, direnç devreleriyle aynı yöntemlerle hesaplanır.

Alternatif akım devrelerine bobinler devreye seri bağlandıklarında devrenin toplam endüktansı her bir bobin endüktansının toplanması ile bulunur.



Şekil 3.4: Seri bağlı bobinlerin devredeki toplam endüktansı

Şekil.4’te görüldüğü gibi seri bir devrenin toplam endüktansını bulmak için devredeki bobinlerin endüktansları toplanarak bulunur.

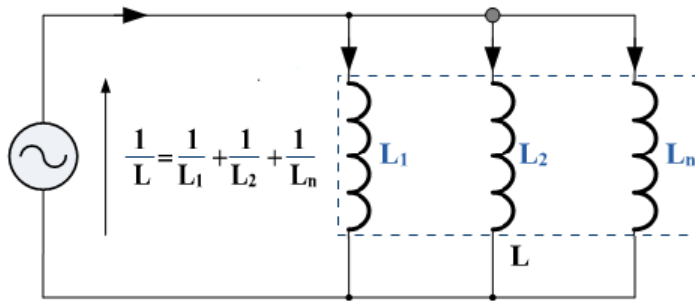
$$L = L_1 + L_2 + L_n$$

Örnek 1: Şekil.4’teki devrede üç bobinin endüktansları sırası ile $L_1 = 2\text{mH}$, $L_2 = 2 \cdot 10^{-2}$ H ve $L_3 = 5 \text{ mH}$ şeklindedir. Devrenin toplam endüktansı hesaplanacak olursa;

$$L_2 = 2 \cdot 10^{-2}\text{H} = 2 \cdot 10^{-2} \cdot 1000 = 20\text{mH}$$

$$L = L_1 + L_2 + L_3 = 2 + 20 + 5 = 27\text{mH} \text{ elde edilir.}$$

Bir devredeki paralel bağlı bobinlerin toplam endüktansı, paralel bir direnç devresinin toplam direncinin bulunduğu gibi bulunur. Yani bobinler devreye paralel bağlanırsa bobinlerin devreye uyguladıkları toplam endüktans, endüktans değerlerinin terslerinin toplanması ile bulunur. Bu nedenle toplam endüktans en küçük endüktans değerine eşit ya da daha küçük olur.



Şekil 3.5: Paralel bağlı bobinlerin devreye uyguladıkları toplam endüktansı

Şekil 3.5'te görüldüğü gibi, bir devredeki toplam endüktansın tersi ($1 / L$) devredeki bobin endüktanslarının terslerinin toplamına eşittir.

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_n}$$

Örnek: 3.5'teki devrede üç bobinin endüktansları sırası ile 2 mH, 4 mH ve 6 mH'dir. Devrenin toplam endüktansı hesaplanacak olursa;

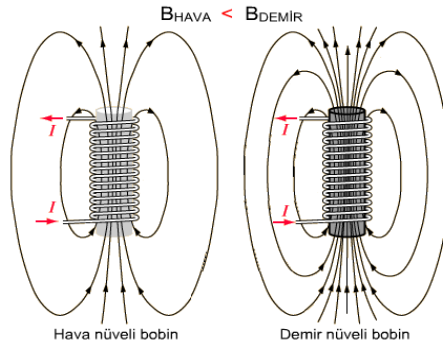
Cevap:

$$\frac{1}{L} = \frac{1}{L_1} + \frac{1}{L_2} + \frac{1}{L_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{4} + \frac{1}{6} = \frac{7}{12}$$

$$\frac{1}{L} = \frac{7}{12} \Rightarrow L \cdot 7 = 1 \cdot 12 \Rightarrow L = \frac{12}{7} = 1.71 \text{ mH olarak bulunur.}$$

3.1.4. Nüvenin Endüktansa Etkisi

Endüktansı etkileyen faktörlerden biri, bobinin üzerine sarıldığı nüvedir. Nüvenin manyetik geçirgenliği artarsa bobin üzerinde oluşan manyetik alan şiddeti artacağından endüktans da artar. Örneğin yumuşak demir nüve üzerine sarılan bir bobinin üzerinde oluşan manyetik alan çizgileri sayısı, nüve olarak hiçbir malzeme kullanılmayan yani nüvesi hava olan bir bobin üzerinde oluşan manyetik alan çizgileri sayısından daha fazladır. (Şekil 2.6) Nüvenin endüktansa etkisi, nüvenin manyetik geçirgenliği ile doğru orantılıdır.



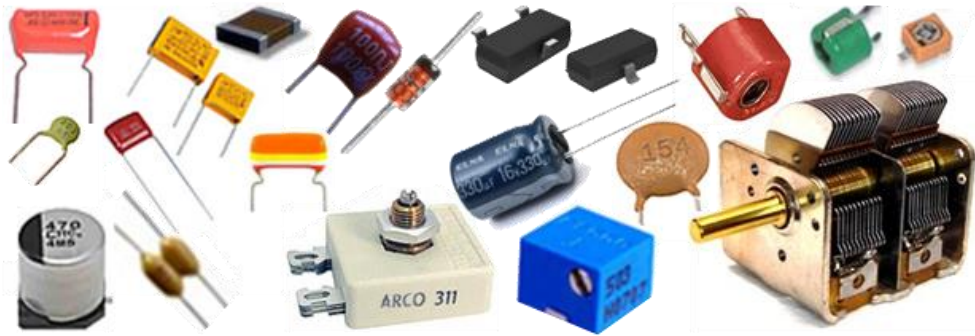
Şekil 3.6: Hava nüveli ve demir nüveli bobinler

Malzeme	μ /(H /m)	μ_r	Uygulama
Ferrit U60	10^{-5}	8	UHF bobinleri
Ferrit M33	$9,42 \cdot 10^{-4}$	750	Rezonans devresi
Nikel (%99 saf)	$7,54 \cdot 10^{-4}$	600	- -
Ferrit N41	$3,77 \cdot 10^{-3}$	3000	Güç devreleri
Demir (% 99,8 saf)	$6,28 \cdot 10^{-3}$	5000	- -
Ferrit T38	0,0126	10000	Geniş bant transformatörler
Silikon GO çelik	0,0503	40000	Dinamolar, transformatörler
Süpermaloy	1,26	1000000	Kayıt kafaları

Tablo 3.1: Manyetik malzemelerin geçirgenlik değerleri ve kullanım alanları

3.2. A.C Devrelerinde Kapasitörler

D.C. akım devrelerinde akımı depolama özelliği bulunan kapasitörler A.C devrelerde akım yönünün ve şiddetinin sürekli değişmesinden dolayı bu işlev için kullanılmaz. A.C devrelerde kapasitörlerden kompanzasyon sistemlerinde, elektronikte filtre ve seçici devrelerde faydalanılır.(Resim 3.2)

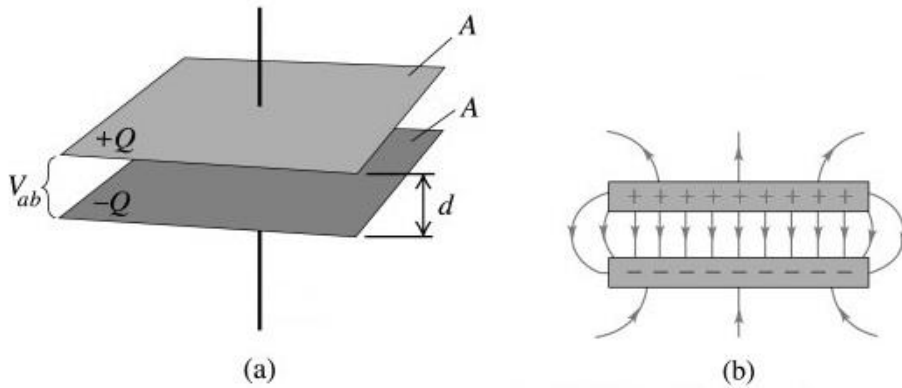


Resim 3.2: Çeşitli kapasitörler

3.2.1. Kapasitans

Kapasitans, elektronikte yükleri depo edebilme kabiliyeti ya da elektrik enerjisinin depolanmasında bir ölçü olarak tanımlanabilir. Elektrik enerjisini depolayabilme özelliğine sahip devre elemanlarına da kapasitör ya da kondansatör denir. Elektrik enerjisini depolayabilmenin en yaygın yöntemi birbirine paralel iki metal plaka kullanmaktır(Şekil 2.7). Bu şekilde bir kapasitörde depolanan elektrik enerjisi plakaların yüzey alanı ile doğru orantılı, plakalar arası mesafe ile ters orantılıdır. Kapasitans birimi Farad (F)'dir

A.C devrelerde kapasitörler elektrik yüklerini şarj etme özelliklerinden dolayı gerilimdeki değişimlere karşı zorluk gösterir.



Şekil 3.7: Paralel plakalı kapasitör

Paralel plakalı bir kapasitör için kapasitans değeri:

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d} \text{ formülü ile hesaplanabilir.}$$

Bu formülde:

C : Kapasitans değerini, Farad (F),

ϵ : Plakalar arasındaki yalıtkan malzemenin dielektrik katsayısını, Farad/metre (F/m),

A : Plakaların alanını, metrekare (m^2),

d : Plakalar arası mesafeyi, metre (m), ifade eder.

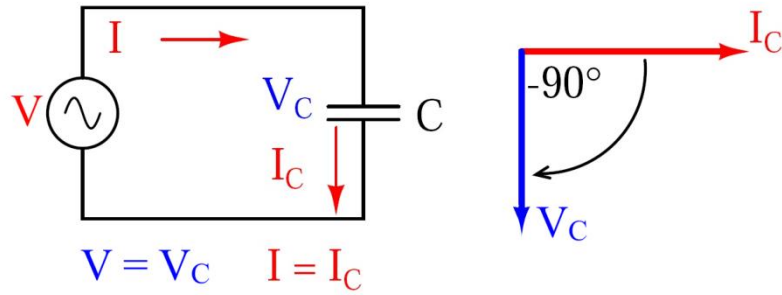
Örnek 1: Alanı $0,1m^2$ olan plakaların birbirine uzaklığı $0,01$ m ve plakalar arasında bağlı dielektrik katsayısı 2 olan bir malzeme (havanın dielektrik katsayısı $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} F/m$) varsa kapasitans değeri aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$\epsilon = k \cdot \epsilon_0 = 2,8,854 \cdot 10^{-12} = 17,708 \cdot 10^{-12} F/m$$

$$C = \epsilon \cdot \frac{A}{d} = 17,708 \cdot 10^{-12} \cdot \frac{0,1}{0,01} = 17,708 \cdot 10^{-11} F = 0,177 nF$$

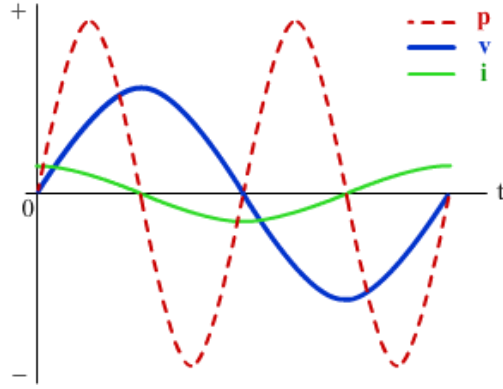
3.2.2. A.C'de Gösterdiği Özellikler

Kapasitörler A.C gerilimin değişimine karşı zorluk gösterir. Şekil 2.8'deki saf kapasitif devrede kapasitör üzerindeki geçen akım toplam devre akımıdır ve kapasitör gerilimi kaynak gerilimine eşittir. Ancak kondansatör gerilimi devre akımı ile aynı fazda değildir. Gerilim akımı 90° geriden takip eder. Bu durum, Şekil 2.8'de vektörel olarak gösterilmiştir.



Şekil 3.8: Saf kapasitif devre

Şekil 3.9 incelendiğinde 0° de kalın sürekli çizgi ile gösterilen geriliminin (v) pozitif alternans başlangıcında olduğu, ince sürekli çizgi ile gösterilen akımının (i) aynı noktada maksimum tepe değerine ulaştığı görülmektedir. Faz farkı 90° dir ve gerilim akımdan geridedir.



Şekil 3.9: Saf kapasitif devrede akım, gerilim ve güç dalga şekilleri

Saf kapasitif devrelerde akım, gerilim ve güç ilişkisi saf endüktif devrelerle aynıdır. (Şekil 3.9) Ani güç, ani akım ve ani gerilimin çarpımına eşittir ($p = v.i$). Akım ve gerilimden herhangi birisi sıfır olduğunda güç sıfır, herhangi birisi negatif olduğunda güç negatif ve her ikisi de pozitif olduğunda güç pozitif olur. Gücün pozitif olması kapasitörün devreden güç çektiği, negatif olması da devreye güç verdiği anlamına gelir.

Her kapasitör, alternatif akım devrelerinde frekansla ters orantılı olarak değişen bir direnç gösterir. Bu dirence kapasitif reaktans denir. Kapasitif reaktans X_C ile gösterilir ve birimi ohm (Ω) dur. A.C devrelerde kapasitif reaktans;

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} \text{ formülü ile hesaplanır.}$$

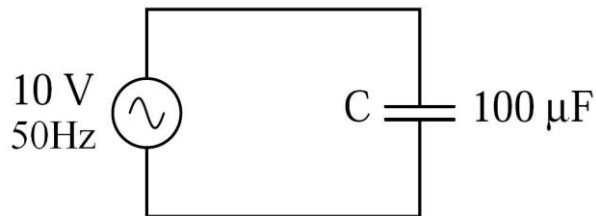
Burada;

X_C :Kapasitif reaktansı, ohm (Ω),

f : A.C geriliminin frekansını, Hertz (Hz),

C : Kapasitansı, Farad (F) ifade eder.

Örnek 1: Şekil 2.10'da görülen devrede kondansatörün kapasitif reaktansı ve devre akımı hesaplanmak istenirse;



Şekil 3.10: A.C kondansatör devresi

$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = \frac{1}{6,28 \cdot 5 \cdot 10^{-3}} = \frac{10^3}{31,4} = 31,84 \Omega$$

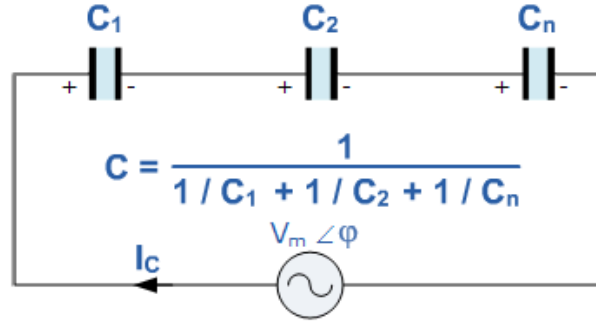
$$I = \frac{V}{X_c} = \frac{10}{31,84} = 314 \text{ mA}$$

olarak bulunur.

3.2.3. A.C'de Seri ve Paralel bağlantıları

Kondansatörlerin A.C devrelerde seri ve paralel bağlantılarında eş değer kapasitansları ve kapasitif reaktansları aşağıdaki gösterildiği gibi hesaplanır.

➤ Seri bağlantı



Şekil 3.11: Seri kapasitör devresinde eş değer (toplam) kapasite

Kapasitörler seri bağlandıklarında devrenin eş değer (toplam) kapasitesi, her bir kapasite değerinin terslerinin toplanması ile bulunur (Şekil 3.11).

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_n}}$$

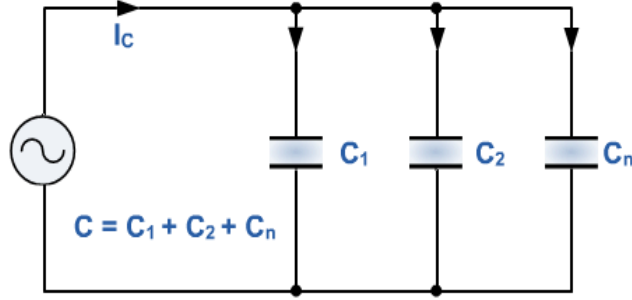
Örnek 1: Şekil 3.11'deki kapasitör değerleri sırasıyla 3μF, 6μF ve 9μF'dır. Devrenin toplam kapasitesi hesaplanmak istenirse;

$$C = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_n}} = \frac{1}{\frac{1}{3} + \frac{1}{6} + \frac{1}{9}} = \frac{1}{\frac{1}{(6)} + \frac{1}{(3)} + \frac{1}{(2)}} \Rightarrow C = \frac{1}{\frac{11}{18}} = \frac{18}{11} = 1,63 \mu F$$

olarak bulunur.

➤ Paralel bağlantı

Paralel bağlantıda toplam kapasite, kapasiteler toplanarak bulunur.



Şekil 3.12: Paralel kapasitör devresinde eş değer (toplam) kapasite

$$C = C_1 + C_2 + C_n$$

Örnek 1: Şekil 3.12'deki kapasitör değerleri sırasıyla $10\mu F$, $150\mu F$ ve $220\mu F$ 'dir. Devrenin toplam kapasitesi hesaplanmak istenirse;

$$C = C_1 + C_2 + C_3 = 10\mu F + 150\mu F + 220\mu F = 380\mu F \text{ olarak bulunur.}$$

3.3. Alternatif Akım Devre Çeşitleri

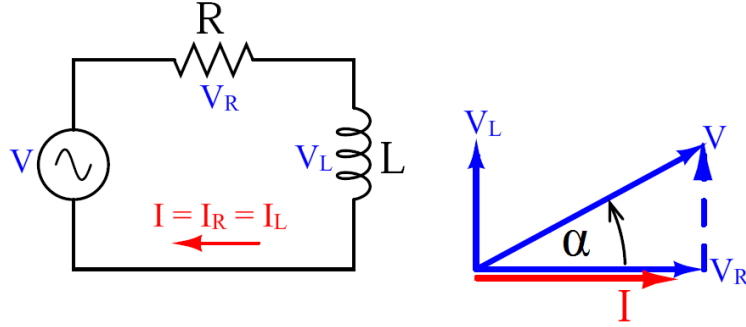
3.3.1. Seri Devreler

➤ Seri R-L devresi

Seri R-L devresinde direnç ve bobin elemanları A.C gerilim kaynağı ile seri bağlanır.

- Toplam gerilim direnç ve bobin gerilimleri toplamına eşittir, toplam akım ise hem direnç hem de bobin üzerinden geçer.
- Direnç akımı ve gerilimi arasında faz farkı yoktur.
- Bobin akımı bobin gerilimini 90° geriden takip eder. Bu durumda Şekil 2.13'deki vektör diyagram ortaya çıkar.
- Devrenin toplam gerilimi V , toplam akım I 'dan α açısı kadar ilerdedir.

A.C devrelerde direnç elemanının yanında kapasitif ya da endüktif bileşenler de varsa devrenin eş değer reaktansı (akıma karşı gösterilen zorluk) empedans olarak isimlendirilir ve Z ile gösterilir, birimi ohm (Ω)dur. Empedansın tersi yani elektrik akımına karşı gösterilen kolaylık da admitans olarak adlandırılır ve “ Y ” ile gösterilir ($Y = Z^{-1}$). Birimi (Siemens) S'dir.



Şekil 3.13: Seri R-L devresi ve akım-gerilim faz ilişkisi

Şekil 3.13'te görülen seri R-L devresinde;

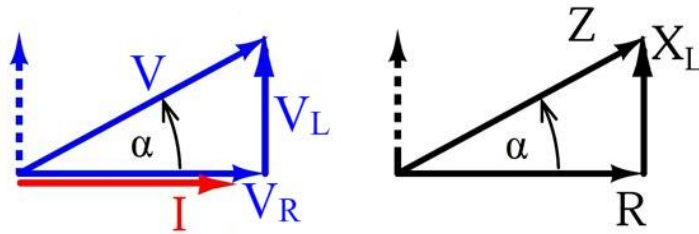
Vektör diyagramdan $V^2 = V_R^2 + V_L^2 \Rightarrow V = \sqrt{V_R^2 + V_L^2}$ (Pisagor Teoremi)

ohm kanunundan $V_R = I.R$ ve $V_L = I.X_L \Rightarrow V = \sqrt{(I.R)^2 + (I.X_L)^2}$

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

$$I = \frac{V}{Z} \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

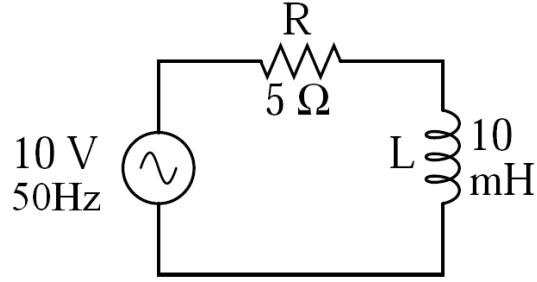
şeklinde ifade edilir. Bu formüller elde edildikten sonra gerilim ve empedans üçgenleri çizilebilir (Şekil 3.14).



Şekil 3.14: Seri R-L devresinde gerilim ve empedans üçgenleri

Gerilim ve empedans üçgenlerinden α faz açısı, farklı trigonometrik fonksiyonlar kullanılarak bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{X_L}{R} \quad \cos \alpha = \frac{R}{Z} \quad \sin \alpha = \frac{X_L}{Z}$$



Şekil 3.15: Seri R-L devresi

Örnek 1: Şekil 2.15'teki seri R-L devresinde verilen değerlere göre;

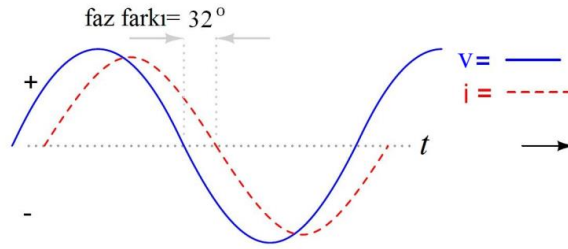
$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2 \cdot 3,14 \cdot 50 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 500 \cdot 10^{-3} = 3,14 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{5^2 + (3,14)^2} = \sqrt{25 + 9,85} = \sqrt{34,85} = 5,9 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{10}{5,9} = 1,69 A$$

$$\cos \alpha = \frac{R}{Z} \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \cos^{-1} \frac{5}{5,9} = \cos^{-1} 0,84 \Rightarrow \alpha = 32^\circ$$

olarak bulunur. Akım gerilimden 32° geridedir. (Şekil 2.16)

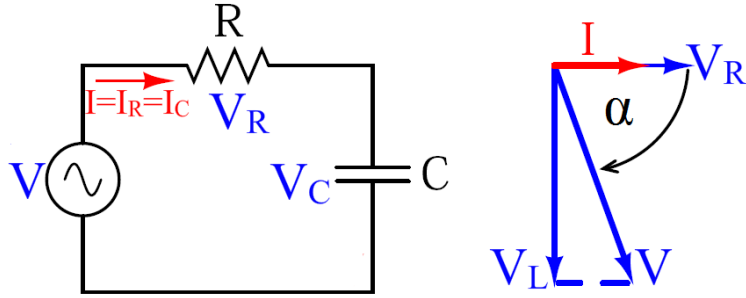


Şekil 3.16: Seri R-L devresinde ani akım ve ani gerilim arasındaki faz farkı

➤ Seri R-C devresi

Seri R-C devresinde direnç ve kapasitör elemanları A.C gerilim kaynağı ile seri bağlanır.

- Toplam gerilim direnç ve kapasitör gerilimleri toplamına eşittir, toplam akım ise hem direnç hem de kapasitör üzerinden geçer.
- Direnç akımı ve gerilimi arasında faz farkı yoktur.
- Kapasitör gerilimi kapasitör akımını 90° geriden takip eder. Bu durumda Şekil 2.17'deki vektör diyagram ortaya çıkar.
- Devrenin toplam gerilimi V , toplam akım I 'dan α açısı kadar geridedir.



Şekil 3.17: Seri R-C devresi ve akım-gerilim faz ilişkisi

Şekil 3.17’de görülen seri R-C devresinde;

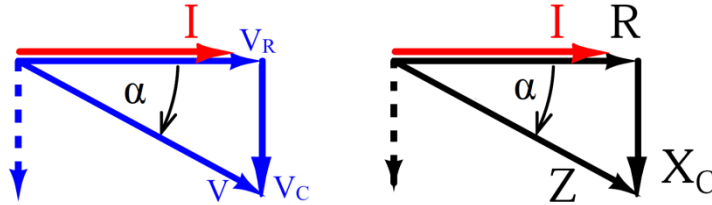
Vektör diyagramdan $V^2 = V_R^2 + V_C^2 \Rightarrow V = \sqrt{V_R^2 + V_C^2}$ (Pisagor Teoremi)

ohm kanunundan $V_R = I.R$ ve $V_C = I.X_C \Rightarrow V = \sqrt{(I.R)^2 + (I.X_C)^2}$

$$I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + X_C^2}}$$

$$I = \frac{V}{Z} \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + X_C^2}$$

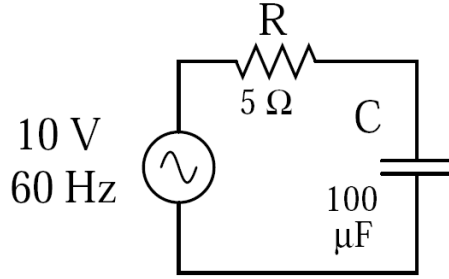
şeklinde ifade edilir. Bu formüller elde edildikten sonra gerilim ve empedans üçgenleri Şekil 3.18’de görüldüğü gibi çizilebilir.



Şekil 3.18: Seri R-C devresinde gerilim ve empedans üçgenleri

Gerilim ve empedans üçgenlerinden α faz açısı, farklı trigonometrik fonksiyonlar kullanılarak bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{X_C}{R} \quad \cos \alpha = \frac{R}{Z} \quad \sin \alpha = \frac{X_C}{Z}$$



Şekil 3.19: Seri R-C devresi

Örnek 2: Şekil 2.19'daki seri R-C devresinde verilen değerlere göre;

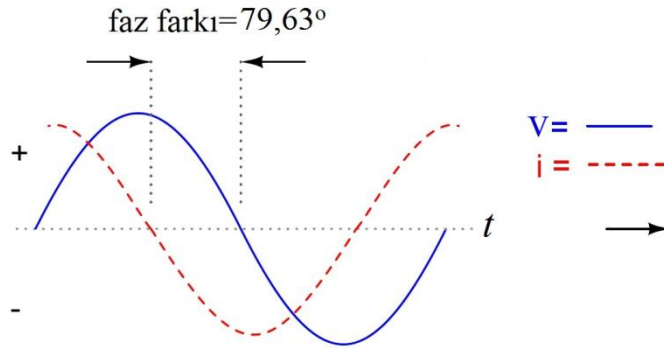
$$X_c = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2 \cdot 3,14 \cdot 60 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^3}{6,28 \cdot 6} = \frac{1000}{37,68} = 26,53 \Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} = \sqrt{5^2 + (26,53)^2} = \sqrt{25 + 704,08} = \sqrt{729,08} = 27 \Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{10}{27} = 370 \text{ mA}$$

$$\cos \alpha = \frac{R}{Z} \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \cos^{-1} \frac{5}{27} = \cos^{-1} 0,18 \Rightarrow \alpha = 79,63^\circ$$

olarak bulunur. Gerilim akımdan $79,63^\circ$ geridedir. (Şekil 2.20)



Şekil 3.20: Seri R-L devresinde ani akım ve ani gerilim arasındaki faz farkı

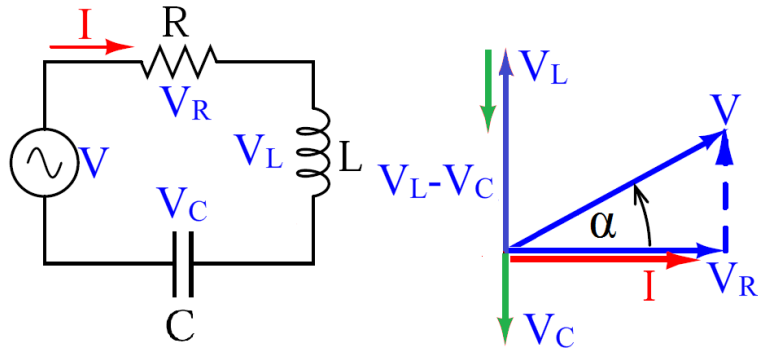
➤ Seri R-L-C devresi

Seri R-L-C devresinde direnç, bobin ve kapasitör elemanlar A.C gerilim kaynağı ile seri bağlanır.

- Direnç üzerindeki V_R gerilimi akımla aynı fazdadır.
- Bobin gerilimi V_L ile akım arasındaki faz farkı 90° 'dir. Gerilim akımdan 90° ileri fazdadır.

- Kapasitör üzerindeki V_C gerilimi ise akımdan 90° geridedir.
- Bu duruma göre çizilen Şekil 3.21'deki vektör diyagramında görüldüğü gibi V_L ve V_C gerilimlerinin vektörleri aynı doğrultuda fakat aralarında 180° faz farkı vardır. Bu vektör diyagram $V_L > V_C$ kabul edilerek çizilmiştir.

Devrenin toplam gerilimi ile akımı arasında α açısı kadar faz farkı vardır.



Şekil 3.21: Seri R-L-C devresi ve akım-gerilim faz ilişkileri

Şekil 3.22'de görülen seri R-L-C devresinin vektör diyagramından;

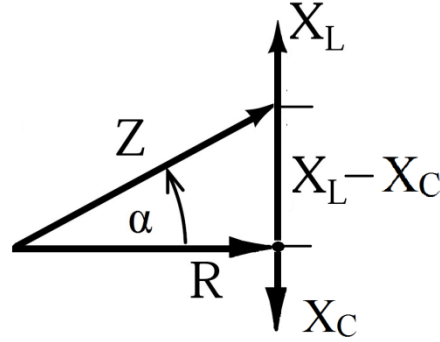
$$V^2 = V_R^2 + (V_L - V_C)^2 \Rightarrow V = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} \quad (\text{Pisagor Teoremi})$$

$$V_R = I.R, \quad V_L = I.X_L \quad \text{ve} \quad V_C = I.X_C \Rightarrow V = \sqrt{(I.R)^2 + (I.X_L - I.X_C)^2}$$

$$V = I.\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \Rightarrow I = \frac{V}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}}$$

$$I = \frac{V}{Z} \Rightarrow Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

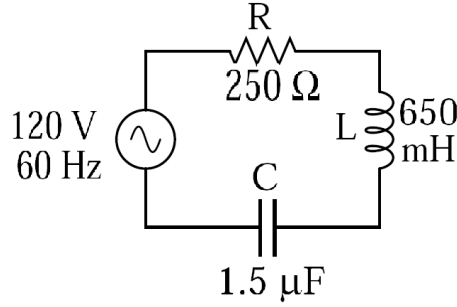
şeklinde ifade edilir. Bu formüller elde edildikten sonra empedans üçgeni çizilebilir.



Şekil 3.22: Seri R-L-C devresinde empedans üçgeni

Empedans üçgeninden α faz açısı, farklı trigonometrik fonksiyonlar kullanılarak bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{X_L - X_C}{R} \quad \cos \alpha = \frac{R}{Z} \quad \sin \alpha = \frac{X_L - X_C}{Z}$$



Şekil 3.23: Seri R-L-C devresi

Örneğin Şekil 3.23'teki seri R-L-C devresinde verilen değerlere göre;

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2,314 \cdot 60 \cdot 650 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 39 = 244,92 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2,314 \cdot 60 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{6,28 \cdot 90} = \frac{10^6}{565,2} = 1,769 \text{ K}\Omega$$

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{250^2 + (244,92 - 1769)^2} = \sqrt{62500 + 2322819} = 1,54 \text{ K}\Omega$$

$$I = \frac{V}{Z} = \frac{120}{1,54 \cdot 10^3} = 77 \text{ mA}$$

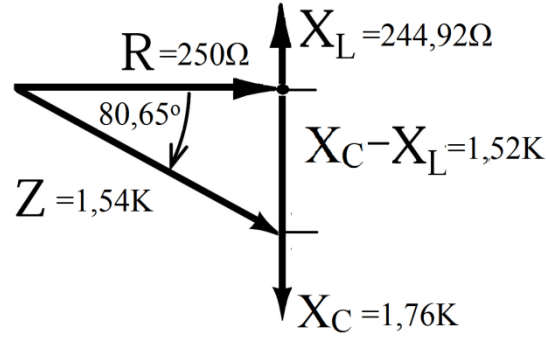
$$V_R = I \cdot R = 0,077 \cdot 250 = 19,25 \text{ V}$$

$$V_L = I \cdot X_L = 0,077 \cdot 244,92 = 18,85 \text{ V}$$

$$V_C = I \cdot X_C = 0,077 \cdot 1540 = 118,58 \text{ V}$$

$$\cos \alpha = \frac{R}{Z} \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} \frac{R}{Z} = \cos^{-1} \frac{250}{1540} = \cos^{-1} 0,16 \Rightarrow \alpha = -80,65^\circ$$

Kapasitör gerilimi V_C , bobin gerilimi V_L 'den büyük olduğu için α faz açısı negatif çıkmıştır. Bu durum devrenin kapasitif özellik gösterdiği anlamına gelir. Eğer bobin gerilimi kapasitör geriliminden büyük olsaydı devre endüktif özellik gösterirdi. Bulunan sonuçlar ile empedans üçgeni Şekil 3.24'deki gibi çizilebilir.



Şekil 3.24: Örnek seri R-L-C devresinde empedans üçgeni

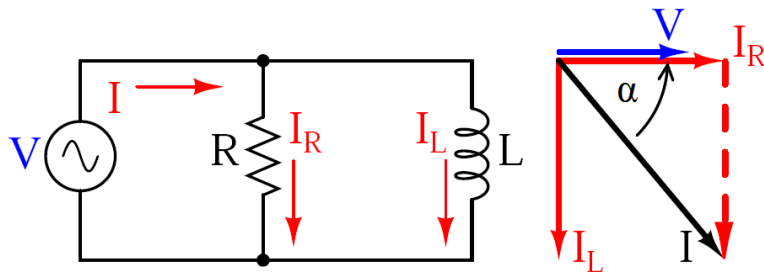
X_C ve X_L birbirine eşit olduğu durum özel bir durum olup rezonans olarak geçmektedir. Bu durum rezonans devreleri konusunda işlenecektir.

3.3.2. Paralel Devreler

➤ Paralel R-L devresi

Paralel R-L devresinde direnç ve bobin elemanları A.C gerilim kaynağı ile paralel bağlanır. Şekil 2.25'teki vektör diyagram incelenen olursa;

- Direnç ve bobin elemanları üzerinde aynı genlikte ve fazda kaynak gerilimi olduğu görülür.
- Bobin akımı I_L , toplam devre akımından (I) 90° geri fazdadır.
- Toplam akım (I), direnç akımından (I_R) α açısı kadar geridedir.



Şekil 3.25: Paralel R-L devresinde akım-gerilim faz ilişkisi

Şekil 2.25'teki paralel R-L devresinin vektör diyagramından;

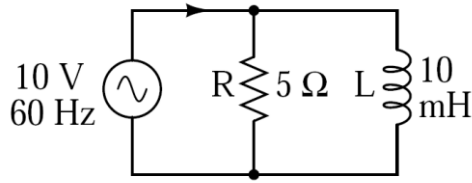
$$I^2 = I_R^2 + I_L^2 \Rightarrow I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} \text{ (Pisagor Teoremi)}$$

$$I_R = \frac{V}{R} \text{ ve } I_L = \frac{V}{X_L}$$

$$Z = \frac{V}{I} \text{ ya da } Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}}$$

formülleri elde edilebilir. Faz açısı α farklı trigonometrik fonksiyonlar yardımı ile bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{I_L}{I_R} \quad \sin \alpha = \frac{I_L}{I} \quad \cos \alpha = \frac{I_R}{I}$$



Şekil 3.26: Paralel R-L devresi

Örnek 1: Şekil 2.26'daki paralel R-L devresinde verilen değerlere göre X_L, I_R, I_L, I, Z ve devrenin faz açısı aşağıdaki gibi hesaplanabilir.

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2,314 \cdot 60 \cdot 10 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 600 \cdot 10^{-3} = 3,768 \Omega$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{10}{5} = 2A$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{10}{3,768} = 2,65A$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_L^2} = \sqrt{2^2 + (2,65)^2} = \sqrt{4 + 7,02} = \sqrt{11,02} = 3,31A$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{10}{3,31} = 3,02 \Omega$$

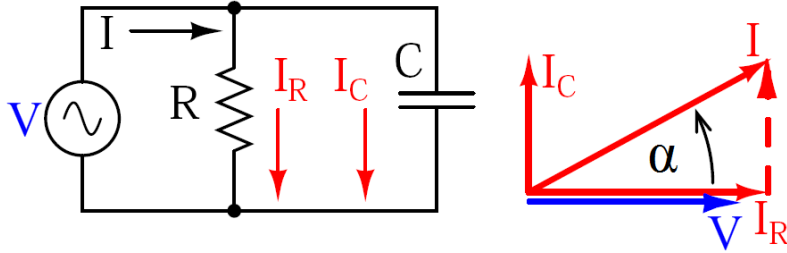
$$\cos \alpha = \frac{I_R}{I} = \frac{2}{3,31} = 0,6 \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} 0,6 = -52,98^\circ$$

Devrenin toplam akımı, devre gerilimi ve direnç akımından $52,98^\circ$ geridedir.

➤ Paralel R-C devresi

Paralel R-C devresinde direnç ve kapasitör elemanları A.C gerilim kaynağı ile paralel bağlanır. Şekil 2.27'deki vektör diyagram incelenecek olursa;

- Direnç ve kapasitör elemanları üzerinde aynı genlikte ve fazda kaynak gerilimi olduğu görülür.
- Kapasitör akımı (I_C), devre akımından (I) 90° ileri fazdadır.
- Devre akımı (I), direnç akımından (I_R) α açısı kadar ileridedir.



Şekil 3.27: Paralel R-C devresinde akım-gerilim faz ilişkisi

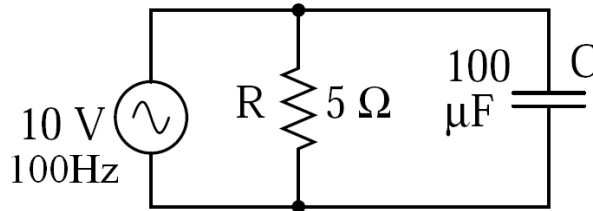
Şekil 3.27'deki paralel R-C devresinin vektör diyagramından;

$$I^2 = I_R^2 + I_C^2 \Rightarrow I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \text{ (Pisagor Teoremi)}$$

$$I_R = \frac{V}{R} \text{ ve } I_C = \frac{V}{X_C}$$

$Z = \frac{V}{I}$ formülleri elde edilebilir. Faz açısı α farklı trigonometrik fonksiyonlar yardımı ile bulunabilir.

$$\tan \alpha = \frac{I_C}{I_R} \quad \sin \alpha = \frac{I_C}{I} \quad \cos \alpha = \frac{I_R}{I}$$



Şekil 3.28: Paralel R-C devresi

Örneğin Şekil 2.28'deki paralel R-C devresinde verilen değerlere göre;

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2.3,14 \cdot 100 \cdot 100 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^2}{6,28} = \frac{100}{6,28} = 15,9\Omega$$

$$I_R = \frac{E}{R} = \frac{10}{5} = 2A$$

$$I_C = \frac{E}{X_C} = \frac{10}{15,9} = 0,62A$$

$$I = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} = \sqrt{2^2 + (0,62)^2} = \sqrt{4 + 0,39} = \sqrt{4,39} = 2,09A$$

$$Z = \frac{E}{I} = \frac{10}{2,09} = 4,78\Omega$$

$$\cos \alpha = \frac{I_R}{I} = \frac{2}{2,09} = 0,95 \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} 0,95 = 16,8^\circ$$

olarak bulunur.

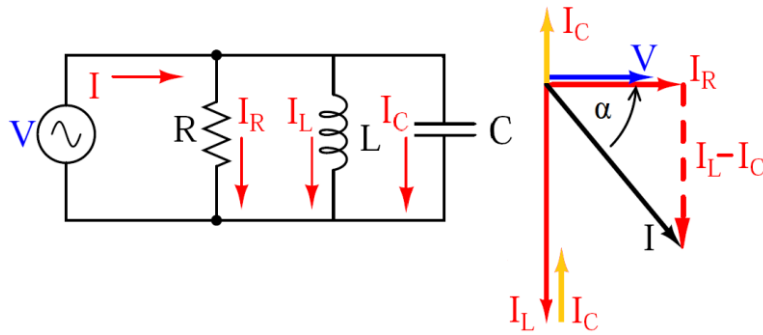
Devrenin toplam akımı, devre gerilimi ve direnç akımından $11,47^\circ$ ileridedir.

➤ Paralel R-L-C devresi

Paralel R-L-C devresinde direnç, bobin ve kapasitör elemanlar A.C gerilim kaynağı ile paralel bağlanır. Bütün devre elemanlarının üzerinde A.C kaynak gerilimi vardır.

- Direnç akımı I_R devre gerilimi ile aynı fazdadır.
- Bobin akımı I_L , devre geriliminden 90° geridedir.
- Kapasitör akımı I_C , gerilimden 90° ileridedir.

Bu duruma göre çizilen Şekil 2.29'daki vektör diyagramda görüldüğü gibi I_L ve I_C akımlarının vektörleri aynı doğrultuda fakat aralarında 180° faz farkı vardır. Bu vektör diyagram $I_L > I_C$ olduğu kabul edilerek çizilmiştir. Devrenin toplam akımı ile toplam gerilimi arasında α açısı kadar faz farkı vardır.



Şekil 3.29: Paralel R-L-C devresinde akım-gerilim faz ilişkisi

Şekil 3.29’da görülen paralel R-L-C devresinin vektör diyagramından;

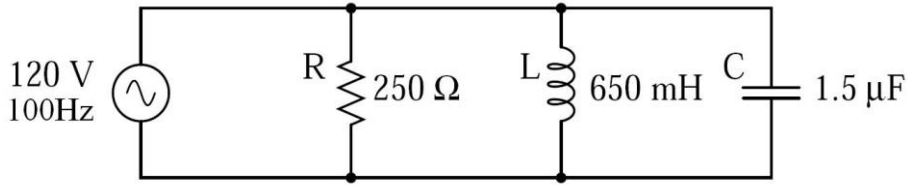
$$I^2 = I_R^2 + (I_L - I_C)^2 \Rightarrow I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2}$$

$$I_R = \frac{V}{R} \quad I_C = \frac{V}{X_C} \quad I_L = \frac{V}{X_L}$$

$Z = \frac{V}{I}$ formülleri elde edilebilir. Faz açısı α ,

$$\tan \alpha = \frac{I_L - I_C}{I_R}, \quad \sin \alpha = \frac{I_L - I_C}{I}, \quad \cos \alpha = \frac{I_R}{I} \text{ eşitlikleri ile bulunabilir.}$$

Örneğin Şekil 2.30’daki paralel R-L-C devresinde verilen değerlere göre;



Şekil 3.30: Paralel R-L-C devresi

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2,314 \cdot 100 \cdot 650 \cdot 10^{-3} = 6,28 \cdot 65 = 408,2 \Omega$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2,314 \cdot 100 \cdot 1,5 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{6,28 \cdot 150} = \frac{10^6}{942} = 1,06 K\Omega$$

$$I_R = \frac{V}{R} = \frac{120}{250} = 0,48 A$$

$$I_C = \frac{V}{X_C} = \frac{120}{1061} = 0,113 A$$

$$I_L = \frac{E}{X_L} = \frac{120}{408,2} = 0,293 A$$

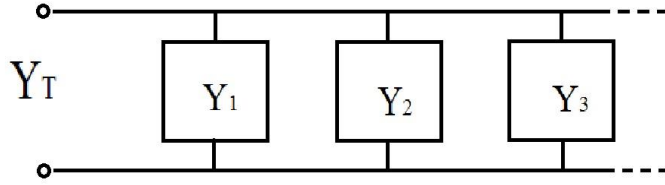
$$I = \sqrt{I_R^2 + (I_L - I_C)^2} = \sqrt{(0,48)^2 + (0,293 - 0,113)^2} = \sqrt{0,23 + 0,032} = 0,511 A$$

$$Z = \frac{V}{I} = \frac{120}{0,511} = 234,83 \Omega$$

$$\cos \alpha = \frac{I_R}{I} = \frac{0,48}{0,511} = 0,93 \Rightarrow \alpha = \cos^{-1} 0,93 = 21,56^\circ$$

olarak bulunur.

Paralel R-L-C devresinde eş değer empedans, eş değer admitans yardımıyla da bulunabilir.(Şekil 3.31) Paralel R-L-C devresinde eş değer admitans bütün admitansların toplamıdır. Eş değer admitans bulunduktan sonra tersi alınarak empedans bulunabilir.



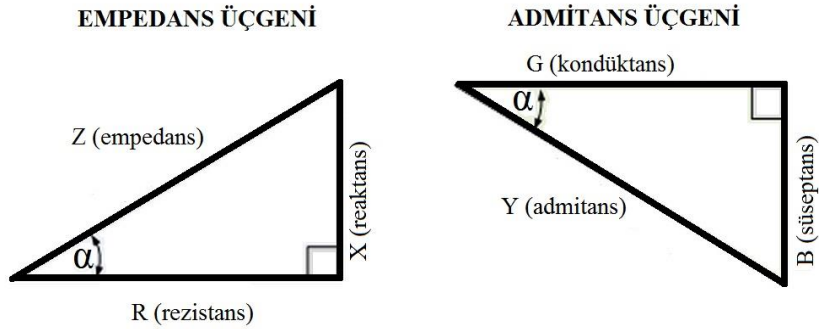
Şekil 3.31: Paralel R-L-C devresinde admitans

$$\frac{1}{Z_T} = Y_T = Y_1 + Y_2 + Y_3 + \dots + Y_n$$

Admitans kavramıyla birlikte A.C devre analizlerinde kullanılan iki kavram daha vardır. Bunlardan biri kondüktans diğeri de süseptanstır. Kondüktans direncin tersidir. G ile gösterilir ve birimi (Siemens) S'dir. Süseptans ise reaktansın tersidir. B ile gösterilir ve birimi (Siemens) S'dir.

$$Y = \frac{1}{Z} \quad G = \frac{1}{R} \quad B_C = \frac{1}{X_C} \quad B_L = \frac{1}{X_L}$$

Paralel R-L-C devresinde empedans ve admitans üçgenleri Şekil 2.32'de gösterilmiştir.



Şekil 3.32: Paralel R-L-C devresinde empedans ve admitans üçgenleri

3.3.3. Rezonans Devreleri

Bobin veya kondansatörlerden oluşan devrelerde frekans değıştikçe bobinin endüktif reaktansı ve kondansatörün kapasitif reaktansı değışeceğinden bu durum devredeki bütün akım, gerilim ve empedans parametrelerinin değışmesine neden olur.

A.C gerilim kaynağının frekansının öyle bir değeri vardır ki devredeki kapasitif ve endüktif bileşenlerin etkisi ortadan kalkar. Bu frekans değeri rezonans frekansı denir ve f_r ile gösterilir. Rezonans devreleri elektronikte kullanılan en önemli devrelerdendir. Televizyon ve radyolarda belli frekanstaki sinyallerin seçilmesinde ve A.C filtreleme işlemlerinde kullanılır.

➤ **Seri rezonans devresi**

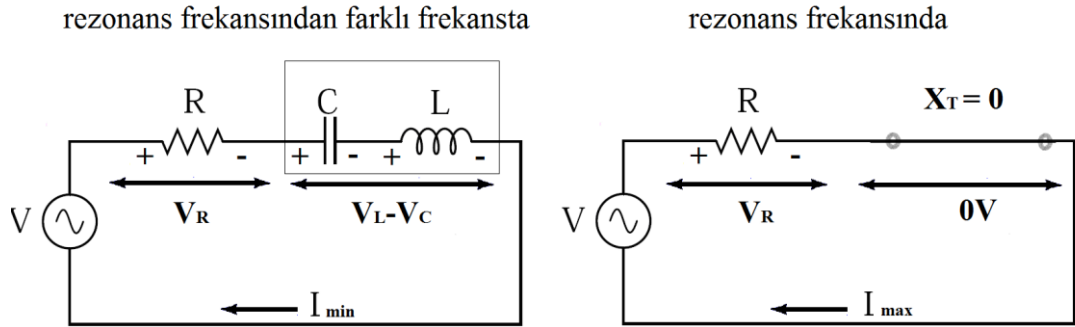
f_r frekansında rezonans etkisi gösteren seri R-L-C devrelerine seri rezonans devresi denir.

Rezonans kavramını anlayabilmek için öncelikle bobin ve kondansatör elemanlarının frekans değişimlerine nasıl tepki gösterdiklerini tam olarak bilmek gereklidir. Bu noktada endüktif ve kapasitif reaktans matematiksel ifadelerini hatırlamakta yarar vardır.

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L \qquad X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

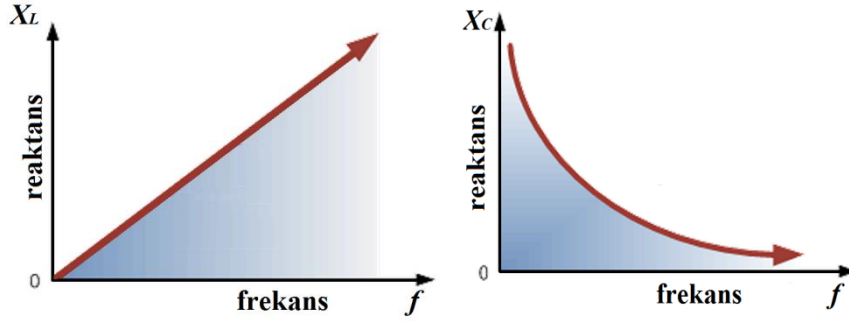
Endüktif ve kapasitif reaktansın matematiksel ifadeleri incelendiğinde frekansla olan ilişkileri açıkça görülmektedir.

Endüktif reaktans frekans ile doğru orantılıdır. Bir bobine uygulanan A.C gerilimin frekansı artırıldıkça X_L değeri de artacaktır. Yani frekans artırıldıkça bobin giderek açık devre gibi davranacak, tersine frekans azaltılıp sifıra yaklaştıkça başka bir deyişle D.C'ye yaklaştıkça bobin kısa devre gibi davranacaktır.



Şekil 3.33: Seri rezonans devresi ve eş değer devresi

Kapasitif reaktans, frekans ile ters orantılıdır. Kondansatöre uygulanan A.C gerilimin frekansı artırıldıkça X_C değeri azalacaktır. Frekansın artması kondansatörün kısa devre gibi davranmasına, frekansın azalması ise kondansatörün açık devre gibi davranmasına neden olacaktır.

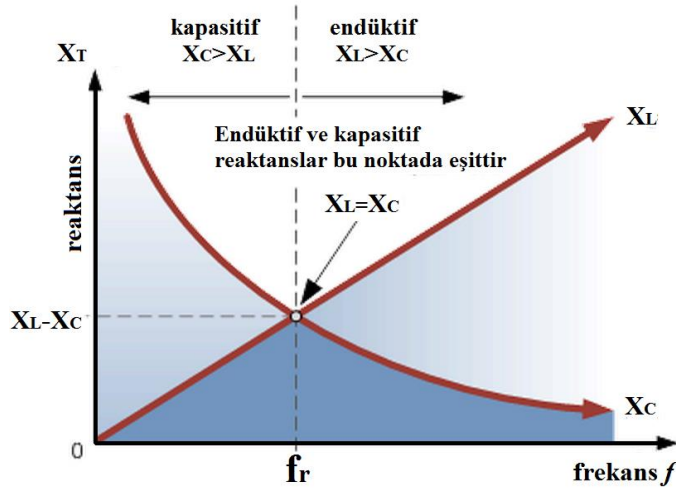


Şekil 3.34: X_L ve X_C nin frekansla değişimi

Şekil 3.33'teki devrede eğer $X_L > X_C$ ise devre endüktif, $X_L < X_C$ ise devre kapasitif davranacaktır. $X_L = X_C$ durumunda ise devre rezonansa girecek ve omik karakterli olacaktır.

$X_L = X_C$ olduğunda ise devre ne endüktif ne de kapasitif özellik gösterir. Bu durumda devre rezonanstadır.

$X_L = X_C$ olduğunda A.C gerilimin f_r frekansı rezonans frekansıdır. Şekil 2.35'teki frekans-reaktans grafiğinde X_L eğrisinin X_C eğrisini kestiği nokta, frekans düzleminde rezonans frekansının değerini gösterir.



Şekil 3.35 X_L ve X_C nin rezonans frekansında durumu

f_r rezonans frekansında X_L ve X_C eşit ise aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$X_L = X_C \Rightarrow 2\pi \cdot f \cdot L = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C}$$

$$f^2 = \frac{1}{(2\pi)^2 \cdot L \cdot C} \Rightarrow \sqrt{f^2} = \sqrt{\frac{1}{(2\pi)^2 \cdot L \cdot C}}$$

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{L \cdot C}}$$

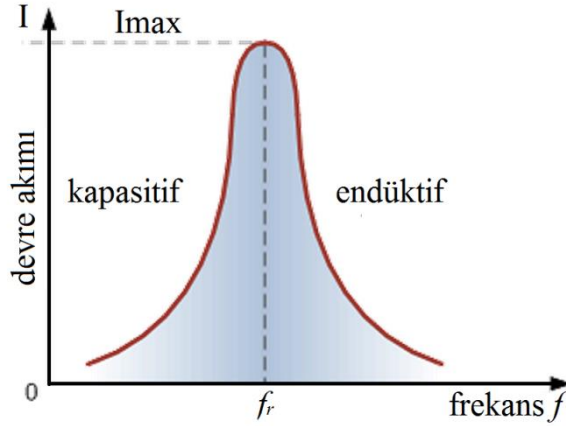
Bu eşitlikte

f_r : Rezonans frekansını, Hertz (Hz)

L : Bobin endüktansını, Henry (H)

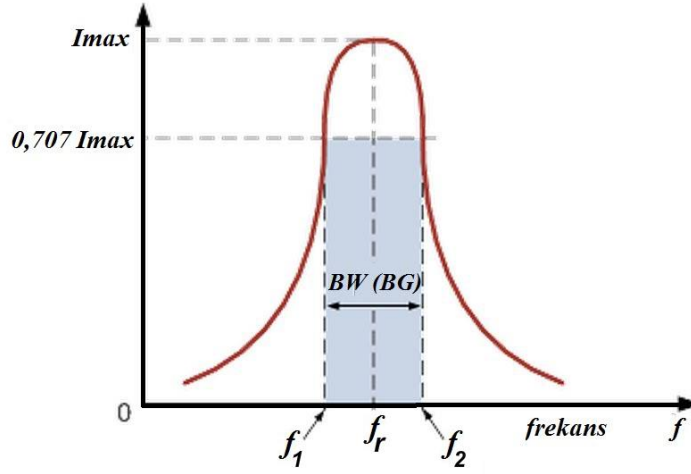
C : Kondansatör kapasitansını, Farad (F), ifade eder.

Seri rezonans devresinde harcanan güç akım ve empedansla doğru orantılıdır. Akım ve empedans frekans ile değiştiği için harcanan güç A.C gerilimin frekansı ile ilişkilidir. Rezonans devresinde güç $P = I^2 \cdot Z$ ile bulunabilir.



Şekil 3.36: Seri rezonans devresinde frekans-akım grafiği

Seri rezonans devresinde ortalama güç f_r rezonans frekansının üstünde ve altında iki frekans değeri arasında harcanır.(Şekil 2.36) Bu iki noktaya yarı güç noktaları denir ve bu noktalarda akımın değeri maksimum değer $0,707$ 'si kadardır. f_r frekansının altında kalan noktadaki frekans alt kesim frekansı (f_1), üstünde kalan frekans ise üst kesim frekansı (f_2) olarak isimlendirilir. Alt kesim ve üst kesim frekansları arasındaki frekans bandına ise bant genişliği (BG ya da Bandwidth, BW) denir.



Şekil 3.37: Seri rezonans devresinde bant genişliği-akım ilişkisi

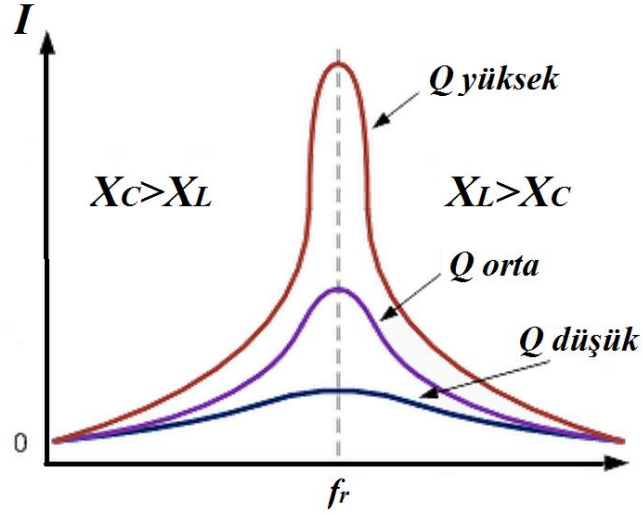
Şekil 3.37'den yararlanarak bant genişliği, alt ve üst kesim frekansları için aşağıdaki eşitlikler yazılabilir.

$$BG = f_2 - f_1, \quad f_1 = f_r - \frac{BG}{2} \quad \text{ve} \quad f_2 = f_r + \frac{BG}{2}$$

Seri rezonans devresinde bir diğer önemli parametre de kalite faktörüdür. Kalite faktörü Q ile gösterilir ve rezonans seçiciliğinin bir ölçüsüdür. (Şekil 3.38)Seçicilik, rezonans devresinin f_r ye yakın frekanslar dışındaki sinyalleri reddetmesidir. Bir rezonans devresinin seçiciliği ne kadar iyi ise bant genişliği o kadar küçük ve kalite faktörü de yüksektir.

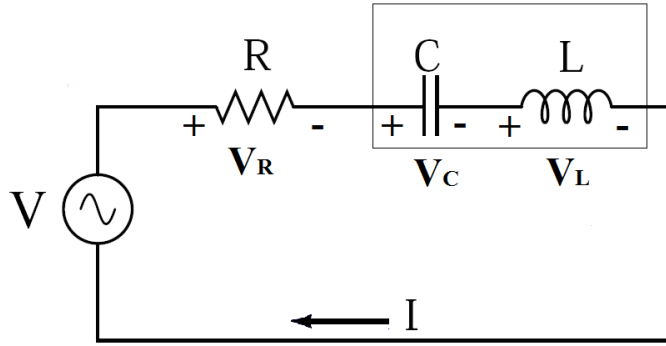
Kalite faktörü Q aşağıdaki eşitliklerden herhangi biri ile bulunabilir.

$$Q = \frac{f_r}{BG} \quad Q = \frac{X_L}{R} \quad Q = \frac{1}{R \cdot X_C} \quad Q = \frac{1}{R} \sqrt{\frac{L}{C}}$$



Şekil 3.38: Seri rezonans devresinde seçicilik

Örnek 1: Şekil 3.39'daki seri rezonans devresinde $R = 30\Omega$, $L = 20mH$, $C = 2\mu F$ ve A.C kaynak gerilimi $V = 9V$ ise;



Şekil 3.39: Seri R-L-C devresi

Rezonans frekansı:

$$f_r = \frac{1}{2\pi \cdot \sqrt{LC}} = \frac{1}{2,314 \sqrt{0,02 \cdot 2 \cdot 10^{-6}}} = \frac{10^3}{6,28 \sqrt{0,04}} = \frac{10^3}{6,28 \cdot 0,2} = 796 Hz$$

$$\text{Rezonans frekansında endüktif reaktans} = X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2,314 \cdot 796 \cdot 0,02 = 100\Omega$$

Rezonans frekansında kapasitif reaktans:

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot f \cdot C} = \frac{1}{2,314 \cdot 796 \cdot 2 \cdot 10^{-6}} = \frac{10^6}{2,314 \cdot 796 \cdot 2} = \frac{10^6}{10^4} = 100\Omega$$

$$\text{Devre akımı} = I = \frac{V}{R} = \frac{9}{30} = 300\text{mA}$$

Rezonans frekansında bobin ve kapasitör üzerindeki gerilimleri:

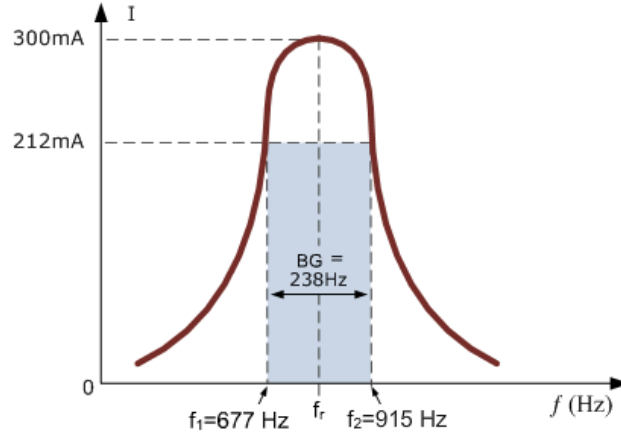
$$V_L = V_C = I \cdot X_L = I \cdot X_C = 0,3 \cdot 100 = 30V \quad (\text{hatırlayınız, kaynak gerilimi 9V})$$

$$\text{Kalite faktörü} = Q = \frac{X_L}{R} = \frac{100}{30} = 3,33$$

$$\text{Bant genişliği} = BG = \frac{f_r}{Q} = \frac{796}{3,33} = 238\text{Hz}$$

$$\text{Alt kesim frekansı} = f_1 = f_r - \frac{BG}{2} = 796 - \frac{239}{2} = 677\text{Hz}$$

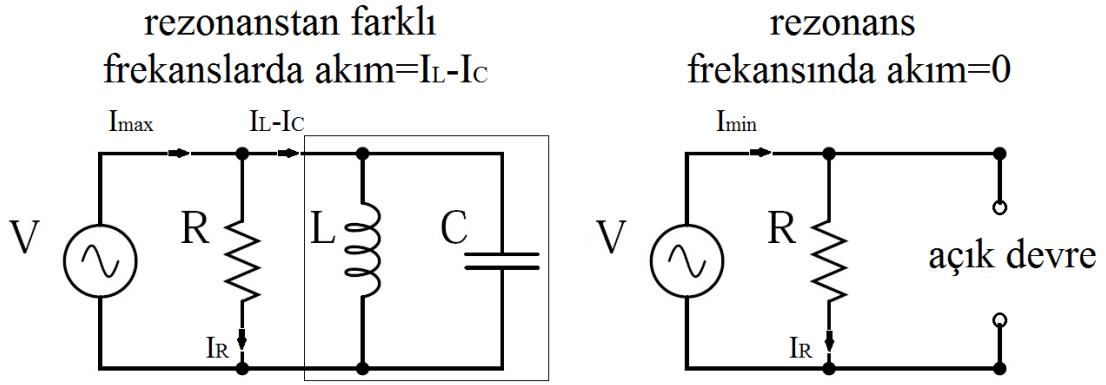
Üst kesim frekansı = $f_2 = f_r + \frac{BG}{2} = 796 + \frac{239}{2} = 915\text{Hz}$ olarak bulunur. Ayrıca bant genişliği-akım grafiği Şekil 3.40'daki gibi olur.



Şekil 3.40: Örneğe ait bant genişliği akım grafiği

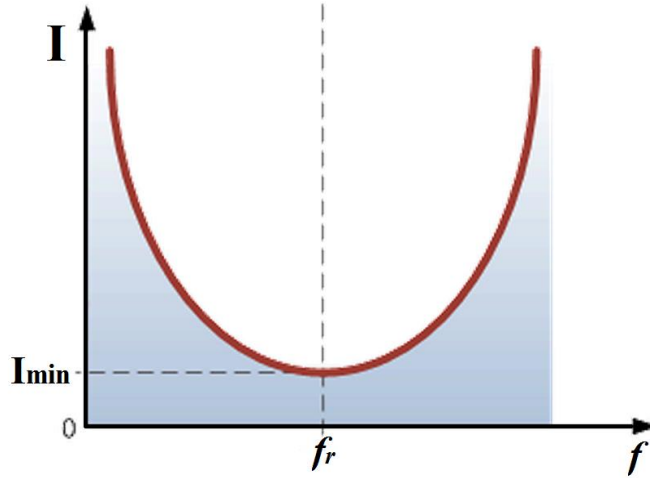
➤ Paralel rezonans devresi

Paralel rezonans devresi seri rezonans devrelerinden çok farklı değildir.(Şekil 2.41) Reaktif elemanların frekansa verdiği tepkiler devrenin davranışını etkiler. Paralel rezonans devresinde de seri rezonanstaki olduğu gibi reaktif elemanlar, rezonans frekansında birbirinin etkisini yok edecektir. Tank devresi olarak isimlendirilen paralel L-C devresinde bobin ve kapasitör, rezonans frekansında depoladıkları enerji ile sürekli birbirleri üzerinden akım geçirir. Böylece A.C gerilim kaynağından akım çekmez. Bu durumda L-C elemanlarından oluşan tank devresi açık devre gibi davranır.



Şekil 3.41: Paralel rezonans devresi

Şekil 3.42'deki grafikte görüldüğü gibi paralel rezonans devresinde f_r rezonans frekansında devrenin toplam akımı minimumdur. X_L ve X_C bileşenleri tank devresini açık devre hâline getirmiştir. Rezonans frekansının dışındaki frekanslarda ise devreden minimum akımdan fazla akım geçer.



Şekil 3.42: Paralel rezonans devresinde akım-frekans ilişkisi

Paralel rezonans devrelerinde kullanılan eşitlikler, paralel R-L-C'deki akım ve gerilim ve seri rezonanstaki f_r eşitlikleri ile aynıdır ancak kalite faktörü;

$$Q = R / X_L = R / X_C = R \cdot \sqrt{C / L} \text{ eşitlikleri ile bulunur.}$$

Örnek 1: Şekil 2.41'deki gibi bir paralel rezonans devresinde $R = 60 \Omega$, $L = 200 \text{ mH}$, $C = 120 \mu\text{F}$ ve A.C. kaynak gerilimi $V = 100 \text{ V}$ ise;

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} = \frac{1}{2.3,14\sqrt{200 \cdot 10^{-3} \cdot 120 \cdot 10^{-6}}} = \frac{10^3}{6,28\sqrt{24 \cdot 10^{-6}}} = \frac{10^3}{6,28 \cdot 4,89} = 32,5 \text{ Hz}$$

$$X_L = 2\pi \cdot f \cdot L = 2.3,14 \cdot 32,5 \cdot 0,2 = 40,82 \Omega$$

$$Q = \frac{R}{X_L} = \frac{60}{40,82} = 1,46$$

$$BG = \frac{f_r}{Q} = \frac{32,5}{1,46} = 22,2 \text{ Hz}$$

$$f_1 = f_r - \frac{BG}{2} = 32,5 - \frac{22,2}{2} = 21,4 \text{ Hz}$$

$$f_2 = f_r + \frac{BG}{2} = 32,5 + \frac{22,2}{2} = 43,6 \text{ Hz}$$

$$I_T = \frac{V}{R} = \frac{100}{60} = 1,67 \text{ A} \quad (\text{rezonans anında toplam akım})$$

$$I_L = \frac{V}{X_L} = \frac{100}{40,82} = 2,45 \text{ A} \quad (\text{rezonans anında bobin ya da tank devresinin akımı})$$

3.3.4. Alternatif Akımda Güç

Alternatif akım devrelerinde güç birim zamanda yapılan elektrik işidir. A.C devrelerde güç devre gerilimine ve devrede dolaşan akıma bağlıdır. Bununla beraber A.C devrelerde güç, endüktif ve kapasitif yüklerin de bulunması, akım ve gerilimin genliğinin devamlı olarak değişmesi ve aralarında faz farkı bulunması nedeniyle birden fazla bileşene sahiptir. A.C devrelerdeki bu güç bileşenleri aktif güç, reaktif güç ve görünür güçtür.

➤ Aktif (iş yapan) güç (P)

Aktif (gerçek) güç, reaktif bileşenlere (bobin ve kapasitör) sahip bir devrede rezistif eleman (direnç) üzerinde harcanan güçtür. P ile gösterilir. Birimi watt (W)'tır. Aktif güç devrede harcanan enerjinin ölçüsüdür.

$$P = V \cdot I \cdot \cos \varphi$$

P : Aktif güç watt (W)

I : Akım, amper (A)

V : Gerilim, volt (V)

φ : Gerilim ve akım arasındaki faz farkı

➤ **Reaktif (kör) güç (Q)**

A.C devrelerde kaynak sinyalinin yönü ve şiddeti zamanla değişir. Endüktif ve kapasitif devre elemanları enerji depolayabilme özelliğine sahiptir ve depolanan bu enerji kaynağa tekrar aktarılır. A.C devrelerde enerji kaynağına geri aktarılan güce reaktif güç denir. Q ile gösterilir. Birimi volt-amper-reaktif (VAR)'tir.

$$Q = V.I.\sin \varphi \text{ ile hesaplanır.}$$

Q : Reaktif güç volt-amper-reaktif (VAR)

I : Akım, amper (A)

V : Gerilim, volt (V)

φ : Gerilim ve akım arasındaki faz farkı

➤ **Görünür (zahirî, bileşke) güç (S)**

Pratikte A.C devrelerde rezistif ve reaktif yükler bir arada bulunur. Rezistif yüklerde harcanan aktif güç ile reaktif yüklerde harcanan reaktif gücün vektörel toplamına ya da bileşkesine görünür güç denir. S ile gösterilir. Birimi volt-amper (VA)dir.

$$S = V.I \text{ ile hesaplanır.}$$

S : Görünür güç volt-amper (VA)

I : Akım, amper (A)

V : Gerilim, volt (V)

Görünür güç, alternatif akım kaynaklarının güçlerinin belirtilmesinde kullanılır. Çünkü kaynakların iç ısıları, akımın gerilimle olan faz ilişkisine bağlı olmayıp kaynaktan çekilen toplam akım ile ilgilidir.

Örnek 1: Bir elektrik motoru 220 V'luk alternatif akım kaynağından 10A ve 30° geri fazlı akım çekmektedir. Motorun kaynaktan çektiği aktif, reaktif ve görünür güçleri hesaplanacak olursa ($\sin 30^\circ = 0,5$, $\cos 30^\circ = 0,866$);

$$P = V.I.\cos \varphi$$

$$P = 220.10.\cos 30$$

$$P = 1905,2W$$

$$Q = V.I.\sin \varphi$$

$$Q = 220.10.\sin 30$$

$$Q = 1100VAR$$

$$S = V.I$$

$$S = 220.10$$

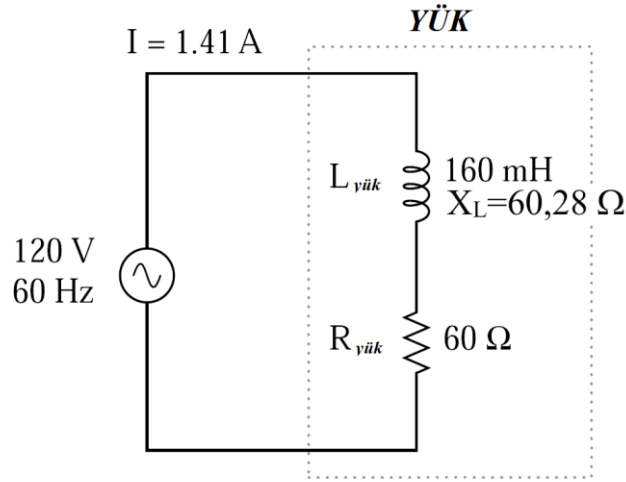
$$S = 2200VA \text{ bulunur.}$$

3.3.5. Endüktif Yüklü (R-XL) Devrelerde Güç Üçgeni

Bir bobin omik ve endüktif olmak üzere iki çeşit dirence sahiptir. Uygulamada saf bobin özelliği gösteren devre elemanı yoktur. Asenkron motorlar, transformatörler ve bobinli ziller yani içinde bobin olan tüm cihazlar endüktif yüküdür. Bu cihazlarda kullanılan bobinlerin omik ve endüktif dirençleri vardır. Bu tür yüklerde gerilim akımdan ileridedir. Pratikteki uygulama devreleri R-X_L devresi olarak isimlendirilir.

➤ Seri R-XL devresi

Seri R-XL devresinde bobin ve direnç elemanları seri bağlanır ve A.C devrede yükü oluşturur. Şekil 2.43'teki R-L devresinin güç bileşenleri;



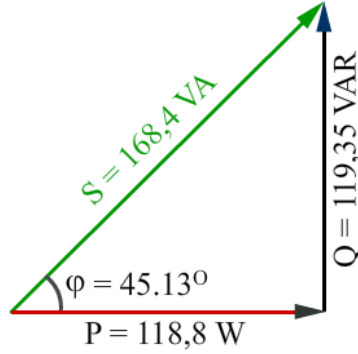
Şekil 3.43: Seri R-XL devresi

$$P = I^2.R = 1,98.60 = 119,365W$$

$$Q = I^2.X = 1,98.60,319 = 119,998VAR$$

$$S = I^2.Z = 1,98.85,48 = 169,256VA \text{ olarak bulunur.}$$

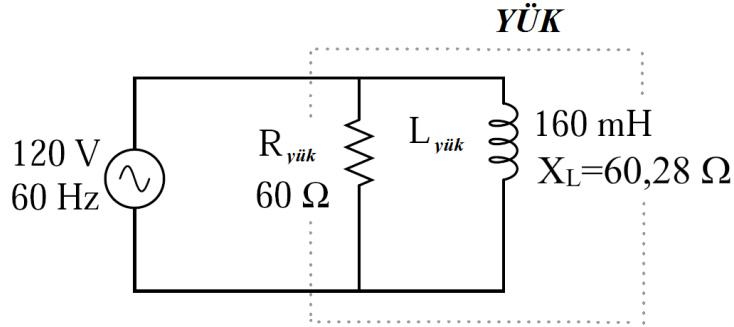
Bu sonuçlar yardımı ile seri R-XL devresinin güç üçgeni şekil 3.44'deki gibi çizilebilir.



Şekil 3.44: Reaktif yüklü seri R-XL devrede güç üçgeni

➤ **Paralel R-XL devresi**

Seri R-XL devresinde bobin ve direnç elemanları paralel bağlanır ve A.C devrede yükü oluşturur. Şekil 3.45'teki R-L devresinin güç bileşenleri;



Şekil 3.45: Paralel R-XL devresi

$$Z = \frac{R \cdot X_L}{\sqrt{R^2 + X_L^2}} = \frac{60 \cdot 60,28}{\sqrt{60^2 + 60,28^2}} = 42,52 \Omega$$

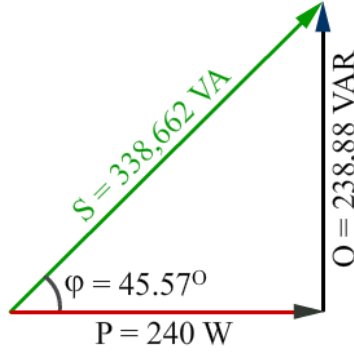
$$P = I^2 \cdot R = \frac{V^2}{R} = \frac{120^2}{60} = 240 \text{ W}$$

$$Q = I^2 \cdot X_L = \frac{V^2}{X_L} = \frac{120^2}{60,28} = 238,88 \text{ VAR}$$

$$S = I^2 \cdot Z = \frac{V^2}{Z} = \frac{120^2}{42,5} = 338,66 \text{ VA ve}$$

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{240}{338,66} = 0,7 \Rightarrow \cos^{-1} = 45,57^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

Bu sonuçlar yardımı ile paralel R-XL devresinin güç üçgeni Şekil 3.46'daki gibi çizilebilir.



Şekil 3.46: Reaktif yüklü paralel R-XL devrede güç üçgeni

3.3.6. Güç Katsayısı

Endüstride kullanılan yüklerin çoğunluğunu bobinli cihaz ya da makineler oluşturur. Bunlar da endüktif devreler olup geri güç katsayılıdır. Dolayısıyla şebekeler, alıcıların aktif güçleri yanında, reaktif güçlerini de karşılamak zorunda kalmaktadır. İş yapma özelliği olmayan reaktif güç, şebekeleri gereksiz yere yükler ve verimini düşürür. Bu yüzden güç katsayısının düzeltilmesi gerekmektedir. Bu işlemlere “kompanzasyon” denir.

Güç katsayısının düzeltilmesinin faydaları:

- Alternatörün ve trafonun görünür güçleri düşer.
- Aynı besleme hatlarından daha fazla aktif enerji iletilir.
- Enerji iletim hatlarındaki kayıplar azalır.
- Aynı gücü iletmek için daha az iletken kullanılır ve buna bağlı olarak yatırım maliyetleri düşer.
- Reaktif güç için ödenmesi gereken para tasarruf edilir.

Güç katsayısını düzeltmek için yani endüktif reaktif gücü yok etmek için devreye çoğunlukla paralel kondansatör grupları bağlanabilir.

➤ Faz açısı

Reaktif yüklere sahip A.C devrelerde güç üçgeninde bulunan φ açısı, A.C gerilim kaynağından ne kadar güç çekildiğini veya kaynağa ne kadar güç aktarıldığının oranını gösterir. Güç üçgeninde bulunan bu açığı faz açısı denir. φ açısının kosinüsü yani $\cos \varphi$ ise aktif gücün görünür güce oranıdır ve güç katsayısı olarak isimlendirilir.

$$\cos \varphi = \frac{P}{S}$$

Şekil 2.45'teki paralel R-XL devresinin faz açısı ve güç katsayısı hesaplanacak olursa;

$$\cos \varphi = \frac{P}{S} = \frac{240}{339} = 0,7$$

$$\varphi = \cos^{-1} 0,7 = 45^\circ \text{ olarak bulunur.}$$

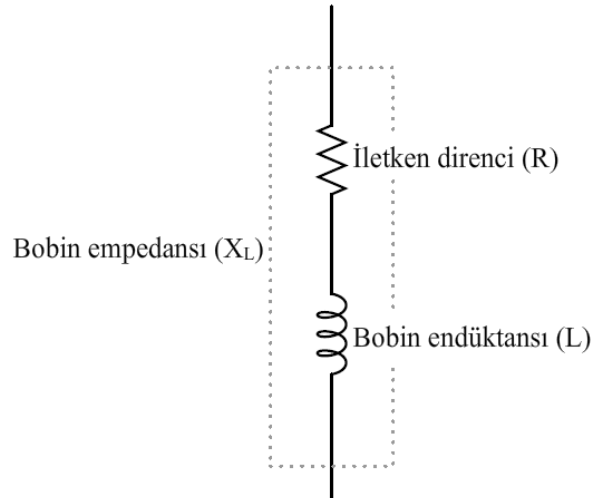
Güç katsayısının 1'e yakın bir olması istenir. Bunun anlamı aktif güç ile görünür gücün birbirine yakın ve reaktif gücün ise nispeten küçük olmasının istenmesidir. Bir sistemin güç katsayısı artırılarak sistemin verimi artırılabilir.

➤ Gerçek bobinin incelenmesi

İdeal bir bobinin sabit direncinin olmadığı varsayılır. Bu nedenle bir A.C devresinde ideal bir bobinin toplam direnci endüktansından kaynaklanan direncidir (X_L).

Oysa gerçekte bir bobinin az ya da çok sabit bir direnci vardır. (Şekil 2.47) Sonuçta bobin bir iletken ve hemen her iletken yapısı, kesiti ve uzunluğuna bağlı olarak bir direnç değerine sahiptir.

Bir bobinin sabit direnci yüksek akımlı devrelerde ihmal edilemez.

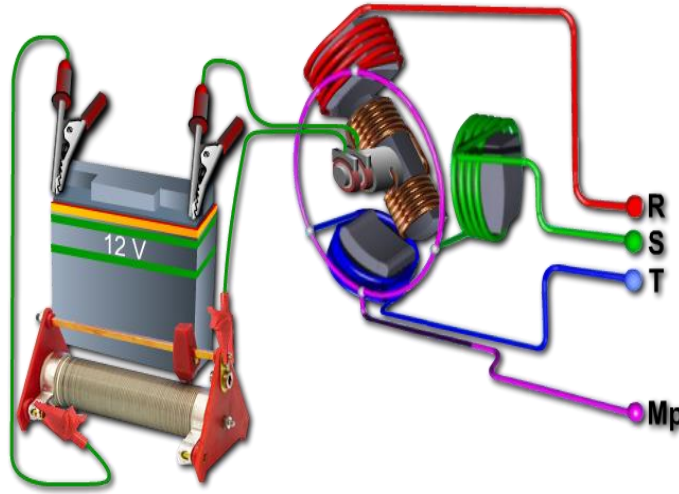


Şekil 3.47: Gerçek bobin

3.3.7. Üç Fazlı Sistemler

Alternatif akım üretmek için alternatör kullanıldığından ilk bölümde bahsedilmişti. Şimdiye kadar incelenen elektrik devrelerindeki A.C kaynaklar hep bir fazlı kaynaklardı. Eğer bir alternatör, birbirinin aynısı ancak aralarında 120 derece faz farkı olan sinüs şekline sahip üç farklı sinyal üretiyorsa buna üç fazlı sistem denir.

Şekil 3.48’de görüldüğü gibi bir alternatörün sargıları 120’şer derece aralıklarla yerleştirilmiştir. Bu yapıdan dolayı elde edilen gerilimler sinüzoidaldir ve aralarında 120 derece faz farkı vardır.

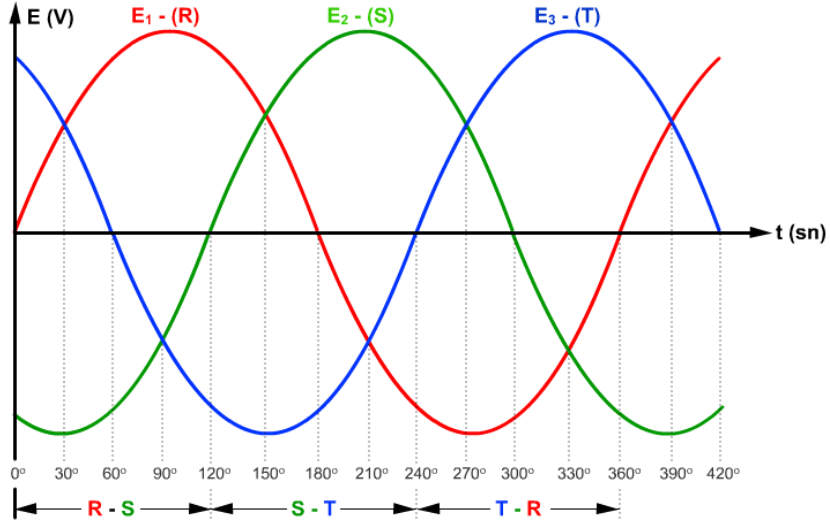


Şekil 3.48: Üç fazlı alternatör modeli

Elektrik enerjisinin iletimi ve üretimi bakımından çok fazlı sistemlerin bir fazlı sistemlere üstünlükleri vardır. Bunlar:

- Aynı boyuta sahip iki veya üç fazlı alternatörler bir fazlı olanlardan daha fazla güç verir.
- Çok fazlı alternatörlerde kilowatt–saat başına enerjinin maliyeti bir fazlı olanlardan daha düşüktür.
- Çok fazlı enerji iletim hatları bir fazlı hatlardan daha ucuzdur. Örneğin üç fazlı enerji iletim hattının bakır ağırlığı eş değer bir fazlı hattın ağırlığının 3/4’ü kadardır.
- **Faz farkları**

Bir alternatör düzeneğinde N-S kutupları arasındaki sabit manyetik alana üç sargı bobini 120’şer derece faz farkı olarak yerleştirilerek döndürülürse aralarında 120 derece faz farkı olan üç sinüzoidal sinyal elde edilir. Şekil 2.49’te A, B ve C bobinlerinde indüklenen 120’şer derece faz farkı sinüs eğrileri görülmektedir.



Şekil 3.49: Üç faz sinüs sinyalleri

Not: İç tesisler yönetmeliğinde ve teknik resim çizimlerinde üç fazın isimleri L1, L2 ve L3 olarak kullanılmaktadır. L1 griyle, L2 siyahla ve L3 de kahverengiyile gösterilir.

➤ Faz gerilimi

Şekil 3.48’de R, S ve T bobinlerinin sarım sayıları birbirine eşit olursa indüklenen gerilimlerin maksimum değerleri, dolayısıyla bu gerilimlerin etkin değerleri de bir birine eşit olur. 120 derece faz farklı ve maksimum değeri aynı olan üç eğri matematiksel olarak aşağıdaki gibi ifade edilir.

$$e_R = E_m \cdot \sin \omega t$$

$$e_S = E_m \cdot \sin(\omega t - \pi/3)$$

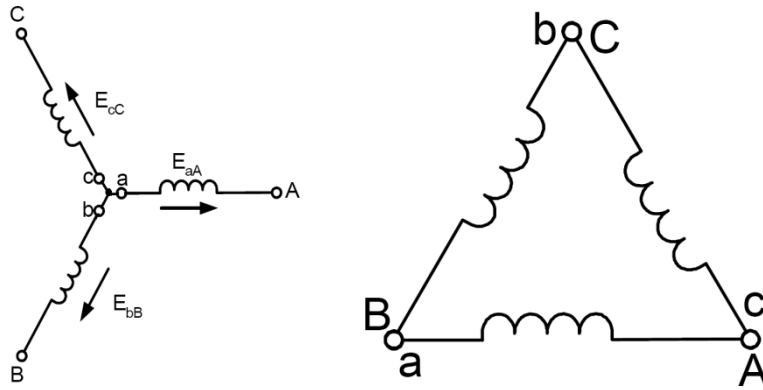
$$e_T = E_m \cdot \sin(\omega t - 2\pi/3)$$

Şekil 3.48’de görüldüğü gibi R bobininde indüklenen gerilim maksimum değerini aldıktan 120° sonra S bobininde indüklenen gerilim maksimum değerini alır. S bobininden 120° sonra T bobininde indüklenen gerilim maksimum değerine ulaşır. T bobinindeki gerilim R bobinindeki gerilimden 240° geri veya 120° ileri fazdadır.

Alternatörlerde gerilim indüklenmesini sağlamak için kullanılan bobinler birbirlerine iki farklı şekilde bağlanır. Bunlar yıldız (Y) ve üçgen (Δ) bağlantıdır. Her bir bobinde indüklenen gerilim faz gerilimi, fazlar arasındaki gerilim ise hat gerilimi olarak isimlendirilir. (Şekil 2.50)

Yıldız bağlantıda hat gerilimi faz geriliminin $\sqrt{3}$ katına eşittir ($V = \sqrt{3}.V_f$) ve hat akımı faz akımına eşittir ($I_H = I_F$). Üçgen bağlantıda ise hat gerilimi faz gerilimine eşittir ($V = V_f$) ve hat akımı faz akımının $\sqrt{3}$ katına eşittir ($I_H = \sqrt{3}.I_F$).

Örneğin yıldız bağlı üç fazlı bir sistemde faz gerilimi $V_f = 220$ V ise hat gerilimi $V = \sqrt{3}.V_f = 1,73.220 = 381,05$ V olarak bulunur.



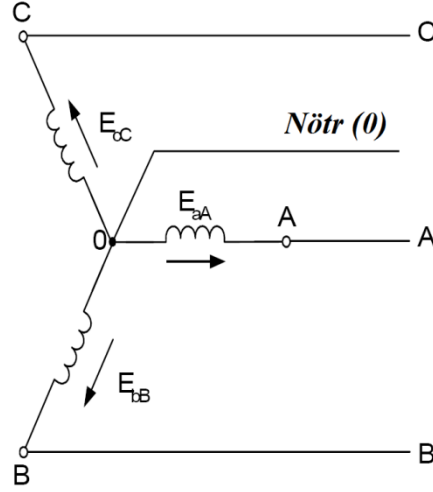
Şekil 3.50: Yıldız ve üçgen bağlantı

Örnek: Hat gerilimi 190 V olan bir sisteme yıldız bağlı bir motorun faz gerilimi bulunmak istenirse;

$$V_H = \sqrt{3}.V_F \Rightarrow V_F = V_H / \sqrt{3} = 190/1,73 = 110 \text{ V olur.}$$

➤ Sıfır noktası

Yıldız bağlı üç fazlı sistemlerde her faz sargısının birer ucu bir noktada birleştirilir.(Şekil 3.51) Bu noktaya sıfır noktası ya da nötr denir. Yıldız bağlantıda yükler sıfır noktası ile bir faz ucuna bağlanır. Üçgen bağlantıda ise sıfır noktası yoktur, yükler faz uçları arasına bağlanır.



Şekil 3.51: Yıldız bağlantıda sıfır noktası

➤ Üç fazlı sistemlerde güç

Üç fazlı sistemlerde yıldız ve üçgen bağlantılarda eğer dengeli yük (eşit empedanslarda yükler) varsa güç aşağıdaki eşitlikle hesaplanır.

$$P = \sqrt{3}.V.I.\cos \varphi$$

P : Dengeli yüklü sistemde güç (watt, W)

V : Fazlar arası gerilim (hat gerilimi) (volt, V)

I : Hat akımı (amper, A)

φ : Hat gerilimi ve hat akımı arasındaki açı

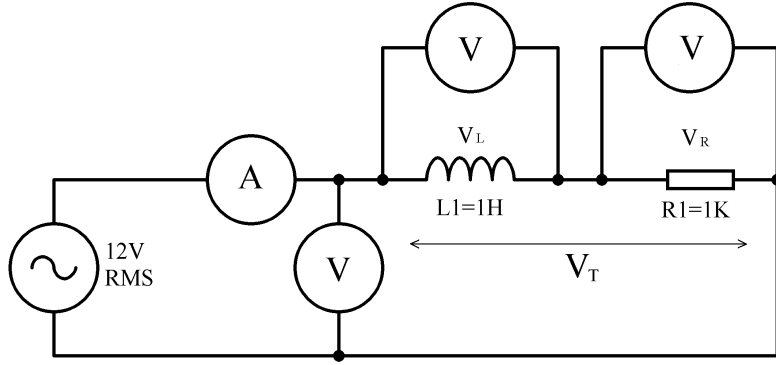
➤ Dengeli üç fazlı sistemler

Üç fazlı olarak gerçekleştirilen elektrik enerjinin üretimi, iletimi ve dağıtımı sırasında faz gerilimi ve akımlarının olabildiğince dengede tutulmasına çalışılır. Jeneratörler uygun yapıları dolayısıyla dengeli gerilim üretir. Ancak bazı tür tüketiciler karakteristikleri gereği fazlardan dengesiz akımlar çekebilir. Demir yolu tesisleri, ark fırınları, alçak gerilim enerji dağıtım şebekelerindeki bu tür yüklere birer örnektir. Bu durumda her fazın akımının genliği birbirinden farklı ve akım fazörleri arasındaki açı da 120° den farklıdır.

Dengeli üç fazlı güç sistemlerinde yük akımları, sistemin besleme ve uç gerilimleri dengelidir. Akımlar ve gerilimler sinüzoidaldir. Fazların empedansları ($Z_R = Z_S = Z_T$) ve admitansları ($Y_R = Y_S = Y_T$) eş değerdir. Kaçak kapasitelerin belirli noktalarda toplandığı kabul edilir ya da uzun iletim hatları hariç ihmal edilir.

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki uygulamaları yaparak AC akımda direnç, bobin, kondansatör seri/paralel devrelerinde ölçme ve hesaplamalar gerçekleştiriniz.



Seri R-L devresi

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Seri R-L devresini breadboard üzerine kurunuz.➤ Devreye enerji veriniz.➤ Voltmetre ve ampermetre üzerinde okunan değerleri not alınız. I:..... V_T:..... V_R:➤ Devrenin enerjisini kesiniz.➤ Direnç değerini Ohm Kanununa göre hesaplayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ İş güvenliği tedbirlerini alınız.
<ul style="list-style-type: none">➤ Direncin değeriyle bulduğunuz değeri karşılaştırınız.➤ Bobinin endüktif reaktans değerini V_L/I Ohm Kanununa göre hesaplayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Devreyi kurmadan önce devre elemanlarını ölçerek kontrol ediniz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Bobinin endüktif reaktansını $X_L = 2\pi \cdot f \cdot L$ formülüne göre hesaplayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Bulduğunuz değerleri karşılaştırınız.

<ul style="list-style-type: none">➤ Devrenin empedansını V/I formülü ile hesaplayınız.➤ Devre empedansını $Z = \sqrt{R^2 + XL^2}$ formülüne göre hesaplayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Hesaplama yaparken hesap makinesi kullanınız ve hata yapmamaya dikkat ediniz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Devrenin akımını faz açısını hesaplayınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Bulduğunuz değerleri karşılaştırınız.
<ul style="list-style-type: none">➤ Devreden çekilen toplam gücü, direnç ve bobin üzerinde harcanan güçleri hesaplayınız.➤ Hesapladığınız güçleri karşılaştırınız.	<ul style="list-style-type: none">➤ Ölçüm cihazlarınızın A.C kademesinde olduğundan emin olunuz.

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.	Alternatif akımda bobin bağlantılarını yapabildiniz mi?		
2.	Alternatif akımda kondansatör bağlantılarını yapabildiniz mi?		
3.	Alternatif akımda seri devre çözümlerini yapabildiniz mi?		
4.	Alternatif akımda paralel devre çözümlerini yapabildiniz mi?		
5.	Üç fazlı alternatif akım sistemlerinde çözümleri 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 soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Bir bobinin alternatif akıma gösterdiği zorluk aşağıdakilerden hangisidir?
 - A) Kapasitif reaktans
 - B) Empedans
 - C) Direnç
 - D) Endüktif reaktans
2. Sadece bobinli A.C devresinde akımı ve bobin gerilimi için aşağıdakilerden hangisi söylenebilir?
 - A) Akım ve gerilim aynı fazdadır.
 - B) Akım 90° geri fazdadır.
 - C) Akım 90° ileri fazdadır.
 - D) İkisini faz farkı 180° 'dir.
3. 3 mH ve 6 mH endüktansı olan iki bobin seri bağlanırsa eş değer endüktans ne olur?
 - A) 2 mH
 - B) 6 mH
 - C) 9 mH
 - D) 18 mH
4. Kapasitörlü bir A.C devresinde devre akımı ve kapasitör gerilimi için aşağıdakilerden hangisi söylenebilir?
 - A) Akım ve gerilim aynı fazdadır.
 - B) Akım 90° ileri fazdadır.
 - C) Akım 90° geri fazdadır.
 - D) İkisini faz farkı 180° 'dir.
5. $10\mu\text{F}$ 'luk iki kondansatör birbirine seri bağlanırsa eş değer kapasite ne olur?
 - A) $1\mu\text{F}$
 - B) $2\mu\text{F}$
 - C) $4\mu\text{F}$
 - D) $5\mu\text{F}$

6. Seri R-L devresi için aşağıdakilerden hangisi söylenemez?
- A) Omik dirençteki gerilim düşümü akımla aynı fazdadır.
B) Endüktif reaktansda düşen gerilim akımdan 90° geri fazdadır.
C) Devre akımı $I = V/Z$ fomülüyle bulunur.
D) Devreden geçen akım, gerilimden ϕ kadar geri kalır.
7. Seri R-C devresi için aşağıdakilerden hangisi söylenebilir?
- A) Devre akımı, devre geriliminden ϕ faz açısı kadar ileri fazdadır.
B) Devrenin empedansı Z , R , ve X_C dirençlerinin toplamına eşittir.
C) Devre akımı $I = Z/V$ fomülüyle bulunur.
D) Kondansatörün uçlarındaki kapasitif reaktans gerilim düşümü akım 180° geri fazdadır.
8. Maksimum gerilimi 100V olan bir A.C kaynak direnci 10Ω olan bir devreye akım vermektedir. A.C kaynağın frekansı 40Hz olduğuna göre akımın denklemini aşağıdakilerden hangisidir?
- A) $i = 10 \sin 80\pi.t$
B) $i = 5 \sin 80\pi.t$
C) $i = 5 \sin 40\pi.t$
D) $i = 4 \sin 80\pi.t$
9. Seri R-L-C devresinde $R = 15\Omega$, $X_L = 24\Omega$, $X_C = 4\Omega$ ve alternatif gerilim kaynağının etkin değeri 100V ise devreden geçen akımın etkin değeri kaç amperdir?
- A) 2
B) 3
C) 4
D) 8
10. Seri R-L devresinde direnç üzerindeki gerilimin bobin üzerindeki gerilime oranı $V_R/V_{X_C} = 3/4$ ise bu devrede faz açısının kosinüsü ($\cos \phi$) aşağıdakilerden hangisidir?
- A) $3/5$
B) $3/4$
C) 1
D) $4/3$

11. Seri R-C devresinde $R = 4\Omega$, $X_C = 3\Omega$, A.C kaynak geriliminin etkin değeri 100V ve akımın etkin değeri I_1 , seri bir R-L-C devresinde $R = 3\Omega$, $X_L = 7\Omega$, $X_C = 3\Omega$, A.C kaynak geriliminin etkin değeri 100V ve akımın etkin değeri I_2 ise I_1/I_2 oranı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 4
B) 3
C) 2
D) 1
12. Seri R-L-C devresinde $R = 15\Omega$, $X_L = 10\Omega$ ve $X_C = 10\Omega$ ise aşağıdaki yargılardan hangisi ya da hangileri doğrudur?
i. Devre rezonanstadır.
ii. Bobin gerilimi kondansatör gerilimine eşittir.
iii. Devrenin empedansı direnç değeri kadardır.
- A) i
B) i ve ii
C) i ve iii
D) i, ii ve iii
13. Reaktif bileşenlere (bobin ve kapasitör) sahip bir devrede rezistif eleman (direnç) üzerinde harcanan güç aşağıdakilerden hangisidir?
- A) Aktif güç
B) Pasif güç
C) Görünür güç
D) Reaktif güç
14. Rezonans devrelerinde kalite faktörü aşağıdakilerden hangisi ile gösterilir?
- A) K
B) G
C) BW
D) Q
15. Alt kesim frekansı 60Hz üst kesim frekansı 150Hz olan bir rezonans devresinde bant genişliği aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 80Hz
B) 90Hz
C) 100Hz
D) 210Hz

16. Üst kesim frekansı 1,5KHz ve bant genişliği 500Hz olan bir rezonans devresinin rezonans frekansı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 2KHz
B) 750Hz
C) 1,25KHz
D) 1,75KHz
17. Yıldız bağlantıda hat gerilimi faz geriliminin kaç katına eşittir?
- A) $\sqrt{3}$
B) $\sqrt{2}$
C) 1,5
D) 10
18. Alternatif akım devresinde iş yapan güç hangisidir?
- A) Reaktif güç
B) Görünür güç
C) Aktif güç
D) İş güç
19. Aşağıdakilerden hangisi kompanzasyonun faydalarından değildir?
- A) Alternatörden veya trafodan çekilen görünür güç artar.
B) Aynı besleme hatlarından daha fazla aktif enerji iletilir.
C) Enerji iletim hatlarındaki kayıplar azalır.
D) Reaktif güç için ödenmesi gereken para tasarruf edilir.

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-4

AMAÇ

Bu öğrenme faaliyeti sonunda transformatörlerin, çalışma prensiplerini kavrayarak devreye bağlantılarını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Transformatörlerin üretim teknikleri, türleri, yapıları ve elektrik devrelerinde kullanım amaçlarını araştırarak sınıf ortamında arkadaşlarınızla tartışınız.

4. TRANSFORMATÖRLER

Transformatörler daha çok, enerji iletimi ve dağıtımında kullanılır. Bunun yanı sıra birçok cihazda gerilim dönüştürücü olarak kullanılır.

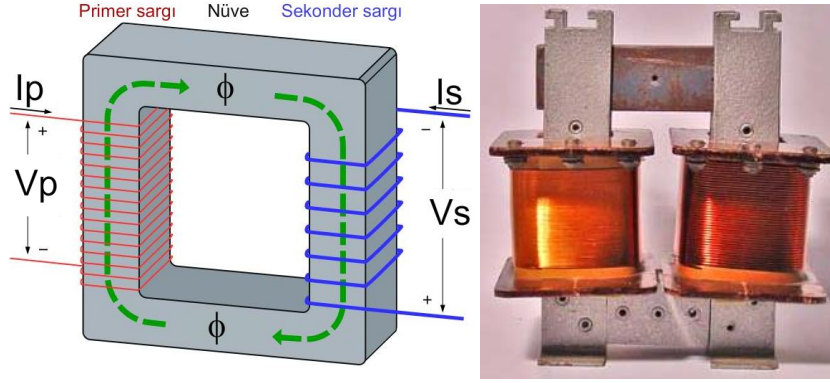
Elektrik enerjisinin santrallerden, kullanım alanlarına iletimi sırasında hatlarda ısı şeklinde güç kaybı ve gerilim düşümü olur. Bu durumu asgariye indirmek için güç sabit tutulup gerilimin yükseltilmesi gerekir. Bu akımın düşürülmesi demektir. Böylece hatlarda kullanılan iletkenlerin kesitleri küçülür, kayıplar azalır ve iletken maliyeti dolayısıyla da iletim maliyetleri düşer.

4.1. Transformatörün Yapısı

Transformatör, A.C sistemlerde gerilimin seviyesini frekans değiştirilmeden manyetik indüksiyon yoluyla dönüştürmek için kullanılan ve hareketli parçası bulunmayan bir elektrik makinesidir. Transformatörler; ince, silisli (silis, oksijen ve silisyumdan oluşan çok dayanıklı bir malzemedir) saclardan oluşan kapalı bir manyetik gövde ile bunun üzerine sarılan yalıtılmış iletken sargılarından oluşur. Şekil 4.1’de transformatörün yapısı görülmektedir.

Temelde transformatörde iki sargı bulunur. Bu sargılardan biri primer (birincil) sargı diğeri ise sekonder (ikincil) sargıdır. Primer ve sekonder sargılarının elektriksel bir bağlantısı yoktur.

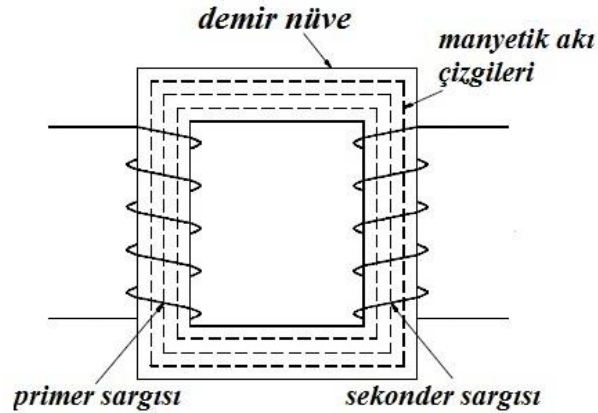
Transformatörlerin primer ve sekonder sargıları birbirlerinden elektriksel olarak yalıtıldıkları gibi nüveden de yalıtılır. Yalıtkan olarak pres bant, kâğıt, mika, bazı plastik maddeler, çeşitli yağlar, pamuk reçine, ağaç takozlar ve pertinaks gibi bazı maddeler kullanılır.



Şekil 4.1: Transformator yapısı

4.2. Transformatorün Çalışma Prensibi

Transformator, enerjinin değişken manyetik akı yoluyla bir iletkenden diğerine aktarılması prensibine göre çalışır. Manyetik akı bir A.C gerilim kaynağı tarafından oluşturulur. Primer sargısı uçlarına A.C gerilim uygulandığında sargı üzerinden bir alternatif akım geçer. Bu alternatif akım nüve üzerinde yönü ve şiddeti sürekli değişen bir manyetik akı oluşturur. Nüve üzerinde oluşan manyetik akı sekonder sargısı uçlarında bir A.C gerilim indüklenmesine neden olur. Böylece primer uçlarındaki A.C gerilim sekonder uçlarında bir gerilim indüklenmesi sağlar. Şekil 4.2’de demir nüveli Transformatorde manyetik akı çizgileri görülmektedir.

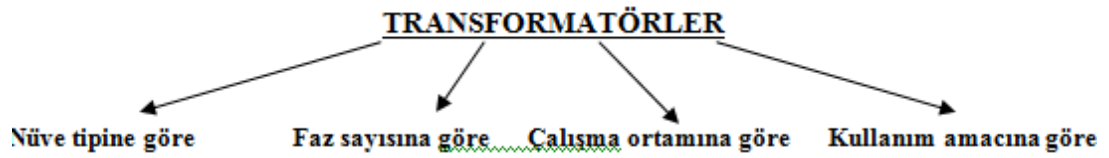


Şekil 4.2: Demir nüveli transformator ve manyetik akı çizgileri

Transformatörler alternatif gerilimin seviyesini dönüştürme dışında başka uygulamalarda da kullanılabilir. Bu uygulamalardan en yaygın olanları empedans uygunlaştırma ve bir devreyi başka bir devreden elektriksel olarak yalıtma.

4.3. Transformator Çeşitleri

Uygulamada ihtiyaçlar çok farklı olduğundan transformator çeşitleri de fazladır. Bu sebeple transformatorler farklı gruplar altında incelenmektedir.

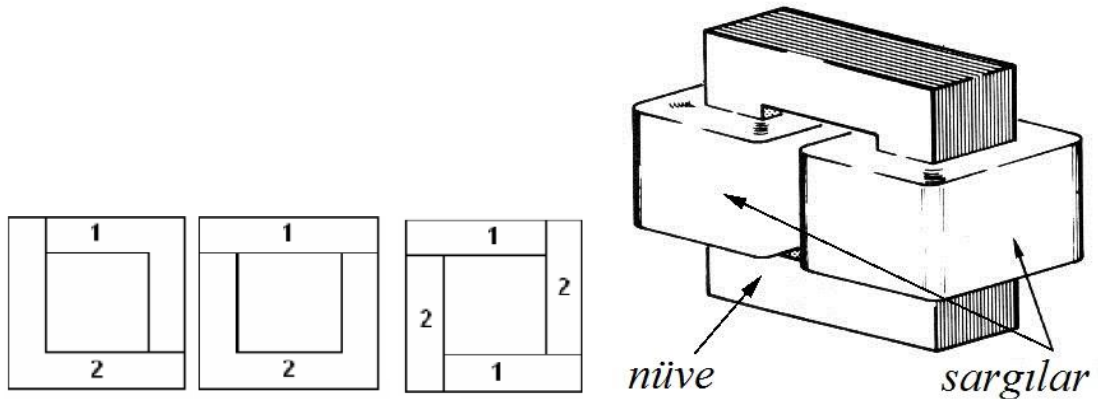


4.3.1. Nüve Tipine Göre

Transformator nüvelerinin türüne göre üç şekilde sınıflandırılır. Bunlar çekirdek tipi, mantel tip ve dağıtılmış tip nüveye sahip transformatorlerdir.

➤ Çekirdek tipi

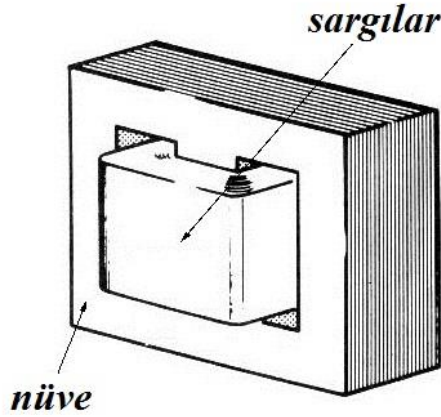
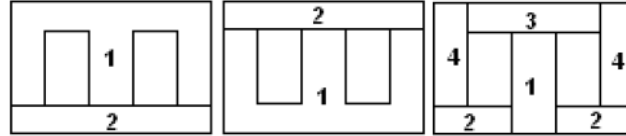
Çekirdek tip nüveli transformatorlerde yalıtım için daha fazla yer ayrılmıştır. Bu tip transformatorler büyük güçlerde ve yüksek gerilimlerde kullanılır. Sargı kontrolü kolaydır. Şekil 4.3'te çekirdek tip nüve görülmektedir.



Şekil 4.3: Çekirdek tip nüveli transformator ve sac şekiller

➤ **Mantel tipi**

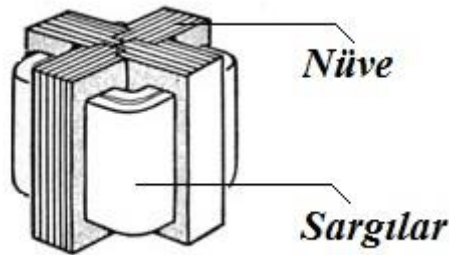
Mantel tip trafolar alçak gerilimlerde kullanılır. Sargılar manyetik nüve tarafından sarılmış durumdadır. Demir yolu kısa ve mıknatıslanma akımı küçüktür. Bu nedenle mantel nüveye sahip olan transformatörler zayıf akım uygulamalarında kullanılır. Sargılar dış etkilere karşı iyi korunur. Şekil 4.4'te mantel tipi transformatör ve sac şekilleri gösterilmiştir.



Şekil 4.4: Mantel tip nüveli transformatör ve sac şekiller

➤ **Dağıtılmış tip**

Dağıtılmış tip nüveye sahip transformatörler üstten bakıldığında “+” işaretine benzer. (Şekil 4.5) Bu nüveye sahip transformatörlerde kaçak alanlar küçük olduğu için boşta çalışma akımı ve iç gerilim düşümleri azdır. Soğutulması daha kolaydır.



Şekil 4.5: Dağıtılmış tip nüveli transformatör

4.3.2. Faz Sayısına Göre

Transformatör faz sayısına göre iki şekilde sınıflandırılır. Bunlar tek fazlı ve çok fazlı transformatörlerdir.

➤ Tek fazlı transformatörler

Tek fazlı transformatörlerde tek primer sargısı bulunur. Primer sargısı tek fazlı giriş sinyali içindir. Sekonder sargısı amaca göre bir veya birden fazla olabilir.

➤ Çok fazlı transformatörler

Çok fazlı transformatörlerde iki veya ikiden fazla primer sargısı bulunur. Sekonder sargısı amaca göre iki veya ikiden fazladır. Çok fazlı transformatörler çoğunlukla üç fazlı sarılır. Primer ve sekonder sargı sayılarına göre;

- Primer ve sekonderi aynı sayıda faza sahip olanlar (bir, iki, üç, altı, on iki fazlı transformatörler),
- Primer ve sekonderi farklı sayıda faza sahip olanlar (üç fazlı sistemi, iki, altı veya on iki faza dönüştüren transformatörler) şeklinde sınıflandırılır.

4.3.3. Çalışma Ortamına Göre

Transformatörler boyutları bakımından belki de en çok çeşitliliğe sahip elektrik devre elemanıdır. Elektrik enerjisi ve bu enerjinin dönüştürülmesine her alanda ihtiyaç duyulur. Bu nedenle transformatörlerin her çalışma ortamında kullanılması zorunlu hâle gelmiştir. Transformatörlerin kullanıldıkları ortama göre soğuk hava şartlarına, yağışlara, toza, suya, su basıncına ve sıcaklığa karşı iyi şekilde korunabilmektedir. Transformatörlerin başlıca çalışma ortamlarına göre;

- Platform tipi transformatörler,
- Yer altı tipi transformatörler,
- Su altı tipi transformatörler,
- İç mekân tipi transformatörler şeklinde sınıflandırılır.

4.3.4. Kullanma Amacına Göre

➤ Düşürücü tip transformatör

Kullanım alanı en yaygın transformatör tipidir. Bu tip transformatörlere alçaltıcı tip transformatörler de denir. Primer sargıya uygulanan alternatif gerilimden daha küçük bir alternatif gerilim sekonder sargıdan alınıyorsa bu tip transformatörlere düşürücü tip transformatör denir.

Düşürücü tip transformatörler evlerimizdeki gece lambalarında, şarjlı süpürgelerde, cep telefonlarının şarj aletlerinde vb. cihazlarda kullanılır.

➤ **Yükseltici tip transformatör**

Primer sargısına uygulanan alternatif gerilimden daha büyük bir alternatif gerilim sekonder sargıdan alınıyorsa bu tip transformatörlere yükseltici tip transformatör denir.

Televizyonlarda ve enerji nakil hatlarındaki yüksek gerilim bu tip transformatörler ile oluşturur.

➤ **Ölçü transformatörleri**

Alternatif akımda yüksek gerilimlerin ve büyük akımların ölçü aletleri ile ölçülmesi zordur. Bu nedenle yüksek gerilim ve büyük akımların ölçülmesi için ölçü transformatörleri kullanılır. Ölçü transformatörleri yardımı ile yüksek gerilimler ve büyük akımlar, transformatörün sekonder sargısında ölçü aletlerinin ölçebileceği değerlere düşürülür. Ölçü transformatörleri, ölçmelerin güvenli bir biçimde, kolay ve doğru bir şekilde yapılmasını sağlar.

İki ayrı özellikte ölçü transformatörü vardır. Bunlar;

- Akım transformatörleri,
- Gerilim transformatörleridir.

Yalıtım (izolasyon) transformatörleri

Yalıtım trafolarının amaç gerilim dönüşümü değildir. Bu transformatörlerin kullanım amacı iki devreyi elektriksel olarak birbirinden yalıtımdır. Bu tip transformatörlerde primer sargısına uygulanan gerilim sekonderden aynı şiddette alınır.

Bahsedilen çeşitlerin dışında hat transformatörü, empedans uyumlaştırma transformatörü, oto transformatörü vb. çeşitleri de bulunmaktadır.

4.4. Dönüştürme Oranı

Transformatörlerin primer ve sekonder sarım sayıları, gerilimleri ve akımları arasında sabit bir oran vardır. Bu orana dönüştürme oranı denir. Dönüştürme oranı:

$$K = \frac{N_P}{N_S} = \frac{V_P}{V_S} = \frac{I_S}{I_P}$$

K : Dönüştürme oranı

N_P : Primer sarım sayısı

N_S : Sekonder sarım sayısı

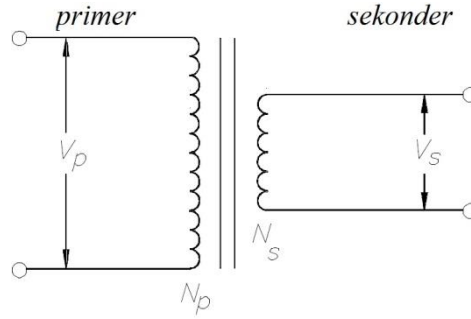
V_p :Primer gerilimi, volt (V)

V_s :Sekonder gerilimi, volt (V)

I_p :Primer akımı, amper (A)

I_s :Sekonder akımı, amper (A)

Dönüştürme oranına göre primer sarım sayısı ve gerilimi sabit kabul edilirse sekonder sarım sayısı artırılırsa sekonder gerilimi artar ve sekonder akımı düşer. Sekonder sarım sayısı az olursa sekonder gerilimi düşer.



Şekil 4.6: Örnek transformatör devresi

Örnek 1: Şekil 4.6'daki transformatör devresinde 120 V'luk primer gerilimi sekonder uçlarında 6 V olarak görülmektedir. Primer sargısı 360 tur ise sekonder sargısının tur sayısı hesaplanacak olursa;

$$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \Rightarrow \frac{360}{N_s} = \frac{120}{6} \Rightarrow N_s = \frac{360 \cdot 6}{120} = 18 \text{ olarak bulunur.}$$

Örnek 2: Şekil 3.6'daki transformatör devresinde dönüştürme oranı $K=1/4$, sekonder sargısı 5000 tur ve sekonder gerilimi 60 V ise primer gerilimi ve primer sargısının tur sayısı ne olur?

$$K = \frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} \Rightarrow \frac{1}{4} = \frac{N_p}{5000} = \frac{V_p}{60}$$

$$N_p = \frac{5000}{4} = 1250$$

$$V_p = \frac{60}{4} = 15V$$

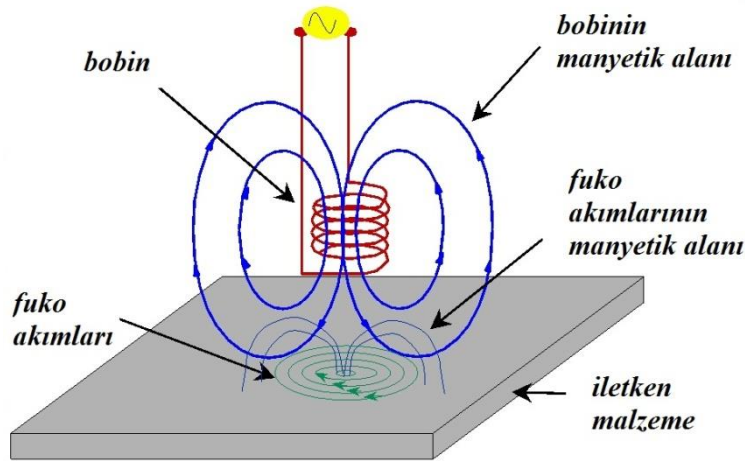
4.5. Transformatör Kayıpları

4.5.1. Fuko Kaybı

Bir nüve üzerine sarılmış bir bobinden değişken akım geçirildiğinde nüve üzerinde gerilim indüklenir. Bu gerilim nüvede kapalı çevrimler hâlinde çok sayıda akım yollarının oluşmasına neden olur. Bu olay yalnızca nüve yüzeyinde değil içinde de meydana gelir.(Şekil 4.7) Kapalı minik halkalar şeklinde oluşan bu akımlara fuko akımları (eddy –edi diye okunur-akımları) denir. Her bir kapalı akım yolundaki akım şiddeti doğrudan indüklenen gerilim ile orantılıdır. Akım şiddeti bu akım yolunun elektriksel direnci ile ters orantılıdır.

Fuko akımları nüvelerde aşırı ısınmaya neden olur. Isınma ise enerjinin kaybı anlamına gelir. Fuko akımlarını önleyebilmek için transformatörlerde nüve için ince saclar kullanılır, bu saclar birbirlerinden yalıtılır ve öz direnci yüksek iletkenler kullanılır.

Alternatif gerilimin frekansı yükseldikçe fuko akım şiddeti de artar. Doğru akım devrelerinde frekans bileşeni olmadığı için fuko akımlarından söz edilemez.



Şekil 4.7: Fuko akımlarının oluşması

4.5.2. Histerisiz Kaybı

Demir gibi bazı ferromanyetik maddeler haricî manyetik alana maruz kaldıklarında geçici ya da kalıcı olarak manyetiklik sergilemeye başlar. Bu manyetiklik transformatör üzerinde var olan manyetik alana ters yöndedir ve ısı olarak enerji kaybına neden olur. Bu kayba histerisiz kaybı denir.

Histerisiz kaybı, nüve moleküllerinin frekansa bağlı olarak yön değiştirmesi sırasında moleküllerin birbirleri ile sürtünmeleri sonucu ısı şeklinde ortaya çıkar.

4.5.3. Bakır Kaybı

Bakır kaybı genellikle transformatör sargıları veya diğer elektrikli cihazların iletkenlerinde elektrik akımının ürettiği ısı için kullanılan bir terimdir. Transformatörlerdeki bakır kayıpları sargıda kullanılan iletkenin direnci ve iletken üzerinden geçen akımın karesi ile doğru orantılıdır. Düşük frekanslı uygulamalarda kalın kesitli ve düşük dirençli iletkenler kullanılması ile bakır kaybı minimum seviyelere çekilebilir.

Transformatörün sekonderine bir yük bağlandığı zaman hem primerden hem sekonderden bir akım geçer. Geçen akımlar primerde $I_p^2 \cdot R_p$ ve sekonderde $I_s^2 \cdot R_s^2$ şeklinde bakır kayıpları oluşur.

Bakır kayıpları 1000 kVA'nın altındaki güçlerde transformatörün görünür gücünün % 3 ile % 4'ü kadardır.

4.6. Transformatörlerde Güç

İdeal bir transformatörde kayıplar göz önünde bulundurulmadan primer sargısında bulunan enerjinin doğrudan sekonder sargısına aktarıldığı düşünülür. Yine kayıplar göz ardı edilip transformatör sekonder uçlarına bir yük bağlandığında aktarılan enerjinin tamamı yük üzerinde bir güç harcanmasını sağlar. Transformatörlerde güç, sekonder uçlarındaki yükün empedansına dolayısıyla yükün çektiği akıma ve sekonder uçlarındaki gerilim değerine bağlıdır.

Enerjinin kayıpsız aktarılacağı düşünülürse;

$$P_p = P_s \text{ ve } I_p \cdot V_p = I_s \cdot V_s \text{ eşitlikleri yazılabilir.}$$

Burada P_p primer gücünü, P_o sekonder gücünü ifade eder. Eşitlikten yararlanılarak sekonder uçlarına bağlanan bir yükün çekebileceği en fazla akımın, dolayısıyla harcayacağı en fazla gücün ve transformatör gücünün primer akımı ve gerilimine de bağlı olduğu görülür. Primer gerilimin sabit şebeke gerilimi olduğu varsayılırsa primer akımı da transformatör gücü için önemli bir parametredir.

Örneğin kayıpları önemsenmeyen bir transformatörün primer gerilimi $V_p = 220V$, primer akımı $I_p = 0,045A$ ve sekonder gerilimi $V_s = 12V$ ise sekonder akımı ve transformatörün gücü;

$$P_p = P_s = V_p \cdot I_p = V_s \cdot I_s \Rightarrow P_p = 220 \cdot 0,045 = 10W$$

$$P_s = V_s \cdot I_s \Rightarrow 10 = 12 \cdot I_s \Rightarrow I_s = \frac{10}{12} = 0,83A \text{ olarak bulunur.}$$

4.7. Transformatörlerde Verim

Bir transformatörün verimi çıkış gücünün giriş gücüne oranıdır. Feko, histerisiz ve bakır kayıpları her ne kadar küçük güçlü transformatörlerde önemsenmese de büyük güçler söz konusu olduğunda çıkışa aktarılan güç miktarını düşürmektedir. Yani kayıplar verimin yüzde yüz olmasını engellemektedir. Verim η (eta) ile gösterilir ve birimi yoktur. Yüzde olarak verimlilik aşağıdaki eşitlikle bulunabilir.

$$\% \eta = \frac{P_s}{P_p} \cdot 100$$

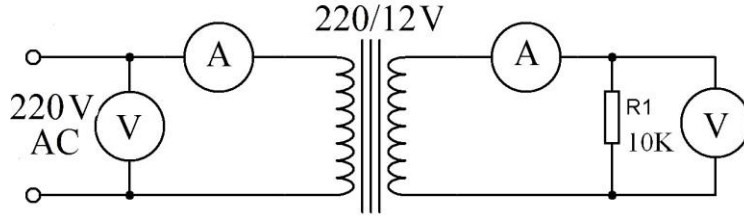
Örneğin 100W 'lık bir transformatörde 2W kayıplara harcanıyorsa bu transformatörün yüzde verimliliği;

$$\% \eta = \frac{P_s}{P_p} \cdot 100 = \frac{100 - 2}{100} \cdot 100 = \%98$$

olarak bulunur.

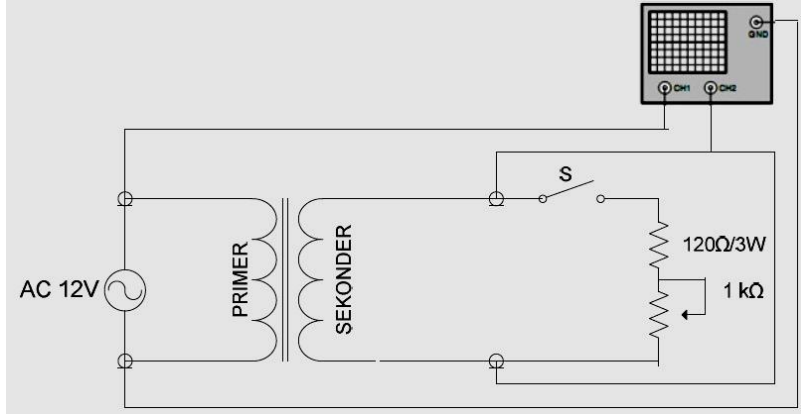
UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki uygulamayı yaparak transformatör seçimini yapabilecek ve devreye bağlayabileceksiniz.

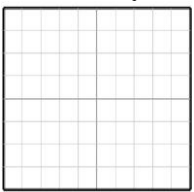
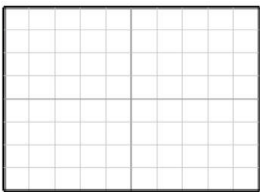



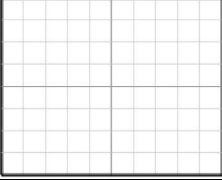
Transformatör uygulama devresi

İşlem Basamakları	Öneriler
İşlem Basamakları <ul style="list-style-type: none">➤ Şekildeki devreyi breadboard üzerine kurunuz.➤ Devreye enerji veriniz.➤ Ölçü aletlerinde okunan değerleri not alınız. $I_1 = \dots\dots\dots$ $V_1 = \dots\dots\dots$ $I_2 = \dots\dots\dots$ $V_2 = \dots\dots\dots$➤ Devrenin enerjisini kesiniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ İş güvenliği tedbirlerini alınız.
<ul style="list-style-type: none">➤ Transformatörün dönüştürme oranını hesaplayınız.	$\frac{N_p}{N_s} = \frac{V_p}{V_s} = \frac{I_s}{I_p}$
<ul style="list-style-type: none">➤ Transformatörün primer gücünü hesaplayınız.	$P = V \cdot I$
<ul style="list-style-type: none">➤ Transformatörün sekonder gücünü hesaplayınız.	
<ul style="list-style-type: none">➤ Transformatörün verimini hesaplayınız.	$\% \eta = \frac{P_s}{P_p} \cdot 100$



Transformatör uygulama devresi

İşlem Basamakları	Öneriler				
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Şekildeki devreyi şemada gösterilen malzemeleri kullanarak breadboard üzerine kurunuz. ➤ Transformatöre enerji verilmemiş ve S anahtarı açık durumda iken primer ve sekonder sargılarının direncini avometre ile ölçünüz. ➤ S anahtarı açık durumda iken devreye A.C 12V uygulayarak yüksüz primer ve sekonder gerilimlerini osilaskopla gözlemleyiniz. ➤ S anahtarını kapatarak sekonder yükünü devreye alınız. Yüklü primer ve sekonder gerilimlerini osilaskopla gözlemleyiniz. Potansiyometreyi ayarlayarak yük değişiminin sekonder gerilimine etkisini inceleyiniz. ➤ Ölçüm sonuçlarını kaydediniz. <table border="1" data-bbox="204 1508 788 1583"> <tr> <td>Primer sargı direnci</td> <td></td> </tr> <tr> <td>Sekonder sargı direnci</td> <td></td> </tr> </table>	Primer sargı direnci		Sekonder sargı direnci		<ul style="list-style-type: none"> ➤ Devreyi kurarken kesinlikle enerji altında çalışmayınız.
Primer sargı direnci					
Sekonder sargı direnci					
<ul style="list-style-type: none"> ➤ Yüksüz ölçümler <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="204 1618 427 1810"> V_p  </div> <div data-bbox="431 1618 718 1810"> V_s  </div> </div>	<ul style="list-style-type: none"> ➤ Transformatörde giriş gerilimi olarak şebeke gerilimi kullanıyorsanız primer terminallerini gerilim uygulamadan önce elektrik bandı ya da benzeri bir malzeme kullanarak yalıtınız. 				

<p>➤ Yüklü ölçümler</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;"> v_p  </div> <div style="text-align: center;"> v_s  </div> </div>	<p>➤ Osiloskopta ölçüm yaparken Volts/Div ve Time/Div kademelerini sinyalleri en iyi gözleyebileceğiniz pozisyona getiriniz.</p>
---	--

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. Devreye uygun transformatör seçebildiniz mi?		
2. Transformatörü devreye bağlayabildiniz mi?		
3. Transformatör ölçümleri yapabildiniz mi?		
4. Transformatör hesaplamaları 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 soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Transformatör için aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?
 - A) Manyetik indüksiyon prensibine göre çalışır.
 - B) Çalışmak için haricî gerilim kaynağına ihtiyaç duyar.
 - C) Hareketli parçaları vardır.
 - D) Gerilim dönüştüren bir motoru vardır.
2. Transformatörün elektrik devrelerinde görevi nedir?
 - A) Frekansı değiştirmek
 - B) A.C'yi D.C' ye dönüştürmek
 - C) A.C'nin seviyesini değiştirmek
 - D) A.C faz değiştirmek
3. Transformatörde nüve ne işe yarar?
 - A) Gerilimi doğrultur.
 - B) Kısa devrelerden korumak için empedans sağlar.
 - C) Sargılardaki harmonikleri yok eder.
 - D) Manyetik akının geçişi için yol sağlar.
4. Transformatörlerde dönüştürme oranı nedir?
 - A) Güçteki değişim oranıdır.
 - B) Nüve ile sargılar arasındaki güç oranıdır.
 - C) Primer ve sekonder sargılarının tur sayılarının oranıdır.
 - D) Bakır kayıplarının fuko kayıplarına oranıdır.
5. Transformatörün verimi aşağıdakilerden hangisidir?
 - A) Primer geriliminin sekonder gerilimine oranı
 - B) Primer akımının sekonder akımına oranı
 - C) Primer empedansını sekonder empedansına oranı
 - D) Sekonder gücünün primer gücüne oranı
6. Aşağıdakilerden hangisi nüve tipine göre transformatörlerden değildir?
 - A) Mantel tip
 - B) Dağıtılmış tip
 - C) Çekirdek tip
 - D) Tek fazlı tip

7. Sekonder sargısı 500 ve sekonder gerilimi 20 V olan bir transformatörün primer gerilimi 150 V ise primer sargısı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 3750
B) 37500
C) 375
D) 37,5
8. Transformatörde verim aşağıdaki simgelerden hangisi ile gösterilir?
- A) μ
B) η
C) π
D) λ
9. 200W güce sahip bir transformatörde 5W bakır, fuko ve histerisiz kayıplarına harcanıyorsa bu transformatörün verimi yüzde kaç olur?
- A) 95,5
B) 97,5
C) 92
D) 90
10. Aşağıdakilerden hangisi kullanım amacına göre transformatörlerden değildir?
- A) Sabit gerilim transformatörleri
B) Ayarlı gerilim transformatörleri
C) Sabit akım transformatörleri
D) Değişken yük transformatörleri
11. Transformatör, girişine uygulanan sinyalin hangi özelliği kesinlikle değişmez?
- A) Gerilim
B) Frekans
C) Akım
D) Güç
12. Transformatörün çalışması alternatif akımın etkilerinden hangisine bağlıdır?
- A) Işık
B) Manyetik alan
C) Isı
D) Kimyasal

13. Hangisi nüve çeşitlerine göre transformatör çeşitlerinde değildir?
- A) Düşürücü tip
 - B) Dağıtılmış tip
 - C) Çekirdek tipi
 - D) Mantel tipi
14. Bir transformatörün yapısında aşağıdakilerden hangisi vardır?
- A) Primer sargı
 - B) Sekonder sargı
 - C) Nüve
 - D) Hepsi
15. Bir transformatörün nüvesi, manyetik geçirgenliği kötü olan bir nüve ile değiştirilirse aşağıdakilerden hangisinde artma görülür?
- A) Sekonder gerilimi
 - B) Sekonder gücü
 - C) Dönüştürme oranı
 - D) Kayıplar
16. Aşağıdaki kayıp çeşitlerinden hangisi bir transformatör için söz konusu değildir?
- A) Rüzgâr kayıpları
 - B) Histeresiz kaybı
 - C) Bakır kaybı
 - D) Fuko kaybı

ÖĞRENME FAALİYETİ-5

AMAÇ

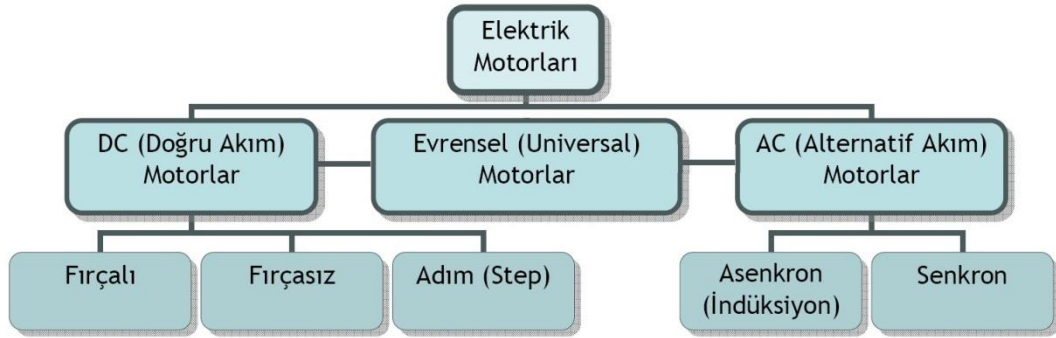
Bu öğrenme faaliyeti sonunda alternatif akım motorlarının, doğru akım motorlarına olan üstünlüklerini kavrayacak, kullanım yerlerini seçebilecek ve devreye bağlantılarını yapabileceksiniz.

ARAŞTIRMA

- Alternatif akım motorlarının kullanıldığı alanları araştırınız.
- Alternatif akım motorlarının doğru akım motorlarından farklarını araştırarak bir rapor hâlinde sınıf ortamında arkadaşlarınıza ve öğretmeninize sununuz.

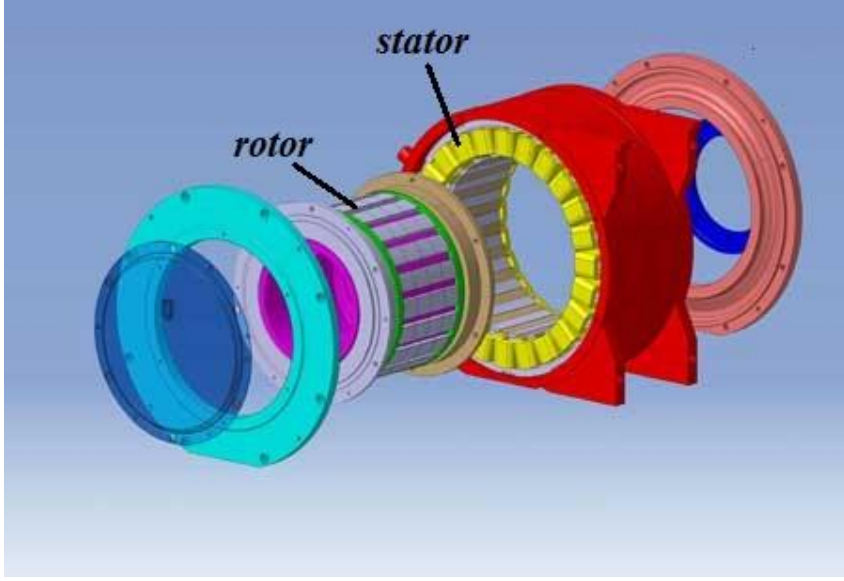
5. A.C MOTORLAR

Bir elektrik motoru, elektrik enerjisinden hareket enerjisi elde etmeye yarayan bir makinedir. Şekil 5.1’de elektrik motorları için basit bir sınıflandırma tablosu verilmiştir.



Şekil 5.1: Elektrik motoru çeşitleri

A.C motorlar asenkron ve senkron olmak üzere genel olarak iki gruba ayrılabilir. Asenkron motorlarda temelde iki kısımdan oluşur (Şekil 5.2). Bunlardan birisi stator diğeri rotordur. Statora uygulanan alternatif gerilim bir manyetik alan oluşturur. Rotor ise bu manyetik alan içinde bulunur ve stator manyetik alanı rotor üzerinde bir indüksiyon akımı meydana gelir. Stator ve rotor birer elektromıknatıs olarak çalışır ve oluşturdukları manyetik alanların birbirini itip çekmesi ile hareket enerjisi oluşur.

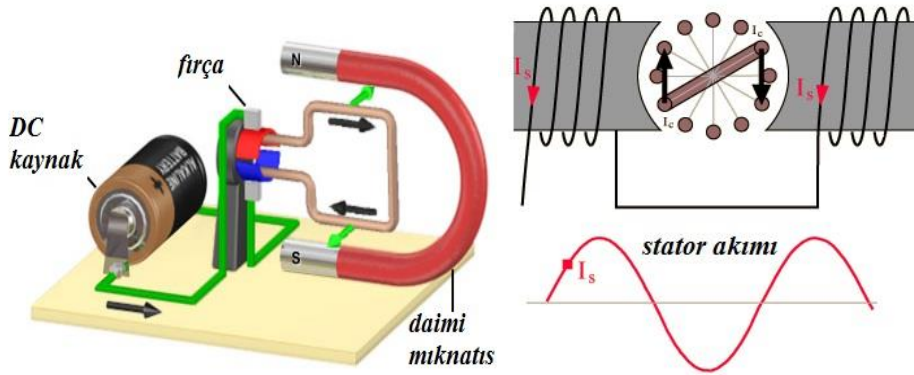


Şekil 5.2: Asenkron motor

5.1. A.C Motorların D.C. Motorlarla Karşılaştırılması

D.C. ve A.C motorların kullanım alanlarına göre birbirlerine birtakım üstünlükleri vardır.

Alternatif akım motorları, D.C. motorlara göre daha basit yapıda ve daha ucuz olmaları, ark oluşturmamaları, momentlerinin yüksek olması nedeniyle doğru akım motorlarına göre daha çok tercih edilir.(Şekil 5.3)



Şekil 5.3: Temel D.C. ve A.C motor

5.2. A.C Motor Çeşitleri

Alternatif akım motorları temelde senkron ve asenkron olmak üzere iki çeşittir. Senkron motorun rotorunda sargılar bulunur ve bu sargılardan bir kaynak vasıtasıyla akım geçirilir. Bu nedenle bu motorların rotor devir sayıları stator döner alan devir sayısına eşittir. Asenkron motorlarda ise enerji sadece stator sargılarına verilir. Stator sargılarındaki döner alan rotor sargıları ya da kısa devre çubuklarında endüksiyon yoluyla akım dolaştırarak rotorun dönmesini sağlar. Bu motorlarda rotor devri döner alanın devrine ulaştığında indüklemeye olmayacağından rotor devri döner alanın devrinden daima küçüktür.

Faz sayısına göre ise asenkron motorlar genelde bir fazlı ve üç fazlı olarak yapılır.

5.2.1. Bir Fazlı Motor

Bir fazlı motorlarda iki çeşit sargı bulunmasına karşın sargılar aynı gerilimle beslenir. Sargılar faz farkı oluşturacak şekilde farklı özelliktedir.

Bir fazlı A.C motorların kullanım alanları oldukça fazladır. Bunun nedeni bakımının ve maliyetinin düşük olmasıdır. Evlerde kullanılan çamaşır ve bulaşık makinelerinde ve diğer bazı ev aletlerinde çoğunlukla bir fazlı asenkron motorlar kullanılır.

➤ Tanımı ve çeşitleri

Bir fazlı asenkron motorlar kendi aralarında yardımcı sargılı (Resim 4.1) ve gölge kutuplu motorlar olmak üzere iki gruba ayrılır.

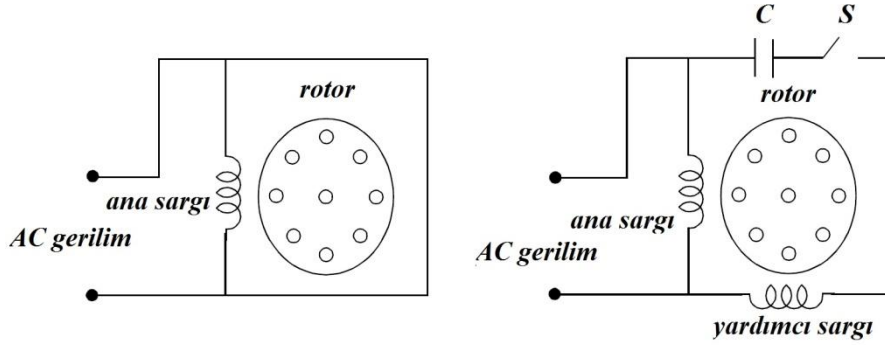


Resim 5.1: Yardımcı sargılı bir fazlı A.C motor

➤ Çalıştırılması

Bir fazlı asenkron motorlarda tek stator sargısı ve sincap kafesi rotorlar kullanılır. Stator sargısına uygulanan tek fazlı alternatif akım sargı üzerinde değişken manyetik alan oluşturur. Bu indüksiyon dolayısı ile rotor enerjilenir. Bu durum motorun hareket üretmesine yetmez sadece bir titreşim oluşturur. Dolayısıyla motora ilk hareketi dışardan tatbik etmek gerekir. İlk hareket verebilmek için bir fazlı motorlarda yardımcı sargı bulunur. Motora ilk hareket verildikten sonra yardımcı sargı devreden çıkar.

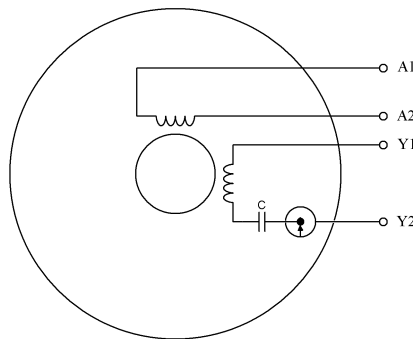
Şekil 5.4'te bir fazlı motor devrelerinde yardımcı sargı motorun ilk anda hareketini sağlamak için konulmuştur. Yardımcı sargının önündeki C kondansatörü ise ilk hareket anında 90 derecelik faz farkını oluşturabilmek içindir. Motor ilk hareketten ve normal devrine ulaştıktan sonra yardımcı sargıyı ve C kondansatörünü devre dışı bırakmak için S anahtarı kullanılmıştır. Bu anahtar ilk anda kapalıdır. Motor yeterli devri aldıktan sonra dönmenin etkisi ile açılır ve yardımcı sargıyla kondansatörü devre dışı bırakır.



Şekil 5.4: Yardımcı sargısı olan ve olmayan bir fazlı motor devreleri

➤ Dönüş yönünün değiştirilmesi

Yardımcı sargılı asenkron motorlarda devir yönünü değiştirmek için bobinlerden birinin akım yönünü değiştirmek gerekir. Bu değiştirme, daha çok yardımcı sargıda uygulanır. Sargı uçları stator içinde bağlanarak dışarıya üç tane uç çıkartılır. Uçlardan ikisi ana sargı, diğeri ise yardımcı sargı ucudur ve bu uç santrifüj anahtara bağlanır. Devir yönü sık sık değiştirilen motorlarda ise klemens tablosuna dört uç çıkartılır. Örneğin Şekil 4.5'deki iki ana sargısı ve bir yardımcı sargısı bulunan bir fazlı motorun dönüş yönünü değiştirmek için Y1 ve Y2 uçları yer değiştirilir.



Şekil 5.5: Bir fazlı motor bağlantı şeması

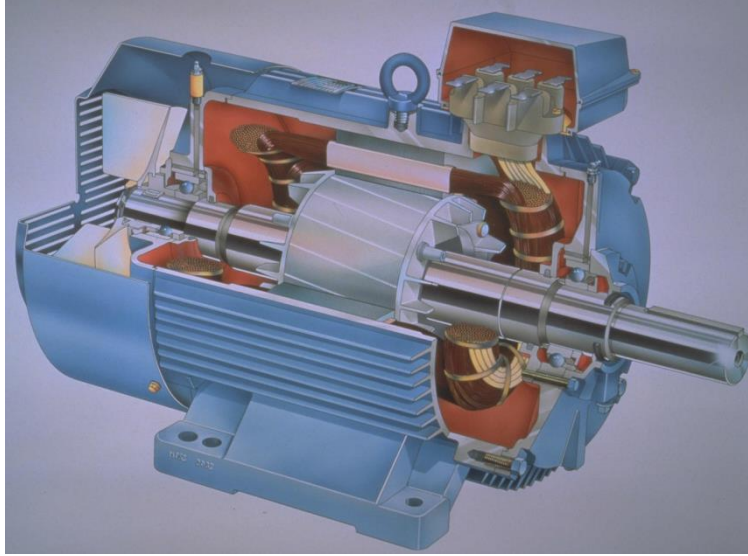
Aspiratör, vantilatör, kompresör, çamaşır makinası gibi motorlar, daima bir yönde döner. Bu nedenle sargı uçları stator içinde bağlanarak dışarıya üç uç çıkartılır. Uçlardan ikisi ana sargı, diğeri ise yardımcı sargı ucudur ve bu uç santrifüj anahtara bağlanır. Devir yönü sık sık değiştirilen motorlarda ise klemens tablosuna dört uç çıkartılır.

5.2.2. Üç Fazlı Motor

➤ Tanımı ve çeşitleri

Üç fazlı motorlar, basit tasarıma, yapısı gereği yüksek ilk hareket torkuna ve verimliliğe sahip olduğu için endüstride en çok tercih edilen motorlardır. Kullanım alanları arasında endüstriyel fanlar, havalandırma sistemleri, kompresörler ve konveyör sistemleri sayılabilir.

Üç fazlı motorlar yapısal olarak bir fazlı motorlarla benzer.(Resim 4.2) Manyetik alanın oluşturulduğu bir stator ve mekanik enerjinin alındığı rotora sahiptir. Üç fazlı motorlarda üç adet stator sargısı vardır ve bu sargılar aralarında 120° farkla konumlandırılır.

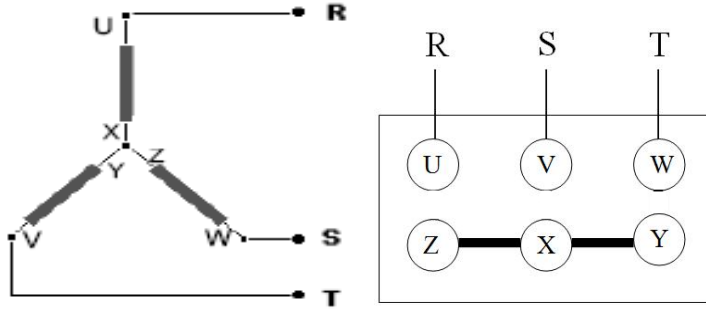


Resim 5.2: Üç fazlı motor

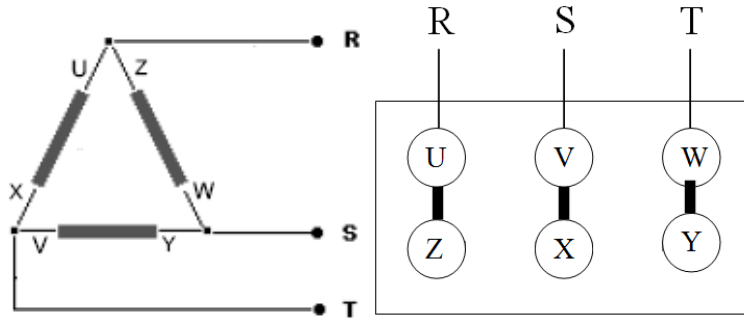
Stator ve rotor arasında elektriksel bir bağlantı yoktur ve bu motor elemanları yüksek mıknatıslanma özelliğine sahip plakalardan üretilir. Statorda indüklenen manyetik akı rotora havadan iletilir. Rotorda indüklenen manyetik alan ile stator manyetik alanı arasındaki itme-çekme kuvveti hareketin oluşmasını sağlar. Dönme hareketi, rotor manyetik alanının stator döner manyetik alanının peşinden sürüklenmesi ile gerçekleşir.

➤ Çalıştırılması

Üç fazlı A.C motorları çalıştırmanın (yol vermenin) en kolay şekli doğrudan yol vermedir. Motorun sargı uçları birer şalter üzerinden (Şekil 5.8'de kontaktör) direkt olarak şebekeye bağlanır. Asenkron motorlar ilk çalışma anında nominal akımlarının yaklaşık üç kat fazlasını şebekeden çeker. Doğrudan yol verme yönteminde motor ilk anda boşta çalıştırılmalıdır. Direkt yol verme, yüksek güçlü motorlarda (5 kW'ın üstünde) aşırı ısınma nedeniyle sargıların zarar görmesine neden olabilir. Bu nedenle yüksek güçlü motorlara düşük gerilimle yol verilir(Şekil 5.6).

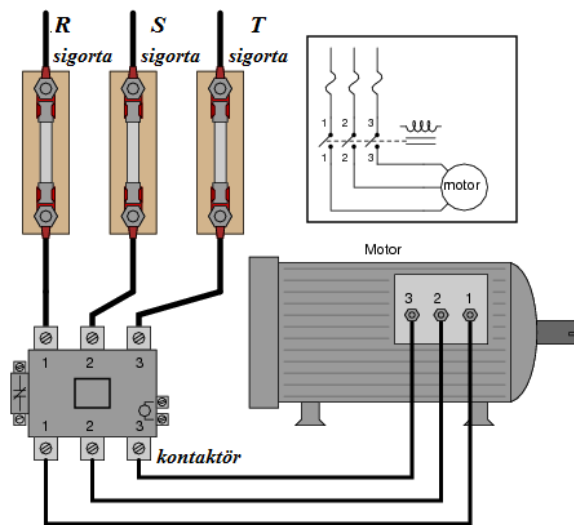


Şekil 5.6: Üç fazlı motorun yıldız devre bağlantısı



Şekil 5.7: Üç fazlı motorun üçgen devre bağlantısı

Şekil 5.8'de üç fazlı bir asenkron motora direkt yol verilmesine ilişkin bir şema görülmektedir. Devrede kontaktörden akım geçirildiğinde kontaktör kontakları konum değiştirir. Açık kontaklara bağlı üç faz, kontaklar kapanınca motor sargılarından akım dolaştırarak motorun çalışması sağlanır.

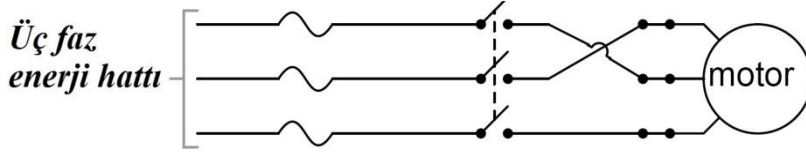


Şekil 5.8: Üç fazlı motora doğrudan yol verme

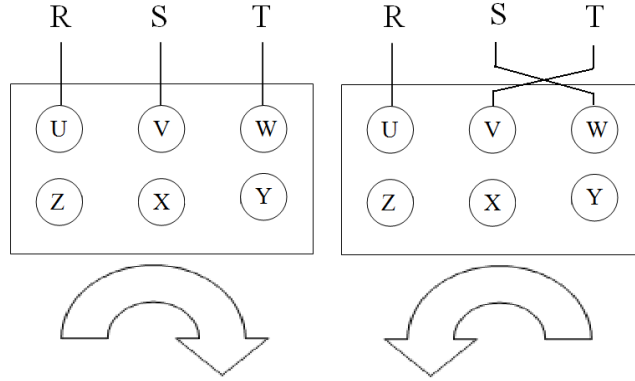
➤ **Dönüş yönünün değiştirilmesi**

Üç fazlı A.C motorlarda dönüş yönü değiştirilmek istendiğinde herhangi iki fazın bağlantı yerleri değiştirilip diğer tek fazın sabit tutulması yeterlidir (Şekil 4.9). Ayrıca üç fazlı motorlarda dönüş yönünün değiştirilmesi için motor klemens tablosu bağlantısı şekil 4.10'da gösterilmiştir.

Dönüş yönü değiştirme işlemi genellikle kontaktörlerle yapılır. Dönüş yönünü değiştirmek için bazı durumlarda özel paket şalterler de kullanılmaktadır.



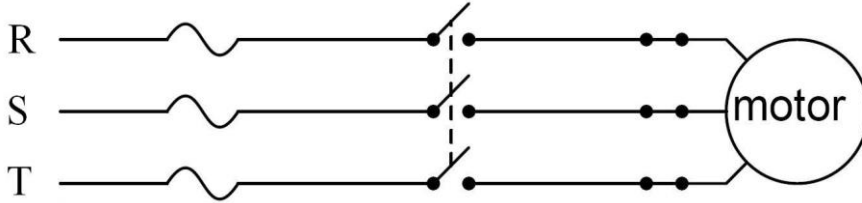
Şekil 5.9: Üç fazlı motorda dönüş yönünün değiştirilmesi



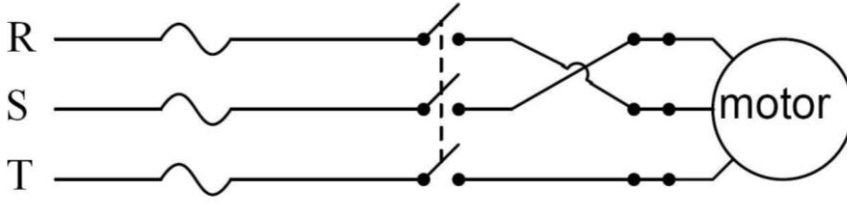
Şekil 5.10: Üç faz motor bağlantısı ve dönüş yönünün değiştirilmesi

UYGULAMA FAALİYETİ

Aşağıdaki uygulamayı yaparak AC motor seçimini yapabilecek ve çalıştırabileceksiniz.



Paket şalterle motora yol verme devresi



Paket şalterle motorun dönüş yönünü değiştirme devresi

İşlem Basamakları	Öneriler
<ul style="list-style-type: none">➤ Şekildeki devreyi kurunuz.➤ Devreye enerji veriniz.➤ Devreye enerji vererek motorun dönüş yönünü not ediniz.➤ Enerjiyi kesiniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ İş güvenliği tedbirlerini alınız.
<ul style="list-style-type: none">➤ Klemens tablosunda S ve T fazlarını yer değiştiriniz.➤ Devreye tekrar enerji veriniz.➤ Devreye enerji vererek motorun dönüş yönünü not ediniz.➤ Devrenin enerjisini kesiniz.	<ul style="list-style-type: none">➤ Üç fazlı sistemde 380V A.C gerilim olduğunu hatırlayınız. Öğretmeniniz olmadan sisteme enerji vermeyiniz.
<ul style="list-style-type: none">➤ Bir önceki bağlantıdaki dönüş ile karşılaştırınız.➤ Motorun dönüş yönünü değiştirmek için değişik bağlantı şekillerini belirleyip rapor olarak yazınız.	

KONTROL LİSTESİ

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

Değerlendirme Ölçütleri		Evet	Hayır
1.	Bir fazlı A.C motor seçimini yapabildiniz mi?		
2.	Bir fazlı A.C motoru devreye bağlayabildiniz mi?		
3.	Bir fazlı A.C motorun devir yönünü değiştirebildiniz mi?		
4.	Üç fazlı A.C motor seçebildiniz mi?		
5.	Üç fazlı AC motoru devreye bağlayabildiniz mi?		
6.	Üç fazlı AC motorun devir yönünü değiştirebildiniz 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. () Elektrik enerjisini kullanarak mekanik enerji elde eden makinelere elektrik motoru denir.
2. () Stator ve rotor birer elektromıknatis olarak çalışır ve oluşturdukları manyetik alanların birbirini itip çekmesi ile kimyasal enerjisi oluşur.
3. () Evlerde kullanılan çamaşır ve bulaşık makinelerinde çoğunlukla üç fazlı asenkron motorlar bulunur.
4. () Bir fazlı asenkron motorlarda tek stator sargısı ve sincap kafesi rotorlar kullanılır.
5. () İlk hareket verebilmek için bir fazlı motorlarda yardımcı sargı bulunur.
6. () Yardımcı sargılı asenkron motorlarda devir yönünü değiştirmek için bobinlerden birinin akım yönünü değiştirmek gerekir.
7. () Üç fazlı motorlarda üç adet stator sargısı vardır ve bu sargılar aralarında 100° farkla konumlandırılır.
8. () Üç fazlı motorlarda stator ve rotor arasında elektriksel bir bağlantı yoktur ve bu motor elemanları yüksek mıknatıslanma özelliğine sahip plakalardan üretilir.
9. () Asenkron motorlar ilk çalışma anında nominal akımlarının 15-20 kat fazlasını şebekeden çeker.
10. () Üç fazlı AC motorlarda dönüş yönü değiştirilmek istendiğinde herhangi iki fazın bağlantı yerleri değiştirilip diğer tek fazın sabit tutulması yeterlidir.

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

Aşağıdaki soruları dikkatlice okuyunuz ve doğru seçeneği işaretleyiniz.

1. Aşağıdakilerden hangisi açısal hızın sembolüdür?
 - A) α
 - B) f
 - C) ω
 - D) T
2. Aşağıdaki frekanslardan dalga boyu en küçük olanı hangisidir?
 - A) 50 Hz
 - B) 60 Hz
 - C) 6 kHz
 - D) 5 MHz
3. Alternatif akımın aşağıdaki etkilerinden hangisi **kullanılmaz**?
 - A) Isı etkisi
 - B) Işık etkisi
 - C) Manyetik etki
 - D) Kimyasal etki
4. Aşağıdakilerden hangisi büyüdüğünde bir bobinin endüktansı artar?
 - A) Bobin çapı
 - B) Nüve
 - C) Siper sayısı
 - D) Hepsi
5. Aşağıdakilerden hangisi arttıkça bir kapasitörün kapasitesi azalır?
 - A) Plakaların yüzey alanı
 - B) Dielektrik katsayısı
 - C) Plakalar arasındaki mesafe
 - D) Hiçbiri
6. 4 Ω 'luk bir direnç ve 3 Ω 'luk bir bobin 110V 50 Hz'lik bir kaynağa seri bağlanınca devrenin empedansı ne olur?
 - A) 3 Ω
 - B) 4 Ω
 - C) 5 Ω
 - D) 7 Ω

7. 4Ω 'luk bir direnç ve 3Ω 'luk bir bobin 110 V 50 Hz 'lik bir kaynağa seri bağlanınca devrenin faz açısı ne olur?
- A) 37°
B) 47°
C) 53°
D) 63°
8. 4Ω 'luk bir direnç ve 3Ω 'luk bir bobin 110 V 50 Hz 'lik bir kaynağa seri bağlanınca devrenin aktif gücü ne olur?
- A) 1936 W
B) 88 W
C) 4 W
D) 1550 W
9. 4Ω 'luk bir direnç ve 3Ω 'luk bir bobin 110 V 50 Hz 'lik bir kaynağa seri bağlanınca devrenin reaktif gücü ne olur?
- A) 3 VAR
B) 1452 VAR
C) 871 VAR
D) 66 VAR
10. 4Ω 'luk bir direnç ve 3Ω 'luk bir bobin 110 V 50 Hz 'lik bir kaynağa seri bağlanınca devrenin görünür gücü ne olur?
- A) 5 VA
B) 1778 VA
C) 2420 VA
D) 110 VA
11. Üç fazlı yıldız bağlı bir motorun hat akımı 173 A 'i göstermektedir. Motorun faz akımı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 122 A
B) 110 A
C) 100 A
D) 173 A

12. Bir asenkron motorun şebekeden çektiği aktif güç 3 kW ve reaktif güç de 4 kVAR'tir. Motorun güç katsayısı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) $\cos\phi = 0.6$
B) $\cos\phi = 0.7$
C) $\cos\phi = 0.8$
D) $\cos\phi = 0.9$
13. Bir transformatorün nüvesi, manyetik geçirgenliği kötü olan bir nüve ile değiştirilirse aşağıdakilerden hangisinde artma görülür?
- A) Çıkış gerilimi
B) Çıkış gücü
C) Dönüştürme oranı
D) Kayıplar
14. Aşağıdaki kayıp çeşitlerinden hangisi bir transformator için söz konusu **değildir**?
- A) Rüzgâr kayıpları
B) Histeresiz kaybı
C) Bakır kaybı
D) Fuko kaybı
15. Aşağıdakilerden hangisi transformatorlerde kullanılan nüve çeşitlerinden **değildir**?
- A) Yumuşak demir
B) Çekirdek tip
C) Dağıtılmış tip
D) Mantel tip
16. Primer sargısının sarım sayısı 10 ve sekonder sargısının sarım sayısı 100 olan bir transformatorde 100 V uygulanırsa sekonderinden kaç volt gerilim alınır?
- A) 10 V
B) 100 V
C) 1000 V
D) 10000 V
17. Giriş gerilimi 120 V ve çıkış gerilimi 6 V olan bir transformatorün dönüştürme oranı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) 6
B) 20
C) 40
D) 120

18. Giriş gücü 10 W ve çıkı gücü 9,5 W olan bir transformatörün verimi aşağıdakilerden hangisidir?
- A) % 5
B) % 95
C) % 100
D) Hiçbiri
19. Giriş gücü 10 W ve çıkı gücü 9,5 W olan bir transformatörün toplam kaybı kaç W'tır?
- A) 19,5 W
B) 10 W
C) 9,5 W
D) 0.5 W
20. Bir transformatörün tel direncinden kaynaklanan kaybı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) Fuko kaybı
B) Histeresiz kaybı
C) Bakır kaybı
D) Hepsi
21. Bir fazlı motorlarda yardımcı sargının kullanım amacı aşağıdakilerden hangisidir?
- A) Motor gücünü artırmak
B) Faz farkı yaratmak
C) Motor momentini artırmak
D) Hiçbiri
22. Aşağıdakilerden hangisi A.C motorların üstünlüklerinden **değildir**?
- A) Ucuz olmaları
B) Verimlerinin yüksek olması
C) Devir sayılarının kolay ayarlanması
D) Yapılarının basit ve bakıma az ihtiyaç göstermeleri
23. Aşağıdakilerden hangisi bir fazlı asenkron motorların devir yönünü değiştirme yöntemlerinden biri **değildir**?
- A) Ana sargı uçlarını ters bağlamak
B) Yardımcı sargı uçlarını ters bağlamak
C) Bütün sargı uçlarını ters bağlamak
D) Hepsi

24. 380 V'luk şebekeye yıldız bağlı bir üç fazlı bir asenkron motorun faz sargılarının gerilimleri aşağıdakilerden hangisidir?

- A) 220 V
- B) 240 V
- C) 310 V
- D) 380 V

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

25. 25. () Bir akımın sinüzoidal olabilmesi için akımın elde edildiği bobinler manyetik alan içerisinde doğrusal hareket ettirilmelidir.
26. 26. () Bir sinüs eğrisinin başlangıç noktası x ekseninin pozitif bölgesinde ise bu eğri ileri faz eğrisidir.
27. 27. () Bir bobinin nüvesi büyüdükçe bobin endüktansı artar.
28. 28. () Bir kapasitörün plakaları uzaklaştırılınca kapasitesi artar.
29. 29. () Üç fazlı dengeli yıldız bağlı devrelerde hat gerilimi faz gerilimine eşit ve hat akımı da faz akımının $\sqrt{3}$ katıdır.
30. () Bir transformatörün manyetik kaçaklarını azaltarak transformatörün verimini artırılabilir.
31. 31. () 10/100 V'lik bir transformatörün dönüştürme oranı 10'dur.
32. 32. () Bir transformatörün çıkışından, girişine göre daha düşük gerilim alabilmek için çıkış sargısının girişe göre daha az sarımlı olması gerekir.

Aşağıdaki cümlelerde boş bırakılan yerlere doğru sözcükleri yazınız.

33. Alternatif akım santrallerde ile yükseltilerek iletilir.
34. Alternatif akımın maksimum değeri, etkin değerinin katıdır.
35. Bir alternatör rotorunun birim zamandaki dönüş sayısı arttıkça frekansı
36. Frekansı 50 Hz olan bir akımın periyodu milisaniyedir.
37. Başlangıç noktası x ekseninin pozitif bölgesinde olan sinüs eğrisinefaz eğrisi denir.
38. Bir bobin içerisindeki hareket ettirilerek bobin endüktansı ayarlanabilir.

-
39. Seri R-L-C devresinde devre geriliminin ileri fazlı olması için devredeki endüktif reaktansın kapasitif reaktanstan olması gerekir.
40. Bir rezonans devresinde kalite kat sayısı ile bant genişliği arasında orantı söz konusudur.

CEVAP ANAHTARLARI

ÖĞRENME FAALİYETİ-1'İN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Yanlış
3	Yanlış
4	Doğru
5	Doğru
6	Jeneratör
7	Yatay, Düşey
8	Kübü
9	4
10	Yüksek
11	Sürtünme, Etkileşimden
12	Kanatlar
13	Sincap Kafesli
14	Senkron Jeneratörler
15	33100,8 Wh
16	113784 Wh

ÖĞRENME FAALİYETİ-2'NİN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	B
3	B
4	D
5	C
6	A
7	A
8	C
9	C
10	D

ÖĞRENME FAALİYETİ-3'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	D
2	B
3	C
4	B
5	D
6	B
7	A
8	A
9	C
10	A
11	D
12	D
13	A
14	D
15	B
16	C
17	A
18	C
19	A

ÖĞRENME FAALİYETİ-4'ÜN CEVAP ANAHTARI

1	A
2	C
3	D
4	C
5	D
6	D
7	A
8	B
9	B
10	D
11	D
12	B
13	A
14	D
15	D
16	A

ÖĞRENME FAALİYETİ-5'İN CEVAP ANAHTARI

1	Doğru
2	Yanlış
3	Yanlış
4	Doğru
5	Doğru
6	Doğru
7	Yanlış
8	Doğru
9	Yanlış
10	Doğru

MODÜL DEĞERLENDİRME'NİN CEVAP ANAHTARI

1	C
2	D
3	D
4	D
5	C
6	C
7	C
8	A
9	B
10	C
11	D
12	A
13	D
14	A
15	A
16	C
17	B
18	B
19	D
20	C
21	B
22	C
23	C
24	A
25	Yanlış
26	Yanlış
27	Doğru
28	Yanlış
29	Yanlış
30	Doğru
31	Yanlış
32	Doğru
33	Transformatör
34	$1,41(\sqrt{2})$
35	Artar
36	20
37	Geri
38	Nüve
39	Büyük
40	Ters

KAYNAKÇA

- TANRIÖVER Muğdeşem, **Rüzgâr ve Güneş Enerjili Güç Sistemleri**, Yıldız Teknik Üniversitesi 2011, İstanbul.
- DURSUN Erkan, Ahmet Korhan BİNARK, **Rüzgâr Türbünlerinde Kullanılan Jeneratörler**, VII. Ulusal Temiz Enerji Sempozyumu, UTES 2008 17-19 Aralık 2008, İstanbul.
- ATLAM Özcan, **Rüzgâr Aerojeneratörleri**, Kocaeli Üniversitesi, 2010.
- AKAR Feyzi, Mustafa YAĞIMLI, **Alternatif Akım Devreleri ve Problem Çözümleri**, Beta Basım Yayım Dağıtım AŞ, İstanbul, 2008.
- ARİFOĞLU Uğur, **Elektrik-Elektronik Mühendisliğinin Temelleri Alternatif Akım Devreleri Cilt: 2**, Alfa Basım Yayım Dağıtım, İstanbul, 2007.
- CEYLAN Murat, **Alternatif Akım Devre Analizi**, Seçkin Yayıncılık, Ankara, 2010.
- IRWIN J. David, **Basic Engineering Circuit Analysis 8th Edition**, John Wiley & Sons Inc., West Sussex, UK, 2001.
- ALTINSAÇLI Adem, **Elektrik Makineleri**, Halim Yayınları, Kahramanmaraş, 1998.
- ŞAÇKAN Ahmet Hamdi, **Doğru ve Alternatif Akım Devreleri**, Birsen Yayınevi, İstanbul, 2000.
- GÜVEN M. Emin, MARTI İ. Baha, **Eletroteknik Cilt II**, MEB Yayınları, İstanbul, 1984.
- GÜVEN M. Emin, COŞKUN İ., **Elektroteknik ve Laboratuvarı II**, MEB Yayınları, Ankara, 2003.
- KARA Sadık, **Elektrik Eleketronik Rehberi**, Ufuk Kitap Kırtasiye Yayıncılık, Kayseri, 2004.
- BAYRAK Mehmet, **Temel Elektrik ve Mağnetizma**, Atlas Yayın Dağıtım, İstanbul, 2002.
- GÜVEN M. Emin, İ. Baha MARTI, İsmail COŞKUN, **Elektroteknik Cilt-1**, MEB Yayınları, İstanbul, 1997.
- PEŞİNT M. Adnan, **Senkron Makineler**, Yüksek Teknik Öğretmen Matbaası, Ankara, 1975.

- BADUR Özdemir, **Elektrik Kumanda Devreleri**, Millî Eğitim Gençlik ve Spor Bakanlığı Yayınları, Ankara, 1978.
- RICHARDS, SEARS, WEHR, ZEMANSKY, **Modern Üniversite Fiziği**, Çağlayan Basımevi, İstanbul, 1982.
- OĞUZ Necati, Muhittin GÖKKAYA, **Elektrik Makineleri I**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 1991.
- PEŞİNT M. Adnan, Abdullah ÜRKMEZ, **Elektrik Makineleri II Transformatörler**, Millî Eğitim Basımevi, İstanbul, 1992.