

İçindekiler

Önsöz	iv
1. Elektrik Enerji Sistemlerinde Akım, Gerilim ve Güç.....	2
2. Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Şebekeleri.....	34
3. Transformatör Merkezleri ve Donanımları.....	58
4. Havai Hat İletkenleri ve Yer Altı Kabloları.....	86
5. Direkler ve İzolatörler.....	118
6. Elektrik Enerjisinin Dağıtımı ve Trafo Seçimi.....	148
7. Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımında Koruma Sistemleri.....	172
Sözlük.....	197

1

Amaçlarımız

Bu üniteyi tamamladıktan sonra;

-  Alternatif akımın temel ilkelerini tanımlayabilecek,
-  Sinüsel alternatif akımın dalga biçimini matematiksel olarak ifade edebilecek,
-  AC akım ve gerilimin ortalama ve etkin değerlerini hesaplayabilecek,
-  Direnç, indüktör ve kondansatörde ac akım ile gerilim arasındaki faz ilişkisini fazör diyagramları ile açıklayabilecek,
-  AC devrelerinde güç kavramını açıklayabilecek

bilgi ve becerilere sahip olabilirsiniz.

Anahtar Kavramlar

- | | |
|--|--|
|  Alternatif Akım |  Reaktans |
|  Sinüsel Dalga Biçimi |  Empedans |
|  Faz Farkı |  Güç |
|  Fazör Diyagramı | |

İçindekiler

- ❖ Giriş
- ❖ Akım ve Gerilim
- ❖ Alternatif Akımda Temel Devre Elemanları ve Fazörler
- ❖ Alternatif Akımda Güç

Elektrik Enerji Sistemlerinde Akım, Gerilim ve Güç

GİRİŞ

Evimizde basit oyuncakları çalıştırmak için kullandığımız piller, bisikletimizin aydınlatmasını için kullandığımız ve hareketini bisikletin tekerleğinden alan dinamo, arabalarda ve evimizdeki bilgisayarların yedek güç kaynağı olarak kullanılan akümülatör gibi doğru akım kaynaklarının ürettiği akım ve gerilim değerleri zaman içerisinde periyodik olarak değişmez. Öte yandan evimizde kullandığımız televizyon, çamaşır ve bulaşık makinesi, aydınlatmada kullandığımız lambalar alternatif akımla çalışır. Diğer bir deyişle evinizdeki prizlerden elde ettiğiniz akım, alternatif akımdır. Doğru akımın tersine alternatif akımda akım ve gerilim değerleri zamanla periyodik olarak ve daha çok sinüsel dalga biçiminde değişmektedir. Alternatif akımı ifade etmek için dalga biçimi, anlık ve etkin değer, genlik, dönü, periyot ve frekans gibi temel kavramlar kullanılmaktadır.

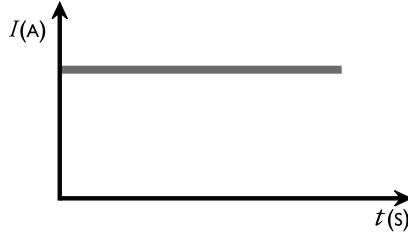
Alternatif akım devrelerinde direnç, kondansatör ve indüktör temel devre elemanlarıdır. Bu elemanlar kullanılarak kullanım amacına göre dirençli (omik devre), bobinli (indüktif devre) ve kondansatörlü (kapasitif devre) devreler oluşturulabilir. Temel devre elemanları devrelerde tek olarak kullanılabilir gibi hepsinin bir arada kullanıldığı devreler de mevcuttur.

Devre elemanları doğru akımda olduğu gibi alternatif akımda da seri, paralel ve karışık bağlanabilirler. Devreden geçen akım, uygulanan gerilime ve devre elemanının direncine bağlı olarak değişir. Temel devre elemanları akıma karşı sırasıyla omik, indüktif ve kapasitif olmak üzere üç farklı direnç gösterirler. Alternatif akımda devreye uygulanan gerilim ve devreden geçen akım zamana bağlı olarak değişir. Dolayısıyla akım ve gerilimin çarpımı olan güç de zamana bağlı olarak değişecektir.

Bu ünite elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımında üstünlükleri nedeniyle kullanılan alternatif akıma ilişkin temel kavramlar, alternatif akım devrelerinin temel özellikleri, sinüsel bir gerilimle beslenen direnç, indüktör ve kondansatör içeren basit seri devrelerin davranışları incelenecektir. Akım ve gerilim arasındaki faz ilişkisini ifade etmek için fazör diyagramı olarak adlandırılan grafiksel yapılar kullanılır. Bu yapılarda akım ve gerilim gibi nicelikler fazör denilen dönen vektörlerle temsil edilir. Bu ünite alternatif akım devrelerinin davranışları incelenirken fazör diyagramlarından yararlanılacaktır.

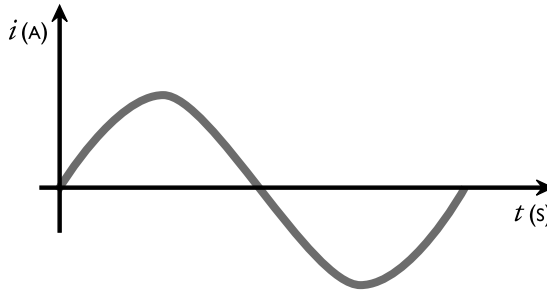
AKIM VE GERİLİM

Elektrik akımı bir metal içindeki serbest elektronların bir sürüklenme hareketidir. Serbest elektronların maddenin atom yapısı içinde kendi başlarına hareketi çok yavaştır. Hızları uygulanan gerilime, tel kesitine ve telin yapıldığı malzemeye göre değişir. Bu hızlar saniyede birkaç milimetreden fazla değildir. İletken telin kesiti ve elektron hızı zamanla değişmezse serbest elektronlar hep aynı yöne doğru hareket ederek elektrik akımını oluştururlar. Yönü ve şiddeti zamanla değişmeyen akıma *doğru akım* (dc) denir. Bir pil, dinamo veya akümülatörün verdiği akım doğru akımdır. Şekil 1.1’de doğru akımın zamana göre değişimi verilmiştir. Şekilden görüldüğü gibi doğru akımın büyüklüğü her zaman belli bir değerde sabit kalmaktadır. Ayrıca zamana göre akımın yönü de değişmemektedir.



Şekil 1.1: Doğru akımın zamanla değişimi.

Elektrik santrallerinde üretilen akım alternatif akımdır. Yönü ve şiddeti zamanla periyodik olarak değişen akım *alternatif akım* (ac) olarak tanımlanır. Şekil 1.2’de alternatif akımın zamana göre değişimi gösterilmiştir. Doğru akımla (dc) beslenen bir devrede akımın yönü ve büyüklüğü zaman içinde sabit kalırken, alternatif akımla beslenen bir devrede hem akımın yönü hem de büyüklüğü periyodik olarak değişir.



Şekil 1.2: Alternatif akımın zamanla değişimi.

Alternatif akımda, akım ve gerilim (voltaaj) zamanla daha çok sinüsel biçimde değişir. Elektrik devrelerinde akımın üçgen, kare, dikdörtgen, testere ve trapezoidal gibi dalga biçimleri de alternatif akıma örnek olarak gösterilebilir.

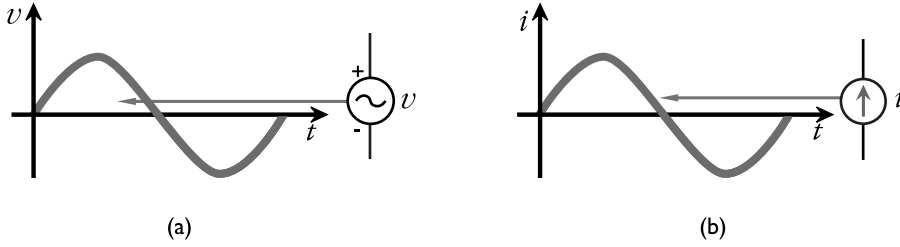


Gerilim kavramını hatırlamanız için “Teknolojinin Bilimsel İlkeleri 2” kitabınıza bakabilirsiniz.

Elektrik devrelerinde iki nokta arasında gerilim farkı oluşturan ve yüklerin sürekli olarak hareketlerini sağlayan pil, akümülatör ve elektrik santrali gibi düzeneklere *elektrik akımı üreteçleri* adı verilir. Bu düzenekler aynı zamanda elektromotorkuvvet (emk) kaynağı olarak da bilinir. Bir üretcin biri pozitif diğeri negatif olmak üzere iki kutbu vardır. Bu iki kutup arasında elektron hareketinin gerçekleşebilmesi yani elektrik akımının iletilmesi için devrenin tamamlanması gerekir.

Elektrik devrelerinde doğru akım (dc) $\text{---}\ominus\text{---}$ sembolü ile alternatif akım (ac) $\text{---}\oplus\text{---}$ ise sembolü ile temsil edilir. Alternatif akım üretici için de $\text{---}\oplus\text{---}$ sembolü kullanılır. Bir sinüsel ac gerilim

üretisinde, üretcin kutuplarının işareti diğer bir deyişle polaritesi periyodik aralıklarla sürekli olarak değişir. Bu durumda devredeki akımın yönü de periyodik olarak değişecektir. Şekil 1.3(a)'da bir sinüsel ac gerilim üretcinde gerilimin işaretinin zaman içindeki değişimi gösterilmiştir. Şekil 1.3(b)'de ise bir sinüsel ac akım üretcinde dalga biçiminin pozitif kısmı için akımın yönü işaretlenmiştir. Negatif kısmı için tersi yön alınacaktır.



Şekil 1.3: a) Sinüsel ac gerilim üretci, (b) Sinüsel ac akım üretci.

Bir sinüsel ac gerilim üretcinde;

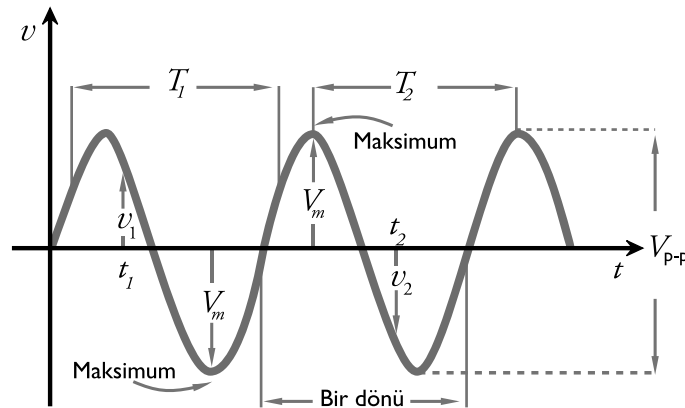
- Dalga biçiminin pozitif kısmında üretcin üst ucu pozitif (+), alt ucu negatif (-)
- Dalga biçiminin negatif kısmında ise üretcin üst ucu negatif (-), alt ucu pozitif (+)

işarete sahip olduğu kabul edilir. Şekil 1.3'teki gibi bir sinüsel gerilimle beslenen devre elemanlarının davranışlarını incelemeyi önce alternatif akımla ilgili bazı temel kavramları öğrenelim.

Alternatif Akımda Temel Kavramlar

Sinüsel dalga biçiminde birkaç temel kavramı tanımlamak için Şekil 1.4'te gösterilen model kullanılabilir. Burada vurgulanacak kavramlar herhangi bir alternatif akım dalga biçimi için de geçerlidir. Bu tanımlamaları yaparken şekildeki düşey eksenin volt (V) veya amper (A) biriminde, yatay eksenin ise daima saniye (s) biriminde olduğu unutulmamalıdır.

Dalga biçimi: Zaman, konum, derece, radyan gibi bazı değişkenlerin fonksiyonu olarak çizilen herhangi bir niceliğin izlediği yoldur. Şekil 1.4'te gerilimin zaman içinde nasıl değiştiği görülmektedir.



Şekil 1.4: Sinüzoidal gerilimin zamanla değişimi.

Anlık değer: Herhangi bir anda bir dalga biçiminin şiddetidir. Küçük harflerle gösterilir. Örneğin akım için i , gerilim için v harfleri kullanılır.

Genlik veya tepe (pik) değeri: Bir dalga biçiminin maksimum değeridir. Büyük harflerle gösterilir. Örneğin bir devre elemanı üzerindeki gerilim V_m ile temsil edilir.

Tepeden tepeye (pik-pik) değeri: Pozitif ve negatif tepe değeri değerlerinin şiddetleri toplamıdır. Dalga biçiminin pozitif ve negatif pik değeri arasındaki gerilim $V_{p,p}$ ile gösterilir.

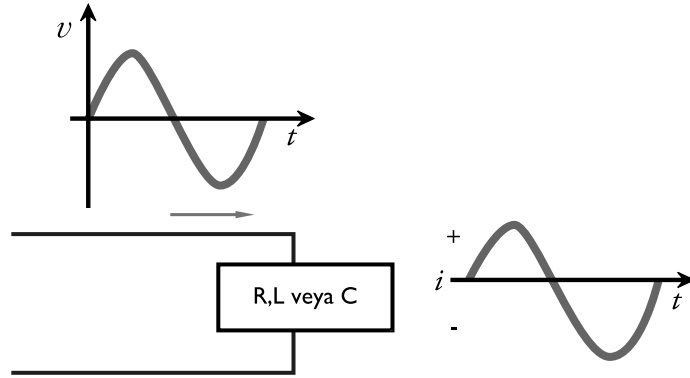
Periyodik dalga biçimi: Belli bir zaman aralığından sonra kendisini sürekli tekrarlayan bir dalga biçimidir.

Periyot: Bir dalga biçiminin ardışık tekrarları arasındaki zaman aralığıdır. Periyot genellikle T harfi ile gösterilir. Periyot SI ölçüm sisteminde saniye (s) ile ölçülür.

Dönü: Dalga biçiminin bir periyotluk zamana karşı gelen bölümüdür.

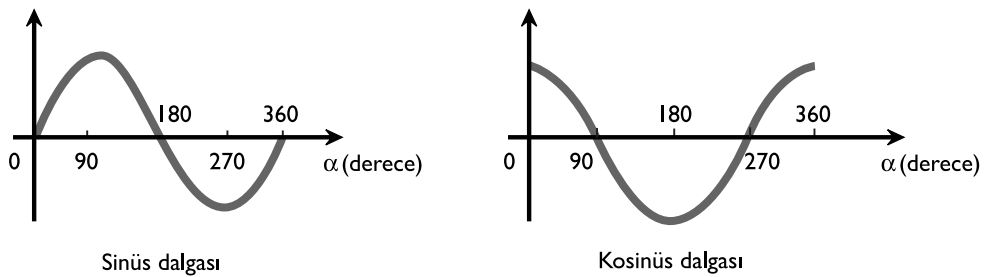
Frekans: Birim zamanda meydana gelen dönlülerin sayısıdır. Frekans f harfi ile gösterilir. Birim zaman saniye olarak seçilirse, frekansın SI ölçüm sisteminde birimi $1/s$, (s^{-1}) veya hertz (Hz)'dir. Örneğin 220 V 'luk şehir şebekesi sinyalinin frekansı 50 Hz 'tir. Harita 1.1'de çeşitli ülkelerde kullanılan gerilim ve frekans değeri gösterilmiştir. Frekans ile periyot arasında $f = 1/T$ ilişkisi bulunmaktadır.

Sinüs dalgası: Buraya kadar tanımlanan terimler periyodik dalga biçiminin herhangi bir tipine uygulanabilir. Sinüsel dalga biçimi elektrik devreleriyle ilgili matematik ve fiziksel olayları ifade etmede kolaylık sağlamaktadır. Sinüs dalgası, Şekil 1.5'te görüldüğü gibi direnç, indüktör ve kondansatör gibi devre elemanlarının tepkilerinden etkilenmeyen şekle sahip tek dalga biçimidir.



Şekil 1.5: a) Direnç (R), indüktör (L) veya kondansatör (C) üzerindeki sinüsel gerilim ve oluşan akımın biçimi

Eğer devredeki bir direnç, bir indüktör veya bir kondansatör üzerindeki gerilim sinüsel olarak değişiyorsa bu durumda anılan devre elemanları üzerinde oluşan akım da sinüsel karakteristiğe sahip olur. Eğer devre elemanlarına kare veya üçgen biçimli dalga uygulanırsa elde edilecek sonuçlar daha farklı olacaktır. Elektrik devrelerine sinüs dalgasına göre yatay ekseninde 90° 'lik kaymaya sahip kosinüs dalgası da uygulanabilir. Şekil 1.6'da sinüs ve kosinüs dalga biçimleri karşılaştırılmıştır. Dalga biçimleri gösterilirken yatay eksenlerinde birim olarak derece ($^\circ$) veya daha sıklıkla radyan (rad) kullanılır.

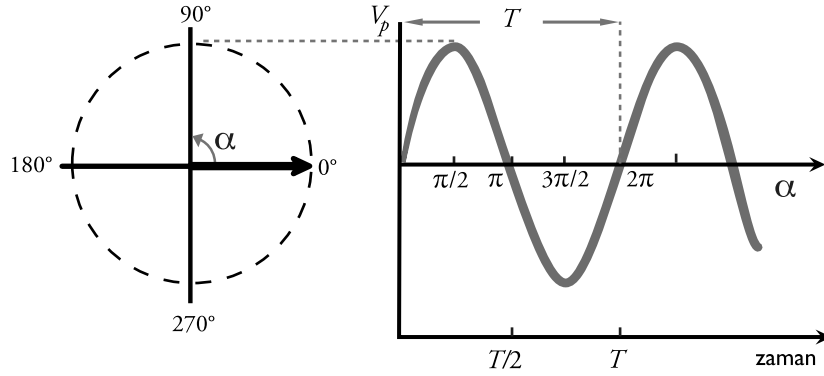


Şekil 1.6: Sinüs ve kosinüs dalga biçimleri.



Bir sinüs dalgasının tam bir dönüşü 360°'de veya 2π radyanda tamamlanır. O hâlde, $360^\circ = 2\pi$ rad veya $1 \text{ rad} = 57,3^\circ$ 'dir.

Dönen bir vektörden geliştirilen bir sinüs dalgasının fiziksel temsili Şekil 1.7'de görülmektedir. Bu temsil, aynı zamanda akım veya gerilim için de kullanılabilir.



Şekil 1.7: Dönen vektörün oluşturduğu sinüsel dalga biçimi.

Açısal hız: Merkezi etrafında dönen yarıçap vektörünün hızı açısal hız veya açısal frekans olarak adlandırılır. ω simgesi ile gösterilen açısal hız,

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} \quad (1.1)$$

eşitliği ile tanımlanır. Yani açısal frekans, birim zamandaki radyan sayısıdır ve SI ölçüm sistemindeki birimi rad/s veya s^{-1} dir.

Örnek:

50 Hz ' lik alternatif akımın açısal frekansı kaç rad/s 'dir?

Çözüm:

Açısal frekansın tanımından,

$$\omega = 2\pi f = 2(3,14)(50\text{Hz}) = 314\text{rad/s}$$

bulunur.

Sinüsel Akım ve Gerilim İçin Genel İfadeler

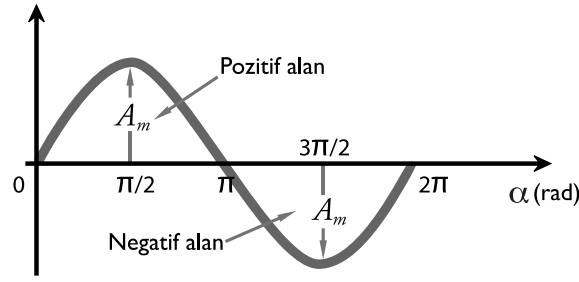
Şekil 1.8'deki gibi sinüsel bir dalga biçiminin temel matematiksel ifadesi,

$$A_m \sin \alpha \quad (1.2)$$

ile verilir. Burada A_m dalga biçiminin pik değeridir. α ise yatay eksen için ölçü birimidir. Şekil 1.7'de gösterilen dönen vektörün α açısı, dönen vektörün ω açısal hızı ve t dönüş zamanı ile tanımlanır ve

$$\alpha = \omega t \quad (1.3)$$

şeklinde ifade edilir.



Şekil 1.8: Sinüsel dalga biçimi.

Eşitlik 1.2’de a niceliği yerine yazılırsa sinüsel dalga biçimi için matematiksel ifade

$$A_m \sin \omega t \quad (1.4)$$

biçimine dönüşür. Zamanın fonksiyonu olarak sinüsel biçimde değişen akım ve gerilim gibi elektriksel nicelikler için genel ifade,

$$i = I_m \sin \alpha = I_m \sin \omega t \quad (1.5)$$

ve

$$v = V_m \sin \alpha = V_m \sin \omega t \quad (1.6)$$

eşitlikleri ile verilir. Burada m indisli büyük harfler genliği, küçük harfler i ve v ise herhangi bir anda sırasıyla akım ve gerilimin anlık değerlerini temsil eder.



Eşitlik (1.5) ve (1.6)’da i ve v harfleri sinüsel dalganın herhangi bir andaki akım ve gerilim değerlerini; I_m ve V_m ’nin ise tepe (maksimum) akım ve gerilim değerlerini ifade ettiğine dikkat ediniz.

Örnek:

Frekansı 50 Hz olan bir alternatif gerilimin maksimum değeri 220 V ise bu gerilimin matematiksel ifadesi nasıl olmalıdır?

Çözüm:

Gerilim için (1.1) ve (1.6) ifadeleri kullanılarak,

$$v = V_m \sin \omega t = 220 \sin[(2)(3,14)(50)t] = 220 \sin 314 t$$

eşitliği yazılabilir.



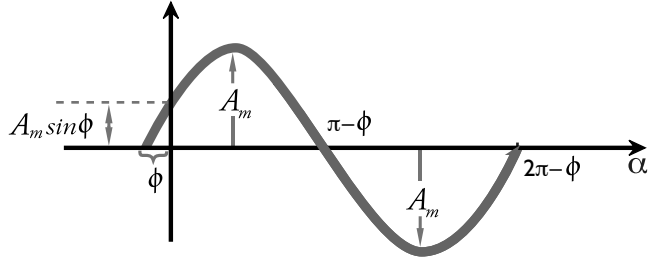
Frekansı 50 Hz olan bir alternatif gerilimin maksimum değeri 180 V’tur. Alternatif gerilimin 5 ms’deki değeri kaç V’tur?

Faz İlişkileri

Faz ilişkisini açıklamak için Şekil 1.8’deki gibi $\pi/2$ ve $3\pi/2$ ’de maksimum ve 0, π ve 2π ’de minimum değerlerini alan sinüs dalgası dikkate alınır. Eğer dalga biçimi 0° nin sağına veya soluna kayarsa dalga biçimi

$$A_m \sin(\omega t \pm \phi) \quad (1.7)$$

matematiksel ifadesi ile verilir. Burada ϕ kayan sinüsel dalga biçiminin kayma açısı olup derece veya radyan birimi ile tanımlanır.



Şekil 1.9: Yatay ekseni 0° 'den önce pozitif eğimle geçen dalga biçimi.

Eğer dalga biçimi, Şekil 1.9’da görüldüğü gibi yatay eksen 0° ’den önce pozitif artan bir eğimle geçiyorsa,

$$A_m \sin(\omega t + \phi) \quad (1.8)$$

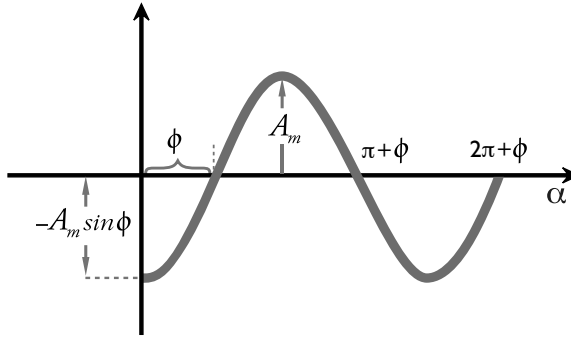
şeklinde ifade edilir. $a = \omega t = 0^\circ$ de dalga biçiminin büyüklüğü $A_m \sin \phi$ ile belirlenir. Eğer dalga biçimi, Şekil 1.10'da görüldüğü gibi yatay eksen 0° den sonra pozitif artan bir eğimle geçerse,

$$A_m \sin(\omega t - \phi) \quad (1.9)$$

biçiminde olacaktır. Matematiksel olarak $\sin(-\phi) = -\sin\phi$ eşitliğinden yararlanılarak $\alpha = \omega t = 0^\circ$ 'de dalga biçiminin büyüklüğü

$$A_m \sin(-\phi) = -A_m \sin \phi$$

ile belirlenir.

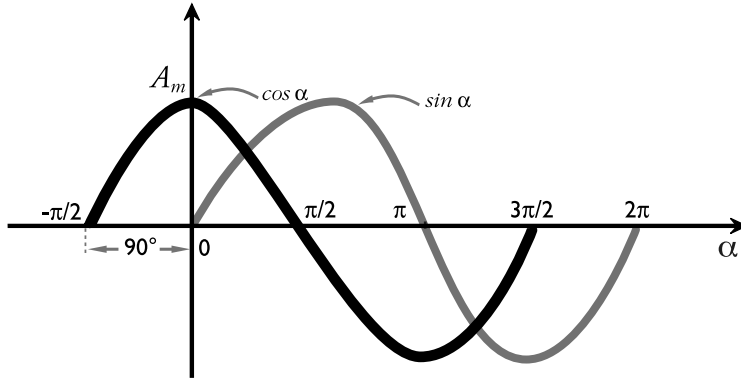


Şekil 1.10: Yatay ekseni 0° 'den sonra pozitif eğimle geçen dalga biçimi.

Eğer dalga biçimi, Şekil 1.11’de görüldüğü gibi 90° ’lik veya diğer bir ifadeyle $\pi/2$ rad’lık açı ve pozitif artan bir eğimle yatay eksenini geçiyorsa dalga biçimi *kosinüs dalgası* olarak adlandırılır ve dalga biçimi

$$A_m \sin(\omega t + 90^\circ) = A_m \cos \omega t \quad (1.10)$$

ile verilir.



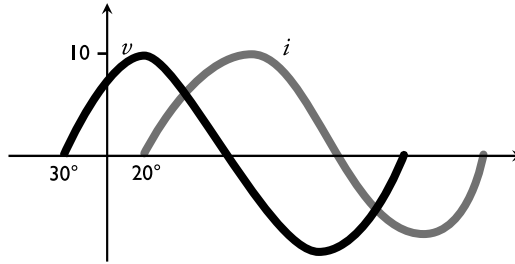
Şekil 1.11: Kosinüs dalga biçimi.

Aynı eksen takımında ve aynı frekansta iki sinüsel dalga biçimi arasındaki farkı göstermek için önde ve geride terimleri kullanılır. Şekil 1.11’de, kosinüs eğrisi sinüs eğrisinin 90° önündedir. Diğer bir ifadeyle sinüs eğrisi kosinüs eğrisinin 90° gerisindedir. Burada 90° iki dalga biçimi arasındaki faz açısıdır. İki dalga biçimi arasındaki faz açısı yatay eksenle aynı eğimle geçen iki nokta arasından ölçülür. Eğer her iki dalga biçimi aynı eğimle aynı noktada eksen kesiyorlarsa dalga biçimleri aynı fazdadır. İki dalga biçimi arasındaki faz ilişkisi, hangisinin kaç derece veya radyan olarak önde veya geride olduğunu gösterir. Pozitif bir faz kayması, dalga biçimi grafiğinin sol tarafa doğru kayması anlamına gelir. Genelde, $v_1 = V_{m1} \sin(\omega t + \phi)$ dalga biçimi $v_2 = V_{m2} \sin(\omega t + \beta)$ dalga biçiminden $(\phi - \beta)$ faz açısı kadar öndedir veya v_2 dalga biçimi v_1 dalga biçiminden $(\phi - \beta)$ faz açısı kadar geridedir.

Örnek:

Zaman içindeki değişimleri Şekil 1.12’de gösterilen akım ve gerilimin maksimum değerleri amper (A) ve volt (V) cinsinden tanımlandığına göre,

- Akım ve gerilim ifadeleri nasıl olmalıdır?
- Akım ve gerilim arasındaki faz farkı kaç derecedir?



Şekil 1.12: Akım ve gerilimin değişimi

Çözüm:

- Şekil 1.12’deki sinüs fonksiyonlarının tepe noktalarından yararlanılarak akımın maksimum değeri $A_m = 10 \text{ A}$, gerilimin maksimum değeri ise $V_m = 10 \text{ V}$ bulunur. i akımı orijine göre 20° geride olduğu için matematiksel ifadesi,

$$i = 10 \sin(\omega t - 20^\circ) \text{ A}$$

olmalıdır. Gerilim (v) ise orijine göre 30° öndedir. Benzer şekilde matematiksel olarak

$$v = 10 \sin(\omega t + 30^\circ) \text{ V}$$

biçiminde ifade edilir.

- b. i akımı orijine göre 20° geride, v gerilimi orijine göre 30° önde olduğuna göre akım gerilimden $30^\circ - (-20^\circ) = 50^\circ$ geride, diğer bir ifadeyle gerilim akımın 50° önündedir.



$i = 15 \sin(314t - 30^\circ)$ ile verilen ac akımın dalga biçimi nasıl olmalıdır? Frekansı kaç Hz 'dir?

Ortalama Değer

Herhangi bir akım veya gerilimin ortalama değeri, G ile temsil edilir ve

$$G = \frac{\text{Dalga biçiminin cebirsel toplam alanı}}{\text{Yatay ekseninde eğrinin uzunluğu}} \quad (1.11)$$

bağıntısı ile verilir. Periyodik fonksiyonların ortalama değerleri normal olarak bir periyot üzerinden hesaplanır. Şekil 1.8'de görülen sinüs fonksiyonunda yatay eksenin üzerindeki alanlar pozitif, aşağısındaki alanlar negatif işaretli olacaktır. Pozitif ortalama değer eksenin üzerinde, negatif değer eksenin aşağısında olacaktır. Herhangi bir akımın veya gerilimin ortalama değeri bir dc ölçüm aletinden okunan değerdir.

Bir periyotluk sinüs eğrisinin pozitif ve negatif alanları birbirine eşit olduğu için bir periyodun ortalama değeri sıfır olur. Fakat yarım periyodun ortalaması sıfır değildir. Sinüs dalgası veya bilinen bir şekle sahip olmayan dalga durumunda ortalama değeri bulmak için toplam alanın bulunmasında integral kullanılır. Pozitif sinüs dalgasının alanı

$$\text{Alan} = \int_0^{\pi} A_m \sin \alpha \, d\alpha$$

integrali kullanılarak bulunur. Sinüs dalgasının pozitif (veya negatif) bölgesinin alanı $2A_m$ 'dir. O hâlde ortalama değer

$$G = \frac{2A_m}{\pi} = 0,637 A_m \quad (1.12)$$

olarak hesaplanır. Ortalama değer maksimum değerın 0,637 katına eşittir.



İntegral için matematik kitaplarına bakınız. Sinüs dalgasının pozitif bölgesinin alan hesabı için *Introductory Circuit Analysis* (Boylestad, R. L. (1990) New York: Macmillan Publishing Company) isimli kaynak kitaba bakabilirsiniz.

Örnek:

10 A ve 100 V maksimum değeri olan alternatif akım ve gerilimin ortalama değerleri nedir?

Çözüm:

Eşitlik 1.12'de verilen ortalama değer ifadesinden yararlanarak akımın ortalama değeri,

$$G_I = 0,637 I_m = (0,637)(10 \text{ A}) = 6,37 \text{ A}$$

gerilimin ortalama değeri ise

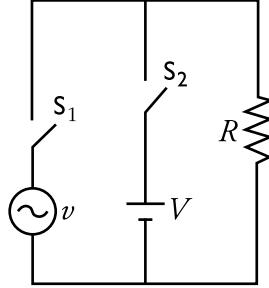
$$G_V = 0,637 V_m = (0,637)(100 \text{ V}) = 63,7 \text{ V}$$

bulunur.



Etkin Değer

AC ve dc gerilim ve akımları arasındaki ilişki Şekil 1.13'te görülen deney düzeneği yardımıyla çıkarılabilir. Eğer 2 numaralı anahtar kapatılırsa bir dc akım direnç üzerinden geçecektir. Eğer 1 numaralı anahtar kapatılır ve 2 numaralı anahtar açılırsa, dirençten geçen ac akımı $I_m \sin \omega t$ değerine sahip olacaktır.



Şekil 1.13: AC ve dc gerilim üreteçlerine ve R direncine sahip deney düzeneği.

Herhangi bir anda ac üreteç tarafından sağlanan elektrik enerjisinin bir dirençte ısıya dönüşme hızı (P_{ac} gücü),

$$P_{ac} = i^2 R = (I_m \sin \omega t)^2 R \quad (1.13)$$

ile verilmektedir. Burada i dirençten geçen anlık akımdır. Trigonometrik eşitliklerden yararlanarak bu ifade,

$$P_{ac} = \frac{I_m^2 R}{2} - \frac{I_m^2 R}{2} \cos 2\omega t \quad (1.14)$$

biçiminde de yazılabilir.

DİKKAT



Matematiksel olarak $\sin^2 \omega t = \frac{1}{2}(1 - \cos 2\omega t)$ eşitliği yazılabilir.

Alternatif akımda, akım şiddeti pozitif ve negatif yönlerde maksimum değerler arasında değişmekle beraber akım bir dirençten geçtiğinde ısı meydana getirir. AC üreteç tarafından sağlanan ortalama güç, kosinüs dalgasının ortalama değerinin sıfır olmasından dolayı (1.14) eşitliğinin sağ tarafındaki ilk terime eşittir. I_m maksimum değerine sahip bir alternatif akım tarafından oluşturulan ısı etkisi aynı değerli bir doğru akımın (dc) ısı etkisi ile aynı değildir. Bunun sebebi, Şekil 1.3' ten de görüleceği gibi alternatif akımın bir periyotluk zaman içinde yalnızca çok kısa bir sürede bu maksimum değerde bulunmasıdır.

Bir ac devresinde önemli olan *rms* (kareler ortalamasının karekökü) veya *etkin akım* olarak adlandırılan akımın bir ortalama değeridir. Bir *alternatif akımın etkin değeri*; aynı dirençte, aynı zamanda ve eşit miktarda ısı açığa çıkaran doğru akımın değerine eşittir. O halde etkin değer,

$$P_{ort(ac)} = P_{dc}$$

$$\frac{I_m^2 R}{2} = I_{dc}^2 R \quad (1.15)$$

ve

$$I_{ek} = I_{dc} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m \quad (1.16)$$

eşitliği ile verilir. Bu bağıntı maksimum değeri 1 A olan bir alternatif akımın bir dirençte oluşturacağı ısı etkisinin $(0,707)(1 \text{ A}) = 0,707 \text{ A}$ lik bir doğru akımın ısı etkisi ile aynı olduğunu söylemektedir. Bu nedenle alternatif akımın geçtiği bir dirençte harcanan güç,

$$P_{ort(ac)} = I_{ek}^2 R \quad (1.17)$$

ile verilir. Benzer şekilde *alternatif gerilimin etkin değeri* için akımla ilgili eşitliğin her iki tarafını R ile çarparsak

$$V_{ek} = 0,707 V_m \quad (1.18)$$

bağıntısı bulunur. AC ampermetre ve voltmetrelerle ölçülen değerler alternatif akımın etkin değerleridir.

Örnek:

10 A ve 100 V maksimum değeri olan alternatif akım ve gerilimin etkin değerleri nedir?

Çözüm:

Akımın etkin değeri (1.16) eşitliğinden,

$$I_{ek} = 0,707 I_m = 0,707 (10 \text{ A}) = 7,07 \text{ A}$$

bulunur.

Benzer şekilde gerilimin etkin değeri (1.18) bağıntısı kullanılarak

$$V_{ek} = 0,707 V_m = 0,707 (100 \text{ V}) = 70,7 \text{ V}$$

elde edilir.



Etkin değer kavramı için “Introductory Circuit Analysis” (Boylestad, R. L. (1990) New York: Macmillan Publishing Company) isimli kaynak kitaptan yararlanabilirsiniz.

ALTERNATİF AKIMDA TEMEL DEVRE ELEMANLARI VE FAZÖRLER

Elektrik ve elektronik cihazları oluşturan direnç, kondansatör, indüktör, transformatör, diyot gibi elemanlara temel devre elemanları denir. Devre elemanları aktif ve pasif devre elemanları olmak üzere ikiye ayrılırlar. Çalışabilmeleri ve beklenen özelliklerini yerine getirebilmeleri için enerjiye ihtiyaç duyan devre elemanları *aktif devre elemanları* olarak adlandırılır. Diyotlar, transistörler, tristörler ve entegre devreler aktif devre elemanlarıdır. Aktif devre elemanlarının yüksek akım geçirme ve yüksek akımların kontrol edilmesi gibi görevleri vardır. Aktif devre elemanları, diyotlarda olduğu gibi, tek başlarına kullanılsalar bile verimli bir devre için pasif devre elemanlarına ihtiyaç duyarlar.

Enerji kaynağı ya da etkin elektromotor kuvvetleri olmayan, gerilim uygulandığında üzerlerinden geçen akımın sonucu olarak enerji harcayan ya da depolayan devre elemanları *pasif devre elemanları* olarak adlandırılır. Direnç, indüktör ve kondansatörler pasif devre elemanlarıdır. Bu elemanlar kaynaktan enerji alıp bu enerjiyi başka bir biçime dönüştürebilir. Aynı zamanda enerjiyi elektrik veya manyetik alanda depolayabilir. Dirençler akım sınırlaması yaparken ısı ve ışık şeklinde enerji harcar. Kondansatörler elektrik enerjisini elektrik yükü şeklinde, indüktörler ise manyetik alan olarak depolar. Pasif elemanlar alternatif akım devrelerinde akımın geçişine karşı üç çeşit direnç gösterir. Bunlar sırasıyla *omik direnç*, *kapasitif* ve *indüktif reaktans* olarak adlandırılır. Anılan elemanlar devrelerde tek olarak

kullanılabildiği gibi hepsinin bir arada kullanıldığı devreler de mevcuttur. Bu bölümde pasif devre elemanlarının alternatif akımdaki davranışları incelenecektir.

Dirençli AC Devresi

Sadece R direnci içeren Şekil 1.14'teki gibi bir devreye alternatif gerilim uygulanırsa, herhangi bir t anında direncin iki ucu arasındaki alternatif gerilim,

$$v = v_R = V_m \sin \omega t \quad (1.19)$$

ile verilir. Burada v_R , dirençteki anlık gerilim düşmesidir. Dirençten geçen anlık akım,

$$i_R = \frac{V_R}{R} = \frac{V_m}{R} \sin \omega t = I_m \sin \omega t \quad (1.20)$$

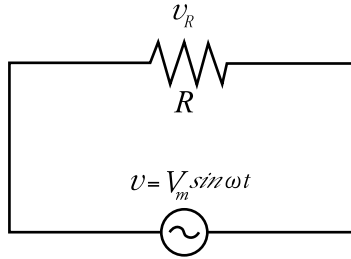
olur. Burada,

$$I_m = V_m / R \quad (1.21)$$

ile verilen maksimum (pik veya tepe) akımıdır. Yukarıdaki eşitlikler kullanılarak direncin uçları arasındaki anlık gerilim düşmesi için,

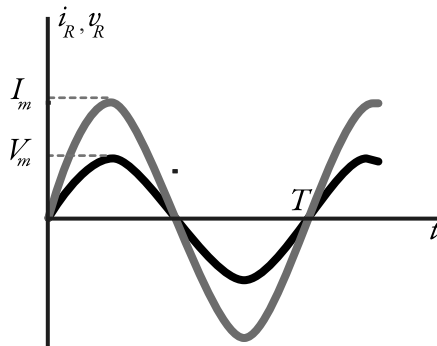
$$v_R = I_m R \sin \omega t \quad (1.22)$$

ifadesi elde edilir.



Şekil 1.14: Sadece direnç içeren bir ac devresi.

Direnç üzerindeki akım ve gerilimin zamanla değişim grafikleri Şekil 1.15'te verilmiştir. Akım ve gerilimin her ikisi de $\sin \omega t$ şeklinde değiştiğinden, hem de pik ve sıfır değerlerine aynı anda ulaştığından dolayı *direnç üzerinde akım ve gerilim aynı fazdadır* denir.



Şekil 1.15: Akım ve gerilimin zamana göre değişimi.

Örnek:

480 V 'luk maksimum çıkış gerilimine sahip olan bir ac üretici, $120\ \Omega$ luk dirence sahip bir devreye frekansı 50 Hz olan alternatif akım vermektedir. Devreden geçen alternatif akımın ifadesi nasıl olmalıdır?

Çözüm:

Eşitlik 1.21 gereğince dirençten geçen maksimum (pik) akımın değeri,

$$I_m = \frac{V_m}{R} = \frac{480\text{ V}}{120\ \Omega} = 4\text{ A}$$

olmalıdır. Açısal frekans ise,

$$\omega = 2\pi f = 2\pi (50\text{ Hz}) = 100\pi\text{ Hz}$$

bulunur. Bu değerler Eşitlik 1.20'de yerine konularak devreden geçen alternatif akım için,

$$i = I_m \sin \omega t = 4 \sin 100\pi t\text{ A}$$

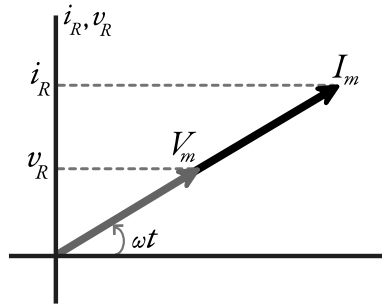
ifadesi elde edilir.



Şekil 1.14'te görülen devrede R direncinin değeri $100\ \Omega$ ve $v = 100 \sin(100\pi t)$ olsun. Bu durumda,

- Dirençten geçen akımın etkin değeri,
- Dirençten geçen akımın ifadesi,
- Devreden geçen akımın frekansı ne olmalıdır?

Akım ve gerilim arasındaki faz ilişkisini ifade etmek için fazör diyagramı olarak adlandırılan grafiksel yapılar kullanılabilir. Bu yapılarda akım ve gerilim gibi alternatif nicelikler fazör denilen dönen vektörlerle temsil edilir. Fazörün dik eksen üzerindeki izdüşümü söz konusu niceliğin anlık değerini, boyu ise o niceliğin maksimum değerini (genliğini) gösterir. Fazör saat ibrelerinin tersi yönünde döner. Sinüsel olarak değişen farklı fazlarda çeşitli akım veya gerilimin toplanması fazör diyagramı kullanılarak kolayca hesaplanmaktadır. Şekil 1.16'da bir direnç devresi için akım ve gerilim fazörleri görülmektedir. Burada akım ve gerilim fazörleri aynı doğru boyuncadır. Çünkü bu devrede akım ve gerilim aynı fazdadır. Okların uzunlukları V_m ve I_m 'ye karşılık gelir. Dik eksen üzerindeki izdüşümleri ise v_R ve i_R 'yi verir. Akımın, bir periyotluk süre içerisinde, pozitif yönde aldığı değer negatif yönde aldığı değerle aynıdır. Yani bir periyotluk süre içerisinde akımın ortalama değeri sıfırdır. Bu nedenle akımın yönünün devredeki direncin davranışına herhangi bir etkisi yoktur.



Şekil 1.16: Bir direnç devresi için akım ve gerilim fazörü.

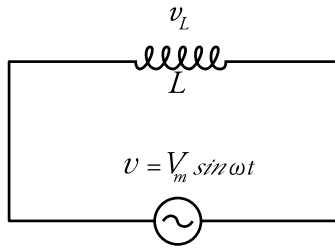
İndüktörlü AC Devresi

İndüktörler de aynı kondansatörler gibi elektrik enerjisini depo eder, yüklenir ve boşalırlar. Elektrik devresindeki bir indüktör, o devreden geçen akımın değişimine karşı koyar. Akımı artıracak şekilde devredeki üreteç gerilimi artırılırsa indüktör bu değişime karşı koyar ve meydana gelen akımdaki artma aniden gerçekleşmez. Üreteç gerilimi azaltılırsa akımda ani bir düşmenin yerine yavaş bir düşmenin gerçekleşmesine sebep olur. İndüktör, akımdaki değişikliklere karşı koydukça devrenin daha yavaş tepki vermesine neden olur. Bu nedenle üreteç bir akım oluşturabilmek için indüktöre karşı iş yapmalıdır. Üreteç tarafından sağlanan enerjinin bir kısmı dirençte iç enerji olarak görünür, geri kalanı indüktörün manyetik alanında depolanır.



İndüktörler, elektrik  devrelerinde sembolü ile gösterilir.

Şekil 1.17’de görüldüğü gibi bir ac üretecinin uçlarına direnci ihmal edilebilen bir indüktörün bağlı olduğu bir devreyi inceleyelim.



Şekil 1.17: Sadece indüktör içeren bir ac devresi.

İndüktördeki akımın değişmesinden dolayı bir özindüksiyon emk’ sı doğar. İndüktörün sargılarından geçen i_L akımı,

$$i_L = \frac{V_m}{\omega L} \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (1.23)$$

ile verilir. Burada L , indüktans olup SI ölçüm sisteminde birimi henry (H)’dir. Buradan akımın zamana bağlı olarak değiştiği ve maksimum değerinin,

$$I_m = \frac{V_m}{\omega L} = \frac{V_m}{X_L} \quad (1.24)$$

olduğu görülmektedir. Eşitlikteki X_L niceliğine *indüktif reaktans* veya kısaca *reaktans* adı verilir ve

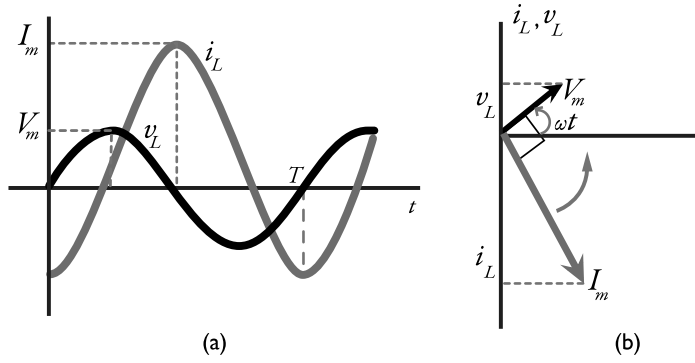
$$X_L = \omega L \quad (1.25)$$

ile gösterilir.

İndüktif reaktans, alternatif akıma karşı indüktörün gösterdiği dirençtir ve SI ölçüm sisteminde birimi volt (V)/amper (A) veya Ω ’dur. Dirençten farklı olarak reaktans, indüktörün karakteristiklerine olduğu kadar frekansa da bağlıdır. Bir indüktörün uçları arasındaki anlık gerilim düşmesi,

$$v_L = V_m \sin \omega t = I_m X_L \sin \omega t \quad (1.26)$$

ile verilir.



Şekil 1.18: Sadece indüktör içeren bir ac devresi.

Sadece indüktörden oluşan bir ac devresi için akım ve gerilimin zamana göre değişim grafiği ve fazör diyagramı sırasıyla Şekil 1.18a ve 1.18b’de verilmiştir. Şekil 1.18a’dan görüldüğü gibi gerilim en büyük değerini aldığı anda akım sıfır, akım en büyük değerini aldığı anda da gerilim sıfır olur. Bu durumda akım gerilimin 90° gerisindedir. O hâlde akımla gerilim arasındaki faz farkı 90° ’dir.



Bir indüktörde gerilim, akımın 90° önündedir.

Örnek:

2 mH ’lık bir indüktör, etkin değeri 32 V olan bir ac gerilim üreticine bağlanıyor. Bu devreden geçen akımın etkin değeri 0,8 A ’dır. Gerilim üreticinin frekansı kaç Hz ’dir?

Çözüm:

İndüktörden geçen maksimum (pik) akım için tanımlanan (1.24) eşitliği kullanılarak devreden geçen etkin akım için,

$$I_{ek} = \frac{V_{ek}}{\omega L}$$

ifadesi elde edilir. Bu eşitlikten açısal frekans,

$$\omega = \frac{V_{ek}}{I_{ek} L} = \frac{32 \text{ V}}{(0,8 \text{ A})(2 \cdot 10^{-3} \text{ H})} = 20 \cdot 10^3 \frac{\text{rad}}{\text{s}}$$

bulunur. Gerilim üreticinin frekansı ise (1.1) tanımı gereğince

$$f = \frac{\omega}{2\pi} = \frac{20 \times 10^3 \text{ rad/s}}{2\pi} = 3,18 \cdot 10^3 \text{ Hz}$$

olmalıdır.

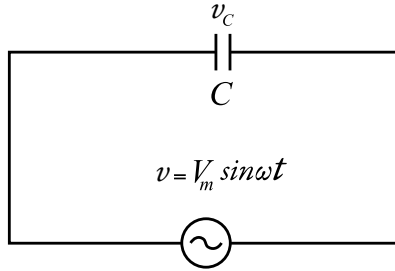


İndüktansı 400 mH olan bir indüktöre 50 Hz ’lik bir ac sinyal uygulandığında indüktörün reaktansı kaç Ω olacaktır?

Kondansatörlü AC Devresi

Elektrik yüklerini kısa süreli depolamaya yarayan elemanlara *kondansatör* adı verilir. Boş olan bir kondansatörün uçları doğru akım (dc) üreticine bağlandığında, kondansatör doluncaya kadar devreden akım geçecektir. Kondansatör dolduktan sonra devreden akımın geçmediği görülür. Aynı boş kondansatör Şekil 1.19’da görüldüğü gibi bir alternatif akım üreticine bağlandığında, devreden akım geçmeye başlar ve kondansatör birkaç dönü sonrası dolacaktır. Daha sonra kondansatörde dolma-boşalma işlemi

başlayacaktır. Kondansatöre ac gerilim uygulandığında, gerilim artarken akım azalır veya gerilim maksimum olunca akım sıfıra düşer. Bu durumda kondansatör yüklenmiş olur. Gerilim azaldıkça kondansatör devreye akım vererek boşalmaya başlar. Devreye uygulanan gerilim sıfır olduğunda akım en büyük değerini alır.



Şekil 1.19: Sadece kondansatör içeren bir ac devresi.

Sırası C olan kondansatörün uçları arasındaki ac gerilimi v_C ,

$$v = v_C = V_m \sin \omega t = \frac{q}{C} \quad (1.27)$$

ile verilir. Kondansatörden geçen anlık akım ise

$$i_C = \omega C V_m \sin(\omega t + \pi/2) \quad (1.28)$$

şeklinde ifade edilir. Bu takdirde devredeki maksimum akım,

$$I_m = \omega C V_m = \frac{V_m}{X_C} \quad (1.29)$$

olur. Buradaki X_C niceliğine *kapasitif reaktans* denir ve

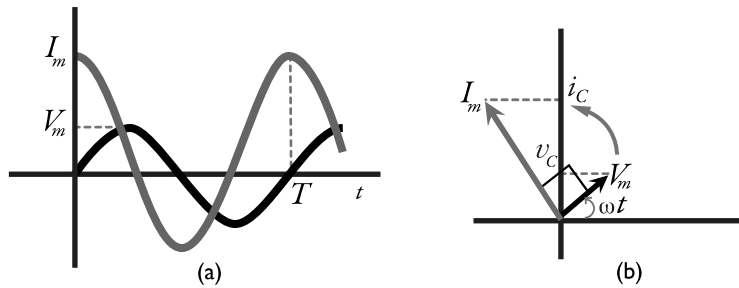
$$X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (1.30)$$

biçiminde tanımlanır. SI ölçüm sisteminde kapasitif reaktansın birimi ohm(Ω)'dur. Gerilim kaynağının frekansı arttıkça, kapasitif reaktans azalırken maksimum akım artar. Frekans sıfıra yaklaştıkça kapasitif reaktans sonsuza giderken akım da sıfıra gider. Bu durum devrenin dc şartlarına yaklaşacağını ifade eder.

Kondansatörün uçları arasındaki anlık gerilim düşmesi ise

$$v_C = V_m \sin \omega t = I_m X_C \sin \omega t \quad (1.31)$$

eşitliği ile ifade edilir.



Şekil 1.20: a) Akım ve gerilimin zamana göre değişimi. b) Fazör diyagramı.

Akım ile gerilimin zamana göre değişim grafiği ve fazör diyagramı sırasıyla Şekil 1.20a ve 1.20b’de verilmiştir. Akım gerilimden 90° daha erken maksimum değerine ulaşmaktadır. Uygulanan bir sinüsel emk için akım daima kondansatör üzerindeki gerilimden 90° öndedir.



Bir kondansatörde gerilim akımın 90° gerisindedir.

Örnek:

Bir kondansatör 1000 Hz’de, 20 V’luk çıkış geriliminde çalışan bir osilatöre bağlanmıştır. Osilatörden çekilen akım 250 mA’dır. Kondansatörün sığası kaç farad (F)’dir?

Çözüm:

Kondansatörün reaktansı (1.29) eşitliğinden yararlanarak

$$X_C = \frac{V_m}{I_m} = \frac{20 \text{ V}}{250 \cdot 10^{-3} \text{ A}} = 80 \Omega$$

bulunur. Kondansatörün sığası (1.30) ifadesi gereğince

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C}$$

ve

$$C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi (1000 \text{ Hz})(80 \Omega)} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ F} = 2 \mu\text{F}$$

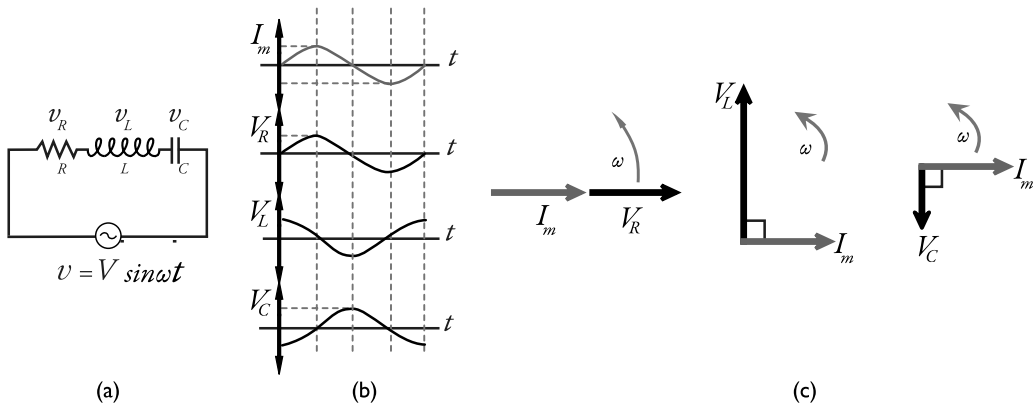
olmalıdır.



Etkin gerilimi 120 V olan bir üreteç 1 μF ’lık kondansatör içeren bir devreye bağlandığında etkin akım 0,8 A oluyor. Kaynağın frekansı kaç Hz’dir?

RLC Seri Devresi

Şekil 1.21a’da görüldüğü gibi birbirine seri olarak bağlanmış bir direnç, bir indüktör ve bir kondansatörden meydana gelen devreye bir sinüsel gerilim uygulanmış olsun. Böyle bir devrede akım ve gerilimin sırasıyla $v = V_m \sin \omega t$ ve $i = I_m \sin (\omega t - \phi)$ şeklinde değiştiğini kabul edelim. Burada ϕ akımla uygulanan gerilim arasındaki faz açısını (farkını) temsil etmektedir. Şekil 1.21b ve 1.21c sırasıyla devredeki her bir eleman üzerindeki gerilimin zamana bağlılığını ve bunların faz ilişkisini göstermektedir.



Şekil 1.21: Bir ac üreteğine bağlı RLC devresi ve faz ilişkileri.

Elemanlar seri bağılı olduklarından herhangi bir anda devrenin her noktasından aynı akım geçer. Dolayısıyla ac akımı aynı genlik ve faza sahiptir. Ancak her elemanın uçları arasındaki gerilim farklı genliğe ve farklı faza sahip olacaktır. Şekil 1.21c’de görüldüğü gibi direnç için akım ve gerilim aynı fazdadır. İndüktör üzerindeki gerilim akımın 90° önündedir. Kondansatör üzerindeki gerilim akımın 90° gerisindedir. Bu üç eleman üzerindeki anlık gerilim düşmeleri;

$$v_R = I_m R \sin \omega t = V_R \sin \omega t \quad (1.32)$$

$$v_L = I_m X_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) = V_L \sin(\omega t + \frac{\pi}{2}) \quad (1.33)$$

$$v_C = I_m X_C \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) = V_C \sin(\omega t - \frac{\pi}{2}) \quad (1.34)$$

olur. Burada V_R , V_L ve V_C her bir elemanın üzerindeki maksimum gerilimlerdir. Üç eleman üzerindeki anlık gerilimlerin toplamı $v = v_R + v_L + v_C$ olur. Ancak faz diyagramını kullanarak bu toplamı elde etmek daha kolaydır.

Herhangi bir anda tüm elemanlardan aynı akım geçtiğinden Şekil 1.21c’deki her bir elemana ait üç fazörü birleştirerek Şekil 1.22a’da görülen bir bileşke fazör elde edilebilir. Akım için bir tane I_m fazörü kullanılırken, üç elemana ait gerilim fazörlerinin vektörel toplamını bulmak için fazör diyagramı Şekil 1.22b’de görüldüğü gibi tekrar çizilir. Burada V_R , V_L ve V_C gerilim genliklerinin vektörel toplamı, uzunluğu uygulanan gerilimin pik değeri V_m olan bir fazöre eşittir. V_m gerilim fazörü I_m akım fazörü ile ϕ açısı yapmaktadır. V_L ve V_C gerilim fazörleri aynı doğrultuda fakat zıt yönde olduklarından, toplamları $V_L - V_C$ fark fazörünü verir.

Şekil 1.22b’deki üçgenden V_m değeri,

$$V_m = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} = \sqrt{(I_m R)^2 + (I_m X_L - I_m X_C)^2}$$

ve

$$V_m = I_m \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1.35)$$

olur. Bu eşitlikten akımın maksimum değeri I_m ise

$$I_m = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}} = \frac{V_m}{Z} \quad (1.36)$$

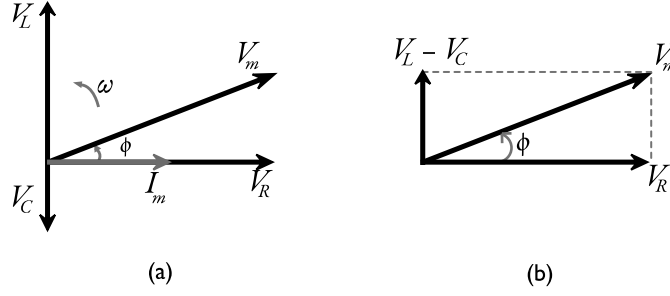
bulunur. Burada Z , devrenin *empedansı*dır ve

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} \quad (1.37)$$

olarak tanımlanır. Empedansın SI ölçüm sistemindeki birimi Ω ’dur. Böylece

$$V_m = I_m Z \quad (1.38)$$

olarak yazılabilir. Bu eşitliğe bir ac devresine uygulanan *Genelleştirilmiş Ohm Kanunu* olarak bakabiliriz.

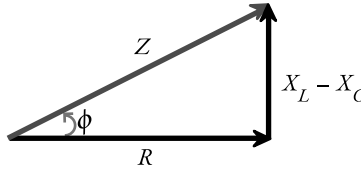


Şekil 1.22: (a) Fazör diyagramları. (b) Fazör diyagramlarının basitleştirilmiş hâli.

Bir seri RLC devresinin empedans üçgeni Şekil 1.23'te görüldüğü gibidir. Bu empedans üçgeninde akımla gerilim arasındaki ϕ faz açısının

$$\tan \phi = \frac{X_L - X_C}{R} \quad (1.39)$$

olduğu görülür.



Şekil 1.23: RLC devresinde empedans üçgeni

Bu bağıntıya göre akımla gerilim arasındaki faz açısı eğer:

- $X_L > X_C$ ise pozitif olur ve gerilim akımdan öndedir, *devre indüktiftir*,
- $X_L < X_C$ ise negatif olur ve akım gerilimden öndedir, *devre kapasitiftir*,
- $X_L = X_C$ ise sıfır olur, akımla gerilim aynı fazdadır. Bu durumda devrenin empedansı $Z = R$ olur, *devre rezistiftir*. Akım da V_m/R ile verilen maksimum değerini alır. Bu durumun olduğu frekans değerine *rezonans frekansı* denir. $X_L = X_C$ koşulu kullanılarak devrenin bu durumdaki rezonans frekansı f ,

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (1.40)$$

bulunur.

RLC devresi, akımın frekansını değiştirmek suretiyle rezonans haline getirilebileceği gibi, frekans sabit tutulup L veya C 'yi ya da her ikisini birden değiştirerek te rezonans haline getirilebilir. Radyo alıcılarında sığayı değiştirmekle alıcının titreşim frekansı vericinin titreşim frekansı ile rezonans haline getirilebilir. Seri bağlı bir RLC devresinde empedans için bulduğumuz,

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

eşitliğini, devrede bu üç elemandan herhangi birinin veya ikisinin bulunmaması halinde de bulunmayan elemanın (veya elemanların) direncini sıfır alarak kullanabiliriz.

Örnek:

Şekil 1.21'de görülen seri bağlı bir RLC devresinde $R = 500 \Omega$, $L = 4 \text{ H}$ ve $C = 6 \mu\text{F}$ 'dır. Devre $\Delta V_m = 110 \text{ V}$ ve 50 Hz olan bir ac üreticine bağlanmıştır. Bu durumda,

- İndüktif ve kapasitif reaktans,
- Devrenin empedansı,
- Devreden geçen maksimum akım,
- Direnç, indüktör ve kondansatör üzerindeki maksimum gerilim,
- RLC üzerindeki toplam gerilim değerleri ne olur?

Çözüm:

- İndüktif reaktans,

$$X_L = \omega L = 2\pi fL = 2\pi (50 \text{ Hz})(4 \text{ H}) = 1256,6 \Omega$$

ve kapasitif reaktans,

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2\pi (50 \text{ Hz})(6 \cdot 10^{-6} \text{ F})} = 530,5 \Omega$$

bulunur.

- Devrenin empedansı (1.37) eşitliği gereğince,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2} = \sqrt{(500 \Omega)^2 + (1256,6 \Omega - 530,5 \Omega)^2} = 881,6 \Omega$$

olacaktır.

- Devreden geçen maksimum akım,

$$I_m = \frac{V_m}{Z} = \frac{110 \text{ V}}{881,6 \Omega} = 0,125 \text{ A}$$

bulunur.

- Direnç üzerindeki maksimum gerilim,

$$V_R = I_m R = (0,125 \text{ A})(500 \Omega) = 62,5 \text{ V}$$

elde edilir. İndüktör üzerindeki maksimum gerilim,

$$V_L = I_m X_L = (0,125 \text{ A})(1256,6 \Omega) = 157 \text{ V}$$

olup kondansatör üzerindeki maksimum gerilim ise,

$$V_C = I_m X_C = (0,125 \text{ A})(530,5 \Omega) = 66,3 \text{ V}$$

olarak bulunur.

- RLC üzerindeki toplam gerilim,

$$V_m = \sqrt{V_R^2 + (V_L - V_C)^2} = \sqrt{(62,5 \text{ V})^2 + (157 \text{ V} - 66,3 \text{ V})^2} = 110 \text{ V}$$

olur.



Direnci 1200Ω , indüktansı 200 mH ve sığası $4 \mu\text{F}$ olan seri bağlı bir devre değişken frekanslı bir üreteç ile besleniyor. Bu durumda,

- Devrenin rezonans frekansını,
- Rezonans frekansında devrenin empedansını hesaplayınız.

ALTERNATİF AKIMDA GÜÇ

DC devrelerde uygulanan akımın yönü ve şiddeti zamana bağlı değildir. Bu nedenle bu türdeki devrede güç tek bir değere sahiptir ve $I_{dc}^2 R$ ile verilir. AC devrelerde ise uygulanan akımın yönü ve şiddeti zamanla değişecektir. Bu türdeki bir devrede akım ve gerilimin değerleri sabit olmayıp sürekli değiştiğinden dolayı ac güç de zamanla değişecektir.

Aktif Güç

AC devrelerde herhangi bir andaki akımla gerilimin çarpımı *anlık güç* olarak tanımlanır. Gücün her an değişik bir değer aldığı bu durumlarda asıl faydalı olan ortalama güçtür. Faydalı olan bu güç *aktif* veya *etkin güç* olarak adlandırılır. Alternatif akım devrelerinde aktif güç yerine güç kelimesi kullanılır. AC devresinde aktif gücü dirençler çeker.

Bir ac devrede gerilim $v = V_m \sin \omega t$ ve devreden geçen akım $i = I_m \sin(\omega t - \phi)$ olarak değişiyorsa bu devrenin gücü,

$$P_{ac} = iv = I_m \sin(\omega t - \phi) V_m \sin \omega t \quad (1.41)$$

ile tanımlanır. Trigonometrik eşitliklerden yararlanılarak güç ifadesi için,

$$P_{ac} = \frac{I_m V_m}{2} [\cos(2\omega t - \phi) - \cos \phi] \quad (1.42)$$

ve

$$P_{ac} = I_{etk} V_{etk} \cos \phi - I_{etk} V_{etk} \cos(2\omega t - \phi) \quad (1.43)$$

bağıntıları elde edilir. Eşitlik 1.43'ün sağ tarafındaki birinci terim zamana bağlı değildir. İkinci terim ise zamana bağlı olarak değişmektedir. AC üreteç tarafından sağlanan ortalama güç kosinüs dalgasının ortalama değerinin sıfır olmasından dolayı eşitliğin sağ tarafındaki ilk terime eşittir. O halde ortalama güç,

$$P_{ac} = I_{etk} V_{etk} \cos \phi \quad (1.44)$$

ifadesi ile verilir. Bu eşitlikte $\cos \phi$ çarpanı *aktif güç katsayısı* olarak adlandırılır. Eğer P_{ort} pozitif ise devreye enerji aktarılır. Eğer P_{ort} negatif ise enerji devreden kaynağa geri döner. SI ölçüm sisteminde güç birimi watt (W)'tır.



Matematiksel olarak $\sin a \cdot \sin b = -\frac{1}{2} [\cos(a+b) - \cos(a-b)]$ eşitliği yazılabilir.

Sadece direnç bulunan bir devre durumunda direnç üzerindeki gerilim ve dirençten geçen akım aynı fazda olduğundan $\phi = 0^\circ$ dir. Bu durumda $\cos(-90^\circ) = 0$ olduğundan böyle bir devrede ortalama güç Eşitlik 1.44 gereğince

$$P_{ort(ac)} = I_{etk} V_{etk} = I_{etk}^2 R \quad (1.45)$$

olarak verilir. Dirençte harcanan güç dirençten geçen akımın yönüne bağlı değildir. Güç her zaman pozitifdir ve bu gücün büyük bir kısmı yararlı bir işi karşılarken çok az bir kısmı ise kaybolur.

Sadece indüktör bulunan bir devrede, indüktörden geçen akım indüktör üzerindeki gerilimin 90° gerisindedir ($\phi = 90^\circ$). Bu durumda $\cos 90^\circ = 0$ olduğundan böyle bir devrede ortalama güç Eşitlik 1.43'ten,

$$P_{ort(ac)} = -I_{etk} V_{etk} \cos\left(2\omega t - \frac{\pi}{2}\right) \quad (1.46)$$

bulunur. Kosinüs dalgasının ortalama değerinin sıfır olmasından dolayı ac üreteç tarafından sağlanan ortalama güç sıfırdır ($P_{ort(ac)} = 0$).

Sadece kondansatör bulunan bir devrede, kondansatörden geçen akım kondansatör üzerindeki gerilimin 90° önündedir $\phi = 90^\circ$. Bu durumda $\cos(-90^\circ) = 0$ olduğundan böyle bir devrede güç ifadesi yine Eşitlik 1.43 ile verilir ve ortalama güç sıfıra eşittir ($P_{ort(ac)} = 0$).

Örnek:

Bir önceki örnekte verilen seri bağlı RLC devresi için $\phi = 55,4^\circ$ ise ortalama gücün değeri kaç W 'tır?

Çözüm:

Ortalama güç,

$$P_{art(ac)} = I_{etk} V_{etk} \cos\phi = \frac{1}{2} I_m V_m \cos\phi$$

olduğuna göre eşitlikteki her bir bilinmeyeni hesaplayalım. Etkin akım,

$$I_{etk} = \frac{I_m}{\sqrt{2}} = 0,707 I_m = 0,707 (0,125 \text{ A}) = 88,3 \text{ mA}$$

etkin gerilim,

$$V_{etk} = 0,707 V_m = (0,707)(110 \text{ V}) = 77,8 \text{ V}$$

güç çarpanı,

$$\cos\phi = \cos 55,4^\circ = 0,57$$

bulunur. O halde ortalama güç,

$$P_{ort(ac)} = (88,3 \cdot 10^{-3} \text{ A})(77,8 \text{ V})(0,57) = 3,91 \text{ W}$$

olmalıdır.



$v = 50 \sin(314 t)$ değerine sahip bir ac üretici, direnci 200Ω , indüktansı $0,2 \text{ H}$ ve sığası $2 \mu\text{F}$ olan seri bağlı bir RLC devresine bağlanmaktadır. $\phi = -82,6$ olduğuna göre devrede harcanan ortalama güç kaç mW 'tır?

Reaktif Güç

Eğer bir devre indüktör, kondansatör veya her ikisini birden içeriyorsa bir dönü boyunca devreye giren enerjinin bir kısmı depo edilir ve daha sonra üretece geri döner. AC gerilim bir indüktöre uygulandığı zaman, indüktör gerilimin pozitif periyodunda (yarım periyot) enerjiyi manyetik alanında depolar. Depolanan bu enerji gerilimin negatif periyodunda üretece geri verilir. Bu döngü üreteç devrede olduğu sürece devam eder. Sadece kondansatör içeren bir ac devresinde, üreteçten çekilen enerji yarım periyotluk zaman diliminde, kondansatörün plakaları arasında, elektrik alanında depolanır. Geri kalan yarım

periyotluk süre içinde de depolanan enerji üretece geri verilir. Böylece ideal bir indüktörde ve kondansatörde (iç dirençleri sıfır) net enerji kaybı sıfırdır.

İndüktör ve kondansatör birbirleri ile eşlenik çalışan iki devre elemanıdır. Her iki devre elemanı seri bağlı olarak aynı devrede bulunduklarında üzerlerindeki gerilimlerin faz farkı 180° 'dir. Bu nedenle indüktör üreteçten güç çekerken kondansatör daha önce depoladığı gücü geri verir, devamında kondansatör güç çekerken indüktör daha önce depoladığı gücü geri verir.

Bir dönü boyunca akım ve gerilim değerlerinin işaretleri aynı veya farklı olabilir. Akım ve gerilim işaretinin farklı olduğu noktalarda güç negatiftir ve güç akışı kullanıcıdan şebekeye doğrudur. Şebekeden çekilen bu enerji kullanılmadan şebekeye geri verilir ve bu dolaşım sırasında iletim hatlarındaki dirençlerden dolayı kayıplar oluşur. Bu dönüşümde yer alan güce *reaktif güç* adı verilir ve Q ile gösterilir. Reaktif güç,

$$Q = I_{etk} V_{etk} \sin \phi \quad (1.47)$$

ifadesi ile verilir. Bu eşitlikte $\sin \phi$ çarpanı *reaktif güç katsayısı* olarak adlandırılır. SI ölçüm sisteminde reaktif güç birimi olarak volt-amper-reaktif (VAR) kullanılır. Reaktif güç enerji kaybını göstermez. Reaktif güç indüktörün veya kondansatörün aldığı ve verdiği anlık gücün maksimum (tepe) değerini gösterir. Reaktif güç işe dönüştürülebilme şansı olmayan bir güç çeşididir. Reaktif güç gereksiz yere iletim hattını ve iletim aygıtlarını yükleyerek gerilim azalmasına ve kayıplara yol açar. Bu nedenle şebekeden çekilen reaktif gücün sıfır olması istenir.

Sadece kondansatör bulunan bir devrede reaktif güç,

$$Q_C = I_{etk}^2 X_C = \frac{V_{etk(C)}^2}{X_C} = I_{etk} V_{etk(C)} \quad (1.48)$$

ifadesi ile verilirken sadece indüktör bulunan bir devrede reaktif güç

$$Q_L = I_{etk}^2 X_L = \frac{V_{etk(L)}^2}{X_L} = I_{etk} V_{etk(L)} \quad (1.49)$$

eşitliği ile tanımlanır.

Görünür Güç

AC devrelerde aktif gücü dirençler, reaktif gücü indüktör ve kondansatörler çeker. Bir ac devrede direnç ve reaktanslar bulunuyorsa aktif ve reaktif güç bulunacaktır. Aktif ve reaktif güç farklı özelliklere sahiptirler ve birlikte *görünür gücü* (S) oluşturmaktadır.

İndüktif bir yük için görünür güç fazörü

$$S = P_{ac} + jQ_L \quad (1.50)$$

ile tanımlanır. Kapasitif bir yük için görünür güç fazörü ise

$$S = P_{ac} - jQ_C \quad (1.51)$$

ifadesi ile verilir.



$Z = a + j b$ biçimindeki sayılara kompleks sayılar denir. Burada kompleks sayının reel kısmı a , sanal kısmı b ile temsil edilir. Yatay eksen reel, düşey eksen sanal sayı eksenini olarak tanımlanır. Sayıların önüne j ($j = \sqrt{-1}$) harfi getirilerek sayının sanal olduğu belirtilir.

Görünür güç S ,

$$S = \sqrt{P_{ac}^2 + Q^2} \quad (1.52)$$

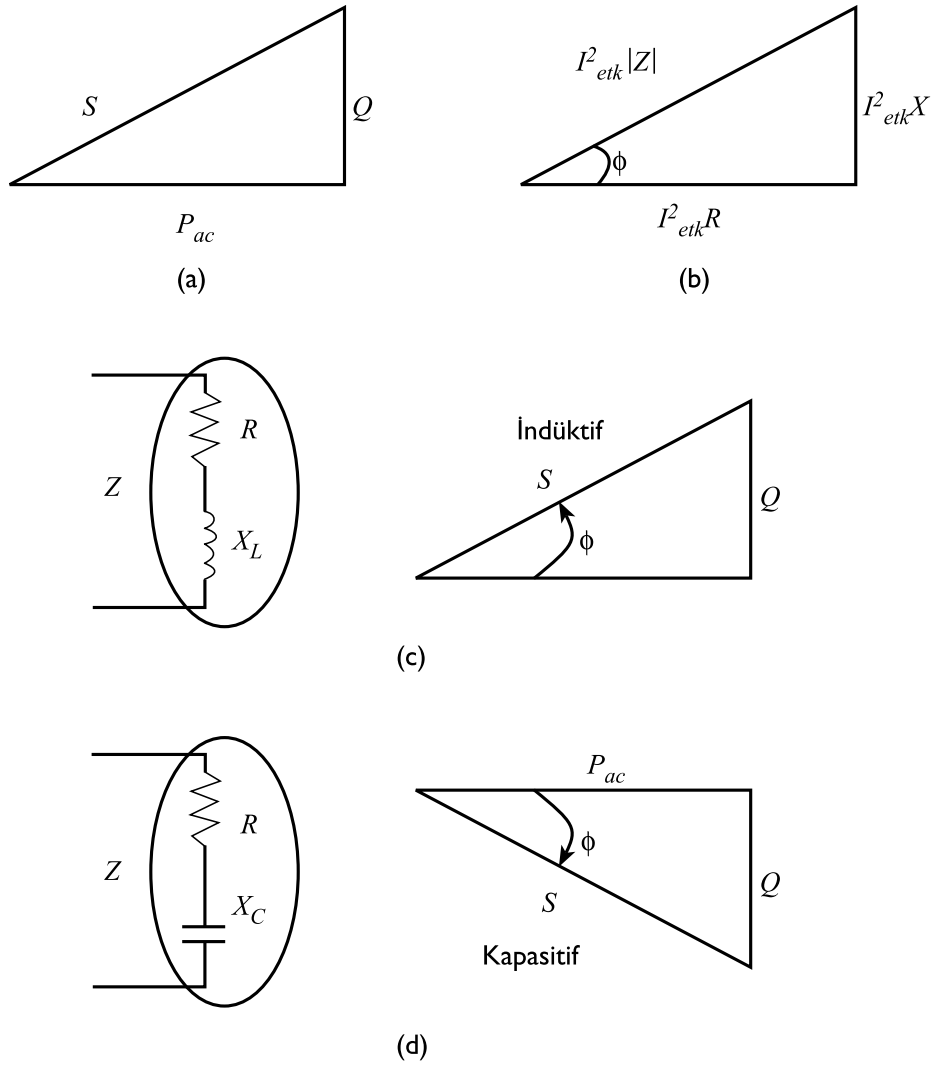
eşitliği yardımıyla bulunur. Görünür gücün SI ölçüm sisteminde birimi volt-ampere (VA)'dır. S , P_{ac} ve Q skaler nicelikleri geometrik olarak Şekil 1.24a' da görüldüğü gibi bir dik üçgenin sırası ile hipotenüsü, yatay kenarı ve düşey kenarı olarak gösterilebilir. Bu üçgene *güç üçgeni* adı verilir. Güç üçgeni 1.24b' de gösterildiği gibi basitçe, I_{etk}^2 çarpanı ile ölçeklendirilmiş Z empedans üçgenidir. Bir indüktif yük ve bir kapasitif yük için güç üçgenleri sırası ile Şekil 1.24c ve Şekil 1.24d' de gösterilmiştir. Buradan aktif güç,

$$P_{ac} = S \cos \phi \quad (1.53)$$

ve reaktif güç,

$$Q = S \sin \phi \quad (1.54)$$

olarak ifade edilir.



Şekil 1.24: Güç üçgenleri.

Elektrik devrelerinde işe yaramayan fakat kaçınılmaz olarak karşımıza çıkan reaktif güç değerinin artışı istenilmeyen bir durumdur. İş yapan güç aktif güç olduğundan aktif gücün maksimum, reaktif gücün minimum olması istenir. Genellikle jeneratör, transformator ve motor gibi AC makinalarının etiketleri üzerinde görünür güç değeri belirtilir.



Fazör kavramı için *Introductory Circuit Analysis* (Boylestad, R. L. (1990) New York: Macmillan Publishing Company) isimli kaynak kitaba bakabilirsiniz.

Örnek:

Bir önceki örnekte verilen devrenin;

- Aktif gücünü,
- Reaktif gücünü,
- Görünür gücünü hesaplayınız.

Çözüm:

- Devrenin aktif gücü,

$$P_{ac}=I_{etk}V_{etk}=(88,3 \cdot 10^{-3} \text{ A})(0,707(62,5 \text{ V}))=3,91 \text{ W}$$

bulunur.

- Reaktif gücü ise,

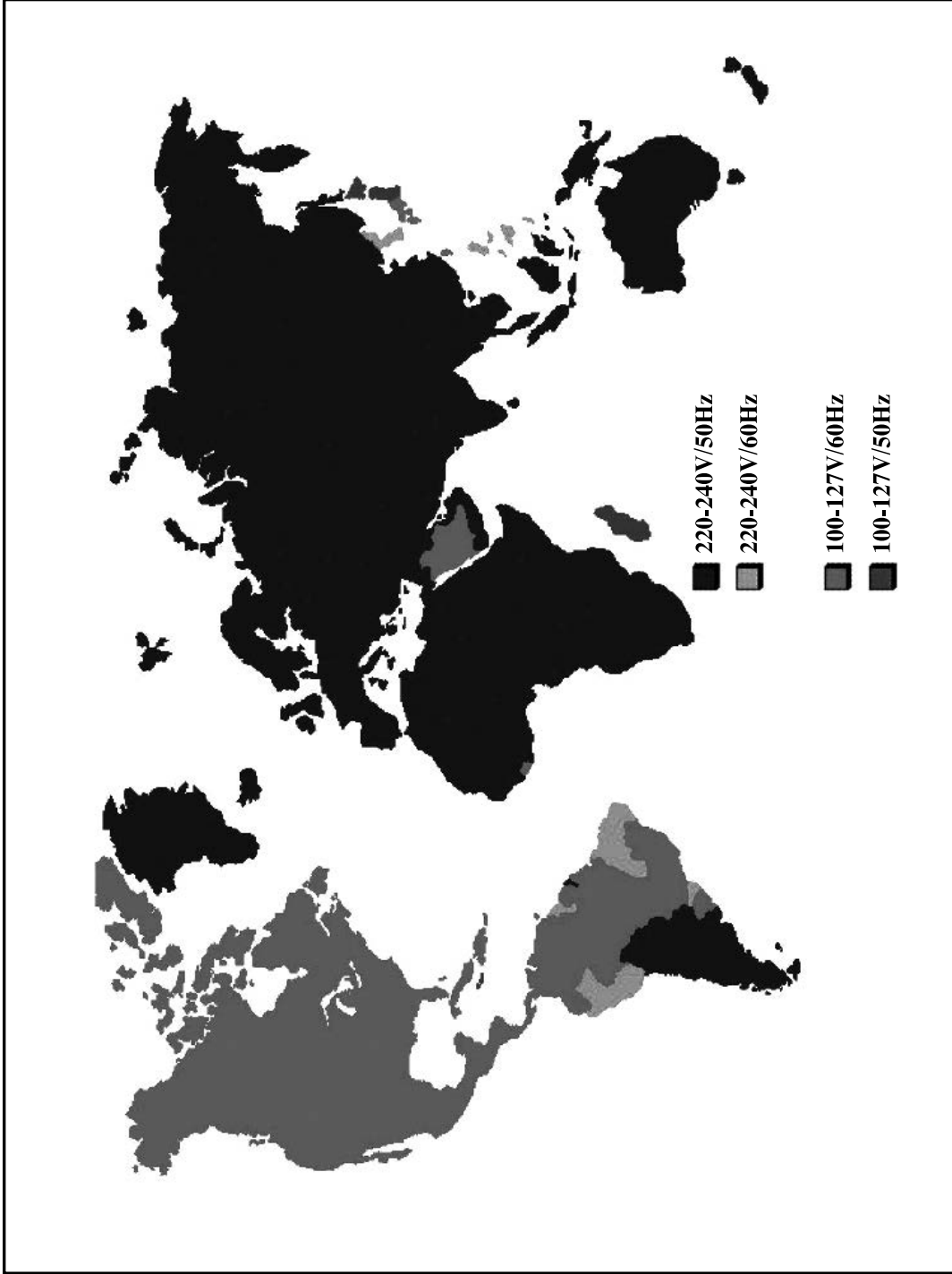
$$Q=I_{etk}^2 (X_L-X_C)=(88,3 \cdot 10^{-3} \text{ A})^2(1256,6 \Omega - 530,5 \Omega)=5,66 \text{ VAR}$$

elde edilir.

- Devrenin görünür gücü,

$$S=\sqrt{P_{ac}^2+Q^2}=\sqrt{(3,91)^2+(5,66)^2}=6,88 \text{ VA}$$

olacaktır.



Harita 1.1: Çeşitli ülkelerde kullanılan gerilim ve frekans değerleri

Özet

Yönü ve şiddeti zamanla periyodik olarak değişen akım, alternatif akım (ac) olarak tanımlanır. AC’de, akım ve gerilim daha çok sinüsel biçimde zamanla değişir. Sinüsel ac gerilim üreticinin polaritesi periyodik aralıklarla sinüsel dalga biçiminin pozitif veya negatif kısmına bağlı olarak değişir. Üreticinin polaritesine bağlı olarak alternatif akımın yönü de periyodik olarak değişmektedir. Sinüsel ac gerilim üreticinde, dalga biçiminin pozitif kısmında: üreticinin üst ucu pozitif (+), alt ucu negatif (-) ve negatif kısmında: üreticinin üst ucu (-), alt ucu (+) işarete sahip olduğu kabul edilir. Bir alternatif dalga biçimi anlık değer, tepe değeri, periyot, frekans, dönü gibi kavramlar ile tanımlanmaktadır.

Genlik veya tepe (pik) değeri: Bir dalga biçiminin maksimum değeridir. Büyük harflerle gösterilir. Örneğin bir devre elemanı üzerindeki gerilim V_m ile temsil edilir.

Tepeden tepeye (pik-pik) değer: Pozitif ve negatif tepe değerlerinin şiddetleri toplamıdır. Dalga biçiminin pozitif ve negatif pik değerleri arasındaki gerilim V_{p-p} ile gösterilir.

Periyodik dalga biçimi: Belli bir zaman aralığından sonra kendisini sürekli tekrarlayan bir dalga biçimidir.

Periyot: Bir dalga biçiminin ardışık tekrarları arasındaki zaman aralığıdır. Periyot genellikle T harfi ile gösterilir. Periyot SI ölçüm sisteminde saniye (s) ile ölçülür.

Dönü: Dalga biçiminin bir periyotluk zamana karşı gelen bölümüdür.

Frekans: Birim zamanda meydana gelen dönümlerin sayısıdır. Frekans f harfi ile gösterilir. SI ölçüm sistemlerinde birimi 1/s veya hertz (Hz)’dir.

Sinüs dalgası direnç, indüktör ve kondansatör elemanlarının tepkisinden etkilenmeyen şekle sahip tek bir alternatif dalga biçimidir. Eğer bir direnç, indüktör veya kondansatör üzerindeki gerilim sinüsel ise her bir durum için oluşan akım da sinüsel karakteristiğe sahiptir. Dönen bir vektörden geliştirilen bir sinüs dalgasının fiziksel temsili akım veya gerilim için kullanılabilir. Sinüsel dalga biçimini matematiksel olarak ifade etmek için $A_m \sin(\omega t \pm \phi)$ eşitliği kullanılır.

Bir alternatif akımın etkin değeri; aynı dirençte, aynı zamanda ve eşit miktarda ısı açığa çıkaran doğru akımın değerine eşittir. Bir ac devresinde etkin akım ve etkin gerilim sırası ile akım ve gerilimin maksimum değerlerinin 0,707 katlarına eşittirler ($I_{etk} = 0,707 I_m$, $V_{etk} = 0,707 V_m$). Kullandığımız ac ampermetre ve voltmetreleriyle ölçtüğümüz değerler alternatif akımın etkin değerleridir.

Akım ve gerilim arasındaki faz ilişkisini ifade etmek için fazör diyagramı olarak adlandırılan grafiksel yapılar kullanılır. Bu yapılarda akım ve gerilim gibi alternatif nicelikler fazör denilen dönen vektörlerle temsil edilir. Fazör saat ibrelerinin tersi yönünde döner. Fazör diyagramı kullanılarak tek gözlü bir direnç, indüktör veya kondansatör devresi için akım ve gerilim arasındaki faz ilişkisi ilgili fazörler kullanılarak belirlenir.

Bir direnç devresinde akım ve gerilim aynı fazda olduğundan akım ve gerilim fazörleri aynı doğru boyuncadır. Bir indüktörde gerilim akımın 90° önündedir. Bir kondansatörde ise gerilim akımın 90° gerisindedir.

AC devrelerde herhangi bir andaki gerilimle akımın çarpımı anlık güç olarak tanımlanır. Gücün her an değişik bir değer aldığı bu durumlarda faydalı olan ortalama güçtür ve aktif güç olarak adlandırılır. Ortalama güç,

$$P_{ac} = I_{etk} V_{etk} \cos \phi$$

ifadesi ile verilir. Bu eşitlikteki $\cos \phi$ çarpanı aktif güç katsayısı olarak adlandırılır.

Akım ve gerilim işaretinin farklı olduğu noktalarda güç negatiftir ve güç akışı kullanıcıdan şebekeye doğrudur. Şebekeden çekilen bu enerji kullanılmadan şebekeye geri verilir. Bu dönüşümde yer alan güce reaktif güç adı verilir ve,

$$Q = I_{etk} V_{etk} \sin \phi$$

ifadesiyle tanımlanır. Buradaki $\sin \phi$ çarpanı reaktif güç katsayısı olarak adlandırılır. Aktif ve reaktif güç farklı özelliklere sahiptirler ve birlikte görünür gücü oluşturmaktadır. Görünür güç S ,

$$S = \sqrt{P_{ac}^2 + Q^2}$$

eşitliği yardımıyla bulunur.

Kendimizi Sınavalım

1. Alternatif akım ile ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi doğrudur?

- a. Yalnız yönü değişen akımdır.
- b. Yalnız şiddeti değişen akımdır.
- c. Yönü ve şiddeti zamanla periyodik olarak değişen bir akımdır.
- d. Yönü ve şiddeti gelişi güzel değişen akımdır.
- e. Yönü ve şiddeti değişmeyen akımdır.

2. Frekansı 100 Hz olan bir alternatif akımın periyodu s 'dir?

- a. 0,01
- b. 0,02
- c. 0,1
- d. 0,2
- e. 1

3. Etkin değeri $\sqrt{2}$ A ve frekansı 50 Hz olan bir alternatif akım ifadesinin eşitliği aşağıdakilerden hangisidir?

- a. $i = \sqrt{2} \sin 50\pi t$
- b. $i = 2 \sin 50\pi t$
- c. $i = \sqrt{2} \sin 100\pi t$
- d. $i = 2 \sin 100\pi t$
- e. $i = 10 \sin 100\pi t$

4. Bir devre elemanının uçları arasındaki anlık gerilim ve bu elemandan geçen anlık akım şiddeti

sırasıyla $v = 5 \sin 314 t$ ve $i = 3 \sin \left(314 t - \frac{\pi}{4} \right)$

olduğuna göre gerilimle akım arasındaki faz farkı için aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

- a. Gerilim akımdan 45° öndedir.
- b. Gerilim akımdan 45° geridedir.
- c. Gerilim akımdan 90° geridedir.
- d. Gerilim akımdan 90° öndedir.
- e. Gerilimle akım arasında faz farkı yoktur.

5. Direnci $55\sqrt{2} \Omega$ olan bir elektrikli cihaz etkin değeri 220 V olan bir ac üreteğine bağlanıyor. Cihazdan geçen maksimum akım kaç A'dır?

- a. 1
- b. $\sqrt{2}$
- c. 2
- d. 4
- e. 6

6. Direnci 1000 Ω , indüktansı 250 mH ve sığası 2,53 μF olan seri bağlı bir devre değişken frekanslı bir üreteç ile besleniyor. Devrenin rezonans frekansı kaç Hz'dir?

- a. 240
- b. 200
- c. 180
- d. 100
- e. 50

7. Etkin değeri 25 V olan bir ac üreteci seri bağlı RL devresine bağlanmıştır. Bu devreden geçen etkin akım 5 A ve harcanan ortalama güç 48 W'tır. Ω cinsinden direncin ve indüktörün reaktans değeri aşağıdakilerden hangisidir?

- a. 1,92 ; 2,31
- b. 1,92 ; 4,62
- c. 4,62 ; 4,62
- d. 4,62 ; 9,24
- e. 9,24 ; 13,18

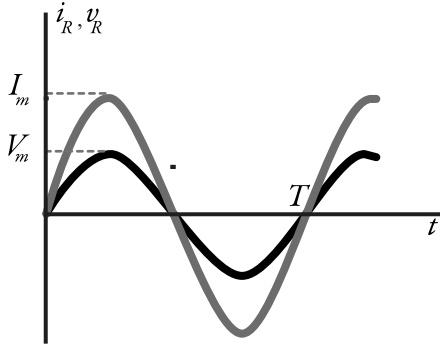
8. 50 Hz'lik bir üreteç 24 μF 'lık kondansatörün uçlarına bağlanmıştır. Aynı kaynağın uçlarına bağlandığında aynı akımı çekecek indüktörün değeri kaç mH'dir?

- a. 80
- b. 211
- c. 281
- d. 360
- e. 422

9. Şekildeki grafikte bir devrenin uçlarındaki gerilimle bu devredeki akımın zamanla değişimi gösteriliyor. Buna göre:

- I. Devrede sadece direnç olabilir,
- II. Devrede sadece indüktör olabilir,
- III. Devrede seri bağlanmış direnç, indüktör ve kondansatör olabilir

ifadelerinden hangisi/hangileri doğrudur?



- a. Yalnız I
- b. Yalnız II
- c. I ve II
- d. I ve III
- e. II ve III

10. $v = 100 \sin 2000t$ değerine sahip bir ac üretici, direnci 800Ω , indüktansı $0,5 \text{ H}$ ve sığası $1,25 \mu\text{F}$ olan seri bağlı bir RLC devresine uygulanmaktadır. Devrede harcanan ortalama güç kaç W 'tır?

- a. 6
- b. 5
- c. 4
- d. 3
- e. 2

Kendimizi Sınavalım Yanıt Anahtarı

1. c Yanıtınız yanlış ise “Alternatif Akım” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.
2. a Yanıtınız yanlış ise “Alternatif Akımda Temel Kavramlar” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.
3. d Yanıtınız yanlış ise “Sinüsel Akım ve Gerilim için Genel İfadeler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.
4. a Yanıtınız yanlış ise “Faz İlişkileri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.
5. d Yanıtınız yanlış ise “Etkin Değer” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.
6. b Yanıtınız yanlış ise “RLC Seri Devresi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.
7. b Yanıtınız yanlış ise “RLC Seri Devresi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.
8. e Yanıtınız yanlış ise “RLC Seri Devresi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.
9. d Yanıtınız yanlış ise “RLC Seri Devresi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.
10. c Yanıtınız yanlış ise “Alternatif Akımda Güç” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

Sıra Sizde Yanıt Anahtarı

Sıra Sizde 1

Eşitlik 1.1’den yararlanılarak,

$$\omega = 2\pi f = 2\pi 50 = 100\pi \text{ rad/s}$$

bulunur. Bu değer aynı zamanda

$$100\pi \text{ rad/s} = 18000^\circ / \text{s}$$

şeklinde de ifade edilebilir. Eşitlik 1.6 kullanılarak

$$v = V_m \sin \omega t = 180 \sin \left[\left(18000^\circ / \text{s} \right) \left(5 \cdot 10^{-3} \text{ s} \right) \right] \\ = 180 \text{ V}$$

elde edilir. Hesap makinanızı **radyan** moduna getirip aynı işlemi yapmak isteseydiniz yukarıdaki ifadenin,

$$v = 180 \sin \left[(100\pi \text{ rad}) (5 \cdot 10^{-3} \text{ s}) \right] = 180 \text{ V}$$

biçiminde yazılacağına dikkat ediniz.

Sıra Sizde 2

AC akımın dalga biçimi $\phi = 30^\circ$ olmak üzere, Şekil 1.10'daki gibi olmalıdır. Frekansı ise $\omega = 2\pi f$ eşitliği gereğince

$$314 = 2(3,14) f$$

ve $f = 50$ Hz bulunur.

Sıra Sizde 3

Bir periyotluk kosinüs eğrisinin pozitif ve negatif alanları birbirine eşit olduğu için bir periyodun ortalama değeri sıfır olur.

Sıra Sizde 4

a. $V_m = I_m R$ eşitliğinden,

$$100 \text{ V} = I_m (100 \Omega)$$

ve $I_m = 1 \text{ A}$ bulunur. Dirençten geçen akımın etkin değeri,

$$I_{\text{etk}} = 0,707 I_m = 0,707(1 \text{ A}) = 0,707 \text{ A}$$

olarak elde edilir.

b. Dirençten geçen akımın ifadesi Eşitlik 1.22 gereğince,

$$i = I_m \sin \omega t = \sin(100\pi t)$$

olmalıdır.

c. Akımın frekansı $\omega = 2\pi f$ eşitliği kullanılarak

$$100\pi = 2\pi f$$

ve $f = 50$ Hz bulunur.

Sıra Sizde 5

Eşitlik 1.25 kullanılarak indüktörün reaktansı,

$$X_L = \omega L = 2(3,14)(50 \text{ s}^{-1})(400 \cdot 10^{-3} \text{ H}) = 125,6 \Omega$$

bulunur

Sıra Sizde 6

$V_{\text{etk}} = I_{\text{etk}} X_C$ ifadesinden,

$$120 \text{ V} = (0,8 \text{ A}) X_C$$

ve $X_C = 150 \Omega$ elde edilir. Öte yandan,

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C}$$

olduğuna göre

$$f = \frac{1}{2\pi C X_C} = \frac{1}{2(3,14)(1 \cdot 10^{-6} \text{ F})(150 \Omega)}$$
$$= 1061 \text{ Hz}$$

bulunur.

Sıra Sizde 7

a. Devrenin rezonans frekansı,

$$f = \frac{1}{2\pi \sqrt{LC}} = \frac{1}{2(3,14)\sqrt{(200 \cdot 10^{-3} \text{ H})(4 \cdot 10^{-6} \text{ F})}}$$
$$= 178 \text{ Hz}$$

olmalıdır.

b. Rezonans frekansında, $Z = R = 1200 \Omega$ 'dur.

Sıra Sizde 8

Ortalama güç $P_{\text{ort(ac)}} = I_{\text{etk}} V_{\text{etk}} \cos \phi$ eşitliği ile tanımlanır. İfadedeki terimlerden,

$$V_{\text{etk}} = 0,707 V_m = 0,707(50 \text{ V}) = 35,35 \text{ V}$$

bulunur. Frekans $\omega = 2\pi f$ eşitliği gereğince,

$$314 = 2(3,14) f$$

ve $f = 50$ Hz olacaktır. Öte yandan X_L ve X_C değerleri,

$$X_L = 2\pi f L = 2(3,14)(50 \text{ Hz})(0,2 \text{ H}) = 62,8 \Omega$$

ve

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2(3,14)(50 \text{ Hz})(2 \cdot 10^{-6} \text{ F})}$$
$$= 1592,4 \Omega$$

olmalıdır. Devrenin empedansı,

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$
$$= \sqrt{(200 \Omega)^2 + (62,8 \Omega - 1592,4 \Omega)^2}$$
$$= 1542,6 \Omega$$

olarak bulunur. $V_{\text{etk}} = I_{\text{etk}} Z$ ifadesinden

$$35,35 \text{ V} = I_{\text{etk}} (1542,6 \Omega)$$

ve $I_{\text{etk}} = 23 \text{ mA}$ elde edilir. Bu değerler ortalama güç ifadesinde yerine konularak,

$$P_{\text{ort(ac)}} = (23 \cdot 10^{-3} \text{ A})(35,35 \text{ V}) \cos(-82,6)$$
$$= 105 \text{ mW}$$

bulunur.

Yararlanılan Kaynaklar

Arifoğlu, U. (2000). **Alternatif Akım Devreleri** Cilt 2. İstanbul: Alfa Basım Yayım Dağıtım Ltd. Şti.

Boylestad, R. L. (1990). **Introductory Circuit Analysis** (6th ed.) New York: Macmillan Publishing Company.

Dalfes, M. (1993). **Elektroteknik**. (7. Baskı). İstanbul: Seç Yayın Dağıtım.

Diefenderfer, A. J. (1979). **Principles of Electronic Instrumentation** (2. Baskı). Tokyo: W. B. Saunders Japan Ltd.

Edminister, J. & Nahvi, M. (1999). **Electric Circuits**. (Çev. Aydemir, M. T. & Nakipoğlu, K. C.). **Elektrik Devreleri**. (3. Baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti.

Erna, H. (1977). **Pratik Elektrik**. İstanbul: İnkılap Kitabevi.

Fitzgerald, A. E., Higginbotham, D. E. & Grabel, A. (2000). **Fundamental Electric Engineering**. (Çev. Ed. Kıymaç, K.) **Temel Elektrik Mühendisliği** Cilt 1. (3. Baskı). Ankara: Bilim Center.

Orhun, Ö. (Editör). (2007). **Teknolojinin Bilimsel İlkeleri**. (2. Baskı). Ankara: Nobel Yayın Dağıtım Ltd. Şti.

Serway, R. A. (2007). **Physics**. (Çev. Ed: Çolakoğlu, K.). **Fizik 2** (5. Baskı). Ankara: Palme Yayıncılık.

Yağımlı, M. & Akar, F. (2004). **Alternatif Akım Devreleri & Problem Çözümleri**. (4. Baskı). İstanbul: Beta Basım Yayım A.Ş.

2

Amaçlarımız

Bu üniteyi tamamladıktan sonra;

-  İletim ve dağıtım şebekelerini ayırt edebilecek,
-  İletim ve dağıtım şebeklerinin yükümlülükleri sıralabilecek,
-  İletim ve dağıtım şebekelerini sınıflandırabilecek,
-  Enerji nakil hatlarını birbirleriyle karşılaştırabilecek,
-  Şebeke hat sabitelerini hesaplayabilecek

bilgi ve becerilere sahip olabilirsiniz.

Anahtar Kavramlar

- | | |
|--|---|
|  İletim Şebekesi |  Şebeke Hat Sabiteleri |
|  Dağıtım Şebekesi |  Direnç |
|  Enterkonnekte Şebeke |  İndüktans |
|  Enerji Nakil Hattı |  Kapasitans |
|  Güzergah Seçimi |  Krona Olayı |

İçindekiler

- ❖ Giriş
- ❖ İletim ve Dağıtım Şebekeleri
- ❖ Enerji Nakil Hatları
- ❖ Şebeke Hat Sabiteleri

Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Şebekeleri

GİRİŞ

Elektrik enerjisini üreten santraller genellikle tüketim merkezlerinin çok uzağında kurulur. Bir santralde üretilen elektrik enerjisi yüksek gerilimli iletim hatlarıyla yerleşim birimlerinin veya sanayi bölgelerinin yakınına kadar ulaştırılmakta ve ardından buradaki trafo merkezlerinde gerilimleri düşürülerek dağıtılmaktadır. Elektrik enerjisinin üretimi kadar, üretilen enerjinin mümkün olduğunca kayıpsız ve güvenli bir şekilde abonelere ve binlerce kullanıcıya iletimi ve dağıtımı da en önemli süreçlerden biridir. Bu nedenle iletim ve dağıtım sistemlerindeki hat kayıplarını en aza indirilmesi, elektrik enerjisi sistemlerinin verimli şekilde işletilmesi bütün Dünya’da olduğu gibi ülkemizde de gittikçe önem kazanmaktadır.

Genellikle birbirinden uzak mesafelerde olan, elektrik üretim santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki iletim, enterkonnekte sistemlerle sağlanır. Enterkonnekte sistemler, elektrik enerji üretimini, yerleşme birimlerinin tüketim seviyesine getirilmesini sağlayan elektrik güç sistemleridir. Gerilim seviyesi arttığında enerji iletim tesisinde ciddi mali tasarruflar sağlanır: İletim hattı boyunca elektrik enerjisi kaybı gerilim seviyesiyle ters orantılı olup, gerilimin seviyesi arttıkça elektrik enerjisi kayıp gücünde o nispette azalmaktadır. Bununla beraber, gerilim seviyesi arttıkça iletim hattı sayısı azalacağından, üzerine iletim hatlarının tesisi yapılacağı toprak arazilerden de tasarruf elde edilir. Ayrıca ilave hatlar tesis edilmeyeceğinden bu hatlara yapılacak bakım masrafları da olmayacaktır.

Elektrik enerjisi depolanamayan bir enerji türüdür. Bu nedenle üretildiği anda hemen kullanıcıya ulaştırılması gerekir. Santrallerde üretilen elektrik enerjisi, yüksek gerilim, orta gerilim ve alçak gerilim hatlarıyla iletilmekte ve dağıtılmaktadır. Yüksek gerilim hatları genellikle enterkonnekte şebeke ile yerleşim birimleri arasında iletim sağlarken, orta gerilim ve alçak gerilim hatları ise şehir içi elektrik enerjisi dağıtımında kullanılır.

Elektrik enerji iletim ve dağıtım hatlarının tesisinde iletim hattının geçiş yeri, arazinin coğrafik durumu, hattın minimum kayıplarla iletim maliyeti gibi etkenler ele alınmaktadır. Uzun mesafeli elektrik enerjisi iletim hatları açık arazide havai hat olarak, yerleşim birimlerinde ise yer altı elektrik enerjisi iletim hatları olarak tesis edilirler. Yer altı elektrik enerjisi iletim hatları aşırı gerilim darbelerine karşı yüksek seviyede yalıtım malzemesi gerektirdiğinden, havai hatlara oranla pahalı olmasına karşın güvenlik ve estetik görünüm açısından tercih edilebilirler.

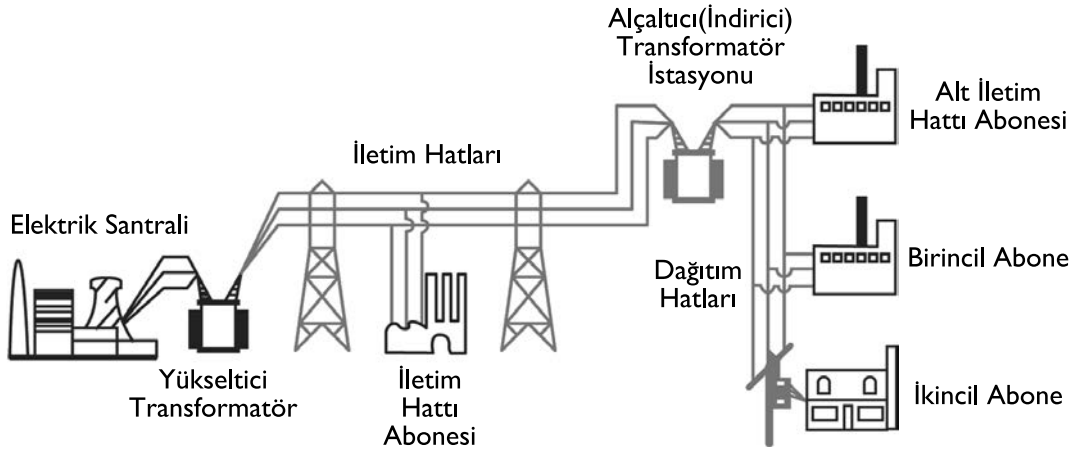
Elektriksel açıdan incelendiğinde enerji iletim hatları, hat parametreleri ve hat uzunluklarıyla ele alınabilir. Elektrik enerjisinin kullanıcılara ulaştırılmasında kullanılan nakil hatlarının omik direnç, indüktif ve kapasitif reaktans gibi hat sabiteleri bulunmaktadır. Elektrik enerji iletim ve dağıtım hatları genel olarak; standartlara uygun olarak tesis edilen, üretilen elektrik enerjisinin uzak mesafelere iletilmesini sağlayan, farklı inşaat yapılarına sahip direkler, iletkenler, topraklama elemanları, hırdavat takımları ve izolatör elemanları gibi iletken ve yalıtkan malzemelerden oluşur.

Bu ünite; iletim ve dağıtım sistemlerinin yapısı ve özellikleri, elektrik santrallerinin enterkonnekte sistemle olan ilişkisi incelenecektir. Ayrıca elektrik enerjisinin abonelere ulaştırılmasında sırasında şebeke yönünden yerine getirilmesi gereken yükümlülükler tartışılacaktır. Elektrik şebekeleri dağıtım şekillerine göre ve kullandıkları gerilimlerine göre sınıflandırılacaktır. Ayrıca iletim hattının güzergâhının belirlenmesinde göz önüne alınması gereken etkenlerden bahsedilecek, hat sabitelerinin hesaplanmasına ilişkin örnekler verilecektir.

İLETİM VE DAĞITIM ŞEBEKELERİ

Elektrik enerjisi üretmek amacıyla kurulan santrallerin çoğu tüketim bölgelerinden uzaktadırlar. Elektrik enerjisinin depolanamayan bir enerji türü olmasından dolayı elektrik enerjisinin üretildiği yerden tüketim bölgelerine hemen iletilmesi gerekir. Santrallerde üretilen elektriğin kullanıcıya iletilmesi trafolar, direkler, enerji iletim hatları, izolatörler, kesiciler, ayırıcılar, bobinler, kondansatörler, parafudurlar ve diğer şalt tesisi elemanları aracılığıyla gerçekleştirilir. Genellikle birbirinden çok uzakta bulunan elektrik santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki bağlantı, iletim şebekelerinin kullanıldığı enterkonnekte sistemle sağlanır.

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin abonelere ulaştırılması için kullanılan en basit bir enerji iletim ve dağıtım sistemi Şekil 2.1’ de görülmektedir. Santrallerde su, rüzgâr, kömür gibi bir kaynağının enerjisi öncelikle mekanik enerjiye dönüştürülür. Bu ham enerjiyi elektrik enerjisine dönüştürmek için ise generatörler(alternatörler) kullanılır. Generatörlerin ürettikleri gerilim güç transformatörleri yardımıyla yükseltildikten sonra iletim şebekesiyle iş ve yerleşim merkezlerinin veya sanayi bölgelerinin yakınındaki dağıtım merkezlerine ulaştırılır. İletim şebekesi, direkler, iletkenler, trafo merkezleri ve benzeri ünitelerden oluşur.



Şekil 2.1: Elektrik enerjisinin abonelere ulaştırılması.

Dağıtım merkezlerine ulaşan yüksek gerilimli elektrik enerjisi burada orta gerilim değerlerine düşürülerek fabrikalara, tramvay gibi kent içi ulaşım sistemlerine, kent içi dağıtım, aydınlatma ve sinyalizasyon şebekesine verilir. Evimizin veya işyerimizin yakınına kadar gelen elektrik enerjisinin gerilimi hala yüksektir. Bu nedenle elektrik enerjisinin gerilimi direklere monte edilen veya özel kabinler içerisine yerleştirilen küçük trafolar yardımıyla 220 V’a düşürülür. Bu trafolarla bağlantı yapılarak evlere ve işyerlerine ulaştırılan elektrik enerjisi aboneler tarafından ısıtıcı cihazlar, lambalar, elektrik motorları vb. kullanılarak ısı enerjisine, ışık enerjisine, mekanik enerjiye veya kimyasal enerjiye dönüştürülerek tüketilir.

İletim ve Dağıtım Şebekelerinin Yükümlülükleri

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması amacıyla kullanılan bütün elektrik tesislerine *elektrik şebekesi* adı verilir. Elektrik enerjisinin tüketim bölgelerine iletilmesini sağlayan şebekelere *iletim şebekesi*, bu bölgelerde dağıtımını sağlayan şebekelere de *dağıtım şebekesi* adı verilir. Elektrik enerjisinin abonelere ulaştırılmasında sırasında şebeke yönünden yerine getirilmesi gereken yükümlülükler şu şekilde sıralanabilir.

- Şebeke elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar kesintisiz bir enerji akışı sağlamalıdır. Özellikle seri imalat yapan fabrikalarda, hastane gibi sağlık kurumlarında, haberleşme ve iletişim sağlayan tesislerde enerji kesintisinin yol açtığı zarar ve kayıplar büyük olacaktır.

- Şebekeler güvenilir, sağlam, basit ve anlaşılır olmalıdır. Bu nedenle çok iyi planlanmalı ve kuruluşları sırasında azami özen gösterilmelidir. Doğanın yıpratıcı etkisine karşı dayanıklı, deprem gibi olası bir afet durumunda ise enerji iletiminin sürekliliğini sağlayacak kadar güvenilir olmalıdır.
- Şebekelerde oluşan arızalardan aboneler etkilenmemelidir. Özellikle yağışlı havalarda hatlara yıldırım düşmesi veya bir nedenle hatlarda kısa devre meydana gelmesi durumunda abonelerin kullandıkları cihazlar bundan etkilenerek arızalanabilir. Bu nedenle enerji iletim hatları çeşitli arızalara karşı korunmalıdır.
- Şebeke optimal maliyetle tesis edilmelidir. Zira bu maliyete bağlı olarak değişecek olan elektrik enerjisinin ucuz olması bu enerjiyi kullanarak imalat yapan veya hizmet sunan abonelerin girdi maliyetlerini azaltır. Bu durum ise ülkemiz fertlerinin satın alma ve sanayicimizin başka ülkelerle rekabet gücünü artırır. Günümüzde artık bir ülkenin gelişmişlik düzeyi kişi başına elektrik enerjisi tüketimi ile ifade edilmektedir.
- Dağıtım şebekesi hattın başındaki, ortasındaki veya sonundaki abonelerin tamamına aynı özellikteki elektrik enerjisi sağlamalıdır. Gerilimin yüksek olması aboneye zarar verebilir. Gerilimin istenen değerden % 10 kadar fazla olmasının abonedeki cihazların ömrünü azalttığı bilinmektedir. Benzer şekilde düşük gerilimden dolayı da elektrikli aygıtların verimlerinde bir azalma görülür. Frekanstaki değişimler asenkron motorların devir sayılarını değiştirir ve istenmeyen olaylara neden olur. Frekansın sabit olması ise generatör devrinin sabit tutulması ile gerçekleştirilir. Bunun için şebekelerde gerilimi ve frekansı sabit tutmaya yarayan çeşitli üniteler bulundurulur.

Dağıtım Şekillerine Göre Elektrik Şebekelerinin Sınıflandırılması

Üretilen enerjiyi abonelere ulaştıran şebekeleri dağıtım şekillerine ve taşıdıkları gerilimlere göre farklı şekilde sınıflandırmak mümkündür. Yerleşim ve sanayi bölgelerindeki cadde, sokak ve yol vb. döşenen elektrik hatlarının birbirine etkilenmesiyle kollar, kolların birbirine eklenmesiyle de dağıtım şebekesi meydana gelir. Teknik yönden daha önce tartıştığımız yükümlülüklerinin yerine getirilebilmesi için şebekeler dağıtım şekillerine göre genel olarak,

- Açık şebekeler,
- Kapalı şebekeler,

olmak üzere iki ana grupta tesis edilirler. Bu iki ana grubun içerisinde toplamda dört şebeke sistemi ile elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımı gerçekleştirilir. Bunlar,

1. Dallı şebeke
2. Halka(Ring) şebeke
3. Ağ gözlü şebeke,
4. Enterkonnekte şebeke,

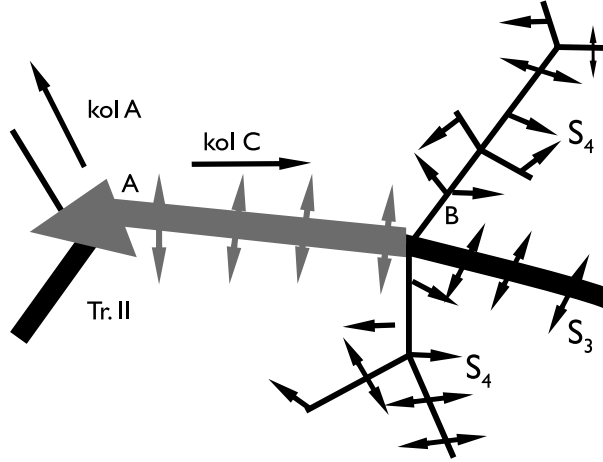
şeklinde sıralabilir.

Açık Şebekeler

Açık şebekelere dallı(dalbudak) veya radyal şebekeler de denir. Çok kullanılan bir şebeke türüdür: Şehir, kasaba, köy gibi yerleşim birimlerinde veya sanayi bölgelerinde enerji beslemesi çoğunlukla tek bir kaynaktan yapılır. Bu yolla oluşturulan şebekenin şekli bir ağacın dallarına benzediği için bu tür şebekeye *dallı şebeke* denir. Şekil 2.2’de açık şebeke şeması görülmektedir.

Açık şebekedeki dağıtım transformatörüne yakın olan kalın kesitli hatlara *ana hat* adı verilirken transformatörden uzaklaştıkça incelen hatlara da *branşman hatları* denir. Şekil 2.2’deki kalın çizgiler ana hatları, ince çizgiler ise branşman hatlarını göstermektedir.

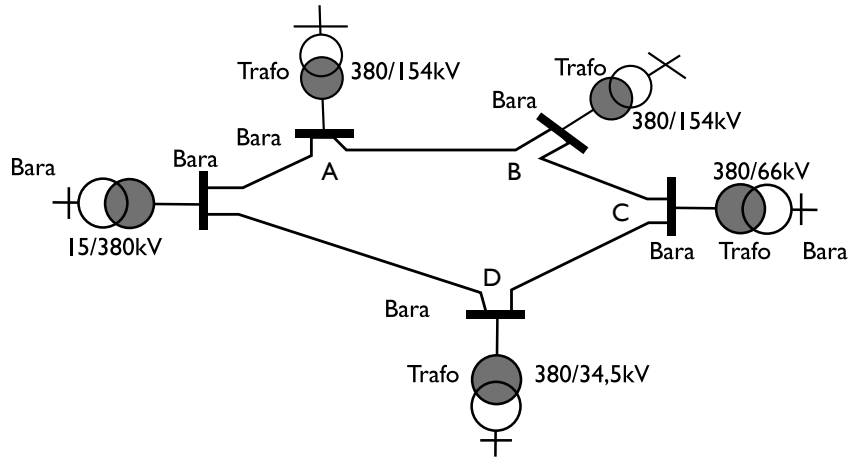
Açık şebekelerin tesis bedelleri düşüktür. Bakımları, işletilmeleri ve şebekedeki olası arızaların tespitinin de kolay olmasından dolayı tercih edilirler. Şebekedeki abonelerin sayısının artması nedeniyle hatların akımı taşıyamaması durumunda sadece akımı fazla olan ilgili hattın değiştirilmesi yeterlidir. Diğer taraftan bu şebekelerde emniyet azdır. Arıza durumunda çok sayıda abone elektriksiz kalabilir. Ayrıca dağıtım hatlarında gerilim eşitliği olmayıp transformatörden uzaklaştıkça gerilim azalır.



Şekil 2.2: Açık şebeke.

Kapalı Şebekeler

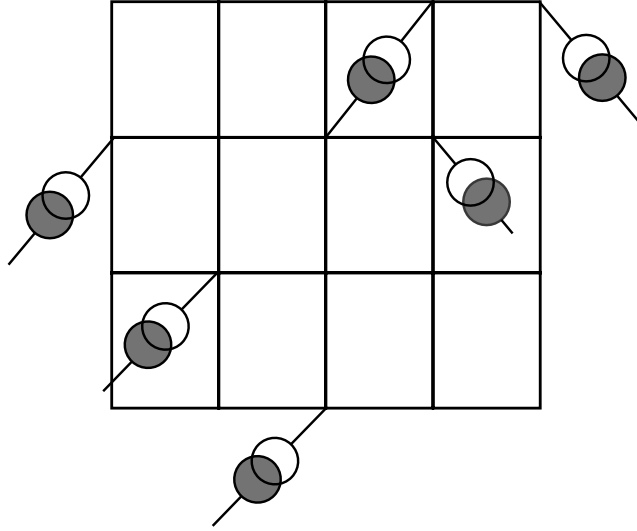
Kapalı şebekeler ise ring(halka) şebeke ve ağ(gözlü) şebeke olmak üzere iki grupta tesis edilirler. Bir noktadan çıkan iki enerji nakil hattının bir başka noktada yeniden birleşmesinden oluşan şebekeye *ring(halka) tipi şebeke* denir. Ring şebekelerde sistemin enerji beslemesi birden fazla transformatörün birbirine paralel şekilde bağlanması yoluyla yapılır. Şekil 2.3'te görüldüğü gibi bu yolla kapalı bir sistem oluşturulur. Bu tür şebekelerde ring içerisinde bir arıza olması halinde, sadece arızalı olan kısım devre dışı kalır ve dallı şebekelere göre daha güvenlidir. Şebekenin kesiti her yerde aynıdır.



Şekil 2.3: Ring (Halka) şebeke.

Öte yandan bu tür şebeke oluşturulurken çok fazla sayıda iletken tel kullanıldığı için maliyeti yüksektir. Şebekedeki abonelerin sayısının artması nedeniyle hatların akımı taşıyamaması durumunda dallı şebekelerin aksine tüm hatların değiştirilmesi gerekir. Bu işlem ise şebekenin yenilenmesi anlamına geldiğinden oldukça maliyetlidir.

Ağ (Gözlü) şebekelerde besleme bir veya birden fazla yerden yapılabilir. Şekil 2.4'te görülen bu şebeke tipinde aboneleri besleyen hatların bir ağ gibi oluşturulmasından dolayı çok sayıda göz elde edilir. Olası bir arıza durumunda arızalı kısım sigortalar ve özel koruma elemanları ile devre dışı bırakılabilir. Böylece diğer abonelerin enerjileri kesilmez. Gerilim düşüşü çok azdır. Sisteme güçlü alıcılar bağlanabilir. Öte yandan kuruluşları, işletimleri, bakımları zordur. Şebekedeki olası bir kısa devrenin etkisi büyük olur.



Şekil 2.4: Ağ (Gözlü) şebeke.

Kesintisiz ve ekonomik elektrik enerjisi sağlanması açısından bu şebeke çeşitlerine ilaveten iki ya da daha fazla şebeke arasında, bölgeler veya ülkeler arasındaki elektrik şebekeleri arasında bağlantı yapma olanağı sağlayan şebekelere de ihtiyaç duyulmaktadır.

Enterkonnekte Şebeke

Genellikle birbirinden uzak mesafelerde olan, elektrik üretim santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki iletim, enterkonnekte şebekelerle sağlanır. Üretim santrallerin bir iletim tesisine, buradan da diğer tesislere bağlanarak beraber çalışmalarına *enterkonnekte çalışma*, bu şebekeye de *enterkonnekte şebeke* denir. Diğer bir ifadeyle, bir bölgenin veya bir ülkenin elektrik enerjisi talebini kesintisiz bir şekilde karşılamak üzere o ülkenin bütün elektrik santralleri, trafo merkezleri ve tüketicileri arasında kurulmuş olan sisteme *enterkonnekte sistem* adı verilir. Enterkonnekte sistemde bir arıza meydana geldiğinde sadece arızalı bölüm devre dışı bırakılarak enerji alış-verişinin sürekliliği sağlanır.



Enterkonnekte şebekeye ulusal elektrik şebekesi de denir.

Genel olarak elektrik enerjisi depolanamayan bir enerji türüdür. Bu nedenle üretildiği anda hemen kullanıcıya ulaştırılması gerekir. Bu ise üretim ve tüketimin her an dengede tutulması anlamına gelir. Diğer yandan tüketim miktarı bölgelere, mevsimlere ve hatta günün saatlerine göre büyük değişiklikler gösterebilir. Enterkonnekte sistemler, tüketimdeki değişimlere karşın üretimi uyarlamayı sağlar. Böylece santraller daha ekonomik bir şekilde çalıştırılabilir. Örneğin, tüketimin maksimum olduğu saatlerde santraller yüksek kapasite ile çalıştırılırken tüketimin nispeten daha düşük olduğu saatlerde üretim kapasitesi düşürülebilir veya bazı santraller devre dışı bırakılabilir. Benzer şekilde yağışın bol olduğu yıllarda hidroelektrik(HES) santraller daha çok çalıştırılarak ithal kaynak kullanan doğalgaz çevrim santrallerinin daha düşük kapasite ile sistemi beslemesi sağlanabilir. Bu nedenle enterkonnekte sistem elektrik enerjisinin üretim kaynağından da ekonomi sağlamaya yardımcı olur.

Enterkonnekte sisteminin diğer avantajları arasında verimlerinin yüksek olması, santrallerin kuruluş ve işletme maliyetleri azaltması, ihtiyaç duyulan yedek generator gücünü minimum seviyeye indirmesi sayılabilir. Enterkonnekte sistemin avantajları yanında bazı dezavantajları da mevcuttur. Bunlar; sistemin kısa devre akımının oldukça yüksek olması, kısa devre arızasından çok sayıda abonenin etkilenmesi, sistemin kararlılığını sağlamanın oldukça zor olması şeklinde sıralanabilir.

Her ülkenin bir enterkonnekte şebekesi vardır. Enterkonnekte sisteme ülkedeki bütün santraller bağlanabilir. Diğer bir ifade ile sistemde hidroelektrik, termik, nükleer vb. gibi birbirinden çok farklı santral tipinin olması önemli değildir. Aynı zamanda bu santrallerin üretim kapasitesi bakımından büyük veya küçük ölçekli olması da bir engel teşkil etmez. Ülkemizdeki enterkonnekte içerisinde TEDAŞ'a, ayrıcalıklı şirketlere, üretim şirketlerine ve otoprodüktörlere ait tam kapasiteyle çalışan çok sayıda elektrik santrali vardır. Bütün bu santraller enterkonnekte şebeke kapsamında birbirlerine paralel bağlıdır. Ülkemizi doğudan batıya, kuzeyden güneye kat eden yüzlerce kilometre uzunluğundaki enerji nakil hatları ile bu santraller ve yerleşim birimleri arasında bir ağ şeklinde şebeke oluşturulmuştur.

Enterkonnekte şebekelere aynı zamanda bazı komşu ülkelerin sistemleri ile bağlantı yapılabilir. Türkiye'deki enterkonnekte sistem; Bulgaristan, Rusya, Irak, Suriye ve Gürcistan'nın elektrik şebekelerine de bağlıdır. Bu bağlantılardan komşu ülkelerle elektrik enerjisi alışverişi yapılabilmektedir.

Gerilimlerine Göre Elektrik Şebekelerinin Sınıflandırılması

İletim ve dağıtım şebekeleri, dağıtım şekilleri yanında kullandıkları gerilim bakımından da sınıflandırılabilir. Bunlar:

- Alçak gerilimli şebekeler (AG şebekeleri)
- Orta gerilimli şebekeler (OG şebekeleri)
- Yüksek gerilimli şebekeler (YG şebekeleri),
- Çok yüksek gerilimli şebekeler (ÇYG şebekeleri)

şeklinde sıralanabilir.

Alçak gerilimler genel olarak 1 kV 'a kadar olan gerilimlerdir. Orta gerilimler, 1 ila 35 kV arası gerilimler olup, yüksek gerilimler 35 kV 'dan 154 kV 'a kadar olan gerilimler olarak değerlendirilir. Çok yüksek gerilimler ise 154 kV 'tan daha büyük gerilimlerdir. Çok yüksek gerilim şebekeleri şehirler ve santraller arası bağlantı için kullanılır. Örneğin, ülkemizde Atatürk Barajı'ndan İstanbul'a elektrik enerjisi taşıyan çok yüksek gerilimli bir şebeke tesis edilmiştir.

Yüksek gerilim şebekeleri elektrik enerjisi iletiminde kullanılır. Daha önce de belirtildiği gibi uzak mesafelere elektrik enerjisi iletiminde yüksek gerilim kullanıldığında güç kaybı daha az olmaktadır. Orta gerilim şebekeleri daha çok küçük şehirler, endüstri bölgeleri ve benzeri yerlere enerji taşınması veya büyük şehirlerde dağıtım transformatörlerine enerji taşınması için düzenlenir. Orta gerilim şebekeleri, yüksek ve çok yüksek gerilim şebekeleri ile alçak gerilim şebekeleri arasında bir köprü görevi yaparlar. Alçak gerilim şebekeleri ise dağıtım trafolarından abonelere ulaşan hatlar olarak tanımlanabilir.



Türkiye'de 154 kV ve 380 kV' luk yüksek gerilim değerleri tercih edilmektedir. Daha önceleri kullanılan 66 kV' luk sistemden vazgeçilmiştir. Halen kullanılanların dışında yeniden 66 kV' luk sistem tesis edilmemektedir. Ülkemizdeki orta gerilim şebekelerinde 34,5 kV' luk, alçak gerilim şebekelerinde ise 220 V ve 380 V' luk gerilimler kullanılmaktadır.

Santrallerde elektrik enerjisi üretmek için kullanılan generatörlerin gerilimleri çok yüksek değildir. Generatör çıkışı olarak 10 kV , 14,4 kV ve 15,8 kV gibi gerilimler kullanılmaktadır. Bu gerilimler ile 20 ila 30 km 'den uzun hatlarda ekonomik bir şekilde enerji iletimi yapılamaz. Bu nedenle daha uzaklara enerji taşımak için üretilen gerilim, transformatörler yardımı ile yüksek gerilime çıkartılır ve enerji yüksek gerilimlerle iletilir. Böylece hatlarda ısı şeklinde kaybolan enerji azalacağı için iletim sisteminin verimi yükselir. İletim şebekelerinde yüksek gerilimin kullanılmasının gerekliliğini aşağıdaki örnek incelenerek kolaylıkla anlaşılabılır.

Örnek:

100 kW 'lık bir güç, 10 km uzağa taşınacaktır. Bu işlem için kullanılacak olan iletim hattının direnci 2Ω 'dur. İletim hatlarında 1 kV , 5 kV ve 10 kV ' luk iletim gerilim değerlerinin kullanılması durumunda hatlardaki güç kayıpları ne olur?

Çözüm:

Güç için $P = IV = I^2 R$ eşitliği kullanılabilir. $100 \text{ kW} = 100000 \text{ W}$ olduğuna göre $1 \text{ kV} = 1000 \text{ V}$ gerilim değeri kullanılarak elektrik enerjisi taşınması durumunda akım,

$$I_1 = \frac{P}{V_1} = \frac{100000 \text{ W}}{1000 \text{ V}} = 100 \text{ A}$$

bulunur. Güç kaybı ise,

$$P_k = I_1^2 R = (100 \text{ A})^2 (2 \Omega) = 20 \text{ kW}$$

olacaktır. Benzer şekilde $5 \text{ kV} = 5000 \text{ V}$ 'luk taşıma gerilimi değerinde akım ve güç kaybı;

$$I_2 = \frac{P}{V_2} = \frac{100000 \text{ W}}{5000 \text{ V}} = 20 \text{ A}$$

ve

$$P_k = I_2^2 R = (20 \text{ A})^2 (2 \Omega) = 0,8 \text{ kW}$$

bulunur. Son olarak $10 \text{ kV} = 10000 \text{ V}$ ile elektrik enerjisi taşınması durumunda ise akım,

$$I_3 = \frac{P}{V_3} = \frac{100000 \text{ W}}{10000 \text{ V}} = 10 \text{ A}$$

ve güç kaybı,

$$P_k = I_3^2 R = (10 \text{ A})^2 (2 \Omega) = 0,2 \text{ kW}$$

olacaktır.

Görüldüğü gibi enerjinin 1 kV ile taşınması durumunda hatlarda ısı şeklinde kaybolan enerji oldukça fazladır. Bu bakımdan enerjinin 1 kV ile taşınması ekonomik değildir. Enerjinin 5 kV ile taşınmasında hatlardaki güç kaybı 0,8 kW iken 10 kV ile taşınmasında ise 0,2 kW 'tır. Görüldüğü gibi taşıma gerilimi ne kadar yüksek olursa hatlardaki güç kaybı da o kadar az olmaktadır. Aynı zamanda taşıma geriliminin 2 kat artması, hatlardaki güç kaybını 4 kat azaltmaktadır. Hat kayıplarının en küçük değerde tutulması için taşıma geriliminin yüksek olması gerekir.



100 kW' lık bir güç 20 km öteye taşınacaktır. Enerji taşıma hattının direnci 5Ω 'dur. Yükün güç katsayısı 1 olduğuna göre hattaki güç kaybının 2 kW olması için hattın taşıma gerilimi ne olmalıdır?

ENERJİ NAKİL HATLARI

Elektrik enerjisinin üretildiği yer ile tüketildiği yer arasını birleştiren ve elektrik enerjisini üretildiği yerden tüketildiği yere taşımaya yarayan hatta *enerji nakil hattı* denir. Enerji nakil hatları taşınacak enerjinin miktarına, tüketim merkez ile üretim merkezi arasındaki uzaklığa bağlı olarak değişik gerilim seviyelerinde değişik tel cins ve kesitleriyle taşınırlar.

Elektrik enerjisinin üretildiği yerden abonelere ulaştırılmasında kullanılan iletim ve dağıtım şebekeleri hava hattı veya yeraltı hattı şeklinde düzenlenirler. Açık arazideki uzun mesafeli elektrik enerjisi iletim hatları havai hat olarak, yerleşim birimlerinde ise tercihen yeraltı hatları olarak tesis edilirler. Ancak yer altı kablolarının çok pahalı olması, olası arızanın yerinin bulunmasındaki zorluklar ve onarım güçlükleri nedeniyle hava hatları daha çok kullanılır. Bununla birlikte hem daha güvenli enerji iletiminin sağlanması hem de hava hatlarının görüntüsünün şehrin estetiğini bozmaması için şehir merkezlerinde bazen yer altı enerji hatları da tercih edilir.

Havai Enerji Hatları

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin en ekonomik metotlarla tüketicilere ulaştırılması gerekir. Bunu sağlamada en yaygın yöntem havai hatla iletimdir. Bir havai enerji hattı, akımın iletilmesini sağlayan kablo (Genelde bakır veya alüminyum iletken), kabloyu taşıyan direkler, taşıyıcı direklerle iletken arasındaki hem bağlantıyı sağlayan hem de güvenlik için kullanılan yalıtkan izolatörden oluşur. Havai hat ile iletim, yer altı kabloları ile iletme göre ekonomik açıdan avantajlıdır. Bununla birlikte rüzgâr, yağmur, şimşek, yıldırım gibi doğa olaylarının havai hatla iletme olumsuz etkileri vardır. Hava hatlarının yer altı hatlarına göre bazı avantajları ve dezavantajları mevcuttur. Havai enerji hatlarının avantajları şu şekilde sıralanabilir:

- Havai enerji hatları yer altı hatlarına göre daha az maliyetle kurulur.
- Havai enerji hatlarının arızalarının tespiti yer altı hatlarına göre daha kolaydır.
- Havai enerji hatlarının bakımları ve arızalı bölümlerinin değiştirilmesi yer altı hatlarına göre daha kolaydır.
- Havai enerji hatlarının akarsulardan, köprü ve yollardan geçişleri yeraltı hatlarına göre daha kolaydır.
- Havai enerji hatları yer altı hatlarına göre daha kısa zamanda tamamlanırlar.
- Ulaşımın güç olduğu dağ, orman ve uçurum gibi engebeli arazilerde enerji iletimi havai hatlarla daha kolaydır.
- Hava hattının güzergâhının altını tarım, hayvancılık vb. gibi yöntemlerle değerlendirmek mümkündür.

Bunların yanında havai enerji hatları,

- Çevre şartlarından kolayca etkilenirler.
- Meydana gelen arızaların tamiri hava şartlarının imkân vermesine bağlıdır.
- Ömürleri uzun değildir.
- Görsel kirliliğe neden olabilirler.
- Taşıdıkları yüksek gerilimler nedeniyle çevrelerinde elektromanyetik alanlar yaratarak tv, radyo yayınlarını vb. olumsuz yönde etkileyebilir.
- Orman geçişlerinde yangına neden olabilirler.
- Alçaktan uçan hava taşıtları için tehlike yaratırlar.

Yer Altı Enerji Hatları

Boğaz geçişleri gibi elektrik enerjisinin hava hatları ile iletimi ve dağıtımı mümkün olmayan yerlerde yer altından iletim ve dağıtım yapılması gerekir. Şehir içlerinde hava hattının kullanımı mümkün olmayan yerlerde ve boğaz geçişlerinde enerjinin su altından, yer altı kablosu ile iletilmesi gerekir. Resim 2.1'de bir yer altı enerji hattının çekilmesine ilişkin çalışmalar verilmiştir.

Yer altı enerji hatlarının üstünlükleri aşağıdaki gibi özetlenebilir:

- Yer altı enerji kabloları ile yapılan tesisler, direk ve diğer malzemelere ihtiyaç göstermez.
- Cadde ve meydanların görüntü estetiği bozulmaz.
- Atmosferik olaylardan (yıldırım, kar, fırtına vb.) etkilenmez.
- Havai hatlardaki gibi bakım ihtiyaçları yoktur.
- Yerleşim bölgelerinde, havai hat tesislerine göre daha güvenlidir.
- Enerji hattında kullanılan yer altı kablolarının cadde, meydan ve parkların özelliklerine göre düz veya kavis yaptırılarak döşenebilir.

Öte yandan yer altı enerji hatları birtakım dezavantajlara sahiptir. Yer altı enerji hatlarının,

- Havai hatlara göre kuruluş maliyeti yüksektir.
- Arıza tespiti zordur.
- Arızalarının onarımı zordur.



Resim 2.1: Yer altı enerji hattının çekilmesine ilişkin çalışmalar.

Elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımında kullanılan malzeme ve donanımlar yüksek maliyetli olduğundan bir elektrik hattı tesis edilirken güzergâh planlamasının çok dikkatli bir şekilde yapılması gerekir.

Enerji İletim Hatlarında Güzergâh Seçimi

Elektrik enerjisi iletim hatları tesis edilecek yerin önce ölçekli planı ya da haritası alınarak araziye ait her türlü bilgiler (arazinin bataklık, kumluk, kayalık, kil veya kalkerli olan yerleri, arazi üzerindeki nehir, göl, orman, yol, köprü, tünel ve varsa başka arazi engelleri, binalar) plan veya haritaya işlenir. İletim hattı ne kadar uzun olursa hatlarda kullanılacak malzeme ve donanımlar da aynı oranda yüksek olacaktır. Bu durumda hem hattın maliyeti hem de arıza ihtimali artar. Bu sakıncalardan kaçınmak için enerji iletim hattı geçiş yolunun mümkün olduğunca en kısa yoldan düz hat şeklinde döşenmesi istenir. Yer altı kabloları havai hat iletkenlerine göre daha pahalı olduğundan bu husus, eğer enerji iletimi yer altı hatları ile yapılacaksa daha çok önem kazanır.



Enerji nakil hatlarının döşenmesinde maliyet, iletim hattının güzergâhı, coğrafik durum, arazi durumu ve hattın güvenlik konumu gibi hususlar dikkate alınır.

Günümüzde enerji nakil hatları açık arazilerde havai hat, yerleşim yerlerinde ise yer altı hatları olarak tesis edilmektedir. Enerji iletim hattının güzergâh belirlenmesi sırasında öncelikle bu hattın başlangıç ve bitiş noktaları belirlenir. Sonraki adımda ise bu hattın güzergâh tespitine geçilir. Güzergâh 1/25000’lik haritalarda bazı özellikler dikkate alınarak hazırlanır. Bu özellikler aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Enerji iletim hattı maliyet hesabı dikkate alınarak mümkün olduğunca kısa tutulmalıdır.
2. Enerji iletim tesisi bakımının ve işletmenin kolaylığının sağlanabilmesi için iletim hatları yollara yakın, yol yoksa ulaşımı rahat olan yerlere yapılmalıdır.
3. Enerji iletim hattı nehir, vadi, sel yatağı, çeltik tarlası, bataklık, heyelan, çığ ve kaya döküntüleri bulunduran yerlerden geçmemeli, etüt çalışmaları sırasında belirlenen böyle zeminler plan-profil üzerinde belirtilmelidir.
4. Enerji iletim hattı yerleşim bölgelerinden, yerleşim bölgesi olmasa da imar planına dâhil olan alanlardan, değerli ağaçlar bulunduran bölgelerden ve askeri birliklerin bulunduğu yerlerden geçmemelidir. Çok zorunlu kalındığı durumlarda parsel ve yol kenarından geçilebilir.
5. Enerji iletim hatlarında dik doğrultuda yükselme özelliği gösteren zeminlerden kaçınılmalı, bu gibi yerlerde hattın uzaması da kabul edilerek bu yükselmenin engellenmesi gerekir.
6. Enerji iletim hattı demir yolu, kara yolu, su kanalı, enerji ve haberleşme hatları, nehir, dere ve vadiler üzerinden sıklıkla geçmemeli, geçmesi gereken durumlarda dik kesme imkânları araştırılmadık. Demir yolları kesme açısı 72^0 ’den küçük olmamakla beraber, zorunlu hâllerde kısa devre akımına göre incelenerek daha küçük bir açı ile kesişmesi sağlanabilir. Bu kesişmelerde kleransı sağlanabilmesi için kısa mesafelerde direk kullanılmalıdır.
7. Enerji iletim hattı kara ve demir yolu istismak sınırlarından en az 20 m mesafede olmak üzere en yakın direğin boyu 12 m toleransla geçilmelidir.
8. Enerji iletim hattının gaz ve petrol boru hattıyla yan yana veya paralel geçişlerinde en yakın iletken iz düşümü ile boru eksenı arasında veya bu hatların kesişmesi durumunda boru hattının direk ayaklarına en az 30 m uzaklık olmalıdır.
9. Enerji iletim hatları hava alanı, radar ve telsiz istasyonlarının özelliklerine göre bu tesisleri etkilemeyecek uzaklıktan geçmelidir. Bu mesafeler hava alanları çevresinde 10 km yarıçapında daire şeklinde olmalıdır.
10. Enerji iletim hatları kanallarından geçerken iletken tel yüksekliği 13,5 m olmalıdır.
11. Enerji iletim hatlarında küçük hat büyük hattın üstünden geçmemelidir.
12. Enerji iletim hatları demir yollarından geçerken durdurucu direkler kullanılarak geçiş sağlanmalıdır.
13. Enerji iletim hatları otoyol kenarlarından geçerken +2 m emniyet mesafesi konulmalıdır.
14. Enerji iletim hatlarında direk ara mesafesi bir önceki mesafenin 2,5 katını geçmemekle birlikte uzun mesafeli direklerin önünde durdurucu direk kullanılmalıdır.
15. Enerji iletim hattı güzergâhı belirlenirken civarda yapılmış ve yapılması planlanan her türlü tesis için kara yolları, DSİ, ziraat teknisyenliği, orman idaresi, il imar müdürlüğü ve belediyelerle bağlantı kurulara hattın geçişi için gerekli bilgi ve izinler alınmalıdır. Bu kuruluşların güzergâh üzerinde bulunan tüm projeleri profile işlenmelidir.
16. Enerji iletim hatları kısa devre etkisi yapmasını önlemek maksadıyla patlayıcı madde depoları ve çimento fabrikalarının kül etki alanlarının geçmemelidir.
17. Enerji iletim hatları ile telefon hatlarının kesişme açıları zorunlu olmadığı hallerde 60 dereceden küçük olmamalıdır.
18. Enerji iletim hatları sit alanlarından geçmek zorunda kalırsa ilgili kurumlara başvuruda bulunarak gerekli izinler alınmalıdır.

Enerji iletim hattı güzergâhı üzerinde bulunan kırık noktalara *some noktası* denir ve güzergâh üzerinde bir açı oluştururlar. Bu açılar, *güzergâh kırış açısı* olarak adlandırılır. Bu açılar enerji iletim hattının rüzgâr yükü ile doğrudan ilgilidir. S1, S2 gibi harflerle temsil edilen some noktaları, hat boyunca mümkün olabildiğince az olmalıdır. Bununla birlikte zorunlu hâller dışında some açısının fazla keskin olmamasına dikkat edilmelidir.

Havai Enerji İletim Hatlarının Tesisi

Bir havai enerji nakil hattının tesisine karar verilmişse öncelikle tesis edilecek noktalar arasını(A-B) kapsayacak 1/25000 ölçekli haritalar temin edilir. Yukarıda belirtilen hususlar dikkate alınarak A noktasından B noktasına tesis edilecek bir enerji nakil hattının güzergâhı belirlenir. Kelime anlamı sabit, değişmeyen olan some noktaları 1/25000 ölçekli haritalar üzerinde belirlenir. A ile B noktası bu some noktalarından geçilerek birleştirilir.

Bu işlemler tamamlandıktan sonra harita üzerinde saptanan some noktalarının arazideki yerlerinin uygun olup olmadığı belirlenir, değilse değiştirilir. Some noktalarının arazide saptanmasından sonra bu noktalar arasındaki arazinin profili çıkartılır. Güzergâh üzerine direklerin hangi noktalara geleceği işlenir. Güzergâh koşullarına uygun direkler seçilir ve yerleri işaretlenir. Daha sonra araziye çıkarak direk yerlerinin arazideki yerleri saptanır. Arazinin eğim durumuna göre direğin ayak durumu tespit edilir. Bu işlem tamamlandıktan sonra direklerin her türlü özelliği belirlenmiş olur ve böylece proje çalışması tamamlanır.



Resim 2.2: Yüksek gerilim havai enerji hattında iletken çekilmesine ilişkin çalışmalar.

Projesi tamamlanan enerji nakil hattının yapım safhasına geçilir. Daha önce saptanan direk tiplerine göre direkler temin edilir. Yeniden araziye çıkılarak direk ayaklarının geleceği yerler işaretlenir. Bu işlem yapılırken hattın doğrultusu ve hatta dik gelecek doğrultu (konsolların geleceği doğrultu) kazıklar çıkılarak araziye işaretlenir. Bu işlemlerden sonra direğin hafriyatı yapılarak montaj çalışmalarına geçilir. Enerji nakil hattının tüm direklerinin uygun şekilde montajı tamamlandıktan sonra iletken tel çekme işlemine geçilir. Resim 2.2’de iletken çekimine ilişkin çalışmalar görülmektedir.

ŞEBEKE HAT SABİTELERİ

Enerji iletim ve dağıtım hatlarında akım, gerilim, güç ve güç katsayıları gibi büyüklüklerin durumlarına göre değişen hattın direnç, indüktans ve kapasitans gibi değerlerine *hat sabiteleri* denir. Enerji iletim hatlarının çalışma gerilimlerinin büyüklüğüne göre hat sabitelerinden bazıları çok küçük değerlere düşer. Bu bakımdan bazıları dikkate alınmayabilir. Örneğin, alçak gerilim tesislerinde indüktans, yüksek gerilim tesislerinde ise direnç değerleri çok küçüktür ve ihmal edilebilir.

Enerji İletim Hatlarında Direnç

Direnç, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım hatlarında gerilim düşüşüne ve güç kaybına neden olan bir hat sabitesidir. Bu nedenle direncin önemi fazladır. Bir iletkenin doğru akım direnci;

$$R = \frac{L}{K S} \quad (2.1)$$

ifadesi ile tanımlanır. Burada, L iletkenin boyu, K iletkenlik ve S ise iletkenin kesit alanıdır. İletkenlik K iletkenin yapıldığı malzemenin cinsine bağlı olup her iletken için farklı bir değere sahiptir. İşlemlerde kolaylık açısından Eşitlik 2.1'de iletkenin uzunluğu metre(m), kesit alanı milimetrekare(mm²) alınırsa iletkenlik K 'nın birimi m/(Ω.mm²) olur. Örneğin, bakır için iletkenlik $K_{Cu} = 56 \text{ m}/(\Omega.\text{mm}^2)$, alüminyum için ise $K_{Al} = 35 \text{ m}/(\Omega.\text{mm}^2)$ 'tir. İletkenlik K ile öz direnç ρ arasında,

$$K = \frac{1}{\rho} \quad (2.2)$$

ile tanımlanan bir ilişkisi mevcuttur. Diğer bir ifadeyle biri diğerinin tersidir. Bu takdirde (8.9) eşitliğini,

$$R = \rho \frac{L}{S} \quad (2.3)$$

biçiminde de yazmak mümkündür.



Eğer 2.2 eşitliğinde iletkenin boyu L metre(m), kesit alanı S metrekare(m²) alınırsa iletkenliğin(K) tersi olan öz direncin(ρ) biriminin de $\Omega.\text{m}$ olacağına dikkat ediniz.

Hava hatlarında çelik alüminyum (St-Al) iletkenler kullanılmışsa, ortada bulunan çelik tellerin kesitleri ihmal edilir. Direnç hesabında sadece alüminyum kesit hesaplanır. Hava hattı iletkenlerinin damarları birbirleri üzerine spiral şeklinde sarılmış olduğundan iletkenin direnci %2 oranında artar. Direncin değeri sıcaklığa bağlı olarak da değişir.

Her maddenin direncinin sıcaklıkla değişim miktarı farklıdır. Örneğin metallerde sıcaklık arttıkça dirençleri de artar. Metal bir telin direnci 100 °C'ye kadar olan bir sıcaklık aralığında,

$$R = R_0 [1 + \alpha(T - T_0)] \quad (2.4)$$

eşitliğine göre değişir. Burada R_0 , referans olarak alınan T_0 sıcaklığındaki dirençtir. T_0 sıcaklığı genellikle 0 °C veya 20 °C alınır. Benzer şekilde R ise T sıcaklığındaki direnci temsil eder. Burada kullanılan sıcaklık birimlerinin °C cinsinden ifade edildiğine dikkat ediniz. Eşitlik 2.4' deki α niceliğine ise direncin sıcaklıkla değişim katsayısı denir ve 1/°C birimi ile ifade edilir. Değişik sıcaklıklar için iletkenlerin α katsayı değerleri Tablo 2.1'de verilmiştir.

Tablo 2.1: Bazı iletkenlerin α katsayılarının sıcaklıkla değişimi

İletken Malzemenin Cinsi	α_0	α_{20}	α_{25}	α_{50}	α_{75}	α_{80}	α_{100}
%100 Geçirgenliğe Sahip Bakır	0,00427	0,00393	0,00385	0,00352	0,00325	0,00318	0,00299
%97,5 Geçirgenliğe Sahip Bakır	0,00415	0,00383	0,00376	0,00344	0,00316	0,00312	0,002930
%61 Geçirgenliğe Sahip Alüminyum	0,00438	0,00403	0,00395	0,00360	0,00330	0,00325	0,00305

İletkenlerin doğru akımdaki dirençleri ile alternatif akımdaki etkin dirençleri farklıdır. Alternatif akımdaki etkin direnç, (2.1) eşitliği ile tanımlanan doğru akım direncinden daha büyüktür. Bu sebeple hat iletkenlerinin etkin direncinin hesap edilebilmesi için doğru akımdaki direncinin bilinmesi gerekir. Santrallerde üretilen elektriğin alternatif akımla iletiltiğini ve dağıtıldığını daha önce belirtmiştik. Enerji hatlarının alternatif akımdaki etkin direnci R ile gösterilirse bu değer,

$$R = \frac{P}{I^2} \quad (2.5)$$

eşitliğinden bulunabilir. Burada P iletkendeki güç kaybını ve I ise iletkeni geçen akımı ifade etmektedir.

Örnek:

7 km uzunluğunda 20 mm² kesitli bakır tel kullanılarak oluşturulan bir hava hattının direnci kaç Ω 'dur? (Bakır tel için $K_{Cu} = 56 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ alınız.)

Çözüm:

Eşitlik 2.1'den yararlanarak 7 km = 7000 m uzunluğunda 20 mm² kesit alanlı bakır telin direnci,

$$R = \frac{L}{K S} = \frac{7000 \text{ m}}{(56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2)(20 \text{ mm}^2)} = 6,25 \Omega$$

bulunur.



Yukarıda verilen örnekteki havai hatta alüminyum tel kullanılsaydı hattın direnci kaç Ω olurdu?

Örnek:

Bir enerji nakil hattının frekansı 50 Hz 'dir. Kullanılan iletkenin anma kesiti 468,4 mm² olan Drake çelik alüminyum iletkenin çekilmesi uygun görülmüştür. Bu durumda;

- Alüminyum iletkeninin 1 km 'sinin 20 °C 'deki direnci kaç Ω 'dur?
- Alüminyum iletkeninin 1 km 'sinin 37 °C 'deki direnci kaç Ω 'dur?

Çözüm:

- İletkenin uzunluğu 1 km = 1000 m olduğuna göre (2.1) eşitliğinden yararlanılarak,

$$R_{20} = \frac{L}{K S} = \frac{1000 \text{ m}}{(35 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2)(468,1 \text{ mm}^2)} = 0,061 \Omega$$

bulunur.

- b. Tablo 2.1'den alüminyum iletkenin 20°C için sıcaklık değişim katsayısının $\alpha_{20} = 0,00403 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ olduğu görülmektedir. Eşitlik 2.4'ten yararlanarak iletkenin 35°C 'daki alternatif akım (ac) direnci ise,

$$R_{35} = R_{20} [1 + \alpha_{20} (T - T_0)] = (0,061 \Omega) [1 + (0,00403 \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1})(37^{\circ}\text{C} - 20^{\circ}\text{C})]$$

ve

$$R_{35} = 0,06518 \Omega$$

olarak elde edilir.

Enerji İletim Hatlarında İndüktans

İçinden akım geçen bir iletkenin çevresinde bir manyetik alan oluşur. Bu manyetik alan değişken bir manyetik alan ise devrede bir elektromotor kuvveti meydana getirir. Lenz Yasası gereğince meydana gelen bu elektromotor kuvveti iletken üzerinden geçen akımı azaltmaya çalışır. Bu nedenden dolayı iletkenin alternatif akıma karşı olan direnci artar. Bu etkiyi birinci ünite de indüktif reaktans veya kısaca reaktans olarak adlandırmıştık. İndüktif(veya endüktif) reaktans iletken üzerinde bir gerilim düşümüne neden olur.



İndüktif reaktansın hatlardaki aktif güç kaybına bir etkisi yoktur.

Elektrik devrelerinde sıklıkla kullanılan bobinler doğru akıma(dc) sadece telin direnci kadar zorluk gösterirken alternatif akıma(ac) ise frekansa bağlı artan direnç(indüktif reaktans) gösterirler. Bir bobin için X_L ile gösterilen indüktif reaktansın değerinin birinci ünite de,

$$X_L = \omega L = 2 \pi f L$$

formülü ile hesaplandığı belirtilmişti. Burada L , indüktans olup SI birim sisteminde henry(H) birimi ile ifade edilir. Eşitlikteki f ise alternatif akımın frekansıdır.

Örnek:

Frekansı 50 Hz olan bir voltaj üreticisine bağlanan 50 mH'lik bir bobinin indüktif reaktansı kaç Ω 'dur?

Çözüm:

Bobinin indüktif reaktansı $f = 50 \text{ Hz}$ ve $L = 50 \text{ mH} = 50 \cdot 10^{-3} \text{ H}$ değerleri kullanılarak,

$$X_L = \omega L = 2 \pi f L = 2(3,14)(50 \text{ Hz})(50 \cdot 10^{-3} \text{ H}) = 15,7 \Omega$$

bulunur.

Enerji nakil hatlarında indüktif reaktansın azaltılması için iletken kesitlerinin büyük, iletkenler arası açıklıkların ise küçük tutulması gerekir. Ancak kesitin büyümesi ekonomik açıdan uygun değildir. Hat iletkenlerinin cinsi, işletme geriliminin büyüklüğü ve taşınacak güçler seçilecek kesit değerlerini sınırlamaktadır. Yer altı enerji kablolarında iletkenler(fazlar) arasındaki aralıklar küçük olduğundan indüktif reaktans değerleri çok küçüktür.

Örnek:

50 Hz şebeke frekansına sahip bir enerji nakil hattının indüktif direnci 20 Ω 'dur. Buna göre hattın indüktansı ne olur?

Çözüm:

Bir bobin için kullanılan indüktif reaktans formülü enerji nakil hatları için de kullanılabilir. Bu durumda hattın indüktansı,

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{20\ \Omega}{2(3,14)(50\ \text{Hz})} = 0,064\ \text{H} = 64\ \text{mH}$$

bulunur.



İndüktans, her aygıtın kendi geometrisine bağlıdır. Bir aygıtın indüktansının hesaplanması karmaşık geometriler için çok güç olabilir.

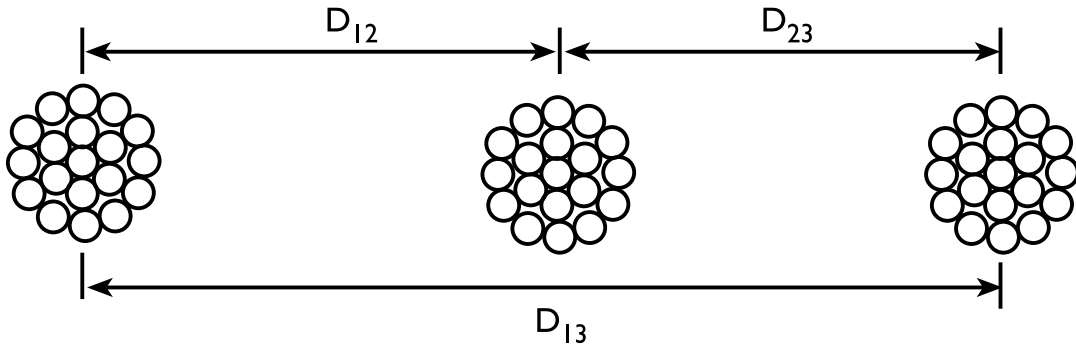
Enerji nakil hatlarının indüktanslarının hesaplanması tahmin edileceği üzere bir bobinin indüktansının bulunması kadar basit değildir ve kullanılan formülasyon birçok değişkeni içerir. Bir enerji nakil hattının indüktansı, kullanılan iletkenin cinsine, çapına, örgü şekline, faz sayısına, fazlara ait iletkenlerin direk üzerindeki pozisyonlarına, faz iletkenleri arasındaki uzaklığa bağlı olarak farklılık gösterir. Enerji nakil hattında üç fazlı çelik özlü alüminyum iletken kullanılması durumunda kilometre başına indüktans (H/km),

$$L = \left[4,6 \cdot \log \frac{GMD}{GMR} \right] 10^{-4} \quad (2.6)$$

formülü kullanılarak hesaplanır. Burada, GMR iletkenin geometrik ortalama yarıçapıdır ve üretici firmalar tarafından hazırlanan tablolardan bulunur. GMD ise geometrik olarak iletkenler arası uzaklığı ifade eder. GMD değeri,

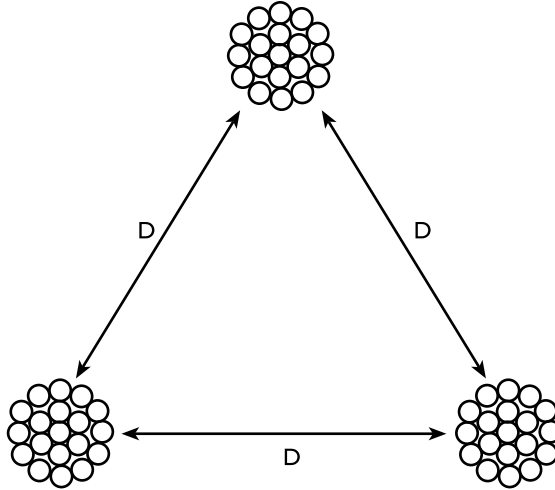
$$GMD = \sqrt[3]{D_{12} D_{23} D_{13}} \quad (2.7)$$

eşitliğinden yararlanılarak bulunur. Bu ifadedeki D_{12} , D_{23} ve D_{13} değerleri Şekil 2.5'te gösterildiği gibi üç fazlı sistemde her bir faz iletkeni arasındaki uzaklığı ifade etmektedir.



Şekil 2.5: Üç fazlı sistemde faz iletkenleri arasındaki uzaklığın eşit olmaması durumu.

Öte yandan her bir faz iletkeni, Şekil 2.6'daki gibi simetrik olarak eşkenar üçgen oluşturacak biçimde de yerleştirilebilir. Bu durumda, faz iletkenleri arasındaki uzaklık birbirine eşit olacağından ($D_{12} = D_{23} = D_{13} = D$) Eşitlik (2.7) gereğince $GMD = D$ bulunur.



Şekil 2.6: Üç fazlı sistemde faz iletkenleri arasındaki uzaklığın eşit olması durumu.

Örnek:

Aralarında 200 cm uzaklık bulunan iletkenlerden oluşmuş 3 fazlı bir iletim hattının iletkenleri Şekil 2.6'da gösterildiği gibi eşkenar üçgen olarak yerleştirilmişlerdir. İletkenin geometrik ortalama yarıçapı 20 mm ise hattın km başına düşen indüktansını hesaplayınız.

Çözüm:

Eşitlik (2.6) gereğince iletkenler arası mesafe eşit olduğundan,

$$GMD = \sqrt[3]{D^3} = D = 200 \text{ cm} = 2 \text{ m}$$

bulunur. Ayrıca $GMR = 20 \text{ mm} = 0,02 \text{ m}$ olarak verilmiştir. Eşitlik (2.5)'ten hattın indüktansı,

$$L = \left[4,6 \cdot \log \frac{GMD}{GMR} \right] 10^{-4} = \left[4,6 \cdot \log \frac{2 \text{ m}}{0,02 \text{ m}} \right] 10^{-4} = 9,2 \cdot 10^{-4} \text{ H/km}$$

olarak elde edilir.

Örnek:

Bir önceki örnekte verilen enerji nakil hattının frekansı 50 Hz ve toplam uzunluğu 10 km ise hattın toplam indüktif reaktansını bulunuz.

Çözüm:

Bir önceki örnekte hattın km başına düşen endüktans değeri $L = 9,2 \cdot 10^{-4} \text{ H/km}$ olarak hesaplanmıştı. Buna göre hattın km başına endüktif reaktansı

$$X_L = 2\pi f L = 2 (3,14) (50 \text{ Hz}) (9,2 \cdot 10^{-4} \text{ H/km}) = 0,289 \Omega/\text{km}$$

olarak bulunur. Uzunluğu 10 km olarak verilen hattın toplam indüktif reaktansı,

$$X_{\text{Toplam } L} = (0,289 \Omega/\text{km}) (10 \text{ km}) = 2,89 \Omega$$

olmalıdır.



Bir enerji nakil hattının indüktif reaktansı 50 Hz şebeke frekansında 100 Ω'dur. Bu durumda hattın indüktansı ne olur?

Enerji İletim Hatlarında Kapasitans

Birbirinden hava, boşluk veya bir yalıtkanla ayrılmış iki iletken bir kondansatör(kapasitör) oluşturur. Santrallerde üretilen elektriğin aktarımında iletken teller kullanılır. Bu nedenle iletim hatlarındaki iletkenler kendi aralarında veya toprak zeminle kondansatör davranışı gösterir. Aynı tartışma yeraltı enerji kabloları için de yapılabilir. Havai hatlarda oluşan kapasitans, havanın dielektrik sabitine, iletkenler arası mesafeye ve iletkenle toprak arasındaki uzunluğa bağlıdır. Enerji iletim hattının kapasitans (C) değeri daha çok 66 kV 'dan daha yüksek gerilimler için önemli olup daha düşük gerilimler için ihmal edilebilir.



Kapasitans (sığa), kondansatörü oluşturan iletkenlerin birisi üzerindeki yükün, iletkenler arasındaki potansiyel farkına oranıdır ($C = Q/V$). Birimi farad(F)'dır. Farad(F) çok büyük bir kapasitans birimi olduğu için uygulamada daha çok Farad'ın milyonda biri olan mikrofara (μF) kullanılır.

Elektrik enerjisinin iletiminde alternatif akımın tercih edildiğini daha önce vurgulanmıştı. Alternatif akım, yönü ve büyüklüğü periyodik olarak sürekli değişen bir akım türüdür. Bu nedenle enerji taşıyan yüksek gerilim hatlarındaki elektrik yükünün değeri de sürekli değişir. Elektrik yükündeki bu değişim bir elektrik akımı oluşturur. Bu akımına *şarj akımı* denir. Şarj akımı hattın geriliminin düşmesine, güç katsayısının, verimin ve iletim hattının kararlılığının değişmesine de neden olur.

Birinci ünite bahsedildiği gibi üzerine f frekanslı alternatif akım uygulanan bir kondansatörün kapasitif reaktansı,

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C}$$

ifadesinden yararlanılarak hesaplanır.



Enerji iletim hatlarındaki direnç, indüktif reaktans, kapasitif reaktansın birimlerinin Ω olduğuna dikkat ediniz.

Örnek:

50 μF 'lık bir kondansatör üzerine 50 Hz frekanslı bir alternatif gerilim uygulanmaktadır. Buna göre kondansatörün kapasitif reaktansı kaç Ω 'dur?

Çözüm:

Kondansatörün kapasitif reaktansı $f = 50 \text{ Hz}$ ve $C = 50 \mu F = 50 \cdot 10^{-6} \text{ F}$ değerleri kullanılarak,

$$X_c = \frac{1}{2 \pi f C} = \frac{1}{2 (3,14) (50 \text{ Hz}) (50 \cdot 10^{-6} \text{ F})} = 63,7 \Omega$$

bulunur.

Enerji nakil hattının 1 km 'sinin faz başına mikrofara (μF) cinsinden kapasitans değeri ise,

$$C = \frac{0.0242}{\log \frac{GMD}{r}} \quad (2.8)$$

formülü kullanılarak hesaplanır. Burada, GMD metre (m) cinsinden geometrik olarak iletkenler arası uzaklık, r ise yine metre (m) cinsinden iletkenin yarıçapıdır.

Örnek:

Aralarında 100 cm mesafe bulunan iletkenlerden oluşmuş 3 fazlı bir iletim hattının iletkenleri Şekil 2.7’de gösterildiği gibi eşkenar üçgen olarak yerleştirilmişlerdir. İletkenin yarıçapı 13 mm ise, hattın km başına düşen kapasitansı kaç μF ’dır?

Çözüm:

Eşitlik (2.7) gereğince iletkenler arası mesafe eşit olduğundan,

$$GMD = \sqrt[3]{D^3} = D = 100 \text{ cm} = 1 \text{ m}$$

bulunur. İletkenin yarıçapı $r = 13 \text{ mm} = 0,013 \text{ m}$ olduğuna göre (2.8) eşitliği gereğince hattın km başına düşen kapasitansı,

$$C = \frac{0,0242}{\log \frac{1 \text{ m}}{0,013 \text{ m}}} = 0,0128 \text{ } \mu F/\text{km}$$

olarak elde edilir.



Eğer enerji nakil hattının şebeke frekansı 50 Hz ve toplam uzunluğu 100 km ise hattın toplam kapasitif reaktansı ne olur?

Hat sonlarından çekilen yükler, çoğunlukla indüktif karakterlidir. Bu nedenle akım gerilime göre geri fazdadır. Bu durum hat başı gerilim ile hat sonu gerilimi arasında fark meydana getirir. Bu gerilim farkını azaltmak için çoğunlukla hat sonlarına paralel kondansatörler(kapasitörler) konulur. Hatların kendi indüktansı büyük ise indüktif reaktans (X_L) üzerinde meydana gelen gerilim düşümünü önlemek için ise seri kondansatörler kullanılır. Seri kondansatörlerin amacı hattın toplam empedansını azaltmaktır. Bu işleme *seri kompanzasyon* adı verilir. Devreye seri olarak eklenen kondansatör grupları, negatif bir reaktans sağlayarak enerji iletim hatlarının uzunluk ve kesiti ile belirlenen hat empedansını düşürür. Bu sayede de daha fazla güç iletimi transfer edilir. Bu işleme de *maksimum güç transferi* adı verilir. Hattın toplam empedans değeri $X_T = X_L - X_C$ eşitliğinden hesaplanır.

Korona Olayı ve Kayıpları

Nemli ve sisli havalarda enerji nakil hatlarındaki gerilim yavaş yavaş arttırılırsa gerilimin belirli bir değerinde havanın iletim hattının yüzeyinde iyonize olduğu görülür. Gerilim arttırılmaya devam edilirse bu kez iletkenin çevresinde mor renkli ışıklı bir halka belirir. Bu olaya *korona olayı* denir. Hat iletkenleri, bağlantı parçaları, kesici, ayırıcı, parafudur, geçit izolatörü gibi sistem elemanlarının iletkenleri koronanın oluştuğu, görüldüğü yerlerdendir.



Resim 2.3: Krona olayında oluşan akım.

Koronayla birlikte havadan yayılan veya koronanın olduğu devre iletkenlerinden yayılan parazitler oluşur. Bu parazitler radyo ve televizyonların çalıştığı frekanslarda olduğu için girişimlere neden olur. Korona sırasında havadaki O₂ molekülleri atomlarına ayırır. Ayrılmış olan atomlar O₂ ile tekrar birleşince ozon(O₃) gazı oluşur. Bu gazın havadaki nemle ve azot gazıyla birleşirse nitrik asit oluşturabilir. Buda hattın altındaki yerleşim yerlerine veya elektrik elemanlarının asit yağmurundan aşınmasına neden olur. Korona kaybına neden olan korona akımı sinüzoidal olup gerilim düşümlerine yol açar. Resim 2.3'te enerji hatlarında oluşan korona akımı görülmektedir.

Kimyasal reaksiyonlara ve ses titreşimlerine de yol açabilen korona olayı ile taşınan gerilimin büyüklüğü, frekansı, hatlarda kullanılan iletkenlerin yarıçapları, hatlar arası açıklık, hatların pürüzlülük derecesi, sıcaklık, nem, basınç gibi etkenler yakından ilgilidir. Isı, ses ve kimyasal reaksiyonlar yoluyla nakil hattındaki enerjinin kaçması olarak nitelendirilebilecek korona olayı sonuçta bir enerji kaybıdır. Enerji nakil hatlarında korona olayının yol açtığı kayıpları azaltmak için iletkenlerin yüzeyleri düzgün ve parlak bir sırla kaplanır.

Kaçak Geçirgenlik

Bu hat sabitesi, enerji nakil ve dağıtım hatlarındaki akım taşıyan iletkenlerin gerek kendi aralarında gerekse de iletkenlerle toprak arasında görülen kaçak akımların etkisini ifade eder. Kaçak akımlar hatlarda güç kaybına neden olabilir. Fakat bu etki çok küçük olduğu için genellikle hesaplamalara dahil edilmez.

Dağıtım ve enerji nakil hatlarında faz iletkenlerinin kendi aralarında ve toprak arasındaki kaçak akımların etkisiyle meydana gelen bir hat sabitesidir. Kaçak akımlar hatlarda aktif güç kaybına sebep olur. Ancak çok küçük değerde olduğu için ihmal edilir. 30 km uzunluğundaki 6,3 kV 'luk bir enerji iletim hattında kaçak geçirgenliğin etkisiyle meydana gelen kaçak akımların sonucunda 10 W 'lık bir aktif güç kaybı olur.



Eğer kapasitans dikkate alınmazsa enerji nakil ve dağıtım hatlarının empedansı $Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$ formülü ile bulunur.

Özet

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması amacıyla kullanılan bütün elektrik tesislerine *elektrik şebekesi* adı verilir. Elektrik enerjisinin tüketim bölgelerine iletilmesini sağlayan şebekelere *iletim şebekesi*, bu bölgelerde dağıtımını sağlayan şebekelere de *dağıtım şebekesi* adı verilir.

Elektrik şebekesi elektrik enerjisinin üretiminden tüketimine kadar kesintisiz bir enerji akışı sağlamalı, güvenilir, sağlam, basit ve anlaşılır olmalıdır. Şebekelerde oluşan arızalardan aboneler etkilenmemelidir. Ayrıca şebeke optimal maliyetle tesis edilmeli, hattın başındaki, ortasındaki veya sonundaki abonelerin tamamına aynı özellikteki elektrik enerjisi sağlanmalıdır.

Şebekeler dağıtım şekillerine göre genel olarak, açık ve kapalı şebekeler olmak üzere iki ana grupta tesis edilirler. Bu iki ana grubun içerisinde toplamda dört şebeke sistemi ile elektrik enerjisi iletimi ve dağıtımını gerçekleştirilir. Bunlar; dallı şebeke, halka(ring) şebeke, ağ gözlü şebeke, enterkonnekte şebeke şeklinde sıralabilir.

Açık şebekelere dallı(dalbudak) veya radyal şebekeler de denir. Çok kullanılan bir şebeke türüdür. Şebekenin şekli bir ağacın dallarına benzediği için bu tür şebekeye *dallı şebeke* denir. Bu tip şebekelerin tesis bedelleri düşüktür. Bakımları, işletilmeleri ve şebekedeki olası arızaların tespitinin de kolay olmasından dolayı tercih edilirler. Kapalı şebekeler ise ring(halka) şebeke ve ağ(gözlü) şebeke olmak üzere iki grupta tesis edilirler. Bir noktadan çıkan iki enerji nakil hattının bir başka noktada yeniden birleşmesinden oluşan şebekeye *ring(halka) tipi şebeke* denir. Bu tür şebekelerde besleme birden fazla transformator ile yapıldığı için dallı şebekelere göre daha güvenlidir. Fakat tesis maliyetleri yüksektir. Şebekedeki hatların akımı taşıyamaması durumunda dallı şebekelerin aksine tüm hatların değiştirilmesi gerekir.

Elektrik üretim santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki iletim, enterkonnekte şebekelerle sağlanır. Üretim santrallerin bir iletim tesisine, buradan da diğer tesislere bağlanarak beraber çalışmalarına *enterkonnekte çalışma*, bu şebekeye de *enterkonnekte şebeke* denir. Bu sistem enerjide sürekliliği sağlar.

İletim ve dağıtım şebekeleri gerilimleri açısından; alçak gerilimli şebekeler, orta gerilimli

şebekeler, yüksek gerilimli şebekeler, çok yüksek gerilimli şebekeler şeklinde sınıflandırılır.

Yüksek gerilim şebekeleri elektrik enerjisi iletiminde kullanılır. Orta gerilim şebekeleri daha çok küçük şehirler, endüstri bölgeleri ve benzeri yerlere enerji taşınması veya büyük şehirlerde dağıtım transformatörlerine enerji taşınması için düzenlenir. Orta gerilim şebekeleri, yüksek ve çok yüksek gerilim şebekeleri ile alçak gerilim şebekeleri arasında bir köprü görevi yaparlar. Alçak gerilim şebekeleri ise dağıtım trafolarından abonelere ulaşan hatlar olarak tanımlanabilir.

Elektrik enerjisinin üretildiği yerden abonelere ulaştırılmasında kullanılan iletim ve dağıtım şebekeleri hava hattı veya yeraltı hattı şeklinde düzenlenirler. Açık arazideki uzun mesafeli elektrik enerjisi iletim hatları havai hat olarak, yerleşim birimlerinde ise tercihen yeraltı hatları olarak tesis edilirler.

Enerji iletim ve dağıtım hatlarında akım, gerilim, güç ve güç katsayıları gibi büyüklüklerin durumlarına göre değişen hattın direnç, indüktans ve kapasitans gibi değerlerine *hat sabiteleri* denir. Direnç, enerji nakil hatlarında gerilim düşüşüne ve güç kaybına neden olur ve sıcaklıkla birlikte artar. İndüktif reaktans da iletken üzerinde bir gerilim düşümüne neden olur fakat güç kaybına bir etkisi yoktur. Bir enerji nakil hattının indüktansı, kullanılan iletkenin cinsine, çapına, örgü şekline, faz sayısına, fazlara ait iletkenlerin direk üzerindeki pozisyonlarına, faz iletkenleri arasındaki uzaklığa bağlı olarak farklılık gösterir. İletim hatlarındaki iletkenler kendi aralarında veya toprak zeminle kondansatör davranışı da gösterir. Kapasitans daha çok yüksek gerilimlerde önemlidir.

Nemli ve sisli havalarda enerji nakil hatlarındaki gerilim yavaş yavaş arttırılırsa gerilimin belirli bir değerinde havanın iletim hattının yüzeyinde iyonize olduğu görülür. Gerilim arttırılmaya devam edilirse bu kez iletkenin çevresinde mor renkli ışıklı bir halka belirir. Bu olaya *korona olayı* denir. Korona kaybına neden olan korona akımı sinüzoidal olup gerilim düşümlerine yol açar. Enerji nakil ve dağıtım hatlarındaki akım taşıyan iletkenlerin gerek kendi aralarında gerekse de iletkenlerle toprak arasında görülen kaçak akımların etkisi kaçak geçirgenlik sabiti ile tanımlanır. Fakat bu etki çok küçük olduğu için genellikle hesaplamalara dahil edilmez.

Kendimizi Sıneyalım

1. Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması amacıyla kullanılan bütün elektrik tesislerine ne ad verilir?

- a. Elektrik santrali
- b. Elektrik sistemi
- c. Elektrik şebekesi
- d. Ulaştırma ağı
- e. Tüketim ağı

2. 5 km uzunluğunda 30 mm² kesitli alüminyum tel kullanılarak oluşturulan bir hava hattının direnci kaç Ω 'dur? (Alüminyum tel için $K_{Al} = 35 \text{ m}/(\Omega \cdot \text{mm}^2)$ alınız.)

- a. 4,76
- b. 6,81
- c. 9,78
- d. 15,54
- e. 26,35

3. Aralarında 250 cm uzaklık bulunan iletkenlerden oluşmuş 3 fazlı bir iletim hattının iletkenleri eşkenar üçgen olarak yerleştirilmişlerdir. İletkenin geometrik ortalamada yarıçapı 30 mm ise hattın indüktansı kaç H/km 'dir?

- a. $39,2 \cdot 10^{-4}$
- b. $19,6 \cdot 10^{-4}$
- c. $8,8 \cdot 10^{-4}$
- d. $4,2 \cdot 10^{-4}$
- e. $2,1 \cdot 10^{-4}$

4. Aşağıdakilerden hangisi ağ şebekelerin avantajlarından biri **değildir**?

- a. Arıza durumunda arızalı kısım koruma elemanları ile devre dışı bırakılabilir.
- b. Herhangi bir hatta arıza olması durumunda diğer abonelerin enerjileri kesilmez.
- c. Gerilim düşüşü çok azdır.
- d. Sisteme büyük güçlü tüketiciler bağlanabilir.
- e. Kısa devre etkisi büyük olur.

5. Bir bölgenin veya bir ülkenin elektrik enerjisi talebini kesintisiz bir şekilde karşılamak üzere o ülkenin bütün elektrik santralleri, trafo merkezleri ve tüketicileri arasında kurulmuş olan şebekeye ne ad verilir?

- a. İletim şebekesi
- b. Dağıtım şebekesi
- c. Genel şebeke
- d. Enterkonnekte şebeke
- e. Yerel şebeke

6. 50 Hz şebeke frekansına sahip bir enerji nakil hattının indüktif direnci 10 Ω olduğuna göre hattın indüktansı kaç mH ' dir?

- a. 8
- b. 32
- c. 64
- d. 128
- e. 256

7. Bir enerji nakil hattının kapasitif direnci, 50 Hz şebeke frekansında 20 Ω 'dur. Bu durumda; hattın kapasitansı kaç μF 'dır?

- a. 50
- b. 75
- c. 124
- d. 159
- e. 268

8. I. Korona olayı aktif güç kaybına neden olur.

II. Kötü hava şartları koronayı tetikler.

III. Korona akımı gerilim düşümlerine neden olur.

Korona olayı ile ilgili yukarıdaki ifadelerden hangisi/hangileri doğrudur?

- a. Yalnız I
- b. Yalnız III
- c. I ve II
- d. II ve III
- e. I, II ve III

9. Dağıtım şekilleri göz önüne alındığında aşağıdakilerden hangisi bir şebeke çeşidi **değildir**?

- a. Halka şebeke
- b. Enterkonnekte şebeke
- c. Dallı şebeke
- d. Ağ gözlü şebeke
- e. Doğrusal şebeke

10. Aşağıdakilerden hangisi enterkonnekte sistemin avantajlarından biri **değildir**?

- a. Kısa devre akımı yüksektir.
- b. Beslenme sürekli olacağından enerji kesilmesi çok az görülür.
- c. Sistemin verimi yüksektir.
- d. Santrallerin kuruluş ve işletme masraflarını azaltır.
- e. Üretim kaynağından ekonomi sağlar.

Kendimizi Sınavalım Yanıt Anahtarı

1. **c** Yanıtınız yanlış ise “İletim ve Dağıtım Şebekelerinin Yükümlülükleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

2. **a** Yanıtınız yanlış ise “Enerji İletim Hatlarında Direnç” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

3. **c** Yanıtınız yanlış ise “Enerji İletim Hatlarında İndüktans” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

4. **e** Yanıtınız yanlış ise “Kapalı Şebekeler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

5. **d** Yanıtınız yanlış ise “Enterkonnekte Şebeke” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

6. **b** Yanıtınız yanlış ise “Enerji İletim Hatlarında İndüktans” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

7. **d** Yanıtınız yanlış ise “Enerji İletim Hatlarında Kapasitans” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

8. **e** Yanıtınız yanlış ise “Krona Olayı ve Kayıpları” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

9. **e** Yanıtınız yanlış ise “Dağıtım Şekillerine Göre Elektrik Şebekelerinin Sınıflandırılması” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

10. **a** Yanıtınız yanlış ise “Enterkonnekte Şebeke” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

Sıra Sizde Yanıt Anahtarı

Sıra Sizde 1

Hattaki akım, $P = IV = I^2 R$ eşitliğinden yararlanarak,

$$I = \sqrt{\frac{P_k}{R}} = \sqrt{\frac{2000 \text{ W}}{5 \Omega}} = 20 \text{ A}$$

olarak elde edilir. Hattın taşıma hattının gerilimi ise,

$$V = \frac{P}{I} = \frac{100000 \text{ W}}{20 \text{ A}} = 5000 \text{ V} = 5 \text{ kV}$$

bulunur.

Sıra Sizde 2

20 mm² kesit alanlı uzunluğundaki alüminyum tel kullanılarak oluşturulan havai hattın direnci,

$$R = \frac{L}{K S} = \frac{7.000 \text{ m}}{(35 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2)(20 \text{ mm}^2)}$$

ve

$$R = 10 \Omega$$

bulunur.

Sıra Sizde 3

Enerji nakil hattının indüktansı $f = 50 \text{ Hz}$ ve $X_L = 100 \Omega$ değerleri kullanılarak,

$$L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{100 \Omega}{2 (3,14)(50 \text{ Hz})}$$

ve

$$L = 318 \text{ mH}$$

bulunur.

Sıra Sizde 4

Enerji nakil hattının km başına $f = 50 \text{ Hz}$ şebeke frekansındaki toplam kapasitif reaktansı daha önce bulunan $C = 0,0128 \mu\text{F}/\text{km}$ değeri kullanılarak,

$$X_C = \frac{1}{2\pi f C} = \frac{1}{2 (3,14)(50 \text{ Hz})(0,0128 \cdot 10^{-6} \text{ F}/\text{km})}$$

ve

$$X_C = 248,8 \text{ k}\Omega/\text{km}$$

bulunur. Hattın uzunluğu 100 km olduğuna göre, toplam kapasitif reaktans,

$$X_{\text{Toplam } C} = (248,8 \text{ k}\Omega/\text{km})(100 \text{ km}) = 24880 \text{ k}\Omega$$

elde edilir.

Yararlanılan Kaynaklar

Nacar,M., (2003). **Elektrik Şebeke ve Tesisleri**, Color Ofset, İskenderun.

Dengiz Hüsnü, **Enerji Hatları Mühendisliği**, Kardeş Kitabevi Yayınları, Ankara, 1991.

Tosun,İ., (2007). **Enerji İletim ve Dağıtım**, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Ürgüplü, Zafer., (1997). **Elektrobank**, Seçkin Yayıncılık, Ankara.

Daşdemir, Abdullah.,(2006). **Enerji Üretimi İletim ve Dağıtım**, Çorum.

Uyaroglu,Y., (2010)., **Elektrik Enerjisi Üretimi ve Dağıtım**, Anadolu Üniversitesi Yayınları, 8.Ünite, Eskişehir.

TEAŞ Eğitim Ders Notları.

Üstünel, M., Altın M., Kızılgedik, M. (2001). **Endüstriyel Elektrik. Mesleki ve Teknik Öğretim Okulları için Ders Kitabı**, Ankara: MEB.

<http://www.megep.meb.gov.tr>

<http://elektroteknoloji.com>.

<http://www.teias.gov.tr>

3

Amaçlarımız

Bu üniteyi tamamladıktan sonra;

-  Şalt sahalarında bulunan donanımları tanıyabilecek,
-  Transformatörlerin enerji iletimi ve dağıtımındaki rolünü ifade edebilecek,
-  Transformatörleri sınıflandırabilecek,
-  Elektrik enerji sistemlerinde kullanılan baraları, koruma ve anahtarlama elemanlarını ayırt edebilecek,
-  Elektrik enerji sistemlerinde kullanılan koruma ve anahtarlama elemanlarının görevleri açıklayabilecek

bilgi ve becerilere sahip olabilirsiniz.

Anahtar Kavramlar

 Transformatör Merkezi	 Ayırıcı
 Şalt Sahası	 Kesici
 Transformatör	 Bara Sistemleri
 Parafudur	 Kumanda Elemanları

İçindekiler

- ❖ Giriş
- ❖ Şalt Sahası ve Transformatör Merkezi
- ❖ Şalt Sahası ve Transformatör Merkezi Donanımları

Transformatör Merkezleri ve Donanımları

GİRİŞ

Hem endüstriyel sanayinin ilk girdisi hem de diğer enerji kaynaklarının kısıtlı olması nedenleriyle elektrik enerjisi sanayileşme açısından gelişmişlik göstergesi olarak gittikçe daha da önem kazanmaktadır. Günümüzde ülkelerin yüksek teknoloji gelişme seviyeleri ve hayat standartlarının çok artış göstermesi sebeplerinden dolayı elektrik enerjisine duyulan ihtiyaç da beraberinde artmaktadır. Bu önemli talebin istenen miktar ve kalitede ekonomik olarak karşılanabilmesi için yapılan faaliyetler ekonomik sorunların yanında çevresel etkiler de oluşturmaktadır. Ancak üretim, iletim ve dağıtım tesislerinin kurulması, işletilmesi, kumandası izlenmesi ve kontrol edilmesindeki kolaylıkların yanında temiz oluşu ve istenen enerji şekline istenen yerde, istenilen miktarda dönüştürülebilir imkânlarından dolayı elektrik enerjisi her zaman tercih edilmiştir. Bu özelliklerinin yanında elektrik enerjisinden faydalanmak için geliştirilen şalt cihazlarının işletilmelerinin kolay ve pratik olması da elektrik enerjisinin önemini bir kat daha arttırmıştır.

Elektrik güç sisteminde transformatörlerin elektrik enerjisini tüketicilere kesintisiz, sınırlama olmaksızın ve uygun bir fiyatta sağlamak hedefiyle tasarımı gerçekleştirilir. Tüm hesaplar normal işletme şartlarında yapılır. Transformatör merkezlerinde oluşan istenmeyen arıza ve hatalar karşısında transformatör merkezi güvenli bir enerji sağlamalıdır. Güvenli besleme arızalara karşı sistem güvenliğinin artırılmasıyla güçlendirilir. Transformatör merkezlerinde elektrik enerjisinin sağlanmasındaki kalite problemlerinin etkilerini ortadan kaldırmak veya azaltmak için çeşitli çözümler olup, bu alanda yeni gelişmeler kaydedilmektedir.

Kullandığımız elektrik enerjisinin verimli olmasını sağlamak, kalite ve güvenilirliği artırmak, üretim sistemi maliyetlerini azaltmak ve iletim sistemi kayıplarını aza indirmek, elektrik enerjisi sistemlerinin işletilmesi ve değişen durumlara göre yeniden planlanması belli başlı en önemli hedefler haline gelmiştir.

Elektrik enerjisi üretim, iletim ve dağıtımında yararlanılan en önemli sistemlerden biri olan transformatör merkezleri ve bu merkezlerde kullanılan elektrik şalt cihazları, yüksek gerilim şebekeleri ile alçak gerilim şebekeleri arasında köprü işlevini gören tesislerdir.

Elektrik enerjisi iletim şebekesinin amacı gerekli güvenlikte ve maksimum verimdeki yükü daha ucuz fayata beslemek için güç santrallerini ve yük merkezlerini bir araya toplamaktır. Ancak çeşitli faktörler nedeniyle yük merkezleriyle, güç santrallerini bir araya toplamak kolay değildir. Ülkemizde her yıl yaklaşık 200 milyar kWh elektrik enerjisi üretilmekte ve bu enerji yaklaşık 50000 km² yi bulan iletim hatları ile transformatör merkezlerine iletilmektedir.

Santrallerde üretilen enerjinin iletilmesi ve dağıtılması transformatör merkezleri, şalt sahaları ve trafo postaları ve diğer tesis elemanları yardımı ile yapılmaktadır. Transformatör merkezlerinde bulunan transformatörler, elektrik enerji sistemin en önemli parçasını oluştururlar. Bununla birlikte transformatör merkezlerinde diğer elektrik enerjisi devre elemanları vardır. Bu elemanlar sırasıyla akım ve gerilim transformatörleri, oto transformatörler, parafudurlar, ayırıcılar, kesiciler, bara sistemleri, pano, ölçme elemanları, kumanda elemanlarıdır. Transformatör merkezlerinde yer alan bu elektrik devre donanımları sırasıyla açıklanacaktır.

ŞALT SAHASI VE TRANSFORMATÖR MERKEZİ

Santrallerde üretilen enerjinin iletilmesi ve dağıtılması transformatör merkezleri, şalt sahaları ve trafo postaları ve diğer tesis elemanları yardımı ile yapılmaktadır. *Şalt sahaları*, elektrik santrali ile enterkonnekte şebeke arasındaki bağlantıyı sağlayan yüksek gerilim ünitelerinin bir arada bulunduğu tesislerdir.

Şalt sahası ve trafo merkezlerini oluşturan üniteler yüksek gerilim taşıdıklarından genellikle açık havada kurulur. Fakat bu ünitelerin kapalı yerlerde tesis edilmeleri de mümkündür. Yaklaşık olarak 60 kV'tan büyük gerilimli trafo merkezleri ve şalt sahalarının açık havada kurulması daha uygundur. 60 kV 'tan küçük gerilimler için bu merkezler kapalı yerlerde kurulur. Büyük gerilimlerde iletkenler arası açıklıklar fazla olacağı için kapalı yerler ekonomik olmaktan uzaklaşır. Ancak tozlu yerlerde kapalı tipte şalt sahaları kurulabilmektedir. Resim 3.1'de açık havada kurulan bir şalt sahası görülmektedir.



Resim 3.1: Şalt sahası ve elemanları.

Santrallerde generatör çıkışı olarak üretilen gerilim, genel olarak 10 ila 20 kV değerindedir. Bu büyüklükteki gerilim değeriyle elektrik enerjisinin uzak mesafelere iletimi ekonomik bir şekilde yapılamaz. Elektrik enerjisinin uzaklara taşınabilmesi için gerilimin yükseltilmesi gerekir. Transformatörler merkezleri ve şalt tesisleri bu amaçla kurulmuş en önemli birimlerdir.

Elektrik enerjisi santrallerde üretildikten sonra Resim 3.2'de bir örneği görülen santral yakınlarındaki transformatörler ile gerilimi yükseltilir ve yerleşim merkezleri veya sanayi bölgeleri yakınlarına kadar yüksek gerilimli olarak iletilir. Burada yer alan transformatör merkezleri ile yüksek gerilim orta gerilim kademesine düşürülür. Daha sonra orta gerilimli olarak transformatör postalarına ulaştırılan elektrik enerjisi dağıtım trafoları ile alçak gerilimlere düşürülerek abonelerin kullanımına sunulur.

Elektrik enerjisini toplamaya veya dağıtmaya yarayan ünitelerden oluşan şalt sahaları ve transformatör merkezlerinde kullanılan çeşitli donanım ve tesis elemanları arasında,

- Güç transformatörleri
- Ölçü trafoları (Akım veya gerilim transformatörleri).
- Baraya bağlantı için kullanılan ayırıcılar (Seksiyonerler)
- Devre kesicileri (Disjonktörler)
- Yüksek gerilim sigortaları
- Çeşitli röle ve topraklama elemanları
- Parafudurlar

- Kondansatörler.
- Endüksiyon bobinleri

sayılabilir. Şimdi bu elemanlardan en temel olanlarını biraz daha ayrıntılı olarak gözden geçirelim



Resim 3.2: Transformatör istasyonu.

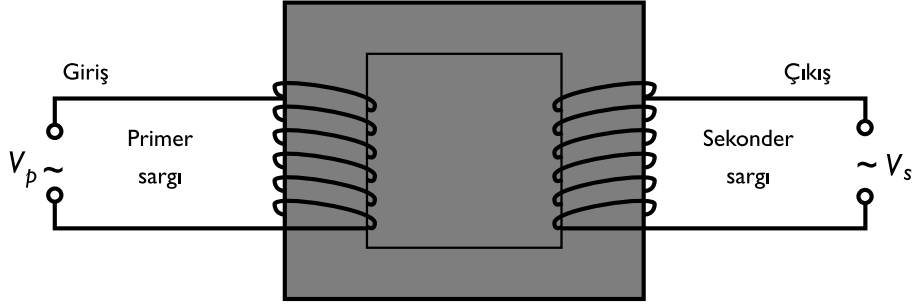
Transformatör

Üretilen elektrik enerjisinin gücünü değiştirmeksizin akım ve gerilim değerlerini değiştirmeye yarayan elektrik makinelerine *transformatör* ya da kısaca *trafo* denir. Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin daha uzak bölgelere taşınabilmesi için geriliminin yükseltilmesi istenir. Böylelikle iletim kayıplarının en aza indirilmesi sağlanır. Transformatörlerin kullanım amacı gerilimin yükseltilmesi veya alçaltılmasıdır. Transformatörler Lenz Kanununa göre çalışırlar.

Elektrik enerjisini doğru akım veya alternatif akım olarak elde etmek mümkündür. Bir bisikletin farını yakan dinamonu ürettiği akım doğru akımdır. Öte yandan elektrik santrallerinde üretilen akım ise alternatif akımdır. Birtakım sınırlamalar nedeniyle doğru akımı yükseltip düşürmek alternatif akıma göre daha zordur. Öte yandan alternatif akımın bir transformatör yardımıyla kolayca yükseltilmesi veya düşürülmesi mümkündür. Bu nedenle elektrik enerjisinin bir yerden başka bir yere taşınmasında alternatif akım tercih edilir. Bu aktarım sırasında transformatörler kullanılırsa frekansta bir değişik yapılmadan gerilim ve akım değerleri istenilen değerlere kolayca getirilebilir.

Elektromanyetik indüksiyon prensibi ile çalışan transformatörler gerilimi alçaltıp veya yükseltme özelliklerine göre; alçaltıcı veya yükseltici transformatörler şeklinde sınıflandırılır. Benzer şekilde transformatörleri çalıştırdıkları gerilimlerine göre ise alçak, orta, yüksek ve çok yüksek gerilim transformatörleri biçiminde de gruplara ayırmak mümkündür. Çalışmaları sırasında açığa çıkan ısıyı düşürebilmek için transformatörler hava, su veya yağ ile soğutulur. Hava ile soğutma yöntemi genellikle kuru tip adı verilen transformatörlerde kullanılır. Orta ve yüksek güçteki transformatörler genellikle yağ ile soğutulurken, termik veya hidroelektrik santral gibi devamlı olarak su temin edilebilen yerlerde ise su soğutmalı transformatörler tercih edilir.

Yapıları incelendiğinde transformatörler bir demir çerçeve üzerine sarılmış iki ayrı bobin sarımından oluşur. Bobinlerden birine gerilim uygulanırken diğer bobinden alçaltılmış veya yükseltilmiş gerilim elde edilir. Gerilimin uygulandığı bobine *primer* (birincil) sarım, diğerine *sekonder* (ikincil) sarım adı verilir. Şekil 3.1’de bir transformatörün sargı şeması gösterilmiştir.



Şekil 3.1: Transformör sargı şeması.

Transformatöre gerilimin uygulanmasıyla ortaya çıkan akım, sargı etrafında bir manyetik alan oluşturur. Bu alan, diğer sargıda bir gerilim ortaya çıkarır. Bu alan aynı zamanda demir çekirdeği ısıtır. Bu nedenle demir çekirdekli transformatörler düşük frekanslarda (genellikle 50 hertz(Hz)) kullanılır. Transformatörlerde aşırı ısınmayı önlemek için demir çekirdek tek parça döküm yerine çok sayıda ince yalıtılmış levhalardan yapılır. Bu nedenle radyo frekanslarında çalışan transformatörler hava çekirdekli. Resim 3.3'te bir transformörün kesiti verilmiştir.



Resim 3.3: Bir transformörün kesiti.

Eğer transformörün sekonder kısma bir yük bağlanırsa elektrik akımı sekonder sargılardan akar ve elektrik enerjisi primer devreden yüke doğru transfer olur. Bir transformördeki primer ve sekonder bobinlere ilişkin gerilim, akım, sarım sayısı, güç parametrelerinin hangi sembollerle temsil edileceği Çizelge 3.1'de tanımlanmıştır. İdeal bir transformörde sekonder sargıda indüklenen gerilimin (V_s) primer sargıdaki gerilime (V_p) oranı, sarım sayılarının birbirine oranını verir.

Çizelge 3.1: Transformör parametreleri

Parametreler	Primer Sargı	Sekonder Sargı
Gerilim	V_p	V_s
Akım	I_p	I_s
Sarım Sayısı	N_p	N_s
Güç	P_p	P_s
Empedans	Z_p	Z_s

Bir transformatördeki gerilim ve akım değerleri ile sarım sayıları arasında,

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} = a \quad (3.1)$$

bağıntısı yazılabilir. Yukarıdaki eşitlikte N_p / N_s oranına transformatörün çevirme oranı(dönüştürme) denir ve a ile gösterilir.



Eşitlik 3.1’de verilen ifadede N_p / N_s oranı sabit değerdedir. Bu nedenle diğer oranların da sabit olması gerekir. I_s ’nin büyüklüğü transformatörün yük direncine bağlıdır. Yük direnci çok küçük olursa I_s tolerans değerinin üzerinde büyür. Bu durumda yukarıdaki oranı sağlamak üzere I_p değeri de büyür. Dolayısıyla transformatör anormal olarak ısınıp yanabilir. Kullanma sırasında bu duruma dikkat etmek gerekir.

Uygun sarım sayıları seçildiği takdirde bir transformatör vasıtasıyla alternatif akım yükseltilebilir veya alçaltılabilir. Transformatörün sekonder sarım sayısı N_s , primer sarım sayısı N_p ’den büyük yapılarak alternatif akım yükseltilir. Tersine, eğer transformatörün sekonder sarım sayısı N_s , primer sarım sayısı N_p ’den küçük yapılsa bu kez alternatif akım alçaltılır.

Güç transformatörleri gerilimi yükseltme özelliklerine göre alçaltıcı (Step Down) veya yükseltici (Step-Up) transformatörler şeklinde sınıflandırılabilir. Bir transformatörün giriş gücü;

$$P_p = I_p V_p \quad (3.2)$$

çıkış gücü ise

$$P_s = I_s V_s \quad (3.3)$$

eşitlikleri ile ifade edilir. Transformatörün girişine hangi güç verilirse, çıkışından da hemen hemen aynı güç alındığı söylenebilir. Ancak, transformatörün saçlarındaki fuko(Eddy) akımından, histerisiz olayından ve sargıların indüktif reaktansından (X_L) dolayı, giriş enerjisinin bir bölümü ısı enerjisine dönüşerek kaybolur. Transformatörlerde enerji kaybına yol açan bu etkenler aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Fuko akımları: Bu akım, aynı zamanda eddy akımı olarak da bilinir. Fuko akımları, transformatörün metal saçlarının içerisinde oluşan ve dairesel olarak dolaşan akımlardır. Transformatörlerde çoğu zaman iletken olan manyetik çekirdek içerisinde akarak kayba neden olan bu akımları engellemek için transformatör çekirdekleri ince plakalar halinde üretilir ve aralarına yalıtkan bir film konulur.

Histerisiz olayı: Transformatörün metal saçlarının mıknatıslanması olayıdır.

İndüktif reaktans (X_L): Transformatörün sargı tellerinin alternatif akım direncidir.

Transformatörün performansını etkileyen diğer etkenler arasında elektriksel yalıtım ve soğutma sistemleri de sayılabilir. Transformatör içindeki sıcaklık genellikle 100 °C’ye ulaştığından yalıtımda kullanılan katı, sıvı ya da gaz malzeme ortaya çıkan ısıнын uzaklaştırılmasında önemli rol oynar. Yalıtkan malzemenin bozulması transformatörün verimli ve sağlıklı kullanım süresini sınırlamaktadır. Aslında transformatörde, P_s çıkış gücü, P_p giriş gücüne göre biraz düşüktür. Yaklaşık olarak $P_p = P_s$ kabul edildiğinden,

$$I_p V_p = I_s V_s \quad (3.4)$$

bağıntısı elde edilir. Bir transformatörde Z_p primer sargı empedansı, Z_s sekonder sargı empedansı olmak üzere gerilim değerleri için,

$$V_p = I_p Z_p \quad (3.5)$$

$$V_s = I_s Z_s \quad (3.6)$$

eşitlikleri de yazılabilir.

Transformatörler bir mikrofonun içine sığabilecek kadar küçük olabildiği gibi, elektrik şebekelerini birbirine bağlamak için kullanılan, tonlarca ağırlığı olan transformatörlerde olabilir. Bütün transformatörler aynı prensip ile çalışır. Fakat tasarımları birbirlerinden çok farklıdır. Transformatör bazı elektronik devrelerde kullanılmaz ama televizyon ve radyo, zil tesisatı gibi ev ile ilgili çoğu elektronik cihazlarda hala kullanılmaktadır. Verimleri çok yüksek olduğu için transformatörler yüksek gerilim güç iletiminde gereklidirler ve uzun mesafelerde ekonomik bakımdan ciddi tasarruf sağlar.

Örnek:

Çevirme oranı $a = 2$ olan bir transformatörün birincil(primer) sargısına 220 V uygulanıp yüksüz çalıştırılırsa ikincil(sekonder) sargı gerilimi kaç V olur?

Çözüm:

Eşitlik 3.1 gereğince transformatörde çevirme oranı $a = V_p / V_s$ olduğundan;

$$V_s = \frac{V_p}{a} = \frac{(220 \text{ V})}{2} = 110 \text{ V}$$

bulunur.



Bir transformatörün sekonder sargısına 220 A uygulanıyor. Primer sargısında ise 2,5 A alındığına göre bu transformatörün dönüştürme oranı(a) nedir?

Transformatörlerde verim, diğer elektrik makinelerinde olduğu gibi çıkış gücünün (P_p) giriş gücüne (P_s) oranıyla bulunur ve η ile gösterilir. Genellikle trafoların verimi %85 ile %98 arasında değişir. Verimin bu kadar yüksek olması, trafoların hareketli ve dönen parçası bulunmayan durağan makine olmalarından kaynaklanır. Dolayısıyla verim,

$$\eta = \frac{P_s}{P_p} \quad (3.7)$$

bağıntısıyla bulunur. Yüzde olarak ise,

$$\% \eta = \frac{P_s}{P_p} 100 \quad (3.8)$$

biçiminde de ifade edilebilir.

Resim 3.4a'da görülen güç trafosu 250 MVA gücündedir. Bu trafonun içerisine yalıtımı sağlamak, aşırı ısınmayı önlemek için yağ konulmuştur. İçerisinde 50 ile 55 ton arasında yağ bulunmaktadır. Trafonun giriş gerilimi 380 kV çıkış gerilimi ise 154 kV 'tur. Giriş gerilimi yüksek olduğu için girişte kullanılan izolatörlerin boyu daha uzundur. Çıkışta kullanılan izolatörler ise daha küçüktür. Resim 3.4b'de ise trafonun sargı ve yağ sıcaklığını gösteren pano verilmiştir.



Resim 3.4: a) Güç trafosu.

b) Trafonun sargı ve yağ sıcaklığını gösteren pano.

Örnek:

Bir transformatörde giriş gerilimi 110 V , çıkış gerilimi 22 V ' tur. Transformatörün verimi %97 ve çıkış akımı 6 A olduğuna göre trafonun birincil akımı kaç A ' dir?

Çözüm:

Transformatörün çıkış gücü $P_s = I_s V_s$ ' dir. Bu bağıntı, verimi yüzde olarak tanımlayan Eşitlik 3.8' de yerine konulursa giriş gücü için,

$$P_p = \frac{P_s}{\% \eta} 100 = \frac{I_s V_s}{\% \eta} 100$$

yazılabilir. Buradan,

$$P_p = \frac{I_s V_s}{\% \eta} 100 = \frac{(6 \text{ A}) (22 \text{ V})}{97} 100 = 136,08 \text{ W}$$

bulunur. Bu değer $P_p = I_p V_p$ bağıntısında yerine konulursa,

$$I_p = \frac{P_p}{V_p} = \frac{136,08 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 1,24 \text{ A}$$

olarak elde edilir.



Bir transformatörde çıkış gerilimi 220 V ve giriş gerilimi 110 V ' tur. Transformatörün verimi %93 ve çıkış akımı 3,5 A olduğuna göre; giriş gücünü, çıkış gücünü, giriş akımını ve çevirme oranını bulunuz?

Akım ve Gerilim Transformatörleri

Bu türdeki transformatörler, yüksek akımı ve yüksek gerilimi, ölçü ve koruma cihazları için çok daha düşük değerlere dönüştüren ve ölçü devrelerini primer (birincil) yüksek gerilimlere karşı izole eden cihazlardır. Akım ve gerilim transformatörlerinin teknik karakteristikleri müşteri tarafından belirlenir. Her parametrenin dikkatlice seçilmesi gerekir. Aksi takdirde istenmeyen büyük arızalarla karşı karşıya kalınır.

Akım Transformatörleri

Sekonder(ikincil) akımı ile primer akımı orantılı olan ve bu iki akım arasındaki faz farkı yaklaşık 0° olan transformatörlere akım transformatörleri denir. Akım transformatörlerinin primer sargısından ölçülecek yük akımı sekonderinden de ölçü aletleri ya da koruma röleleri gibi aletlerin akımları geçer. Resim 3.5' de tipik bir akım transformatörü gösterilmiştir.



Resim 3.5: Akım transformatörü.

Akım trafoları gerilimin yüksekliğine ya da düşüklüğüne bakılmaksızın yüksek akımların ölçülmesinde kullanılır. Primer akımları 1-2-5-10-12,5-15-20-25-30-40-50-60-75-80-100-150-200-250-300-400-450-500-600-1000-2000 A ya da daha yüksek olabilir. Çıkış akımları 1-2-5 veya 10 A'den biri olabilir. En ucuz akım trafosu 300/5, 100/5 gibi tek oranlı olmalıdır. Pratik olması sebebiyle çok oranlı trafolar tercih edilebilir. Bir transformatörde oran değişikliği,

1. Primer sarım sayısını değiştirerek,
2. Sekonder sarım sayısını değiştirerek
3. Primer ve sekonder sarım sayısını değiştirerek

şeklinde yapılabilir. Bu üç yöntem içerisinde en ucuz ve avantajlı olan yöntem, primer sarım sayısını değiştirmektir.

Gerilim Transformatörleri

Gerilim transformatörleri yüksek gerilimin ölçülmesinde kullanılır. Resim 3.6'da bu türdeki bir transformatör verilmiştir. Gerilim transformatörlerinin yapısı iki sargılı gerilim düşürücü transformatörlere benzer. Primer taraf ölçülmek istenen yüksek gerilim tarafına bağlanır. Bu yüzden primer tarafın çok iyi yalıtılmış olması gerekir. Sekonder taraf ise ölçü aletine bağlanarak gerilim değeri ölçülmüş olur. Sekondere bağlanan ölçü aletlerinin iç dirençleri çok büyüktür. Çünkü gerilim ölçen cihazların üzerinden akım akmaması için iç dirençleri çok yüksek olmalıdır.



Resim 3.6: Gerilim transformatörü.

Oto Transformatörler

Primer sargısının bir kısmının ya da tamamının sekonder sargı olarak da kullanıldığı transformatörlere *oto transformatörler* denir. Resim 3.7’de bir oto transformatör gösterilmiştir. Normal trafolarla primer ve sekonder olmak üzere iki sargı bulunurken bu tip transformatörlerde sadece bir sargı vardır. Bu sargı hem primer sargısının hem de sekonder sargısının görevini yapar. Oto transformatörlerde gerilim dönüşümü tek sargı üzerinden yapıldığından ikinci bir sargıya gerek yoktur. Sargı sayısı düşürüldüğünden kaçak reaktans da azaltılmış olur.



Resim 3.7: Oto transformatör.

Oto transformatörler gerilim yükseltebilir ve alçaltılabilirler. Bu tip transformatörlerde değişik gerilimler elde etmek için dışarıya çok sayıda uç çıkartılmıştır. Üç fazlı yüksek gerilimlerin elde edilmesinde de kullanılırlar. Oto transformatörün avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

1. Gerilimi alçaltıp yükseltmek için tek sargı kullanıldığından küçük güçlerde daha az yer kaplar.
2. Çıkış gerilimi istenilen şekilde ayarlanabilir.
3. Normal transformatörlere göre daha az ısınırlar.
4. Verimi yüksektir.
5. Bakır ve demir kayıpları azdır.

Öte yandan oto transformatörlerin paralel bağlanması zordur. Ayrıca normal bir trafoda primer ile sekonder arasında yalıtkan madde konularak kaçak akım önlenirken oto trafoda kaçığı önlemek için daha değişik yalıtımlar yapmak gerekir.

Soğutma Şekline Göre Transformatörler

Soğutma şekline göre transformatörler yağlı ve kuru tip olmak üzere iki çeşittir. Kullanım amacına göre bu iki tipten biri seçilir.

Yağlı Tip Transformatörler

Bu tip transformatörlerde yalıtkanlığı sağlamak için izalasyon yağı kullanılır. Yağlı tip transformatörler elektrik santralleri, dağıtım merkezleri, şantiyeler ve trafo merkezleri gibi birçok alanda kullanılırlar. Dahili ve harici olarak kullanılabilen bu tipteki transformatörler 36 kV sistem gerilimine kadar imal edilirler. Yağlı transformatörlere genellikle yüksek gerilimlerde ihtiyaç duyulur. Tipik bir yağlı transformatör Resim 3.8a’da verilmiştir. Öte yandan yağlı transformatörlerin kuru tip akım transformatörlerine göre, terleme veya yağ sızıntısı yapmak suretiyle kirlenme gibi bir dezavantajından söz edilebilir.



Resim 3.8: a) Yağlı tip transformatör.



b) Kuru tip transformatör.

Yağlı transformatörlerin hermetik ve genleşme depolu olmak üzere iki çeşidi vardır. Hermetik tipteki transformatörlerde hermetik basınç ayarıyla atmosfere kapatılmıştır. Bunlar bakım gerektirmezler. Kazanın yapısı sayesinde yağın genleşmesi kontrol altına alınmıştır. Dalga duvarların vasıtasıyla işi dışarı iletilir ve genleşen yağı da absorbe ederler. Hermetik tipte genleşme deposu olmadığından dolayı daha az yüksekliktedirler. Böylece küçük alanlarda montaj yapılabilir. İçlerindeki yağ oksijenle temas etmediğinden oksitlenmezler.

Genleşme depolu trafolar ise hermetiklerin aksine yağ atmosferle temas halindedir. Bu nedenle bu tipteki transformatörlerin bakımı periyodik olarak yapılmalıdır. Ömürleri hermetiklerle karşılaştırıldığında daha kısadır.

Kuru Tip Transformatörler

Sargıları ve manyetik devreleri yalıtıcı bir sıvı içinde bulunmayan, iletken kısımları birbirinden ve şaseden katı yalıtkan malzemeler kullanılarak yalıtılmış transformatörlerdir. Sargıları epoksi reçine örtülmüştür. Soğutma ortamı havadır. Resim 3.8b’de gösterilen kuru tip trafoların yağlı transformatörlerden başlıca farkı sargıların ve manyetik devrenin yalıtıcı sıvıya batırılmamış olmasıdır.

Kuru tip transformatörlerin neme karşı dayanımı çok yüksektir. Bu nedenle %100 nemli ortamlarda bile çalıştırılmasında sakınca bulunmamaktadır. Genellikle alçak gerilimde kullanılan kuru tip transformatörler sargı yapısı nedeniyle oluşabilecek kısa devrelere karşı çok yüksek dayanıklılık gösterir. Bakıma ihtiyaç duyacak herhangi bir parçası olmadığından fabrika ömrü boyunca bakım gerektirmezler. İşletme masrafları yok denebilecek kadar azdır. Alışveriş merkezleri, fabrikalar, hastaneler, hava alanları gibi enerjinin kesilmemesi gereken bakım için zaman kaybının olmasının istenmediği yerlerde kullanılır.

ŞALT SAHASI VE TRANSFORMATÖR MERKEZİ DONANIMLARI

Şalt sahası ve transformatör merkezlerinde elektrik enerjisinin abonelere kesintisiz ve güvenli şekilde iletimi ve dağıtımı için birçok donanım kullanılır. Bu kısımda bunlardan başlıcaları ele alınacaktır.

Parafudurlar

Parafudurlar yüksek gerilim hatlarında bir nedenle (hat arızaları, ani gerilim yükselmeleri, yıldırım düşmeleri vb.) oluşabilecek yüksek gerilimin enerji iletim hattına zarar vermesini engellemek amacıyla kullanılan koruma elemanlarıdır. Resim 3.9’da görülen parafudurlar, yüksek gerilim hattı ile toprak arasına bağlanırlar. Paratonerlere benzer şekilde aşırı gerilimi toprağa iletirler. Normalde yalıtkan olan parafudurlar aşırı gerilim oluşması esnasında üzerlerinden büyük akımlar geçirirler ve aşırı gerilim ortadan kalktıktan sonra yine yalıtkan hallerine geri dönerler.



Resim 3.9: Parafudurlar.

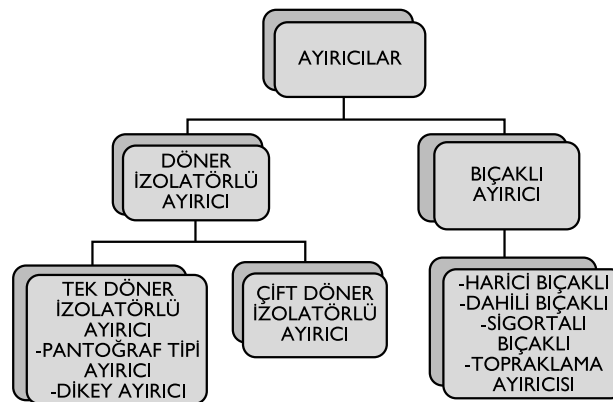
Parafudurlar hem alçak gerilimlerde hem de yüksek gerilimlerde kullanılabilir. Yüksek gerilim parafudurları trafo merkezlerinin, salt sahalarının, yüksek gerilim kablolarının aşırı gerilimlerden korunması için kullanılır. Parafudurların boyutları ile kullanılan gerilimin büyüklüğü doğru orantılıdır. Yüksek gerilimlerde daha büyük parafudur kullanılır. Yapılışlarına göre metal oksit, değişken dirençli, borulu ve deşarj tüplü gibi çeşitleri olan parafudurların yerlerinin belirlenmesi önemli bir konudur. Yanlış yerleştirilen parafudurlar sisteme faydadan çok zarar verir. Parafudurlar koruyacakları elektriksel sisteme paralel olarak toprak ile faz arasına bağlanırlar. Bir koruma ve güvenlik elemanı olan parafudurlar kitabınızın 7. Ünitesinde daha ayrıntılı olarak incelenecektir.



Her ne kadar parafudur ile paratonerin işlevleri birbirine yakın gibi olsa da bu iki eleman birbirlerine karıştırılmamalıdır. Parafudur genellikle akım taşıyan şalt sahası elemanlarını, yüksek gerilimden koruyan eleman iken paratoner ise köprü, kule, minare gibi yüksek yapıları, elektrik santralleri, büyük işletmeleri yıldırımdan korumak amacıyla kullanılan bir tesisattır.

Ayrıcılar

Ayrıcılar hatta akım kesildikten sonra yüksüz iken devreyi açmaya yararlar. İletim hattında akım varken açma kapama manevrası yapamazlar. Ayrıcıların yüksüz durumda devreyi açıyor olması devreyi izole etme amaçlıdır. Hattaki akımı kesemezler. Kullanım amaçları sistem bakımı ve yenilenmesidir. Ayrıca akım yönlendirmesi gerektiğinde de kullanılırlar. Ayrıcılar genelde kesicilerle birlikte kullanılırlar. Arıza olan bir yerde bakım çalışması akımı kesmek için önce kesici açılır. Kesici açıldığında devrede hala yük altında bulunan şalt malzemeleri olabilir. Bu nedenle devrenin tamamen izole edilmesi ve güvenle bakım çalışması yapılabilmesi için ayırıcı da açılmalıdır. Ayrıcılar yük altında açılırlarsa açığa çıkacak ark ayırıcıyı tahrip eder ve devreyi açan kişiyede fiziksel zarar verir verebilir.



Şekil 3.2: Ayrıcıların çeşitleri.

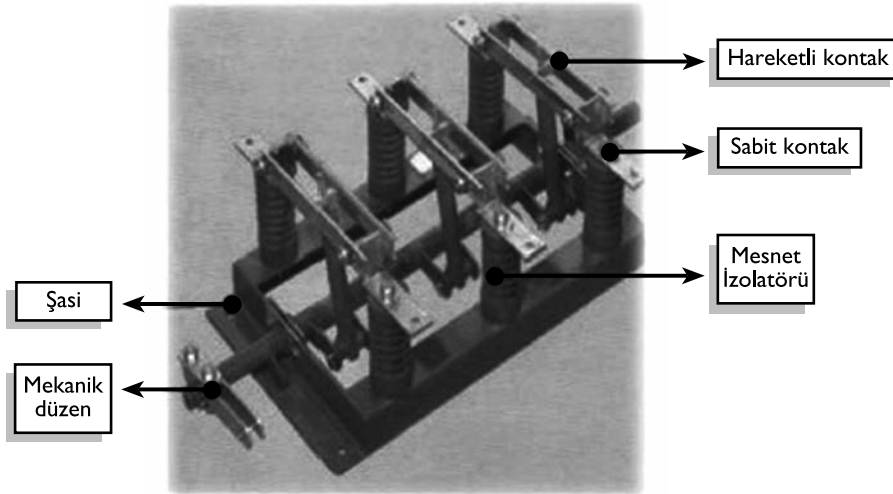
Genel olarak bir ayırıcı; şase, mesnet izolatörleri, sabit kontaklar, hareketli kontaklar, mekanik düzen, kilit tertibatı ve yaylardan oluşur. Orta ve yüksek gerilimlerde kullanılan ayırıcılar, kullanıldıkları yere, gördükleri görevlere ve kumanda şekillerine göre çeşitli sınıflara ayrılabilir. Şekil 3.2’de ayırıcıların çeşitleri gösterilmiştir.



Ayırılar uygulamada seksiyoner olarak da bilinir.

Bıçaklı Ayırıcılar

Hareketli kontakları bıçak şekline benzediğinden dolayı bu isimle anılan ayırıcılar bina içine veya dışına monte edilebilir. Bıçaklı ayırıcıların hareketli üç tane kontağı vardır ve bunlar aynı anda açılıp kapanırlar. Motor veya elle kumandalıdır. Resim 3.10’da tipik bir bıçaklı ayırıcı görülmektedir.



Resim 3.10: Bıçaklı ayırıcı (Kaynak: <http://megep.meb.gov.tr>).

Yapısına göre üç tip bıçaklı ayırıcı vardır. Dahili bıçaklı ayırıcılar şalt binalarında kullanılacakları yere göre duvar veya saç hücreler üzerine monte edilirler. Mekanik kumanda kolu hücre dışında emniyetli bir yerde durur. Sigortalı olabilirler. Harici bıçaklı ayırıcılar, açık hava şartlarında, şalt tesislerinde kullanılırlar. Kumanda kolu ayakta duran bir kişinin açıp kapamasına uygun olması gerekir. Sigortalı bıçaklı ayırıcılar ise devrelerdeki arızaları şebekeye yansıtmayan ve aşırı akımda sigortasını attırarak devreyi açan ayırıcı çeşididir. Bina içinde ve dışında kullanılırlar.

Döner İzolatörlü Ayırıcı

Bu tipteki ayırılar 60, 154, 220, 380, ve 800 kV gibi yüksek ve çok yüksek gerilimli trafo merkezlerinde kullanılırlar. Çoğunlukla harici tipleri kullanılır. Ama bina içlerindeki yüksek gerilim trafo merkezlerinde de kullanılabilir. Hareketli kontaklarla bağlantılı olan izolator kendi eksenini etrafında belli açılarda döndürülebilir. Tek döner izolatörlü ayırıcı ve çift döner izolatörlü ayırıcı olmak üzere ikiye ayrılır.

Tek döner izolatörlü ayırıcılarda izolatorlerden biri kendi eksenini etrafında dönebilir. Döner izolatörü ortada olan ve döner izolatörü kenarda olan iki tipi vardır. Çift döner izolatörlü ayırıcılarda ise her iki izolator de kendi eksenini etrafında 90 derecelik açıyla dönebilir ve bu dönme hareketiyle ayırıcı açılıp kapanır. Bunlar kış mevsiminde buz tutan kontakları kolayca kırıp açmak için kullanılır.

Dikey Ayırıcı

Yakından ve uzaktan kumanda edilebilirler. Döner izolatörü kenarda olan ayırıcının hareketli kontağı yekparedir ve ayırıcı açıkken yere dik durur.

Pantograf Ayırıcı

Döner izolatörler kenarda bulunur. Motor ile uzaktan veya yakından çalıştırılabildiği gibi elle mekanik olarak da çalıştırılabilir. Hareketli kontağın çalışma düzenine göre hareketli kontağı yatay veya dikey çalışan olmak üzere iki çeşidi vardır.

Hareketli kontağı yatay çalışan pantograf ayırıcı, hareketli mekanizma mesnedi ve kumanda mekanizması ile karşısında sabit kontağı taşıyan mesnet izolatöründen oluşur. Resim 3.11a’da bir örneği verilen bu tipteki ayırıcılar uzaktan ve yakından kumanda edilebilir.



Resim 3.11 a) Yatay pantograf tipi ayırıcı.

b) Düşey pantograf tipi ayırıcı

Resim 3.11b’de görülen hareketli kontağı düşey çalışan pantograf ayırıcı sabit dış kontak bara iletkenine bağlıdır. Bu yüzden sabit kontağı taşıyan mesnet izolatörü ve kaidesi yoktur. Tek mesnet üzerine monte edilmiştir. Uzaktan ve yakından kumanda edilebilir.

Ayırıcıların görevlerine göre; hat ayırıcısı, bara ayırıcısı, toprak ayırıcısı, by-pass ayırıcısı, transfer ayırıcısı, bara bölümleyici ayırıcılar olmak üzere altı çeşidi vardır. *Hat Ayırıcısı*, enerji nakil hatlarında kesici ile beraber kullanılır. Hat arasına bağlanır. Kesici açıkken açma kapama yapma imkânı verir. *Bara Ayırıcısı*, enerji nakil hatlarının baralara girişinde ve çıkışında kesici ve bara arasında bağlantı yapar. Kesici açıkken açma kapama yapma imkânı verir. Resim 3.12’te görülen *topraklama ayırıcısı*, enerjisi kesilen hatların veya devrelerin topraklaması amacıyla kullanılır. Ancak birlikte kullanıldığı kesici ve ayırıcı açıldıktan sonra kapatılabilir. Hatta akım varken kapatılmamalıdır.



Resim 3.12: Topraklama ayırıcısı.

Diğer bir ayırıcı çeşiti olan *by-pass ayırıcısı*, kesicinin yenilenmesi ya da arızasının tamir edilmesi gerektiği durumlarda baraya enerji vermeye yarar. Birlikte kullanıldığı kesici kapalıyken açıp kapatılabilen ve kesiciye paralel olarak bağlanan ayırıcılardır. *Transfer ayırıcısı*, çift bara sisteminde ana bara ile yedek bara arasındaki bağlantıyı sağlayan ayırıcılardır. Birlikte kullanıldığı kesici kapalı iken açılıp kapatılan ayırıcılardır. Fiderin kesici ve ayırıcıları arıza yaparsa ya da bakıma alınırsa enerjinin sürekliliğini sağlamak için transfer bara üzerinden fiderin beslenmesi sağlanır. *Bara bölümleyici ayırıcı* ise bir barayı iki kısma ayırmak ya da birleştirmek için kullanılan ayırıcıdır.

Kesiciler

Kesiciler orta ve yüksek gerilim şebekelerinde yük akımını ve kısa devre akımlarını kesmeye yarayan elektrik aletleridir. Devreyi boшта, yükte ve kısa devre halinde açıp kapayabilirler. Ayrıca otomatik kumanda yardımıyla açılıp kapanmasına imkân verirler. Böylece insanlara bir zarar vermeyip alçak ve yüksek gerilim cihazlarında bir hasar ortaya çıkma riskini en aza indirirler. Hızlı hareket ederler ve ark söndürebilirler. Enerji kesilmek istendiğinde önce kesici sonra ayırıcı açılmalıdır.

Kesicilerin Görevleri

Kesicilerin kontakları kapalı durumda iken elektrik güç akışını sağlamakla, kontakları açıkken ise güç akışını durdurmakla görevlidirler. Güç akışını kontak elemanları arasındaki teması sağlayarak, durdurmaya ise kontaklar arasındaki elektriksel iletimi keserek yaparlar. Kesicilerin görevleri çok önemli ve zordur. Örneğin uzun süre kontakları kapalı kalmış bir kesiciden aniden açılmasını beklemek zordur fakat bunu yapabilmesi çok önemlidir. Çünkü yüksek gerilim altındaki bir devrenin enerjisini keserek devreyi açmak büyük bir ark oluşturur. Oluşan bu ark kısa sürede ve emniyetli bir şekilde söndürülmediği takdirde çok tehlikelidir.

Kesicilerin en önemli görevi ise kısa devre anında en kısa sürede devreyi açıp arızayı temizlemektir. Son zamanlarda elektrik sisteminin kısa devre akımları dolayısıyla kısa devre güçleri gittikçe büyümüş ve kesicilerin isleri de zorlaşmıştır. Örneğin kısa devre açma güçleri eskiden 1000 MVA iken, bu değer günümüzde 50000 MVA 'e kadar çıkmıştır. Bu cihazlar yük altındaki devredeki arkı söndürebilirler. Ayrıca arıza durumlarında devreyi açma kesicilerin önemli bir görevidir. Kesiciler arızalı devre elemanının olduğu yerde açılır ve arızalı devre elemanının enerjisi altında kalarak zarar görmesini engeller.

Ark Oluşumu

Kesiciler her zaman alternatif akım sıfırdan geçtiğinde devreyi açabilseydi kontaklar arasında bir ısınma meydana gelmeyecekti. Ancak kesicilerin kontaklarının açılması çok yüksek hızda olamadığından bu sorunla karşılaşmamak imkânsızdır. Alternatif akımının bir periyodu 20 ms olduğu düşünülürse, günümüzdeki kesicilerin açma periyodu alternatif akımın periyodunun bir kaç katıdır. İdeal açma zamanı yarım periyoda eşit olmalıdır ve bu zamandan daha hızlı bir işlem yapılırsa bu kez devrede istenmeyen bir aşırı gerilim oluşur.

Doğru akımda ve alternatif akımda ark oluşumu birbirinden farklıdır. Alternatif akımda gerilim sürekli değiştiğinden dolayı ark kesik kesik yanıp sönmeye şekline gözüktür. Arkın meydana gelmesi kesicileri zorlar ve ark devam ederse kesiciler görevlerini yapamazlar. Çünkü ark elektrik akımıdır ve kesicinin görevi bu kısa devre akımını durdurmaktır. Ancak kontaklar arasındaki gerilimin değeri 300 V'dan küçükse ark hiç oluşmayabilir.

Akım arkı kesmeden bitirilemez. Bu yüzden de arkı söndürmek için arkı inceltip zayıflatmak gerekir. Bu ark yolunu uzatarak yapılır. Bu sayede ark akımı düşer, ark sıcaklığı azalır ve arkın enerjisi iyonize olayını gerçekleştirmek için yetersiz kalır. Sonuç olarak arkın bitirilebilmesi için kontaklar arası mesafe çok iyi hesaplanmalıdır. DC akımdaki ark AC'deki arkta daha zor kesilir çünkü AC'de akım azalırken DC'de hep sabit kalacaktır.

Arkın Söndürüldüğü Ortama Göre Kesiciler ve Özellikleri

Arkın söndürüldüğü ortama göre kesicilerin; yağlı kesiciler, az yağlı kesiciler, havalı kesiciler, basınçlı havalı kesiciler, SF₆ gazlı kesiciler ve vakumlu kesiciler olmak üzere altı tipi vardır. Bu kısımda anılan kesicilerin özelliklerinden ve kullanım alanlarından bahsedilecektir.

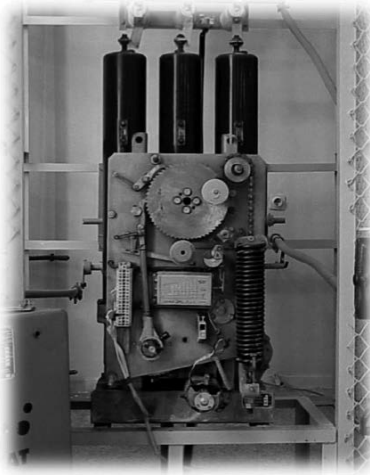
Yağlı Kesiciler

Yağlı kesiciler yüksek gerilimde kullanılan ilk güç kesicileridir. Bu kesiciler, içerisinde kesici kontakların bulunduğu çelik bir kaptan oluşur. Kesicide bulunan yağ hem yalıtımı sağlar hem de oluşabilecek arkı önler. Kontaklar açılınca bu açılma aralıklarında ark meydana gelir. Bu arkın neden olduğu 4000 ila 8000K civarındaki yüksek sıcaklık ark çevresindeki yağı oldukça kısa bir zamanda buharlaştırır ve onu kimyasal olarak parçalar. Bu parçalanmanın esas ürünü olarak hidrojen açığa çıkar. Yağı buharlaştırmak için gerekli enerjiyi ark sağladığından ark soğur. Bunun sonucunda da ark gerilimi yükselir ve artık ark söndürülebilir duruma gelir.

Yağlı kesiciler hem basit yapılıdır hem de kullanımları kolaydır. 230 kV 'luk bir kesiciye 50000 litre yağ gerektiği gözönüne alınırsa bu kesicilerde yağ değiştirme işleminin çok maliyetli olduğu kolaylıkla anlaşılır. Bu yüzden yağlı kesiciler imal edilmemektedir ve kullanılmamaktadır. Kullanılan yağ miktarından anlaşılacağı üzere tam yağlı kesicilerin boyutları çok büyüktür.

Az Yağlı Kesiciler

Bu kesici çeşidi alçak gerilim ve yüksek gerilim kademelerinde kullanılırlar. Resim 3.13'de bir örneği görülen az yağlı kesicilerde, yağlı kesicilerden farklı olarak sadece söndürme odasında yağ bulunur. Açma anında hareketli kontak sabit duran kontakten ayrıldığı anda bu iki kontak arasında ark oluşur. Oluşan bu ark, ark hücreğine girer. Arkın ısı etkisinden dolayı kesici içerisindeki yağda yanmalar meydana gelir. Yanma sonucunda oluşan gaz kesici içindeki basınç dengeleme odacığına girmesiyle oluşan basınç yağı arkın üzerine iterek meydana gelen arkı söndürür.

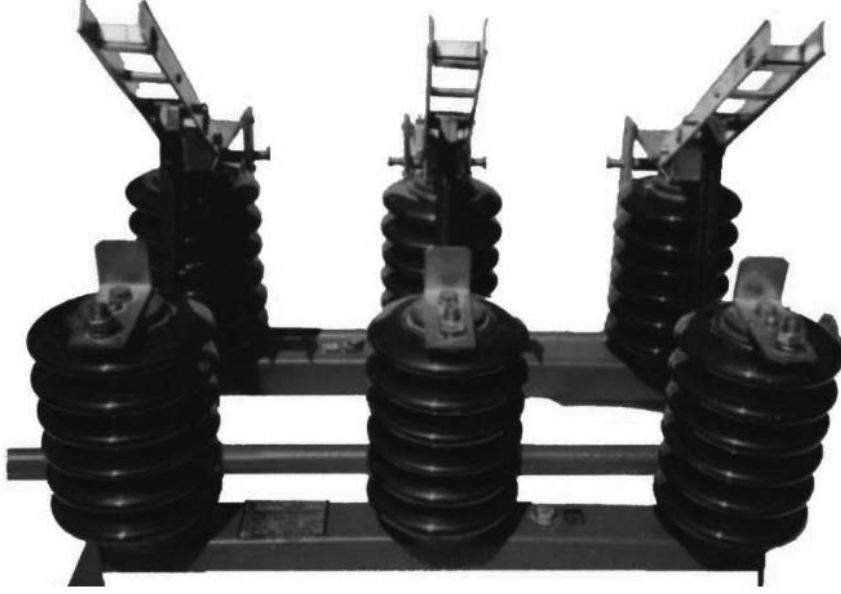


Resim 3.13: Az yağlı kesici.

Az yağlı kesicilerin boyutları tam yağlı kesicilere göre daha küçüktür. Daha az yer kaplayıp fiyatları tam yağlı kesicilere göre ucuzdur. Montaj edilebilmeleri kolay ve kullanımları basittir. Yağlı kesicilere göre daha az yağ kullanılır. Az yağlı kesiciler endüktif ve kapasitif akımları kesmede başarılıdır.

Havalı Kesiciler

Havalı kesicilerde ark direnci artırılarak ark söndürülür. Bu işlem için ark boynuzları, ark dilimleyicileri ve mıknatıslı sigorta birimleri bulunur. Ark boynuzu, oluşan arkın boyu uzatılarak direnci artırılır ve ark söndürülür. Resim 3.14'te görülen bu kesici çeşidi genelde yüksek güçlü trafoların başlarında kullanılır. Havalı kesicilerin maliyetleri çok değildir ve sistemleri oldukça kolaydır. Az bakım gerektirirler. Aynı kesici kullanılarak bakım yapmadan daha fazla açma kapama yapmak mümkündür. Bu kesiciler eskiden kullanılan modellerdir ve artık uygulamadan kalkmışlardır. Yangın riskleri vardır ve çalışanları tedirgin eder. Yüksek gerilime uygun değildirler. Doğru akımda ise kesmeyi zorlaştırırlar.



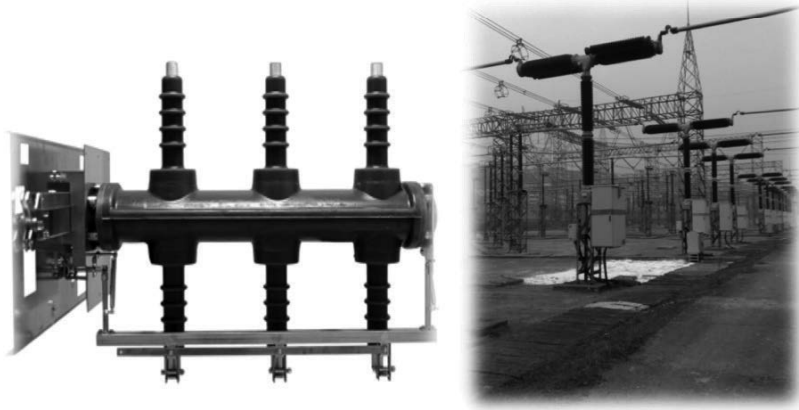
Resim 3.14: Havalı kesici.

Basınçlı Havalı Kesiciler

Bu tür kesiciler, açma olayında oluşabilecek arkın üzerine hava üfleyerek arkı söndürürler. Havalı kesicilerde temel ark söndürme ilkesi arkın direncinin artırılmasıdır. Bu kesicilerde yüksek basınç sağlamak için kompresöre ihtiyaç duyulur. Kompresör için ayrı bir düzenek gerektirmesi ve gürültülü çalışması dezavantajları arasında sayılabilir. Ayrıca bu tür kesicilerde maliyet, kompresör ve hava tankı gibi ihtiyaçlar olduğundan çok yüksek olmaktadır. 11 kV ile 1100 kV gerilimleri arasında kullanılmaktadırlar. Genel olarak yüksek gerilimlerde SF₆'lı kesici kullanıldığı için basınçlı kesiciler sadece 245 kV ve üstü için kullanılırlar. Çok hızlı açma kapama yapabilirler. Bunun sonucunda oluşan ark bir çevrimde söndürülebilir. Montajları ve bakımları kolaydır. Bu alanda yapılan deneyler basınçlı havalı kesicilerin yüksek gerilimde kullanımının daha uygun olduğunu ortaya koymuştur.

SF₆ Gazlı Kesiciler

Bu tür kesiciler hacimleri küçük olduğundan kapalı mekânlarda kullanılabilirler. SF₆'lı kesicilerin yalıtım sınıflarına göre hava yalıtımlı ve gaz yalıtımlı olmak üzere çeşidi vardır. Kesme hücresi yüksek basınçlı silindirik şeklinde bir kap ve biri sabit olmak üzere iki hareketli kontaklı oluşur. Kesme ortamı 1,5 ile 6 bar basınçlı SF₆ (sülfür hekza florür) gazıdır. Kesici içinde yüksek sıcaklıklarda zehirli gazlar ortaya çıkabilir. Kesicide oluşabilecek arkı söndürmek için ark üzerine basınçlı hava üflenir. Böylelikle ark soğutulur ve ark söner. SF₆ gazı kokusuz ve zehirsizdir. Yanma özelliği yoktur. Dielektrik dayanımı da çok yüksektir. SF₆ kesicinin gerilim dayanımı basınçlı havalı kesicilere göre daha yüksektir. Kesme işleminin ardından daha yüksek gerilimlere dayanır bu da SF₆'lı kesicilerin en önemli avantajıdır. Resim 3.15'te görülen bu kesicilerde kaza riski çok düşüktür ve kullanımları da oldukça basittir.



Resim 3.15: SF₆ gazlı kesiciler.

Vakumlu Kesiciler

Vakum tekniğinde elektrik arkı, havası tamamen boşaltılmış vakum ortamında bir hücrenin içerisinde söndürülmektedir. Söndürmede ana kontaktların ayrılmasıyla başlayan elektrik arkı hava boşluğunda iyonizasyona neden olmamaktadır. Kontaktlar ayrılırken ark üzerindeki akım sıfırlanır. Akım sıfırlanınca ark söner ve arkın sönmeye esnasında oluşan maden buharı kontaktlar üzerinde yoğunlaşır. Yüksek vakumdan dolayı maden buharı ark bölgesine doğru ilerler ve bu sayede ortam yalıtılır. Kontaktların ayrılması sonucunda oluşan metal buharı plazması içerisinde elektrik arkı çok kısa süre akar ve ilk sıfır noktası geçişinde kesilir. Vakumlu kesiciler anahtarlama anında oluşan arkları en iyi söndüren kesicilerdir. Vakum arkı ise ark tamamen sönmeye kadar çok düşük değerde bir ark gerilimi oluştururlar.

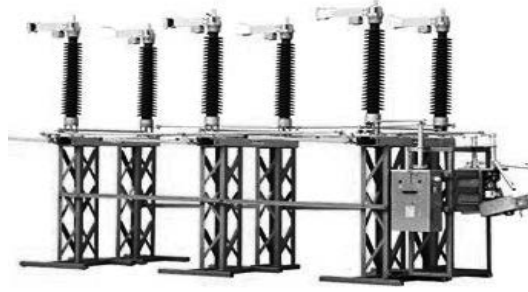
Vakumlu kesiciler tam anlamıyla bakımsızdırlar. Vakumlu kesicilerin güvenilirlikleri çok yüksektir. En az 20 seneye kadar işletme için bakım gerektirmezler. Sadece birkaç senede bir kesicinin belirli yerlerinin yağlanması yeterlidir. Vakumlu kesici mekanizmasının çalışması için çok düşük bir enerji yeterlidir. Sonuçta ark söndürme ortamı, bakım gerektirmeme gibi özellikleri düşünüldüğünde bunlar yüksek gerilimli hatlar için ideal kesicilerdir. 2000’li yıllardan sonra fiyatının düşmesiyle vakumlu kesicilerin kullanım oranı çok artmıştır. Bugün itibarıyla orta gerilim dünya pazarında vakumlu kesicilerin kullanımı %70’lere yaklaşmıştır. Resim 3.16’da tipik bir vakumlu kesici verilmiştir.



Resim 3.16: Vakumlu kesici.

Kullanılan Gerilime Göre Kesiciler

Kullanılan gerilime göre kesiciler, orta gerilim kesicileri ve yüksek gerilim kesicileri olmak üzere ikiye ayrılırlar. *Orta gerilim kesicileri*, standart anma gerilimleri IEC'ye göre 1-6-7,2-12-17,5-24-36 kV olan kesicilerdir. Resim 3.17a’da bu türdeki bir kesici görülmektedir. *Yüksek gerilim kesicileri* ise standart anma gerilimleri IEC'ye göre 52-72,5-100-123-145-170-245-300-362-420-525-765 kV olan kesicilerdir. Resim 3.17b’de bir yüksek gerilim kesicisi verilmiştir.



Resim 3.17: a) Orta gerilim Kesici.

b) Yüksek gerilim kesici.

Kesici Seçiminde Dikkat Edilecek Özellikler

Kesici seçiminde dikkat edilmesi gereken temel özellikler aşağıda maddeler halinde sıralanmıştır.

Anma gerilimi: Bir kesicinin anma gerilimi bağlandığı noktada oluşabilecek en yüksek gerilimden küçük olmamalıdır. Ülkemizde genellikle 17,5-72,5-170-245-420 kV anma gerilimli kesiciler kullanılmaktadır.

Anma frekansı: Bu değer kesicinin olduğu şebekenin frekansıdır ve çoğunlukla 50 Hz 'dir.

Sürekli anma akımı: Kesicilerin zarar görmeden sürekli olarak taşıyabildiği akımın etkin değeridir.

Darbe kısa devre akımı: Kesicinin dayanabileceği darbe kısa devre akımının maksimum değeri olarak tanımlanır.

Açma süresi: Bu değer kesicinin kapalı olduğu anla ark kontaklarının tamamen açılmasına kadar geçen süreyi ifade eder.

Kesme süresi: Açma süresinin başlangıcı ile ortamın iyonizasyon olması sırasında geçen süredir.

SIRA SİZDE



Ayrıcı ve kesici arasında ne fark vardır?

Bara Sistemleri

Bara, aynı frekansa ve gerilime sahip olan elektrik enerjisinin dağıtıldığı ve toplandığı ünedir. Bu sistemler aslında elektrik enerjisini kontrol ve kumanda eden mekanizmaları birbirine bağlayan iletkenler olup alüminyum veya bakır gibi değişik metallere yapılır. Bununla birlikte bakır baraları aynı boyut ve özelliklere sahip alüminyum baralara göre dörtte bir oranındaki daha fazla akım ile yüklemek mümkündür. Ayrıca bakır baraların alüminyum baralara göre mukavemetleri de daha fazladır. Bara; alüminyum veya bakır boru, alüminyum veya bakır lama, çelik özlü alüminyum iletken(St-Al) olabilir. Bunlardan lama şeklindeki baralar dâhili tesislerde kullanılırken boru veya iletken baralar ise harici tesislerde kullanılırlar. Dâhili tesislerde kullanılan baralar, akım yoğunluğunu artırıp soğutmayı sağlamak ve faz sıralarını belirleyerek malzemelerin oksitlenmesini önlemek amacıyla farklı renklerde boyanırlar (R-Kırmızı, S-Sarı, T-Mavi). Resim 3.18’de çeşitli baralar gösterilmiştir.



Resim 3.18: Çeşitli baralar.

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin iletim ve dağıtım tesislerine aktarılması baralar yardımıyla gerçekleşir. Bu nedenle baralar elektrik üretim santrallerinde, şalt sahalarında, trafo merkezlerinde, tablo ve panolarda, ölçme merkezlerinde kullanılır. Bara seçiminde en önemli ölçüt ısınmadır. Bu nedenle taşınacak akıma uygun bir kesit seçilmelidir.

Bara Çeşitleri

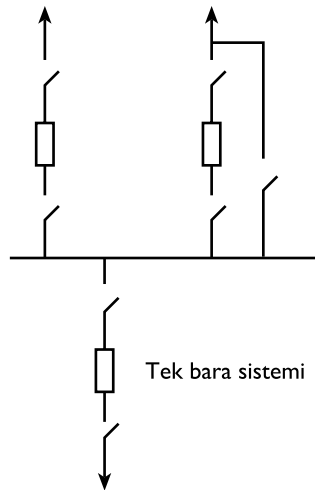
İletim ve dağıtım şebekelerinde kullanılacak bara çeşitlerinin tespit edilmesinde; yükün miktarı ve cinsi, enerji üretim kaynaklarının sayısı, kullanılacağı yerin özelliği ve enerjinin sürekliliği dikkate alınmalıdır. Bara sistemlerini,

- Tek bara sistemi
- Çift bara sistemi
- Yardımcı bara sistemi
- Santral içi ihtiyaç baraları

şeklinde sınıflandırmak mümkündür.

Tek Bara Sistemi

Tek bara sistemi enerjinin sürekliliği sağlanamayacağından dolayı emniyetli değildir. Bu yüzden ucuz olmasına rağmen kullanılmaz. Giriş ve çıkışların aynı baraya müşterek olarak bağlandığı bara türüdür. Şekil 3.3'te tek bara sistemi gösterilmiştir.



Şekil 3.3: Tek bara sistemi.

Çift Bara Sistemi

Ark ocakları, demir çelik fabrikaları gibi büyük tesislerin kullandıkları elektrik enerjisinin sürekliliğini sağlamak amacıyla kullanılır. Bu sistemde güç trafoları aynı baradan beslenir ve gerekli olduğunda her iki barayı paralel bağlayabilir. Enerjinin sürekliliğinin önem arz ettiği sistemlerde çift baralı sistemler kullanılır. Çift baralı sistemlerde ana bara çalışırken transfer barayı besleyen ayırıcılar açık haldedir. Anabaradan transfer baraya enerji aktarımı için transfer bara ayırıcıları kapatılır. Ayırıcıların açılıp kapatılmasında sorun çıkmaması için biri açıldığında diğeri kapanabilen ayırıcıların kullanılması gerekir.

Yardımcı Bara Sistemi

Enerjiye çok sık açma kapama yapıldığı sistemlerde bu bara çeşidi iş görür. Bu sistemlerde iki ana bara ve bir de yardımcı bara ile birlikte toplam 3 adet bara kullanılır. Yardımcı bara sisteminde bir tanesi yedek olmak üzere dört adet kesici kullanılır. Kesicilerden bir tanesi arıza yaptığı zaman yedek kesici devreye girer ve böylelikle enerjinin devamlılığı sağlanır.

Santral İçi İhtiyaç Baraları

Santrallerindeki elektrik üretimin sürekliliğinin sağlanabilmesi için yardımcı ünitelerin daima devrede olması gerekir. Bu nedenle yardımcı ünitelerin kullandığı elektrik enerjisinin devamlılığı da büyük önem taşır. Örneğin bir termik santraldeki yardımcı üniteler; kömür değirmeni, ızgara, yakıt ısıtma sistemleri, konveyör bantları ve kazan suyu besleme pompalarıdır.

Santraller normal işletme şartlarında çalıştığı sırada yardımcı ünitelerin çalışması için gerekli olan enerji ana baradan karşılanır. Santral içi ihtiyaç baraları, elektrik enerjisinin sürekliliğini sağlamak için kurulur. Elektrik üretiminin herhangi bir nedenle kesintiye uğraması durumunda santralin tekrar devreye alınması gerekir. Bu durumda gerekli enerji santral içi ihtiyaç baralarından sağlanır. Enerjinin devamlılığı ana ve yardımcı baralar arasında transfer yapılarak sağlanır.

Panolar ve Ölçüm Sistemleri

Trafo direğinin yanında bulunan ve tesisin tükettiği elektrik enerjisinin ölçümünün yapıldığı kısma *pano* denir. Ölçme işlemini yapan sayacın bulunmasından dolayı sayaç panosu da denilmektedir. Ölçüm panosunda üç ana bölüm vardır. Bunlar, sayaç bölümü, sabit kompanzasyon bölümü, şalter bölümüdür. Sayaç bölümü ve sabit kompanzasyon bölümü mühürlenmektedir. Alçak gerilim ölçüm panosunda kullanılan malzemeler; baralar ve mesnet izolatörleri, akım trafoları, akım ve gerilim klemensler, ana şalter, ampermetreler, elektrik sayacı, sabit kompanzasyon kondansatörü, anahtarlı otomatik sigortalar şeklinde sıralanabilir.

Sayaçlar

Elektrik sayaçları, üretilen veya tüketilen elektrik enerjisi miktarını ölçen aletlerdir. Elektrik enerjisi miktarı Watt-saat (Wh) olarak belirtilir. Bu da watt olarak çekilen güç ile saat olarak bu gücün çekildiği zamanın çarpımını gösterir. Pratikte enerji birimi olarak daha çok Wh'in 1000 katı olan kilowatt-saat (kWh) veya 1000 000 katı olan Megawatt-saat (MWh) kullanılır. Sayaç bir tarafından wattmetre gibi bağlı olduğu devrenin gücünü ölçerken diğer taraftan zaman içinde değişen bu güçlerin zamanla çarpımlarını toplayıp kWh veya MWh olarak kaydeder. Direk tipi trafo ölçüm panosunda kullanılan elektrik sayacı, kombi tipinde yani 3 fazlı aktif, endüktif ve kapasitif enerjiyi beraber ölçme özelliği olan harici elektronik sayaçtır.

Bir Fazlı (Monofaze) Aktif Sayaçlar

Bir fazlı sayaçlar özel haller dışında devreye direk, ölçü trafosuz bağlanırlar. Devreye doğrudan bağlanan sayaçlarda akım giriş ucu ile gerilim giriş ucu genellikle bir mandal vasıtası ile irtibatlanır. Böyle bağlanan sayaçlarda sayacın ters dönme hatası olmaz. Tek fazlı sayaçların devreye bağlanmalarında akım bobinine faz iletkenin gelmesini sağlamak dikkat edilecek edilecek en önemli özelliktir. Kullanıldığı yerler genelde konut ve benzeri gibi az enerji tüketen yerlerdir. Eğer daha büyük akım çeken devrelere

bağlanacaklarsa yanlarında akım trafosu da bağlanmalıdır. Yüksek gerilim hatlarında akım ve gerilim trafoları ile birlikte bağlanmalıdırlar.

Üç Fazlı Dört Telli Aktif Sayaçlar

Bir fazlı üç sayaç elemanının, 3 disk'i de aynı mil üzerinde bulunur. Mile bağlanmış halde bir tane kaydedici vardır. 3 Fazlı 3-4 telli devrelerde, genelde alçak gerilimde kullanılırlar. Dengeli-dengesiz yüklerde en sağlıklı ölçmeyi yapan sayaçlardır. Üç faz dört telli bir sayacın devreye doğrudan bağlantısında faz sırası önemli olmamakla birlikte her ünitenin akımının doğru girişi ve akıma ait faz geriliminin aynı üniteye bağlanması dikkat edilecek özelliklerdir. 100 A 'e kadar direk olarak daha büyük akımlarda ise akım trafoları ile birlikte kullanılırlar. Yükleme faz açısının endüktif kapasitif olması ya da faz sırasının değişmesi ölçmenin doğruluğunu etkilemez.

Bir Fazlı Reaktif Sayaçlar

Bir fazlı reaktif sayaçlar, tüketilen enerjiyi yük acisinin sinüsü ile orantılı kaydederler. Endüktif reaktif yükler için yapılmış bir sayacı kapasitif reaktif sayaca çevirmek istenirse akım veya gerilim bobininin uçları değiştirilir.

3 Fazlı Reaktif Sayaçlar

3 Fazlı 3-4 telli sistemlerde dengeli-dengesiz sistemlerde kullanılırlar. Bu tür sayaçlarda gerilim bobinlerine, faz gerilimlerine göre (90°) geri fazdaki fazlararası gerilimler uygulanır. 2. akım bobinlerinden ters polaritede geçen akımlar, akım elektromagnet akılarını $\sqrt{3}$ kat büyütür ve ileri faz akım elektromagnetliği akışını (30°) ileri faza kaydırırken diğerini ise (30°) geri faza kaydırır.

Kumanda Elemanları

Elektrik tesislerinde akım ve gerilimi kontrol etmek ve sorunsuz bir şekilde kontrolü sağlamak amacıyla kumanda elemanları kullanılır. Kullanılan bu kumanda elemanları; kontaktör, aşırı akım rölesi ve zaman rölesidir.

Kontaktör

Aşırı yüklenme durumları dâhil, normal şartlarda akımı kapatma, taşıma ve kesme özelliğine sahip uzaktan kumanda edilebilen anahtarlama elemanlarına *kontaktör* adı verilir. Kontaktörlerin kompanzasyon, ısıtma cihazlarının devreye girip çıkması, motorlara yol verilmesi gibi daha birçok kullanım alanı vardır. Kontaktörler devre koruma elemanı olarak tek başlarına kullanılmazlar. Bir termik röle ile birlikte kullanıldığında devreyi aşırı yük akımlarına karşı korurlar.



Resim 3.19: Kontaktör.

Kontaktörün diğer anahtarlama elemanlarından en büyük farkı, devreyi daha sık açıp kapamaya elverişli olması ve uzaktan kumanda ile kontrol edilebilir olmasıdır. Resim 3.19'da bir örneği görülen kontaktörler; bobin, palet ve kontaklardan oluşur. Bu parçaların özellikleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Bobin (elektromıknatıs) : Kontaktör bobinleri hem doğru hem alternatif gerilimle çalışırlar. Bobine alternatif gerilim uygulandığında, bobin alternatif manyetik alan oluşturur ve mıknatısiyet meydana gelir. Manyetik alan maksimum değere ulaştığında palet çekilir, sıfır olduğunda ise palet bırakılır. Bu yüzden palet titreşir, kontaktörün kontakları açılıp kapanır ve çok gürültülü olarak çalışır.

Palet: Kontaktör nüvesinin(çekirdeğinin) hareketli kısmıdır. Kontaklar palet üzerine monte edilmiştir. Kontakların açılıp kapanması palet tarafından sağlanır. Kontaktör bobini enerjilendiğinde palet nüve tarafından çekilir ve kontaklar konum değiştirir.

Kontaklar: Normalde açık ve normalde kapalı kontak olmak üzere tip kontak vardır. Kontaktör bobini enerjilendiğinde kontaklar durum değiştirir. Kontakların yapısında bakır, nikel, demir, karbon ve tungsten'den yapılmış alaşımlar bulunur. Kontaktörde güç kontakları (ana kontaklar) ve kumanda kontakları (yardımcı kontaklar) olmak üzere iki tip kontak bulunur. Güç kontakları yüksek akıma karşı dayanıklıdır. Motor gibi yüksek akım çeken alıcıları çalıştırmak için kullanılırlar. Bu yüzden de yapıları büyüktür. Kumanda kontakları ise zaman rölesi, aşırı akım rölesi gibi elemanların çalıştırılmasında görev alırlar ve bu nedenle yapıları küçüktür.

Aşırı Akım Rölesi

Aşırı akımların elektrik motorlarında meydana getirebilecek zararları önlemek amacıyla kullanılan koruma elemanlarına *aşırı akım rölesi* denir. Aşırı akım rölesi koruyacağı motora seri olarak bağlanır. Motorun şebekeden çektiği akım röleden geçer. Motorun çektiği akım çalışma prensibi gereği kısa süre için normal değerin üstüne çıkar. Bu aşırı akım kısa süreli olduğu için motora zarar vermez. Ancak bu aşırı akım motordan uzun süre geçerse motor için sakınca oluşturabilir. Bu akım motorun sıcaklığını yükseltir ve motorun yanmasına sebep olur. Bu yüzden kısa süreli aşırı akımlarda aşırı akım rölesinin motoru devreden çıkartmaması istenir. Bunun aksine uzun süreli aşırı akımlarda ise aşırı akım rölesinin çalışıp, devreyi açıp, motoru korumaya alması gereklidir. Resim 3.20a'da tipik bir aşırı akım rölesi gösterilmiştir.

Zaman Rölesi

İçindeki bobini enerjilendiğinde ya da bobinin enerjisi kesildikten sonra kontakları durum değiştiren rölelere zaman rölesi denir. Otomatik olarak kurulmuş bir sistemin ilk harekete geçtiği andan itibaren, bazı işlemlerin zaman gecikmesiyle yapılması istenebilir. Bu tip durumlarda zaman röleleri kullanılır. Zaman röleleri devreye girip devreden çıkma sürelerini çok iyi ayarlayabilirler. Resim 3.20b'de bir örneği verilen zaman rölesinin çalışma şekline göre düz ve ters olmak üzere iki çeşit vardır.



Resim 3.20: a) Aşırı akım rölesi.

b) Zaman rölesi.

Şalterler

Şalterler, devrenin aşırı akım ve gerilim nedeniyle zarar görmesini engellemek ve devreyi normal olarak açıp kapamak amacıyla kullanılan elemandır. Bulundukları devrede daha önceden ayarlandıkları akım değerine ulaştığında devreyi hemen ya da gecikmeli olarak açıp devreyi korumaya alırlar. Şalterlerin devreyi açma nedenleri manyetik veya termik olabilir. Enerji iletim hatları gibi büyük güçlü devrelerde, ev tesisatları gibi küçük güçlü devrelerde enerjinin başlangıcından kullanıldığı yere doğru değerleri küçülen birçok şalter bulunur. Büyük enerjili devrelerde şalterin devreye girip devreden çıkma işlemi oldukça hassas yapılır.



Resim 3.21: Paket şalter.

Şalter açılırken ya da kapanırken kontakların aşırı akımdan atlamasından dolayı erimemesi için devredeki yükün az olmasına dikkat edilir. Şalterler kullanıldığı yerlere göre çok çeşitlidir. Piyasada kullanılan en basit şalter elle çalışan mekanik bıçak şalterdir. Bıçak şalter devreyi açan basit bir lambadan oluşur. Bıçak şalterlerin birçok devreyi açan daha büyük şekline *paket şalter* denir. Resim 3.21’de basit bir paket şalter görülmektedir. Bu tür şalterlerin üzerlerinde bulunan kol çevrildiğinde, şalterin kontakları açılır ve kapanırlar. Böylece paket şalter kolaylıkla kumanda edilebilir. Eğer şalterin kolu azar azar çevrilecek şekilde tasarlanırsa, çok konumlu bir paket şalter elde edilebilir. Karmaşık kumanda problemleri çok konumlu paket şalterler kullanılarak kolaylıkla çözülebilir. Şalterlerin yüksek gerilim hatlarında kullanılmasına *disjonktör* adı verilir.

Sigortalar

Sigortalar, doğru akım veya alternatif akım devrelerinde kullanılan cihazları koruyan ve bu cihazlara ait iletkenleri aşırı akım ve gerilimlerden koruyarak devreleri ve cihazları ciddi arızadan koruyan elemandır. Sigortalar evlerde, fabrikalarda, elektrik santrallerinde, elektrik panolarında ve elektrikle çalışan bütün aletlerde kullanılır. Sigortalar kitabınızın 7. Ünitesinde daha ayrıntılı olarak incelenecektir.

Özet

Şalt sahaları, elektrik santrali ile enterkonnekte şebeke arasındaki bağlantıyı sağlayan yüksek gerilim ünitelerinin bir arada bulunduğu tesislerdir. Elektrik enerjisi santrallerde üretildikten sonra santral yakınlarındaki transformatörler ile gerilimi yükseltilir ve yerleşim merkezleri veya sanayi bölgeleri yakınlarına kadar yüksek gerilimli olarak iletilir. Burada yer alan transformatör merkezleri ile yüksek gerilim orta gerilim kademesine düşürülür. Daha sonra orta gerilimli olarak transformatör postalarına ulaştırılan elektrik enerjisi dağıtım trafoları ile alçak gerilimlere düşürülerek abonelerin kullanımına sunulur.

Şalt sahaları ve transformatör merkezlerinde kullanılan çeşitli donanım ve tesis elemanları arasında; güç transformatörleri, ölçü trafoları, baraya bağlantı için kullanılan ayırıcılar, devre kesicileri, yüksek gerilim sigortaları, çeşitli röle ve topraklama elemanları, parafudurlar, kondansatörler, endüksiyon bobinleri sayılabilir.

Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin daha uzak bölgelere taşınabilmesi için geriliminin yükseltilmesi istenir. Böylelikle iletim kayıplarının en aza indirilmesi sağlanır. Üretilen elektrik enerjisinin gücünü değiştirmeksizin akım ve gerilim değerlerini değiştirmeye yarayan elektrik makinelerine transformatör ya da kısaca trafo denir. Transformatörler Lenz Kanununa göre çalışırlar.

İdeal bir transformatörde sekonder sargıda indüklenen gerilimin (V_s) primer sargıdaki gerilime (V_p) oranı, sarım sayılarının birbirine oranını verir. Bir transformatördeki gerilim ve akım değerleri ile sarım sayıları arasında,

$$\frac{V_p}{V_s} = \frac{N_p}{N_s} = \frac{I_s}{I_p} = a$$

eşitliği yazılabilir. Bu bağıntıda a niceliğine transformatörün çevirme oranı (dönüştürme) denir.

Parafudurlar yüksek gerilim hatlarında bir nedenle (hat arızaları, ani gerilim yükselmeleri, yıldırım düşmeleri vb.) oluşabilecek yüksek gerilimin enerji iletim hattına zarar vermesini engellemek amacıyla kullanılan koruma elemanlarıdır. Yüksek gerilim hattı ile toprak arasına bağlanırlar. Paratonerlere benzer şekilde aşırı gerilimi toprağa iletirler.

Ayırıcılar hatta akım kesildikten sonra yüksüz iken devreyi açmaya yararlar. İletim hattında akım varken açma kapama manevrası yapamazlar. Ayırıcıların yüksüz durumda devreyi açıyor olması devreyi izole etme amaçlıdır. Hattaki akımı kesemezler. Kullanım amaçları sistem bakımı ve yenilenmesidir. Ayrıca akım yönlendirmesi gerektiğinde de kullanılırlar. Ayırıcılar genelde kesicilerle birlikte kullanılırlar.

Kesiciler orta ve yüksek gerilim şebekelerinde yük akımını ve kısa devre akımlarını kesmeye yarayan elektrik aletleridir. Devreyi boşa, yükte ve kısa devre halinde açıp kapayabilirler. Ayrıca otomatik kumanda yardımıyla açılıp kapanmasına imkân verirler. Böylece insanlara bir zarar vermeyip alçak ve yüksek gerilim cihazlarında bir hasar ortaya çıkma riskini en aza indirirler.

Bara, aynı frekansa ve gerilime sahip olan elektrik enerjisinin dağıtıldığı ve toplandığı ünedir. Bu sistemler aslında elektrik enerjisini kontrol ve kumanda eden mekanizmaları birbirine bağlayan iletkenler olup alüminyum veya bakır gibi değişik metallerden yapılırlar. Bununla birlikte bakır baraları aynı boyut ve özelliklere sahip alüminyum baralara dörtte bir oranındaki daha fazla akım ile yüklemek mümkündür.,

Trafo direğinin yanında bulunan ve tesisin tükettiği elektrik enerjisinin ölçümünün yapıldığı kısma pano denir. Ölçme işlemini yapan sayacın bulunmasından dolayı sayaç panosu da denilmektedir. Elektrik sayaçları, üretilen veya tüketilen elektrik enerjisi miktarını ölçen aletlerdir. Elektrik tesislerinde akım ve gerilimi kontrol etmek ve sorunsuz bir şekilde kontrolü sağlamak amacıyla kumanda elemanları kullanılır. Kullanılan bu kumanda elemanları; kontaktör, aşırı akım rölesi ve zaman rölesidir. Aşırı yüklenme durumları dahil, normal şartlarda akımı kapatma, taşıma ve kesme özelliğine sahip uzaktan kumanda edilebilen anahtarlama elemanlarına kontaktör adı verilir.

Şalterler, devrenin aşırı akım ve gerilim nedeniyle zarar görmesini engellemek ve devreyi normal olarak açıp kapamak amacıyla kullanılan elemandır. Sigortalar, doğru akım (dc) veya alternatif akım (ac) devrelerinde cihazları aşırı akım ve gerilimden koruyan elemanlardır.

Kendimizi Sınayalım

1. Elektrik santrali ile enterkonnekte şebeke arasındaki bağlantıyı sağlayan yüksek gerilim ünitelerinin bir arada bulunduğu tesislere ne ad verilir?

- a. Şalt sahası
- b. Trafo
- c. Kumanda ve kontrol merkezi
- d. Dağıtım merkezi
- e. İletim merkezi

2. Aşağıdakilerden hangisi transformatörün kullanım amaçlarından biri **değildir**?

- a. Gerilimi yükseltmek
- b. Gerilimi alçaltmak
- c. Akımı değiştirmek
- d. Akımın frekansını değiştirmek
- e. Üretilen elektrik enerjisinin daha az kayıpla iletilmesini sağlamak

3. Transformatörler için aşağıdaki ifadededen hangisi **yanlıştır**?

- a. Transformatörlerde giriş akımının çıkış akımına oranı çevirme(dönüştürme) oranını verir.
- b. Transformatörler elektromanyetik indüksiyon prensibine göre çalışırlar.
- c. Transformatörlerin hareketli parçaları yoktur.
- d. Transformatör çıkışından elde edilen güç yaklaşık olarak giren güce eşittir.
- e. Transformatörler alternatif akımla çalışırlar.

4. I. Verimi düşüktür.

II. Az yer kaplar.

III. Oto transformatörde tek sargı kullanılır.

IV. Normal transformatöre göre daha çok ısınır.

Oto transformatörle ilgili yukarıdaki ifadelerden hangileri doğrudur?

- a. I ve II
- b. II ve III
- c. III ve IV
- d. I, II ve II
- e. I, II ve IV

5. Yüksek gerilim hatlarında hat arızaları, ani gerilim yükselmeleri, yıldırım düşmeleri vb. gibi bir nedenle oluşabilecek yüksek gerilimin enerji iletim hattına zarar vermesini engellemek amacıyla kullanılan koruma elemanı aşağıdakilerden hangisidir?

- a. Röle
- b. Transformatör
- c. Kondansatör
- d. Bara
- e. Parafudur

6. İdeal bir transformatörün primer devresinde 300 sarım bulunmaktadır. Primere 220 V gerilim uygulandığında sekonder devreden 660 V gerilim alındığına göre bu transformatörün sekonder sarım sayısı kaçtır?

- a. 1200
- b. 900
- c. 600
- d. 300
- e. 150

7. Kesicilele ilgili aşağıdaki ifadelerden hangisi **yanlıştır**?

- a. Basit yapıda olduklarından tek tipte üretilirler.
- b. Orta ve yüksek gerilim şebeklerinde yük akımı ve kısa devre akımını keserler.
- c. Devreyi boşa açabilirler.
- d. Devreyi yükte açabilirler.
- e. Ark söndürebilirler.

8. Aynı frekansa ve gerilime sahip olan elektrik enerjisinin toplandığı ve dağıtıldığı, elektrik enerjisini kontrol ve kumanda eden mekanizmaları birbirine bağlayan iletkenlere ne ad verilir?

- a. Kesici
- b. Transformatör
- c. Kondansatör
- d. Bara
- e. Röle

9. Aşağıdakilerden hangisi dahili tesislerde kullanılan baraların farklı renklere boyanması amaçlarından biri **değildir**?

- a. Akım yoğunluğunu arttırmak
- b. Soğutma sağlamak
- c. Faz sıralarının belirlenmesi
- d. Oksitlenmeyi önlemek
- e. Gerilimi regüle etmek

10. Devrenin aşırı akım ve gerilim nedeniyle zarar görmesini engellemek ve devreyi normal olarak açıp kapamak amacıyla kullanılan eleman aşağıdakilerden hangisidir?

- a. Şalter
- b. Transformatör
- c. Kondansatör
- d. İzolatör
- e. Parafudur

Kendimizi Sıneyalım Yanıt Anahtarı

1. **a** Yanıtınız yanlış ise “Şalt Sahası ve Transformatör Merkezi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

2. **d** Yanıtınız yanlış ise “Transformatör” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

3. **a** Yanıtınız yanlış ise “Transformatör” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

4. **b** Yanıtınız yanlış ise “Oto Transformatörler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

5. **e** Yanıtınız yanlış ise “Parafudurlar” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

6. **b** Yanıtınız yanlış ise “Transformatör” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

7. **a** Yanıtınız yanlış ise “Kesiciler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

8. **d** Yanıtınız yanlış ise “Bara Sistemleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

9. **e** Yanıtınız yanlış ise “Bara Sistemleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

10. **a** Yanıtınız yanlış ise “Şalterler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

Sıra Sizde Yanıt Anahtarı

Sıra Sizde 1

Transformatörün dönüştürme oranı, eşitlik 3.1 kullanılarak,

$$a = \frac{I_s}{I_p} = \frac{220 \text{ A}}{2,5 \text{ A}} = 88$$

olarak elde edilir.

Sıra Sizde 2

Bir transformatörün giriş gücü $P_p = I_p V_p$ ve çıkış gücü $P_s = I_s V_s$ olduğundan verim için,

$$\% \eta = \frac{P_s}{P_p} 100 = \frac{I_s V_s}{I_p V_p} 100$$

eşitliği yazılabilir. Bilinen nicelikler bu bağıntıda yerine konularak,

$$93 = \frac{(3,5 \text{ A}) (220 \text{ V})}{P_p} 100$$

ve

$$P_p = 828 \text{ W}$$

bulunur.

Transformatörde çıkış gücü yaklaşık olarak giriş gücüne yaklaşık eşit olduğundan çıkış gücü,

$$P_s = P_p = 828 \text{ W}$$

olacaktır. Transformatörün giriş gücü $P_p = I_p V_p$ olduğundan, giriş akımı,

$$I_p = \frac{P_p}{V_p} = \frac{828 \text{ W}}{110 \text{ V}} = 7,5 \text{ A}$$

elde edilir. Transformatörün çevirme oranı ise,

$$a = \frac{V_p}{V_s} = \frac{110 \text{ V}}{220 \text{ V}} = 0,5$$

bulunur.

Sıra Sizde 3

Ayırıcılar yük altında açma ve kapama yapamazlar Ayırıcıların yüksüz durumda devreyi açıyor olması devreyi izole etme amaçlıdır. Hattaki akımı kesemezler. Kullanım amaçları sistem bakımı ve yenilenmesidir.

Kesiciler ise orta ve yüksek gerilim şebekelerinde yük akımını ve kısa devre akımlarını kesmeye yarayan elektrik aletleridir.

Kesiciler, ayırıcıların aksine devreyi hem yükte ve hem de boşta açıp kapayabilirler. Ayrıca otomatik kumanda yardımıyla açılıp kapanmasına da olanak sağlarlar. Böylece insanlara bir zarar vermeyip alçak ve yüksek gerilim cihazlarında bir hasar ortaya çıkma riskini en aza indirirler. Hızlı hareket ederler ve ark söndürebilirler. Enerji kesilmek istendiğinde önce kesici sonra ayırıcı açılmalıdır

Yararlanılan Kaynaklar

Tosun, İ. (2007) **Enerji İletimi ve Dağıtımı**, İstanbul: Birsen Yayınevi.

Üstünel M., Altın M., Kızılgedik, M. (2001) **Endüstriyel Elektrik**, Mesleki ve Teknik Öğretim Okulları İçin Ders Kitabı, Ankara: MEB

Odoğlu H., (2006) **Transformatör Deneyleri**, İstanbul: Bileşim Yayınları.

<http://www.megep.meb.gov.tr>

TEAŞ Eğitim Ders Notları.

http://www.obitet.gazi.edu.tr/obitet/elektrik_elektronik/1fazli_transformator_genel_yapi.htm.

<http://elektroteknoloji.com>.

<http://www.enerjiplatformu.org>

4

Amaçlarımız

Bu üniteyi tamamladıktan sonra;

-  Havai hatlarda kullanılan iletkenlerin ve yer altı enerji kablolarının çeşitlerini, yapılarını, elektriksel ve mekanik özelliklerini açıklayabilecek,
-  Ülkemizdeki alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilim havai hatlarında kullanılan iletkenleri tanıyabilecek,
-  Havai hat iletkenlerinin seçiminde dikkat edilmesi gereken hususları ifade edebilecek,
-  Havai hatlarda sehim hesabı yapabilecek,
-  Kablo sembol ve anlamlarını irdeleyebilecek,
-  Yer altı kablolarının seçiminde dikkat edilmesi gereken hususları ifade edebilecek,
-  Elektrik enerjisi nakil hattına uygun iletken seçimi yapabilecek

bilgi ve becerilere sahip olabilirsiniz.

Anahtar Kavramlar

- | | |
|---|--|
|  Enerji İletimi |  Sehim |
|  Havai Hat İletkenleri |  İletken Seçim Kriterleri |
|  Yer Altı Kabloları |  Kesit Hesabı |

İçindekiler

- ❖ Giriş
- ❖ Havai Hat İletkenleri
- ❖ Havai Hat İletken Seçiminde Kriterler
- ❖ Yüksek Gerilim Hatlarında Enerji Kaybına Göre İletken Kesit Hesabı ve İletken Seçimi
- ❖ Yer Altı Kabloları
- ❖ Yer Altı Kablo Sembolleri
- ❖ Yer Altı Kablo Çeşitleri
- ❖ Kablo Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar

Havai Hat İletkenleri ve Yer Altı Kabloları

GİRİŞ

Ülkelerin elektrik enerjine olan talepleri, sanayi, teknoloji ve refah seviyesinin artışına paralel olarak hızla artmaktadır. Elektrik enerjinin üretiminde kullanılan su, kömür vb. doğal kaynaklar genellikle tüketim merkezlerinden uzakta olduğundan; elektrik üretim santralleri enerji tüketiminin yoğun olduğu şehir ve sanayi merkezlerinden uzakta kurulur. Bu sebeple, santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketim bölgelerine taşınması bir zorunluluktur. Günlük hayatta pek çok kullanma alanı bulunan elektrik enerjisinin, iletim ve dağıtımının ekonomik bir şekilde yapılabilmesi, elektrik enerjisi alanındaki en önemli konulardan biridir.

Enerjinin iletim ve dağıtımı havai hat ve yeraltı kabloları kullanılarak yapılmaktadır. Ekonomik olmamasına rağmen, enerji iletim ve dağıtımında, yüksek iletkenlik özelliğinden dolayı başlangıçta bakır iletkenler kullanılmıştır. Günümüzde ise, havai hatlarda alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenler, yeraltı hatlarında ise farklı yalıtkan malzemeli bakır ve alüminyum yeraltı kabloları kullanılmaktadır.

Enerji iletimi ve dağıtımını sağlayan havai hatlar, mesnet noktaları, direkler ve bunların temelleri, yer üstünde çekilmiş iletkenler, iletken donanımları, izolatörler, izolatör bağlantı elemanları ve topraklamalardan oluşan tesislerdir. Havai hatlar, ucuz olmaları, arızaların kolaylıkla tespit edilebilmesi, köprü nehir, vadi, demir yolu ve su geçişlerinin kolay olması gibi avantajlarından dolayı ülkemizde enerji iletiminde yaygın olarak kullanılmaktadır. Havai hatlarda kullanılan alüminyum veya çelik alüminyum iletkenler, hat kayıpları, iletkenlerin gerilme kuvveti, iletkenlerde ısınmadan kaynaklanan sehim ve krona kayıpları gibi birçok husus dikkate alınarak seçilmelidir. Ülkemizde alçak gerilim dağıtım hatlarında alüminyum, orta ve yüksek gerilim hatlarında ise çelik özlü alüminyum iletkenler kullanılmaktadır. Orta ve yüksek gerilim hatlarında, alüminyumun iletkenliğinden çeliğin ise mekanik dayanımından faydalanmak amacı ile çelik özlü alüminyum iletkenler tercih edilmektedir.

Yer altı kabloları, genellikle yerleşim merkezlerinde enerji dağıtımını yer altından sağlamak için kullanılır. Tesis masraflarının havai hatlara göre daha fazla olmasına rağmen, kullanılmaları halinde avantajları da vardır. Şehirlerdeki, yol, cadde ve meydanların estetiği bozulmaz. Kablolar, yeraltına döşendiğinden dolayı, direk, travers, izolatör vb. ilave donanımların kullanılmasına gerek yoktur. Yıldırım, fırtına vb. atmosferik etkilere maruz kalmadığından, yerleşim sahalarında can ve mal güvenliği açısından havai hatlara göre daha emniyetlidirler.

Yeraltı kabloları, anma gerilimine göre alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilim kabloları biçiminde sınıflandırılırken, damar iletkenin malzemesine göre bakır veya alüminyum iletkenli kablolar, yalıtkan malzemesine göre ise termoplastik (PVC) yalıtkanlı ve termoset yalıtkanlı (çapraz bağlı polietilen, XLPE) kablolar olmak üzere üç temel gruba ayrılmaktadır.

Bu ünite, havai hatlarda kullanılan iletkenler ile yer altına döşenen güç kablolarının yapısal, elektriksel ve mekanik özellikleri detaylı bir biçimde açıklanmıştır. Ayrıca kablo sembol ve anlamları da açıklanmıştır. Ülkemizdeki alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilim havai hatlarında kullanılan iletkenler tanıtılmıştır. Ayrıca, elektrik enerjisi nakil hatlarında kullanılacak havai iletkenin veya yer altı kablosunun hangi kriterlere göre seçileceği de tartışılmıştır. Bu amaçla, iletken kesit hesabına ilişkin örnekler verilmiştir.

HAVAI HAT İLETKENLERİ

Havai hat iletkenleri, santrallerde üretilen elektrik enerjisini tüketim bölgelerine taşıyan ve bu bölgelerde dağıtan hatlarda kullanılan iletkenlerdir. Enerjinin taşınması ve dağıtımında kayıpların en aza indirgenmesi için havai hatlarda kullanılacak iletkenler yüksek iletkenlik özelliğine sahip malzemelerden üretilmelidir. Diğer yandan, havai hat iletkenleri mekanik yüklere ve tabiat şartlarına karşı yeterince dayanıklı, aynı zamanda mümkün olduğunca hafif malzemelerden seçilmelidir. Hattın iletkenliği ile mekanik dayanımı, kullanılan iletkenin çapı ve yoğunluğu ile ilişkilidir. Gerek taşıdıkları akımdan gerekse de dış faktörlerden dolayı havai hat iletkenleri kolayca ısınır. Bu durumda hattın direnci artar ve direkler arasında gerili olan iletkenlerde sarkmalar görülür. Dolayısıyla iletim hatlarında kullanılan iletkenlerin ısı dayanımı da iyi olmalıdır.

İletken olarak en yaygın malzeme bakır ve alüminyumdur veya çelik özlü alüminyum iletkenlerdir. Enerji iletim hatları, kar, buz, rüzgâr, yağmur, güneş vb. dış faktörlerden dolayı ekstra bir kuvvete maruz kalmaktadırlar. Bu nedenle, iletkenler bu gibi olumsuz etkilere dayanacak şekilde seçilmelidir. İletken seçiminde en çok enerji kaybı, optimal maliyet, gerilim düşümü, ısınma durumu ve korona kaybı dikkate alınmalıdır.

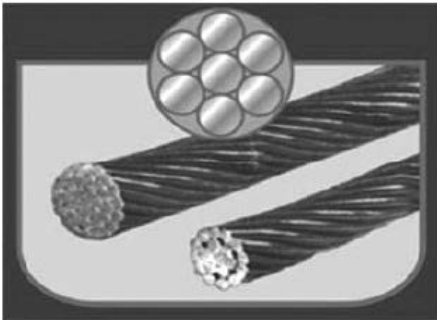
Enerji iletim ve dağıtımında kullanılan, havai hat iletkenleri, som (içi dolu veya masif) tek tel veya örgülü çok telli olarak bakır veya alüminyumdan yapılır. Som telden yapılan iletkenler bir cins malzemeden ve içi dolu bir tek tel halinde 10 mm² kesite kadar imal edilir. Bazı özel durumlarda kullanılmak üzere 16 mm² 'lik olanları da yapılmaktadır. Örgülü çok telli iletkenler ise aynı veya aynı cins metalden imal edilir. İnce tellerin spiral şekilde örülmesiyle meydana getirilen çıplak iletkenlerdir. Örgülü iletkenler, büyük kesitlerde montaj kolaylığı, esnek oluşu, kangal haline getirilebilmeleri ve taşınma kolaylığı sebebiyle tercih edilir.

Havai Hat İletkenlerinin Yapıları ve Özellikleri

Elektrik enerjisinin taşınması ve dağıtılmasında bakır, tam alüminyum (all aliminium conductor AAC), alüminyum alaşımlı (all aliminium alloy conductor AAAC) ve çelik özlü alüminyum (aliminium conductor steel reinforced, ACSR) iletkenler kullanılır.

İletkenlerin Kullanılan Malzemeye Göre Sınıflandırılması

Bakır İletkenler: Havai hat iletkenlerinde aranan başlıca özellik, iletkenliğinin iyi ve çekme dayanımının büyük olmasıdır. Bu özelliklere en uygun malzeme, çekme dayanımı soğuk çekilerek artırılmış olan yarı sert bakırdır. Soğuk çekme işlemi sırasında bakır iletkenin çekme dayanımı önemli ölçüde artmasına rağmen, iletkenliğinde çok az azalma meydana gelmektedir. Bakır iletken örnekleri Şekil 4.1' de görülmektedir. Bu iletkenlerin yapılarına göre mekanik ve elektriksel özellikleri ise Tablo 4.1'de verilmiştir. Öte yandan bakır hem pahalı hem de ağır bir iletkenlerdir. Bu nedenle günümüzde havai hatlarda bakır iletkenler yerine daha ucuz ve hafif olan alüminyum iletkenler kullanılmaktadır.



Şekil 4.1: Bakır iletkenler.

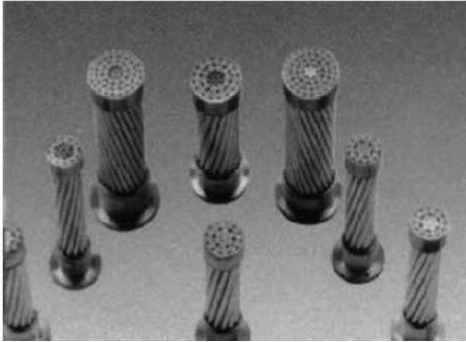
Tablo 4.1: Bakır iletkenlerin yapı, mekanik ve elektriksel özellikleri

Anma Kesiti (mm ²)	Gerçek Kesit (mm ²)	Tel Çapları ve Sayıları		İletken Anma Çapı (mm)	Kopma kuvveti (kN)	20 °C 'de DC Direnci (Ω/km)	Anma Birim Ağırlığı (kg/km)	Akım Taşıma Kapasitesi (*) (A)
		Adet	Çap (mm)					
10	9,57	7	1,32	3,96	4,018	1,89	87	70
16	15,88	7	1,70	5,10	6,590	1,14	144	115
25	24,70	7	2,12	6,36	10,136	0,733	224	151
35	34,34	7	2,50	7,50	14,093	0,527	311	174
50	49,45	7	3,00	9,00	19,406	0,366	348	234
50	48,32	19	1,80	9,00	19,426	0,376	440	231
70	67,03	19	2,12	10,60	26,640	0,271	611	282
95	93,21	19	2,50	12,50	37,045	0,195	849	357
120	116,93	19	2,80	14,00	44,410	0,155	1065	411
150	145,73	37	2,24	15,68	56,656	0,125	1332	477
185	181,52	37	2,50	17,50	70,738	0,1005	1659	544
240	240,26	61	2,24	20,16	90,299	0,0762	2204	641
300	299,26	61	2,50	22,50	112,473	0,0612	2745	747

(*) Ortam sıcaklığı 40 °C ve iletkenin sıcaklığı 80 °C , rüzgar hızı sıfır, güneş etkisi yok, frekans 50 Hz .

Alüminyum İletkenler (AAC): Alüminyum iletkenler, bakıra göre daha ucuz ve hafif olduklarından dolayı enerji dağıtımında en yaygın kullanılan iletkenlerdir. Alüminyumun yoğunluğu, yaklaşık olarak bakırın % 30'u olduğundan daha hafif bir iletken malzemedir. Ağır iletkenler ağır direk yapılarının kullanılmasını gerektirdiğinden, iletkenlerin hafif olması havai hatlarda bir zorunluluktur. Buna ilave olarak, alüminyum iletkenlerin taşınması, işlenmesi ve montajı, ağır bakır iletkenlere göre daha kolaydır. AAC olarak da tanımlanan bu tür iletkenler, %99,7 elektrolitik olarak arıtılmış alüminyum külçelerden üretilmektedir. Çeşitli alüminyum iletken örnekleri Şekil 4.2' de görülmektedir.

Alüminyum iletkenler, genel olarak yerleşim alanlarında, kısa direk aralıklı alçak gerilim enerji dağıtım hatlarında kullanılmaktadır. Bu tür iletkenler, ayrıca denizcilik sektöründe de yüksek korozyon direncine sahip olmalarından dolayı kullanılabilirler. Diğer yandan, bakırın gerilme dayanımı 350-450 MN/m² olmasına rağmen, alüminyumun gerilme dayanımı ise 154-200 MN/m² 'dir. Görüldüğü gibi bakıra göre ucuz ve hafif olmasına rağmen, alüminyumun mekanik dayanımı daha küçüktür. Alüminyumun dayanıklılığını artırmak için demir, silisyum, bakır, çinko gibi maddeler katılır. Alüminyumun bakıra göre iletkenliği küçük olup yaklaşık 0,6 katı kadardır. Bu nedenle, bakır iletkenle aynı akımı taşıması için, alüminyum iletkenin daha büyük bir kesite sahip olması gerekir.

**Şekil 4.2:** Tam Alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenler.

Tablo 4.2: Tam Alüminyum iletkenlerin yapı, mekanik ve elektriksel özellikleri.

İletkenin Anma Adı	Toplam Kesit (mm ²)	Tel Çapları ve Sayıları		İletken Anma Çapı (mm)	Eşdeğer Bakır Kesiti (mm ²)	Kopma Yüğü (kg)	20 °C 'de DC Direnci (Ω/km)	Anma Birim Ağırlığı (kg/km)	Akım Taşıma Kapasitesi (*) (A)
		Adet	Çap (mm)						
ROSE	21,14	7	1,96	5,88	13,30	403	1,354	58	110
LILY	26,66	7	2,20	6,61	16,78	495	1,074	73	125
PANSY	42,37	7	2,78	8,33	26,57	725	0,6752	116	165
POPPY	53,49	7	3,12	9,36	33,73	888	0,5351	146	193
ASTER	67,45	7	3,50	10,51	42,32	1115	0,4245	184	225
PHLOX	84,99	7	3,93	11,80	53,52	1369	0,3366	232	262
OXLIP	107,3	7	4,42	13,25	67,50	1732	0,2671	294	306

(*) Ortam sıcaklığı 40 °C ve iletkenin sıcaklığı 80 °C , rüzgar hızı sıfır, güneş etkisi yok, frekans 50 Hz .

Tam Alüminyum Alaşımli İletkenler (AAAC): Bu iletkenler, yüksek mekanik dirence sahip ve AAC ve ACSR iletkenine nazaran çok daha fazla korozyon direncine sahip olduğundan, enerji nakil ve dağıtım hatlarında kullanılmaktadır. Ağırlık ve gergi oranı yüksek olduğundan, diğer iletken tiplerine nazaran tercih edilirler. Alüminyumun yapısına çinko, nikel, silisyum ve demir katılarak oluşturulan alaşımlarla, öz iletkenliği % 2-3 oranında azaltılabilir. Bakır, gümüş veya magnezyum katılarak oluşturulan alüminyum alaşımları ile de öz iletkenliği % 5-10 oranında artırılabilir. AAAC iletkenler aynı çaptaki ACSR iletkenlerine göre daha iyi korozyon direncine ve daha yüksek elektrik iletkenliğine sahiptir. Şekil 4.2' de görülen bu türdeki iletkenlerin yapılarına göre mekanik ve elektriksel özellikleri Tablo 4.2'de verilmiştir.

Çelik Özlü Alüminyum İletkenler (ACSR, St-Al): ACSR olarak da bilinen bu iletkenler, % 6-40 oranında değişen çelik özler üzerine sarılmış alüminyum iletkenler ile yüksek çekme ve gerilme özelliklerine uygundur. Bu tür iletkenler, nehir geçişleri ve direk aralıkları uzun olan enerji nakil hatlarında kullanılmaktadır. Çelik özlü iletkenlerin en büyük özellikleri yüksek gerilme mukavemeti, düşük ağırlık, daha az sayıda mesnet ile daha fazla iletim hat mesafesinin sağlanmasıdır. Alüminyum iletkenin kopma gerilmesi 18 kg/mm² iken çelik alüminyum iletkeninki ise 30 kg/mm²'dir. Bu nedenle çelik alüminyum iletken, alüminyum iletkenine göre 1,66 kat daha dayanıklıdır. Ayrıca çelik alüminyum iletkenin bakıra göre 2 kat daha hafif oluşu, nakliye ve montajda büyük kolaylık sağlar. Bu durum, orta ve yüksek gerilim enerji iletim hatlarında büyük avantajlar sağlanmaktadır. Çelik özlü alüminyum iletken örnekleri Şekil 4. 2'de ve bunların yapı, mekanik ve elektriksel özellikleri Tablo 4. 3'de verilmiştir.

Enerji iletim hatlarında kullanılan çelik özlü alüminyum iletkenleri tanımlamak için *Amerikan Tel Ölçüleri* (American Wire Gauge, AWG) kullanılmaktadır. Ülkemizde enerji iletiminde 3AWG; 1/0AWG; 3/0AWG; 266 MCM ve 477 MCM çelik özlü alüminyum (St-Al) iletkenler kullanılmaktadır. Kullanılan iletken sembollerinin herbirinin ayrı bir anlamı vardır. AWG adlandırmasında, AWG'nin ön kısmı 0000, 000, 00, 0, 1, 2, 3, ..., 40'a gösterilir. Her bir numara, belli bir çap, dolayısıyla da bir kesite karşılık gelir.

- 3 AWG = 3 AWG Swallow (Kırlangıç)
- 0 AWG = 1/0 AWG Raven (Kuzgun)
- 000 AWG = 3/0 AWG Pigeon (Güvercin)

Daha büyük kesitli St-Al iletkenler kesitleri, CM (Circular Mile) olarak adlandırılan bir birimle ifade edilir. Burada 1 CM, çapı 0,001 inch olan daire yüzey kesitine eşit olup, değeri 0,0005067 mm² ' dir. 1 MCM ise 1000 CM'dir ve 0,5067 mm² değerine eşittir. Örneğin, 266,8 MCM Patridge iletkenin Al kesiti 266,8 × 0,5067 = 135,18 mm² (135 mm²) ve St kesiti 21,99 mm² (22 mm²) olduğundan, anma değeri Al/St = 135/22 olarak ifade edilir.



1/0 AWG (Raven) çelik-alüminyum iletken en fazla kaç amper (A) akım taşıyabilir?

Tablo 4.3: Çelik özlü alüminyum iletkenlerin yapı, mekanik ve elektriksel özellikleri

Kanada Standartı Anma Adı	TS Anma Adı Al/St mm ²	KESİT				Tel Çapları ve Sayıları				Esdeğer Bakır Kesiti mm ²	Anma Çapı		Anma Kopma Yükü kgf	20 °C 'de DC Direnci Ω /km	Anma Birim Ağırlığı kg/km	Akım Taşıma Kapasitesi A		
		AWG veya CM	Al mm ²	St mm ²	Toplam iletken Kesiti mm ²	Alüminyum		Çelik			Çelik mm	iletken mm				(1)	(2)	(3)
						Adet	Çap mm	Adet	Çap mm									
SWALLOW	27/4	3	26,69	4,45	31,14	6	2,38	1	2,38	16,78	2,38	7,14	1038	1,0742	107,8	120	160	180
SPARROW	34/6	2	33,59	5,60	39,19	6	2,67	1	2,67	21,09	2,67	8,01	1290	0,8543	135,7	140	180	200
ROBIONE	45/7	88,220	44,70	7,45	52,15	6	3,08	1	3,08	28,11	3,08	9,24	1650	0,6410	179,3	175	200	230
RAVEN	54/9	1/0	53/52	8,92	62,44	6	3,37	1	3,37	33,73	3,37	10,11	1969	0,5362	216,2	195	230	280
PIGEON	85/14	3/0	85/13	14,18	99,30	6	4,25	1	4,25	53,52	4,25	12,75	2995	0,3366	343,9	275	300	360
PARTRIDGE	135/22	266,800	135,18	21,99	156,86	26	2,57	7	2,00	85,17	6,00	16,28	5113	0,2140	543,8	345	460	510
OSTRICH	152/25	300,000	152,19	24,71	176,90	26	2,73	7	2,12	95,6	6,36	17,28	5755	0,1897	612,9	410	490	540
HAWK	242/39	477,000	241,89	39,19	280,84	26	3,44	7	2,67	152,0	8,01	21,77	8792	0,1194	972,8	540	670	740
DRAKE	403/65	795,000	402,56	65,44	468,00	26	4,44	7	3,45	253,3	10,35	28,11	14222	0,0715	1621,5	760	900	1020
CONDOR	402/52	795,000	402,33	53,15	454,48	54	3,08	7	3,08	253,3	9,24	27,72	13003	0,0718	1519,7	760	900	1020
RAIL	483/34	954,000	483,4	33,6	517,00	45	3,70	7	2,47	300,0	7,40	29,60	11864	0,0599	1600,2	860	1010	1100
CARDINAL	485/63	954,000	484,53	62,81	547,34	54	3,38	7	3,38	304,0	10,14	30,42	15241	0,0597	1829,8	860	1010	1090
PHEASANT	645/82	1,272,000	645,08	81,71	726,79	54	3,90	19	2,34	405,7	11,70	35,10	19676	0,0499	2423,5	1000(4)	1160(5)	1300(6)

Tablo 4.4: Akım taşıma kapasite faktörleri

	1	2	3	4	5	6
Rüzgar Hızı (m/s)	0	0,6096	0,6	0,6	0,6	0,6
Ortam Sıcaklığı (°C)	40	25	20	45	35	25
Max. İletken Sıcaklığı(°C)	80	75	80	80	80	80
Frekans (Hz)	50	60	50	50	50	50

İletkenlerin İmal Ediliş Şekline Göre Sınıflandırılması

İletkenler, som (içi dolu), örgülü ve demet olmak üzere üç türdür.

Som (içi dolu) iletkenler: Bu tür iletkenler, yalnız bir cins malzemeden ve içi dolu tek bir tel halinde olmak üzere 10 mm² kesite kadar imal edilmektedirler. Som iletkenler iç tesisatta kullanılır.

Örgülü iletkenler: Havai hat iletkenleri örgülü olarak yapılırlar. Örgülü iletkenlerde teller ortak eksen etrafında bir veya birkaç katman oluşturacak biçimde sarmal olarak sarılır. Çok katmanlı örgülü iletkenlerde komşu katmanlar, dış katmanın sarılma yönü sağ yönde olacak şekilde birbirine zıt yönde sarılır. Örgülü iletkenlerde, çapları eşit olan ortada bir tel ve bu telin çevresindeki her bir katmanda bir önceki katmandakinden 6 fazla olmak üzere teller bulunur. Buna göre;

- 1 telli (som) iletken,
- 1+6=7 telli, bir katmanlı,
- 1+6+12=19 telli, iki katmanlı,
- 1+6+12+18=37 telli, üç katmanlı
- 1+6+12+18+24=61 telli, dört katmanlı

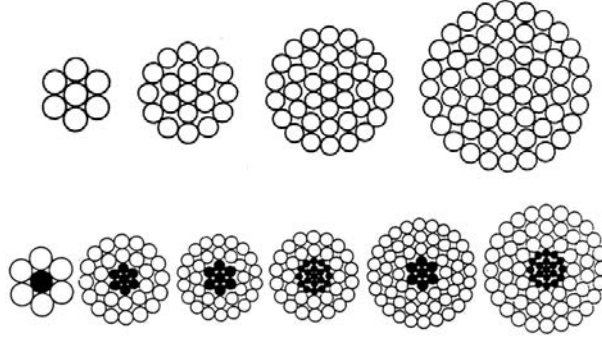
örgülü iletkenler imal edilir.

Çelik özlü alüminyum iletkenlerde ise, ortasında çapları eşit olan 1 telli veya 7 ve 19 telli örgülü galvanizli çelik teller, bunların çevresindeki her bir katmanda bir önceki katmandakinden 6 fazla olmak üzere, çapları eşit olan alüminyum teller bulunur. Örneğin,

- 18 Al/7 St: 6+12=18 Al ve 1+6= 7 St,
- 26 Al/7 St: 10+16=26 Al ve 1+6= 7 St,
- 42 Al/7 St: 8+14+20=42 Al ve 1+6= 7 St,
- 54 Al/19 St: 12+18+24=54 Al ve 1+6+12= 19 St

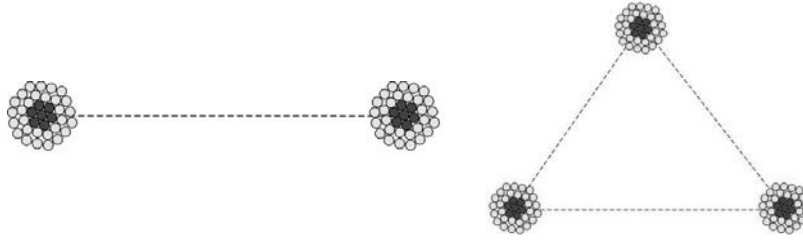
tellidir.

Çelik özlü alüminyum iletkenlerde direnç hesaplanırken çelik özün iletkenliği dikkate alınmaz ve yalnızca alüminyum iletkenin kesiti göz önüne alınır. Havai hatlarda kullanılan her kesitteki alüminyum iletkenlerle, kesiti 16mm² 'den büyük olan bakır iletkenler örgülü olarak yapılırlar. Yüksek gerilim hatlarında yalnızca örgülü iletkenler kullanılır. Havai hatlarda kullanılan örgülü iletkenlerin kesitleri, bakır iletkenler için 16 mm², alüminyum iletkenler için 21 mm² ve çelik özlü alüminyum iletkenler için 21/4 mm² den küçük olamaz. Alçak gerilim hatlarda kesiti 10 mm² olan som veya örgülü bakır iletkenler kullanılabilir. Çeşitli çap ve kesitte alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenlerin damar ve örgü yapısı Şekil 4.3' de verilmiştir, inceleyiniz.



Şekil 4.3: Çeşitli çap ve kesitte alüminyum ve çelik özlü alüminyum iletkenler.

Demet iletkenler: Havai hatlarda gerilim büyüdükçe ve iletken çapı küçüldükçe elektrik alan şiddeti büyüyeceğinden, korona olayı yaşanır. 220 kV'un üzerindeki gerilimlerde korona olayı önem kazandığından, önceleri iletken çapını büyütme amacı ile içi boş iletkenler kullanılmıştır. Daha sonra, her faz için bir yerine, çoklu demet iletken kullanılarak iletkenin çapının büyütülmesi yoluna gidilmiştir. Demet iletkenleri oluşturan bileşen iletkenler genellikle, merkezleri arasında 400 mm açıklık bulunacak şekilde ara tutucularla (spacer) birbirlerine bağlanır. Demet iletken kullanıldığında, hattın endüktif reaktansı azalacağından, hatta meydana gelen reaktif güç kayıplarında bir azalma gözlenecektir. Şekil 4.4'de ikili ve üçlü demet iletken örnekleri verilmiştir, inceleyiniz.



Şekil 4.4: İkili ve üçlü demet iletkenler.

Havai Hat İletkenlerinin Gerilim Değerlerine Göre Sınıflandırılması

Kullanıldıkları hattın nominal gerilim değerine bağlı olarak havai hat iletkenleri, alçak gerilim, orta gerilim, yüksek gerilim ve çok yüksek gerilim iletkenleri olmak üzere dört ayrı gruba ayrılmaktadır.

Alçak Gerilim İletkenleri (1 V – 1000 V): Alçak gerilim (AG) iletkenleri, elektrik enerjisinin şehir, kasaba veya köy gibi yerleşim yerlerinde abonelere dağıtılması ve sokak aydınlatılması için kullanılan iletkenlerdir. Ekonomik ve hafif olmaları nedeniyle, AG'de Alpek kablolar olarak bilinen askı telli, demet biçimli alüminyum iletkenli havai hat kabloları ve alüminyum örgülü iletkenler kullanılır. İngilizce çiçek isimleri ile anılan Rose, Lily, Iris, Pansy, Poppy, Aster, Phlox ve Oxlip sembolü ile verilen iletkenler alçak gerilimde kullanılan alüminyum iletkenlerdir. Bu iletkenlerin mekanik ve elektriksel özellikleri Tablo 4.2' de verilmiştir. Alpek kabloların özellikleri yeraltı kabloları bölümünde incelenmiştir.

Orta Gerilim İletkenleri (1-35 kV): Köy ve kasaba hatları ile şehir içindeki orta gerilim (OG) hatlarında, çelik özlü alüminyum iletkenler kullanılmaktadır. Ülkemizde, 34,5 kV iletim ve dağıtım hatlarında, 3 AWG (Swallow) , 1/0 AWG (Raven), 3/0 AWG (Pigeon), 266,8 MCM (Partridge) ve 477 MCM (Hawk) iletkenleri kullanılmaktadır. 477 MCM (Hawk) tipi yüksek gerilim iletkenleri vadi ve nehir atlamalarındaki çok geniş aralıklarda kullanılmaktadır. OG iletkenlerinin mekanik ve elektriksel özellikleri Tablo 4.3' de detaylı olarak sunulmuştur, inceleyiniz.

Yüksek Gerilim İletkenleri (36 – 154 kV): 154 kV iletim hatları, Tablo 4.3 verilen standart 477 MCM (Hawk), 795 MCM (Drake), 954 MCM (Cardinal) ve 1272 MCM (Pheasant) çelik özlü (ACSR) alüminyum iletkenler, tek veya çift devre direkler kullanılarak tesis edilir. 154 kV hatlarda genellikle her fazda bir iletken bulunur. Çok yüksek talep bölgelerinde iletim hatlarının taşıma kapasitesini artırmak için 154 kV ikili demet (bundle) Cardinal iletkenli çift devre stratejik kısa hatlar tesis edilir. YG' de kullanılan çelik özlü alüminyum iletkenlerin mekanik ve elektriksel özellikleri Tablo 4.3'de detaylı olarak sunulmuştur, inceleyiniz.

Havai hatların güzergâhının temin edilemediği yoğun yerleşim bölgelerinde standart olarak 154 kV , 630 mm² veya 1000 mm² kesitli XLPE bakır iletkenli yeraltı kablosu tesis edilir. XLPE bakır kabloların özellikleri yeraltı kabloları bölümünde verilmiştir.

Çok Yüksek Gerilim İletkenleri (154 kV 'tan Yukarı): 380 kV iletim hatlarında, standart 954 MCM (Cardinal) ve 1272 MCM (Pheasant) her bir fazda iki veya üçlü demet halinde çelik özlü alüminyum iletkenler kullanılır. Bu iletkenlerin mekanik ve elektriksel özellikleri Tablo 4.3' de detaylı olarak verilmiştir, inceleyiniz. Havai hatların güzergâhının temin edilemediği yoğun yerleşim bölgelerinde standart olarak 380 kV 2000 mm² kesitli XLPE bakır iletkenli yeraltı kablosu tesis edilir.



Havai hat iletkenleri konusunda daha ayrıntılı olarak bilgiye ulaşmak için *Güç İletimi (Enerji Taşınması)* (Saner, Y. (2004) İstanbul: Birsan Yayınevi) isimli kaynak kitaptan yararlanabilirsiniz.

Havai Hat İletken Seçiminde Kriterler

Havai hatlarda meydana gelecek kayıpları azaltmak ve hattın emniyetli bir biçimde çalışmasını temin etmek için, kullanılacak iletkenler, belirli kriterler göz önüne alınarak seçilmelidir. Bu kriterler, iletkenlik, iletkenin çapı, özgül ağırlığı, ısı dayanımı, mekanik dayanımı, krona kayıpları, kaçak geçirgenliği, sehim ve direnç, endüktans ve kapasitans gibi hat sabitlerini kapsamaktadır.

İletkenlik

Enerjinin taşınmasına ekonomik olarak bakıldığında elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında en çok bakır ve alüminyumdan yapılan iletkenler kullanılır. İletim hatlarındaki aktif güç kaybını en alt seviyede tutmak için iletken olarak iletkenliği iyi olan malzemeler seçilmelidir. Bakır gümüşten sonra en yüksek iletkenliğe sahip malzemedir. Ancak, bakır iletkenler, ağır ve pahalı olmasından dolayı havai hatlarda yaygın olarak kullanılmaz. Bunun yerine, daha hafif ve ucuz olduğundan, galvanizlenmiş çelik tel ile tam alüminyum veya alüminyum alaşımı olan aldrey iletkenler, havai hatlarda çok kullanılır. Çelik özlü alüminyum iletkenlerde, çelik tel mekanik dayanımı artırmak bakımından önemlidir. Esas iletkenlik görevini alüminyum damarlar yerine getirir.

İletkenin Çapı

Havai hatlarda kullanılan iletken malzemelerin iletkenlik özellikleri dikkate alınarak iletken çapı seçilmelidir. Alüminyum iletkenler bakır iletkenlere göre daha az iletkenlik gösterdiğinden çapları daha büyük olur. Örneğin, alüminyum iletkenin bakır iletkenle aynı iletkenliğe sahip olması için, çapı bakır iletkenin çapının 1,3 katı olması gerekmektedir. Ancak, iletkenlerin çaplarının büyük olması, daha fazla yüklenmeye maruz kalması demektir. İletken çapı büyüdüğünde, üzerindeki buz ve rüzgâr yükü artarak iletkenin mekanik dayanımının azalmasına neden olur. İletkenlerin seçilmesinde bu durum göz önünde bulundurulmalıdır.

Özgül Ağırlık

Enerji iletim hatlarında, iletkenin özgül ağırlığı dikkate alınarak mekanik dayanım hesabı yapılır. İletken seçiminde, iletkenin özgül ağırlığının az olması istenir. Özgül ağırlığın az olması, durdurucu direğe gelen çekme kuvvetini azaltır. Bakır iletkenin özgül ağırlığı 8,9 g/cm³ iken alüminyumun özgül ağırlığı ise

2,7 g/cm³'tür. Alüminyum özgül ağırlığının bakıra kıyasla 3-4 kat daha küçük olması, alüminyum iletkenleri enerji iletiminde daha çok tercih edilir hale getirmiştir. Ayrıca, iletkenin özgül ağırlığının küçük olmasıyla, direk ve havai hat donanım malzemelerinde ekonomi sağlanır.

Isı Dayanımı

Enerji iletiminde kullanılan iletkenlerin ısı dayanımı iyi olmalıdır. İletkenlerin ısısı, gerek iletkenin içinden geçen akımdan dolayı, gerekse dış faktörlerden dolayı artar. Özellikle, iletkenler yaz aylarında hava sıcaklığının artması dolayısıyla daha da ısınır. İletkenin ısı artışı, iletkenin boyunun uzamasına ve dolayısı ile sarkmasına neden olur. İletkendeki sarkma (sehim) hesaplarında, havanın sıcaklığından dolayı ısı artışı mutlaka dikkate alınması gereken bir durumdur. Alüminyum iletkenler havadaki hafif bir rüzgârla bile soğuyabilir. Ancak rüzgâr olmadığı ve hava sıcaklığı fazla olduğu zaman iletkendeki uzama çok fazla olur.

Mekanik Dayanım

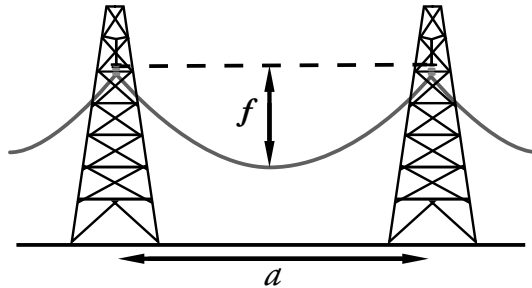
Havai hatlarda kullanılan iletkenler, rüzgâr, buz, kar, sıcak ve soğuk hava şartları gibi dış tesirlerin etkisinde kalır. Bu dış tesirler, iletkenlerin ve direklerin kendi ağırlıklarına ilave olarak ekstra bir kuvvete maruz kalmasına neden olmaktadır. Bu ilave kuvvetler, iletkenin kopmasına yol açabilir. Kopan iletken başka bir hat üzerine düşebilir. Bütün bu durumların önlenmesi için iletkenlerin mekanik kopma dayanıklılığının yüksek olması gereklidir. Bakır iletkenlerin mekanik dayanımı alüminyum iletkenlerden daha yüksektir. Alüminyum iletkenlerin mekanik dayanımı, örgülü alüminyum tellerin iç kısmında ve orta yerde bulunan galvanizli çelik teller kullanılarak artırılmaktadır. Alüminyum iletkenin kopma gerilmesi 18 kg/mm² iken çelik alüminyum iletkeninki ise 30 kg/mm²'dir. Bu nedenle çelik alüminyum iletken mekanik açıdan, alüminyum iletkene göre 1,66 kat daha dayanıklıdır.

Koronaya Karşı Dayanıklılık

Kitabınızın ikinci ünitesinde ayrıntılı olarak tartışılan korona gerilimine etki eden birçok faktör vardır. Hatlarda kullanılan iletkenlerin yarıçapı, iletkenler arası geometrik ortalama uzaklık, havanın sıcaklık, nem, basınç, sis, yağmur, buzlanma, kar ve rüzgar gibi değişik şartları korona olayını etkiler, belirtilerinin ve etkilerinin artmasına neden olur. Korona olayı ısı, ses ve kimyasal reaksiyonlar şeklinde kendini gösteren bir enerji kaybıdır. Enerji nakil hatlarında korona olayı sonucu meydana gelen kayıpları azaltmak için iletkenlerin yüzeyleri oldukça düzgün ve parlak bir sırla kaplanır. Korona özellikle çok yüksek gerilimlerde daha önem kazanır. Bu gerilim düzeylerinde korona etkisini azaltmak için demet iletkenler kullanılır.

Sehim

Yüksek gerilim enerji nakil hatlarında, iki direk arasında gerili bulunan iletkenin, kendi ağırlığı, üzerinde biriken kar veya buz yükleri sebebiyle sarkmasına *sehim* denir. Şekil 4.5' de gösterilen havai iletim hattında, iletken uçlarının bağlı olduğu iki izolatör arasındaki varsayılan doğru çizgi ile iletkenin en çok sarktığı yer arasındaki uzaklık sehim olarak alınır.



Şekil 4.5: Havai hatlarda sehim.

Havai hat iletkenleri, durdurucu direkler arasına, iletkenin çekme ve gerilme kuvveti, ağırlığı, rüzgâr yükü, buz yükü, iklim şartları ve direkler arası uzaklık dikkate alınarak çekilir. Sehim, havai hat direklerinin geçeceği yerin arazi şekli ve iklim koşullarına göre ayrılmış, bölgelerin durumlarına göre hazırlanmış olan cetvellerden veya formüllerden yararlanılarak bulunur. Sehim,

$$f = \frac{Ga^2}{8T} \quad (4.1)$$

eşitliğinden hesaplanır. Burada; G iletkenin kg/dm^3 cinsinden yoğunluğunu, a iki direk arasındaki m cinsinden uzaklığı ve T ise kg/cm^2 cinsinden gerilmeyi göstermektedir. İletkenin iki tarafında bulunan direkler aynı yükseklikte ise iletkendeki en büyük sehim, direkler arası uzaklığın tam ortasındadır. Farklı yükseklikteki direkler arasına gerili iletkenin en büyük sehimisi ise daha düşük seviyede bulunan direğe yakındır.

Örnek:

Bir iletim hattında iki direk arasındaki uzaklık 15 m , gerilme kuvveti 7 kg/cm^2 ve iletkenin yoğunluğunun $8,9 \text{ kg/dm}^3$ ise sehim kaç m 'dir?

Çözüm:

Eşitlik 4.1 kullanılarak sehim,

$$f = \frac{Ga^2}{8T} = \frac{(8,9 \text{ kg/dm}^3)(15 \text{ m})^2}{8(7 \text{ kg/cm}^2)} = 35,76 \text{ dm} = 3,576 \text{ m}$$

olarak bulunur.



Bir iletim hattında iki direk arasındaki uzaklık 8 m , gerilme kuvveti 6 kg/cm^2 ve sehim $2,5 \text{ m}$ olduğuna göre iletkenin yoğunluğu nedir?

Yüksek Gerilim Hatlarında Enerji Kaybına Göre İletken Kesit Hesabı ve İletken Seçimi

Yüksek gerilim hatlarında enerji kaybına göre iletkenin kesiti aşağıdaki bağıntı ile kolaylıkla hesaplanabilir.

$$S = \frac{LP}{KeV^2 \cos^2 \phi} \quad (4.2)$$

Burada, S iletkenin kesitini (mm^2), L hattın uzunluğunu (m), P iletilecek gücü (W), K enerji nakil hattında kullanılacak malzemenin iletkenliğini ($\text{m}/\Omega\text{mm}^2$), e enerji kaybı yüzdesini, V fazlar arası gerilimi (V), $\cos \phi$ ise güç faktörünü göstermektedir.

Örnek:

Bir A noktasından 100 km mesafede bulunan bir B noktasına 75 MW güç nakledilecektir. %5 gerilim düşümüne izin verilen bu nakilde alıcının güç faktörü $0,85$ ve hattın fazlar arası gerilimi 154 kV olması durumu için kullanılacak çelik özlü alüminyum iletkenin kesit ve tipini belirleyiniz.

Çözüm:

Alüminyumun iletkenliği $K = 35 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$ 'dir. Eşitlik (4.2)'deki değişkenlerin birimlerine dikkat edilmedilir. $100\text{km} = 100.10^3 \text{ m}$, $75\text{MW} = 75.10^6 \text{ W}$ ve $154\text{kV} = 154.10^3 \text{ V}$ olduğuna göre iletkenin kesiti,

$$S = \frac{LP}{K_e V^2 \cos^2 \phi} = \frac{(100.10^3 \text{ m})(75.10^6 \text{ W})}{(35 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2)(0,05)(154.10^3 \text{ V})^2 (0,85)^2} = 250,01 \text{ mm}^2$$

bulunur. Nominal kesitin tespiti için özel tablolardan yararlanılır ve bir üst kesit değeri seçilir. Tablo 4.3 incelendiğinde, yukarıda hesaplanan kesite en yakın değere sahip iletkenin CONDOR 795 MCM çelik özlü alüminyum iletken olduğu anlaşılmaktadır. Seçilecek bu iletkenin kesiti 402,33 mm²’dir.

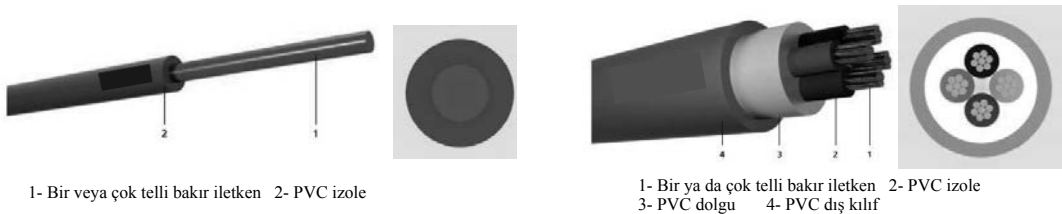
YER ALTI KABLOLARI

Kablolar Hakkında Genel Bilgiler

Genellikle yerleşim merkezlerinde enerji dağıtımı ve iletimini yeraltından sağlamak için güç kabloları kullanılır. Kablolar, elektrik enerjisini ileten, iki elektrik cihazını elektriksel bakımdan birbirine bağlayan, elektriksel olarak yalıtılmış bir veya daha fazla damardan meydana gelen elektrik iletim elemanıdır. Kablo iletkeni, tavllanmış çıplak yuvarlak elektrolitik bakır tellerden veya alüminyum tellerden burularak yapılır. 16 mm² ve daha büyük kesitlerdeki iletkenler, sıkıştırılmış olarak imal edilmektedir. İletken sayısına göre tek iletkenli ve çok iletkenli olarak imal edilirler. Kimyasal etkenlere karşı dayanıklılığı iyidir. Ayrıca, kablolar, su emmeyen ve geçirmeyen dış kılıf yalıtkanıyla her türlü ortam şartlarına büyük bir uyum sağlayabilmektedirler. Türk Standartlarında kablolar, işletme koşullarına, kullanım amacına ve kullanma yerine göre; N-kablolar (TS-833), Y-kablolar veya yer altı kabloları (TS-212), B-kablolar (TS-916), F-kablolar (TS-936), T-kablolar (TS-3930), Alpek kablolar ve Alvinal kablolar olmak üzere yedi temel gruba ayrılmaktadır.

N-kablolar, normal ve hafif işletme koşullarına dayanıklı, boru içinde sıva altına veya borusuz olarak duvara sabit döşenen iç döşeme kablolarıdır. Yeraltına döşenmezler. N-kablolar normal 16 mm²’ye kadar bakır bir telli, 16 mm²’den büyük kesitlerde örgülü çok telli olarak imal edilirler. N-kablolarla iletken olarak, som ya da örgülü bakır iletkenler kullanılır. Yalıtkan malzeme olarak ise lastik yalıtkanlar ve termoplastik (PVC) yalıtkanlar kullanılır. NYA, NYAF, NYM gibi çeşitleri vardır. Şekil 4.6’ da NYA ve NYM kabloların yapısı verilmiştir, inceleyiniz.

Y-kablolar, maden ocakları gibi mekanik ve kimyasal etkilerin fazlaca olduğu ağır işletme koşullarına dayanıklı, yeraltına, beton kanala veya duvara sabit olarak döşenen güç kablolarıdır. Bu kablolarla yer altı kabloları da denmektedir. İleriki bölümlerde yer altı kablolarının yapısı ve elektriksel özellikleri daha detaylı bir biçimde anlatılacaktır.



Şekil 4.6 : NYA ve NYM kablolarının yapısı.

B-kablolar, hareketli tesislerde kullanılan, ağır işletme koşullarına uygun olan kablolarıdır. Bu tür kablolar, yalıtkan malzemeye göre lastik yalıtkanlı veya termoplastik yalıtkanlı olarak imal edilirler. Bu kablolar, yer altına döşenmemelidir. Çok ince tellidir. Bakır tellerin üzeri kalayla kaplanır. B-kablolar, asansör veya ray üzerinde yürüyen vinç vb. taşınabilir elektrik cihazlarında kullanılan, serbest olarak salınan bükülgen kablo veya kordonlardır.

F-kablolar, normal ve hafif işletme koşullarına dayanıklı, hareketli ve taşınan elektrik cihazlarında kullanılan, serbest olarak salınan bükülgen kablolar veya kordonlardır. Yer altına, sıva içine ve sıva altına döşenmezler. Yalıtkan malzeme olarak lastik yalıtkan veya termoplastik (PVC) yalıtkan kullanılır.

Yalıtkan lastik kılıflı F-kablolarında kimyasal etkiyi önlemek için iletkenler kalaylanır veya lastiğin iletken ile teması, bir yalıtkan film tabakası ile tamamen önlenir. F kabloların damar iletkenleri bakır telden imal edilir.

T-kablolar, ses frekanslı haberleşme sistemlerinde kullanılan, telefon santrallerini veya bu santrallerle telefon abonelerini birbirine bağlayan, sabit yer altı veya yer üstü tesislerinde kullanılan polietilen yalıtkanlı çok damarlı kablolardır.

Alvinal kablolar, alüminyum iletkenli yeraltı kablolarıdır. Damar sayısı ve kullanım amacına göre alvinal kablolar başlıca; Alvinal-D (YAVV veya NAYY), Alvinal-K (YAMV veya NAYCY) ve Alvinal-Z (YAVSV veya NAYFGbY) olmak üzere üç ayrı tipte imal edilirler. Bu kabloların yapısı ve elektriksel özellikleri hakkında daha detaylı bilgiler ilerleyen bölümlerde sunulmuştur.

Alpek kablolar, askı telli, demet biçimli, plastik yalıtkanlı alüminyum kablolardır. Elektriksel emniyeti fazla ve kırsal bölgelerde çıplak iletkenli alüminyum iletkenlerin yerini alabilecek durumda olan havai hat kablolarıdır. Bu kablolarda yükü taşımak üzere kullanılan çelik askı teli aynı zamanda nötr iletkeni görevini görmektedir Alvinal kablolar hakkında daha detaylı bilgiler daha sonraki bölümlerde verilmiştir.

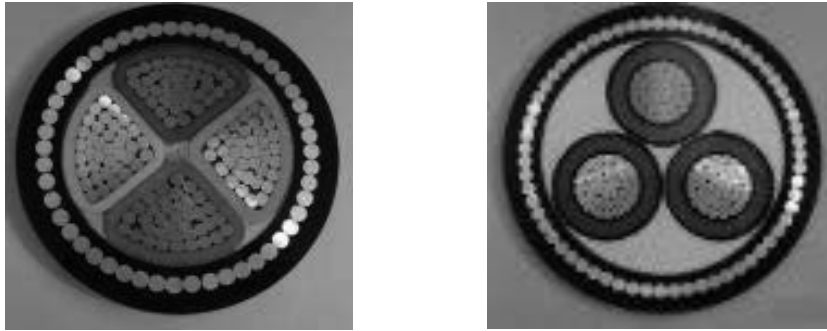
Yer Altı Kabloları (Y-Kablolar veya Güç Kabloları)

Kablo ve İletkenlerin Yapısı

Kablo yapımında kullanılan iletken, yalıtkan, kılıf, siper vb. elemanların neler olduğunun bilinmesi, kabloları öğrenmek açısından oldukça önemlidir. Kablo ve iletkenlerin yapı elemanları, tanım ve görevleri aşağıdaki gibi özetlenebilir.

Damar: Kablonun yalıtılmış olan iletkenidir. Bakır veya alüminyumdan imal edilmektedir.

Kablo iletkeni: Elektrik enerjisini ileten tel veya tel demetidir. Kablolarda genellikle bakır iletken, bazı kablo türlerinde ise bakır ve alüminyum iletken kullanılır. Damar iletkeni, bir telli (som=içi dolu) iletken veya çok telli iletken şeklinde olabilir. Som iletken, dairesel veya biçimlendirilmiş bir tek telden oluşan iletkenidir. Çok telli iletken ise, tümü veya bir bölümü sarmal sarılmış olan birden çok telden oluşan iletkenidir. Çok telli iletkenlerde teller arasındaki boşlukları azaltarak iletkenin çapını küçültmek için teller biçimlendirilerek bir araya getirilir. Bu iletkenlere sıkıştırılmış iletken denir. Sıkıştırılmış iletken daire veya kesme kesitli olabilir. Şekil 4.7’de çok telli kesme ve çok telli dairesel kesitli bakır iletkenlerin resimleri verilmiştir, inceleyiniz. Yer altı kabloların faz iletkenin anma kesiti: 16, 25, 35, 50, 70, 95, 120, 150, 185, 240, 300, 400, 500 mm² olmaktadır.



Şekil 4.7: Çok telli kesme ve çok telli daire kesitli bakır iletken.

Çok Damarlı Kablo: Damar sayısı birden fazla olan kablodur.

Yalıtkan Kılıf: Her bir damar iletkenini saran ve iletkeni ilk yalıtkan çekme yalıtıcı kılıftır. Kablolar, yalıtkan kılıfın yapımında kullanılan yalıtkan malzemeye göre isimlendirilirler. Örneğin, lastik kablo, PVC kablo, XLPE kablo, vb.

Ortak Dolgu ve Ortak Kılıf: Ortak dolgu, çok damarlı kablolarda, damarlar arasındaki boşlukları doldurmak ve damar demetine istenen çevre biçimini vermek amacı ile uygulanır. Dolgu olarak pamuk veya yapay yün iplikler, lastik veya termoplastik maddeler kullanılır. Ortak kılıf, ortak dolgu yerine güçlendirilmiş olarak uygulanan yalıtıcı ve koruyucu kılıftır. Ortak kılıf, çekme kılıf veya sargı kılıf olabilir. Ortak kılıf üzerine doğrudan bakır sargı, metal kılıf, metal siper veya zırh uygulanabilir. Ortak kılıf üzerine yarı iletken siper, ayrıca ortak kılıf üzerinde metal siper veya siper görevini yapan zırh bulunan kablolarda, ortak kılıf yarı iletken malzemeden yapılır.

Kör Damar: Çok damarlı kablolarda, damarlar arasındaki boşlukları doldurmak veya kabloya uygun bir şekil verilmesini kolaylaştırmak için kullanılan yalıtkan malzemeden yapılmış, iletken içermeyen damardır. Yalıtkan olarak genellikle ip kullanılır.

İç Kılıf: Zırlı kablolarda ortak kılıftan ayrı olarak, zırhın altında yer alan ve zırha yastıklık yapan koruyucu kılıftır.

Ayraç Kılıf: Kablonun farklı kılıflarının karşılıklı zararlı etkileşimini önlemek amacıyla bu kılıflar arasında yer alan ince bir çekme koruyucu kılıftır.

Dış Kılıf: Kabloyu dış etkilere koruyan ve kablonun en dışında bulunan çekilmiş koruyucu kılıftır. Dış kılıf yalıtkan kılıf özelliği taşımaz.

Kurşun Kılıf: Yalıtıcı ve koruyucu kılıflar nem çekici ise, (örneğin yağ emdirilmiş kağıt) kabloyu nemden, aynı zamanda mekanik ve hafif kimyasal etkilere korumak amacı ile ortak kılıf üzerine uygulanan kılıftır. Kurşun kılıfın üzerinde PVC dış kılıf bulunan kablo, yangın ve patlama sakıncası bulunan yerlerde, örneğin benzin istasyonlarında kullanılır.

Sarmal Bakır İletken (Konsantrik İletken): Bir damarlı kablolarda yalıtkan kılıfın, çok damarlı kablolarda genellikle ortak kılıfın üzerine uygulanan, bakır tel veya şeritten sarmal sargıdır. Sarmal bakır iletken, metal siper görevini de yapar. Sarmal bakır iletkenin kesiti, kablo simgesinde kesekten sonra yazılır. Örneğin, YVMV 3x95sc/50 0,6/1 kV. Sarmal bakır iletkenin üzerinde zırh varsa, ikisinin arasında PVC ayraç kılıf bulunur. Sarmal bakır iletken, nötr iletkeni olarak, aynı zamanda dokunmaya karşı koruma amacı ile kullanılabilir.

Siper (Ekran): İşlevi kablo yalıtkanının içindeki elektrik alanını düzgünleştirmek ve sınırlamak olan, her bir damar veya ortak kılıf üzerine uygulanan metal (öncelikle bakır) veya metal olmayan (yarı iletken) malzemeden çekme veya sargı kılıftır. Siper, her bir damar üzerindeyse *bireysel siper*, ortak kılıf üzerindeyse *ortak siper* denir.

Yarı İletken Siper: Anma gerilimi 3,5/6 kV ve daha büyük olan kablolarda her bir faz iletkeninin (iç) ve ayrıca yalıtkan kılıfın (dış) üzerinde yarı iletken maddeden yapılan siperdir.

Metal Siper: Her damarın veya ortak kılıfın üzerine gelen bakır tel veya şeritten yapılmış bir sargıdır. Anma gerilimi 3,5/6 kV ve daha büyük olan kablolarda metal siper bulunur. Anma gerilimi 3,5/6 kV olan ve yarı iletken siper bulunmayan kablolarda bakır siper, kablo bir damarlı ise yalıtkan kılıfın, çok damarlı ise ortak kılıfın üzerinde bulunur. Anma gerilimi 5,8/10 kV ve daha büyük kablolarda, bakır siper, her bir damarın ve doğrudan yarı iletken siperin üzerinde bulunur.

Çelik Zırh: Kabloyu mekanik etkilere koruyan, ortak kılıf üzerine ve genellikle dış kılıfın altına uygulanan, şerit, yuvarlak veya yassı çelik tellerden sarmal sargıdır. Zırh, sarmal bakır iletkenin veya metal siperin üzerine uygulanmışsa, zırhın altında iç kılıf bulunur. Yassı çelik zırh tel, anma gerilimi 0,6/1 kV'dan büyük olan çok damarlı kablolarda, bakır siper yoksa, siper görevi de yapar. Şeritler galvaniz çelik, alüminyum veya alüminyum alaşımlardan, yuvarlak ve yassı teller ise galvaniz çelik, kurşun kaplı çelik, alüminyum veya alüminyum alaşımlardan yapılır.

Tutucu Sargı: Tutucu sargı, metal veya zırhın üzerinde bulunan ve bunların dağılmasını önleyen bakır veya galvaniz çelik şeritlerle yada plastik şeritlerle yapılmış sargı veya sargılardır.

Kablo Yalıtkanları

Yalıtkanlar, kabloların yapımında yer alan ve görevi gerilime dayanmak olan yalıtıcı malzemelerdir. Yer altı kablolarında, polivinilklorür (PVC) ve polietilen (PE) termoplastikler yaygın olarak kullanılmaktadır. PVC yalıtkanlar, tesisat ve bükülgen kablolarda yalıtkan malzeme olarak özel öneme sahiptirler. Saf PVC, işletme sıcaklığında, çok sert ve kırılgan olup, aynı zamanda ısı karşısında kararsız yapı gösterdiğinden kullanışlı değildir. Soğukta darbelere karşı hassas bir malzemedir. Yalıtkan malzemeler için gerekli olan elektrik, mekanik ve ısı özellikleriyle birlikte iyi çalışma özellikleri bir takım katkı malzemelerin eklenmesi ile elde edilebilir. En yaygın kullanılan katkı malzemeleri, plastikleştiriciler, yumuşatıcı yağlar, stabilizatörler ve dolgu maddeleridir. Bu katkı maddelerinin ilavesi ile PVC'nin esnek olması sağlanır ve kırılganlığı giderilir. Kablonun soğuk ortamlarda kullanılması mümkün olur. Kalsit ve kaolin gibi dolgu malzemeleri PVC'ye işlenirlik ve sıcakta dayanım özelliği kazandırır.

Polietilen, saf olarak kullanılabilen, parafinin yapısına benzer bir hidrokarbondur. Çok iyi dielektrik özelliğe sahip olan bu yalıtkan malzeme çapraz bağırsız (Termoplastik PE) veya çapraz bağı (XLPE) yapıdadır. Termoplastik PE ve XLPE, iyonizasyon boşalmalarından çabuk etkilendiğinden, anma gerilimi 3,5/6 kV'dan büyük olan yeraltı kablolarında, yalıtkan kılıfın altında ve üstünde yarı iletken katman bulunması zorunludur. Bazı tekniklerle işlenerek değişik özellikte polietilen yalıtkanlar elde edilir. Yüksek basınç tekniği ile alçak yoğunluk polietileni (LDPE), alçak basınç tekniği ile yüksek yoğunluk polietileni (HDPE), yoğun molekül dokusu nedeniyle su geçirmezlik ve mekanik sağlamlık özelliğine sahip olup yüksek gerilim (YG) kablolarında kullanılır

Yer Altı Kablo Sembolleri

Kablo türleri simgelerle, istenirse sembolleri birlikte adları da yazılarak belirtilir. Semboller, kablonun kullanma amacını, işletme koşulunu, yapısını, özelliklerini, damar sayısını, damarların mm² olarak kesitini, iletkeninin malzemesini ve yapısını, düşük kesitli iletkeninin veya siperin yararlı kesitini, V veya kV olarak anma gerilimini gösterir. Kablo sembollerinde, kabloyu oluşturan katmanlara ilişkin sembol harfler yalıtkan kılıftan başlayarak içten dışa doğru sıralanarak yazılır. Tablo 4.5'de Türk Standartlarına (TS) göre yer altı kablolarının sembollerini belirleyen harflerin anlamları detaylı bir biçimde verilmiştir, inceleyiniz.

Kablo sembolleri üç bölümden oluşur: Bölüm 1, kablonun kullanma amacı ve yerini belirten bölümdür. Yeraltı kabloları için harf kullanılmaz ve birinci bölüm boş geçer. Bölüm 2, kablonun kullanıldığı işletme koşullarını, döşeme şeklini ve yapısını oluşturan katmanların belirtildiği bölümdür. Bölüm 3 ise, kablonun damar sayısını, kesitini, anma gerilimini ve diğer özelliklerini belirten bölümdür.

TS'na göre, yer altı kablolarının sembolü, işletme koşulunu belirten Y harfi ile başlar. Bu harften sonra, iletken malzemesini belirten harf yazılır. Örneğin, alüminyum iletken için A harfi konur ve sembol YA olur. Bakır iletkenler için harf sembolü kullanılmaz. İletken malzemesini belirten harften sonra veya bu harf boş geçildikten sonra, yalıtkan kılıfın malzemesini belirten harf yazılır. Örneğin bakır iletkenli XLPE yalıtkanlı yeraltı kabloları için E₃ yazılır ve sembol YE₃ olur. Yalıtkan kılıfı belirten sembolden sonra, kablonun yapısında yer alan siper, zırh vb. katmanları belirten harfler, yalıtkan kılıftan başlanarak içten dışa doğru sıralanır. Örneğin, yalıtkan kılıfı PVC olan, yassı çelik tel zırhlı ve PVC dış kılıfı bulunan bakır iletkenli yeraltı kablosunun sembolü YVŞV olmaktadır. Kablonun yapısını oluşturan katmanları simgeleyen harflerden sonra, kablonun ısı, nem veya korozyon gibi dış etkilere dayanımını ve özel biçimini belirten küçük harfler kullanılır. Örneğin, ağır işletme koşullarına dayanıklı, yalıtkan kılıfı PVC olan, yassı çelik tel zırhlı, PVC dış kılıfı bulunan ve alev ve korozyona dayanıklı bakır iletkenli yer altı kablosunun sembolü YVŞV-vk olmaktadır. Bu harf sembollerinden sonra, kablonun damar sayısının yanına çapı konarak her bir damar iletkeninin mm² olarak anma kesiti yazılır. Örneğin YVŞV 3 × 95. Eğer kabloda düşük kesitli bir iletken varsa ara kesik işareti konarak yazılır, YVŞV 3 × 95/16. Yer altı kablolarında, damar sayısı ve kesitini belirttikten sonra, damar iletkeninin kesit biçimini ve damar iletkeninin çok telli olduğunu belirten harfler konur. Örneğin, sektör kesitli çok telli damar iletkeni, kablo sembolü YVV 3 × 70sç/35 olur. Kablo sembolünün en sonuna kablonun anma gerilimi yazılır.

Tablo 4.5: Türk standartlarına göre yer altı kablolarının simgelerini belirleyen harflerin anlamları

İlgi	Harf	Anlamı
Kullanma amacı	O	Yer altı maden ocaklarında kullanılan kablo
	S	Sinyal ve kumanda kablosu
	-	Güç kabloları için harf simge kullanılmaz
İşletme koşulu ve döşeme şekli	Y	Ağır işletme koşullarına dayanıklı, yer altına, beton kanala veya duvara sabit olarak döşenen güç kablosu (Yer altı kablosu)
İletken malzeme	A	Alüminyum iletken
	-	Bakır iletken için harf kullanılmaz
Yalıtkan malzeme	L	Lastik yalıtkan
	V	PVC yalıtkan
	E	Polietilen (PE) yalıtkan
	E ₃	Termoset yalıtkan (çapraz bağlı polietilen, XLPE)
	K	Kağıt
Kılıf, sargı, siper ve zırh	A	Alüminyum kılıf
	M	Ortak sarmal bakır iletken (konsantrik iletken)
	MH	Bireysel sarmal bakır iletken (Her bir damar üzerinde)
	S	Ortak bakır siper
	SH	Bireysel bakır siper (Her damar üzerinde)
		20,3/35 kV kablolarda bakır siper her damar üzerinde bulunduğundan ayrıca H harfi kullanılmaz
	U	Yarı iletken katman
		Anma gerilimi 8,7/15 kV ve daha büyük olan kablolarda yalıtkan kılıf altında ve üstünde yarı iletken sargı, kılıf veya katman bulunduğundan ayrıca U harfi kullanılmaz
	Ç	Çelik tutucu sargı
	Ş	Galvaniz yassı çelik tel zırh
	ŞŞ	Alüminyum şerit zırh
Dış kılıf	O	Galvaniz yuvarlak çelik tel zırh
	P	Kurşun kılıf
Dış etkilere dayanıklılık	D	Dış kılıf (sargı, örgü, vb.)
	-t	Isıya dayanıklı
	-n	Neme dayanıklı
	-k	Korozyona dayanıklı
	-tk	Isıya ve korozyona dayanıklı
	-vk	Alev ve korozyona dayanıklı
	-m	Mekanik etkilere dayanıklı
Damar iletkenin kesit biçimi	-p	Pasa dayanıklı
	s	Daire kesmesi (sektör kesitli) iletken
Damar iletkenin tel sayısı	-	Daire kesitli iletken için harf simge kullanılmaz
	ç	Çok telli iletken (Bir telli iletken için harf simgesi kullanılmaz.)
	ş	Sıkıştırılmış iletken
Koruma damarı	I	Yeşil-sarı iki renkli koruma damarı

Farklı standartlar kullanımından kaynaklanan sembol anlaşmazlıklarına son vermek için iletkenler uluslararası alanda harmonize edilmiştir. Harmonize edilmiş kablolardaki sembol açıklamaları Tablo 4.6'da gösterilmiştir. Harmonize standartlara göre yapılan kablolarda dış kılıfın üzerine uygun aralıklarla HAR simgesi basılır veya siyah-kırmızı-sarı tanıma ipi bulunur.

Tablo 4.6: Harmonize edilmiş kablo bölüm sembol ve anlamları

Harmonize Sistemde Semboller ve Açıklamaları		Kablo Sembol Sırası									
		1	2	3	4	5	-	6	7	x	8
Tip (1)											
H	Harmonize Tip										
A	Ulusal Tip										
Anma Gerilimi (2)											
01	100/100V										
03	300/300V										
05	300/500V										
07	450/750V										
1	0,6/1Kv										
Yalıtkan Malzemesi (3)											
V	PVC (polivinil klorür)										
V2	PVC (+90)										
V3	PVC (düşük sıcaklıkta çalışan)										
B	Etilen propilen kauçuk										
E	PE(polietilen)										
X	XLPE(Çapraz bağlı polietilen)										
R	Doğal ve/veya sentetik kauçuk										
S	Silikon kauçuk										
Kılıf Malzemesi (4)											
V	PVC (polivinil klorür)										
V2	PVC (+90)										
V3	PVC (düşük sıcaklıkta çalışan)										
V5	PVC yağa dayanıklı										
Q	Poliüretan										
J	Cam elyafli fiber örgü										
R	Doğal ve/veya sentetik kauçuk										
N	Polikloropren kauçuk (PCP)										
S	Silikon kauçuk										
T	Tekstil örgü										
Özel konstrüksiyon (5)											
C4	Bakır örgü ekran										
H	Damarları ayrılabilen yassı kablo										
H2	Damarları ayrılmayan yassı kablo										
H6	Damarları ayrılmayan yassı kablo-vinçler için										
H8	Spiral kablo										
İletken Tipi (6)											
U	Tekli iletkin										
R	Çoklu iletkin										
K	Sabit tesis için ince çok telli iletkin										
F	Esnek ince çok telli iletkin(bükülgen)										
H	Çok ince çok telli iletkin										
D	İnce çok telli iletkin										
E	Çok ince telli iletkin										
Y	Burulu iletkin demedi										
Damar Sayısı (7)											
Koruyucu iletkin											
X	Sarı yeşil koruyucu iletkensiz										
G	Sarı yeşil koruyucu iletkinli										
İletken Kesiti (8)											

Tablo 4.5 ve Tablo 4.6’da belirtilen kablo sembollerinin nasıl kullanılacağına ilişkin bazı örnekler aşağıda verilmiştir.

1. **YE₃SHSV 3x150ş/25 3,5/6 kV:** Ağır işletme koşullarına dayanıklı (Y), XLPE yalıtkanlı (E₃), bireysel bakır siperli (SH), yassı çelik tel zırlı (Ş), PVC dış kılıfı (V) bulunan, 3 damarlı, her bir damar iletkeni sıkıştırılmış 150 mm² kesitinde iletken olan, sarmal bakır sargı kesiti 25 mm² olan 3,5/6 kV anma gerilimine sahip yer altı kablosu
2. **YVSV 1x50ş/16 8,7/15 kV:** Ağır işletme koşullarına dayanıklı (Y), PVC yalıtkanlı (V), ortak bakır siperli (S), PVC dış kılıfı (V) bulunan, 1 damarlı, damar iletkeni sıkıştırılmış 50 mm² kesitinde iletken olan, sarmal bakır sargı kesiti 16 mm² olan 8,7/15 kV anma gerilimine sahip yer altı kablosu
3. **H07V-U1,5sw:** PVC yalıtkanlı iletken, bir telli (som), kesiti 1,5 mm², anma gerilimi 450/750 V
4. **H05VV-F3G1:** Harmonize tip, anma gerilimi 300/500 V, PVC yalıtkan kılıf, PVC dış kılıf, ince çok telli iletken, damar sayısı 3 (üç damardan biri koruma damarıdır), koruma damarı var, iletkenin kesiti 1 mm².

SIRA SİZDE 3



TS'ye göre çapraz bağlı polietilen harf sembolü nedir?

SIRA SİZDE 4



YE₃OV sembolleri hangi kablo tipini ifade etmektedir?

Yer Altı Kablo Damar ve Dış Kılıf Renkleri

Yeraltı kabloları ve yüksek gerilim(YG) kablolarının birbirinden ayırt edilebilmeleri için dış kılıfları ayrı renklerde yapılır. Bir veya çok damarlı yeraltı kablolarında anma gerilimi 0,6/1 kV olanların dış kılıf rengi siyahtır. Anma gerilimi 0,6/1 kV'dan yüksek olan yeraltı kablolarının dış kılıf rengi ise kırmızıdır. Ancak, yeraltı maden ocaklarında kullanılan güç kablolarının dış kılıf rengi sarı ve yangın ve patlama riski bulunan yerlerde kullanılan güç kablolarının dış kılıf rengi ise mavidir.

Tablo 4.7: Yer altı kablolarında kullanılan damar renkleri

Damar Sayısı	Damar Renkleri	
	Koruma Damarı Yok	Koruma Damarı Var
2	 açık mavi/siyah	-----
3	 kahverengi/siyah/gri	 yeşil-sarı/açık mavi/kahverengi
4	 açık mavi /kahverengi/siyah/gri	 yeşil-sarı/kahverengi/siyah/gri
5	 açık mavi /kahverengi/siyah/gri/siyah	 yeşil-sarı/açık mavi/kahverengi/siyah/gri
6 veya daha çok damarlı	 ve öteki damarlar siyah üzerine beyaz numara baskılı	 ve öteki damarlar siyah üzerine beyaz numara baskılı

Çok damarlı kablolarda, kablonun başındaki bir damarın, sonundaki hangi damar olduğunun bilinmesi için damarlar renkli yapılır veya rakamlar basılarak ayırt edilir. Tablo 4.7’de yer altı kablolarında kullanılan damar renkleri verilmiştir, inceleyiniz. Ayrıca, anma gerilimi 0,6/1 kV’dan yüksek olan yer altı kablolarında damarlar ayırt edebilmek için, damar kılıfın üzerine 1’den başlayarak rakamlar basılır veya her damar siperinin üzerine ayrı renkte şerit sarılır. Şerit rengi için herhangi bir renk standardı yoktur.

Yer Altı Kablo Çeşitleri

Yer altı kabloları, maden ocakları gibi mekanik ve kimyasal etkilerin fazlaca olduğu ağır işletme koşullarına dayanıklı, yeraltına, beton kanala veya duvara sabit olarak döşenen güç kablolarıdır. Bu kablolar bina içinde, açıkta, yer altında ve su altında kullanılabilir. Ülkemizdeki yer altı kabloları,

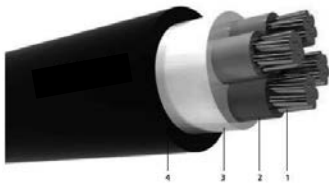
- Anma gerilimine göre; alçak gerilim (AG) (0,6/1 kV), orta gerilim (OG) (1-36 kV) ve yüksek gerilim (YG) (> 36 kV) kabloları,
- Damar iletkenin malzemesine göre; bakır kablolar veya alüminyum kablolar,
- Yalıtkan malzemesine göre; termoplastik (PVC) yalıtkanlı ve termoset yalıtkanlı (çapraz bağlı polietilen, XLPE) kablolar,

olmak üzere üç temel kablo grubu olarak sınıflandırılabilirler. Sonraki bölümlerde, farklı gerilim kademelerinde kullanılan yer altı kabloların yapısı ve kullanım yerleri hakkında bilgiler sunulacaktır.

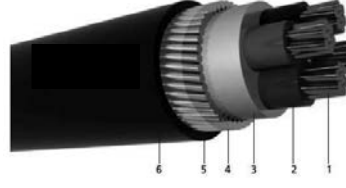
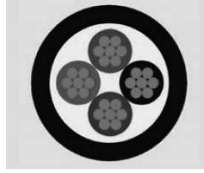
0,6/1,0 kV Anma Gerilimli Alçak Gerilim(AG) Yer Altı Kabloları: Bu tür kablolarda damar iletkeni daire veya kesme kesitli olur. Faz iletkeninin en küçük kesiti, daire kesitliler 1,5 mm², kesme kesitliler için 25 mm²’dir. Damar sayısı dört veya çok olabilir. Bu damarlarla birlikte kesiti 1,5 mm² olan kumanda damarı bulunabilir. Kablonun hasara uğrama ihtimali var ise çelik zırh bulunur. Dış kılıf rengi siyahtır. Ülkemizde üretilen ve en çok kullanılan 0,6/1 kV AG yer altı kabloları şunlardır: YVV (NYY), YVMY (NYCY), YVOV (NYRGY), YVŞV (NYFGY), YE₃V (2XY), YE₃MV (2XCY), YE₃OV (2XRGY) ve YE₃ŞV (2XFGY). Parantez içinde verilen semboller, ilgili kablonun Alman Standartlarındaki (VDE) karşılığını göstermektedir.

YVV kablolar, tek veya çok telli bakır iletkenli olarak imal edilirler. Bu kabloların maksimum işletme sıcaklığı 70 °C ve maksimum kısa devre sıcaklığı ise 160 °C’dir. Mekanik zorlanmaların bulunmadığı yerlerde, enerji istasyonlarında, umumi inşaat kabloları olarak dahili tesislerde, kablo kanallarında, endüstriyel tesislerde, künk ve borular içinde kullanılır. İletken üzerinde PVC izole, PVC üzerinde dolgu, dolgu üzerindeki dış kılıf ise yine PVC ile yalıtılmıştır. YVMV kablolarda sarmal bakır iletken (konsantrik iletken) mevcut olup, iç ve dış döşemelerde, kablo raflarında, beton kanallarda, yeraltında, mekanik zorlamalarla karşılaşılacak şehir şebekelerinde ve cadde aydınlatmalarında kullanılmaktadır. Sarmal bakır iletken zırh görevi yaptırılamaz. YVOV kablolarda, PVC dolgunun üzerinde galvanizli yuvarlak çelik tellerden yapılmış bir zırh bulunur. Ağır mekanik zorlanmaların bulunduğu kablo kanallarında, kumanda ve sinyal devrelerinde ve suda sabit olarak kullanılır. YVŞV kablolarda PVC dolgunun üzerinde galvanizli yassı çelik tellerden yapılmış bir zırh bulunur. Bu tür kablolar YVOV türü kabloların kullanıldığı yerlerde kullanılırlar.

YE₃Y kablolar, YVV kablolar ile aynı özelliğe sahip olup, sadece PVC yalıtkan kılıf yerine XLPE yalıtkan kılıf kullanılmıştır. Bu kablolar, dış kılıfın alev yanmaz özellikte olması nedeniyle gemi kablosu olarak da kullanılabilir. YE₃MV ortak sarmal bakır iletkenin olduğu XLPE yalıtkan kılıflı kablolar ve YVMY kabloların kullanıldığı yerlerde kullanılmaktadır. YE₃OV kablolar, YVOY kablolarına benzer olup, PVC yerine XLPE yalıtkan kullanılmıştır. Örnek olması için YVV ve YVOV kablo kesitleri Şekil 4.8’de verilmiştir.



1- Bir veya çok telli bakır iletken 2- PVC izole
3- PVC dolgu 4- PVC dış kılıf



1- Bir veya çok telli bakır iletken 2- PVC izole 3- PVC dolgu
4- Galvanizli yuvarlak çelik tel 5- Polyester bant 6- PVC dış kılıf

a) YVV yer altı kablosu

b) YVOV yer altı kablosu

Şekil 4.8: YVV ve YVOV 0,6/1 kV AG yer altı kablolarının yapısı.

Yer altı kablolarının mekanik ve elektriksel özelliklerini gösteren tablolar üretici firmalar tarafından sağlanmaktadır. Tablo 4.8’de YVV AG kablolarının döşeme yer ve şekline göre akım taşıma kapasiteleri belirli kesit değerleri için verilmiştir, inceleyiniz.

Tablo 4.8: 0,6/1 kV Çok damarlı YVV güç kablosunun teknik özellikleri

Teknik Özellikler / Technical Features								
Normal Kesit	Kablo Dış Çapı	Akım Taşıma Kapasitesi				İletken DC Direnci (20 °C)	Net Ağırlık	Sevk Uzunluğu
Rated Cross Section	Overall Diameter Of Cable	Current Carrying Capacity				Conductor DC Resistance at (20°C)	Net Weight	Delivery Length
mm ²	mm	Havada Akır (A) ☀	Toprakta Akır (A) ☀☀☀	Havada Akır (A) ☀☀☀	Toprakta Akır (A) ☀☀☀	Ohm / Km	Kg	Mt
3 x 4 re	14.70	34	40	34	40	4.610	358.39	500
3 x 6 re	15.80	44	50	44	50	3.080	443.46	500
3 x 1.5 rm	124.69	19	23	19	23	12.100	232.89	500
3 x 2.5 rm	141.03	26	31	26	31	7.410	279.84	500
3 x 4 rm	191.13	34	40	34	40	4.610	393.11	500
3 x 6 rm	224.32	44	50	44	50	3.080	489.15	1000
3 x 10 rm	260.16	60	68	60	68	1.830	633.84	1000
3 x 16 rm	323.65	79	88	79	88	1.150	863.20	1000
3 x 25 rm	437.44	105	114	105	114	0.727	1,244.50	1000
3 x 35 rm	530.93	129	137	129	137	0.524	1,605.73	1000
3 x 50 rm	697.46	162	168	162	168	0.387	2,148.59	1000
3 x 70 rm	902.59	203	206	203	206	0.268	2,928.41	1000
3 x 95 rm	1,194.59	250	247	250	247	0.193	3,957.72	1000
3 x 120 rm	1,425.31	289	281	289	281	0.153	4,865.74	1000
3 x 150 rm	1,712.87	330	315	330	315	0.124	5,936.67	500
3 x 185 rm	2,115.56	381	356	381	356	0.099	7,368.19	500
3 x 240 rm	2,687.83	451	412	451	412	0.075	9,523.74	500
3 x 300 rm	3,287.75	517	464	517	464	0.060	11,801.36	500
3 x 400 rm	4,151.06	594	524	594	524	0.047	15,083.93	500
3 x 10 + 6 rm	19.30	68	77	68	77	1.830	708.88	1000
3 x 16 + 10 rm	21.50	90	99	90	99	1.150	960.21	1000
3 x 25 + 16 rm	24.80	121	128	121	128	0.727	1,426.29	1000
3 x 35 + 16 rm	27.00	149	154	149	154	0.524	1,777.80	1000
3 x 50 + 25 rm	31.40	173	173	173	173	0.387	2,446.18	1000
3 x 70 + 35 rm	35.20	215	212	215	212	0.268	3,278.57	1000
3 x 95 + 50 rm	40.60	266	255	266	255	0.193	4,443.76	1000
3 x 120 + 70 rm	44.70	308	289	308	289	0.153	5,568.87	500
3 x 150 + 70 rm	48.30	357	327	357	327	0.124	6,590.07	500
3 x 185 + 95 rm	54.50	405	366	405	366	0.099	8,368.36	500
3 x 240 + 120 rm	60.60	482	425	482	425	0.075	10,649.16	500

SIRA SİZDE

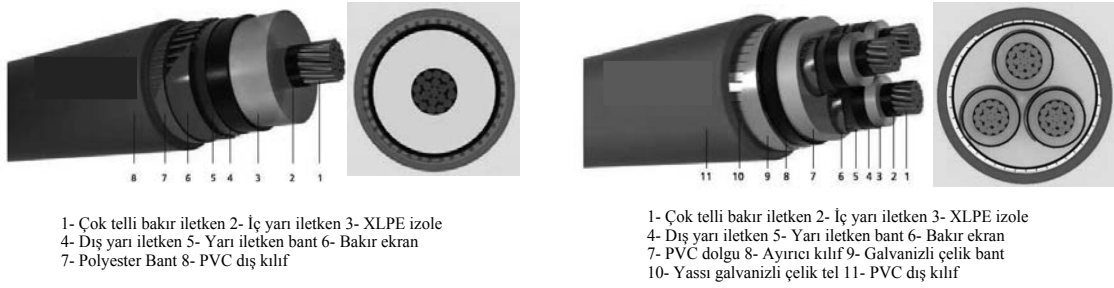


YVV 3x50+25rm 0,6/1 kV alçak gerilim kablosu yer altına döşendiğinde kaç amper(A) akım taşıyabilir?

3,5/6 kV Anma Gerilimli Orta Gerilim (OG) Yer Altı Kabloları: Bu tür yer altı kablolarında, damar iletkeni daire veya kesme kesitli olur. En küçük kesit, daire kesitliler için 25 mm², kesme kesitliler için 35 mm²’dir. Termoset yalıtkanlı (XLPE) bir ve çok damarlı olanlarda, iletkenin ve yalıtkan kılıfın üzerinde birer yarı iletken siper bulunur. Bakır siper bulunur. Ortak siperli çok damarlı kablolarda bakır siper yerine, galvanizli çelik telden yapılmış zırh bulunabilir. Eğer kablonun hasara

uğrama ihtimali var ise çelik zırh bulunur. Dış kılıf rengi kırmızıdır. Ülkemizde imal edilen ve en çok kullanılan 3,5/6 kV OG yer altı kabloları şunlardır: YVŞV (NYFGY), YE₃SV (N2XSY), YE₃SHŞV (N2XSEYFGY). Parantez içinde verilen semboller, ilgili kablounun Alman Standartlarındaki (VDE) karşılığını göstermektedir.

YVŞV kabloları, iç ve dış döşemelerde, kablo raflarında, beton kanallarda, yeraltında kablounun döşenmesi ve işletilmesi sırasında ağır mekanik zorlamalarla karşılaşılacak yerlerde, transformatör merkezlerinde kullanılır. YE₃SV OG yer altı kabloları, bir damarlı olup, XLPE yalıtkan kılıflı ve bakır siper içeren kablolardır. Bu kablolar, kısa devre akımlarının büyük olduğu yerleşim ve sanayi bölgelerinin elektrik enerjisi ile beslenmelerinde, hariçte, kablo kanallarında, dahilde ve yeraltında kullanılır. Ayrıca bu kablolar mekanik zorlamaların bulunduğu yerlerde kullanılır. YE₃SHŞV OG kablolar, her damar üzerinde bireysel bakır siperin bulunduğu XLPE yalıtkan kılıflı OG kablolarıdır. Kullanım yerleri YE₃SV kablolar ile aynıdır. Örnek olması için YE₃SV ve YE₃SHŞV kablo biçimleri Şekil 4.9'da gösterilmiştir.



a. YE₃SV yer altı kablosu

b. YE₃SHŞV yer altı kablosu

Şekil 4.9: 3,5/6 kV YE₃SV ve YE₃SHŞV 3,5/6kV OG yer altı kablolarının yapısı.

Tablo 4.9'da ise 3,5/6 kV bireysel bakır siperli XLPE OG yeraltı kablosunun teknik özellikleri, döşenme yer ve şekline göre akım taşıma kapasiteleri belirli kesit değerleri için verilmiştir, inceleyiniz.

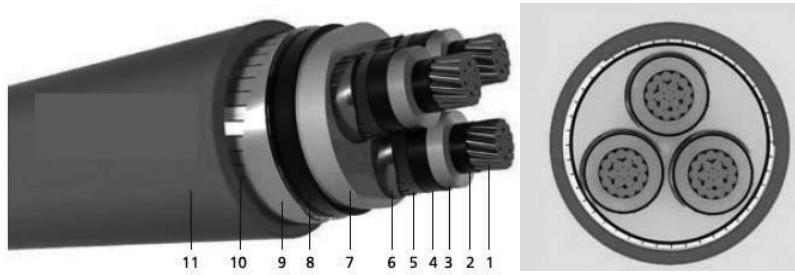
Tablo 4.9: 3,5/6 kV bireysel bakır siperli XLPE OG yer altı kablosunun teknik özellikleri

Teknik Özellikler / Technical Features								
Normal Kesit	Kablo Dış Çapı	Akım Taşıma Kapasitesi		Çalışma İndüktansı	Çalışma Kapasitesi	İletken DC Direnci (20 °C)	Net Ağırlık	Sevk Uzunluğu
Rated Cross Section	Overall Diameter Of Cable	Current Carrying Capacity		Operating Inductance	Operating Capacity	Conductor DC Resistance at (20 °C)	Net Weight	Delivery Length
mm ²	mm	Havada Air (A)	Toprakta Ground (A)	mH / Km	µF / km	Ohm / Km	Kg	Mt
3x25/16	44.7	141	149	0.37	0.20	0.727	3450	1000
3x35/16	47.30	171	176	0.35	0.22	0.524	4080	1000
3x50/16	50.00	196	208	0.34	0.25	0.387	4700	1000
3x70/16	54.00	249	255	0.32	0.28	0.268	5650	500
3x95/16	58.30	307	307	0.30	0.32	0.193	6850	500
3x120/16	62.30	353	353	0.29	0.35	0.153	8000	500
3x150/25	65.10	406	396	0.28	0.38	0.124	9200	500
3x185/25	69.80	464	447	0.27	0.42	0.0991	10700	500
3x240/25	78.80	548	523	0.26	0.47	0.0754	13100	250
3x300/25	82.20	632	581	0.26	0.48	0.0601	15850	250
3x400/35	90.80	726	653	0.25	0.52	0.0470	19700	250

5,8/10 kV Anma Gerilimli OG Yer Altı Kabloları: Bu tür yer altı kablolarında, damar iletkeni daire kesitlidir, kesme kesitli yapılmaz. En küçük iletken kesiti 25 mm² 'dir. İletkenin ve yarı iletken kılıfın üzerinde birer yalıtkan siper bulunur. Bakır siper bulunur. Ortak siperli çok damarlı kablolarda bakır siper yerine, galvanizli çelik telden yapılmış zırh bulunabilir. Eğer kablounun hasara uğrama ihtimali varsa çelik zırh bulunur. Dış kılıf rengi kırmızıdır. Ülkemizde imal edilen ve en çok kullanılan 5,8/10 kV OG yer altı

kabloları şunlardır: YVSV (NYSY), YVSHŞV (NYSEYFGY), YE3SV (N2XSY), YE3SHŞV (N2XSEYFGY). Parantez içinde verilen semboller, ilgili kablunun Alman Standartlarındaki (VDE) karşılığını göstermektedir.

YVSV kablolar, genel olarak, iç ve dış döşemelerde, büküm yarıçapı küçük olduğu için özellikle transformatör ve bağlama merkezlerinde, yeraltında, hafif olduğu için dik eğilimli yerlerdeki döşemelerde kullanılır. YVSHŞV yassı çelik tel zırh bulunanlar, iç ve dış döşemelerde, kablo raflarında, beton kanallarda, yeraltında kablunun döşenmesi ve işletilmesi sırasında ağır mekanik zorlamalarla karşılaşılacak yerlerde kullanılırlar. Bireysel bakır bulunan kablolar YE3SHŞV, iç ve dış döşemelerde, kablo raflarında, beton kanallarda, yeraltında kablunun döşenmesi ve işletilmesi sırasında ağır mekanik zorlamalarla karşılaşılacak yerlerde, kısa devre akımlarının büyük olduğu yerleşim ve sanayi bölgelerinin elektrik enerjisi ile beslenmelerinde, hariçte, kablo kanallarında, dâhilde ve yer altında kullanılır. Şekil 4.10'da 5,8/10 kV bireysel bakır siperli ve zırlı XLPE OG yer altı kablosunun yapısı gösterilmiştir, inceleyiniz.



1- Çok telli bakır iletken 2- İç yarı iletken 3- XLPE izole 4- Dış yarı iletken 5- Yarı iletken bant 6- Bakır ekran 7- PVC dolgu 8- Ayırıcı kılıf 9- Galvanizli çelik bant 10- Yassı galvanizli çelik tel 11- PVC dış kılıf

Şekil 4.10: 5,8/10 kV bireysel bakır siperli ve zırlı XLPE OG yer altı kablosunun yapısı.

Tablo 4.10'da ise bu kabloların teknik özellikleri, döşenme yer ve şekline göre akım taşıma kapasiteleri belirli kesit değerleri için verilmiştir, inceleyiniz.

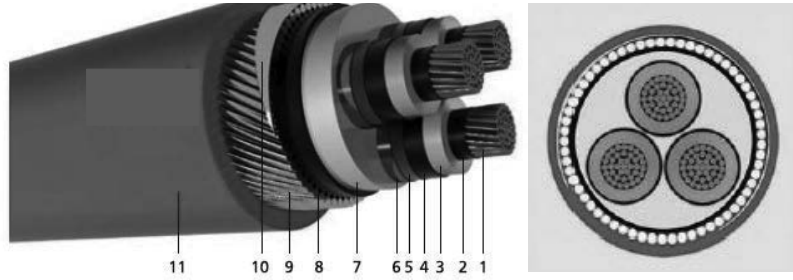
Tablo 4.10: 5,8/10 kV bireysel bakır siperli ve zırlı XLPE OG yeraltı kablosunun teknik özellikleri

Teknik Özellikler / Technical Features								
Normal Kesit	Kablo Dış Çapı	Akım Taşıma Kapasitesi		Çalışma İndüktansı	Çalışma Kapasitesi	İletken DC Direnci (20 °C)	Net Ağırlık	Sevk Uzunluğu
Rated Cross Section	Overall Diameter Of Cable	Current Carrying Capacity		Operating Inductance	Operating Capacity	Conductor DC Resistance at (20 °C)	Net Weight	Delivery Length
mm ²	mm	Havada Air (A)	Toprakta Ground (A)	mH / Km	µF / km	Ohm / Km	Kg	Mt
3x25/16	50.00	143	148	0.39	0.17	0.727	4000	500
3x35/16	52.00	173	178	0.37	0.19	0.524	4600	500
3x50/16	54.40	206	210	0.36	0.21	0.387	5250	500
3x70/16	59.00	257	256	0.34	0.24	0.268	6300	500
3x95/16	63.00	313	307	0.32	0.26	0.193	7500	500
3x120/16	66.60	360	349	0.31	0.29	0.153	8600	500
3x150/25	69.60	410	392	0.30	0.31	0.124	10000	500
3x185/25	74.10	469	443	0.29	0.34	0.0991	11600	250
3x240/25	80.70	553	513	0.28	0.39	0.0754	13900	250
3x300/25	85.20	635	579	0.27	0.42	0.0601	16600	250
3x400/35	92.50	731	650	0.26	0.48	0.0470	20000	250

20,3/35 kV Anma Gerilimli Orta Gerilim(OG) Yer Altı Kabloları: Bu tür yer altı kablolarında damar iletkeni daire kesitlidir, kesme kesitli yapılmaz. En küçük iletken kesiti 25 mm² 'dir. İletkenin ve yalıtkan kılıfın üzerinde birer yarı iletken siper bulunur. Bakır siper bulunur. Bakır siper, yalıtkan kılıfı saran yarı iletken siper üzerindeki yarı iletken katmanın üzerindedir. Çok damarlı olanlarda bakır siper

üzerinde ayrıca zırh varsa, ikisinin arasında iç kılıf bulunur. Kablonun hasara uğrama olasılığı varsa, genellikle dış kılıfın altında çelik zırh bulunur. Zırh var ise, zırhın altında iç kılıf yerine veya iç kılıfla birlikte zırha yastıklık yapan ayrıç kılıf bulunur.

Örnek olması açısından, ülkemizde imalat edilen ve kullanılan 20,3/35 kV zırhlı XLPE OG güç kablosunun (YE₃SV) yapısı, özellikleri ve kullanma yerlerini ele alalım. Mekanik darbelere karşı dayanıklı ve dielektrik kayıpları çok düşük olan YE₃SV kabloları, ani yük değişimlerinin olduğu şebekeler ile kısa devre akımlarının büyük olduğu yerleşim ve endüstri bölgelerinde, kablo kanallarında, toprak altında ve havada kullanılır. Şekil 4.11’de bu kabloların yapısı gösterilmiştir.



- 1- Çok telli bakır iletken 2- İç yarı iletken 3- XLPE izole 4- Dış yarı iletken 5- Yarı iletken bant 6- Bakır ekran
7- Dolgu 8- Ara kılıf 9- Galvanizli yuvarlak çelik tel 10-Galvanizli çelik bant 11- PVC dış kılıf

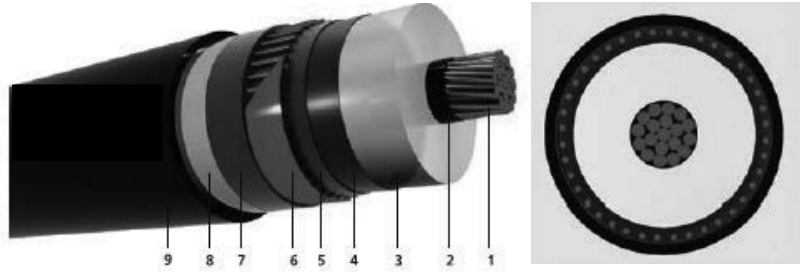
Şekil 4.11: 20,3/35 kV XLPE izoleli, üç damarlı, yuvarlak çelik tel zırhlı, bakır iletkenli kablonun yapısı.

Tablo 4.11’de ise 20,3/35 kV XLPE izoleli, üç damarlı, yuvarlak çelik tel zırhlı, bakır iletkenli kablonun teknik özellikleri verilmiştir, inceleyiniz.

Tablo 4.11: 20,3/35 kV XLPE izoleli, üç damarlı, yuvarlak çelik tel zırhlı, bakır iletkenli kablonun teknik özellikleri

Teknik Özellikler / Technical Features								
Normal Kesit	Kablo Dış Çapı	Akım Taşıma Kapasitesi		Çalışma İndüktansı	Çalışma Kapasitesi	İletken DC Direnci (20 °C)	Net Ağırlık	Sevk Uzunluğu
Rated Cross Section	Overall Diameter Of Cable	Current Carrying Capacity		Operating Inductance	Operating Capacity	Conductor DC Resistance at (20 °C)	Net Weight	Delivery Length
mm ²	mm	Havada Alır (A)	Toprakta Ground (A)	mH / Km	µF / km	Ohm / Km	Kg	Mt
3x50/16	87,50	214	214	0,45	0,11	0,387	11300	250
3x70/16	91,00	269	261	0,42	0,12	0,268	12300	250
3x95/16	96,60	326	313	0,41	0,14	0,193	13350	250
3x120/16	99,30	377	356	0,39	0,15	0,153	14250	250
3x150/25	102,00	426	400	0,37	0,16	0,124	15100	200
3x185/25	107,00	510	441	0,36	0,17	0,0991	16500	200
3x240/25	113,00	579	510	0,34	0,18	0,0754	18200	200
3x300/25	119,00	654	604	0,32	0,23	0,0601	19000	200

89/154 kV Anma Gerilimli Yüksek Gerilim(YG) Yer Altı Kabloları (YE3S(AL)E veya N2XS(FL)2Y): Dielektrik kayıpları çok küçük olan bu yer altı kabloları bir damarlı olup yapısı sırası ile; çok telli bakır iletken, iç yarı iletken tabaka, XLPE yalıtkan kılıf, dış yarı iletken tabaka, suda şişen su sızdırmaz yarı iletken bant, bakır ekran, ara kılıf, alüminyum bant ve PE dış kılıftan oluşmaktadır.



1- Çok telli bakır iletken 2- İç yarı iletken 3- XLPE izole 4- Dış yarı iletken 5- Yarı iletken şişen bant 6- Bakır ekran 7- Şişen Bant 8- Alüminyum bant 9- PE dış kılıf

Şekil 4.12: YE3S(AL)E 89/154 kV kablonun yapısı.

Şekil 4.12’de kesit yapısı görülen bu kablolar, güvenlik ve çevre koruması nedeni ile 154 kV havai hatlarla şehir merkezlerine girilemeyen hallerde yer altına döşenerek, gerilim düşümlerini ve kayıpları asgariye indirip şebekeyi kompanze etmekte, enerjiyi 154/34,5/0,4 kV ring sistemlerine iletmekte, enerji üretim merkezlerinden ulusal ve uluslar arası enterkonnekte şebekelerin beslenmesinde uydu kentlerin ana dağıtım sistemlerine bağlanmasında, hariçte, kablo kanallarında dahilde ve toprak altında, özel olarak imal edildiklerinde tatlı ve tuzlu suda kullanılır. Bu kabloların maksimum çalışma sıcaklığı 90 °C olup 5 s süreli maksimum kısa devre sıcaklığı 250 °C’dir. Tablo 4.12’de bu tür kabloların teknik özellikleri verilmiştir, inceleyiniz.

Tablo 4.12: YE3S(AL)E 89/154 kV kablonun teknik özellikleri

YE ₃ S(AL)E / 2XS(FL)2Y				89/154 kV			
Nominal Kesit	Bakır Faktörü	Kablo Dış Çapı (Yaklaşık)	Net Ağırlık (Yaklaşık)	20 °C’de İletken DA Direnci	Çalışma İndüktansı (Yaklaşık)	Çalışma Kapasitesi (Yaklaşık)	Toprakta Akım Taşıma Kapasitesi
Rated Cross-section	Cu Factor 1000 m	Overall Diameter of Cable (Approx.)	Net Weight (Approx.)	Conductor DC Resistance at 20 °C	Operating Inductance (Approx.)	Operating Capacity (Approx.)	Current Carrying Capacity on Ground
mm ²		mm	kg/km	Ω/km	mH/km	µF/km	A
1 Damarlı / 1 Core							
1x630	7370	97	13000	0,0283	0,687	0,177	841
1x1000	12680	107	17000	0,0176	0,642	0,199	1104
1x1600	15440	117	22600	0,0113	0,665	0,229	1442

Alvinal Kablolar

Alüminyumun iletken olarak sağladığı ekonomi, yer altı kabloları içinde geçerli olmaktadır. Enerji iletimi amacı ile alvinal alüminyum iletkenli yer altı kabloları geliştirilmiştir. Damar sayısı ve kullanım amacına göre alvinal kablolar başlıca; Alvinal-D (YAVV veya NAYY), Alvinal-K (YAMV veya NAYCY) ve Alvinal-Z (YAVSV veya NAYFGbY) olmak üzere üç ayrı tipte imal edilirler. Şekil 4.13’de Alvinal kabloların yapısı verilmiştir, inceleyiniz.



Şekil 4.13: Alvinal alüminyum iletkenli yer altı kabloları.

Alvinal-D (YAVV veya NAYY) Kabloları: Plastik yalıtımlı ve kılıflı, düşük kesitli nötr iletkenli, dört damarlı enerji kablosudur. Kesiti 16 mm² olan alvinal kablolar daire kesitli-som, 25 mm² olanları daire kesitli, diğerleri ise daire dilimi kesitlidir. Bu kabloların dış kılıfı siyah PVC plastikten yapılmıştır ve üzerlerine, fazları belirtmek için 1, 2, 3, nötrü belirtmek için ise 0 rakamı basılmıştır. Alvinal-D

kablolar, sabit tesislerde, bina içi ve dışında, kablo kanallarında, güç merkezlerinde, şalt ve endüstri tesislerinde, yerel enerji dağıtımında ve kablo yalıtımına zarar verebilecek dış etkenlere karşı önlem alınarak ağır hizmet şartlarında, değişik toprak ortamlarında (kuru, nemli, sulu, kumlu, killi, kayalık, vs.) kullanılır.

Alvinal-K (YAMV veya NAYCY) Kabloları: Plastik yalıtkanlı, anma gerilimi $U_0/U = 0,6/1$ kV, üç damarlı, nötrü konsantrik bakır iletkeninden imal edilmiş, sabit ve ağır işletme koşullarında çalışmaya elverişli olan alüminyum iletkenli yeraltı kablolarıdır. Alvinal-K kabloların kesiti 16 mm^2 olanlar daire kesitli-som, 25 mm^2 olanları daire kesitli, diğerleri ise sıkıştırılarak şekil verilmiş, düzgün yüzeyli, çok telli, burularak sarılmış şekilde imal edilirler. Damarlar üzerinde fazlar 1, 2, 3 şeklinde numaralandırılmıştır. Bakırdan imal edilen konsantrik nötr iletkeni ise tavlama işlemine tabi tutulmuştur. Bakırdan imal edilmiş konsantrik nötr iletkeni, kablonun elektrik ve mekanik bakımdan mukavemetin artırır. Alvinal-K kablolar, endüstri, şalt, yerel enerji ve sokak aydınlatma dağıtımında ağır hizmet şartlarında değişik toprak ortamlarında (kuru, nemli, sulu, kumlu, killi, kayalık, vs.) kullanılır.

Alvinal-Z (YAVSV veya NAYFGbY) Kabloları: Ağır işletme şartlarına dayanıklı, sabit tesislerde kullanılan, plastik yalıtkanlı, çelik zırh geçirilmiş, nötr iletkeni düşük kesitli imal edilen dört damarlı, alüminyum iletkenli enerji kablolarıdır. Alvinal-Z kabloların kesiti 16 mm^2 olanlar daire kesitli-som, 25 mm^2 olanları daire kesitli, diğerleri ise sıkıştırılarak şekil verilmiş, düzgün yüzeyli, çok telli ve örgülü olarak imal edilirler. Bu kabloların dış kılıfı siyah PVC plastikten yapılmıştır ve üzerlerine, fazları belirtmek için 1, 2, 3, nötrü belirtmek için ise 0 rakamı basılmıştır. Alvinal-Z kabloları, yerel enerji taşınmasında, kablo kanallarında, şalt ve endüstri tesislerinde, mekanik zorlamaların fazla olduğu yerlerde, ağır işletme şartlarında, nehir ve deniz içi ortamlarda, değişik toprak ortamlarında (killi, sulu, nemli, kuru, kayalık, kumlu, vb.) ve maden ocaklarında kullanılmaya elverişli kablolarıdır.

Alvinal kabloların elektriksel ve fiziksel özellikleri Tablo 4.13’de verilmiştir, inceleyiniz.

Tablo 4.13: Alüminyum iletkenli (alvinal) yer altı kabloların elektriksel ve fiziksel özellikleri

ANMA ADI	SÜREKLİ AKIMI (A)	ALVİNAL-D (YAVV-NAVY)			ALVİNAL-K (YAVMY-NAYCY)			ALVİNAL-Z (YAVŞ-NAYFGbY)		
		Çap (mm)	Kütle (kg/km)	Standart Uzunluk (m)	Çap (mm)	Kütle (kg/km)	Standart Uzunluk (m)	Çap (mm)	Kütle (kg/km)	Standart Uzunluk (m)
3 × 16/16	78	22	625	1000	23	725	1000	25	1050	1000
3 × 25/16	100	25	750	1000	27	900	1000	28	1275	1000
3 × 35/16	120	27	925	1000	28	1000	1000	30	1400	1000
3 × 50/25	145	29	1000	1000	30	1150	1000	32	1600	1000
3 × 70/35	175	33	1300	1000	34	1475	1000	35	2025	1000
3 × 95/50	215	37	1725	1000	37	1900	1000	39	2500	1000
3 × 120/70	245	40	2100	1000	41	2325	1000	43	3050	1000
3 × 150/70	275	43	2475	500	46	2775	500	47	3575	500
3 × 185/95	310	48	3100	500	50	3450	500	51	4250	500
3 × 240/120	360	54	4000	500	56	4375	500	57	5275	500

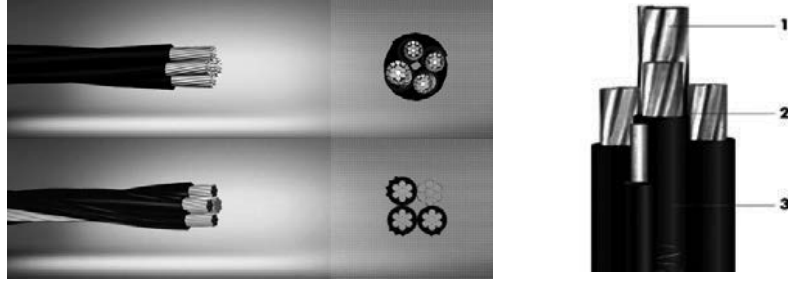


3x150/70 mm² Alvinal-K alüminyum iletkenli kablonun akım taşıma kapasitesi nedir?

Alpek Kablolar

Alpek kablolar, askı telli, demet biçimli, plastik yalıtkanlı alüminyum kablolarıdır. Bu kablolar, güvenli, emniyetli ve tesis maliyetlerinde sağladığı ekonomi nedeni ile 1960 yılından beri, tüm dünyada alçak ve orta gerilimde, çıplak alüminyum iletkenli hava hatları yerine hızla artan bir şekilde kullanılmaktadır. Bu kablolarda, plastik yalıtkanlı faz iletkenleri, çıplak nötr iletkeni etrafına bükülerek sarılırlar. Çıplak nötr

askı teli, tüm yükü ve gerilimleri taşır. Enerji dağıtımında, alüminyum alaşımlı askı telinin kopma gerilimi en 30 kg/mm² olmalıdır. Şekil 4.14’de Alpek kabloların yapısı verilmiştir.



1. Taşıyıcı halat: alüminyum alaşım, 2. İletken: alüminyum 3. İzolasyon: PE veya XLPE

Şekil 4.14: Alpek kablonun yapısı ve makarada görünüşü.

Tablo 4.14’de alpek kabloların elektriksel ve fiziksel özellikleri verilmiştir, inceleyiniz.

Tablo 4.14: Alpek kabloların elektriksel ve fiziksel özellikleri

ANMA ADI	DAĞITIM HATTI		SOKAK AYDINLATMASI		NÖTR-ASKI TELİ		TÜM KABLO		Standart Uzunluğu (m)
	Kesit (mm ²)	Akım (A)	Kesit (mm ²)	Akım (A)	Kesit (mm ²)	Kopma Yüğü (kgf)	Dış Çap (mm)	Kütle (kg/km)	
1 × 10+16	1 × 10	55	--	--	16	480	12	100	1000
3 × 10+16	3 × 10	50	--	--	16	480	20	200	1000
1 × 16+25	1 × 16	75	--	--	25	750	14	140	1000
1 × 25+35	1 × 25	100	--	--	35	1050	17	200	1000
1 × 35+50	1 × 35	125	--	--	50	1500	20	275	1000
3 × 16+25	3 × 16	70	--	--	25	750	22	275	1000
3 × 25+35	3 × 25	90	--	--	35	1050	26	400	1000
3 × 35+50	3 × 35	115	--	--	50	1500	30	575	1000
3 × 50+75	3 × 50	140	--	--	70	2100	35	750	1000
3 × 70+95	3 × 70	180	--	--	95	2850	41	1050	1000
1 × 16+25	--	--	1 × 15	75	25	750	14	140	1000
1 × 16+1x16+25	1 × 16	70	1 × 16	75	25	750	15	225	1000
3 × 16+1x16+25	3 × 16	60	1 × 16	60	25	750	22	350	1000
3 × 25+1x16+35	3 × 25	80	1 × 16	60	35	1050	26	475	1000
3 × 35+1x16+50	3 × 35	95	1 × 16	60	50	1500	30	625	1000
3 × 50+1x16+70	3 × 50	120	1 × 16	60	70	2100	35	800	1000
3 × 70+1x16+70	3 × 70	150	1 × 16	60	95	2850	41	1100	1000

Alpek kabloların yapısal özelliklerinin sağladığı bazı avantajları aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Kısa devre arızaları daha az olur.
- Delinme gerilimleri çok yüksek olduğundan yalıtım arızası yok denecek kadar azdır.
- Çevre dostu olup, ağaç kesilmelerini en alt düzeye indirir, doğa ile uyum sağlar.
- Faz iletkenlerinin yalıtılmış olması, elektrik hakkında yeterli bilgi sahibi olmayan kişilerin dikkatsizce iletkenlere dokunması sonucu oluşabilecek ölümcül kazaları önler.
- Yapısı nedeni ile yıldırım gibi atmosferik olayların oluşturduğu aşırı gerilimlerin tahrip edici etkisi sonucu meydana gelen kısa devreler ve maddi kayıplar daha azdır.

- Nötr hattının çıplak oluşu, fazlar ile karışmasını önler, tesis ve tamir esnasında yanılmalara ve ölümcül hatalara imkan vermez.
- Çıplak iletkenli hatlara göre direk boylarının kısalması, 5 çıplak iletken için gerekli bağlantı malzemesi ve çekimi yerine tek bağlantı ve çekim neticesi tesislerin maliyetinde % 15-35 arasında bir tasarruf sağlanır.
- İşletme ve bakım masrafları, çıplak iletkenlere göre daha azdır.
- Bu kablolar ile tesis edilmiş direkler üzerine, birden fazla kablo tesis edebilme olanağı, daha sonraları gerekecek mevcut şebeke takviyelerinde çok büyük bir kolaylık, imkân ve ekonomi sağlar.
- Orta gerilim hava hatları veya hava hattı telefon kabloları ile beraber aynı direkler üzerinde tesis edilebilir.
- Endüktif direnç değerinin çıplak iletkenli hatlara göre daha düşük olması, gerilim düşümleri ve kayıpların azalmasına imkân verir.



Yer altı kabloları konusunda daha ayrıntılı olarak bilgiye ulaşmak için *Güç İletimi (Enerji Taşınması)* (Saner, Y. (2004) İstanbul: Birsen Yayınevi) isimli kaynak kitaptan yararlanabilirsiniz.

Kablo Seçiminde Dikkat Edilecek Hususlar

Yer altı kablolarını seçerken dikkat edilmesi gereken bazı hususlar vardır. Bunlar, kabloların anma gerilim değerleri, kabloların direnç, endüktans ve kapasitans gibi sabitlerinin değerleri, yük akımı, kısa devre dayanımı, gerilim düşümü olarak sıralanabilir.

Kabloların Anma Gerilimi

Yeraltı kabloların anma gerilimi U_0 / U şeklinde belirtilmektedir. Burada U_0 gerilimi, bir faz iletkeni ile metal kılıf/siper veya toprak arasındaki gerilimin kV cinsinden etkin değerini göstermektedir. U ise çok damarlı kablolarda veya üç fazlı dizge oluşturan bir damarlı üç kabloda iki faz iletkeni arasındaki gerilimin kV cinsinden etkin değeridir. Kabloların anma gerilimleri $U_0 / U = 0,6/1 - 1,8/3 - 3,6/6 - 6/10 - 8,7/15 - 20,3/35$ kV ve daha yukarı değerlerde standartlaştırılmıştır.

Bir veya üç fazlı tesislerde, belli bir anma gerilimine göre imal edilmiş kabloların müsaade edilen en yüksek işletme gerilimleri (U_m) standartlar tarafından belirlenmiştir. Üç fazlı kablo döşemelerinde en büyük işletme gerilimi, anma gerilimi 0,6/1 - 1,8/3 - 3,6/6 - 6/10 - 8,7/15 kV olan kablolarda, anma geriliminin yaklaşık 1,15 ve anma gerilimi 20,3/35 kV olan kablolarda ise 1, 20 katından büyük olmamalıdır.

Kablo Sabiteleri

Enerji iletim ve dağıtım hatlarında akım, gerilim, güç ve güç kat sayıları gibi büyüklükler arasındaki ilişkileri hesaplamaya yarayan ve kabloların özelliklerine göre değişen direnç (R), endüktans (L) ve kapasitans (C) değerlerine *kablo sabiteleri* denir. Enerji taşıma hatlarının çalışma gerilimlerinin büyüklüğüne göre bu sabitelerinden bazıları çok küçük değerlere düşer. Bu bakımdan bazıları dikkate alınmayabilir. Kablo sabitlerinin km başına değerleri, formüller kullanılarak hesaplanabileceği gibi, kablo kesitlerine göre üretici firmaların kablo kataloglarından da kolaylıkla bulunabilir. Tablo 4.8-4.12'de OG ve YG iletim hatlarında kullanılan güç kablolarının kesite göre km başına kablo sabit değerlerini gösteren katalog tablo örnekleri verilmiştir, inceleyiniz.

Yük Akımı

Kablo kesitleri, yük akımına bağlı olarak, çeşitli kablo tiplerine, döşeme durumlarına ve ortam koşullarına göre standartlarda belirtilen yada üretici firmalar tarafından bildirilen yükleme durumlarına göre belirlenir. Kabloların akım taşıma kapasiteleri aşağıda verilen bir çok etkene bağlıdır. Bunlar, izin verilen iletken sıcaklığı, kabloda oluşan ısıнын dışarıya atılmasında etkili olan ortam koşulları (toprağın ısı

direnci vb.), kablonun tek yada çok damarlı oluşu, kablonun havada yada yeraltına döşenmiş olması, kablonun döşenme yöntemi, kablonun ısı dayanımı şeklinde sıralanabilir. Bu hesapların yapılmasında ilgili standartlarda yer alan kablolarla ilgili tablolardan yararlanılmaktadır. Örnek olması için, Tablo 4.17’de farklı anma gerilimine sahip yeraltı kablolarının, döşeme şekline göre akım taşıma kapasiteleri verilmiştir. Eğer kabloların döşeme ve işletme şartları farklı ise, akım taşıma kapasiteleri aşağıdaki Tablo 4. 15 ve 4.16’da verilen ilgili faktör ile çarpılmalıdır.

Kısa Devre Dayanımı

Kablolar kullanılacakları şebekelerde oluşacak kısa devre akımlarına dayanmalıdır. Kabloların kısa devre dayanıklılığı hesapla gösterilmelidir. Kısa devre sonucunda kablo iletken sıcaklığı PVC yalıtkanlı kablolarda en çok 160 °C, XLPE kablolarda en çok 250 °C olmalıdır.

Gerilim Düşümü

Elektrik enerjisi iletim ve dağıtımında kullanılan kabloların kesiti belirlenirken, izin verilen gerilim düşümü yüzdeleri mutlaka dikkate alınmalıdır. Kabloların gerilim düşümü hesabından dirence ilave olarak, kablonun endüktif reaktans değeri de göz önüne alınmalıdır. İzin gerilim düşümü değerleri; alçak gerilimli dağıtım şebeke ve hatlarında %5, OG gerilimli şebeke ve hatlarında %10’dan daha büyük olmamalıdır. Gerilim düşümü, indirici trafo merkezlerinin sekonderinden itibaren yüksek gerilim dağıtım şebekelerinde % 7’yi aşmamalıdır. Ancak ring şebekeler için ayrıca arıza hallerinde ringin tek taraflı beslenmesi durumu için gerilim düşümü hesapları yapılmalıdır. Bu durumda gerilim düşümü % 10’u aşmamalıdır.



Anma gerilimi 20,3/35 kV olan XLPE izoleli, üç damarlı, yuvarlak çelik tel zırlı, bakır iletken kablonun 3x240/25 mm² kesitinde olan tipinin akım taşıma kapasitesi, km başına hat sabit değerlerini üretici firmanın hazırladığı katalogdan faydalanarak bulunuz.

Tablo 4.15: Toprak içine döşenmiş kablolarda muhtelif ortam sıcaklıklar için akım kapasitelerini değiştirme faktörleri (VDE 0298)

Kablo Tipi	Toprak Termik Direnci (Cal.m/W)	0,7		1,0		1,5		2,5
	Yük faktörü	0.7	1.0	0.7	1.0	0.7	1.0	0.7-1.0
	Toprak sıcaklığı							
XLPE izoleli kablolar 0,6/1 kV 'dan 20,3/35 kV 'a kadar	10°C	1.16	1.05	1.05	0.98	0.95	0.91	0.86
	15°C	1.14	1.03	1.02	0.95	0.92	0.89	0.84
	20°C	1.12	1.00	1.00	0.93	0.90	0.86	0.81
	25°C			0.98	0.90	0.87	0.84	0.78
	30°C			0.95	0.88	0.84	0.81	0.75
	35°C					0.82	0.78	0.72
	40°C							0.68
PVC izoleli kablolar 0,6/1 kV –3,5 kV	Toprak sıcaklığı							
	10°C	1.19	1.05	1.06	0.97	0.95	0.89	0.83
	15°C	1.17	1.03	1.03	0.94	0.92	0.86	0.79
	20°C	1.14	1.01	1.00	0.91	0.90	0.83	0.76
	25°C			0.97	0.88	0.87	0.79	0.72
	30°C			0.94	0.85	0.84	0.76	0.68
	35°C					0.82	0.72	0.63
	40°C							0.59

Tablo 4.16: Toprak termik dirençleri

Toprak Termik Direnci (Cal.m/W)	Toprak Şartları	Hava Şartları
0,7 1 2 3	Çok nemli Nemli Kuru Çok kuru	Sürekli nemli Düzenli yağmurlu Seyrek yağmurlu Çok az yağmurlu veya kurak

Tablo 4.17: Kabloların akım taşıma kapasiteleri (A)*

Kablo Cinsi	Protodur N ve F Kabloları (1)			Protodur Y Kabloları (2)								Protodur X Y Kabloları (3)					
Gerilim	380-1000 V			0,6/1 kV		3,5/6 kV		5,8/10 kV		8,7/15 kV		20,3/35 kV					
Damar sayısı	1	2-5	1	3 ve 4		3						1				3	
Düğme şekli Kesit mm ²	Boru içinde bir veya daha fazla kablo	Havada	Havada asgari kablo çapı aralığı döşeli kablolar	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada	Toprakta	Havada 000	Toprakta 000	Havada 000	Toprakta 000	Havada	Toprakta
0,75	-	13	16	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1	12	16	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1,5	16	20	25	27	17,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2,5	21	27	34	36	24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
4	27	36	45	46	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
6	35	47	57	58	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
10	48	65	78	77	57	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
16	65	87	104	100	76	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
25	88	115	137	130	101	120	105	125	115	105	97	-	-	-	-	-	-
35	110	143	168	155	125	150	130	150	135	130	117	189	199	208	195	172	146
50	140	178	210	185	151	175	155	175	165	155	146	223	238	247	234	204	178
70	175	220	260	230	192	215	195	215	205	190	181	273	296	302	292	251	220
95	210	265	310	275	232	260	240	255	250	225	220	325	358	359	354	300	265
120	250	310	365	315	269	295	275	290	285	260	255	368	412	402	404	335	304
150	-	355	415	355	309	335	315	325	320	300	295	410	465	443	456	375	347
185	-	405	475	400	353	375	360	365	365	340	340	463	532	496	515	-	-
240	-	480	560	465	415	435	430	425	430	400	405	434	627	562	602	-	-

(*) Düzeltme faktörlerinin ayrıca dikkate alınması gerekmektedir.

1. VDE 0100 25 °C Çevre sıcaklığı
2. VDE0271 toprakta 20 °C , havada 30 °C çevre sıcaklığı toprak özgül ısı direnci 100 Kcm/W , derinlik 70 cm
3. VDE0298 toprakta 20 °C , havada 30 °C çevre sıcaklığı toprak özgül ısı direnci 100 Kcm/W , derinlik 70 cm

Havai hatlarda kullanılan iletkenler, içi dolu som tel ile masif örgülü bakır veya alüminyum tellerden yapılmaktadır. Elektrik enerjisinin iletim ve dağıtımında bakır, tam alüminyum, alüminyum alaşımlı ve çelik özlü alüminyum iletkenler kullanılmaktadır. Bu iletkenlerin yapıları, elektriksel ve mekanik özellikleri hakkındaki bilgiler, üretici firmaların hazırlamış olduğu tablolardan kolaylıkla elde edilebilir. Alçak gerilimde, Rose, Lily, Iris, Pansy, Poppy, Aster vb. sembolleri ile verilen alüminyum iletkenler kullanılmaktadır. Orta gerilimde Swallow, Raven, Pigeon, yüksek gerilimde Hawk, Drake, Cardinal, Pheasant ve çok yüksek gerilimlerde ise Cardinal ve Pheasant çelik özlü alüminyum iletkenler ikili veya üçlü demek iletken şeklinde kullanılmaktadır.

Elektrik enerjisinin ekonomik ve verimli bir biçimde iletilebilmesi için, havai hatlarda kullanılacak iletkenlerin seçiminde iletkenin sahip olduğu elektriksel ve mekanik özellikler dikkate alınmak zorundadır. Bu özellikler, iletkenlik, koronaya karşı dayanıklılık, iletken çapı ve özgül ağırlığı, iletkenin mekanik ve ısıya karşı olan dayanıklılığı, verilecek sehim, direnç, endüktans ve kapasitans değerleri gibi faktörleri kapsamaktadır.

Genellikle yerleşim merkezlerinde enerji dağıtımı ve iletimini yeraltından sağlamak için yeraltı kabloları kullanılır. Kablonun, tipine, anma gerilimine ve kullanıldığı yerlere bağlı olmakla birlikte, kablolar genel olarak aşağıda verilen yapı elemanlarından oluşmaktadır: Damar, kablo iletkeni, yalıtkan kılıf, ortak dolgu ve ortak kılıf, iç kılıf, ayraç kılıf, dış kılıf, kurşun kılıf, sarmal bakır iletken, siper (ekran), yarı iletken siper, metal siper ve çelik zırh. Kablolarda yalıtkan malzeme olarak, PVC, PE ve XLPE kullanılmaktadır.

Kablolar, ayrıca işletme koşullarına, kullanım amacına ve kullanım yerine göre, N, Y, B, F, T, Alpek ve Alvinal kablolar olmak üzere yedi temel gruba ayrılmaktadır. N-kablolar, normal ve hafif işletme koşullarına dayanıklı, boru içinde siva altına veya borusuz olarak duvara sabit döşenen iç döşeme kablolarıdır. Y-kablolar (yer altı kabloları), maden ocakları gibi mekanik ve kimyasal etkilerin fazlaca olduğu ağır işletme koşullarına dayanıklı, yeraltına, beton kanala veya duvara sabit olarak döşenen güç kablolarıdır. B-kablolar, hareketli tesislerde kullanılan, ağır işletme koşullarına uygun olan kablolarıdır. F-kablolar normal ve hafif işletme koşullarına dayanıklı, hareketli ve taşınan elektrik cihazlarında kullanılan, serbest olarak salınan bükülgen kablolar veya kordonlardır. T-kablolar,

ses frekanslı haberleşme sistemlerinde kullanılan polietilen yalıtkanlı çok damarlı kablolarıdır. Alpek kablolar, askı telli, demet biçimli, plastik yalıtkanlı alüminyum kablolarıdır. Alvinal kablolar ise iletken olarak alüminyum iletkeninin kullanıldığı yer altı güç kablolarıdır.

Kablo türleri simgelerle tanımlanır. Semboller, kablonun kullanma amacını, işletme koşulunu, yapısını, özelliklerini, damar sayısını, damarların mm² olarak kesitini, iletkeninin malzemesini ve yapısını, düşük kesitli iletkeninin veya siperin yararlı kesitini ve anma gerilimini gösterir. Kablo sembollerinde, kabloyu oluşturan katmanlara ilişkin sembol harfler, yalıtkan kılıftan başlayarak, içten dışa doğru sıralanarak yazılır. Genellikle ülkemizde, kabloların sembolleri, Türk Standartları (TS) ve Alman Standartlarına (VDE) göre verilmektedir. Ancak, meydana gelen sembol anlaşmazlıklarına son vermek için, uluslararası alanda harmonize standartlar geliştirilmiştir.

Kablo seçimi, kabloların anma gerilim değerleri, kablo sabitlerinin değerleri, yük akımı, kısa devre dayanımı, gerilim düşümü gibi hususlar dikkate alınarak yapılır. Kabloların anma gerilimleri, uluslararası standart ve norm kurumlarınca; $U_0/U = 0,6/1 - 1,8/3 - 3,6/6 - 6/10 - 8,7/15 - 12/20 - 20,3/35$ kV ve daha yukarı değerlerde standartlaştırılmıştır. Kabloların, direnç, endüktans ve kapasitans gibi sabitlerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Hat sabitlerinin km başına değerleri, formüller kullanılarak hesaplanabileceği gibi, kablo kesitlerine göre üretici firmaların kablo kataloglarından da kolaylıkla bulunabilir.

Kablo kesitleri, yük akımına bağlı olarak, çeşitli standartlarda belirtilen yada üretici firmalar tarafından bildirilen yükleme durumlarına göre belirlendiğinden, kablonun taşıyacağı yük akım değerinin bilinmesi oldukça önemlidir. Kabloların kullanılacakları şebekelerde oluşacak kısa devre akımların dayanmaları işletme güvenliği için bir zorunluluktur. Kablo seçiminde kısa devre akımının oluşturacağı iletken sıcaklık değerine uygun kablo seçilmelidir.

Kullanılacak kablonun iletken kesitleri, izin verilen gerilim düşümünden daha fazla bir gerilim düşümüne neden olacak büyüklükte olmamalıdır. İzin gerilim düşümü değerleri; alçak gerilimli dağıtım şebekelerinde %5, OG gerilimli şebekelerinde %10' u ve yüksek gerilim şebekelerinde %7'yi aşmamalıdır.

Kendimizi Sınayalım

1. Havai hatta kullanılan çelik özlü alüminyum iletkenler kısaca hangi harflerle gösterilir?

- a. AAA
- b. ACSR
- c. AASR
- d. AACR
- e. AASR

2. 42 Al/7 St şeklinde ifade edilen çelik özlü alüminyum iletkendeki toplam alüminyum damar sayısı nedir?

- a. 7
- b. 42
- c. 49
- d. 35
- e. 54

3. Aşağıdakilerden hangisi tam alüminyum bir iletken **değildir**?

- a. Rose
- b. Lily
- c. Pansy
- d. Poppy
- e. Swallow

4. Aşağıdakilerden hangisi çelik özlü bir iletkenidir?

- a. Lilly
- b. Pansy
- c. Raven
- d. Poppy
- e. Rose

5. Maden ocakları gibi mekanik ve kimyasal etkilerin fazlaca olduğu ağır işletme koşullarına dayanıklı, yeraltına, beton kanala veya duvara sabit olarak döşenen güç kablolarının adı nedir?

- a. B-kablolar
- b. N-kablolar
- c. Y-kablolar
- d. F-kablolar
- e. Alpek kablolar

6. Kablonun yalıtılmış olan iletkenine ne denir?

- a. Zırh
- b. Siper
- c. Kılıf
- d. Damar
- e. Ortak Dolgu

7. Kabloyu mekanik etkilerden koruyan yassı veya yuvarlak çelik tellerle yapılmış örgü veya sargıya ne ad verilir?

- a. Kılıf
- b. Damar
- c. Zırh
- d. Siper
- e. Kör Damar

8. Türk Standartlarına göre, yalıtkan kılıfı PVC olan, yassı çelik tel zırlı ve PVC dış kılıfı bulunan bakır iletkenli yeraltı kablolarının sembolü aşağıdakilerden hangisidir?

- a. YVV
- b. YVŞV
- c. YVMV
- d. YVOV
- e. YE3V

9. PE'nin anlamı nedir?

- a. Plastik
- b. Pozitif
- c. Polietilen
- d. Polivinil
- e. Poliklorid

10. Alvinal kablolarında hangi iletken malzeme kullanılır?

- a. Bakır
- b. Çelik özlü alüminyum
- c. Çelik
- d. Alüminyum
- e. Hiçbiri

Kendimizi Sınavalım Yanıt Anahtarı

1. **b** Yanıtınız yanlış ise “Havai Hat İletkenlerinin Yapıları ve Özellikleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz

2. **b** Yanıtınız yanlış ise “İletkenlerin İmal Ediliş Şekline Göre Sınıflandırılması” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz

3. **e** Yanıtınız yanlış ise “İletkenlerin Kullanılan Malzemeye Göre Sınıflandırılması” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz

4. **c** Yanıtınız yanlış ise “İletkenlerin Kullanılan Malzemeye Göre Sınıflandırılması” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz

5. **c** Yanıtınız yanlış ise “Kablolar Hakkında Genel Bilgiler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz

6. **d** Yanıtınız yanlış ise “Kablo ve İletkenlerin Yapısı” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz

7. **c** Yanıtınız yanlış ise “Kablo ve İletkenlerin Yapısı” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

8. **b** Yanıtınız yanlış ise “Yer Altı Kablo Sembolleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz

9. **c** Yanıtınız yanlış ise “Yer Altı Kablo Sembolleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz

10. **d** Yanıtınız yanlış ise “Alvinal Kablolar” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz

Sıra Sizde Yanıt Anahtarı

Sıra Sizde 1

Tablo 4.3 incelendiğinde, 1/0 AWG (Raven) çelik-alüminyum iletkenin en fazla 280 A akım taşıyabileceği görülmektedir.

Sıra Sizde 2

Sehim için tanımlanan $f = \frac{Ga^2}{8T}$ eşitliğinde veriler yerine konularak,

$$25 \text{ dm} = \frac{G(8 \text{ m})^2}{8(6 \text{ kg/cm}^2)}$$

yazılabilir. Buradan iletkenin yoğunluğu,

$$G = 18,75 \text{ kg/dm}^3 \text{ elde edilir.}$$

Sıra Sizde 3

Türk Standartlarına göre çapraz bağlı polietilen harf sembolü E₃'dür.

Sıra Sizde 4

YE₃OV sembolü, ağır işletme koşullarına dayanıklı (Y), XLPE yalıtkanlı (E₃), galvanizli yuvarlak çelik tellerden yapılmış bir zırhlı bulunan (O), dış kılıfı PVC (V) olan bir yeraltı güç kablosunu ifade etmektedir.

Sıra Sizde 5

Tablo 4.8 incelendiğinde YVV 3×50+25 mm² 0,6/1 kV kablunun yeraltına döşenmesi durumunda 173 A akım taşıyabileceği görülmektedir.

Sıra Sizde 6

Table 4.13 incelendiğinde 3×150/70 mm² Alvinal-K alüminyum iletkenli kablunun akım taşıma kapasitesinin 275 A olduğu görülmektedir.

Sıra Sizde 7

Tablo 4.11 incelendiğinde, ilgili kesitteki kablunun;

- Akım taşıma kapasitesinin 510 A,
- Km başına endüktans değerinin $L = 0,34 \text{ mH}$,
- Km başına kapasitans değerinin $C = 0,18 \mu\text{F}$
- Km başına direnç değerinin ise $R = 0,0754 \Omega$

olduğu anlaşılmaktadır.

Yararlanılan Kaynaklar

Turgut, E. ve Selçuk, K. (2009). **Elektrik Enerjisi Üretimi İletimi ve Dağıtımı**, Detay Yayıncılık, Ankara.

Tosun, İ. (2007). **Enerji İletimi ve Dağıtımı**, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Ürgüplü, Z. (2008). **Elektroteknik Bilgi Bankası**, Elektrobank, Ankara.

Saner, Y. (2007). **Güç Dağıtımı (Enerji Dağıtımı) 3**, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Saner, Y. (2004). **Güç İletimi (Enerji Taşınması)**, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Çakır H. (1989). **Enerji İletimi (Elektrik Hesaplar)**, Yıldız Üniversitesi, İstanbul.

Vatan Kablo Ürün Kataloğu, www.vatan.com.tr

HES Kablo Ürün Kataloğu, www.hes.com.tr

Türk Prysmian İletkenler ve Enerji Kabloları Kataloğu, www.prysmian.com.tr

<http://www.megep.meb.gov.tr>

5

Amaçlarımız

Bu üniteyi tamamladıktan sonra;

-  Direklerle ilgili temel kavramları ifade edebilecek,
-  Direkleri özelliklerine göre sınıflandırabilecek,
-  Direk temelleri ve topraklama ile ilgili hususları açıklayabilecek,
-  Direklere etki eden kuvvetleri ve menzilleri analiz edebilecek,
-  İzolatörleri tanıyıp türlerini açıklayabilecek,
-  İzolatör seçimi ölçütlerini uygulayabilecek

bilgi ve becerilere sahip olabilirsiniz.

Anahtar Kavramlar

- | | |
|--|--|
|  Direk |  Konsol |
|  Travers |  İzolatör |
|  Enerji Nakil Hattı |  İletken |

İçindekiler

- ❖ Giriş
- ❖ Direkler
- ❖ Traversler
- ❖ Konsollar
- ❖ İzolatörler

Direkler ve İzolatörler

GİRİŞ

Elektrik enerjisi, hayatın her alanına girerek yoğun bir şekilde kullanılmaktadır. Verimi çok yüksek olan bu enerjinin diğer enerji türlerine dönüşümünün ve uzak mesafelere iletimin kolay, rahat ve fonksiyonel kullanımlı olması gibi birçok avantajları bulunmaktadır. Bunların yanında başta elektrik enerjisinin, depolanamama gibi büyük dezavantajı vardır. Bu nedenle üretilen enerjinin (hidroelektrik, termik, nükleer, doğalgaz çevrim, rüzgâr santrallerinde veya fotovoltaiik sistemlerde vb.), tüketiciye anında ulaştırılması ve kullanılması gerekmektedir. Üretim ile tüketim arasındaki bu dengenin aksatmadan sürdürülebilmesi için de özel iletim ve dağıtım şebekelerinin kurulmasına ihtiyaç vardır. Böylece elektrik enerjisi üretim, iletim, dağıtım ve tüketim şebekeleri üzerinden son tüketiciye ulaştırılmaktadır.

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği(EKATY)’nde “insanlar, diğer canlılar ve eşyalar için bazı durumlarda (yaklaşma, dokunma vb.) tehlikeli olabilecek ve elektrik enerjisinin üretilmesini, özelliğinin değiştirilmesini, biriktirilmesini, iletilmesini, dağıtılmasını ve mekanik enerjiye, ışığa, kimyasal enerjiye vb. enerjilere dönüştürülerek kullanılmasını sağlayan tesisler”, elektrik kuvvetli akım tesisleri olarak adlandırılmaktadır.

Üretim noktasından en son tüketim noktasına kadar elektrik enerjisinin nakli için kurulan şebekeler, genellikle hava hatları şeklinde tesis edilmektedirler. EKATY’de hava hattı “kuvvetli akım iletimini sağlayan mesnet noktaları, direkler ve bunların temelleri, yer üstünde çekilmiş iletkenler, iletken donanımları, izolatörler, izolatör bağlantı elemanları ve topraklamalardan oluşan tesisin tümü” olarak tanımlanır. Yani bir enerji iletim hattının başlıca elemanları direkler, iletkenler ve izolatörlerdir.

Enerji nakil hatlarındaki (ENH) direkler, enerji taşıyan iletkenleri yerden belirli bir yükseklikte tutmak, bunları taşımak, uygun gerginlikte tutmak ve birbiriyle olan temasını önlemek için kullanılmaktadırlar. Görevlerine, yapım malzemelerine, kullanıldıkları şebeke gerilimine ve devre sayısına göre farklı türlerde direkler mevcuttur.

EKATY’nde iletkenler ise “gerilim altında olup olmamasına bağlı olmaksızın bir hava hattının mesnet noktaları arasındaki çıplak ya da yalıtılmış örgülü ya da tek teller”dir şeklinde tanımlanmaktadır. Yine aynı yönetmelikte enerji kabloları da “elektrik enerjisinin iletilmesi veya dağıtılması için kullanılan, gerektiğinde toprak altına da dönebilen yalıtılmış iletkenler” olarak ifade edilmektedirler.

Direk ve iletkenlerle birlikte diğer temel şebeke elemanı da izolatörlerdir. İzolatörler; hava hattındaki iletkenleri direğe tespit etmek, bunları taşımak, direktan ve diğer iletkenlerden yalıtım için kullanılırlar. Yine direklerde olduğu gibi yapım malzemesine, yapılış türüne, işletme gerilimine ve kullanım yerlerine göre farklı izolatörler mevcuttur.

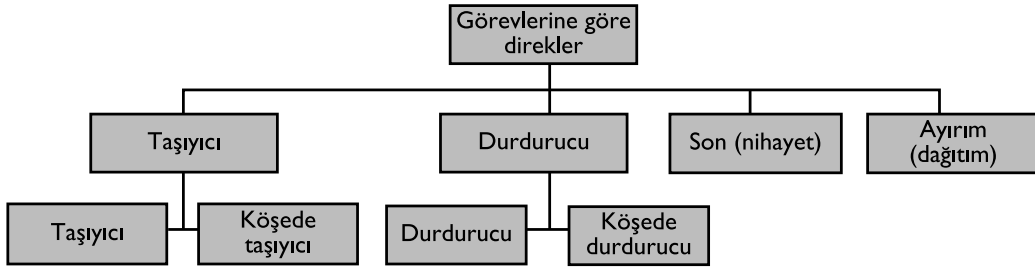
Enerji nakil hatlarında direk, iletken ve izolatörlerin dışında traversler, konsollar, topraklama ve bağlantı elemanları gibi bazı elemanlar da yer almaktadır. Kurulan bu hatların ve kullanılan elemanların temel amacı elektrik enerjisini; üretim noktasından tüketim noktasına kadar güvenli bir şekilde ve kesintisiz olarak ulaştırabilmektir. Bu üniteye yukarıda bahsedilen elemanlarla ilgili temel kavramlardan söz edilerek görevleri ayrıntılı olarak açıklanacaktır.

DİREKLER

Elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımındaki hava hatlarında, iletkenleri yerden (topraktan) belirli bir yükseklikte ve birbirinden belirli bir açıklıkta tutan şebeke elemanları *direk* olarak adlandırılır. Tanımdan da anlaşılacağı üzere uygun aralıklarla hava hattı boyunca yerleştirilen direklerin temel görevleri, enerji taşıyan iletkenleri hem topraktan hem de birbirlerinden belirli uzaklıklarda tutarak yalıtmak ve enerjinin güvenli bir şekilde ulaştırılmasını sağlamaktır. Direkler; görevlerine (kullanıldıkları yere), yapım malzemesine, kullanıldıkları şebekeye, devre sayısına göre dört ayrı sınıfta incelenebilir.

Görevlerine (Kullanıldıkları Yere) Göre Direkler

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'ndeki Madde 47-a'ya göre direkler; taşıyıcı, durdurucu, son (nihayet) ve ayırım (dağıtım) direkleri olmak üzere dört gruba ayrılır. Bu sınıflandırma Şekil 5.1'de ayrıntılı olarak gösterilmiştir.

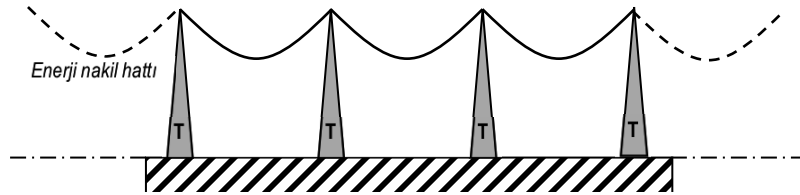


Şekil 5.1: Görevlerine göre direklerin sınıflandırılması

Taşıyıcı Direkler

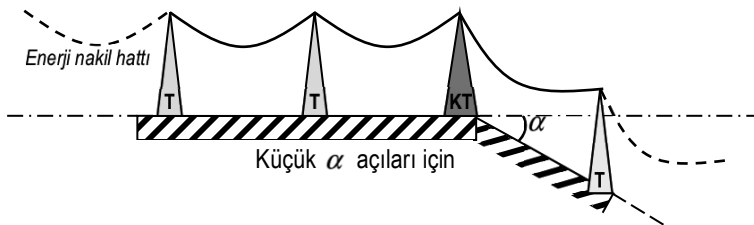
Doğrusal güzergâhtaki hava hattı boyunca veya küçük açılarda yön değişimlerinin olduğu köşelerde kullanılan direk türleridir. Bu direklerin görevleri, kendilerine asılı olan ve nakil hattını oluşturan iletkenleri taşımaktır. Enerji iletim hava hattının bulundukları yerine göre taşıyıcı direk ve köşede taşıyıcı direk olmak üzere ikiye ayrılırlar:

Taşıyıcı direk: Şekil 5.2'de görüldüğü gibi doğrusal güzergâh boyunca yer alan direklerdir.



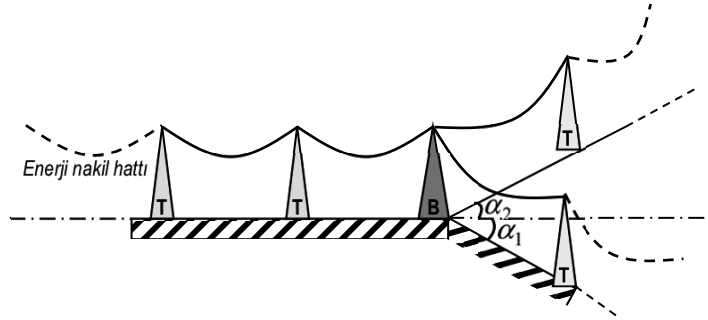
Şekil 5.2: Doğrusal güzergâhta yer alan taşıyıcı direkler.

Köşede taşıyıcı direk: Doğrusal hat boyunca küçük açılarla yön değiştirmelerin (sapmaların) olduğu köşelerde yer alan direklerdir. Şekil 5.3'ü inceleyiniz.



Şekil 5.3: Doğrusal güzergâhta yer alan taşıyıcı direkler ve köşede taşıyıcı direk.

Doğrusal güzergâhtaki hava hattı üzerinde yer alan taşıyıcı veya köşede taşıyıcı direklerde; bir veya iki yönde hat ayrılıyorsa, bunlar *branşman direkler* olarak adlandırılmaktadır. Şekil 5.4'ü inceleyiniz.



Şekil 5.4: Doğrusal güzergâhta yer alan taşıyıcı direk ve branşman direk.



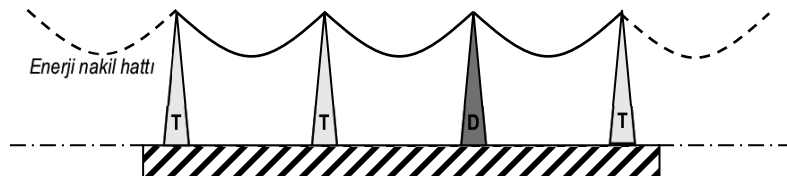
Taşıyıcı direklerde sadece rüzgâr kuvveti etkiliyken, köşede taşıyıcı direklerde hem rüzgâr kuvveti hem de iletkenlerin çekme kuvveti etkilidir.

Durdurucu Direkler

Bu direkler doğrusal güzergâhtaki hava hattı boyunca veya büyük yön değişimlerinin olduğu köşelerde kullanılır. Durdurucu direklerin görevleri, nakil hattını oluşturan iletkenleri hem taşıyıcı direkler gibi taşımak hem de belirli gerginlikte tutmaktır (durdurucu bağ ile tespit etmektir). İletim hattındaki iletkenlerin belirli gerginlikte olması yani belirlenen sarkma oranlarını aşmaması için uygun mesafelerde durdurucu direklerin bulundurulmasını gerektirmektedir. Durdurucu direkler sayesinde iletkenler, belirli gerginliğe getirilerek sabitlenmektedir. Genel olarak yaklaşık 1 km 'de bir veya 7 direkte bir durdurucu direk kullanılması uygun olmaktadır. Bu aralık özel durumlarda ve yerlerde değişebilmektedir. VDE standartlarına göre, iki durdurucu direk arası en fazla 3 km olabilir.

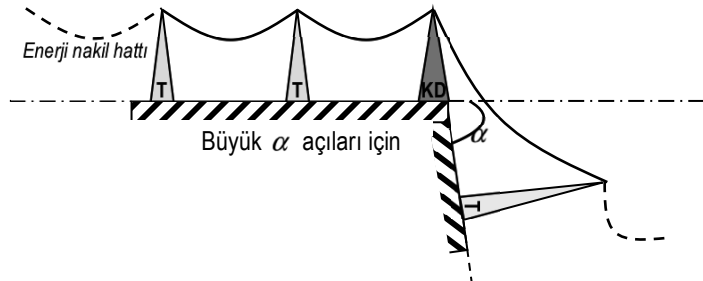
Taşıyıcı direklerde olduğu gibi, durdurucu direkler de hattın bulundukları yerine göre durdurucu direk ve köşede durdurucu direk olmak üzere ikiye ayrılırlar:

Durdurucu direk: Doğrusal güzergâh boyunca yer alan direklerdir. Şekil 5.5'i inceleyiniz.



Şekil 5.5: Doğrusal güzergâhtaki taşıyıcı direkler ve durdurucu direk.

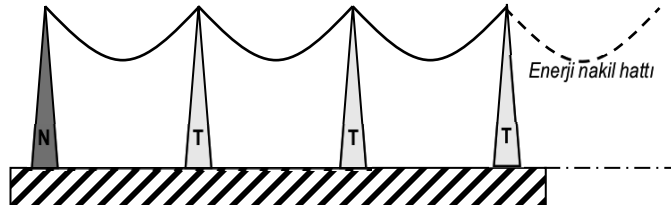
Köşede durdurucu direk: Şekil 5.6'da görüldüğü gibi doğrusal güzergâh boyunca büyük açılarla yön değiştirmelerin (sapmaların) olduğu köşelerde yer alan direklerdir.



Şekil 5.6: Doğrusal güzergâhta yer alan taşıyıcı direk ve köşede durdurucu direk.

Son (Nihayet) Direkler

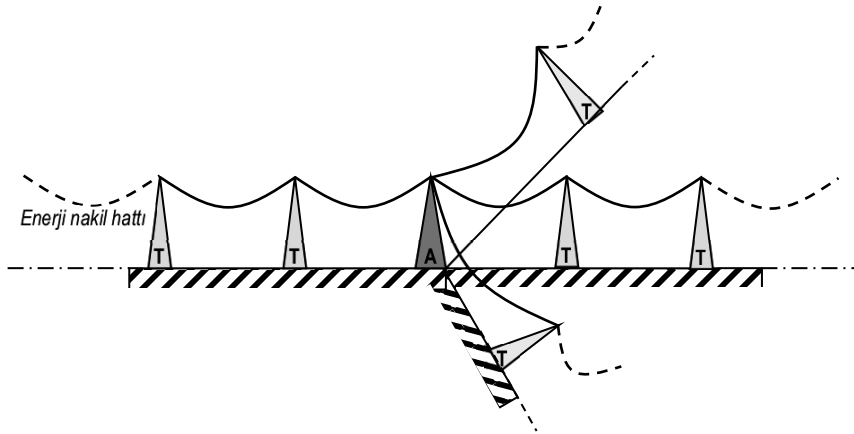
Enerji nakil hava hatlarının başlangıç ve bitişlerinde yer alan direklerdir. Şekil 5.7’de görülen son(nihayet) direkleri, hattı oluşturan iletkenlerin tek yönde uyguladıkları çekme kuvvetine karşı koyabilecek niteliktedirler. Böylece hat iletkenlerinin belirli orandaki gerginliğini devrilmeden sağlamaktadırlar.



Şekil 5.7: Enerji iletim hattı başında son direk ve taşıyıcı direkler.

Ayırım (Dağıtım, Tevzi) Direkleri

Enerji nakil hatlarının birkaç hatta (kola, yöne) ayrıldığı (dağıtıldığı) yerlerde kullanılan direklerdir. Şekil 5.8’de görülen bu tip direklere gelen ana hattaki enerji, kollara ayrılarak diğer alt hatlara aktarılır.



Şekil 5.8: Ayırıcı direk ve taşıyıcı direkler.

Enerji nakil hattı iletkenlerini izolatlara bağlamak için kullanılan bağlar, direk türlerine göre Tablo 5.1’de özetlenmektedir.

Tablo 5.1: Direklerde kullanılan bağlar

Direk türü	Taşıyıcı	Durdurucu	Nihayet
Kullanılan bağ	Taşıyıcı bağ	Nihayet (durdurucu)	Nihayet (durdurucu)

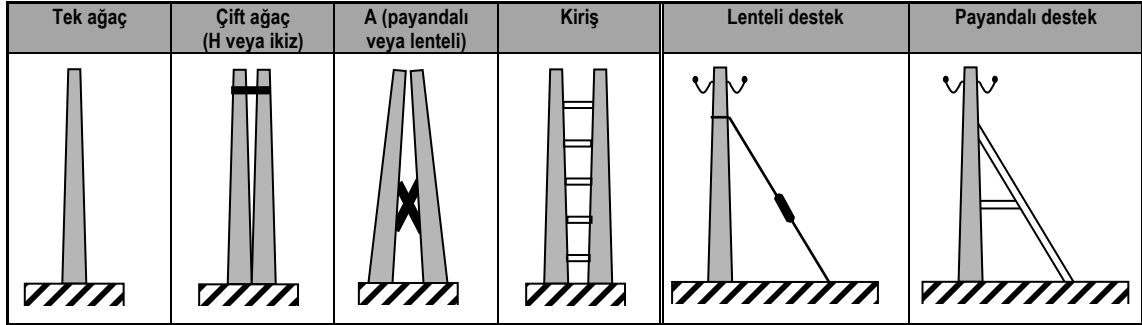
Yapım Malzemesine Göre Direkler

Yapım malzemelerine göre direkler; ağaç, demir ve beton direkler olmak üzere üç gruba ayrılırlar.

Ağaç Direkler

Çamgiller ve sert ağaçlardan yapılan direklerdir. Ağaçların özel işlemlerden geçirilmesi (emprenye, katranlama, CuSO_4 emdirme gibi) sonucu elde edilen bu direklerin tam boyları ortalama olarak 9-15 m, tepe çapları 12-21 cm ve dip çapları da 18-28 cm arasında değişmektedirler. Bu türden direklerden genellikle aydınlatma direği, taşıyıcı direk veya kısa sürede değiştirilecek geçici direk olarak alçak ve orta gerilimde faydalanılmaktadır. Ekonomik, hafif, kullanımları kolay olmasına rağmen ömürleri ve boyları kısadır, ayrıca mekanik dayanımları zayıf ve tepe kuvvetleri de düşüktür. Kuvvet değerlerini arttırmak

için ağaç direklere *lenteli* veya *payandalı* destek yapılabilir. Şekil 5.9’da görüldüğü gibi ağaç direkler; *tek ağaç direkler*, *çift ağaç direkler*, *A direkler* ve *kiriş direkler* şeklinde kullanılabilir. Ayrıca tepe ve dip çaplarına göre de *hafif (H)*, *orta (O)* ve *ağır (A)* olarak sınıflandırılmaktadırlar. Tablo 5.2’de ağaç direklerine ait ölçüler verilmiştir. Bu tabloda, örneğin 10-H, ağaç direğin boyunun 10 m ve hafif sınıfında yer aldığını belirtir.



Şekil 5.9: Ağaç direkleri



Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği’nin 54. maddesi ağaç direklerle ilgilidir.

Tablo 5.2: Ağaç direklere ait ölçüler

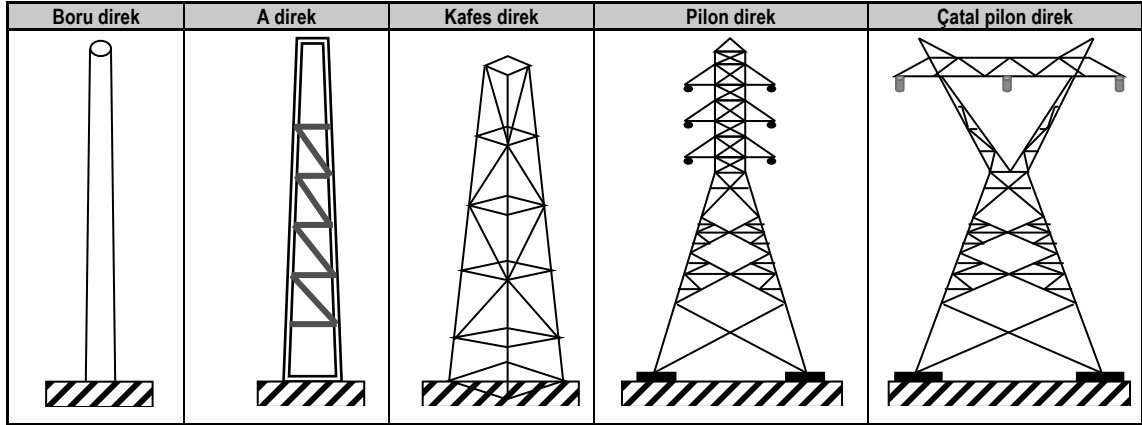
Tip		Tepe çapı		Dip çapı	
		En az (cm)	En çok (cm)	En az (cm)	En çok (cm)
10	H	12	14	18	20
	O	15	17	21	23
	A	18	20	24	26
11	H	13	15	19	21
	O	16	18	22	24
	A	19	21	25	27
12	H	13	15	20	20
	O	16	18	23	25
	A	19	21	26	28

Demir Direkler

Alçak gerilim (AG), orta gerilim (OG) ve yüksek gerilimde (YG) kullanılabilen, olumsuz şartlardan etkilenmemeleri için üzerleri boyanarak (koruyucu madde ile kaplanan) kaynaklı (3AWG olarak adlandırılır) veya galvanizli demir - galvanizli cıvatalı (3/0AWG olarak adlandırılır) olarak monte edilen bu tip direkler I, L ve U demirlerden (profil demir, demir çelik) yapılırlar. Demir direklerin mekanik dayanımları çok fazladır. Sağlam, uzun ömürlü ve tepe kuvvetlerinin fazla olmasına rağmen bakımları ve yalıtımları daha zor, maliyetleri de yüksektir. Bu tür direkler, genellikle boru direkler, A ve kafes direkler, putrel/pilon/çatal direkler olmak üzere üç grup altında toplanabilirler. Şekil 5.10’u inceleyiniz.

AG ve OG’de kullanılmak üzere üretilen A ve kafes direkler boyalı-kaynaklı, YG’de veya kimyasal etkenlerin olduğu ortamlarda kullanılanlar da galvanizli-cıvatalı olarak imal edilirler. Demir direklerin

adlandırılmasında taşıyıcı için “T”, durdurucu için “D”, nihayet için “N” ve zaviye için “Z” harfleri kullanılır. Örneğin T-10, D-12, N-14, Z-18 gibi isimlendirilmektedirler.



Şekil 5.10: Demir direk türleri.

Boru direkler: Resim 5.1a’de görülen bu tip direkler genellikle yerleşim birimlerinde veya yerleşim birimleri yakınlarında aydınlatma direği olarak kullanılmaktadırlar

A ve kafes direkler: Bu direklerin özelliklerini ayrı ayrı inceleyelim.

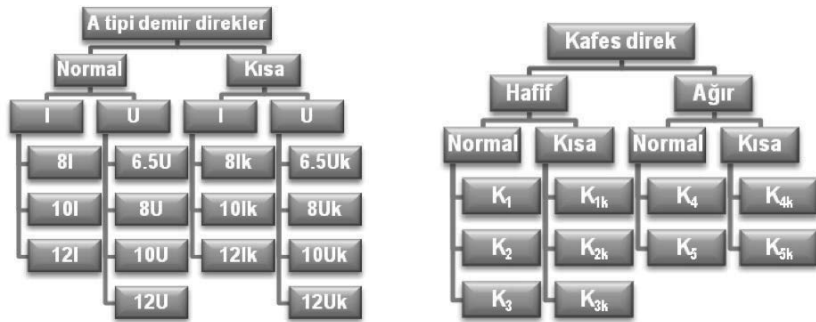
A direkler: Resim 5.1b’de görülen ve İller Bankası’nca standardize edilen A tipi demir direklerin isimlendirilmesi Şekil 5.11a’daki gibidir. Bu isimlendirmede kullanılan sayılar, demir profilin cm olarak yüksekliğini (profil dikeyliğini); “I” ve “U” harfleri, direk yapımında kullanılmış olan demirin kesitini ve “k” harfi ise direğin kısa boylu olduğunu belirtir.



Resim 5.1: a) Boru direkler

b) A tipi demir direkler

c) Kafes tipi direk



Şekil 5.11: a) A tipi demir direklerin isimlendirilmesi.

b) Demir kafes tipi demir direklerin isimlendirilmesi.

Örnek olarak; daha çok alçak gerilim şebekelerinde kullanılan A tipi demir direklerin metre cinsinden tam boyları, farklı buz yükü bölgeleri için Tablo 5.3'te verilmektedir.

Tablo 5.3: A tipi demir direk tam boyları (m)

Tip	Buz yükü bölgesi				
	I	II	III	IV*	IV**
8I	9.39	9.64	9.78	9.59	9.73
10I	9.64	9.89	10.03	9.84	9.98
12I	9.84	10.09	10.23	10.04	10.18
6.5U	9.29	9.54	9.68	9.49	9.63
8U	9.59	9.84	9.98	9.79	9.93
10U	9.74	9.99	10.13	9.94	10.08
12U	9.94	10.19	10.33	10.14	10.28
8Ik	8.62	8.78	8.87	8.75	
10Ik	8.87	9.03	9.12	9.00	
12Ik	9.07	9.23	9.32	9.20	
6.5Uk	8.52	8.68	8.77	8.65	
8Uk	8.82	8.98	9.07	8.95	
10Uk	8.97	9.13	9.22	9.10	
12Uk	9.17	9.33	9.42	9.30	

* IV. buz yükü bölgesi ve üzerinde 10,16 mm² Cu ve ROSE olmayan şebekelerde

** IV. buz yükü bölgesi ve üzerinde 10,16 mm² Cu ve ROSE olan şebekelerde

Kafes direkler: Bu tipteki bir direk Resim 5.1c'de görülmektedir. A tipi direklerde olduğu gibi yine İller Bankası'nca standardize edilen kafes direklerin isimlendirilmesi Şekil 5.11b'deki gibidir. Bu isimlendirmedeki sayılar 1000 ile çarpıldığında; rüzgâr yokken, direğin kg cinsinden tepe kuvvetini verirler. Ortalama direk tam boyları ise

- Normal hafif kafes direkler: 9,69-10,43 m (IV. buz yükü bölgesi ve üzerinde 10,16 mm² Cu ve ROSE olan şebekelerde 10,03-10,38 m)
- Kısa hafif kafes direkler: 8,92-9,52 m
- Normal ağır kafes direkler: 10,19-10,68 m (IV. buz yükü bölgesi ve üzerinde 10,16 mm² Cu ve ROSE olan şebekelerde 10,53-10,63 m)
- Kısa ağır kafes direkler: 9,42-9,77 m şeklindedir.

Putrel/pilon/çatal direkler: Resim 5.2'de görülen ve daha çok yüksek gerilim nakil hatlarında kullanılan direk türüdür. Galvanizli cıvatalı veya kaynaklı olarak üretilebilirler. Çevre koşullarından korunması için de üzerleri boyanır.



Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'nin 51. maddesi demir direklerle ilgilidir.



Resim 5.2: Putrel/pilon/çatal direkler

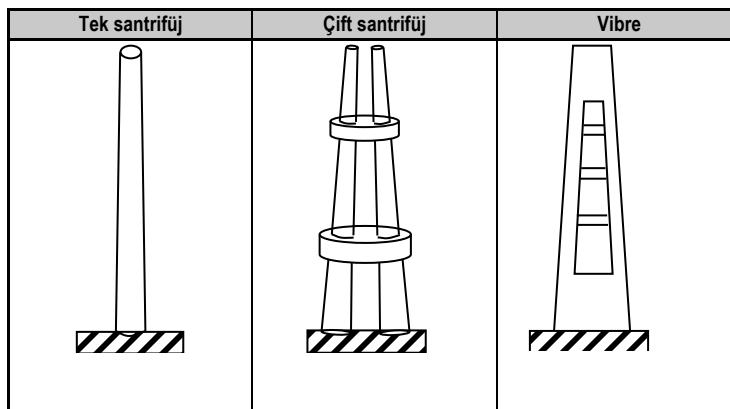
Beton (Betonarme) Direkler

Başlıca yapı malzemeleri çimento ve demir (çelik tel/çubuk) olan; AG, OG ve YG’de kullanılabilen, tepe kuvvetleri yüksek, uzun ömürlü, bakım gerektirmeyen ve çevre koşullarından etkilenmeyen direk türleridir. İki şekilde üretimleri gerçekleştirilmektedir:

Savurmalı (Santrifüjlü, SBA): Daire kesitli ve içleri boş olan bu direklerin üretimi savurma (santrifüj) yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Boyuna uzatılan çelik çubuklar ve enine çelik teller kullanılarak oluşturulan iskelete, savurma yöntemiyle beton harcı uygulanmaktadır.

Titreşimli (Vibre, VBA): Dikdörtgen kesitli ve içleri dolu olan bu direklerin üretimi titreşim (vibrasyon) yöntemiyle gerçekleştirilmektedir. Üretilecek direğin demir iskeleti kalıplar içine konulup vibrasyon yöntemiyle beton harcı uygulanmaktadır.

Şekil 5.12’de görüldüğü gibi tek santrifüj, çift santrifüj, tek vibre, çift vibre, asimetrik vibre gibi kullanım şekilleri olan beton direklerin boyları ortalama olarak 8-26 m ve tepe kütleleri 200-3500 kg arasında değişmektedir. Bunlar $\frac{\text{direk boyu (m)}}{\text{tepe kütlesi/10 0 (kg)}}$ olarak etiketlendirilebilirler. Örneğin $\frac{12}{6}$ şeklindeki etiket; direğin boyunun 12 m ve tepe kuvvetinin $6 \times 100 = 600$ kg olduğunu belirtir. Diğer bir uygulama da etiket üzerinde “10” ve “250” sayıları yer alıyorsa; direk boyunun 10 m ve tepe kütlesinin 250 kg olduğu anlaşılır.



Şekil 5.12: Bazı betonarme direkler.



Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği’nin 53. maddesi beton direklerle ilgilidir.

Yapım malzemelerine göre direk türleri Tablo 5.4’de karşılaştırılmıştır.

Tablo 5.4: Direk türlerinin bazı özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik	Ağaç	Demir	Beton
Kullanım yeri	AG, OG	AG, OG, YG	AG, OG, YG
Tepe kuvveti	Küçük	Büyük	Büyük
Ömür	Kısa	Uzun	Uzun
Mekanik dayanıklılık	Düşük	Yüksek	Yüksek
Bakım	Yok	Var	Yok
Maliyet	Ucuz	Pahalı	Orta
Ağırlık	Hafif	Orta	Ağır
Taşıma	Kolay	Kolay	Zor
Dikme	Kolay	Orta	Zor
İzolasyon	Kolay	Zor	Kolay
Hava şartlarından etkilenme	Etkilenir	Az etkilenir	Etkilenmez

SIRA SİZDE



Vibre beton direkler üzerinde deliklerin sebebi ne olabilir?

Kullanıldıkları Şebekeye Göre Direkler

Kullanıldıkları şebekeye göre direkler;

- Alçak gerilim direkleri (Gerilim < 1 kV)
- Orta gerilim direkleri (1 kV < Gerilim < 34,5 kV)
- Yüksek gerilim direkleri (34,5 kV < Gerilim < 380 kV)
- Çok yüksek gerilim direkleri (Gerilim > 380 kV)

biçiminde dört sınıfa ayrılırlar.

Devre Sayısına Göre Direkler

Devre sayısına göre direkler,

- Tek devreli: 3 faz bulunduran direkler
- Çift devreli: 3+3 faz (2 × 3 faz) bulunduran direkler

olmak üzere ikiye ayrılırlar .

Direk Temelleri

Emniyet ve uzun süreli sorunsuz kullanım için direklerin sağlam şekilde dikilmesi gerekir. Bu unsurları belirleyen faktörlerin başında da temeller gelmektedir. Yatay ve düşey kuvvetlerin etkisinde kalan direklerin temellerinin hesaplanması için değişik yöntemler olup daha çok belirli ölçülerde kare kesitli blok temeller ve kademeli tip temeller kullanılmaktadır.

DİKKAT



Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'nin 56. maddesi direk temelleriyle ilgilidir, inceleyiniz.

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği**Madde 56****a) Temellerin boyutlandırılması:**

Direkler, devrilmeye karşı güvenlik bakımından 49. maddede belirtilen yüklenme varsayımlarındaki koşulların en ağırlığına göre hesaplanacaktır. Temel hesaplarında mutlaka direk tasarımına esas olan emniyet değerlerinin üzerinde bir emniyet sağlanacaktır. Direk temellerinin hesaplanmasında çeşitli topraklar için Çizelge-19'daki değerler kullanılacaktır.

b) Direklerin temel içinde kalan bölümünün korunması:

1) Demir direklerde toprak içinde kalan metal bölümlerin korozyon ve çürümeye karşı korunması için gerekli önlemler alınacaktır. Beton temelli demir direklerde beton içinde kalan parçaların korunması için önlem gerekmez.

2) Ağaç direklerin toprak içinde kalacak bölümü en az aşağıdaki uzunluklarda olacaktır.

Zeminden başlayarak yüksekliği 8 m'ye kadar olan direklerde 130 cm, 8 m'yi geçen her bir metre için bu uzunluğa 10 cm eklenecektir. Ağaç direkler yerel koşullarda dikkate alınarak çepçevre taşlarla tutturulmalıdır.

Ağaç direklerin temel içinde kalan bölümü ile toprak üstündeki yaklaşık 30 cm'ye kadar olan bölümünün, toprak içerisindeki suların etkisi ile çürümesini önlemek için gerekli önlemler alınacaktır. Bu önlemler direğin yukarıda anılan bölümlerinde en az direğin üst bölümünün dayanıklılığını sağlayacak nitelikte olacaktır. Ağaç direkler doğrudan doğruya beton içine gömülemez.

3) Çizelge-19'daki değerlerin geçerli olabilmesi için, temel çukurlarının kusursuz biçimde doldurulduğu ve sıkıştırıldığı varsayılmıştır.

4) Temelde su çıkarsa en elverişsiz temel suyu düzeyi dikkate alınarak temelin taşıma kuvvetinin zayıflaması hesaba katılacaktır.

5) Temel hesaplarında demirsiz betonun yoğunluğu en çok 2200 kg/m³, demirli betonun yoğunluğu ise 2400 kg/m³ alınacaktır.

Çizelge-19: Direk temellerinin hesaplanmasında kullanılacak zemin karakteristikleri

Zemin cinsi	1,5 m derinlikteki zemin emniyet gerilmesi (kg/cm ²)	Toprak yoğunluğu (kg/m ³)	İçsel sürtünme açısı (derece)	Toprak şev açısı (derece)
Dolma toprak, doğal olarak	0.6	1600	32	30
Yapışkan olmayan toprak: ince ve orta irilikte kum	1	1800	30	30
İri kumlu, daneli toprak (1-3 mm)	-	1900	34	28
1/3'ü çakıl olan çakıllı kum	1.6	1800	30	30
Yuvarlak çakıl	2	1900	30	30
Keskin kenarlı balast	2	1800	36	27
Yapışkan toprak, balçık, kil	1	2000	25	32

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği**Hava hatlarında topraklama**

Madde 57- Hava hatlarının topraklamasında Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği hükümleri uygulanır.

Yüksek Gerilim Havai hatlarında direklerin tek tek topraklanması halinde, söz konusu yönetmelikte belirtilen toprak geçiş direnci elde edilemediği takdirde toprak geçiş direncinin bu değerde olmasını sağlayacak önlemler alınmalıdır.

Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği

F.6 Direkler: Tüm YG şebekelerinde kullanılan direkler ve bunların traversleri ile, AG şebekelerinde, çok sayıda insanın bulunduğu ya da girip çıktığı bina ve tesislerin (okul, sinema, hastane, stadyum, tören alanı vb.) yakınında bulunan direkler ve bunların traversleri etkin şekilde topraklanacaktır. Alçak gerilimli ağaç direkli şebekelerde koruma topraklaması yapılacaksa, izolatörler direklerle deveboyunları ile bağlanmayıp metal konsollar üzerinden bağlanacaktır. Ayrıca sistem (şebeke) tipinin gerektirmesi durumunda AG hava hattı şebekelerinde tüm nihayet direkleri ile AG yeraltı kablo şebekelerinin sonundaki nihayet panolarında işletme topraklaması yapılacaktır.

Toprak iletkeni bulunan YG hava hatlarının toprak iletkenleri, hat boyunca faz iletkenleri üzerinden bağlama tesisine kadar gelmeli ve tesisin topraklamasına bağlanmalıdır. Ayrıca açık hava merkezlerindeki demir ve çelik yapılar hava hattı direkleri gibi topraklanmalıdır.

Direklerin Topraklanması

Enerji nakil hattından, direğin kendisinden, yıldırım, hava koşulları gibi değişik olumsuz etkenler sonucu meydana gelebilecek arızalardan doğan kaçak akımların veya yüksek gerilimlerin direk ve çevresindeki insan ya da tesislere zarar vermemesi için topraklanması gerekmektedir. Direğin en fazla 20 m uzağında uygun bakır levhalar veya kazıklar (30 kV 'a kadar 70 cm, 154-380 kV arası da 150 cm derinlikten itibaren dikey olarak) çakılarak yapılmaktadır. Direk ile bakır levha veya kazık arası sıkı bağlantı, belirli

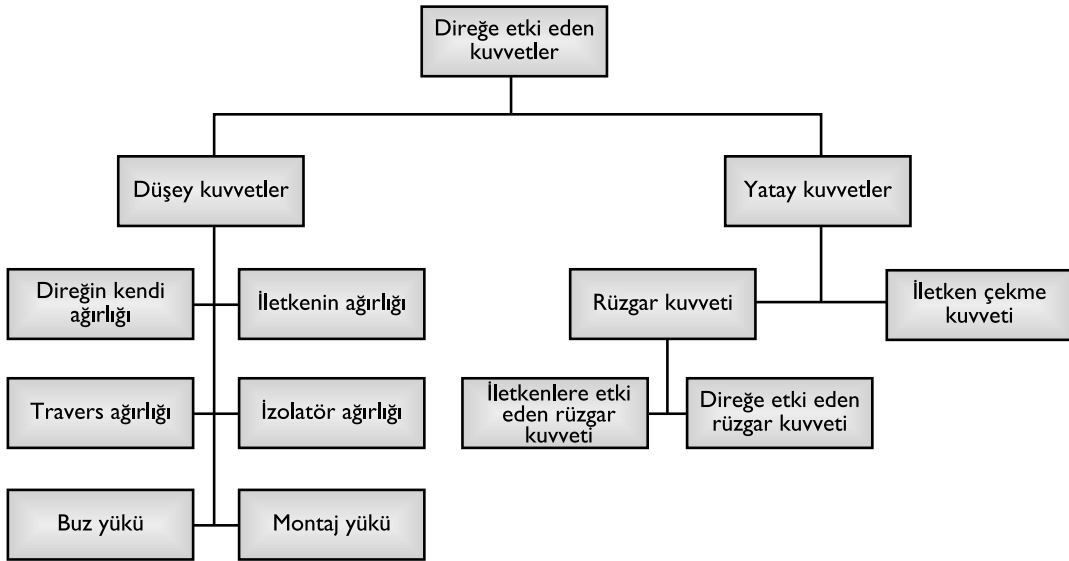
bir derinliğe (yumuşak zemin için en az 80 cm , sert zemin için ise en az 30 cm) gömülüp üzeri betonla kaplanan topraklama iletkenleriyle (ek yeri olmayan ve kesiti en az 70 mm² galvaniz örgülü çelik) yapılır. Direklerin topraklama geçiş dirençleri 4 Ω 'u geçmemelidir.



Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'nin 57. maddesi direklerin topraklanması ile ilgilidir, inceleyiniz.

Direğe Etki Eden Kuvvetler

Genel olarak direklere etki eden kuvvetlerin hesaplanmasında düşey ve yatay kuvvetler olmak üzere iki tür kuvvetlerin etki ettiği kabul edilmektedir: Şekil 5.13'ü inceleyiniz.



Şekil 5.13: Direğe etki eden kuvvetler.

Düşey Kuvvetler

Bu kuvvetler, direğin kendi ağırlığını, iletkenin ağırlığını, travers ağırlığını, izolator ağırlığını, buz yükü ve montaj yükünü içerir.

Direğin kendi ağırlığı: Direğin yapımında kullanılan malzemelerden kaynaklanan ve üreten firmaların katalog bilgilerinde yer alan değerdir.

İletkenin ağırlığı: Direğe asılı olan iletkenin oluşturmuş olduğu ağırlıktır. Direğin m cinsinden ağırlık menzili a_g ve asılı iletkenin 1 metresinin ağırlığı p_0 (kg/m) ile gösterilirse iletkenin kg cinsinden ağırlığı,

$$g_i = p_0 a_g \quad (5.1)$$

eşitliği ile hesaplanabilmektedir.

Travers ağırlığı: Direkteki travers ağırlığıdır.

İzolator ağırlığı: Direkte kullanılan izolator ağırlığıdır.

Buz yükü: Buz yükü hesabında Şekil 5.14'teki gibi özel haritalardan yararlanılır. İletkenin mm cinsinden çapı d ve k da bölgelere göre değişen katsayı (EKATY Madde 48 Çizelge-9) olmak üzere kg/m cinsinden buz yükü,

$$g_b = k \sqrt{d} \quad (5.2)$$

formülü ile hesaplanır. İletkenin mm^2 cinsinden kesiti q ise kg/cm^3 cinsinden buz yoğunluğu,

$$\gamma_b = \frac{g_b}{q} \quad (5.3)$$

eşitliği ile elde edilmektedir. Buzlu durumda iletkenin kg/m cinsinden metrik kütlesi,

$$g_n = g_i + g_b \quad (5.4)$$

ile bulunur.

Montaj yükü: Direk üzerinde çalışan montörün ağırlığı olup EKATY'ne göre 100 kg olarak kabul edilir.

Yatay Kuvvetler

Bu kuvvetlerin arasında rüzgâr kuvveti ve iletken çekme kuvveti sayılabilir.

Rüzgâr kuvveti: Direk ve iletkenler yüzeylerinin rüzgâra maruz kalan kuvvetleridir. Bu kuvvet iletkenlere ve direğe etki eder.

- i. *İletkenlere etki eden rüzgâr kuvveti:* EKATY Madde 48 Çizelge-10'dan elde edilecek dinamik rüzgâr basınç katsayısı c , kg/m^2 cinsinden dinamik rüzgâr basıncı p , m cinsinden örgülü veya tek telli iletkenin çapı d ve m cinsinden varsayılan rüzgâr açıklığı a_w olmak üzere iletkenlere etki eden rüzgâr kuvveti (kg),

- 200 m'ye kadar olan rüzgâr açıklıkları için,

$$w_i = c p d a_w \quad (5.5)$$

- 200 m'den büyük rüzgâr açıklıkları için;

$$w_i = c p d (80 + 0,6 a_w) \quad (5.6)$$

ile hesaplanabilmektedir.

- ii. *Direğe etki eden rüzgâr kuvveti:* c dinamik rüzgâr basınç katsayısı, p dinamik rüzgâr basıncı, F ise m^2 cinsinden direğin rüzgâra maruz kalan düşey düzlemdeki izdüşüm alanı olmak üzere rüzgâr kuvveti (kg),

$$w_d = c p F \quad (5.7)$$

eşitliği ile bulunur.

İletken çekme kuvveti: Faz ve toprak iletkenlerinden kaynaklanan çekme kuvvetleridir. İletkenin kg/m^2 cinsinden gerilmesi σ ve mm^2 cinsinden kesiti q olmak üzere iletken çekme kuvveti (kg),

$$T_{\max} = \sigma q \quad (5.8)$$

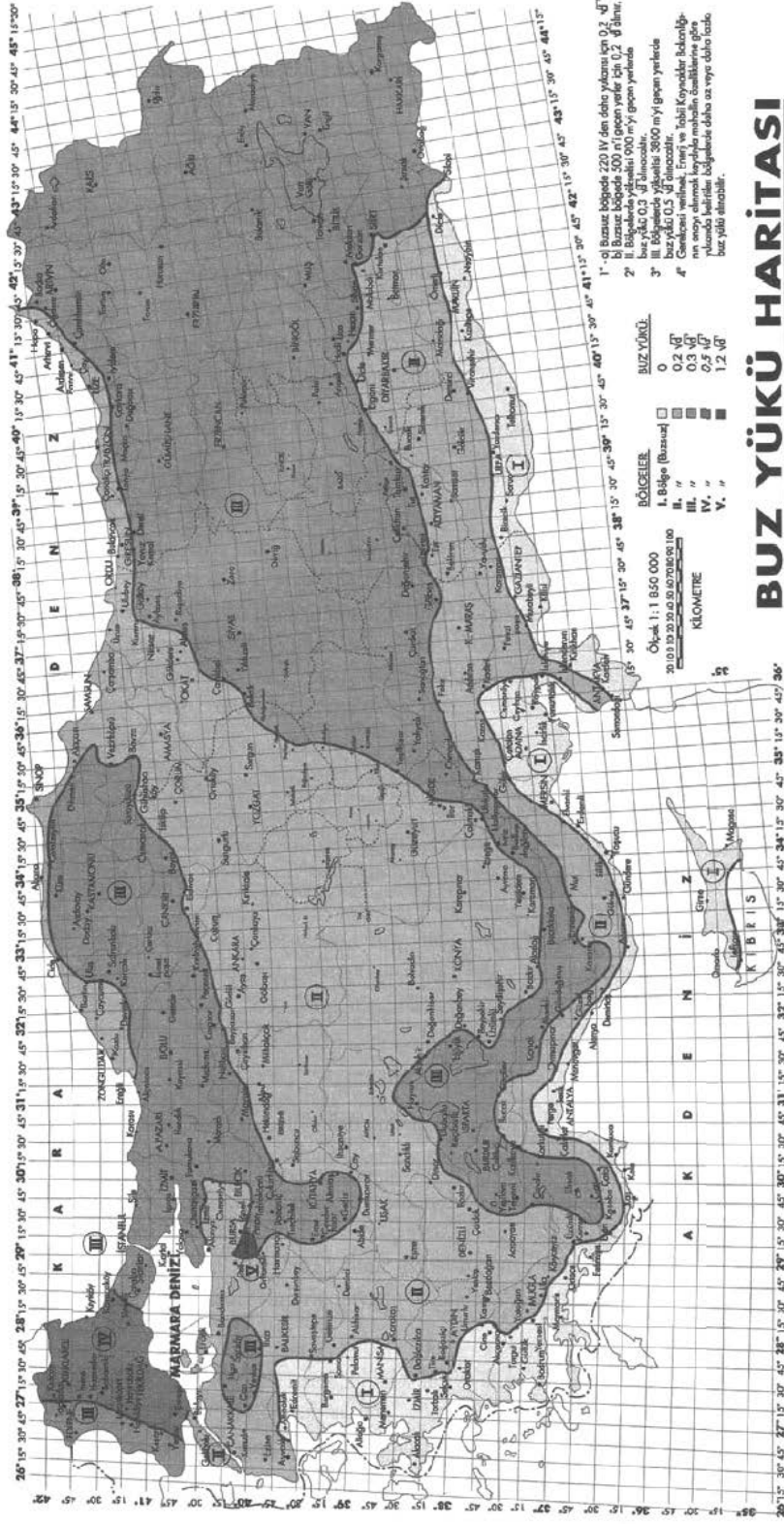
eşitliği kullanılarak hesaplanır. İletken çekme kuvvetlerinin hesaplanmasında çeşitli yüklenme varsayımları göz önünde bulundurulmaktadır.



Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'nin 48. maddesi direğe etki eden kuvvetlerin hesaplanması ile ilgilidir, inceleyiniz.



Direklerin hesaplanması için yüklenme varsayımları ve direk varsayımlarına ilişkin genel hükümler, Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'nin sırasıyla 49. ve 50. maddesinde yer almaktadır.



Şekil 5.14: Türkiye buz yükü haritası (EKATY, TMMOB EMO Yayın no: TY/2010/2).

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği**Direk hesaplarında göz önüne alınacak kuvvetler****Madde 48****a) Düşey kuvvetler:**

Düşey kuvvetler, direk ve travers ağırlıkları ile izolatör, iletken donanımı ve aşağıda belirtilen ek yüklerden oluşur. Tek telli ya da örgülü iletkenler için $k\sqrt{d}$ kg/m.'lik bir buz yükü varsayılır. Burada d (mm) olarak iletken çapını, k bölgelere göre değişen bir katsayıyı gösterir. Bu k katsayıları Çizelge 9-'da verilmiştir. Direk ve traverslerde buz yükü olmadığı varsayılır. Montaj yükü, iletkenin konsol ya da traverse bağlandığı yerde 100 kg olarak alınır. Direklerin yatayla 30°'ye kadar açı yapan öğelerinin boyutlandırılmasında, ayrıca başka bir yük hesaba katılmaksızın bu öğelerin ortalarında 100 kg'lık bir montaj yükü bulunabileceği varsayılacaktır.

b) Yatay kuvvetler:**1) Rüzgâr kuvveti:**

i. Faz ve toprak iletkenlerine etki eden rüzgâr kuvvetinin hesaplanmasında:

200 m'ye kadar olan rüzgâr açıklıkları için $W = c.p.d.a_w$ (kg) bağıntısı,

200 m'den büyük olan rüzgâr açıklıkları için $W = c.p.d.(80 + 0,6a_w)$ (kg) bağıntısı kullanılacaktır.

Not: Arazi koşulları zorunlu kılmadıkça direk açıklıklarının birbirinden çok farklı olmamasına dikkat edilecektir.

Burada; c : Rüzgârın etkisinde olan öğenin biçimine, büyüklüğüne ve yatay niteliğine bağlı dinamik rüzgâr basınç katsayısı (Çizelge-10'a bakınız); $p = v^2 / 16$: Dinamik rüzgâr basıncı (kg/m²) (Çizelge-11'e bakınız); v : Rüzgâr hızı (m/s); a_w : Varsayılan rüzgâr açıklığı (m); d : Örgülü ya da tek telli iletkenin çapı (m)'dir.

Zincir izolatör salınım açısının hesabında, yukarıda bulunan rüzgâr kuvvetinin %70'i alınacaktır.

Çizelge-9: Bölgelere ilişkin buz yükleri ve ortam sıcaklıkları

Bölge no	Buz yükü katsayısı (k)	Buz yükü (kg/m)	Ortam sıcaklığı (°C)	
			En düşük	En yüksek
1	0	0	- 10	5
2	0,2	$0,2\sqrt{d}$	-15	45
3	0,3	$0,3\sqrt{d}$	-25	40
4	0,5	$0,5\sqrt{d}$	-30	40
5	1,2	$1,2\sqrt{d}$	-30	40

Çizelge-10: Dinamik rüzgâr basınç katsayıları (c)

No	Rüzgârın etkisinde bulunan öğeler	c
1	Profil demirinden yapılmış tek yüzlü kafesler	1,6
2	Profil demirinden yapılmış kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direkleri	2,8
3	Borulardan yapılmış tek yüzlü kafesler	1,2
4	Borulardan yapılmış kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direkleri	2,1
5	Daire kesitli ağaç, çelik boru ve beton direkleri	0,7
6	Altıgen ve sekizgen kesitli çelik boru ve beton direkleri	1,0
7	Çapı 12,5 mm'ye kadar olan iletkenler	1,2
8	Çapı 12,5 ile 15,8 mm'ye kadar olan iletkenler	1,1
9	Çapı 15,8 mm'den büyük olan iletkenler	1,0

ii. Kare ya da dikdörtgen kesitli kafes direklerde rüzgârın etki ettiği iki paralel yüzden yalnızca birisi göz önüne alınacaktır.

En üst traversinin üst yüzüne kadar olan yüksekliği 60 m'den büyük olan kare ya da dikdörtgen kesitli direklerde rüzgârın hat doğrultusuna göre 45°'lik bir açı altında geldiği varsayılacaktır. Bu rüzgâr yükü, dinamik basınç direğin yan yüzlerine paralel ve dik bileşenlere ayrılarak hesaplanabilir. Rüzgârın etki ettiği yüzey olarak bu iki yüzün sözü edilen bileşenlerin etkisinde bulunan yüzeylerinin düşey düzlemdeki izdüşümleri alınacaktır.

Çizelge-11: Dinamik rüzgâr basıncı (p)

Arazi üzerindeki yükseklik (m)	Dinamik rüzgâr basıncı (kg/m ²)	
	Direkler, traversler ve izolatörler	İletkenler
0-1	55	44*
15 -40	70	53
40-100	90	68
100-150	11	86
150 200	125	95

* Uzun aralıklı hatlarda bu değer 53 kg/m² olarak alınacaktır.

2) İletken çekme kuvveti:

İletken çekme kuvvetleri 49 uncu maddedeki çeşitli yüklenme varsayımlarına göre alınacaktır.

Örnek:

Türkiye buz yükü haritasına göre 4. bölgede yer alan 16,28 mm çapındaki bir iletkenin buz yükünü hesaplayınız.

Çözüm:

EKATY Çizelge-9'dan 4. bölge için buz yükü katsayısının $k = 0,5$ olduğu görülmektedir. Eşitlik 5.2 kullanılarak buz yükü,

$$g_b = k\sqrt{d} = 0,5\sqrt{16,28} = 2,017 \text{ kg/m}$$

bulunur.



3. bölgede yer alan 16,28 mm çapındaki iletkenin buz yükünü hesaplayınız.

Örnek:

Rüzgâr açıklığı 180 m , çapı 30,42 mm ve arazi üzerindeki yüksekliği 30 m olan iletken etki eden rüzgâr kuvvetini hesaplayınız.

Çözüm:

EKATY Çizelge-10 gereğince iletkenin çapı 30,42 mm > 15,8 mm olduğundan dinamik rüzgâr basınç katsayısı $c = 1,0$ alınır. Benzer şekilde EKATY Çizelge-11 gereğince iletkenin 30 m verilen arazi üzerindeki yüksekliği 15 m - 40 m aralığında olduğu için dinamik rüzgâr basıncı $p = 53 \text{ kg/m}^2$ alınır. 180 m verilen rüzgâr açıklığı 200 m'den düşük olduğu için rüzgâr kuvveti hesabında Eşitlik 5.5 kullanılmalıdır. Rüzgâr kuvveti,

$$w_i = c p d a_w = 1,0(53 \text{ kg/m}^2)(30,42 \text{ mm})(180 \text{ m}) = 290,21 \text{ kg}$$

bulunur.

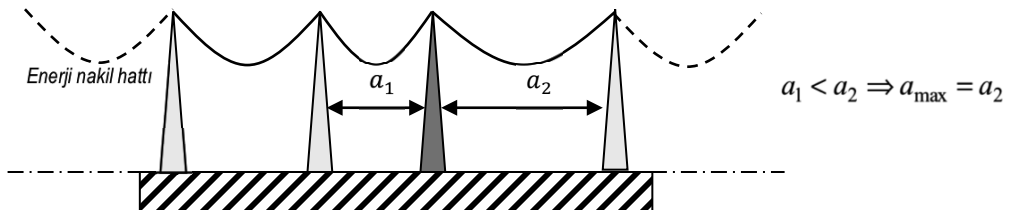


Rüzgâr menzili 220 m çapı 30,42 mm arazi üzerindeki yüksekliği 50 m olan ve 3. bölgede yer alan iletken etki eden rüzgâr kuvvetini hesaplayınız.

Direk Açıklığı (Menzil)

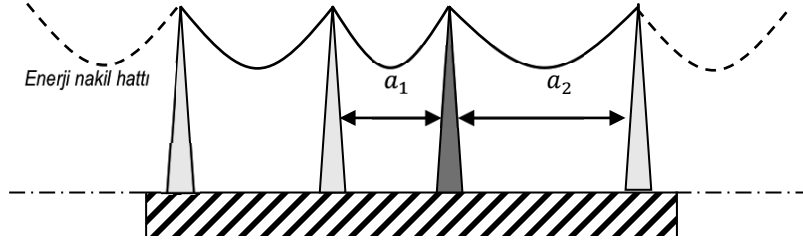
Enerji iletiminde; iki komşu direk arasındaki uzaklık, menzil olarak adlandırılır. Bu tür sistemlerde, değişik amaçlar için farklı menzil kavramları kullanılmaktadır.

Maksimum menzil: Hesaplamalarda $a_{\max}$ ile gösterilen bu değer enerji iletim sisteminde yer alan bir direğin, diğer komşu direğe kadar olabilecek en büyük uzaklığıdır. Şekil 5.15'i inceleyiniz.



Şekil 5.15: Maksimum menzil.

Rüzgâr açıklığı (rüzgâr menzili): Enerji iletim sisteminde yer alan bir direğin, iki yanındaki komşu direklere olan uzaklıklarının toplamının yarısıdır. Şekil 5.16'yı inceleyiniz.



Şekil 5.16: Rüzgâr menzili.

Ele alınan bir direğin komşu direklere olan uzaklığı a_1 ve a_2 ise rüzgâr açıklığı(menzili),

$$a_w = \frac{a_1 + a_2}{2} \quad (5.9)$$

ile verilir.

Örnek:

Bir enerji iletim hattında bir direğin komşu direklere olan uzaklıkları sırasıyla 200 m ve 220 m ' dir. Buna göre direğin rüzgâr açıklığı(menzili) kaç m ' dir?

Çözüm:

Direğin rüzgâr açıklığı(menzili),

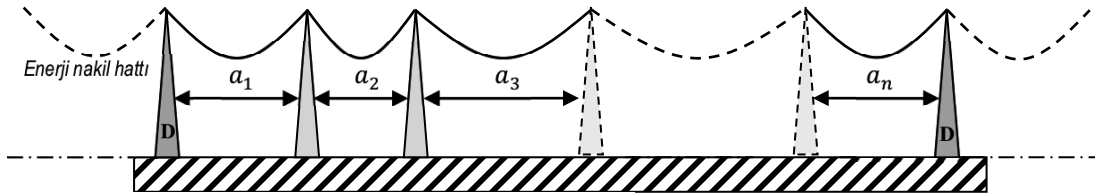
$$a_w = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{200 \text{ m} + 220 \text{ m}}{2} = 210 \text{ m}$$

bulunur.



Komşu direklerle arasındaki uzaklıkları 180 m ve 220 m olan direğin rüzgâr menzilini hesaplayınız.

Ruling menzili (Eşdeğer menzil): Enerji iletim sisteminde iki durdurucu direk arasına çekilmiş iletkenin toplam uzunluğunda herhangi bir değişiklik olmayacak şekilde hesaplanan değerdir.



Şekil 5.17: Ruling menzili.

Şekil 5.17 göz önüne alındığında Ruling menzili,

$$a_r = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n a_i^3}{\sum_{i=1}^n a_i}} = \sqrt{\frac{a_1^3 + a_2^3 + \dots + a_n^3}{a_1 + a_2 + \dots + a_n}} \quad (5.10)$$

eşitliğinden yararlanarak hesaplanır.

Örnek:

Bir enerji iletim hattında iki durdurucu direk arasında yer alan direk açıklıkları sırasıyla 180 m , 220 m , 190 m , 210 m , 200 m ve 230 m ' dir. Buna göre Ruling menzili kaç m ' dir?

Çözüm:

Ruling menzili,

$$a_r = \sqrt{\frac{(180\text{m})^3 + (220\text{ m})^3 + (190\text{ m})^3 + (210\text{ m})^3 + (200\text{ m})^3 + (230\text{ m})^3}{180\text{ m} + 220\text{ m} + 190\text{ m} + 210\text{ m} + 200\text{ m} + 230\text{ m}}} = \sqrt{\frac{52767000\text{ m}^3}{1230\text{ m}}}$$

ve

$$a_r = 207,12\text{ m}$$

bulunur.



Bir enerji iletim hattında iki durdurucu direk arasında yer alan 8 tane taşıyıcı direkler arası açıklıklar sırasıyla 200 m, 180 m, 190 m, 210 m, 220 m, 195 m ve 215 m ise Ruling menzilini ve 4. taşıyıcı direğin rüzgâr menzilini hesaplayınız.

Ağırlık menzili: Hesaplamalarda a_g ile gösterilen bu değer enerji iletim sisteminde yer alan bir direğin her iki tarafındaki iletkenlerin yatay teğetli noktaları arasındaki uzaklıktır.

Kritik menzil: Enerji iletim sistemlerinde maksimum gerilmadaki (ek yüklü durum veya minimum ortam sıcaklığında) a_{kr} ile gösterilen menzildir.

$T_{\max}$ maksimum cer kuvveti(kg), β ısı uzama katsayısı ($1/^\circ\text{C}$), t_n ek yüklü durumdaki sıcaklığı ($^\circ\text{C}$) (1. Bölgede $+5\text{ }^\circ\text{C}$ olup diğer bölgelerde $-5\text{ }^\circ\text{C}$), t_1 ortamın en düşük sıcaklığı($^\circ\text{C}$) (1. bölgede $-10\text{ }^\circ\text{C}$, 2. bölgede $-15\text{ }^\circ\text{C}$, 3. bölgede $-25\text{ }^\circ\text{C}$, 4. ve 5. bölgede $-30\text{ }^\circ\text{C}$), g_n buzlu iletkenin ağırlığı (kg/m) ve g_i çıplak iletkenin ağırlığı(kg/m) olmak üzere simetrik açıklıklardaki kritik menzil,

$$a_{kr} = 2T_{\max} \sqrt{\frac{6\beta(t_n - t_1)}{g_n^2 - g_i^2}} \quad (5.11)$$

eşitliği ile hesaplanabilmektedir. Eğik açıklıklarda ise

$$a_{kr} = \sqrt{\frac{K_1 + \sqrt{K_1^2 + 4K_1K_2h^2}}{2K_2}} \quad (5.12)$$

ile verilmektedir. Bu ifadede,

$$K_1 = 24\delta_{\max}^2 \beta(t_n - t_1) \quad (5.13)$$

ve

$$K_2 = \gamma_b(2\gamma_i - \gamma_b) \quad (5.14)$$

olup $\delta_{\max}$, kg/mm^2 olarak maksimum gerilmeyi; h , m olarak seviye farkını; γ_i , kg/cm^3 olarak iletkenin çıplak yoğunluğunu ve γ_b , kg/cm^3 olarak iletkenin buzlu yoğunluğunu belirtir. $h = 0$ alınarak, simetrik açıklıklardaki kritik menzil eşitliği elde edilir.

Örnek:

3. bölgede yer alan bir enerji iletim hattında maksimum gerilme 1800 kg, ısı uzama katsayısı $19,2 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$ iletkenin metrik ağırlığı 0,55 kg/m ve çapı 16 mm ' dir. Buna göre simetrik açıklıktaki kritik menzil kaç m ' dir?

Çözüm:

3. bölgede buz yükü,

$$g_b = k\sqrt{d} = 0,3\sqrt{16} = 1,2 \text{ kg/m}$$

buzlu iletkenin ağırlığı,

$$g_n = g_i + g_b = 0,55 \text{ kg/m} + 1,2 \text{ kg/m} = 1,75 \text{ kg/m}$$

ve kritik menzil,

$$a_{kr} = 2T_{\max} \sqrt{\frac{6\beta(t_n - t_1)}{g_n^2 - g_i^2}} = 2(1800 \text{ kg}) \sqrt{\frac{6(19,2 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C})(-5^{\circ}\text{C} - (-25^{\circ}\text{C}))}{(1,75 \text{ kg/m})^2 - (0,55 \text{ kg/m})^2}}$$

ve $a_{kr} \cong 104 \text{ m}$ bulunur.

Örnek:

2. bölgede yer alan bir enerji iletim hattında maksimum gerilme 10 kg/mm², ısı uzama katsayısı $19,2 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C}$, iletkenin metrik ağırlığı 0,55 kg/m, çapı 16 mm ve kesiti 160 mm² 'dir. Direklerin iletken tespit noktaları arasında 100 m seviye farkı olması durumunda kritik menzili hesaplayınız.

Çözüm:

Eşitlik 5.12'de kullanılacak değerler,

$$K_1 = 24\delta_{\max}^2 \beta(t_n - t_1) = 24(10 \text{ kg/mm}^2)^2 (19,2 \cdot 10^{-6} \text{ } 1/^{\circ}\text{C})(-5^{\circ}\text{C} - (-15^{\circ}\text{C})) = 0,4608 \text{ kg}^2/\text{mm}^2$$

$$g_b = k\sqrt{d} = 0,2\sqrt{16} = 0,8 \text{ kg/m}$$

$$\gamma_b = \frac{g_b}{q} = \frac{0,8 \text{ kg/m}}{160 \text{ mm}^2} = 0,005 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

$$\gamma_i = \frac{g_i}{q} = \frac{0,55 \text{ kg/m}}{160 \text{ mm}^2} = 0,0034 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)$$

$$K_2 = \gamma_b(2\gamma_i - \gamma_b) = 0,005 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)(2(0,0034 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)) + 0,005 \text{ kg}/(\text{m} \cdot \text{mm}^2)) = 5,9 \cdot 10^{-5} \text{ kg}^2/(\text{m}^2 \cdot \text{mm}^4)$$

bulunur. Bu durumda kritik menzil,

$$a_{kr} = \sqrt{\frac{K_1 + \sqrt{K_1^2 + 4K_1K_2h^2}}{2K_2}} = \sqrt{\frac{0,4608 + \sqrt{0,4608^2 + 4(0,4608)(5,9 \cdot 10^{-5})100^2}}{2(5,9 \cdot 10^{-5})}}$$

ve

$$a_{kr} \cong 116 \text{ m} \text{ elde edilir.}$$

Bu menzillerin yanında enerji iletim sistemlerinde ekonomik menzil, limit menzil, ortalama menzil gibi açıklıklar da tanımlanmaktadır.

Rüzgâr Etkisindeki İletkende Titreşim Frekansı ve Dalga Boyu

Direkler arasında gerilmiş olan iletkenlerde, rüzgârın etkisiyle titreşimler meydana gelmektedir. Oluşan bu titreşimin Hz cinsinden frekans değeri Von Karmen ve Rubach'a göre; v , km/h olarak rüzgâr hızı ve d de mm olarak iletken çapı olmak üzere

$$f = 51,45 \frac{v}{d} \quad (5.15)$$

ile ifade edilmektedir. Titreşimin m cinsinden dalga boyu ise

$$\lambda = 0,0194 \frac{d}{v} \sqrt{\frac{T}{g}} \quad (5.16)$$

ile hesaplanır. Burada T , kg olarak yıllık ortalama sıcaklık ve menzilde iletkenin cer kuvvetini ve g ise kg/m olarak iletkenin metrik ağırlığını belirtir.

Örnek:

I. bölgede yer alan bir enerji iletim hattında iletkenin metrik ağırlığı 0,545 kg/m, çapı 16,28 mm, rüzgâr hızı 6 km/h ve yıllık ortalama sıcaklık ve menzildeki cer kuvveti 1000 kg olan iletkende meydana gelen titreşimin frekansını ve dalga boyunu hesaplayınız.

Çözüm:

Eşitlik (5.15) ve (5.16) kullanılarak iletkende meydana gelen titreşimin frekansı,

$$f = 51,45 \frac{v}{d} = 51,45 \frac{6 \text{ km/h}}{16,28 \text{ mm}} \cong 18,96 \text{ Hz}$$

ve dalga boyu,

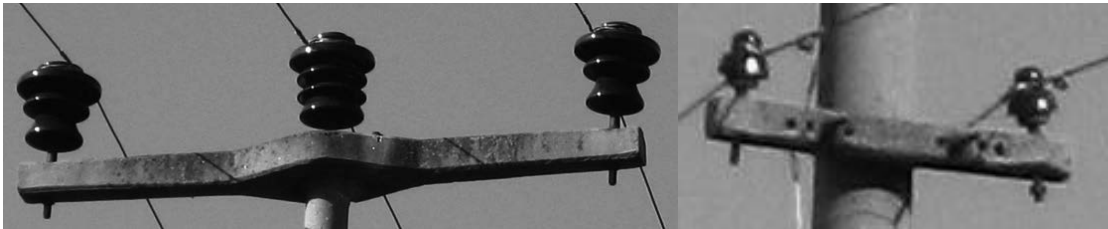
$$\lambda = 0,0194 \frac{d}{v} \sqrt{\frac{T}{g}} = 0,0194 \frac{16,28 \text{ mm}}{6 \text{ km/h}} \sqrt{\frac{1000 \text{ kg}}{0,545 \text{ kg/m}}} \cong 2,25 \text{ m bulunur.}$$



Rüzgâr hızının 10 km/h olduğu yerde 16,28 mm çapındaki iletkende meydana gelen titreşim frekansını hesaplayınız.

TRAVERSLER

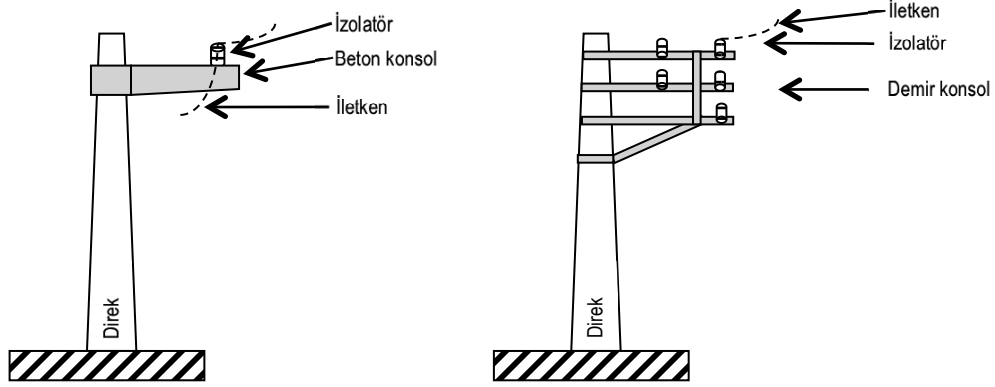
Enerji iletim sistemindeki iletkenleri, birbirlerinden ve direklerden belirli uzaklıkta tutmak için kullanılan çift taraflı yapı elemanları diğer bir deyişle taşıma parçalarıdır. Demir veya betondan yapılabilirler. Resim 5.3'te görüldüğü gibi traversler üzerine izolatörler monte edilmektedirler. Böylece iletkenlerin, izolatörler vasıtasıyla direklere yalıtılarak bağlanması ve taşınması sağlanmaktadır. Kullanım alanlarına göre çok değişik yapı ve ölçülerde traversler mevcuttur. Direğin tipi, görevi, işletme gerilimi, taşıyacağı iletken sayısı ve özellikleri, bağlanacak izolatörler ve özellikleri gibi parametreler göz önünde bulundurularak travers seçimleri gerçekleştirilmektedir.



Resim 5.3: Traversler ve üzerlerindeki izolatörler

KONSOLLAR

Traversler gibi konsollar da enerji iletim sistemindeki iletkenleri, birbirlerinden ve direklerden belirli uzaklıkta tutmak için kullanılan tek taraflı yapı elemanlarıdır. Şekil 5.18’de görülen konsollar yapı, görev ve türleri bakımından traverslerle büyük benzerlikler göstermektedirler. Montajları tamamlandıktan sonra travers ve konsollar topraklanmalıdır.



Şekil 5.18: Beton ve demir konsollar.



Travers ve konsollarla ilgili maddelerin bulunduğu Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği’nin 44. maddesini inceleyiniz.

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği

Uzaklıklar

Madde 44

a) Hava hatlarında iletkenler arasında alınması gerekli en küçük uzaklıklar aşağıdaki gibi hesaplanacaktır:

1) Malzeme, kesit, salgi ve anma gerilimleri aynı olan, aynı ya da farklı yatay yüzeylerde bulunan iletkenler arasındaki en küçük D uzaklığı aşağıdaki formüle göre hesaplanacaktır.

$$D = k\sqrt{F_{\max} + l} + \frac{U}{150}$$

Burada; D : Direk üzerinde iletkenler arasındaki uzaklık (m); k : Bir katsayı olup bu katsayı alçak gerilimde 0,35 yüksek gerilimde 0,50 alınacaktır; $F_{\max}$: Hesaplanan direğin en büyük açıklığına ilişkin en büyük salgi (m); l : Taşıyıcı zincir izolatörün uzunluğu (m) (Mesnet izolatöründe $l = 0$ alınacaktır); U : Hattın fazlar arası anma gerilimi (kV).

2) Bir direk üzerinde birden fazla sistem bulunursa ve bunlarda malzeme, kesit, salgi ve anma gerilimleri farklı ise, bu iletkenler arasında alınacak en küçük D uzaklığı, her devrenin kendi salgi ve gerilimlerinin madde 44-a/1’de verilen formülde yerine konması ile bulunacak değerlerden en büyüğüne eşit olacaktır.

b) Konsol ve travers boyları ile bunlar arasındaki uzaklıklar madde 44-a/1 ya da a/2’deki gibi hesaplanmakla birlikte ayrıca aşağıda belirtildiği gibi çizilecek iletken salınım diyagramlarına (Şekil-8’e bakınız.) göre gerilim altındaki iletkenler arasındaki uzaklığın $U/150$ m’den daha az olmadığı doğrulanacaktır. Bu uzaklık 0,20 m’den az olamaz.

Bu salınım diyagramları, +5 °C ve %70 rüzgâr yükü ile bölgenin en büyük sıcaklığında ve %42 rüzgâr yükünde çizilecektir. İletken salınım kontrolünde en büyük sapma açısı (α), 50° ye kadar $\alpha/4$, 50°-62° 30’ a kadar 12°30’ sabit ve 62°30’ dan büyük sapma açılarındaki ise iletken salınımları arasında $\alpha/5$ kadar bir açısal kayma varsayılarak gerekli doğrulamalar yapılacaktır. Bu madde yalnızca yüksek gerilimli büyük aralıklı hatlara uygulanır.

c) Yukarıda hesaplanan konsol ve travers boyları ile bunlar arasındaki uzaklıklar ayrıca kamçılanma kontrolü yapılarak doğrulanacaktır. Bir direkte birbirinin üstünde bulunan iletkenlerden, alttaki iletkenin üzerindeki buz yükünün birdenbire düşmesinden sonra, alttaki iletkenin düşey düzlemde bir sıçrama yapacağı varsayılarak sıçramadan sonra üstteki buzlu iletkene uzaklığı $U/150$ m’den az olmayacaktır. Bu uzaklık 0,20 m’den az olamaz. Bu madde yalnızca yüksek gerilimli büyük aralıklı hatlara uygulanır.

d) Aynı direk üzerinde bulunan yüksek ve alçak gerilimli iletkenlerin bağlantı noktaları arasındaki düşey uzaklık en az 1,5 m olacaktır.

e) Alçak gerilimli küçük aralıklı hatlarda iletkenler arasındaki uzaklık 0,40 m'den az olmayacaktır. Bu uzaklıklar aşağıdaki durumlarda küçültülebilir:

- Gerilimleri birbirine eşit olan aynı faz iletkenlerinde,
- iletkenlerin birbirine değmemesi için gerekli güvenlik önlemleri alınmış olan hatlarda

f) Hat iletkenleriyle topraklanmış metal bölümler arasındaki uzaklık en az $U/150 + 0,05$ m olacaktır. Bu uzaklık yüksek gerilimli hava hatlarında 0,20 m'den, alçak gerilimli hava hatlarında da 0,05 m'den az olamaz. U : Fazlar arası anma gerilimidir (kV).

g) Toprak iletkeni ile faz iletkenleri arasındaki uzaklık, toprak iletkeninin faz iletkenlerini yıldırıma karşı maksimum 30° lik açı altında koruyabileceği biçimde hesaplanacaktır.

h) iletkenlerin 46. maddede göre hesaplanan en büyük salgılı durumda üzerinden geçtikleri yer ve cisimlere olan en küçük düşey uzaklıkları Çizelge-8'de verilmiştir.

i) Hava hattı iletkenleri ile yanından geçtikleri yapıların en çıkıntılı bölümleri arasında, en büyük salınım konumunda en az Çizelge-5'te verilen yatay uzaklık bulunmalıdır.

Çizelge-5: Hava hattı iletkenlerinin en büyük salınlı durumda yapılara olan en küçük yatay uzaklıkları

Hattın izin verilen en yüksek sürekli işletme gerilimi (kV)	Yatay uzaklık (m)
$0 < V \leq 1$	1
$1 < V \leq 36$	2
$36 < V \leq 72,5$	3
$72,5 < V \leq 170$	4
$170 < V \leq 420$	5

k) Yüksek gerilim hatları, hatlara rastgele dokunmayı önleyecek önlemler alınmak koşulu ile elektrik işletme yapılarına tespit edilebilir.

l) Yapıların yanından geçen ya da tespit edilmiş bulunan alçak gerilim hatları herhangi bir aygıt kullanmaksızın rastgele dokunulmayacak biçimde tesis edilmelidir.

m) Elektrik kuvvetli akım tesislerinin civarlarındaki diğer tesislere olan yaklaşım mesafeleri Çizelge-6'da verilmiştir.

Çizelge-6: Elektrik kuvvetli akım tesislerinin civarındaki tesislere olan en küçük yaklaşım mesafeleri

Tesis türü	Yer altı kabloları ile		Enerji nakil hatları ile				Topraklama sistemleri ile
	Yan yana veya paralel olma mesafeleri (m)	Birbiriyle kesişme hali mesafeleri (m)	Yan yana veya paralel olma hali (dış iletkenin maksimum salınlı izdüşümü ile boru eksen) mesafeleri (m)		Birbiriyle kesişme hali (direk ayağına) mesafeleri (m)		Direk veya diğer elektrik topraklamaları ile olan mesafeleri (m)
	0-170 kV	0-170 kV	0-72 kV	72-420kV	0-72 kV	72-420kV	0-420 kV
Doğalgaz ve petrol boru hattı (LNG, LPG dahil)	0,6*	0,4*	4(10***)	10(30***)	3	10	2**

* Zorunlu hallerde yöre ve özel şartlar karşısında bu mesafeler alınacak bazı tedbirlerle yukarıda belirtilen mesafelerin yarısına kadar küçültülebilir. Yeraltı kablosu ile gaz ve petrol boru hattı arasında izole PVC veya PE gibi maddeler konulmalıdır. Bu gibi maddelerin boyutları, et kalınlığı en az 5 mm olmak şartı ile:

- a) Kesişme halinde gaz veya petrol boru hattı çapının 2 kat genişlik ve kesişim izdüşümlerinin iki kat uzunluğunda,
b) Paralel gitme halinde gaz veya petrol boru hattı çapının 2 kat genişliğinde ve normal paralellik mesafesi kadar uzunlukta olmalıdır.

** Elektrik tesisleri topraklamaları ile gaz veya petrol boru hattı tesisleri veya topraklamaları kesişiyor veya aralarındaki uzaklık 2 m'den az ise, topraklama iletkeninin her iki tarafı gaz veya petrol borusu üzerindeki kesişme noktasından itibaren 2'şer m olmak üzere veya boru hattındaki temas gerilimi 50 V'tan az olacak şekilde izole edilmelidir.

*** Basınç yükseltme (pompa-kompresör), basınç düşürme ve dağıtım istasyonları gibi boru hattı bölümlerinin yeryüzünde erişilebilen teçhizatlarına vb. kısımlarına olan en küçük yaklaşım mesafeleridir.

NOT: ENH direklerinin demiryolu ve karayoluna olan en yakın yatay uzaklığı, metre olarak, hangisi daha büyükse; ya direğin toprak üstü tüm boyundan 2 metre daha büyük, ya da karayolu veya demiryolu istismâr sınırının dışında

olmalıdır. GSM baz istasyonu kulelerinin, elektrik kuvvetli akım tesislerine olan en yakın yatay uzaklığı, kulenin toprak üstü boyundan 2 m daha büyük olmalıdır. Ayrıca "Mobil Telekomünikasyon Şebekelerine Ait Baz İstasyonlarının Kuruluş Yeri, Ölçümleri, İşletilmesi ve Denetlenmesi Hakkında Yönetmelik" hükümlerine de uyulur.

n) İletken çekimini ve hat güvenliğini bozan bütün ağaçlar budanmalı ya da kesilmelidir. Meyve ağaçlarının kesiminden olabildiğince kaçınılmalıdır. Hat iletkenlerinin en büyük salınım konumunda ağaçlara olan en küçük yatay uzaklıkları Çizelge-7'de verilmiştir.

Çizelge-7: Hava hattı iletkenlerinin ağaçlara olan en küçük yatay uzaklıkları

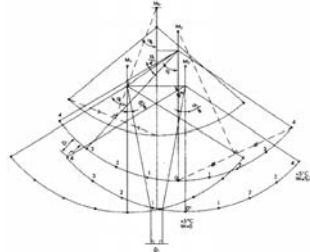
Hattın izin verilen en yüksek sürekli işletme gerilimi (kV)	Yatay uzaklık (m)
$0 < V \leq 1$	1
$1 < V < 170$	2,5
170	3
$170 < V \leq 420$	4,5

Çizelge-8: Hava hattı iletkenlerinin en büyük salgı durumunda üzerinden geçtikleri yerlere olan en küçük düşey uzaklıkları

İletkenlerin üzerinden geçtiği yer	Hattın izin verilen en yüksek işletme gerilimi (kV)					
	$0 < V \leq 1$	1-17,5	36	72,5	170	420
En küçük düşey uzaklıklar (m)						
Üzerinde trafik olmayan sular (suların en kabarık yüzeyine göre)	4,5*	5	5	5	6	8,5
Araç geçmesine elverişli çayır, tarla, otlak vb.	5*	6	6	6	7	9,5
Araç geçmesine elverişli köy ve şehir içi yolları	5,5*	7	7	7	8	12
Şehirlerarası karayolları	7	7	7	7	9	12
Ağaçlar	1,5	2,5	2,5	3	3	5
Üzerine herkes tarafından çıkılabilen düz damlı yapılar	2,5	3,5	3,5	4	5	8,7
Üzerine herkes tarafından çıkılmayan eğik damlı yapılar	2	3	3	3,5	5	8,7
Elektrik hatları	2	2	2	2	2,5	4,5
Petrol ve doğalgaz boru hatları	9	9	9	9	9	9
Üzerinde trafik olan sular (bu uzaklıklar suların en kabarık düzeyinden geçebilecek taşıtların en yüksek noktasından ölçülecektir)	4,5	4,5	5	5	6	9
İletişim (haberleşme) hatları	1	2,5	2,5	2,5	3,5	4,5
Elektriksiz demiryolları (ray demirinden ölçülecektir)	7	7	7	7	8	10,5
Otoyollar	14	14	14	14	14	14

* Yalıtılmış hava hattı kabloları kullanıldığında bu yükseklik değerleri 0,5 m azaltılacaktır.

o) Alçak ve yüksek gerilimli demir direklere zeminden en az 4 m. yükseklikte ve gerilimli bölüme 3 m'den daha fazla yaklaşmayacak bir tırmanma engeli tesis edilecektir. Ayrıca yüksekliği 50 m'yi geçen hatlarda gündüz işareti ve 80 m'yi geçen hatlarda gündüz ve gece işareti bulundurulması zorunludur.



Şekil-8 İletken salınım diyagramı

p) Her tip yüksek gerilim direğine zeminden en az 2,5 m yükseklikte ve kolayca sökülmecek biçimde bir ölüm tehlike levhası takılacaktır. Yalnızca beton direkler üzerine gömme ya da yağlı boya ile çıkmayacak biçimde ölüm tehlikesi işareti yapılabilir.

r) Hava alanı pist orta noktasından 5 km uzağına kadar olan yerlerde ve hava seyrüsefer cihazlarının bulunduğu yerlerde, havacılıkla ilgili kuruluşların kurallarına aynen uyulur.

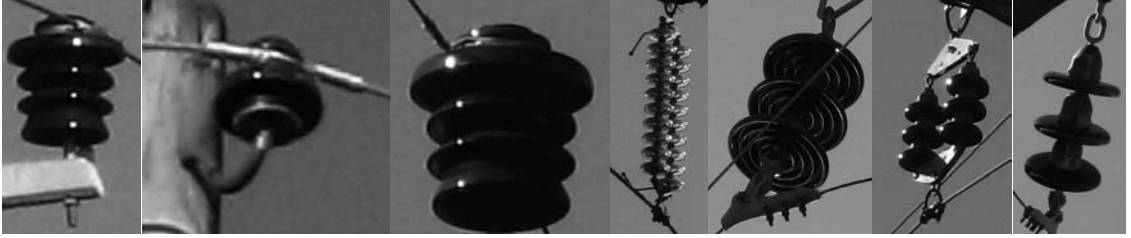
İZOLATÖRLER

Enerji nakil hatlarında iletkenleri direklere tespit eden, taşıyan, birbirinden ve topraktan yalıtın; şalt sahaları ve dağıtım merkezlerinde baraları tespit eden ve yalıtın elemanlar *izolatör* olarak adlandırılmaktadır. En genel haliyle enerji nakil hatlarında kullanılan izolatörlerin iletkenleri elektriksel olarak birbirinden ve topraktan yalıtın, iletkenleri ve bunlara gelen ek yükleri mekaniksel olarak taşımak gibi iki görevi vardır.

Temel görevleri yalıtım olduğundan izolatörler; elektrik akımına karşı büyük direnç göstermeli (aşırı gerilimlerde yalıtım özelliğini kaybetmemeli), yüksek sıcaklıklara dayanmalı, farklı çevre koşullarında bozulmadan işlevlerini yerine getirebilmeli ve elektriksel atlamalara izin vermeyecek veya minimuma indirebilecek geometriksel yapıda ve yüzeyde olmalıdırlar. Ayrıca iletken ağırlıklarını ve bunlara gelen ek yükleri de taşıması gerektiğinden, malzeme olarak sağlam ve mekanik dayanımları yüksek olmalıdırlar.

İzolatör Türleri

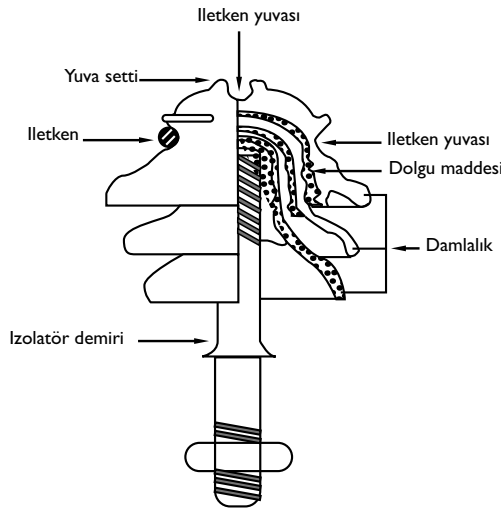
İzolatörler; yapıldıkları malzemeye, yapılış şekline, kullanıldıkları gerilime, kullanıldıkları yere göre farklı gruplara ayrılarak incelenebilirler. Resim 5.4'te çeşitli türdeki izolatörler görülmektedir.



Resim 5.4: Değişik türdeki izolatörler

Yapım malzemesine göre izolatörler dört ana gruba ayrılırlar ve bunların özet karşılaştırılması Tablo 5.5'te verilmektedir.

Porselen izolatörler: %50 koalin, %25 kuvars ve %25 feldspat maddelerinden oluşan sert porselenden yapılan izolatör türüdür. Porselen yüzeyi bir tabaka ile kaplanarak izolatörün dielektrik dayanımı artırılmaktadır. Ayrıca bu tabaka sayesinde izolatör yüzeyi pürüzsüzleşmekte, böylece de kir tutma oranı düşmektedir (yağmur suları ile kendiliğinden temizlenme oranı artırılmaktadır). Şekil 5.19'da direklerde yaygın olarak kullanılan bir porselen izolatörün yapısı gösterilmiştir.



Şekil 5.19: Porselen izolatörün yapısı

Cam izolatörler: Camdan yapılan ve dielektrik dayanımları, porselenden daha yüksek olan izolatörlerdir. Ayrıca üretim maliyetleri de porselene göre düşüktür. Ancak değişik ortam koşullarında/sıcaklıklarında üzerinde kir/nem toplamaları/tutmaları daha yüksektir.

Epoksi reçineli izolatörler: Özel uygulamalarda kullanılan reçineli izolatörlerdir.

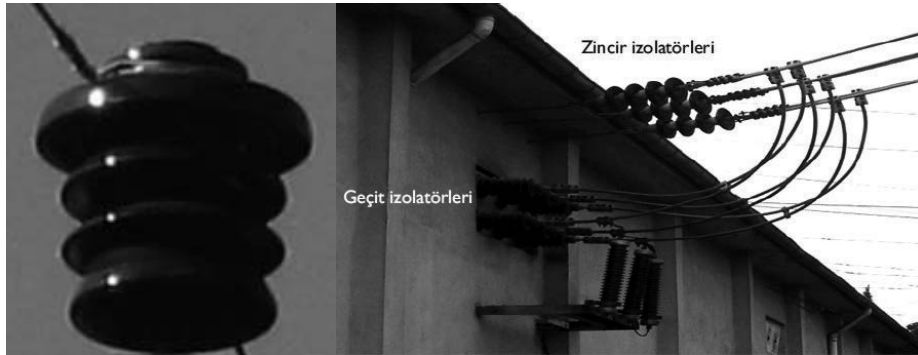
Silikon (kompozit) izolatörler: Özel uygulamalarda kullanılan ve silikondan imal edilen türleridir.

Tablo 5.5: Yapım malzemelerine göre izolatörlerin bazı özelliklerinin karşılaştırılması

Özellik	İzolatör Türü			
	Porselen	Cam	Epoksi reçineli	Silikon
Yapı malzemesi	Porselen	Cam	Reçine	Silikon
Dielektrik dayanım	Düşük (60-70 kV/cm)	Yüksek (140 kV/cm)	Yüksek	Yüksek (150 kV/cm)
Mekanik dayanım	Yüksek	Orta	Yüksek	Yüksek
Maliyet	Ucuz	Ucuz	Pahalı	Pahalı
Ağırlık	Fazla	Az	Az	Az
Üzerinde kir tutma	Az	Fazla	Az	Az
Sıcaklıktan etkilenme	Çok	Az	Az	Az
Kullanım alanı	Çok	Çok	Özel durumlar	Az

İzolatörler yapılış biçimlerine göre ise mesnet tipi, zincir tipi ve geçit tipi olarak sınıflandırılırlar. Şimdi bunları sırayla inceleyelim.

Mesnet izolatörler: Daha çok porselen veya camdan üretilen, enerji nakil hatlarında iletkenleri taşıyan ve travers/konsollara temasını engelleyerek izole eden şebeke elemanlarıdır. 34 kV 'a kadar tek parça olarak üretilen mesnet izolatörler daha yüksek gerilimlerde (220 kV) kullanılabilmeleri için çok parçalı olarak da üretilmektedirler. Resim 5.5a'da mesnet tipi izolatör görülmektedir.



Resim 5.5: a) Mesnet tipi izolatör

b) Zincir ve geçit tipi izolatörler

Zincir izolatörler: Yalıtımı arttırmak için aynı türden (porselen veya cam) izolatörlerin birbirlerine bağlanmasıyla elde edilirler. Daha çok OG ve YG iletim hatlarında kullanılmaktadırlar.

Geçit izolatörler: Genel olarak porselen veya camdan üretilen, enerjinin binaya girişinde veya çıkışında kullanılan izolatör türüdür. Resim 5.5b'de zincir ve geçit tipi izolatörler görülmektedir.

İzolatörleri kullanıldıkları hatların işletme gerilimine göre; alçak gerilim izolatörleri (Anma gerilimleri 1 kV 'a kadar olan izolatörler), orta gerilim izolatörleri (Anma gerilimleri 35 kV 'a kadar olan

izolatörler), yüksek ve çok yüksek izolatörleri (Anma gerilimleri 35 kV 'tan büyük olan izolatörler) olmak üzere üç grupta toplamak mümkündür. Tablo 5.6'yı inceleyiniz.

Tablo 5.6: TS 76 kapsamına giren bazı izolatörler

İzolatör Anma Gerilimi < 1 kV		İzolatör Anma Gerilimi > 1 kV	
Taşıyıcı	E	Mesnet	MN
Durdurucu	ED	Dolu mesnet	MD
Mesnet	ED	Ayırıcı mesnet	C4-170
Gergi	ED	Bara mesnet	SAR-30
Makara	EM	Çubuk	ÇD
Mekanik	EM	Zincir	Z.40.U , K1

İzolatörler kullanıldıkları yere göre dâhili ve harici tip şeklinde de gururlandırılabilir. Bunlardan dâhili tip izolatörler, genellikle trafo binalarının içlerinde ve enerji panolarında kullanılan izolatörlerdir. Harici tip izolatörler ise enerji nakil hattı direklerinde, şalt sahalarında ve trafo binalarının dışında kullanılan izolatörlerdir.

İzolatör Seçimi Ölçütleri

Kurulacak herhangi bir tesis için izolatörler seçilirken işletme (iletim) gerilimi, kullanılan iletkenler, kullanma açısı, izolatörün kullanılacağı hat güzergâhı, yüzey kirlenmesi gibi parametreler göz önünde bulundurulur.



Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği'nin 43. maddesi izolatör seçimi ile ilgilidir, inceleyiniz.

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği

İletkenler ve izolatörler

Madde 43

c) İzolatörler:

İzolatörler hava etkilerine ve işletme sırasında oluşacak elektrik, mekanik ve elektrodinamik zorlanmalara dayanacak nitelikte olmalı ve aşağıdaki biçimde boyutlandırılmalıdır.

1) Elektriksel boyutlandırma:

İzolatörler, ilgili Türk Standardlarına uygun olmalıdır.

2) Mekanik boyutlandırma:

i) Mesnet izolatörleri: Mesnet izolatörlerinin kopma kuvveti izolatörlere etki eden kuvvetlerin en az 2,5 katı ile iletkenin kopma kuvvetinin %90'ından en büyüğü olacak biçimde seçilir.

ii) Zincir izolatörler: Zincir izolatörler, bu izolatörün kopma kuvveti ile izolatöre etki eden kuvvetlerin en az 2,5 katı ile iletken kopma kuvvetinin %90'ından en büyüğü oluşacak biçimde seçilir. Birden fazla paralel sıralı zincir izolatörlerde (n) paralel sıralı zincirin izin verilen yükü bir sıralı zincirin izin verilen yükünün (n) katına eşit olmalıdır.

iii) Diğer çeşit izolatörler: Bunlar yukarıda sözü edilenlerin dışında kalan çubuk izolatörler, dolu çekirdekli mesnet izolatörleri ve iki başlıklı (motor) izolatörler olup bunlarda da en az yukarıda sözü edilen izolatörlerdeki güvenlik koşulları aranır.

3) İzolatör dolgu gereci ve bağlantı parçaları:

i) İzolatörleri demirlerine tespit etmek ve çeşitli izolatör bölümlerini birleştirmek için kullanılacak dolgu gereçleri ve bağlantı parçaları, herhangi bir genleşme ya da benzeri olaylar nedeniyle bu izolatörlerde aşırı zorlanmalar oluşturamamalıdır. Bunlar olası kısa devre zorlanmalarına karşı dayanıklı olmalıdır.

ii) Mesnet izolatörlerinin tespit edilmesi için kullanılan bağlantı parçaları, izolatöre etki eden kuvvetlerin en az 2,5 katı ile iletkenin kopma kuvvetinin %90'ından büyüğünü karşılamalıdır.

iii) Zincir izolatörlerin bağlantı parçaları ise yapıldığı malzemeye göre en az aşağıda belirtilen emniyet katsayıları ile dış yükleri karşılamalıdır:

- Çelik bağlantı parçaları için 2,5
- Karışık alaşımlı parçalar için 2,5
- Temper döküm ve çelik döküm parçalar için 3
- Döküm alaşımlı parçalar için 4

Birden fazla paralel sıralı zincir izolatörlerin zincirlerinden birinin kopması durumunda geriye kalan ve çekmeye zorlanan bağlantı parçaları, gerecin kopma kuvvetinin %50'sinden fazlasına zorlanmamalıdır.

Özet

Üretilen elektrik enerjisinin son tüketiciye kadar ulaşımı iletim hatları ile sağlanmaktadır. Herhangi bir hava enerji nakil hattının temel elemanları da direkler, iletkenler ve izolatörlerdir. EKATY’nde hava hattı “akım iletimini sağlayan mesnet noktaları, direkler ve bunların temelleri, yer üstünde çekilmiş iletkenler, iletken donanımları, izolatörler, izolatör bağlantı elemanları ve topraklamalardan oluşan tesisin tümü” olarak tanımlanır.

Direkler, enerji hava nakil hatlarında iletkenleri topraktan (yerden) belirli bir yükseklikte ve birbirlerinden belirli bir açıklıkta tutan şebeke elemanlarıdır. Görevlerine göre direkler EKATY’nde taşıyıcı, durdurucu, son (nihayet) ve ayırım (dağıtım) direkleri olarak sınıflandırılırlar.

Taşıyıcı direkler, doğrusal güzergâhtaki hava hattı boyunca veya küçük açılarda yön değişimlerinin olduğu köşelerde kullanılan direk türleridir. Bu direklerin görevleri, kendilerine asılı olan ve nakil hattını oluşturan iletkenleri taşımaktır.

Durdurucu direkler, doğrusal güzergâhtaki hava hattı boyunca veya büyük yön değişimlerinin olduğu köşelerde kullanılan direk türleridir. Bu direklerin görevleri, nakil hattını oluşturan iletkenleri hem taşıyıcı direkler gibi taşımak hem de belirli gerginlikte tutmaktır (durdurucu bağ ile tespit etmektir).

Son(nihayet) direkleri, hattı oluşturan iletkenlerin tek yönde uyguladıkları çekme kuvvetine karşı koyabilecek niteliktedirler. Böylece hat iletkenlerinin belirli orandaki gerginliğini devrilmeden sağlamaktadırlar.

Ayırım (dağıtım) direkleri, enerji nakil hatlarının birkaç hatta (kola, yöne) ayrıldığı(dağıtıldığı) yerlerde kullanılan direklerdir.

Direkler yapım malzemelerine göre ağaç, demir ve beton; kullanıldıkları şebekeye göre alçak gerilim, orta gerilim ve yüksek gerilimi; devre sayısına göre de tek devreleri ve çift devreli olarak gruplandırılırlar.

Direklerden emniyetli bir şekilde uzun süreli faylanmak için temellerinin önemli rolü vardır. İlgili yönetmelik çerçevesinde belirlenen derinliklerde temellerinin oluşturulması ve direklerin dikilmesi, enerji nakil hattı tesisinin önemli aşamalarındandır. Ayrıca direklerin,

belirlenen ölçütlere göre topraklanması da gerekmektedir.

Enerji nakil hava hatlarının statik ve dinamik analizleri gerçekleştirilirken direklere etki eden kuvvetler, başlıca parametrelerdendir. Düşey ve yatay olan kuvvetlerin etkisinde kalan direklerin bunlara karşı koyabilecek ölçülerde mekaniki dayanıma sahip olması gerekmektedir. Direğin kendi, iletkenin, travers/konsolun, izolatörün, montörün ağırlığı ve buz yükü düşey kuvvetler grubuna girerken; rüzgâr ve iletkenin çekme kuvveti de yatay kuvvetler grubunda yer alır. Ayrıca direkler için maksimum, rüzgâr, ruling, ağırlık ve kritik menzil(açıklık) tanımlamaları da yapılabilmektedir.

Enerji iletim sistemindeki iletkenleri, birbirlerinden ve direklerden belirli uzaklıkta tutmak için kullanılan çift taraflı yapı elemanları travers olarak adlandırılırken, tek taraflı olanları da konsol olarak adlandırılmaktadırlar. Beton ve demirden yapılan travers/konsollar üzerine izolatörler yerleştirilerek iletkenler bağlanmaktadır/tutturulmaktadır. Konsollar yapı, görev ve türleri bakımından traverslerle büyük benzerlikler göstermektedirler. Montajları tamamlandıktan sonra travers ve konsollar topraklanmalıdır.

Enerji nakil hatlarındaki diğer önemli bir eleman da izolatörlerdir. İletkenleri direklere tespit eden, taşıyan, birbirinden ve topraktan yalıtan; şalt sahaları ve dağıtım merkezlerinde baraları tespit eden ve yalıtan bu yapı elemanlarının iki temel görevi bulunmaktadır. Bunlar; iletkenleri elektriksel olarak birbirinden ve topraktan yalıtmak, diğeri de iletkenleri ve bunlara gelen ek yükleri mekaniksel olarak taşımaktır.

İzolatörler, yapım malzemelerine göre porselen, cam, epoksi reçineli ve silikon izolatörler olmak üzere dörde ayrılırlar. Yapılış türlerine göre de mesnet, zincir ve geçit izolatörleri olarak gruplandırılırken işletme gerilimlerine göre AG, OG ve YG izolatörleri; kullanım yerlerine göre de dâhili ve harici tip olarak sınıflandırılmaktadırlar.

Kullanım yerlerine göre belirli ölçütler (işletme gerilimi, iletkenler, kullanma açısı, hat güzergâhı, yüzey kirlenmesi vb.) altında seçilen izolatörler sayesinde iletim hatlarındaki yalıtım ve güvenli enerji nakli sağlanmaktadır.

Kendimizi Sınavalım

1. 3AWG veya 3/0AWG olarak adlandırılan direk türü aşağıdakilerden hangisidir?

- a. Kiriş ağaç
- b. SBA beton
- c. VBA beton
- d. Demir
- e. Çift ağaç

2. “10/5” etiketli bir beton direğin tepe kuvveti kaç kg’dır?

- a. 1000
- b. 500
- c. 200
- d. 10
- e. 5

3. Direğin topraklanmasında direk ile topraklama levhası arasındaki sıkı bağlantıyı gerçekleştiren topraklama iletkeni, yumuşak zeminde en az kaç cm derinde olmalıdır?

- a. 20
- b. 40
- c. 60
- d. 80
- e. 100

4. Komşu direklere uzaklıkları 160 m ve 200 m olan bir direğin rüzgâr menzili kaç m’dir?

- a. 160
- b. 170
- c. 180
- d. 190
- e. 200

5. Enerji iletim sistemindeki iletkenleri, birbirlerinden ve direklerden belirli uzaklıkta tutmak için kullanılan tek taraflı yapı elemanlarına ne denir?

- a. İzolatör
- b. Konsol
- c. Travers
- d. Topraklama levhası
- e. Gergi

6. EKATY’ne göre aynı direk üzerinde bulunan yüksek ve alçak gerilimli iletkenlerin bağlantı noktaları arasındaki düşey uzaklık en az kaç cm olmalıdır?

- a. 90
- b. 110
- c. 130
- d. 150
- e. 170

7. 1 kV’tan düşük sürekli işletme gerilime sahip hava hattı iletkenlerinin en büyük sınımlı durumda yapılara olan en küçük yatay uzaklığı kaç m’dir?

- a. 1
- b. 2
- c. 3
- d. 4
- e. 5

8. Aşağıdakilerden hangisi yapım malzemesine göre izolatör türü **değildir**?

- a. Porselen
- b. Cam
- c. Epoksi reçineli
- d. Silikon
- e. Demir

9. Enerjinin binaya giriş-çıkışında kullanılan izolatör türü aşağıdakilerden hangisidir?

- a. Mesnet
- b. Zincir
- c. Geçit
- d. Taşıyıcı
- e. Durdurucu

10. İzolatör seçiminde aşağıdakilerden hangisi birinci derecede göz önüne **bulundurulmaz**?

- a. İşletme gerilimi
- b. İletkenler
- c. Kullanma açısı
- d. Yüzey kirlenmesi
- e. Zeminin durumu

Kendimizi Sınavalım Yanıt Anahtarı

1. d Yanıtınız yanlış ise “Demir Direkler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

2. b Yanıtınız yanlış ise “Beton (Betonarme) Direkler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

3. d Yanıtınız yanlış ise “Direklerin Topraklanması” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

4. c Yanıtınız yanlış ise “Rüzgâr Açıklığı (Rüzgâr Menzili)” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

5. b Yanıtınız yanlış ise “Konsollar” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

6. d Yanıtınız yanlış ise “Konsollar” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

7. a Yanıtınız yanlış ise “Konsollar” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

8. e Yanıtınız yanlış ise “İzolatörler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

9. c Yanıtınız yanlış ise “İzolatörler” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

10. e Yanıtınız yanlış ise “İzolatör Seçimi Ölçütleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

Sıra Sizde Yanıt Anahtarı

Sıra Sizde 1

Vibre beton direkler üzerinde bulunan delikler direğe gelen rüzgâr kuvvetini azaltmak için kullanılır.

Sıra Sizde 2

3. bölgede yer alan 16,28 mm çapındaki iletkenin buz yükü

$$g_b = k\sqrt{d} = 0,3\sqrt{16,28} = 1,21 \text{ kg/m bulunur.}$$

Sıra Sizde 3

İletkenin çapı 30,42 mm > 15,8 mm olup EKATY Çizelge-10'dan $c = 1,0$ alınır. EKATY Çizelge-11 gereğince iletkenin 50 m verilen arazi üzerindeki yüksekliği 40 m-100 m aralığında olup $p = 68 \text{ kg/m}^2$ alınır. 220 m verilen rüzgâr açıklığı 200 m'den büyük olduğu için rüzgâr kuvveti hesabında Eşitlik 5.6 kullanılmalıdır. Rüzgâr kuvveti,

$$\begin{aligned} w_i &= c p d (80 + 0,6 a_w) \\ &= 1,0(68 \text{ kg/m}^2)(30,42 \text{ mm})(80 + 0,6(220 \text{ m})) \\ \text{ve } w_i &= 438,54 \text{ kg bulunur.} \end{aligned}$$

Sıra Sizde 4

Direğin rüzgâr açıklığı(menzili),

$$a_w = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{180 \text{ m} + 220 \text{ m}}{2}$$

ve $a_w = 200 \text{ m}$ bulunur.

Sıra Sizde 5

Ruling menzili,

$$a_r = \sqrt{\frac{200^3 + 180^3 + 190^3 + 210^3 + 220^3 + 195^3 + 215^3}{200 + 180 + 190 + 210 + 220 + 195 + 215}} \cong 202,74 \text{ m}$$

bulunur. Direğin rüzgâr açıklığı(menzili) ise

$$a_w = \frac{a_1 + a_2}{2} = \frac{190 \text{ m} + 210 \text{ m}}{2}$$

ve $a_w = 200 \text{ m}$ bulunur.

Sıra Sizde 6

iletkende meydana gelen titreşimin frekansı,

$$f = 51,45 \frac{v}{d} = 51,45 \frac{10 \text{ km/h}}{16,28 \text{ mm}}$$

ve $f \cong 31,6 \text{ Hz}$ bulunur.

Yararlanılan Kaynaklar

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği (2000), Ankara.

Elektrik Kuvvetli Akım Tesisleri Yönetmeliği (2010), TMMOB EMO Yayın No TY/2010/2, Ankara.

Elektrik Tesislerinde Topraklamalar Yönetmeliği (2001), Ankara.

MEB, MEGEP, Elektrik Elektronik Teknolojisi Modülleri (2007), **Direkler**, Ankara.

MEB, MEGEP, Elektrik Elektronik Teknolojisi Modülleri (2007), **Bina Enerji Giriş Sistemleri**, Ankara.

MEB, MEGEP, Elektrik Elektronik Teknolojisi Modülleri (2007), **İzolatörler**, Ankara.

ÖZÜM, C.G. (2008), **Direkler ve Özellikleri**, TEİŞ e-bültenleri, (http://www.teias.gov.tr/ebulten/makaleler/2008/direk/direkler_ve_ozellikleri.htm)

TÜRK, M. (2009) **Köy Elektrifikasyon Sistemleri**, Yüksek Lisans Tezi, Sakarya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü.

İller Bankası (1981), **A.G. Demir Direk Resimleri I. II. III. (IV Üzerinde 10.16 m2 Cu ve ROSE Olmayan) Buz Yükü Bölgesi için, 6/25A.**

Tosun, İ. (2007) **Enerji İletimi ve Dağıtımı**, Birsan Yayınevi, İstanbul.

Dengiz, H.H. (1991) **Enerji Hatları Mühendisliği** (2. Baskı), Kardeş Kitapevi, Ankara.

<http://www.wikipedia.org/>

6

Amaçlarımız

Bu üniteyi tamamladıktan sonra;

-  Alçak gerilim dağıtım şebekesinin yükümlülüklerini sıralayabilecek,
-  Alçak gerilim dağıtım şebekesi bağlantı tiplerini tanıyabilecek,
-  Dağıtım transformatörlerinin bileşenlerini ve yapısını açıklayabilecek,
-  Dağıtım transformatörlerinin gücünü ve yerini belirleyebilecek,
-  Dağıtım şebekelerinde kompanzasyonu açıklayabilecek

bilgi ve becerilere sahip olabilirsiniz.

Anahtar Kavramlar

- | | |
|---|---|
|  Şebeke |  Yük Yoğunluğu |
|  Enerji Dağıtımı |  Dağıtım Transformatörleri |
|  Alçak Gerilim |  Reaktif Güç Kompanzasyonu |

İçindekiler

- ❖ Giriş
- ❖ Alçak Gerilim Şebekeleri
- ❖ Dağıtım Transformatörleri
- ❖ Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Transformatör Gücünün ve Yerinin Belirlenmesi
- ❖ Dağıtım Şebekelerinde Kompanzasyon

Elektrik Enerjisinin Dağıtımı ve Trafo Seçimi

GİRİŞ

Elektrik enerjisinin üretiminden tüketicilere ulaşıncaya kadar gerekli olan tesisler; üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç kısımda incelenir. Enerjinin üretildiği yer üretim santralleridir. Bu santraller elektrik üretim kaynaklarına göre termik, hidro elektrik, nükleer santral gibi sınıflara ayrılmaktadır. Bunların yanısıra rüzgâr enerjisi, güneş enerjisi ve jeotermal enerji (termal su kaynakları) ile çalışan santraller de mevcuttur. Elektrik enerjisinin üretilen yerden alınıp tüketim bölgelerine ulaştırılması ise iletim şebekeleri vasıtasıyla gerçekleştirilir. Genellikle birbirinden uzak olan elektrik üretim santralleriyle tüketim merkezleri arasındaki bağlantı, iletim şebekesi ve enterkonnekte sistemler ile sağlanır. Elektrik enerjisi büyük ölçekte depolanamadığından, üretildiğinde hemen kullanıcıya ulaştırılması gerekir. Bu da üretim ve tüketimin her an dengede tutulması demektir. Öte yandan tüketim miktarı bölgelere, mevsimlere ve hatta günün saatlerine göre büyük değişiklikler gösterebilir. Enterkonnekte sistemler, üretimi tüketim düzeyindeki değişimlere uyarlamayı sağlar.

Elektrik enerjisinin iletimi ise enerji nakil hatları aracılığıyla gerçekleştirilir. İletim şebekelerinde gerilim seviyesi yüksek tutularak önemli oranda tasarruflar sağlanır. Bunlar; enerji kaybı gerilim değeri ile ters orantılı olduğu için enerjiden, hat miktarı azaldığı için yerden, şebekedeki bakım masrafları azaldığı için de harcamalardan tasarruf şeklinde özetlenebilir. İletim şebekesi bölgesel, ulusal veya uluslararası ölçekte de olsa, yönetim ve organizasyon nedenleriyle 34.5 kV veya bundan büyük gerilim değerlerinde gerçekleştirilir. En çok kullanılan gerilim seviyeleri 380 kV , 154 kV , 66 kV ve 34,5 kV 'tur. İletim şebekeleri ile taşınan yüksek gerilimli elektrik enerjisinin gerilim düşürücü transformatör (trafo) merkezinden alınıp tüketicilere ulaştırılması ise dağıtım şebekeleri yardımıyla gerçekleştirilir. Dağıtım merkezlerine ulaşan yüksek gerilimli elektrik enerjisi burada orta gerilim değerlerine düşürülerek fabrikalara, tramvay gibi kent içi ulaşım sistemlerine ve kent içi dağıtım şebekesine verilir. Dolayısıyla bu şebekelerde gerilim kademesi, düşürücü transformatör merkezinden bölgelerdeki dağıtım transformatörlerine kadar olan hatlar için orta gerilimde (1-35 kV), dağıtım transformatörlerinden tüketicilere kadar olan hatlarda ise alçak gerilim (1 kV 'a kadar) seviyesindedir.

Elektrik dağıtımı uygulanmakta olan bir plana göre ülke çapında yapılmaktadır. Bu amaçla haberleşme ve telekomünikasyon araçlarından, otomasyon sistemlerinden ve önceden hazırlanan istatistik verilerine dayalı öngörülerden yararlanılır. Enerji dağıtımında meteorolojik koşullar da büyük öneme sahiptir. Kapalı bir hava veya güneşli bir hava büyük sıcaklık farklılıklarına yol açarak konutların ısıtma ve aydınlatılmasında elektirik enerjisinin kullanımını etkilemektedir. Bu nedenle dağıtım şebekeleri elektrik enerjisinin kesintisiz ve güvenilir bir şekilde dağıtılması için çok iyi plânlanarak kurulmuş olmalıdır. Şebekede oluşacak arızalar ve olumsuz etkiler tüketicileri ve alıcıları etkilemektedir. Özellikle yağışlı havalarda hatlara yıldırım düşmesi veya bir nedenle hatlarda kısa devre meydana gelmesi durumunda abonelerin kullandıkları cihazlar bundan etkilenecek arızalanabileceğinden dağıtım hatlarının çeşitli arızalara karşı korunması gerekmektedir.

Bu ünite de alçak gerilim şebekelerinin özelliklerinden ve yükümlülüklerinden bahsedilecek, alçak gerilim şebekesi bağlantı tipleri tanıtılacaktır. Alçak gerilimlerde kullanılan dağıtım transformatörlerinin bileşenleri ve yapısı açıklanarak, bu transformatörlerin yeri ve büyüklüğünün belirlenmesine ilişkin bilgiler verilecektir. Ayrıca dağıtım şebekelerinde kompanzasyon incelenecektir.

ALÇAK GERİLİM ŞEBEKELERİ

Dağıtım şebekelerinde dağıtım transformatöründen tüketicilere kadar olan şebekeye *alçak gerilim şebekesi* denir. Bu şebekeler, dağıtım transformatörlerinden tüketicilere (abonelere) kadar olan enerji nakil hatlarından oluşur. Alçak gerilimle yapılan iletimlerde akımın yüksek olması nedeniyle gerilim düşümü ve güç kaybı fazladır. Ülkemizde alçak gerilim, abonelerde tek faz sistemlerde 220 V , üç fazlı sistemlerde ise fazlar arası gerilim 380 V olarak kullanılır.

Alçak gerilim (AG) şebekelerinin yalıtımı ve korunması kolay olduğundan abonelere yakın kısımlara kurulabilmektedir. Elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması için tesis edilen bu şebekeler dağıtımın yapılacağı şehir, köy ve benzeri yerlerin özelliklerine göre; en uygun, güvenli ve kesintisiz enerji verebilecek nitelikte olmalıdır. Bu nedenle elektrik enerjisinin abonelere dağıtılması sırasında şebeke yönünden yerine getirilmesi gereken yükümlülükler kitabınızın ikinci ünitesinde ayrıntılı olarak incelenmiştir.

Yerleşim birimleri ve sanayilerdeki cadde, yol, meydan ve geçitler boyunca döşenen hat parçalarının birbirine eklenmesinden, kollar ve kolların birbirine eklenmesinden de alçak gerilim dağıtım şebekeleri meydana gelir. Bu şebekelerde kullanılan hatlara *alçak gerilim dağıtım hatları* denir. Bu hatlar havai hatların yanı sıra yer altı kablolarıyla da sağlanabilir. Yer altı kabloları ile yapılan tesislerde, direk ve diğer malzemelere ihtiyaç yoktur. Cadde ve meydanların görüntü estetiği bozulmadan hatlar çekilebilir. Fakat yer altı kablolarının maliyeti havai hatlara nazaran oldukça yüksektir. Alçak gerilim şebekelerinde havai hatlar çekilirken aşağıda verilen durumların göz önünde bulundurulması gerekir:

- Hatlar yol kenarında mümkün olduğu kadar yolun aynı tarafını takip etmelidir.
- Zorunlu olmadıkça hattaki dallanmalar hat istikametine ters (geri) yönde olmamalı, dallanmalar ana hat ile dar açılı olmamalıdır.
- Gereksiz yere fazla direk kullanımından kaçınılmalı ve direkler konutlara zorunlu olmadıkça yakın olmamalıdır.

Şebekelerin kurulmasında alıcıların, teknik yönden uygun ekonomik ve ergonomik beslenmesi ana kuraldır. Bu kuralları yerine getirebilmek için değişik şebeke sistemleri geliştirilmiştir. Dağıtım şekillerine göre kullanılan alçak gerilim dağıtım şebekeleri;

- Dallı (Dal-Budak) şebekeler
- Ring (Halka) şebekeler
- Ağ (Gözlü) şebekeler

olarak sınıflandırılır.

Ring ve gözlü şebekeler yük alışverişini sağladığı ve dolayısıyla şebeke gerilimini sabit tuttuğu gibi tam bir işletme emniyeti de sağlar. Ayrıca yük artışını da kolaylıkla karşılar. Bunların yanı sıra bu tip şebekelerde kayıplar ve tesis masrafları daha düşüktür. Gözlü şebekelerde toplam gücü karşılamak için tek bir transformatör merkezi kullanmaktansa daha düşük güçlü transformatörleri uygun düğüm noktalarına yerleştirilerek şebeke iletken ve kablo kesitlerini küçültmek mümkündür. Bu şebekelerin özellikleri için kitabınızın ikinci ünitesini tekrar inceleyiniz.

Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinin Tesis

Alçak gerilim dağıtım şebekelerinde faz iletkenlerinden her hangi birinde bir izolasyon hatası oluştuğunda toprak üzerinden bir kaçak akımın geçmesi, bu hata akımının şiddeti ve direkt temaslara karşı alınacak koruma tedbirleri alçak gerilim şebekesinin bağlantı şekline göre değişmektedir. Alçak gerilim şebekesinin bağlantı tipi Tesisat Yönetmelikleri TS 3994'e göre belirlenmiştir. Bu şebeke tiplerini incelemiden önce şebeke ve tesislerle ilgili temel kavramların incelenmesi alçak gerilim dağıtım şebekeleri ve şebeke tiplerinin anlaşılması açısından büyük önem taşımaktadır.

Gerilim Kademesi: Alçak gerilimde elektrik enerjisinin dağıtımı tek fazlı sistemler için 220 V , üç fazlı sistemlerde ise fazlar arası gerilim 380 V seviyesinde yapılmaktadır.

Tüketici (yük): Elektriksel yük terimi, bazı görevleri yerine getirebilmek ya da gücü başka enerji biçimlerine (ısı, ışık) çevirebilmek için sistemden güç çeken bir aletin elektrik talebi anlamına gelmektedir. Şebekede yükler; konut, ticari ve endüstriyel yükler gibi tüketim amaçlarına göre sınıflandırılır. Konut yükleri evlerin toplam yükleridir. Bunlar genel olarak aydınlatma, ısıtma ve ev içinde kullanılan motorlar (buzdolabı, çamaşır makinesi, bulaşık makinesi) şeklinde belirtilebilir. Ticari yükler; işyeri binalarını, alışveriş mağazalarını ve dükkânları içermektedir. Endüstriyel yükler ise ticari yükler ile aynı türden olup ek olarak büyük motorlar, üretim donanımları gibi yükleri de kapsamaktadır.

Kayıp Güç: Elektrik enerjisi dağıtım sistemlerindeki kayıpları teknik ve teknik olmayan kayıplar olmak üzere ikiye ayırmak mümkündür. Teknik kayıplar, bir dağıtım şebekesinin elektrikle ilgili özelliklerine bağlı kayıplardır. Bu kayıplar hatlardaki ısı kayıplardır. Teknik olmayan kayıplar ise gerçekte tüketilen elektrik ve ölçülen elektrik tüketimi ya da faturalama tutarı arasındaki fark olarak tanımlanabilir.

Yıldız Noktası: Herhangi bir işletme elemanının yıldız bağlı faz sargılarının müşterek düğüm noktasıdır. Dengeli sistemlerde buna *nötr* veya *sıfır noktası* da denir.

Faz İletkeni: Akım kaynağı ile tüketiciyi birbirine bağlayan iletkenler olup üç fazlı sistemde R, S, T ile işaretlenir ve kesintisiz çizgi ile gösterilir.

Nötr İletkeni (Orta İletken): Çok fazlı bir sistemin, örneğin üç fazlı bir sistemin yıldız noktasından çıkan iletkenlerdir. Bu iletkenlere *yıldız noktası iletkeni* de denir. O veya N ile işaretlenir.

Sıfır İletkeni: Özellikle sıfırlama yolu ile korumanın uygulandığı alçak gerilim şebekelerinde doğrudan doğruya topraklanan nötr iletkenidir.

Koruma İletkeni: Cihazların temas yüzeylerini gerilime karşı korumak için bunları topraklayıcılara ve topraklanmış iletkenlere bağlamaya yarayan iletkenlerdir ve noktalı çizgi ile gösterilir.

Anahtar: Elektrik devrelerini açıp kapamaya yarayan bir işletme aracıdır.

Otomatik Anahtar (şalter): Cihazları korumak maksadıyla termik veya manyetik veya hem termik hem manyetik koruma elemanları ile donatılan ve bir aşırı akım esnasında devreyi otomatik olarak kesen anahtardır.

Güç Anahtarı (Kesici): Normal şartlarda devreyi açıp kapamaya yarayan ve arıza halinde koruma röleleri ile kumanda edilerek, büyük kısa devre akımlarını kesen anahtardır.

Ayırıcı: Şebeke yüksüz halde iken açma kapama işlemi yapabilen, açık durumda gözle görülebilen bir ayırma aralığı oluşturan şebeke elemanıdır.

Kısa Devre: İşletme gereğince birbirlerine karşı gerilim altında bulunan iletkenler (aktif kısımlar) arasında bir izolasyon hatası sonucunda iletken bir bağlantının meydana gelmesi durumudur.

Gövde ve Toprak Temasları: Bir izolasyon hatası sonucunda, elektrikli işletme araçlarının aktif kısımları ile gövdeleri arasında meydana gelen iletken bağlantılarına gövde teması denir. Toprak teması ise bir izolasyon hatası sonucunda bir faz iletkeni ile toprak veya topraklanmış iletken kısımlar arasındaki bağlantı olup bazı hallerde bu bağlantı ark şeklinde kendini gösterir. Gövde topraklanmış ise gövde teması aynı zamanda bir toprak temasıdır.

Nominal Gerilim: Şebekenin adlandırıldığı gerilim olup şebekenin belirli işletme büyüklükleri buna göre tayin edilirler. Nominal gerilim daima faz-faz arası gerilim değeridir.

İşletme Gerilimi: Bir işletme aracında veya her tesis bölümünde faz iletkenleri arasında bulunan yerel gerilim değeridir.



Dağıtım şebekelerinde işletme gerilimi ile nominal gerilim değerleri birbirlerine eşit midir?

Topraklama: Elektrik tesislerinde aktif olmayan bölümler ile sıfır iletkenleri ve bunlara bağlı bölümlerin, bir elektrot yardımı ile toprakla iletken bir şekilde birleştirilmesine topraklama denilmektedir.

Sigorta: Korunacak işletme aracının önünde, ana akım devresine seri bağlanmış olan, özel olarak imal edilmiş gümüş veya bakır telden veya şeritten yapılmış bir iletken parçasından oluşur. Yüksek akımda açılarak sistemi koruma amaçlı kullanılır.

Direk: Elektrik enerjisinin dağıtımında havai hat iletkenlerin taşınması için kullanılır. Enerji taşıyan iletkenleri izolatörler yardımıyla yerden ve birbirinden belli uzaklıkta tutan elemanlardır. Kullanılan malzeme açısından ağaç, demir ve betonarme olmak üzere üç gruba ayrılır. Kullanım amacına göre ise düz bir hatta iletkeni taşıyan direklere *taşıyıcı direkler*, hattı belli bir yerde tespit etmek amacıyla kullanılan direklere *durdurucu direkler*, hattın başladığı ve bittiği yerde kullanılan direklere *nihayet (son) direkler* denir.

İzolatör: Hatlarda iletkeni taşımak için kullanılan çok düşük iletkenlik özelliği gösteren plastik, mika, seramik (porselen) gibi malzemelerdir. Direkler ve izolatörler le ilgili daha ayrıntılı bilgilere kitabınızın beşinci ünitesinde ulaşabilirsiniz.



İzolatörlerin yapımında genellikle porselen veya cam malzeme kullanılmasının sebebi ne olabilir?

Transformatör (Trafo): İki veya daha fazla elektrik devresini elektromanyetik indüksiyonla birbirine bağlayan bir elektrik şebekesi elemanıdır. Bir elektrik devresinden diğer elektrik devresine, enerjiyi elektromanyetik alan aracılığıyla nakleder. Transformatörler elektrik enerjisinin belirli gücünde gerilim ve akım değerlerinde istenilen dönüşümü yapan elemanlardır. Gerilimi alçaltıp veya yükseltme özelliklerine göre; alçaltıcı veya yükseltici transformatörler şeklinde sınıflandırılır. Benzer şekilde transformatörleri çalıştıkları gerilimlerine göre alçak, orta, yüksek ve çok yüksek gerilim transformatörleri biçiminde de guruplara ayırmak mümkündür.



Bir alçak gerilim dağıtım şebekesi genel olarak hangi elemanlardan oluşabilir?



Alçak Gerilim Dağıtım Şebekeleri ve elemanlarını ayrıntılı olarak inceleyebilmek için Erdal Turgut ve Korkmaz Selçuk'un Detay Yayıncılıktan basılmış olan "Elektrik Enerjisi Üretimi İletimi ve Dağıtımı" (2009) adlı kitabını okuyabilirsiniz.

Alçak Gerilimde Şebeke Bağlantı Tipleri

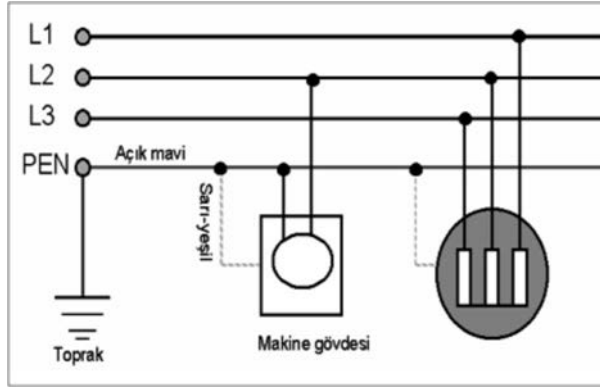
Tesisat yönetmelikleri TS 3994'e göre, alçak gerilim şebekelerinde temel olarak üç çeşit şebeke bağlantı tipi kullanılabilir. Bağlantı şekillerini belirleyen isimlerde ilk harf transformatörün sıfır noktasının toprakla bağlantı durumunu ikinci harf ise cihazların toprağa bağlantı durumunu göstermektedir. Burada: T toprağa bağlı (Terra), I topraktan yalıtılmış (İzolasyon), N nötr hattına bağlı olma durumlarını göstermektedir. Bu şebekelerde kullanılan koruma iletken tipleri ise; PE koruma iletkeni, S ayrı iki (PE ve Nötr) iletkeni ve C koruma iletkeni ile nötr hattının fonksiyonlarının birleştirildiği (PEN) iletken olarak tanımlanmakta olup dağıtım şebeke tipleri (sistemleri) bağlantı şemaları ile birlikte sırayla incelenecektir.

TN Şebeke Sistemi

Bu şebeke, günümüzde kullanılan en yaygın şebeke tipidir. Burada şebekenin bir noktası (yıldız noktası) doğrudan topraklanır. Buna *işletme topraklaması* denir. Tesise ait bütün madeni kısımlar işletme topraklamasına bağlanmaktadır. Bir faz-toprak teması halinde işletme topraklamasının R_0 direnci

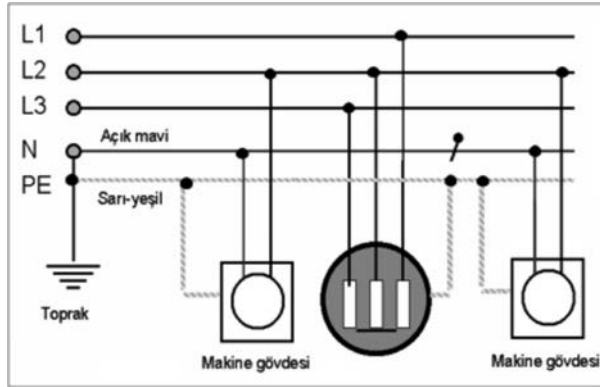
üzerinden, PE veya PEN koruma hatlarının ve bunlara bağlı cisimlerin toprağa karşı gerilimleri yükselir. Bu gerilimi sınırlandırmak için, bütün işletme topraklamalarının toplam topraklama direnci 2Ω 'u geçmemelidir.

TN-C Şebeke Sistemi: Tesisin madeni muhafaza kısımlarının koruma ve nötr iletkenleri birleştirilerek şebekenin tamamında ortak bir iletken (PEN) olarak toprağa bağlandığı şebeke tipidir. Koruma ve nötr fonksiyonları birleştirilmiş bu şebekeye ilişkin bağlantı şeması Şekil 6.1'de verilmiştir.

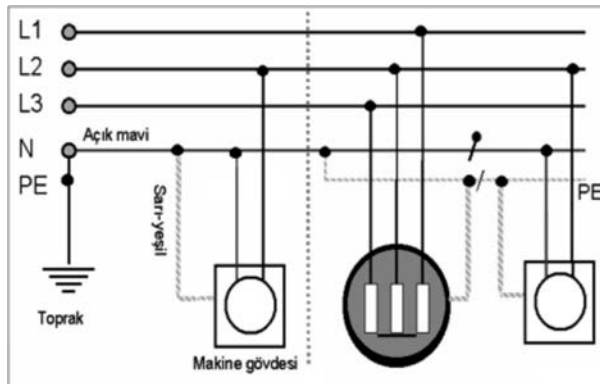


Şekil 6.1: TN-C şebeke sistemi bağlantı şeması.

TN-S Şebeke Sistemi: Bu tür sistemde tesisteki bütün madeni kısımlar (makine gövdeleri), PE koruma hattı üzerinden işletme topraklamasına bağlanır. Koruma ve nötr iletkenleri ayrı hatlar olarak çekilir. TN-S şebeke sistemi, koruma ve nötr fonksiyonları ayrı yapılmış şebeke, bağlantı şeması Şekil 6.2'de verilmiştir.



Şekil 6.2: TN-S şebeke sistemi bağlantı şeması.

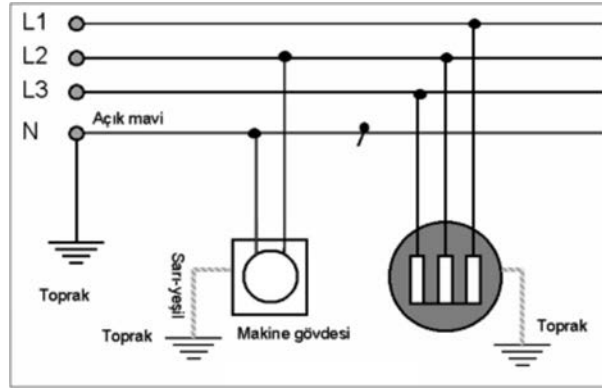


Şekil 6.3: TN-C-S şebeke sistemi bağlantı şeması

TN-C-S Şebeke Sistemi: Bu tür sistemde koruma ve nötr iletkenleri tesisin bir bölümünde ayrı, bir bölümünde ise tek bir iletken olarak çekilmektedir. TN-C-S şebeke sistemi bağlantı şeması Şekil 6.3'te verilmiştir.

TT Şebeke Sistemi

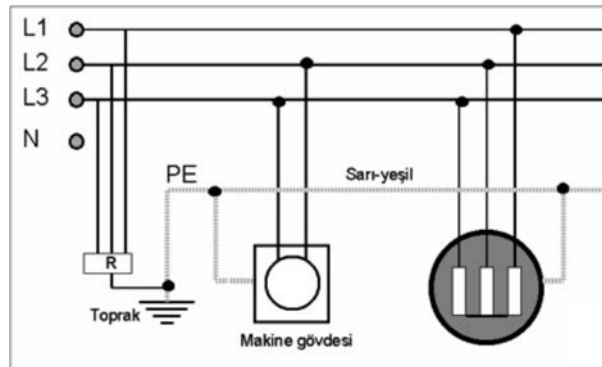
Bu şebeke tipinde şebekenin yıldız noktası topraklanmış veya yeteri kadar bir empedans üzerinden topraklanmıştır. Tesisteki madeni kısımlar işletme topraklamasından ayrı olarak topraklanmaktadır. Buna *koruma topraklaması* denir. TT şebeke sistemi, nötr ve cihazlar ayrı ayrı topraklanmış şebeke, bağlantı şeması Şekil 6.4'de verilmiştir.



Şekil 6.4: TT Şebeke sistemi bağlantı şeması.

IT Şebeke Sistemi

Bu sistemde şebekenin yıldız noktası toprağa karşı yalıtılmış veya yüksek bir empedans üzerinden topraklanmıştır. Şebekeden beslenen cihazlar ise koruma iletkeni üzerinden topraklanır. Şebekede oluşan ilk faz toprak hatası, cihazlara zarar vermez. Ancak ikinci bir izolasyon hatası, toprak teması iki fazlı bir kısa devre oluşturur. Bu da cihazlar açısından zararlıdır. Bundan dolayı bu tür şebeke sistemlerinde izolasyon hatalarından korunmak amacı ile izolasyon kontrol cihazı kullanılır. Böylece izolasyon hatası önceden belirlenerek gerekli önlem alınmış olur. IT şebeke sistemi, sistem nötrü yalıtılmış ve cihazlar topraklanmış şebeke, bağlantı şeması Şekil 6.5'te verilmiştir.

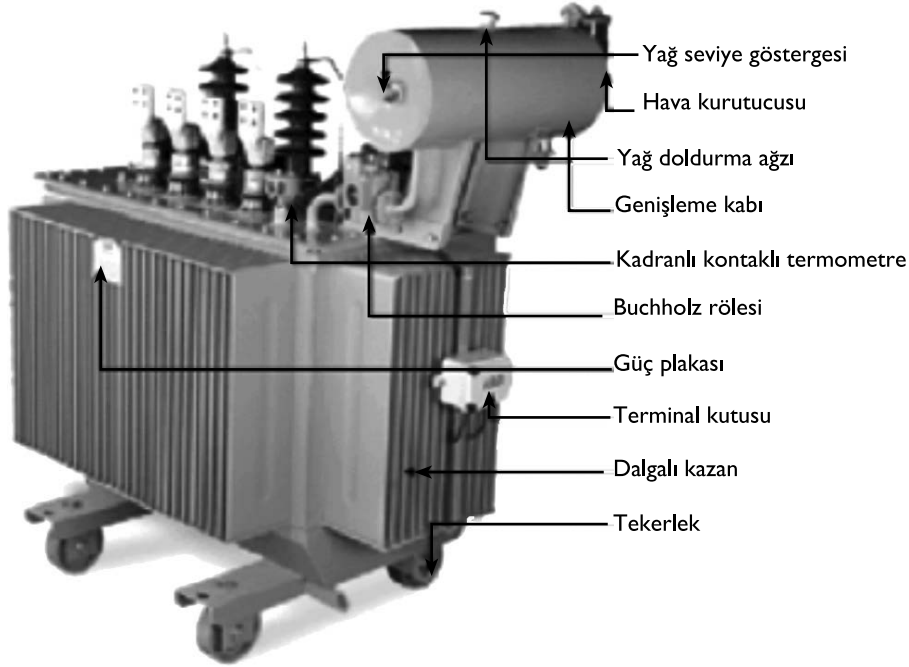


Şekil 6.5: IT şebeke sistemi bağlantı şeması.

Bütün bu alçak gerilim şebeke tipleri arasında TN-S şebeke tipi, temas gerilimine karşı korumanın sağlanması açısından en uygun ve en güvenilir şebekedir. Bununla birlikte, bu şebeke tipinde üç faz, bir nötr ve bir koruma iletkeni olmak üzere beş adet iletken bulunduğu için maliyeti diğerlerinin maliyetinden yaklaşık %20 oranında daha yüksektir.

DAĞITIM TRANSFORMATÖRLERİ

Alternatif akımda, güç sabit kalmak şartı ile elektrik enerjisinin gerilim ve akım değerlerini elektromanyetik indüksiyon yolu ile ihtiyaca göre dönüştürmeye yarayan ve hareketli parçası olmayan aygıtlardır. Elektrik enerjisi santrallerde üretildikten sonra abonelere ulaşana kadar değişik işlemlerden geçer. İlk önce santral çıkışında elektrik enerjisinin gerilimi yükseltilir. Böylece iletim yüksek gerilimle yapılmış olur. Şehir veya kasabaların girişinde yüksek gerilim (YG) orta gerilime (OG'ye) düşürülür. Gerilim seviyesi yüksek olduğundan bu işlemler güç transformatörleri tarafından gerçekleştirilir. Dolayısıyla güç transformatörleri yükseltici-indirici merkezler arası enerji iletiminde kullanılan YG/YG transformatörleridir. Bunlar, transformatör merkezlerinin en önemli kısmı olup merkez içerisinde hava alabilen ve acil durumlarda müdahalesi kolay olabilecek uygun bir yere yerleştirilirler. Son olarak orta gerilim alçak gerilime düşürülmektedir. Bunun için kullanılan transformatörlere ise *dağıtım transformatörleri* denir. Başka bir deyişle gerilim ve güç kapasitesi sırasıyla 35 kV ve 1600 kVA 'a kadar olan transformatörlere dağıtım transformatörleri denir. Resim 6.1'de bir dağıtım transformatörünü oluşturan elemanlar görülmektedir.



Resim 6.1: Dağıtım transformatörü

Resim 6.2'de aktif kısmı görülen bir dağıtım transformatörünü oluşturan elemanlar ve görevleri aşağıdaki gibidir:

Demir nüve: Manyetik akı oluşmasını sağlar.

Primer sargılar: İnce ve çok sipirli olup transformatörün giriş kısmıdır.

Sekonder sargılar: Kalın ve az sipirli olup transformatörün çıkış kısmıdır.

İzolasyon yağı: Sarımlar sargılar arası ve gövde tank arası izolasyonu ve soğutmayı sağlar.

Ana tank: Sargıların, nüvenin ve yağın bulunduğu kısımdır.

Rezerve tankı: Genleşme ve yedek yağ tankıdır.

Yağ seviye göstergesi: Rezerve yağ servisini göstermek için kullanılır.

Radyatör: Transformatör yağının soğutmasını sağlar.

Tekerlekler: Transformatörü taşımak için kullanılır.

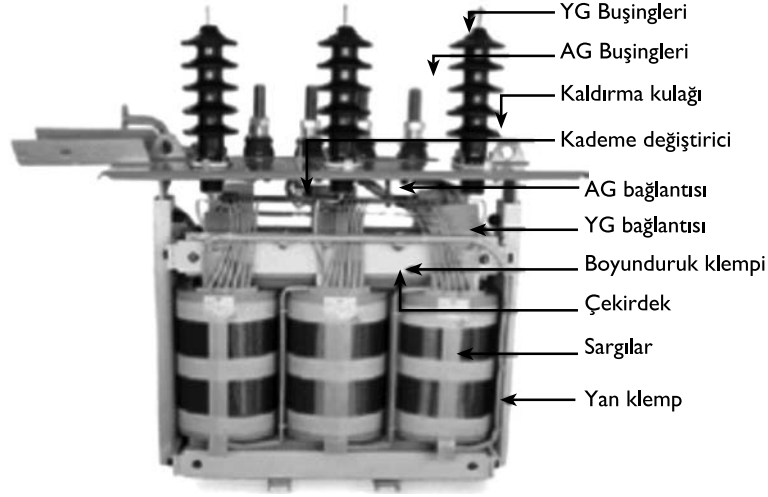
OG–AG buşingi: OG ve AG fazlarının bağlantı terminalleridir.

Ark boynuzu: Gerilim yükselmesinde transformatörü koruyan elemanlardır.

Termometre: Transformatörün sıcaklığını gösterir.

Gerilim kademe komütatörü: Gerilim seviyesini ayarlamaya yarar.

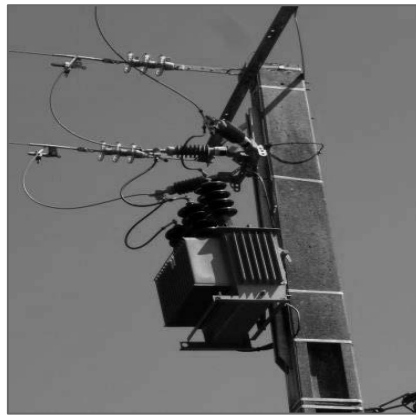
Taşıma kancaları: Transformatörü montaj ve demontaj işleminde kaldırıp indirmeye yarar.



Resim 6.2: Transformatörün aktif kısmı.

Dağıtım transformatörlerinde bağlantı şekli olarak yüksek gerilim sargıları yıldız veya üçgen, alçak gerilim sargıları ise yıldız veya zikzak tercih edilir. Bu transformatörlerde gerilim düşümünü küçük tutabilmek için transformatör kısa devre gerilimi %4 civarında alınır. Ayrıca muhtelif noktalardan beslenen dağıtım şebekelerinde transformatörler arasındaki mesafe 300 m'nin altında ise kısa devre empedansları eşit alınır.

Dağıtım şebekelerinde kullanılan dağıtım transformatörleri 1600 kVA güce kadar olan transformatörlerdir. Bunlar, üretim çeşidine göre kuru ve yağlı tip transformatörler olarak iki grupta incelenir. Yağlı tip transformatörlerde sargılar soğutma ve izolasyon amaçlı yağın içerisine yerleştirilmekte olup özellikle 10 kV ve yukarı gerilimlerde tercih edilirler. Kuru tip transformatörler ise yağ içermeyen harici soğutma sistemini gerektiren transformatörlerdir. Bu tip transformatörlerde kullanılan epoksi reçine, nemin içeriye girmesini engelleyerek transformatörün zor koşullarda, nemli ve kirli ortamlarda rahatlıkla çalışabilmesine imkân sağlamaktadır. Kuru tip transformatörlerin boyutlarının yağlı tip transformatörlere göre daha küçük olması ise yerden tasarruf ve kurulum esnasında daha az işçilik gibi avantajlar sağlamaktadır.



Resim 6.3: Direk tipi dağıtım transformatörü.

Kullanım yerlerine göre dağıtım transformatörleri direk tipi transformatörler ve bina tipi transformatörler olmak üzere iki grupta incelenir. İletim hatlarından taşınan orta gerilimdeki elektrik enerjisini tüketicilerin kullanabileceği alçak gerilime düşüren ve direklerin üzerine monte edilen transformatörler *direk tipi transformatörler (trafolar)* denir. Bu tip transformatörler genellikle küçük yerleşim birimleri ile ana dağıtım transformatörüne uzak aboneleri beslemek için kullanılır. Resim 6.3'te bir direk tipi transformatör görülmektedir. Burada transformatör ve donanımı direk üzerine monte edilmiştir. Kompanzasyon kondansatörleri gibi diğer elemanlar ise direğin yanında bulunan alçak gerilim panosuna monte edilmektedir. Yapı olarak demir direklerin kullanıldığı gibi beton direklerde kullanılmaktadır.

Yeni yapılacak direk tipi transformatörler için beton direkler daha çok tercih edilmektedir. Bunun nedeni bakımlarının kolay ve gövdeye kaçak olma olasılığının çok düşük olmasıdır. Transformatör gücüne göre platform boyutu belirlenmektedir. Türkiye'de gerilim değeri olarak fazlar arası gerilim 380 V'tur. Bu yüzden direk tipi transformatörler orta gerilim değeri olan 34,5 kV ve daha düşük değerli gerilimi 400 V'a düşürmekte ve güçleri 400 kVA kadar değişmektedir. İhtiyaca bağlı olarak 50 kVA, 100 kVA, 160 kVA, 250 kVA ve 400 kVA olarak imal edilen direk tipi transfolar bina tipi transfolara nazaran daha ucuzdur.



Resim 6.4: Bina tipi dağıtım transformatörü.

Bina tipi transformatörler şehir veya kasabalarda zemini dayanıklı, estetiği bozmayan yerlere alçaltıcı transformatör merkezi görevini yapmak için kurulur. Orta gerilimi alçak gerilime düşürmek için kullanılan 400 kVA gücünden büyük transformatörlerdir. Resim 6.4'te bir bina tipi dağıtım transformatörü görülmektedir. Bu tip transformatörler kapalı bir bina veya kapalı muhafazalı mekânda güvenlik tedbirleri alınmış, dış etkilerden etkilenmeyecek ve şehir estetiğini bozmayacak şekilde tasarlanır ve kurulurlar. Yeni kurulan bina tipi transformatör merkezleri yer altı kabloları ile enerji iletim ve dağıtım yapılabilecek şekilde tasarlanır. Bütün malzemeler kapalı bir alan içinde bulunması gerilim malzemelerinin insan ve canlı temasını engeller. Hava şartlarına bağlı olmadan gerekli kontroller yapılabilmekte ve bu tip transformatörlerde hava şartlarına bağlı olarak elektrik kesintileri en az düzeyde gerçekleşmektedir.

ALÇAK GERİLİM DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE TRANSFORMATÖR GÜCÜNÜN VE YERİNİN BELİRLENMESİ

Bu bölümde alçak gerilim dağıtım şebekelerinde güç yoğunluğu hesabına ilişkin bilgiler verilecek ve transformatör gücünün nasıl hesaplanacağı anlatılacaktır.

Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Güç Yoğunluğu Hesabı

Dağıtım şebekelerinin en önemli konularının başında gelen ve yük tahmini veya yük tayini olarak adlandırılan yük miktarının belirlenmesi gerekir. Bu aynı zamanda tüketimin belirlenmesi olarak da ifade edilebilir. Tüketime göre transformatör seçimi ve iletkenlerin seçimi bu tüketim miktarına göre hesaplanan güç yoğunluğuna göre yapılmaktadır. Alçak gerilim şebekesinin bir metresine düşen yayılı yüke *güç yoğunluğu* denir. J ile temsil edilen güç yoğunluğunun SI ölçüm sistemindeki birimi W/m 'dir.

Güç yoğunluğu, gerilim düşümü hesabı yapılarak alçak gerilim iletken kesitlerinin belirlenmesinde kullanılır. Köylerde kişi başına tüketim $75 W$, belde ve kasabalarda kişi başına tüketim $100 W$ değerinden büyük olacak şekilde nüfusa göre güç yoğunluğu,

$$J = 1,1 \frac{NQ}{L} \quad (6.1)$$

eşitliği kullanılarak bulunur. Burada; N nüfus (kişi), Q kişi başına W cinsinden tüketim ($W/kisi$), L ise m cinsinden alçak gerilim şebeke uzunluğudur. Eşitlik 6.1'deki NQ çarpımı dağıtılacak toplam gücü verir. Yine bu ifadede 1,1 değeri; toplam şebeke gücüne, şebeke gücünün %10' kadar kayıp gücünün eklenmesiyle elde edilen bir katsayıdır. Şehir elektrik şebekelerinde ise enerji analizörleriyle alçak gerilim panosunun kol çıkışlarında ve apartmanlarda yapılan ölçümler neticesine göre kişi başına tüketim, daha sonra imar planında belirtilen kat adedi ve daire sayısına göre şebeke uzunluğu belirlenerek güç yoğunlukları hesaplanmaktadır.



Şehir elektrik şebekelerinde güç yoğunluğu hesabı yapılırken kişi başına elektrik tüketimi değerinin en az $100 W/kisi$ alınması gerekir.

Eğer yerleşim yerlerinde farklı yoğunlukta yerleşimler ve sosyoekonomik gelişmişlikler var ise şebekenin uzunluğu:

$$L = k_1 L_1 + k_2 L_2 + k_3 L_3 + \dots \quad (6.2)$$

formülü ile ifade edilir. Burada k ile gösterilen tüketim katsayısı; yoğunluk ve sosyoekonomik gelişmişlikteki farklılıklar için projeci tarafından belirlenir. Bu hesap metodu ile gerçeğe daha yakın hesaplamalar yapılarak gerekli ve yeterli şebeke oluşturma sağlanabilir.

Örnek:

Nüfusu 800 kişi olan bir köydeki şebeke uzunluğunun 3600 m olması durumunda güç yoğunluğunu hesaplayınız.

Çözüm:

Köylerde kişi başına tüketim $Q=75 W$ alınır. $N=800$ kişi ve $L=3600 m$ olduğuna göre eşitlik 6.1'de tanımlanan güç yoğunluğu bağıntısından,

$$J = 1,1 \frac{(800 \text{ kişi})(75 W/kisi)}{3600 m} = 18,3 W/m$$

bulunur. Bu değer yaklaşık olarak $J=20 W/m$ alınır.

Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Transformatör Gücünün Hesaplanması

Dağıtım şebekelerinin önemli konularından biri de kullanılacak transformatörlerin gücünün belirlenmesidir. Eğer transformatör gücü gereğinden büyük seçilirse transformatör, transformatör merkezi ve merkezden çıkan iletken ve kabloların maliyetinde hem gereksiz yükselmeler olacak hem de kayıplar aşırı derecede artacaktır. Öte yandan transformatör gücü gereğinden düşük seçilmesi durumunda ise kısa zamanda genişletmeye gidilmesi gerekecek, bu da ek bir masrafı getirecektir.

Elektrik projeleri yapılırken sistemin toplam gücünün belirlenmesi gerekir. Bir tesiste bulunan elektrik enerjisi tüketicilerinin anma (etiket) güçlerinin toplanması yoluyla bulunan güce *kurulu güç* denir. Öte yandan sisteme bağlı olan bütün tüketiciler aynı anda elektrik enerjisi tüketiminde bulunmaz. Aynı anda elektrik enerjisi talebinde bulunan tüketicilerin sistemden çekeceği güce ise *talep gücü* denir. Talep edilen gücün kurulu güce oranı ise eş zamanlılık (talep) faktörünü verir. Diğer bir ifadeyle eşzamanlılık faktörü, gücün yüzde kaçının aynı anda sistemden çekilebileceğini gösteren bir değerdir. Eşzamanlılık faktörü,

$$g = \frac{\text{Talep edilen güç}}{\text{Kurulu güç}} \quad (6.3)$$

bağıntısı kullanılarak bulunur. Elektrik projelerine ilişkin hesaplar yapılırken, eş zamanlılık faktörü yardımıyla bulunan talep gücü dikkate alınır. Böylece kullanılmayan enerji için masraf yapılmamış ve gereksiz büyüklükte malzeme kullanılmamış olur. Eğer kurulu güç dikkate alınsaydı, kullanılacak iletkenlerin çapları ve malzemelerin kapasiteleri artacak, benzer şekilde transformatörün boyutu büyüyecek, dolayısıyla da maliyet artacaktır.

Elektrik şebekelerindeki hesaplamalarda kullanılan eşzamanlılık faktörü (g) çekilen maksimum gücün şebekeye bağlanan alıcıların nominal güçlerin (plaka güçlerinin) toplamına oranıdır. Bütün alıcı veya alıcı gruplarının aynı zamanda devreye girmemesi veya kısmi yükte çalışması nedeniyle bu faktör birden küçüktür ($g < 1$). Alıcı adedi çoğaldıkça ve alıcı çeşidi arttıkça bu faktör değeri küçülür. Ayrıca ring ve gözlü şebekelerde bu faktör dal-budak şebekelere nazaran daha küçük değerdedir. Eşzamanlılık faktörünü seçerken gelecekteki yük artışlarını da hesaba katmak gerekir. Eşzamanlılık faktörü deney ve benzeri şebekelerde yapılan ölçmelerle saptanabilir. Köy ve kasaba dağıtım şebekelerinde birçok alıcıların bağlandığı ana dağıtım iletken veya kablolarında bu faktör 0,5 ve bir veya iki alıcının bağlandığı iletken veya kablolarda 0,7 alınabilir. Bu şebekeleri besleyen transformatör gücünün saptanmasında dal-budak şebekelerde; 0,12-0,45 arasında, gözlü şebekelerde; 0,1-0,27 arasında, endüstri şebekelerinde ise bu faktör, motor ve diğer alıcıların miktarı göz önüne alınarak bu alıcıların yüklenme değerlerinin tespit edilmesi sonucunda 0,4-0,8 arasında bir değer seçilir. Örneğin bir dokuma fabrikasında bu faktör rahatlıkla 0,5 alınabilir.

Alçak gerilimde kullanılacak transformatör gücünün tespitinde, eğer transformatörden sonra enerjinin gideceği panoların çekecekleri kurulu güç değerleri biliniyor ise,

$$S_t = 1,1 \frac{g P_n}{\cos \phi} \quad (6.4)$$

formülünden yararlanılır. Burada; S_t transformatörün kVA cinsinden görünür gücünü, P_n şebekenin kW cinsinden kurulu gücünü, g eşzamanlılık faktörünü, $\cos \phi$ şebekenin güç faktörünü göstermektedir.



Bir alternatif akım devresinde, akım ve gerilim arasındaki faz açısı ϕ ise güç faktörü $\cos \phi$ 'ye eşittir. Diğer bir ifadeyle P aktif gücünün (W) S görünür gücüne (VA) oranıdır. 0 ile 1 arasında olan bir niceliktir.

Örnek:

Kurulu gücü 600 kW ve 750 kW olan iki dağıtım panosunu 0,99 güç faktörü ile besleyecek bir dağıtım transformatörünün gücünü bulunuz. (Eşzamanlılık faktörünü $g = 0,8$ alınız.)

Çözüm:

Eşitlik 6.4 kullanılarak dağıtım transformatörünün gücü,

$$S_t = 1,1 \frac{g P_n}{\cos \phi} = 1,1 \frac{0,8[(600 \text{ kW}) + (750 \text{ kW})]}{0,99 \text{ W/VA}} = 1200 \text{ kVA}$$

hesaplanır.

Hesaplanan bu değerden büyük en yakın norm transformatör gücü (standart transformatör gücü) 1250 kVA seçilir. Norm transformatör güçleri, transformatörlerin standart üretim güçleri olup Tablo 6.1'de verilmiştir.

Tablo 6.1: Norm transformatör güçleri (Standart dağıtım transformatör güçleri)

Norm Transformatör Güçleri (KVA)	50	100	160	250	400	630	800	1250	1600
----------------------------------	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	------	------



Bir kasabada 0,85 güç faktöründe birçok alıcıların bağlandığı kurulu güçleri 75 kW, 100 kW ve 175 kW olan üç adet dağıtım panosunu beslemek için kurulacak transformatörün gücü nekadardır olmalıdır?

Transformatör gücünün hesaplanması için kullanılan bir diğer metot bölgenin toplam abone gücü, sanayi ve aydınlatma gibi tüketici güçleri ve kayıp güçler dikkate alınarak güç hesabının gerçekleştirilmesidir.

Örnek:

Bir bölgedeki veriler;

Nüfus : $N = 600$ kişi

Kişi başına tüketim : $Q = 100$ W/kişi

Mevcut sanayi gücü : $P_{mev} = 15$ kW, $\cos \phi = 0,8$

Muhtemel sanayi gücü: $P_{muh} = 20$ kW, $\cos \phi = 0,8$

Aydınlatma : 60 Adet 75 W 'lık, 10 Adet 100 W 'lık akkor flamanlı lamba ($\cos \phi = 1$), 10 Adet 125 W 'lık, 6 Adet 250 W 'lık ve 4 Adet 400 W 'lık civa veya sodyum buharlı lamba ($\cos \phi = 0,8$)

biçiminde ise seçilecek dağıtım transformatörünün gücünü bulunuz.

Çözüm:

Veriler kullanılarak toplam sanayi gücü;

$$S_{sanayi} = \frac{P_{mev} + P_{muh}}{\cos \phi} = \frac{(15 \text{ kW}) + (20 \text{ kW})}{0,8 \text{ W/VA}} = 43,75 \text{ kVA}$$

Toplam aydınlatma gücü (%10 kayıplı);

$$S_{sok1} = 1,1 \frac{[60 (0,075 \text{ kW}) + 10 (0,1 \text{ kW})]}{1,0 \text{ W/VA}} = 6,05 \text{ kVA}$$

$$S_{sok2} = 1,1 \frac{[10(0,125 \text{ kW}) + 6(0,25 \text{ kW}) + 4(0,4 \text{ kW})]}{0,8 \text{ W/VA}} = 5,98 \text{ kVA}$$

Toplam abone gücü;

$$S_{abone} = 1,1 \frac{(600 \text{ kişi})(0,1 \text{ W/kişi})}{1,0 \text{ W/VA}} = 66 \text{ kVA}$$

Toplam güç;

$$S_{toplam} = (43,75 \text{ kVA}) + (6,05 \text{ kVA}) + (5,98 \text{ kVA}) + (66 \text{ kVA}) = 121,78 \text{ kVA}$$

bulunur. Bu durumda transformatör gücü tablo 6.1'den 160 kVA seçilir.



Şehir elektrik şebekelerinde, ana caddeler ile refüj aydınlatmalarında sodyum buharlı, ara sokaklarda ise birer direk atlanarak civa buharlı lambalar kullanılması aydınlatma açısından uygun bir yapıdır.

Örnek:

Bir soğuk hava deposundaki altı adet çeşitli motor için $\cos \phi = 0,9$, motorların toplam gücü 50 HP ve tesisin kullanma faktörü (motorların eş zamanlı kullanılması) 0,75 olsun. Tesisin toplam aydınlatma gücü 2,5 kW ve $\cos \phi = 0,9$ ise seçilecek transformatörün gücünü hesaplayınız. (1 HP = 0,736 kW alınız.)

Çözüm:

Motorların toplam gücü $50 \text{ HP} \times 0,736 \text{ kW/HP} = 36,8 \text{ kW}$ olur. Eşitlik 6.4 kullanılarak,

$$S_{motor} = 1,1 \frac{0,75(36,8 \text{ kW})}{0,9 \text{ W/VA}} = 33,73 \text{ kVA}$$

Tesisin toplam aydınlatma gücü;

$$S_{aydin} = 1,1 \frac{(2,5 \text{ kW})}{0,9 \text{ W/VA}} = 3,055 \text{ kVA}$$

Toplam güç:

$$S_{toplam} = (33,73 \text{ kVA}) + (3,055 \text{ kVA}) = 36,78 \text{ kVA}$$

bulunur. Bu durumda transformatör gücü tablo 6.1'den 50 kVA seçilir.

Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Transformatör Yerinin Belirlenmesi

Alçak gerilim dağıtım şebekelerinde dağıtım transformatörlerinin gücü belirlendikten sonra uygun yerleşimi yapılmalıdır. Eğer belirlenen transformatör gücü 400 kVA ve daha büyük güçte ise bina tipi transformatör merkezi kullanılması gerekir. Ekonomik açıdan ve kayıpların düşürülmesi için şehir elektrik şebekelerinde, transformatörler arası mesafe yaklaşık 400 m civarında olmalıdır. Ayrıca sonraki yıllarda yük artışlarını karşılayabilmek amacıyla şehir şebekelerinde transformatör güçlerinin belirlenen güçten %50 oranda yüksek seçilmesi gerekir. Aksi halde transformatörün yükü arttıkça verimi azalmakta, yüklü transformatör ısınarak transformatör güç kayıpları artmaktadır. Bunların yanısıra ilave edilecek transformatör güçleri mevcut transformatör güçleri ile uyumlu olmalıdır. Örneğin, 400 kVA'lık mevcut

bir transformatörün yanındaki bölgeye 100 kVA'lık transformatör ilavesi uygun değildir. Transformatörlerin kurulacağı yer seçilirken dikkat edilecek hususlar aşağıda sıralanmıştır.

- Transformatör yeri, park ve yeşil alanlar olmalı, şahıslara ait özel arsa içine transformatör konmamalıdır.
- Okul ve cami bahçeleri gibi insanların hayatını riske atacak yerler ve görüntüsünü bozacak tarihi veya mimari yerler transformatör yeri olarak seçilmemelidir.
- Küçük ve toplu olan yerleşme bölgelerinde transformatör bölge içine sokulmamalı, bölgenin dışında veya girişinde uygun bir yere yerleştirilmelidir.
- Bölgenin gelişme sahası göz önünde bulundurularak transformatör gelişen bölgeye yakın bir yere yerleştirilmelidir.
- Konutların seyrek ve dağınık olduğu bölgelerde tek transformatör yerine aynı gücü karşılayabilecek küçük güçlü birden fazla transformatör kullanılmalıdır.
- Transformatör, bölgedeki mevcut ve muhtemel sanayi gücü dikkate alınarak bu bölgeye yakın bir yere yerleştirilmelidir.
- İki veya daha fazla transformatör kullanılan bölgelerde transformatörler birbirine yakın olmamalı ve transformatörün beslediği bölgelerin sınırları düz bir hat oluşturacak şekilde seçilmelidir.



Konutların seyrek ve dağınık olduğu bir köyde toplam güç 85 kVA olarak belirlenmiş ise bu köye kurulacak transformatör sayısı ve güçleri ne olmalıdır?

DAĞITIM ŞEBEKELERİNDE REAKTİF GÜÇ KOMPANZASYONU

Elektrik enerjisinin santralden en küçük alıcıya kadar dağıtımında en az kayıpla taşınması gerekir. Günümüzde teknolojinin gelişmesi ile farklı kullanımlara yönelik alıcıların (elektriksel yüklerin) yaygınlaşması, elektrik enerjisine ihtiyacın her geçen gün biraz daha artmasına ve enerji üretiminin daha da pahalılaşmasına neden olmaktadır.

Alçak gerilim dağıtım şebekesine bağlı bir alıcı, eğer bir motor, transformatör veya floresan lamba ise, bunlar manyetik alanlarının temini için bağlı oldukları şebekeden indüktif reaktif güç çeker. İş yapmayan ve sadece motorda manyetik alan oluşturmaya yarayan bu reaktif güç, iletim hatlarında, transformatörlerde, şalterler ve kablolarda lüzumsuz yere kayıplara sebebiyet verir. Reaktif gücün transformatörden veya santralden alıcıya kadar taşınması,

- Hattaki güç kayıplarını arttırmakta,
- Hattan taşınabilecek elektriksel güç miktarını (hattın güç transfer kapasitesini) azaltmakta,
- Hattan geçen akımın artması nedeniyle hattaki gerilim düşümünün artmasına dolayısıyla hat sonu geriliminin azalmasına neden olmaktadır.

Bu nedenle aşırı yüklenmeler, gerilim düşmelerinin önlenmesi ve şebekeden en verimli şekilde faydalanılabilmesi için elektriksel motorlar, floresan lambalar, bobinler, kaynak makineleri gibi endüstriyel ve aydınlatma yüklerinin çekmiş olduğu reaktif gücün bu yüklerin bulundukları noktadan veya bunlara en yakın yerden beslenmesi zorunludur. Dağıtım şebekesinde yukarıda bahsedilen bu ve benzeri elektriksel yüklere kadar mevcut bütün tesisler reaktif gücü taşıma yükünden arınmış olacaktır. Sonuç olarak yüklerin şebekeden talep ettikleri bu reaktif gücün yük noktasında veya yüke yakın noktalarda reaktif güç üreten elektriksel elemanlar tarafından karşılanması olayına *reaktif güç kompanzasyonu* denir. Başka bir ifade ile elektrik sisteminde, elektrik motoru, bobin vb. gibi yüklerin mıknaatıslanma etkisi ile elektrik enerjisini yine elektrik enerjisine veya farklı bir enerjiye çeviren cihazların faz akımını geri kaydırmasından dolayı, şebeke üzerinde yaratmış oldukları endüktif reaktif

Vektörel anlamda aktif güç ve reaktif güç vektörlerinin arasındaki açı, faz farkını gösterir. Şekilden görüldüğü üzere aktif ve reaktif gücün (P_1 ve Q_1) vektörel toplamı sistemde kullanılan toplam görünür gücü (S_1) oluşturmaktadır. Hat sonunda yük noktasında veya yüke yakın bir noktada reaktif güç kompanzasyonu ile $Q = Q_c$ 'lık kapasitif reaktif güç hattın çekilmesi ile kapasitif ve indüktif bileşenler arasındaki 180° 'lık faz farkı nedeniyle hattın çekilen toplam reaktif ve görünür güç:

$$Q_2 = Q_1 - Q_c \quad (6.5)$$

$$S_2 = \sqrt{P_1^2 + Q_2^2} \quad (6.6)$$

$$\cos \phi_2 = \frac{P_1}{S_2} \quad (6.7)$$

şeklinde olur. Yapılan reaktif güç kompanzasyonunun sisteme olan faydaları aşağıda sıralanmıştır. Buna göre;

- Hattın aktif güç kaybındaki azalma oranı,

$$\% \Delta P_k = 100 \left(\frac{P_{k1} - P_{k2}}{P_{k1}} \right) = 100 \left(1 - \frac{\cos^2 \phi_1}{\cos^2 \phi_2} \right) \quad (6.8)$$

- Hattan transfer edilebilecek aktif güçteki artış oranı:

$$\% \Delta P = 100 \left(\frac{P_2 - P_1}{P_1} \right) = 100 \left(\frac{\cos \phi_2}{\cos \phi_1} - 1 \right) \quad (6.9)$$

- Hattan taşınan görünür güçteki azalma oranı:

$$\% \Delta S = 100 \left(\frac{S_1 - S_2}{S_1} \right) = 100 \left(1 - \frac{\cos \phi_1}{\cos \phi_2} \right) \quad (6.10)$$

şeklinde ifade edilir.

Örnek:

Bir AG dağıtım hattından $P_1 = 50 \text{ kW}$ 'lık aktif güç çeken ve bu yükün kompanzasyon olmadan $Q_1 = 35 \text{ kVAr}$ 'lık reaktif güç tüketmesi durumu için hattın taşınan görünür güç $S_1 = 61 \text{ kVA}$ olacaktır. Kompanzasyon ile sistemden tüketilen reaktif gücü 10 kVAr 'a düşürdüğümüz durumda ($Q_c = 25 \text{ kVAr}$ 'lık reaktif güç kompanzasyonu) 50 kW 'lık aktif yük için hattın taşınan görünür güç 51 kVA olacaktır. Kompanzasyon olmadan kullanılan görünür güç 61 kVA iken kompanzasyon yapılması durumunda 51 kVA olmaktadır.

Güç faktörü açısından değerlendirildiğinde kompanzasyonsuz durumda $\cos \phi_1 = 0,819$ iken kompanzasyon sonucunda güç faktörü $\cos \phi_2 = 0,980$ değerine yükseltilerek güç faktörü iyileştirilmiş olur. Bu durumda kompanzasyonun sisteme olan faydalarını (6.8)-(6.10) eşitliklerini kullanarak elde edelim:

Hattın aktif güç kaybındaki azalma oranı Eşitlik 6.8 kullanılarak,

$$\% \Delta P_k = 100 \left(1 - \frac{0,819^2}{0,98^2} \right) = \%30,15$$

hattan transfer edilebilecek aktif güçteki artış oranı Eşitlik 6.9 yardımıyla,

$$\% \Delta P = 100 \left(\frac{0,98}{0,819} - 1 \right) = \%19,65$$

hattan taşınan görünür güçteki azalma oranı Eşitlik 6.10 kullanılarak:

$$\% \Delta S = 100 \left(1 - \frac{0,819}{0,8} \right) = \%16,42$$

bulunur. Sonuçlardan görüleceği üzere yapılan reaktif güç kompanzasyonu ile hattaki aktif güç kayıpları %30 civarında azalırken hattan transfer edilebilecek aktif güç değeri % 19,65 oranında artmaktadır.

Reaktif güç kompanzasyonunda dinamik ve statik faz kaydırıcıları kullanılır. Dinamik faz kaydırıcılarının başında senkron motorlar gelir. Statik faz kaydırıcılar ise güç kondansatörleridir. Ekonomik olması nedeniyle reaktif güç kompanzasyon sistemlerinde güç kondansatörleri geniş olarak kullanılmaktadır.

Güç Kondansatörleri ile Kompanzasyon

Kondansatör basit anlamda karşılıklı yerleştirilmiş iki adet plaka ve bu plakalar arasında dielektrik madde bulunan elektrik yükü depolayan elemanlardır. Kompanzasyon amaçlı kullanılan kondansatörler güç kondansatörleri olarak adlandırılır. Bunlar üretim teknolojisi ve kullanım alanı bakımından elektronik devrelerde kullanılan kondansatörlerden ayrılır. Güç kondansatörleri Resim 6.5'te gösterildiği gibi kasa tipi ve tüp tipi şeklinde imal edilerek endüstriyel uygulamalarda güç faktörü düzeltme ve filtreleme amacıyla kullanılır.

AG güç kondansatörleri bakım gerektirmez fakat belirli aralıklarla faz akımlarının ölçülmesi ve bulunduğu ortamın sıcaklık kontrolünün yapılması gerekir. Kompanzasyonda kullanılacak kondansatörün gerilimi bara gerilimine göre seçilmektedir. Kondansatörlerin üzerinde deşarj dirençleri kullanılarak kondansatör devre dışı bırakıldığında üzerindeki kalan gerilimi düşürmekte ve tekrar devreye alındığında şebeke gerilimi ile çakışması önlemektedir. Ayrıca temas halinde canlıyı korumak için emniyet oluşturmaktadır.

AG şebekelerinde güç katsayısını düzeltmek maksadıyla kullanılan kondansatör ve diğer gereçler kompanzasyon panolarına yerleştirilir. Bu panolar, kondansatör bataryalarının ve bunları kontrol etmekle görevli elektronik, elektromanyetik cihazların özel metal korunaklarıdır. Resim 6.6' da bir kompanzasyon panosu görülmektedir. Kompanzasyon panolarında kondansatörler gerekli reaktif gücü karşılamak üzere kontaktörler kullanılarak devreye alınıp veya devreden çıkartılırlar.



Resim 6.5: Güç kondansatörleri.

Uzun sürelerde devrede kalan büyük endüktif yükler için uygun bir yöntem olan sabit kompanzasyon, sık sık devreye girip çıkan, küçüklü büyüklü indüktif yüklerin bulunduğu tesislerde, her yüke denk, ayrı bir kondansatör bağlama gereği nedeniyle uygun olmayabilir. Bu tip tesislerde kondansatör gücünü, değişen yük gücüne uydurabilmek için merkezi otomatik kompanzasyon yapılması uygundur. Merkezi otomatik kompanzasyon sistemi, temel olarak reaktif gücü algılayıp, uygun kondansatör bataryalarının devreye alınıp çıkarılmasını sağlayan reaktif güç kontrol rölesi ve kondansatör gruplarını kumanda eden kontaktörlerden oluşur.



Resim 6.6: Alçak gerilimde kullanılan kompanzasyon panosu.

Kompanzasyon sisteminde gerekli reaktif güç tayini için Resim 6.7’de görülen reaktif güç rölesi kullanılmaktadır. Reaktif güç rölesi, otomatik kompanzasyon sistemlerinde kullanıldığında çeşitli yük durumlarında gerekli sayıda kondansatör grubunu devrede bulundurarak, güç katsayısını ayar edilen değerde tutmaktadır. Standartlara uygun olarak imal edilen rölelerin üzerinde dijital $\cos \phi$ metre bulunmaktadır. Bu sayede röle üzerinden kompanze edilen sistemin güç katsayısı izlenebilmektedir.



Resim 6.7: Reaktif güç kontrol rölesi.

Senkron Motorlar ile Kompanzasyon

Reaktif güç üretiminde kullanılan dinamik faz kaydırıcıların başında senkron makineler gelir. Bilindiği üzere senkron makineler uyartıma bağlı olarak hem indüktif hemde kapasitif çalışabilen AC makinelerdir. Aşırı uyartılmış senkron motor şebekeye reaktif güç aktarırken (kapasitif güç) düşük uyartımla senkron motor şebekeden reaktif güç (indüktif güç) çekmektedir. Bu nedenle güç katsayısının düzeltilerek şebekede aktif gücün artmasını sağlamak için senkron motorlar kullanılır. Bu amaçla kullanılan senkron motorlara *senkron kompanzatör* veya *senkron kondansatör* adı verilir.

Şebekeye bağlanan senkron motor şebekeden boşta çalışma kayıplarını karşılayacak kadar az bir aktif güç ve şebekeye istenen reaktif gücü vererek, bir reaktif güç üreticisi şeklinde çalışır. Kayıpları kondansatörlere göre daha yüksek olmasının yanı sıra devamlı bakıma ihtiyaçları vardır.



AG dağıtım şebekelerinde reaktif güç kompanzasyonu için genellikle güç kondansatörlerinin kullanılmasının nedeni ne olabilir?

Orta Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Kompanzasyon

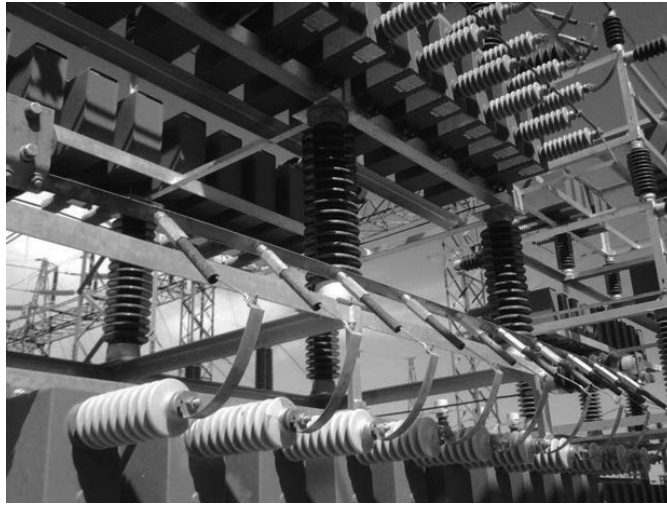
Müşteriler tarafından kompanzasyonun alçak gerilim tarafında gerçekleştirilmesi büyük avantaj sağlar. Alçak gerilim kompanzasyon tesisleri derli toplu olup, işletilmeleri ve bakımları kolaydır. Bunun yanı sıra ekonomik açıdan değerlendirildiğinde kullanılan tüm cihazlar gerek fiyat olarak ve gerekse de kapladıkları hacim itibarı ile oldukça avantajlıdır.

Şehir ve kasaba şebekelerinde kompanzasyon tesisinin AG’de yapılması işletme ve bakım açısından büyük zorluklar taşımaktadır. Bu nedenlerden dolayı şehir ve kasaba şebekelerinde OG’de kompanzasyon yapmak tercih edilebilir. Zira bu durumda kompanzasyon tesisi sayısı oldukça sınırlı olacaktır. Orta gerilim şebekelerinde kondansatörler;

- YG/OG transformatör merkezlerine,
- OG/OG transformatör merkezlerine,
- OG şalt ve tevzi merkezlerine,
- OG hatlarında direk üzerine,

tesis edilebilir.

OG şebekesinde şönt kompanzasyon için geliştirilen kondansatör bankları 3-12-24-veya 48 üniteli olarak imal edilmekte ve güç kademeleri 300-450-500-600-1200-1800-2000-2400-3600-4000-4800- olarak değişmektedir. Gücü 600 kVAR’a kadar olan kondansatör bankları bina içinde bir hücreye ve direk üstünde tesis edilebilirler. Gücü 600 kVAR’ın üstünde olan kondansatör bankları harici olarak tesis edilirler. Pratik olarak OG kondansatör bankları hattın 2/3 mesafesinde tesis edildikleri takdirde azami faydayı sağladıkları tavsiye edilmektedir. YG/OG transformatör merkezinde OG tarafında yapılan bir kompanzasyon Resim 6.8’de gösterilmiştir.



Resim 6.8: Orta gerilimde kompanzasyon.

Orta gerilimde kompanzasyon için kondansatör gücünün belirlenmesinde transformatörden son bir yılda aylara göre çekilen aktif ve reaktif enerji miktarları ve ortalama $\tan \phi$ değerlerini gösteren tablo oluşturulur. Bu tablodan yararlanılarak $\tan \phi$ ’nin en yüksek olduğu ay tespit edilir. Bu ayda yüklenmenin en yüksek olduğu puant aktif ve reaktif güç değerlerinin belirlenmesi için 24 saatlik ölçümler yapılır. Ölçüm sonrasında belirlenen aktif ve reaktif güçler için güç katsayısını 0,98’e yükseltmek amacıyla gerekli kondansatör gücü hesaplanır.

Elektrik enerjisinin üretiminden tüketicilere ulaşıncaya kadar gerekli olan tesisler; üretim, iletim ve dağıtım olmak üzere üç kısımda incelenir. Enerjinin üretildiği yer üretim santralleridir. Elektrik enerjisinin üretilen yerden alınıp tüketim bölgelerine ulaştırılması için gerekli olan şebekelere iletim şebekesi denir. İletim şebekeleri ile taşınan yüksek gerilimli elektrik enerjisinin gerilim düşürücü transformatör merkezinden alınıp tüketicilere ulaştırılması için gerekli olan şebekelere ise dağıtım şebekesi denir. Bu şebekelerde gerilim kademesi, düşürücü transformatör merkezinden bölgelerdeki dağıtım transformatörlerine kadar olan hatlar için orta gerilimde (1-35 kV), dağıtım transformatöründen tüketicilere kadar olan hatlarda ise alçak gerilim seviyesindedir.

Dağıtım şebekelerinde dağıtım transformatöründen tüketicilere kadar olan şebekeye alçak gerilim şebekesi denir. Alçak gerilim şebekeleri 1 kV'a kadar gerilime sahip olan şebekelerdir. Bu şebekeler dağıtım transformatörlerinden tüketicilere (abonelere) kadar olan elektrik hatlarından oluşur. Ülkemizde alçak gerilim, abonelerde tek faz için 220 V, üç faz için ise 380 V olarak kullanılır. Dağıtım şekillerine göre kullanılan alçak gerilim dağıtım şebekeleri dal-budak, halka (ring) ve gözlü (ağ) şebekeler olarak üç grupta incelenir.

Şebekede herhangi bir arıza nedeniyle toprak üzerinden bir kaçak akımın geçmesi, bu hata akımının şiddeti ve direkt temaslara karşı alınacak koruma tedbirleri, alçak gerilim şebekesinin şekline göre değişmektedir. Alçak gerilim şebekelerinde kullanılmak üzere, temel olarak üç çeşit şebeke bağlantı tipi mevcuttur. Bunlardan TN Şebeke Sistemi, günümüzde kullanılan en yaygın şebekedir. Diğer şebeke tipleri ise TT Şebeke ve IT Şebekedir.

Transformatörler, alternatif akımda güç sabit kalmak şartı ile elektrik enerjisinin gerilim ve akım değerlerini ihtiyaca göre dönüştürmeye yarayan ve hareketli parçası olmayan aygıtlardır. Şehir veya kasabaların girişinde yüksek gerilim orta gerilim düşürülür. Gerilim seviyesi yüksek olduğundan bu işlemler güç transformatörleri tarafından gerçekleştirilir. Dolayısıyla bu transformatörler yükseltici-indirici merkezler arası enerji iletiminde kullanılan YG/YG transformatörleridir. Son olarak da orta gerilim alçak gerilime çevrilir. Bunun için kullanılan

transformatörlere ise dağıtım transformatörleri denir. Başka bir deyişle gerilim ve güç kapasitesi sırasıyla 35 kV ve 1600 kVA'ya kadar olan güç transformatörlerine dağıtım transformatörleri denir.

Dağıtım şebekelerinin yük miktarının belirlenmesi gerekir. Bu aynı zamanda tüketimin belirlenmesi olarak da ifade edilebilir. Tüketime göre transformatör ve iletkenlerin seçimi bu tüketim miktarına göre hesaplanan güç yoğunluğuna göre yapılmaktadır. Alçak gerilim şebekesinin bir metresine düşen yayılı yüke güç yoğunluğu denir. Güç yoğunluğu, gerilim düşümü hesaplarının yapılarak alçak gerilim iletken kesitlerinin belirlenmesinde kullanılır.

Dağıtım şebekelerinde eğer transformatör gücü gereğinden büyük seçilirse transformatör merkezi ve merkezden çıkan iletken ve kabloların maliyetinde gereksiz yükselmeler olacak, kayıplar aşırı derecede artacaktır. Transformatörler gereğinden küçük seçilirse bu defa da kısa zamanda genişletmeye gitmek gerekecek, bu da ek bir masrafı getirecektir. Alçak gerilimde transformatör gücünün hesabı eğer transformatörden sonra enerjinin gideceği panoların çekecekleri kurulu güç değerleri biliniyor ise kurulacak transformatörün gücü eş zamanlılık faktörü ve kayıp güçler dikkate alınarak hesaplanmaktadır. Transformatör gücünün hesaplanması için kullanılan bir diğer metot bölgenin toplam abone gücü, sanayi ve aydınlatma gibi tüketici güçleri ve kayıp güçler dikkate alınarak güç hesabının gerçekleştirilmesidir.

Bir alçak gerilim dağıtım şebekesine bağlı bir alıcı, eğer bir motor, transformatör, floresan lamba ise, bunlar manyetik alanlarının temini için bağlı oldukları şebekeden indüktif reaktif güç çekerler. İş yapmayan ve sadece motorda manyetik alan oluşturmaya yarayan bu reaktif güç, iletim hatlarında, transformatörlerde, şalterler ve kablolarda lüzumsuz yere kayıplara sebebiyet vermektedir. Yüklerin şebekeden talep ettikleri bu reaktif gücün yük noktasında veya yüke yakın noktalarda reaktif güç üreten elektrikselsel elemanlar tarafından karşılanması olayına reaktif güç kompanzasyonu denir. Reaktif güç kompanzasyonu AG ve OG dağıtım şebekelerinde yapılmakta olup reaktif güç üretimi için genellikle güç kondansatörleri kullanılır.

Kendimizi Sıneyalım

1. Aynı anma gerilimli elektrik tesislerinin tamamına ne ad verilir?

- a. Şebeke
- b. Elektrik santrali
- c. Reaktör
- d. Transformatör istasyonu
- e. Şalt sahası

2. Elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması için kullanılan alçak gerilim şebekelerine ne ad verilir?

- a. Transformatör istasyonu
- b. İletim şebekesi
- c. Dağıtım şebekesi
- d. Elektrik tesisleri
- e. Elektrik santralleri

3. AG şebekesinde bir işletme aracında veya her tesis bölümünde faz iletkenleri arasında bulunan yerel gerilim değerine ne ad verilir?

- a. Nominal gerilim
- b. Toprak gerilimi
- c. İşletme gerilimi
- d. İletken gerilimi
- e. Yerel gerilim

4. Aşağıdakilerden hangisi Tesisat Yönetmelikleri TS 3994'e göre, alçak gerilim şebekelerinde kullanılan şebeke bağlantı tipi değildir?

- a. TN Şebeke
- b. TN-S Şebeke
- c. TT Şebeke
- d. IT Şebeke
- e. NT Şebeke

5. Alçak gerilim şebekelerinde transformatör tarafında yıldız noktasının doğrudan topraklanmasına ne ad verilir?

- a. İşletme topraklaması
- b. Koruma topraklaması
- c. Yük topraklaması
- d. Hücre topraklaması
- e. Bağımsız topraklama

6. Bir elektrik şebekesindeki elektriksel yükleri beslemek amacıyla orta gerilimde taşınan elektrik enerjisini alçak gerilime düşürmek için aşağıdakilerden hangisi kullanılır?

- a. Evirici
- b. Akım transformatörü
- c. Dönüştürücü
- d. Dağıtım transformatörü
- e. Kondansatör

7. Dağıtım şebekelerinin bir metresine düşen yayılı yüke ne ad verilir?

- a. Yük yoğunluğu
- b. Güç yoğunluğu
- c. Güç faktörü
- d. Yük tahmini
- e. Yük tayini

8. Dağıtım transformatörlerinin norm transformatör güçleri kVA olarak sırasıyla aşağıdakilerden hangisinde doğru olarak verilmektedir?

- a. 50-100-150-200-250-300-350-400-450
- b. 100-200-300-400-500-600-700-800-900
- c. 200-400-600-800-1000-1200-1400-1600-1800
- d. 100-300-500-700-900-1100-1300-1500-1700
- e. 50-100-160-250-400-630-800-1250-1600

9. Kayıp güçler, eş zamanlılık faktörü ve yüklerin güç faktörü dikkate alınarak toplam gücün 165 kVA olarak belirlendiği bir yerleşim bölgesi için dağıtım transformatörü temin edilecektir. Bunun için aşağıda norm güçleri verilen transformatörlerden hangisinin kullanılması en uygundur?

- a. 160 kVA 'lık
- b. 250 kVA 'lık
- c. 400 kVA 'lık
- d. 630 kVA 'lık
- e. 800 kVA 'lık

10. Bir alçak gerilim dağıtım şebekesinde reaktif güç kompanzasyonu yapılarak güç faktörü $\cos \phi_1 = 0,8$ iken kompanzasyon sonucunda $\cos \phi_2 = 0,9$ değerine yükseltilmesi durumunda hattan taşınan görünür güçteki değişimi aşağıdakilerden hangisi ifade etmektedir?

- a. % 21,21 oranında artar
- b. % 21,21 oranında azalır
- c. % 11,11 oranında artar
- d. % 11,11 oranında azalır
- e. Taşınan güç değişmez

Kendimizi Sınavalım Yanıt Anahtarı

1. a Yanıtınız yanlış ise “Giriş” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

2. c Yanıtınız yanlış ise “Giriş” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

3. c Yanıtınız yanlış ise “Alçak Gerilim Şebekelerinin Tesisi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

4. e Yanıtınız yanlış ise “Alçak Gerilimde Şebeke Bağlantı Tipleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

5. a Yanıtınız yanlış ise “TN Şebeke Sistemi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz..

6. d Yanıtınız yanlış ise “Dağıtım Transformatörleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

7. b Yanıtınız yanlış ise “Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Güç Yoğunluğu Hesabı” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

8. e Yanıtınız yanlış ise “Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Transformatör Gücünün Belirlenmesi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

9. b Yanıtınız yanlış ise “Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Transformatör Gücünün Belirlenmesi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

10. d Yanıtınız yanlış ise “Alçak Gerilim Dağıtım Şebekelerinde Kompanzasyon” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

Sıra Sizde Yanıt Anahtarı

Sıra Sizde 1

Bir dağıtım şebekesinde işletme gerilimi nominal gerilime eşit olabileceği gibi çoğu zaman nominal gerilimden hatlardaki gerilim düşümü nedeniyle küçük değerlidir.

Sıra Sizde 2

İzolatörlerin yapımında genellikle porselen veya cam malzeme kullanılmasının sebebi yüksek elektriksel yalıtkanlık derecesine sahip olmaları ve mekanik zorlanmalara karşı dayanıklı olmalarıdır.

Sıra Sizde 3

Bir AG şebekesi genel olarak; dağıtım transformatörleri, kesici ve ayırıcılar, AG dağıtım Panoları, iletkenler, direkler, izolatörler, koruma elemanları, topraklama elemanları ve elektriksel yüklerden oluşmaktadır.

Sıra Sizde 4

Kurulacak transformatörün gücü Eşitlik 6.4 kullanılarak hesaplanır. Köy ve kasaba dağıtım şebekelerinde birçok alıcıların bağlandığı ana dağıtım iletken veya kablolarında eşzamanlılık faktörünün $g = 0,5$ alınması uygundur. Bu durumda toplam güç,

$$S_t = 1,1 \frac{0,5 [(75 \text{ kW}) + (100 \text{ kW}) + (125 \text{ kW})]}{0.85 \text{ W/VA}}$$

ve

$$S_t = 194,11 \text{ kVA} \text{ olarak bulunur}$$

Tablo 6.1’de verilen standart transformatör güçleri arasında tam da bu değere sahip transformatör bulunmamaktadır. Tablo 6.1’de bu gücü karşılayacak en yakın norm transformatör gücü 250 kVA olduğundan 250 kVA’lık dağıtım transformatörü kullanılmalıdır.

Sıra Sizde 5

Bölgenin toplam gücü 155 kVA olarak belirlenmiş ise Tablo 6.1'deki standart güç değerlerine göre bu güce en yakın norm transformatör gücü 160 kVA'dır. Normalde 160 kVA'lık sadece bir tane transformatörün kullanılması gerekir. Fakat konutların dağınık olması nedeniyle toplam gücü karşılayabilecek şekilde farklı yere iki ayrı transformatörün kurulması daha uygundur. Bu nedenle norm gücü 100 kVA olan iki transformatör kullanılmalıdır.

Sıra Sizde 6

Güç kondansatörlerinin maliyetinin düşük ve işletiminin senkron motorlara nazaran daha kolay olması nedeniyle AG şebekelerinde yaygın olarak kullanılmaktadır.

Yararlanılan Kaynaklar

Turgut, E. ve Selçuk, K. (2009). **Elektrik Enerjisi Üretimi İletimi ve Dağıtımı**, Detay Yayıncılık, Ankara.

Tosun, İ. (2007). **Enerji İletimi ve Dağıtımı**, Birsen Yayınevi, İstanbul.

Alacacı, M. (2008). **Elektrik Şebeke ve Tesisleri**, Nacarkitap Yayınevi, İskenderun.

Ürgüplü, Z. (2008). **Elektroteknik Bilgi Bankası**, Elektrobank, Ankara.

Yunusoğlu, A. (2011). **Alçak Gerilim Elektrik Şebekesi Proje El Kitabı**, Korza Yayıncılık, Ankara.

Köksal, M. (1993). **Reaktif Güç Kompanzasyonu**, Kardelen Ofset, Ankara.

Bayram, M. (1977). **Kuvvetli Akım Kondansatörleri ve Güç Katsayısının Tahsisi**.

<http://www.megep.meb.gov.tr>

<http://www.abb.com.tr>

7

Amaçlarımız

Bu üniteyi tamamladıktan sonra;

-  Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen hataları belirleyebilecek,
-  Elektrik enerji sistemlerinde kullanılan koruma elemanlarını tanıyabilecek,
-  Elektrik enerji sistemlerinde kullanılan koruma elemanlarının görevlerini açıklayabilecek,
-  Koruma rölelerini tanıyabilecek,
-  Primer ve sekonder korumayı ifade edebilecek,
-  Yıldırım aşırı gerilimlerinden korunmayı açıklayabilecek

bilgi ve becerilere sahip olabilirsiniz.

Anahtar Kavramlar

- | | |
|--|---|
|  Elektrik Enerji Sistemleri |  Primer ve Sekonder Koruma |
|  Hata |  Koruma Röleleri |
|  Koruma |  Koruma Sistemleri |
|  Koruma Elemanları |  Koruma Hatları |

İçindekiler

- ❖ Giriş
- ❖ Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Meydana Gelen Hatalar
- ❖ Elektrik Enerji Sistemlerinde Kullanılan Koruma ve Koruma Elemanları
- ❖ Koruma Röleleri
- ❖ Topraklama

Elektrik Enerjisi İletimi ve Dağıtımında Koruma Sistemleri

GİRİŞ

Elektrik enerjisi, 1800 yılların sonlarında yalnızca aydınlatma için kullanıldığından bu yana, tüketim bazında o derece fazla kullanılmaya başlamıştır ki, günümüzde insanlar için hava, su, gıda kadar önemli bir ihtiyaç haline gelmiştir. Şehirlerde toplu olarak yaşayan insanların gıda ve su temininde, havalandırma yoluyla hava temininde, güvenliğin sağlanmasında elektrik enerjisinin kullanımı temel şart haline gelmiştir.

Kullanımı bu derece zorunlu hale gelen elektrik enerjisinde devamlılığın sağlanması kadar, elektrik enerjisinden kaynaklanan hataların elektrik enerjisi iletim ve dağıtımında zarar oluşturmaması gerekir. Bu sebeple, hataların elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemine, gerek elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sisteminden enerji alan alıcılara, gerekse çevre birim ve canlılara zarar verme aşamasına gelmeden önlenmesi gerekir. Hata oluşan bölgelerin, sistemden ayrılarak, sistemin kalanının hatadan etkilendirilmemesi gerekir.

Yukarıdaki açıklamaların ışığında, elektrik enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde koruma, sistemin güvenilir bir şekilde çalışma devamlılığı sağlanarak, elektriksel hatalara karşı, can ve mal güvenliğinin sağlanması olarak tanımlanır. Bu tanım doğrultusunda elektriksel enerji sistemlerinin, kendisinden ya da dış sebeplerden kaynaklanan hatalara karşı korunmaları gerekir.

Elektrik enerji sistemlerinde hatalara karşı yapılan korumanın mümkün olduğunca seçici olması gerekir. Hata sonucu enerjisiz bırakılacak bölgenin mümkün olduğunca sınırlandırılması amacıyla, koruma akımları kaynaktan yüke doğru kademeli olarak azaltılır. Bu amaçla, ayrıca yönlü korumanın da etkin olduğu mesafe röleleri kullanılır. Diferansiyel röleler, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde koruma hassasiyetini sağlama adına önemli rol üstlenirler.

Elektrik enerji iletim ve dağıtımında kullanılan koruma sistemleri mümkün olduğunca seçici olmalı ve arızasız kısımları etkilememelidir. Elektrik enerjisi koruma sistemleri, temel yapı olarak primer ve sekonder koruma sistemleri olarak iki başlıkta incelenir.

Primer koruma sistemlerinde, korunan akım ya da gerilim direk olarak koruma elemanından geçerken, sekonder koruma sistemlerinde, akım ya da gerilimden en az biri koruma sistemine endirekt olarak tesir eder. Arıza durumu, arızasızlığa dönüştüğünde, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemi mümkün olduğunca kısa sürede ve az emek ile tekrar işler hale getirilebilmelidir.

Koruma sistemlerinde kullanılan elemanlar, basit yapıdan kompleks röle yapılarına birçok çeşittirler. Sigortalar vb. basit yapılı primer koruma elemanı olarak görev yaparken, kesiciler gibi sekonder olarak görev yapan koruma üniteleri mevcuttur.

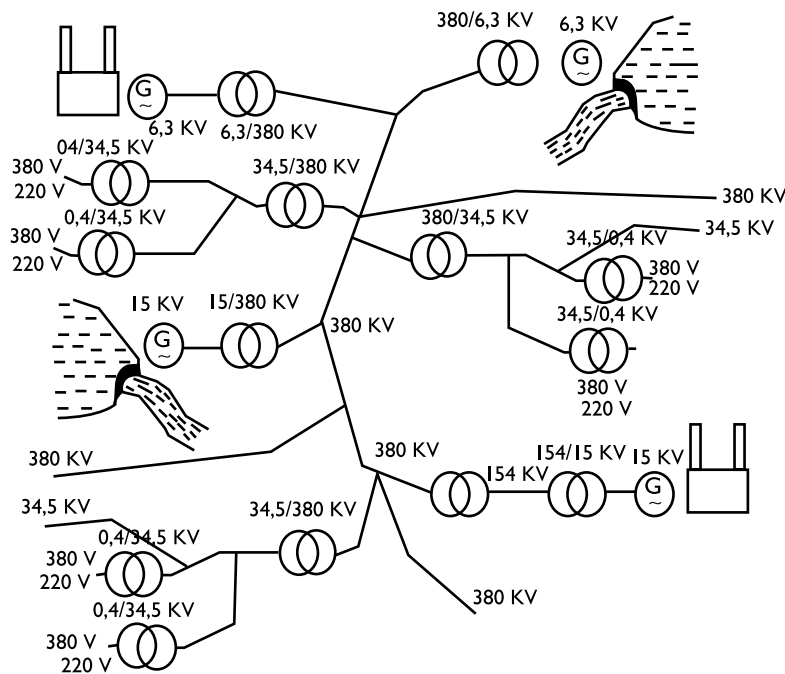
Bu ünite elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen hataların analizi yapılacak, bu hataları engellemek için kullanılan koruma ve güvenlik elemanları basit yapıdan karmaşık olana doğru tanıtılacaktır. Daha sonra elektrik enerji sistemlerinde, toprak potansiyelini topraklama iletkeni vasıtasıyla sisteme entegre etme işlemi anlatılacaktır.

ELEKTRİK ENERJİSİ İLETİM VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE MEYDANA GELEN HATALAR

Elektrik enerjisi iletimi ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen hataların nedenlerini irdelemeden önce elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemini hatırlayalım.

Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Sistemi

Elektrik enerjisi, santrallerde AC generatörler ile elde edilerek, enerji iletim ve dağıtım sistemleri aracılığıyla tüketim bölgelerindeki abonelere ulaştırılır. Şekil 7.1’de prensip şeması görülen ve enterkonnekte sistem de denilen bu ağ yapının sürekli olarak çalışır tutulması gerekir. Elektrik enerji iletim ve dağıtımında meydana gelen hatalar, koruma sistemleri ile giderilmeli ve sistem mümkün olduğunca yüksek oranda çalışmaya devam etmelidir.



Şekil 7.1: Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemi

Tüm enerji türlerinde olduğu gibi, elektrik enerji sistemlerinde de, enerji transferi için sistem güvenilirliğinin (kesintisizliğinin) maksimum olması istenir. Sistemde elektrik enerjisi güvenilirliğinin yanı sıra, tesis, tesisat ve abonelere yönelik can ve mal güvenliğinin sağlanması gerekir. Bu sebeple, sistemde oluşabilecek hatalara karşı, sistemde tahribat yapmasına fırsat vermeden önceden tedbir alınması gerekir. Elektrik enerji sistemlerinde hata oluşumunu azaltmak, asıl öncelik olmakla beraber hataların tamamen engellenmesi söz konusu olamaz. Hataların çoğunluğu insan kaynaklı olmakla beraber, önemli bir kısmı da doğal olaylardan kaynaklanmaktadır.



 Elektrik enerji sistemlerinde meydana gelen hatalar ve koruma sistemleri ile ilgili olarak Prof. Dr. Nariman Şerifoğlu ve Prof. Dr. Oğuz Soysal tarafında yazılan “Elektrik Enerji Sistemleri Arıza Durumları” (Cilt 2, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul) isimli kitaptan yararlanabilirsiniz.

Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Meydana Gelen Hatalar

Elektriksel enerji sistemlerinin, kendisinden ya da dış sebeplerden kaynaklanan hatalara karşı korunmaları gerekir. Bu hatalar sistemde aşırı zorlanmalara, yangına ve canlılarda hayati zararlara yol açabilirler. İnsan kaynaklı ya da doğa olayları kaynaklı olarak nitelendirdiğimiz bu hatalar farklı nedenlerden kaynaklanabilmektedir. Hataların sebepleri:

- Aşırı kullanım,
- Fazların dengesiz kullanımı,
- Bakımların ihmal edilmesi,
- Doğa olayları,
- Yanlış hat manevraları,
- Sabotajlar

olarak sayılabilir.

Hataların hiç oluşmasına fırsat vermeyecek şekilde elektrik enerji iletim ve dağıtım sisteminin kurulumu ideal olanıdır. Fakat, sistem ne kadar mükemmel de kurulsa, doğa olayı kapsamında değerlendirilebilecek yıldırım, kuşların müdahalesi, kemirgenler gibi faktörler olabilmektedir. Elektrik enerji iletim ve dağıtım sisteminde hata oluşumunu tamamen engellemek mümkün olmadığına göre, hatayı en kısa zamanda algılayarak, dar bir alana hapsedecek koruma sistemlerinin tesis edilmeleri gereklidir.

Elektrik enerji sistemlerinde sıklıkla karşılaşılan hatalar aşağıdaki gibi sınıflandırılabilir:

- Aşırı gerilim. (Ani yüksüz duruma geçiş, veya yıldırım darbelerinde oluşan gerilim darbeleri.)
- Aşırı akım. (Aşırı yükleme veya kısa devre akımları)
- Dengesiz yük. (Fazların birine veya ikisine aşırı yüklenirken diğer faz ya da fazları az yükleme.)
- Faz sırası değişimi. (Yanlış bağlantı sırası yapma.)
- Salınımlar. (Yıldırım veya ani açma kapamaların oluşturduğu gerilim dalgalanmaları.)
- Toprak ve gövde kaçakları. (Toprak potansiyelli yüzeylere olan kısa devre akımları.)
- Geri Güç. (Hatlarda, santrallere doğru ters akım akışı.)
- Düşük Gerilim. (Aşırı yüklenme veya yetersiz sistem gücü durumunda voltaj eksikliği)
- Nötr kaybı (Nötr hattına olan kaçak veya kısa devreler.)
- Koruma hattı kaybı. (Koruma hattına olan kaçak veya kısa devreler.)
- Çevresel şartlardan kaynaklı aşırı ısınma. (Örneğin dış sebepli yangına maruz kalma.)

Hataların türleri ve parantez içi açıklamaları da dikkate alındığında, giderilmedikleri takdirde elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sisteminin uygun şekilde çalıştırılmayacağı açıktır. Bu sebeple koruma sistemlerinin tesisi gerekir.



Elektrik enerji sistemlerinde sıklıkla karşılaşılan arızaların hangileri insan kaynaklı olmayabilir ?

ELEKTRİK ENERJİSİ İLETİM VE DAĞITIM SİSTEMLERİNDE KORUMA VE KORUMA ELEMANLARI

Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Koruma

Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen arızalar, giderilmedikleri takdirde abone tesislerinde, enerji dağıtım hatları ve transformatörlerinde, enerji iletim hatlarında, hatta santrallerde zararlara yol açabilirler. Elektrik enerji sisteminde oluşan zarar verici bir etki, bir koruma elemanı ile devre dışı bırakılmadığında, elektrik enerji sistemini oluşturan bir ya da daha fazla sayıda elemanı tahrip ederek, ancak ortadan kalkabilecektir.

Elektrik enerji sistemlerinin sistemde oluşabilecek hatalara karşı korunması, sistemin güvenilir bir şekilde çalışma devamlılığının sağlanması kadar, can güvenliği açısından da önem arz eder. Bu sebeple elektrik enerji sistemlerinde hata riskine karşı ya bazı noktaların kasıtlı olarak zayıf bırakılmaları (sigorta gibi), ya da oluşabilecek hata verilerinin koruma açması amacıyla, röleler tarafından sürekli olarak izlenmesi gerekir. Yukarıda belirtilen arızalar için kullanılacak olan koruma elemanları tek bir eleman olabileceği gibi, birkaç parça ya da ayrı bir sistem olabilirler.

Elektrik enerjisinin iletimi ve dağıtımında kullanılan bara, enerji nakil hatlarının, diğer cihazlar ve elemanların normal değerinden büyük aşırı akım ve yüksek gerilimlere karşı korunmaları şarttır. Enerji sistemlerinde karşılaşılan anormal durumlar sonucu meydana gelen aşırı akım ve yüksek gerilimlerde çalışan röle ve açıcıların otomatik olarak devreyi kesmeleri gerekir. Açıcılar ve röleler koruyacakları alternatör, trafo, bara vb. sistemler için hattın kesicisine, mekaniksel veya elektriksel açma yaptıracak şekilde çalışırlar.

Elektrik Enerji Sistemlerinde Kullanılan Koruma Elemanları

Elektrik enerji iletim ve dağıtım sistemlerinin korunmasında, hata durumunda devreye girerek sistemin ve dış faktörlerin zarar görmesini engelleyen koruma elemanları kullanılır. Koruma elemanlarının tür olarak seçiminde, kullanıldığı yerin elektriksel büyüklükleri etkili olduğu gibi, çevresel ve ekonomik şartlar da etkilidir. Koruma elemanları seçiminde ulusal ve uluslararası standartlara uygun eleman seçimi sistemin güvenilirliğine olumlu katkı yapacaktır.

Yukarıdaki tanımlamalar doğrultusunda, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım koruma sistemlerinde kullanılan elemanlar basit yapıda olanlardan karmaşık yapıda olanlara doğru, aşağıdaki gibi sıralanabilir:

- Sigortalar
- Kuşkonmazlar
- Ark boynuzları
- Parafudurlar
- Paratonerler
- Röleler

Farklı yapıda koruma elemanları için tanımlanan röleler olarak adlandırılan grup, bir çok karmaşık ve kompleks koruma elemanını içine alır.

Sigortalar

Sigortalar elektrik devrelerinde, elektrik akımının fiziksel etkilerine karşı kasıtlı olarak zayıflatılmış, açma elemanı olarak tanımlanabilir. Sigortalar, kullanıldıkları devrede, öncelikle şebekeyi korumayı amaçlar. Yükün aşırı akımlara karşı korunması, ya da çarpılmalarda sigortaların görev yapması beklenmemelidir. Sigortalar bu gibi durumlarda, ancak diğer açma elemanları açma yapmadığında, akım açma değerine ulaşırsa şebekeyi koruma adına sonradan devreye girerler. Sigortalar:

- Ergime telli sigortalar
- Otomatik sigortalar

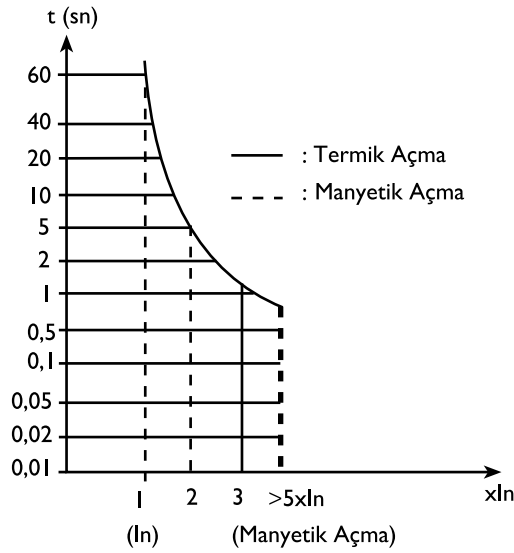
olarak iki temel gruba ayrılır. Sigortalar, çabuk açma yapan ve gecikmeli açma yapan sigortalar olarak da sınıflandırılabilir. Bu özellik, eriyen telli sigortalarda kuartz kumunun termodinamik katsayısından, otomatik sigortalarda ise açma sisteminin elektromekanik yapısından sağlanmaktadır.

Sigortalar nominal akımın 3-5 katında ani açma yapan ve bu sebeple konutlar vb. yerlerde tercih edilen B tipi ile nominal akımın 5-10 katında ani açma yapan ve bu sebeple motor devreleri vb. yerlerde tercih edilen C tipi olarak piyasada bulunur.



B tipi sigortaların H tipi olarak, C tipi sigortaların L tipi olarak adlandırıldığı ürünle de görülebilir.

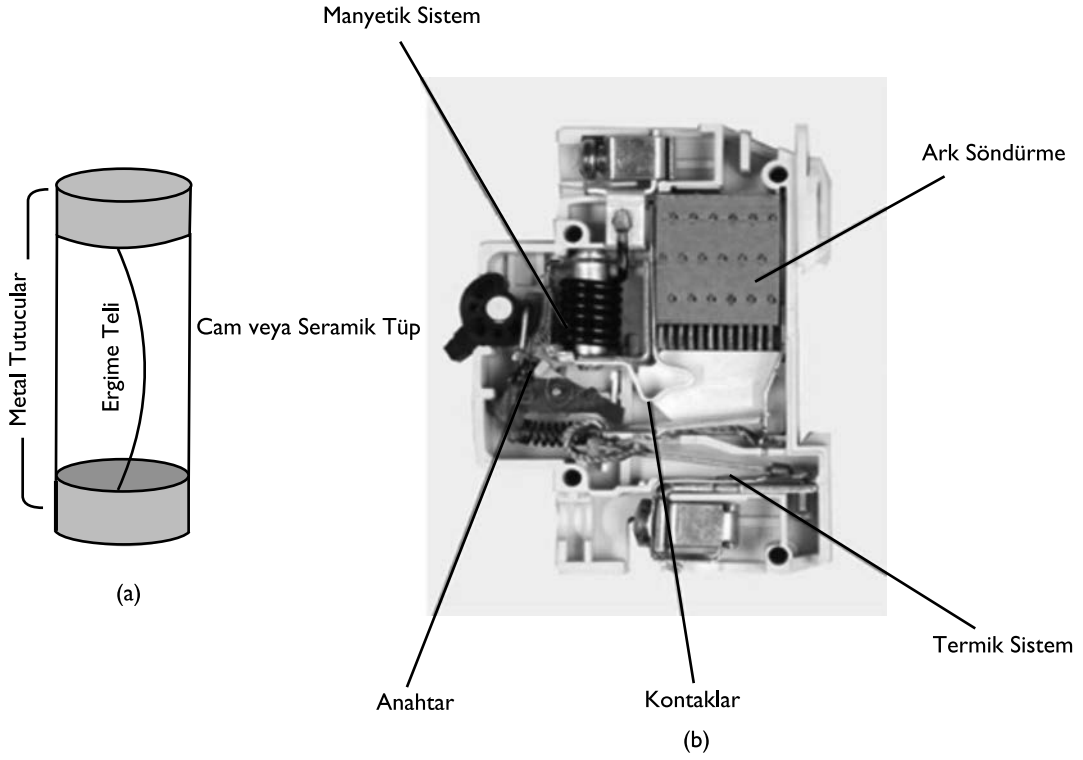
Eriyen telli sigortalar sadece termik açma özelliğine sahip iken, otomatik sigortalar hem termik, hem de manyetik açma özelliğine sahiptir. Termik açma özelliği akımdaki artışa bağlı olarak, açma süresini logaritmik bir değişimde azaltmaktadır. Akımdaki sigortanın etiket karakteristiğine bağlı belli bir artış oranından sonra manyetik açma özelliği devreye girerek termik açma özelliğine bağımlılığı ortadan kaldırmaktadır.



Şekil 7.2: Termik manyetik açma grafiği.

Şekil 7.2’de termik manyetik açma özelliklerine sahip bir sigortanın açma grafiği görülmektedir. Sigortanın nominal akımına çok yakın bir üst değerde, termik açma akımı dakika mertebesinde bir sürede açma yapabilmektedir. Uzun sayılabilecek bu süreyi belirlemede, sigortanın bulunduğu dış çevre sıcaklığı da etkindir. Akımın 5. katına kadar termik açma süresi azalmaya devam ederken, sigortanın nominal akımının 5 katında ani olarak manyetik açma özelliği devreye girmektedir. Böylece, termik algılamanın geç kalacağı ani akım artışlarında manyetik açma özelliği sayesinde, daha yüksek düzeyde koruma sağlanmaktadır. Şekil 7.3’te eriyen telli ve otomatik sigortaların genel yapıları gösterilmiştir.

Şekil 7.4’te farklı yapıdaki sigortalar gösterilmiştir, inceleyiniz. Eriyen telli sigortaların farklı yapıda olanları olduğu gibi otomatik sigortaların da farklı yapıda olanları mevcuttur. Sigorta akımları 1 A ’den 1000 A ve üzerinde değişik değerler alabilse de, şebekede kullanılan standart sigorta akımları 6, 10, 10, 20, 25, 32, 40, 50, 63, 80, 100, 160, 200, 300, 400, 500 değerlerinde olmaktadır. Yüksek gerilimde kullanılan sigortalar yapı olarak diğer sigortalara benzemekle beraber, yalıtkan kısımların yüksek gerilimlere dayanıklı olması için özel yapıda olmaları zorunludur.



Şekil 7.3: Eriyen telli ve otomatik sigortaların genel yapıları: a) Eriyen telli b) Otomatik sigorta



Şekil 7.4: Farklı yapıdaki sigortalar:

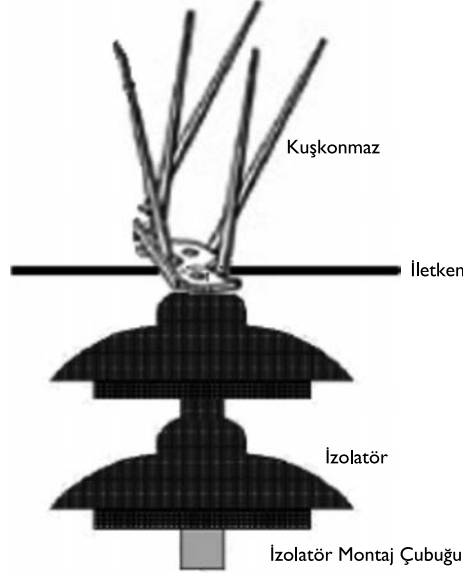
a) Otomatik, b) Buşonlu eriyen telli, c) NH Bıçaklı eriyen telli, d) Yüksek Gerilim eriyen telli, e) Cam eriyen telli.



Eriyen telli sigortalarda, benzer yapıdaki sigortalar arasında gecikme farklılıkları nasıl sağlanılmaktadır ?

Kuşkonmazlar

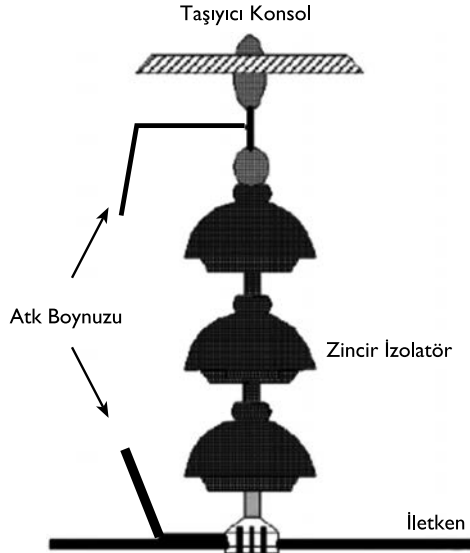
Kuşkonmazlar elektrik enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde, kuşlar tarafından, gerçekleştirilebilecek yalıtım hatalarının önüne geçme adına, açık havada bulunan iletken kısımların risk oluşturan kısımlarına monte edilir. Risk oluşturan kısımlar genellikle, direk askı noktasını ve transformator bağlantı noktasını oluşturan izolator üst kısımlarıdır. Kuşkonmazlar, kuşların, ya da bıraktıkları atıkların sebep olabileceği fazlar arası ve faz-toprak arası yüksek gerilim deşarjlarını önlemek için kullanılır. Şekil 7.5’de mesnet izolator üzerine tespit edilmiş kuşkonmaz görülmektedir.



Şekil 7.5: Mesnet izolator üzerine tespit edilmiş kuşkonmaz.

Ark Boynuzu

Ark boynuzları, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım orta ve yüksek gerilim sistemlerinde oluşabilecek aşırı gerilimlerde atlama riskine karşı oluşturulmuş, zayıflatılmış atlama noktalarıdır. Ark boynuzları, aşırı gerilimlerde oluşabilecek atlamaları kendi üzerinden gerçekleştirerek, diğer elektrik enerjisi sistemlerinin zarar görmesini engeller. Bu sebeple ark boynuzları üzerinden atlama gerçekleşebilecek kısımların yangın ve patlama riskinin bulunmadığı yerler olarak seçilmesi gerekir. Şekil 7.6’da zincir izolator ile tesis edilmiş bir ark boynuzu görülmektedir.



Şekil 7.6: Zincir izolator ile tesis edilmiş ark boynuzu.

Parafudurlar

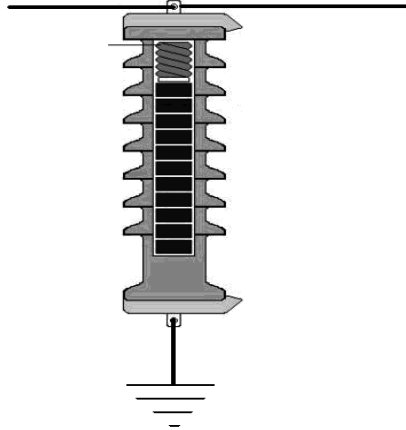
Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde, yıldırım veya ani açma gibi çok hızlı oluşan yüksek gerilim darbeleri için, ark boynuzları hava yalıtkanının iyonizasyonu ve delinmesi için gereken süre nedeniyle zamanında görev yapamayabilir. Bu sebeple, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerini istenmeyen aşırı gerilimlere karşı daha güvenli bir şekilde koruyan parafudurlar kullanılırlar.

Parafudurlar, yüksek gerilim hat arızaları, yıldırım düşmeleri, kesici açması gibi manevralar sırasında meydana gelen aşırı gerilimlerde ya da uzak noktalardaki aşırı gerilimler sonucu enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen yürüyen dalgalarda sistemi korurlar. Parafudurlar:

- Büyük akım darbelerini toprağa iletirler,
- İşletmeyi kesintiye uğratmaksızın elektrik enerjisinin devamlılığını sağlarlar,
- Ark boynuzlarına göre çok daha hızlı ve güvenilirlerdir.

Normal durumda parafudurlar yalıtkandır. Parafudurlar, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde oluşan aşırı gerilimler ile iletken hale geçerek, toprağa deşarj akımı geçirmek suretiyle, bu aşırı gerilimleri zararsız hale getirirler. Deşarj akımları sayesinde, işletme gerilimleri aşırı değerlere çıkma fırsatı bulamazlar. Sistem hatası sonlanıp, aşırı gerilim ortadan kalktığında, yani işletme gerilimi normal değerine indiğinde, parafudur üzerinden geçen deşarj akımı sonlanarak tekrar yalıtkan hale geçer.

Parafudurlar, çoğunlukla, işletme geriliminin %105'i gibi oluşan aşırı gerilimlerde devreye girecek şekilde seçilirler. Alçak gerilim parafudurları için bu değer %110'a kadar çıkabilir. Şekil 7.7'de elektrik enerji iletim hattına bağlı bir parafudur ve iç yapısı görülmektedir.



Şekil 7.7: Elektrik enerji iletim hattına bağlı bir parafudur ve iç yapısı.



Tasarladığınız bir koruma sisteminde, ark boynuzu, ya da parafudur ile yapılan koruma arasındaki fark nedir ?

Yıldırım Aşırı Gerilimlerinden Korunma

Yıldırım, bulut ile yer arasındaki elektrik yüklerinin hızlı deşarj olma olayıdır. Elektrik yüklü bulutlarda hava iyi bir iletken olmadığı için yaklaşık 10 milyon voltluk gerilim oluşturur. Bu bulutların şarj olması esnasında, fırtına bulutunun tabanı yere yakın olan kısmı negatif yükle yüklenir. Bu arada yer pozitif yükle yüklenir. Bazen tersi de olabilir. Çok yüksek değerdeki bu gerilim birikmesi, yıldırım deşarjlarına yol açar. Yıldırım deşarjı esnasında, iyonize sonucu iletkenleşmiş havanın direnci azalmış olsa da gerilim bölücü etkisi nedeniyle, yeryüzüne deşarj olan enerjinin potansiyel gerilimi 1 milyon volta kadar düşer. Yine de çok yüksek bir değer olan, bu voltaj 1000 A gibi çok yüksek, fakat çok kısa süreli deşarj akımlarına yol açar. Bu sebeple yıldırım deşarjlarına karşı yapıların korunması gerekir.

Diğer yapı ya da birimlerdeki benzer şekilde, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde de yıldırım aşırı gerilimlerinden korunmak için, bu gerilimleri toprağa deşarj edecek koruma sistemleri kullanılır. Bu sistemler,

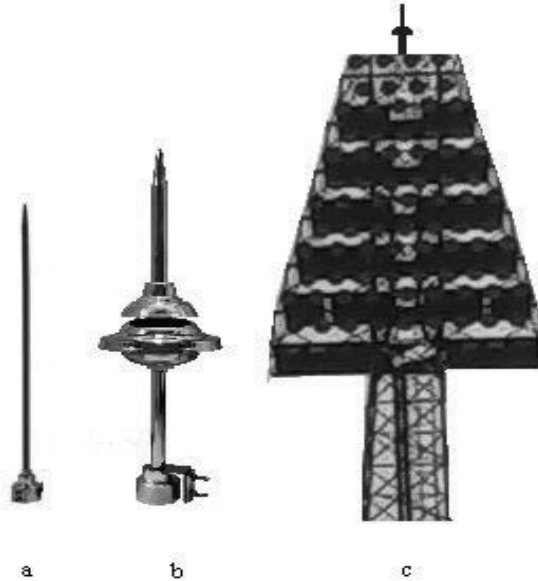
- Paratoner,
- Faraday kafesi (özellikle trafo binalarında)
- Koruma hatları

olarak sıralanabilir.

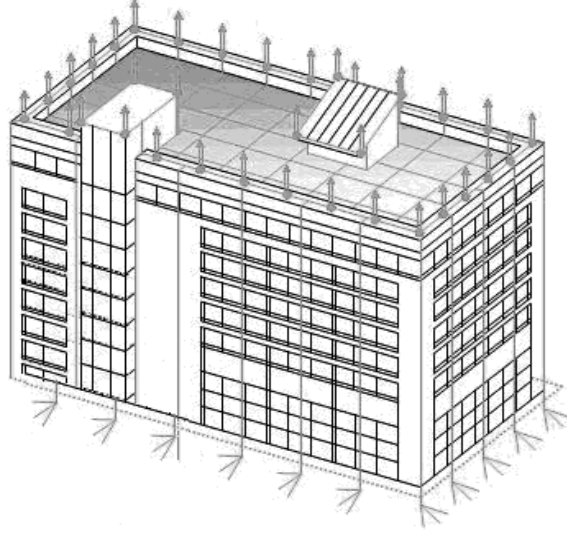
Paratonerler ve faraday kafesleri, özellikle bina, kule, elektrik direkleri vb. doğrusal olamayan birimler için tercih edilir. Koruma iletkenleri ise, enerji iletim hatlarının üzerinde doğrusal olarak tesis edilirler. Paratoner kullanılan birçok yer için Franklin çubuğu kullanmanın da, aynı koruma güvenliğini verdiği, son yıllarda deneysel olarak ispatlanmış olmakla beraber, sık yıldırım darbelerine maruz kalan yerlerde, fiziksel dayanıklılığının fazla olması nedeniyle paratoner tercih etmek daha doğrudur. Koruma iletkenleri, normal iletkenlerden daha küçük kesitte olsalar da, yıldırım deşarjlarında tahrip olmayacak fiziksel dayanıklılığa sahip olmalıdır. Koruma iletkenleri mümkün olduğunca, her direkte bir topraklanmalıdır. Demir direk kullanıldığında, iniş iletkeni kullanılmaksızın, direk gövdesi kullanılabilir.

Paratoner, faraday kafesi ve koruma hatlarına ait tesisatlar yılda bir kez kontrol edilerek yakalama uçlarının sağlamlığı ve paslanma olup olmadığı kontrol edilmelidir. Topraklama direnci ölçülerek 10 ohm (Ω)'un altında olup olmadığı test edilmelidir. Eğer 10 Ω değerinden yüksek ise, topraklama iyileştirilmelidir. İniş iletkenlerinin bağlantı noktaları kontrol edilerek gevşek noktalar, yangına yol açmaması için sıkılmalıdır.

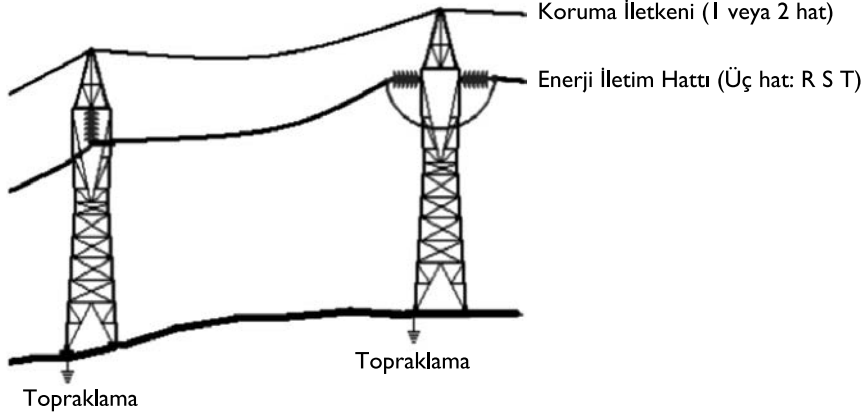
Şekil 7.8'de Franklin çubuğu, paratoner ve bir stadyum aydınlatma direğinde paratoner koruma uygulaması, Şekil 7.9'da ise bir yapının faraday kafesi yardımıyla yıldırım deşarjlarına karşı korunması, Şekil 7.10'da da elektrik enerji iletim hatlarının, koruma iletkeni yardımıyla yıldırım deşarjlarına karşı korunması, görülmektedir. Şekil 7.9'da ayrıca Faraday kafesi uygulamasında topraklama yönetmeliğine uygun olan 3 kazıklı topraklama sistemi gösterilmiştir.



Şekil 7.8: a) Franklin çubuğu, b) Paratoner, c) Stadyum aydınlatma direğinde paratoner koruması



Şekil 7.9: Bir yapının faraday kafesi yardımıyla yıldırım deşarjlarına karşı korunması.



Şekil 7.10: Elektrik enerji iletim hatlarının, koruma iletkeni yardımıyla yıldırım deşarjlarına karşı korunması.

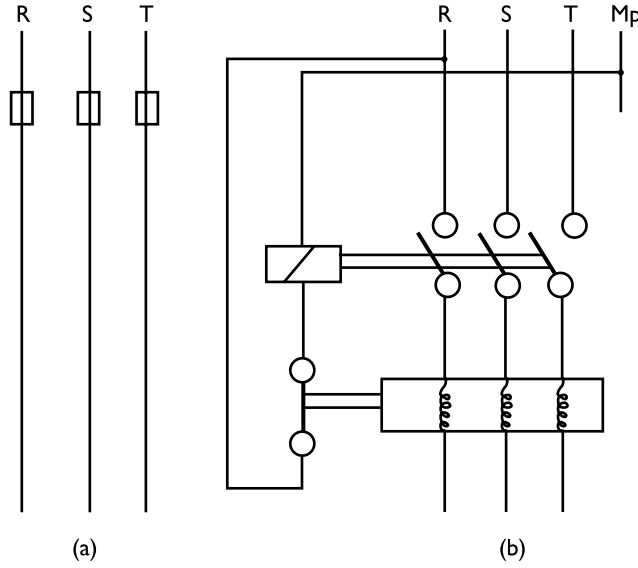
KORUMA RÖLELERİ

Elektrik enerji sistemlerinde koruma, direkt ya da endirekt olarak sisteme müdahale eden koruma elemanları ile gerçekleştirilir. Bu elemanların sigorta gibi basit yapıda olanları mevcut olduğu gibi, şalter vb. tarz yapıda karmaşık olanları da mevcuttur. Basit olanları (özel adı dışında) koruma elemanı olarak adlandırılırken, karmaşık yapıda olanları *röle* olarak adlandırılır ve *koruma röleleri* olarak anılır. Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde, oluşan hatalarda devreye girerek, şebekeyi, alıcı yükleri ve canlıları koruyan, koruma elemanlarından daha kompozit yapıdaki sistemlere *koruma röleleri* denir. Koruma röleleri:

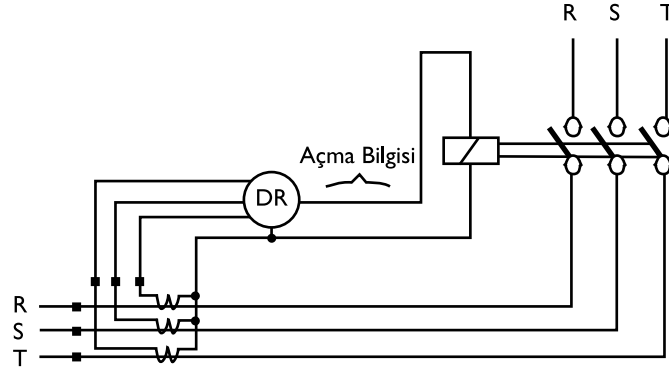
- Benzer hatalarda aynı tepkiyi verecek şekilde güvenilir olmalıdır,
- Hatayı algılama ve karar vermede mümkün olduğunca hızlı olmalıdır,
- Seçici olarak, kendi sadece kendi sorumluluğundaki hatalarda devreye girmelidir,
- Açma ve kapama işlemleri sırasında, yangına sebep olabilecek ark oluşturmamalıdır.

Koruma rölelerinin güvenilirliği, farklı marka ve tipte olsa bile aynı özellikteki koruma rölelerinin aynı hata karşısında, aynı zaman dilimi sonunda aynı tepkiyi vermesi olarak tanımlanabilir. İki röle arasındaki hata algılama farklılığı % 5'in üzerinde olmamalıdır. Hatayı algılama ve karar verme süreci bir röle için ne kadar hızlı gerçekleşirse, hatanın şebekeye, alıcı yüke ya da canlılara zarar verme riski o

çarpılma gibi daha büyük sayılabilecek elektriksel hataların önlenmesinden kaynaklandığı gibi, açma kapama elemanlarının devasa büyüklükte olmasından da kaynaklanmaktadır.



Şekil 7.12: Primer koruma a) Sigorta b) Termik manyetik şalter.



Şekil 7.13: Sekonder koruma

Primer koruma sisteminde, hata akımı ya da gerilimi direkt olarak koruma elemanını etkiler ve elektrik enerji sisteminde aynı eleman üzerinde açma gerçekleştirir. (Örnek: Eriyen telli sigorta, termik manyetik şalter, vb.) Sekonder koruma sisteminde ise korunan sistemden alınan veri değerlendirilerek açıcı devre elemanına açma bilgisi gönderilir. (Kontaktörlerin, otomatik ana şalterlerin, disjonktörler veya diğer adıyla kesicilerin açması gibi.)

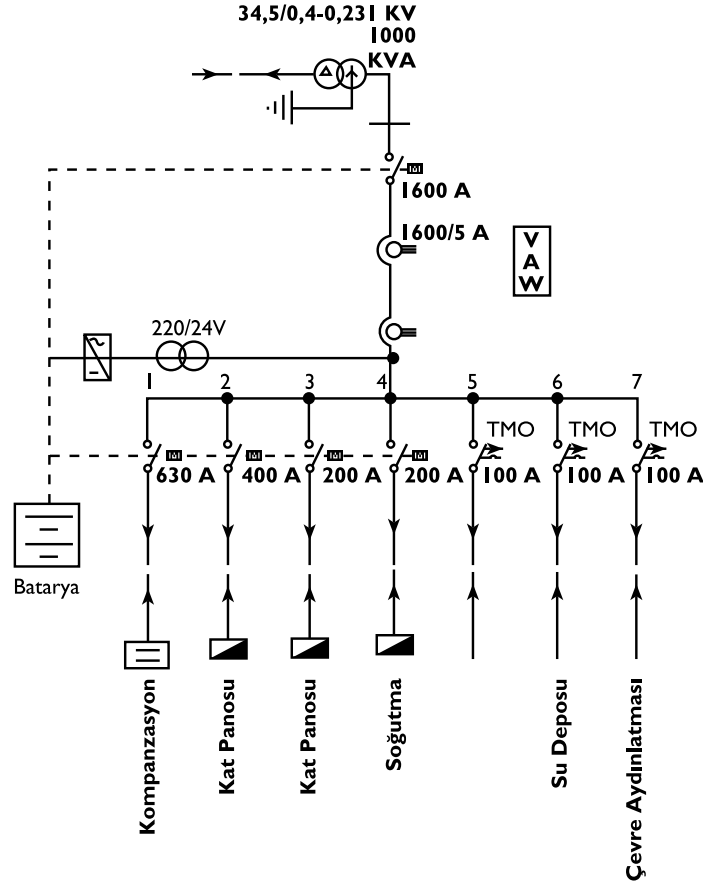
Şekil 7.12’de sigorta ve termik manyetik şalterin yer aldığı primer koruma, şekil 7.13’de ise sekonder korumaya ait bir prensip şema görülmektedir.



Primer koruma sistemlerini enerji verimliliği açısından tartışınız.

Rölelerin Enerji Beslemeleri

Rölelerin çalışma mekanizmaları 220 V değerindeki AC gerilimle beslenebileceği gibi, şebekeye bağımlılığın ortadan kaldırılması amacıyla doğru akımla da beslenebilir. Böylece (Bu durumda 24-110-220 V gibi değerlerde batarya(akümülatör) kullanılır.) Güvenliğin de esas alındığı durumlarda düşük gerilim tercih edilir. Şekil 7.14’de batarya destekli bir elektrik enerjisi koruma sistemi tek hat şeması verilmiştir.



Şekil 7.14: Batarya destekli bir elektrik enerjisi koruma sistemi

Röleler, yaptıkları göreve ve korudukları cihazlara göre de sınıflandırılabilir. Korudukları cihaza göre;

- Alternatör koruma röleleri,
- Bara korumu röleleri,
- Trafo koruma röleleri,
- Şebeke koruma röleleri vb.

gibi sınıflandırılabilirler.

Yaptıkları göreve göre ise;

- Aşırı akım rölesi,
- Hatalı gerilim rölesi,
- Kısa devre rölesi,
- Stator-gövde koruma rölesi,
- Toprak kısa devre rölesi,
- Faz kısa devre rölesi,
- Güç rölesi vb.

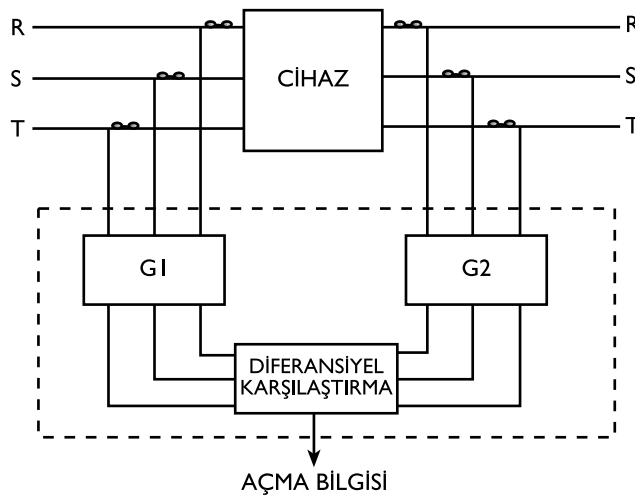
biçiminde gruplandırılabilirler. Röleler çalışma prensiplerine göre de aşırı akım zaman röleleri, diferansiyel röle, mesafe rölesi, empedans rölesi vb. gibi sınıflandırılabilir.

Diferansiyel Koruma Sistemleri

Koruma sistemleri için ele alınacak prensip şema şekil 7.15’de görülmektedir. İdeal olan arızasız durumda korunması üstlenilen bir ortama giren ve çıkan akımların diferansiyel karşılıklarının eşit olduğu kabul edilmektedir. Bu ortama giren ve çıkan akımların, birbirleri ile aynı çıkış karakteristiğine sahip olmaları G1 ve G2 dönüştürücülerinde sağlanmaktadır. Akım transformatörlerinin primerlerinden hat akımları geçmektedir.

Arızasızlık durumu olan ideal durumda, bu akım transformatörlerinin primer akımları farklı olsa bile, G1 ve G2 dönüştürücülerinde ile oluşturulan sekonder çalışma şartları dengelenmiş durumdadır. Diferansiyel röle, bu akım transformatörlerinin aralarındaki bağlantıya şönt olarak bağlanmıştır. İdeal olarak kabul edilen arızasızlık durumunda veya dengeli çalışma şartları için röle çalışmamaktadır.

İdeal durumdan farklı olan her durum için röle uçlarında bir gerilim mevcut olacak ve bu gerilime bağlı olarak röle üzerinden bir akım geçecektir. Bu akım geçişinin asıl sebebi, AC akımlarının karşılıkları arasındaki dengesizliktir. Bu dengesizliğin sebeplerinden biri korunan sistemde herhangi bir yerde meydana gelen faz-toprak kısa devresi olabilir. Nötr hattı diferansiyel korumada etkin iken, koruma hattı etkin olmayıp kullanılmaz.



Şekil 7.15: Diferansiyel koruma prensip şeması.

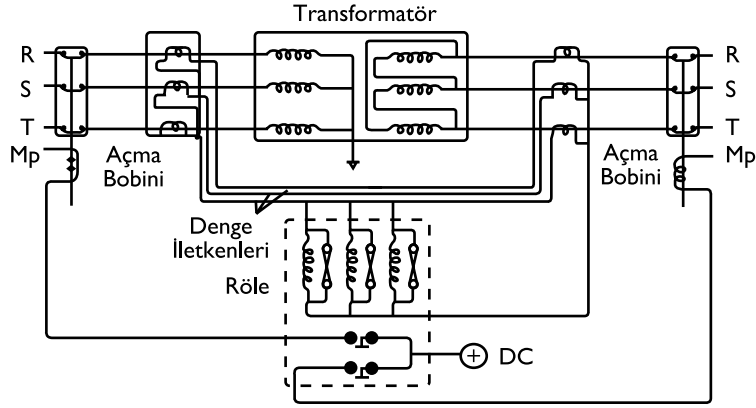
Diferansiyel koruma sistemleri alternatör korumasında, transformatör korumasında ve hat korumasında uygun değişiklikler ve ayarlamalar yapılarak kullanılabilir. Örneğin, şekil 7.15’te görülen diferansiyel koruma sistemi ile korunan ortamın sağ taraf çıkış bölgesinde toprak arızası bulunduğunu kabul edelim. Bu arıza durumunda sağ taraf akımları azalacağından diferansiyel denge durumu ortadan kalkacak, sol taraf akımları ise röleyi tetikleyecektir. Yani bu durumda sağ taraf pasif iken sol taraf aktif olacaktır.

Kısaca, diferansiyel koruma sistemleri, normal durumda akım geçmeyen röle devresinde arıza sonucu meydana gelen yüksek akımlar sebebiyle farklılık doğması ve akım geçmesi prensibine dayanır. Diferansiyel röleler, 1000 V ’un altındaki gerilimlere 1 ve 3 fazlı olarak kaçak akım rölesi olarak, 1000 V ’ un üstünde ise, genaratörler, trafolar ve kısa mesafeli hat parçalarının korumasında kullanılırlar.

SIRA SİZDE



İki faz arasındaki bir kısa devre akımı diferansiyel dengesizlik midir?



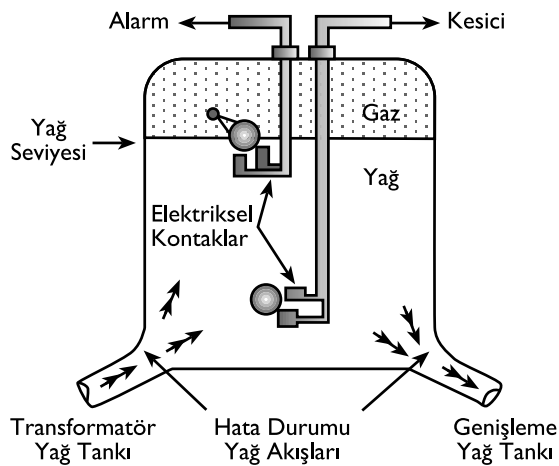
Şekil 7.16: Diferansiyel koruma ile bir transformatörün korunması.

Diferansiyel koruma sistemleri her çeşit şebekede kullanılabilmeyle beraber, hattın uzunluğu boyunca yardımcı iletkenlere ihtiyaç gösterdiklerinden kısa hatlarda tercih edilirler. Diferansiyel koruma sistemlerinde açma çok hassas yapılabildiğinden, devrelerinde bulunan akım trafolarındaki herhangi bir hata lüzumsuz açma yaptırabilir. Bu bakımdan geliştirilmiş bir çok çeşitleri vardır. Diferansiyel röleler de, diğer röleler gibi yön tertibatıyla teçhiz edilerek sadece bir yönlü açma yaptırabilirler. Şekil 7.16’de diferansiyel koruma sistemi ile korunan bir güç transformatörü görülmektedir.

Bucholz Rölesi

Bucholz rölesi, arıza durumunda, transformatör soğutma yağında biriken gaz ile çalışır. Önemli arızalarda 100 ms kadar hızda tepki verebilir. Arıza çok önemli değilse, biriken gaz miktarı az olacağından üst şamandırayı kapatacak ve sadece alarm devreye girecektir. Gaz miktarı fazla olduğunda ise, her iki şamandıra da kapanacağından hem alarm, hem de kesici devreye girecektir. Şekil 7.17’yi inceleyiniz.

Bucholz rölesinde biriken gazın rengi ise oluşan arızanın nedeni açısından önem taşır. Gazın renginin siyah veya gri renkli olması durumunda yağ veya plastik aksamın yandığını, beyaz olması durumunda kağıt izolasyonun yandığını, sarı renkli olması durumunda ahşap kısımların yandığını, renksiz olması durumunda ise yağın eksik, havanın fazla olduğunu belirtir. Eğer gaz yanıcı ise transformatörde iç arıza olduğu kesindir.



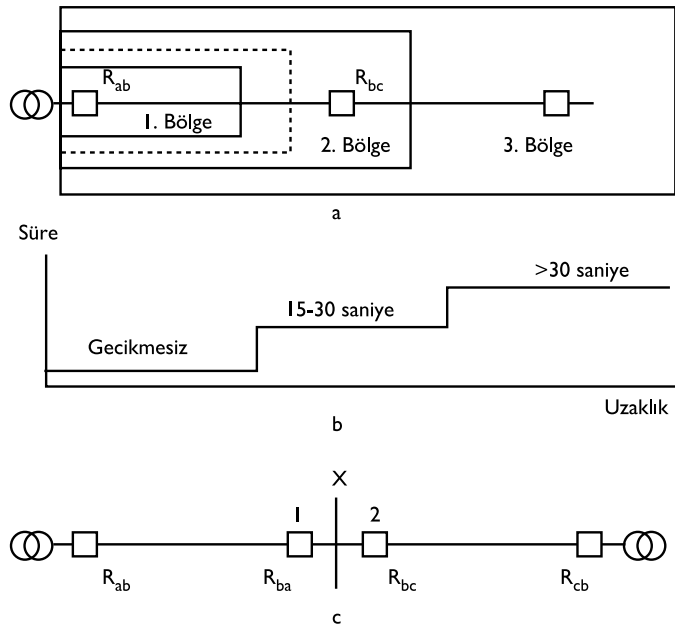
Şekil 7.17: Diferansiyel koruma ile bir transformatörün korunması.

Mesafe Koruma Rölesi

Elektrik enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen kısa devre hata akımları, enterkonnekte sistemde birçok bölgeden beslenme nedeniyle aşırı yüksek değerlere çıkma eğilimindedir. Bu sebeple, kısa devre hatalarında arızalı bölgenin en kısa sürede sistemden çıkarılması gerekir. Bu yapılmaz ise, elektrik enerji sisteminde çok kısa zamanda, transformatör ve alternatör gibi elemanların arızalanmasına, hatta ve enterkonnekte sistemin tümünün enerjisiz kalmasına yol açabilir.

Arızalı hat parçasının belirlenerek en kısa sürede, servis dışı bırakılmasına yönelik uygulanan koruma sistemine *seçici koruma (selektif koruma)* adı verilir. Elektrik enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde bu seçicilik, mesafe koruma röle sistemi ile sağlanmaktadır. Mesafe koruma röle sistemi tek bir yapıdan oluşmayıp, birçok elemanın uyumlu çalışmasını gerektiren bir sistemdir.

Mesafe koruma röleleri çalışma prensibi, hata verisinin alındığı noktadaki akım ve gerilim değerlerinin karşılaştırılması esasına dayanır. Bu karşılaştırmada, gerilim değerinin akım değerine oranı yani empedans esas alınır. Bu sebeple bu rölelere *empedans röleleri* de denir. Kısa devre arızasında gerilim değeri azalırken, akım değeri artacaktır. Yani, kısa devre empedansı, normal işletme koşullarındaki yük empedansından daha küçük olacaktır. Mesafe rölesinin ölçtüğü empedans değeri, hata noktası ile röle arasındaki mesafeye bağlıdır.



Şekil 7.18: a) Mesafe koruma rölesinin tesisi b) Açma süre diyagramı c)Yönlü tip mesafe rölesi

Mesafe koruma rölesine yakın noktalarda meydana gelen bir arıza durumunda, ölçtüğü empedans, rölenin ayarlandığı değer altında olacağından başlatma zincirini çalıştırır. Başlatma zincirinin çalışması ile rölenin çalışması arasındaki aşamada; arıza akımının yönüne ve uzaklığına göre açma kumandasının oluşturulup oluşturulmayacağı, açma kumandası oluşturulacaksa hangi süre sonunda oluşturulacağına, mesafe röle sisteminde yapılan ölçmeler sonucu karar verilir. Bu şekilden de anlaşılacağı gibi, mesafe koruma rölesi, en çabuk açmayı kendisine en yakın olan 1. bölgede yapmaktadır. Böylece, mesafe koruma rölesi yardımıyla, açmada seçicilik sağlandığı gibi, hata diğer rölelerle giderilemediğinde açmanın sonradan yine sağlanması, koruma sisteminin güvenilirliğini arttırmaktadır. Şekil 7.18 a'da mesafe koruma rölesinin 1. bölgede tesisi, Şekil 7.18b'de açma süre diyagramı, Şekil 7.18c'de ise yönlü tip mesafe rölesi görülmektedir.

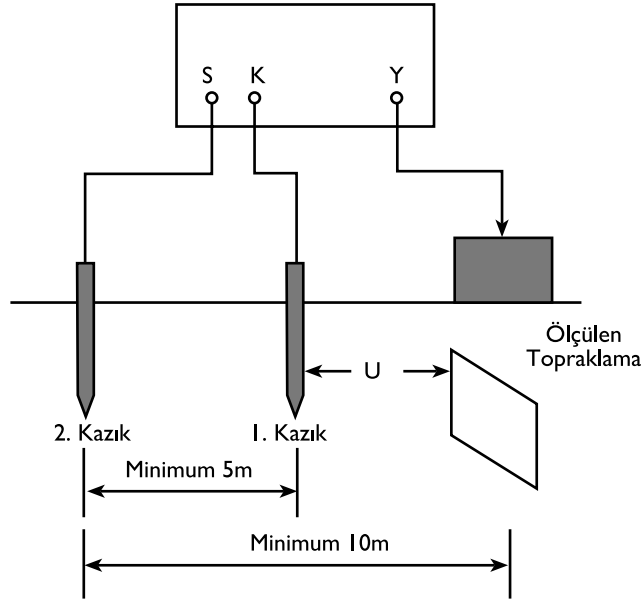
Mesafe koruma rölelerinin yönlü tiplerinde, röleye gelen hata bilgisinin, geldiği yön dikkate alınarak, elektronik veya manyetik olarak açma bilgisi üretilir ya da üretilmez. Bu sayede, mesafe rölelerinin açma bilgisini, hatanın geldiği yöne göre dikkate alıp almamaları sağlanır. Bu özellik, özellikle ring veya çift taraftan beslenen şebekelerde, özellikle hatanın olduğu tarafın enerjisiz kalmasını sağlayarak tüm sistemin enerjisiz kalmasını önler. Örneğin X noktasının sağında meydana gelen bir arıza için, R_{bc} ve R_{cb} röleleri açma yaparak, X noktasının solunda kalan bölgenin enerjisiz kalması engellenir.

TOPRAKLAMA

Elektrik enerji sistemlerinde, toprak potansiyelini topraklama iletkeni vasıtasıyla sisteme entegre etme işlemine *topraklama* denir. Topraklama:

- Koruma topraklaması.
- İşletme topraklaması
- Yıldırım topraklaması

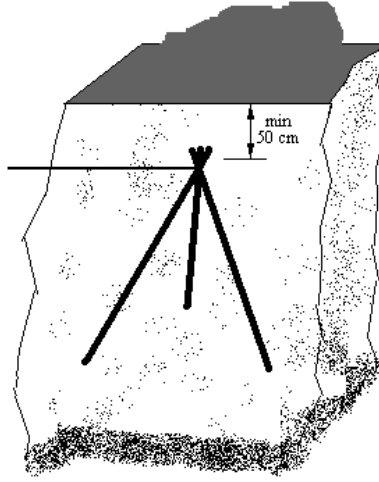
olarak 3 ana grupta incelenebilir. Topraklama türlerinin düşük direnç değerine sahip olmaları gerekir. Bu sebeple topraklama direnç değerlerinin, topraklama megeri ile ölçülerek kontrol edilmesi gerekir. Şekil 7.19’da topraklama megeri bağlantısı görülmektedir. Bu bağlantıda bağlantı uçları olarak, “S” sarı, “K” kırmızı, “Y” ise yeşil rengi temsil etmektedir.



Şekil 7.19: Topraklama megeri bağlantısı.

Koruma ve işletme topraklama direncini 1 ohm(Ω)’un altında tutmak ideal olmakla beraber çoğu kez 2 Ω altı değerler uygun kabul edilmektedir. Yıldırım topraklamasında ise, uygun kabul edilme sınırı 10 Ω değerine ulaşabilmektedir. Topraklamanın düşük direnç değerli olarak iyi bir şekilde yapılabilmesi için uygun toprak şartlarının mevcut olması gerekir. Kumlu, kayalık ve dağlık bölgelerde uygun toprak bulma sorunu mevcut olduğundan, topraklama için uygun bölge, istenilen noktadan uzak olabilmekte ve topraklama iletkeni uzun olmak zorunda kalmaktadır.

Topraklama iletkenlerinin direnci, toplam topraklama direnci içerisinde önemli bir direnç değeri oluşturmaz. Toprak içinde gömülü bulunan topraklama elektrotlarından, toprağa geçiş direnci asıl topraklama direncini oluşturur. Toprağa geçiş direncini az olması amacıyla, topraklama elektrotları, iletkenliği uygun toprak içerisine (tercihen biraz nemli olması uygundur) toprakla temas yüzeyini fazla tutacak şekilde derine gömülür. Yerküreye ait toprak iletim direnci yaklaşık 0 (sıfır) Ω kabul edildiğinden, dünyanın kendisi bir iletken görevi görür ve elektrik devrelerinin bir parçası gibi görev yapar. Şekil 7.20’de üçlü topraklama kazık bağlantısı görülmektedir. Bu çubuklar, minimum 1,5 m uzunluğunda ve 1,5 cm çapında bakır ya da pirinç malzemeden olmalıdır. Topraklama çubuğunun en üst ucu toprak yüzeyinden minimum yarım metre aşağıda olmalıdır.



Şekil 7.20: Üçlü topraklama kazık bağlantısı.



DİKKAT Topraklama direnci topraklama elektrotları bölgesine tuz, asit v.b. kimyasallar karıştırılarak 0 (sıfır) ohm değerine çok çok yaklaştırılabilir. Fakat, birkaç yılı bulan bir zaman dilimi içerisinde, bu kimyasallar elektrotları tahrip ederek, topraklama direncinin büyük değerlere çıkmasına yol açabilirler.

Koruma Topraklaması

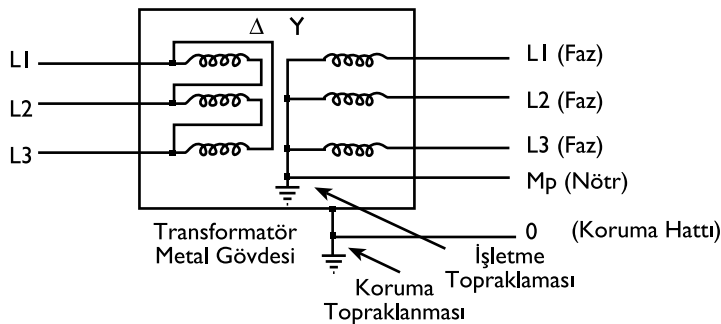
Normalde gerilim altında bulunmayan iletken yapıdaki kısımların, gerilim temasına karşı korunması amacıyla topraklama iletkeni ile toprağa bağlanmasına *koruma topraklaması* denir. Koruma topraklaması ile canlıların ve hassas cihazların elektrik akımının tahrip edici etkisinden korunması temel amaçtır. Koruma topraklamasına ait hatlara kesinlikle sigorta konulmayıp, bu hatlar diferansiyel veya kaçak akım rölesi içerisinde geçirilmemelidir.

İşletme Topraklaması

Elektrik tesislerinde akım taşıyan bir noktanın topraklanmasına *işletme topraklaması* denir. Üç fazlı sistemlerde yıldız noktasının orta ucundan yapılır. İşletme topraklamasındaki amaçlar,

- Faz-faz gerilimi dışında, özellikle konutlar için gerekli faz-nötr geriliminin elde edilmesi,
- 3. harmonik başta olmak üzere, harmonik etkilerinin azaltılması

olarak sıralanabilir. İşletme topraklamasından elde edilen nötr ucu diferansiyel veya kaçak akım rölesi içerisinde geçirilmelidir. İşletme topraklaması yapılmadığında mevcut olmayan faz ile toprak arası gerilim farkı işletme topraklaması yapıldığında oluşur. Şekil 7.21’de işletme ve koruma topraklamaları birlikte görülmektedir.



Şekil 7.21: İşletme ve koruma topraklamaları.

Sıfırlama

Sıfırlama, koruma hattının mevcut olmadığı bir elektrik enerji sisteminde, nötr hattının koruma hattı olarak da kullanılmasıdır. Riskli bir koruma yöntemi olup, zorunlu olmadıkça kullanılması önerilmez. İşletme çıkış noktasında, tekrar topraklanması, güvenilirliğini arttırmakla beraber, ekstra maliyet oluşturur.



Günümüzde, sıfırlama ile birlikte kaçak akım rölesi kullanımının mümkün olmaması, sıfırlamayı tamamen gündem dışı bırakmıştır.

Yıldırım Topraklaması

Yıldırım topraklaması, prensipte koruma topraklamasına benzemekle birlikte bir takım farklılıklar arz eder. Paratoner, Faraday kafesi ya da koruma hatlarına uygulanan yıldırım topraklamasında esas alınacak topraklama direnci 10Ω ve altı olmalıdır. Ayrıca kullanılan iniş iletkenleri aşırı ısınmaya dayanıklı malzemeden seçilmelidir.



Gemiye yıldırım düşerse ne olur?

Özet

Elektrik enerji sistemlerinde çoğunluğu insan kaynaklı, bir kısmı da doğa kaynaklı olmak üzere birçok hata meydana gelebilir. Bu hatalar önemli mal ve can kayıplarına yol açabilirler. Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen hataların, gerek elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sisteminden enerji alan alıcılara, gerekse çevre birim ve canlılara zarar verme aşamasına gelmeden önlenmesi gerekir. Hata oluşan bölgelerin, sistemden ayrılarak, sistemin kalanının hatadan etkilenmemesi gerekir. Sistemin güvenilir bir şekilde çalışma devamlılığı sağlanarak, elektriksel hatalara karşı, can ve mal güvenliğinin sağlanması gerekir. Elektriksel enerji sistemlerinin, kendisinden ya da dış sebeplerden kaynaklanan hatalara karşı korunmaları gerekir. Bu amaçla koruma elemanları ya da koruma sistemleri kullanılır.

Elektrik enerjisi koruma sistemleri, temel yapı olarak primer ve sekonder koruma sistemleri olarak iki başlıkta incelenir. Primer koruma sistemlerinde, korunan akım ya da gerilim direk olarak koruma elemanından geçerken, sekonder koruma sistemlerinde, akım ya da gerilimden en az biri koruma sistemine endirekt olarak tesir eder. Arıza durumu, arızasızlığa dönüştüğünde, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemi mümkün olduğunca kısa sürede ve az emek ile tekrar işler hale getirilebilmelidir.

Elektrik enerji sistemlerinde koruma, direkt ya da endirekt olarak sisteme müdahale eden koruma elemanları ile gerçekleştirilir. Bu elemanların sigorta gibi basit yapıda olanları mevcut olduğu gibi, şalter vb. tarz yapıda karmaşık olanları da mevcuttur. Basit olanları (özel adı dışında) koruma elemanı olarak adlandırılırken, karmaşık yapıda olanları *röle* olarak adlandırılır.

Sigortalar elektrik devrelerinde, elektrik akımının fiziksel etkilerine karşı kasıtlı olarak zayıflatılmış, açma elemanı olarak tanımlanabilir. Bunlar kullanıldıkları devrede, öncelikle şebekeyi korumayı amaçlar. Yükün aşırı akımlara karşı korunması, ya da çarpımalarda sigortaların görev yapması beklenmemelidir. Sigortalar bu gibi durumlarda, ancak diğer açma elemanları açma yapmadığında, akım açma değerine ulaşırsa şebekeyi koruma adına sonradan devreye girerler.

Kuşkonmazlar, kuşların ya da bıraktıkları atıkların sebep olabileceği fazlar arası ve faz-toprak arası yüksek gerilim deşarjlarını önlemek için kullanılır. Ark boynuzları ise aşırı gerilimlerde oluşabilecek atlamaları kendi üzerinden gerçekleştirerek, diğer elektrik enerjisi sistemlerinin zarar görmesini engeller.

Parafudurlar, yüksek gerilim hat arızaları, yıldırım düşmeleri, kesici açması gibi manevralar sırasında meydana gelen aşırı gerilimlerde ya da uzak noktalardaki aşırı gerilimler sonucu enerji iletim ve dağıtım sistemlerinde meydana gelen yürüyen dalgalarda sistemi korurlar.

Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde, oluşan hatalarda devreye girerek, şebekeyi, alıcı yükleri ve canlıları koruyan, koruma elemanlarından daha kompozit yapıdaki sistemlere *koruma röleleri* denir. Koruma röleleri korunan elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerine, ya doğrudan doğruya (primer röle) veya endirekt olarak bir akım trafosu, gerilim trafosu vb. ekipman yardımıyla (sekonder röle) bağlanırlar. Rölelerin enerji beslemeleri, gerektiğinde sistem hatalarından etkilenmemeleri için DC ya da batarya destekli DC gerilim ile yapılmalıdır.

Elektrik enerji sistemlerinde hatalara karşı yapılan koruma mümkün olduğunca seçici olmalıdır. Hata sonucu enerjisiz bırakılacak bölgenin mümkün olduğunca sınırlandırılması amacıyla, koruma akımı değerleri kaynaktan yüke doğru kademeli olarak azaltılır. Bu amaçla, ayrıca yönlü korumanın da etkin olduğu mesafe röleleri kullanılır. Diferansiyel röleler, elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde koruma hassasiyetini sağlama adına önemli rol üstlenirler.

Elektrik enerji sistemlerinde, toprak potansiyelini topraklama iletkeni vasıtasıyla sisteme entegre etme işlemine *topraklama* denir. Sıfırlama, nötr hattının koruma hattı olarak da kullanılmasıdır. İşletme topraklaması, koruma topraklaması ve yıldırım koruması topraklaması gerektiği gibi yapılmalı, sıfırlama tercih edilmemelidir.

Kendimizi Sınavalım

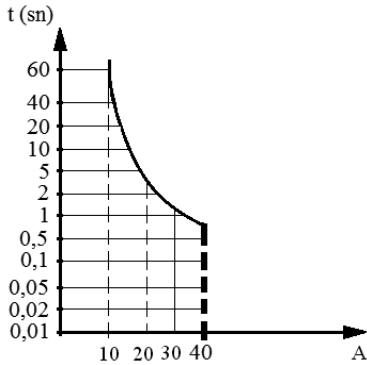
1. Elektrik enerji sistemlerinde oluşan hatalar sistemde aşırı zorlanmalara, yangına ve canlılarda hayati zararlara yol açabilirler. Aşağıdakilerin hangisi insan kaynaklı genel hata sebepleri içerisinde **gösterilemez**?

- a. Fazların dengesiz kullanımı
- b. Bakımların ihmal edilmesi
- c. Doğa olayları
- d. Aşırı kullanım, yanlış hat manevraları
- e. Sabotajlar

2. Elektrik enerji iletim ve dağıtım sisteminde oluşan hatalarla ilgili aşağıdakilerden hangisi doğrudur?

- a. Hata oluşumu %100 engellenmelidir.
- b. Hata durumunda tüm sistem enerjisiz bırakılmalıdır.
- c. Hata mümkün olduğunca geniş bir alana yayılmalıdır.
- d. Hata en kısa zamanda algılanmalıdır.
- e. Koruma sistemi, hata sistemde oluşur oluşmaz devreye girmelidir.

3.



Yukarıdaki grafikte, 10 A 'lık bir otomatik sigortaya ait açma grafiği görülmektedir. Buna göre hangisi **yanlıştır**?

- a. Sigortanın etiket (anma) akımı 10 A 'dır.
- b. Sigorta B tipidir.
- c. 40 A 'de manyetik açma özelliği devreye girmiştir.
- d. 10 A 'ın altında açma gerçekleşmez.
- e. 40 A 'ın altındaki açmalar termik özellikle ilgilidir.

4. Sigortalar: için aşağıdakilerden hangisi **yanlıştır**?

- a. Sigortalar, sekonder koruma elemanı olarak görev yaparlar.
- b. Ergime telli ve otomatik sigortalar olarak ikiye ayrılırlar.
- c. Sigortalar, çabuk açma yapan ve gecikmeli açma yapan sigortalar olarak sınıflandırılırlar.
- d. Eriyen telli sigortalarda kuartz kumunun termodinamik katsayısı gecikmeyi belirler.
- e. Otomatik sigortalarda açma sisteminin elektromekanik yapısı gecikmeyi belirler.

5. Elektrik enerjisi sistemlerinde oluşabilecek aşırı gerilimlerde atlama riskine karşı oluşturulmuş, basit atlama noktaları aşağıdakilerden hangisidir?

- a. Sigortalar.
- b. Ark boynuzları.
- c. Parafudurlar.
- d. Ayırıcılar.
- e. Kuşkonmazlar.

6. Aşağıdakilerden hangisi yıldırım koruma sisteminde asla **kullanılamaz**?

- a. Sigorta
- b. Paratoner
- c. Faraday kafesi
- d. Koruma hatları
- e. Ark boynuzu

7. Koruma röleleri ile ilgili yapılan aşağıdaki tanımlardan hangisi **yanlıştır**?

- a. Şebekeyi, alıcı yükleri ve canlıları, koruma elemanlarından daha hassas olarak korur.
- b. Benzer hatalarda aynı tepkiyi verecek şekilde güvenilir olmalıdır.
- c. Hatayı algılama ve karar vermede mümkün olduğunca hızlı olmalıdır.
- d. Seçici özelliğiyle kendi sorumluluğu dışındaki hatalarda da devreye girmelidir
- e. Açma ve kapama işlemleri sırasında, yangına sebep olabilecek ark oluşturmamalıdır.

8. Rôle koordinasyonunda aşağıdakilerden hangisi uygun **değildir**?

- a. Seçiciliğe uygun doğrultuda planlı olarak yapılmalıdır.
- b. Aboneye bağlanan son noktalardan, şebeke güç dağıtım merkezlerine doğru rôle değerleri kademeli olarak azaltılmalıdır.
- c. Seçici şekilde yapılmış bir koruma sistemi, hatanın meydana geldiği şebeke kısmını devreden çıkarmalıdır.
- d. Şebekenin diğer kısımları devrede kalarak işletme şartları devam etmelidir.
- e. Çift taraflı beslemelerde, yönlü rôle kullanılmalıdır.

9. Aşağıdakilerden hangisi primer koruma sistemine ait bir özelliktir?

- a. Hata akımı, direkt olarak koruma rölesini etkilemez.
- b. Açıcı devre elemanına açma bilgisi gönderilir.
- c. Açma, hata algılayıcı eleman üzerinde gerçekleşmez.
- d. Açma bilgisi, açıcı elemanın kendisi tarafından üretilir ve kullanılır.
- e. Koruma rölesi, hatayı endirekt olarak algılar.

10. İşletme topraklamasında topraklanan nedir?

- a. Yüke ait gerilim altında bulunmayan metal kısımlar.
- b. İşletmeye ait gerilim altında bulunmayan metal kısımlar.
- c. İşletmeye ait transformatör ya da alternatörün çıkış sargının yıldız noktası.
- d. İşletmeye ait transformatör ya da alternatörün çıkış sargının faz uçlarından birisi.
- e. İşletmeye ait transformatör ya da alternatörün gövdesi.

Kendimizi Sıneyalım Yanıt Anahtarı

1. c Yanıtınız yanlış ise “Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Meydana Gelen Hatalar” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

2. d Yanıtınız yanlış ise “Elektrik Enerjisi İletim ve Dağıtım Sistemlerinde Meydana Gelen Hatalar” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

3. b Yanıtınız yanlış ise “Sigortalar” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

4. a Yanıtınız yanlış ise “Elektrik Enerji Sistemlerinde Kullanılan Koruma Elemanları” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

5. b Yanıtınız yanlış ise “Ark Boynuzu” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

6. a Yanıtınız yanlış ise “Yıldırım Aşırı Gerilimlerinden Korunma” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

7. d Yanıtınız yanlış ise “Koruma Röleleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

8. b Yanıtınız yanlış ise “Koruma Röleleri” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

9. d Yanıtınız yanlış ise “Mesafe Koruma Rölesi” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

10. c Yanıtınız yanlış ise “İşletme Topraklaması” başlıklı konuyu yeniden gözden geçiriniz.

Sıra Sizde Yanıt Anahtarı

Sıra Sizde 1

Yıldırım, deprem gibi doğa olayları ve hayvan hareketleri elektrik enerji sistemlerinde isan kaynaklı olmayan hatalardır.

Sıra Sizde 2

Sigorta içerisinde yer alan akımın geçmesiyle termik ısı birikimi sağlayan elemanlar ile sağlanmaktadır.

Sıra Sizde 3

Parafudurların ark boynuzlarından farkı, çok daha hızlı ve kararlı olarak hataları önlemeleridir.

Sıra Sizde 4

Primer koruma sistemleri, sekonder koruma sistemlerine göre daha fazla enerji tükettiklerinden, enerji verimliliği açısından uygun değildirler.

Sıra Sizde 5

İki faz arasındaki kısa devre akımı, üç faz arasında bir dengesizlik oluştursa da, diferansiyel röle bunu bir kaçak olarak algılamaz. Sigorta açma yapar.

Sıra Sizde 6

Gemi ve deniz suyu iyi bir iletken olduğu için geminin üzerine yıldırım düştüğünde saniyenin binde biri hızla geçer gider. Bu nedenle hiç kimseye bir zarar gelmez. Çoğu geminin pruva direğinde telsiz anteni gibi bir paratoner bulunur. Bu sayede anteni olan cihazlardan değil de, direk baş taraftan akış sağlanır.

Yararlanılan Kaynaklar

Margil, S. Ramirez, M.S., Nuevo L. (2005). **Protección De Sistemas Eléctricos De Potencia**. San Nicolas De Los Garza: Universidad Autónoma De Nuevo León Publics.

Catalog (2008). **Scaricatori Di Sovratension Italy**, ABB Publics.

Şerifoğlu N. Soysal O. (2006). **Elektrik Enerji Sistemleri Arıza Durumları**, Cilt 2, Papatya Yayıncılık Eğitim, İstanbul.

A

Açma süresi: Kesicinin kapalı olduğu anla ark kontaktlarının tamamen açılmasına kadar geçen süreyi ifade eder.

Aktif devre elemanları: Çalışabilmeleri ve beklenen özelliklerini yerine getirebilmeleri için enerjiye ihtiyaç duyan devre elemanlarıdır.

Alpek kablo: Havai hatlarda kullanılan askı telli, demet biçimli, plastik yalıtkanlı alüminyum iletkenli kablo.

Alternatif akım: Yönü ve şiddeti zamanla periyodik olarak değişen akımdır.

Alvinal kablo: Alüminyum iletkenli yer altı kablosu.

Ana hat: Açık şebekedeki dağıtım transformatörüne yakın olan hatlardır.

Anlık değer: Herhangi bir anda bir dalga biçiminin şiddetidir.

Anma frekansı: Şebekenin frekansıdır ve çoğunlukla 50 Hz 'dir.

Ark boynuzu: elektrik enerjisi iletim ve dağıtım orta ve yüksek gerilim sistemlerinde oluşabilecek aşırı gerilimlerde atlama riskine karşı oluşturulmuş, zayıflatılmış atlama noktalarıdır.

Ark: Hatlarda faz ile toprak iletkeni veya faz iletkenleri arasında oluşan deşarj esnasında açığa çıkan kıvılcıma denir.

Aygıt: Belli bir amaç için kullanılmak üzere bir veya birçok parçadan yapılmış alet veya cihaza denir.

Ayırıcı: Hatta akım kesildikten sonra yüksüz iken devreyi açmaya yarayan elemanlardır.

Ayırım (dağıtım) direği: Bir veya daha çok hattın ayrıldığı yerlerde kullanılan direk.

B

Bara: Aynı frekansa ve gerilime sahip olan elektrik enerjisinin dağıtıldığı ve toplandığı ünitedir.

Branşman hatları: Dağıtım transformatöründen uzaklaştıkça incelen hatlardır.

D

Dağıtım şebekesi: Elektrik enerjisinin tüketim bölgelerinde dağıtımını sağlayan şebekelerdir.

Dalga biçimi: Zaman, konum, derece, radyan gibi bazı değişkenlerin fonksiyonu olarak çizilen herhangi bir niceliğin izlediği yoldur.

Demet İletken: Enerji iletim hatlarında, bir fazda bir iletken yerine ikili ya da üçlü biçimde çoklu iletken kullanılarak oluşturulan iletkenler.

Direk açıklığı (menzil): İki komşu direk arasındaki yatay uzaklık.

Direk: Hava hatlarında, iletkenleri yerden (toprakta) belirli bir yükseklikte ve birbirinden belirli bir açıklıkta tutan şebeke elemanı.

Doğru akım: Yönü ve şiddeti zamanla periyodik olarak değişmeyen akımdır.

Dönü: Dalga biçiminin bir periyotluk zamana karşı gelen bölümüdür.

Durdurucu direk: Hava hattındaki iletkenleri hem taşıyan hem de durdurucu bağ ile tespit eden doğrusal güzergâhta veya köşede kullanılan direk.

E

Elektrik sayacı: Üretilen veya tüketilen elektrik enerjisi miktarını ölçen aletlerdir.

Elektrik şebekesi: Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketicilere ulaştırılması amacıyla kullanılan bütün elektrik tesisleridir.

Elektrik tesisi: Elektrik enerjisini üretmeye, iletmeye, dağıtmaya ve tüketmeye yarayan ve bir yerde birbirine bağlanan, elektrikli işletme gereçlerinin tümüne denir.

Enerji nakil hattı: Elektrik enerjisinin üretildiği yer ile tüketildiği yer arasını birleştiren ve elektrik enerjisini üretildiği yerden tüketildiği yere taşımaya yarayan hatta denir.

Enterkonnekte şebeke: Bir veya birden fazla elektrik üretim birimleri ile elektriksels yükler arasında bağlantının kurulduğu şebekedir.

Enterkonnekte şebeke: Üretim santrallerin bir iletim tesisine, buradan da diğer tesislere bağlanması suretiyle oluşturulan şebekedir.

F

Frekans: Birim zamanda meydana gelen dönülerin sayısıdır.

Fuko akımları: Bu akım, aynı zamanda eddy akımı olarak da bilinir. Transformatörün metal saçlarının içerisinde oluşan ve dairesel olarak dolaşan akımlardır.

G

Genlik veya tepe (pik) değeri: Bir dalga biçiminin maksimum değeridir.

Güç yoğunluğu: Alçak gerilim şebekesinin bir metresine düşen yayılı yüke denir.

H

Hat sabiteleri: Enerji iletim ve dağıtım hatlarında akım, gerilim, güç ve güç katsayıları gibi büyüklüklerin durumlarına göre değişen hattın direnç, indüktans ve kapasitans gibi değerlerine denir.

Hava hattı: Kuvvetli akım iletimini sağlayan mesnet noktaları, direkler ve bunların temelleri, yer üstünde çekilmiş iletkenler, iletken donanımları, izolatörler, izolatör bağlantı elemanları ve topraklamalardan oluşan tesisin tümüdür.

Histerisiz olayı: Transformatörün metal saçlarının mıknatıslanması olayıdır.

İ

İletim hattı: Santrallerde üretilen elektrik enerjisinin tüketim bölgelerine ileten hatlar.

İletim şebekesi: Elektrik enerjisinin tüketim bölgelerine iletilmesini sağlayan şebekelerdir.

İşletme topraklaması: Dağıtım şebekesinde trafonun nötr noktasının (yıldız noktasının) topraklanmasına denir.

İşletme topraklaması: Elektrik tesislerinde akım taşıyan bir noktanın topraklanmasına denir.

İzolasyon: İki ortam arasında akım, ses ve ısı geçişinin önlenmesi için geliştirilen yöntem ve tekniklerin tümüne denir.

İzolatör: Hava hatlarında iletkenleri direklere tespit eden, taşıyan, birbirinden ve topraktan yalıtan; şalt sahaları ve dağıtım merkezlerinde baraları tespit eden ve yalıtan eleman.

K

Kablo sabiteleri: Enerji iletim ve dağıtım hatlarında akım, gerilim, güç ve güç katsayıları gibi büyüklükler arasındaki ilişkileri hesaplamaya yarayan direnç, endüktans ve kapasitans gibi değerler.

Kablo: Elektrik enerjisini ileten, iki elektrik cihazını elektriksel bakımdan birbirine bağlayan, elektriksel olarak yalıtılmış bir veya daha fazla damardan meydana gelen elektrik iletim elemanı.

Kesici: Orta ve yüksek gerilim şebekelerinde yük akımını ve kısa devre akımlarını kesmeye yarayan elektrik aletleridir.

Kesme süresi: Açma süresinin başlangıcı ile ortamın iyonizasyon olması sırasında geçen süredir.

Kompanzasyon: Dağıtım şebekelerinde yüklerin şebekeden talep ettikleri indüktif reaktif gücün yük noktasında veya yüke yakın noktalarda reaktif güç üreten elektriksel elemanlar tarafından karşılanması olayına denir.

Konsol: Hava hattındaki iletkenleri, birbirlerinden ve direklerden belirli uzaklıkta tutmak için kullanılan tek taraflı yapı elemanı.

Kontaktör: Aşırı yüklenme durumları dâhil, normal şartlarda akımı kapatma, taşıma ve kesme özelliğine sahip uzaktan kumanda edilebilen anahtarlama elemanlarına denir.

Korona olayı: Nemli ve sisli havalarda enerji nakil hatlarındaki gerilim yavaş yavaş arttırılırsa gerilimin belirli bir değerinde havanın iletim hattının yüzeyinde iyonize olduğu görülür. Gerilim arttırılmaya devam edilirse bu kez iletkenin çevresinde mor renkli ışıklı bir halka belirir. Bu olaya verilen isimdir.

Koruma rölesi: Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde, oluşan hatalarda devreye girerek, şebekeyi, alıcı yükleri ve canlıları koruyan, koruma elemanlarından daha kompozit yapıdaki sistemlere denir.

Koruma Topraklaması: Bir tesisteki madeni kısımların işletme topraklamasından ayrı olarak topraklanması olayına denir.

Koruma topraklaması: Normalde gerilim altında bulunmayan iletken yapıdaki kısımların, gerilim temasına karşı korunması amacıyla topraklama iletkeni ile toprağa bağlanmasına denir.

Kuşkonmaz: Elektrik enerjisi iletim ve dağıtım sistemlerinde, kuşlar tarafından, gerçekleştirilebilecek yalıtım hatalarının önüne geçme adına, açık havada bulunan iletken kısımların risk oluşturan kısımlarına monte edilen koruma elemanıdır.

M

Maksimum güç transferi: Devreye seri olarak eklenen kondansatör grupları, negatif bir reaktans sağlayarak enerji iletim hatlarının uzunluk ve kesiti ile belirlenen hat empedansını düşürür. Bu sayede de daha fazla güç iletimi transfer edilir. Bu işleme verilen isimdir.

O

Oto transformatör: Primer sargısının bir kısmının ya da tamamının sekonder sargı olarak da kullanıldığı transformatöre denir.

P

Parafudur: Yüksek gerilim hatlarında bir nedenle (hat arızaları, ani gerilim yükselmeleri, yıldırım düşmeleri vb.) oluşabilecek yüksek gerilimin enerji iletim hattına zarar vermesini engellemek amacıyla kullanılan koruma elemanlarıdır.

Periyodik dalga biçimi: Belli bir zaman aralığından sonra kendisini sürekli tekrarlayan bir dalga biçimidir.

Periyot: Bir dalga biçiminin ardışık tekrarları arasındaki zaman aralığıdır. Periyot genellikle T harfi ile gösterilir. Periyot SI ölçüm sisteminde saniye (s) ile ölçülür.

Puant: Elektrik enerjisi tüketiminin en yüksek olduğu zaman aralığını belirtir. Bu zaman aralığında ki güç tüketimine puant güç veya maksimum güç denir.

R

Ring (halka) tipi şebeke: Bir noktadan çıkan iki enerji nakil hattının bir başka noktada yeniden birleşmesinden oluşan şebekeye denir.

Rüzgâr açıklığı: Direğin iki yanındaki açıklıkların aritmetik ortalaması.

S

Sigorta: Doğru akım veya alternatif akım devrelerinde kullanılan cihazları koruyan ve bu cihazlara ait iletkenleri aşırı akım ve gerilimlerden koruyarak devreleri ve cihazları ciddi arızadan koruyan elemandır.

Some noktası: Enerji iletim hattı güzergâhı üzerinde bulunan kırık noktalara denir.

Son (nihayet) direk: Hava hattın başlangıcında ya da sonunda kullanılan direk.

Ş

Şalt sahası: Elektrik santrali ile enterkonnekte şebeke arasındaki bağlantıyı sağlayan yüksek gerilim ünitelerinin bir arada bulunduğu tesistir.

Şalter: Devrenin aşırı akım ve gerilim nedeniyle zarar görmesini engellemek ve devreyi normal olarak açıp kapamak amacıyla kullanılan elemandır.

Şebeke: Aynı anma gerilimli birbirine bağlı elektrik tesislerinin tamamına denir.

T

Taşıyıcı direk: Hava hattındaki iletkenleri sadece taşıyan ve iletkenlerin taşıyıcı bağ ile bağlandığı doğrusal güzergâhta veya köşede kullanılan direk.

Tepeden tepeye (pik-pik) değer: Pozitif ve negatif tepe değerlerinin şiddetleri toplamıdır

Topraklama: Elektrik enerji sistemlerinde, toprak potansiyelini topraklama iletkeni vasıtasıyla sisteme entegre etme işlemine denir.

Transformatör: Alternatif akımda, güç sabit kalmak şartı ile elektrik enerjisinin gerilim ve akım değerlerini elektromanyetik indüksiyon yolu ile ihtiyaca göre dönüştürmeye yarayan ve hareketli parçası olmayan aygıtlardır.

Travers: Hava hattındaki iletkenleri, birbirlerinden ve direklerden belirli uzaklıkta tutmak için kullanılan çift taraflı yapı elemanı (taşıma parçası).

Y

Y-kablolar: Maden ocakları gibi mekanik ve kimyasal etkilerin fazlaca olduğu ağır işletme koşullarına dayanıklı, yeraltına, beton kanala veya duvara sabit olarak döşenen güç kabloları.

Yalıtkan: Kablo damarlarını ve kabloyu dış etkilerden koruyan lastik, PVC, XLPE gibi elektrik iletmeyen malzeme.

Yük tahmini: Şebekenin yük miktarının belirlenmesine denir.