

KORONA KAYIPLARI

Dr. Fatih SERTTAŞ

KORONA



- Korona olayı bir elektriksel kısmi boşalma türüdür.
- Korona genelde iletkenler ve elektrotların yüzeyinin yakınında görüldüğü için dış kısmi boşalma olarak tanımlanır.
- İç veya dış kısmi boşalmalar, yerel (bölgesel-lokal) boşalmalar olup, dielektrik malzemeyi tamamen köprülemezler (kısa devre etmezler).
- Korona boşalması, iletken çevresinde elektrik alanının yüksekliği nedeniyle oluşan, baskın olarak gazlardaki çarpışma yolu ile iyonlaşmanın sonucudur.

KORONA

- Korona, elektrot açıklığına göre küçük yarıçaplı elektrotlarda veya keskin kenar, köşe, sivri uç gibi elektrik alan şiddetinin yüksek olduğu noktalarda meydana gelen, tam olmayan ve kendi kendini besleyen bir elektriksel kısmi boşalma türüdür.
- Korona, bir elektrot üzerindeki elektrik alan şiddetinin elektrot çevresindeki yalıtkanın (havanın) delinme dayanımını aştığı veya elektrot çevresindeki yalıtkanın delinme dayanımının elektrot üzerindeki elektrik alan şiddetinde boşalma başlayacak kadar azaldığı durumlarda ortaya çıkmaktadır.

KORONANIN GENEL ETKİLERİ

- Korona meydana geldiğinde aktif güç kaybı meydana gelir. Bu güç kaybı kötü hava koşullarında, iyonlaşmaya bağlı olarak artış göstermektedir.
- Korona esnasında havadaki oksijen (O_2) molekülleri atomlarına (O) ayrışır. Ayrışan oksijen atomları yeniden oksijen molekülleri ile birleşerek ozon (O_3) gazı oluşturur. Korona olan yerlerde hissedilen koku, oluşan ozonun kokusudur. Ozon aynı zamanda havadaki nem ve azot ile birleşerek nitrik asit oluşturabilir.
- Korona akımı sinüsoidal olmayan bir akımdır ve üçüncü harmoniği etkin olan bu akım, gerilim düşümüne sebep olur. Aynı zamanda radyo – televizyon frekanslarında girişimlere de sebep olur.

KORONANIN GENEL ETKİLERİ

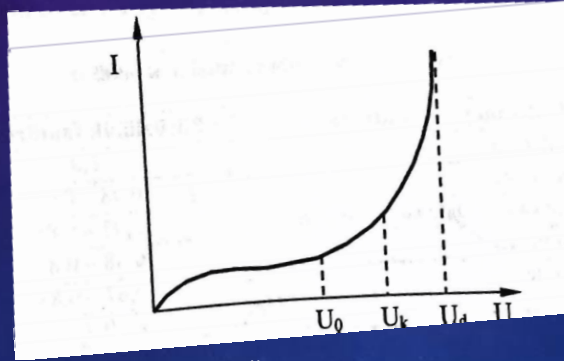
- Radyo-televizyon frekanslarında radyo girişimi adı verilen parazitlere neden olur. Elektromanyetik girişim olayıdır.
- Korona, atlamalara, delinmelere dolayısıyla da arızalara yol açabilir.
- Renksiz ve zehirsiz bir gaz olan SF6 gazının zehirli gaz türlerine ayrışmasına sebep olabilir.

KORONANIN GENEL ETKİLERİ

- Korona atlamara, delinmelere dolayısıyla arızalara yol açabilir. Benzer şekilde, kabloların, transformatörlerin, kondansatörlerin, makinelerin iç yalıtımlarındaki kısmi boşalmalar da, zamanla bu düzenlerde atlama veya delinmeye, sonuç olarak da arızaya neden olabilmektedir.
- Başta güç kesicileri ve gaz yalıtımlı sistemler zehirli gaz ürünlerine ayrışarak canlılar için tehlike kaynağı olabilir, aynı zamanda sinir sistemine olumsuz etki yapabilir. Bu nedenle SF6 yalıtımlı sistemlerde, korona oluşumuna neden olabilecek toz gibi, iletkenler üzerindeki pürüzler gibi etkenlerin önlenmesi çok önemlidir.

KORONA BOŞALMASI

- Korona kelime manası itibariyle «ışıklı taç» anlamına gelmektedir.



- Hat gerilimi ile hatlar arasında akan akımın değişimi
- U_0 =Kritik korona gerilimi, U_k = (Görünür) Korona gerilimi, U_d =Delinme Gerilimi

KORONA BOŞALMASI

- İletkenler arasında açıklık küçük olursa korona olmaksızın delinme meydana gelir.
- Genel olarak enerji iletim hatlarında 35 kV ve üzerinde korona etkin olmaktadır. İletkenlerin yarı çapına göre daha düşük gerilimlerde de korona görülebilir.

KORONA BOŞALMASI

- Korona gerilimi hatların yarı çapına, hatlar arası açıklığa, hava koşullarına ve hatların pürüzlülüğüne bağlıdır.

$$U_k = U_0 \cdot m \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r \cdot \delta}}\right)$$

- U_0 = Çarpma ile iyonlaşmanın başladığı gerilim,
- m = İletkenin pürüzlülük faktörü,
- δ = Bağıl hava yoğunluğu
- r = İletkenin yarıçapıdır.

**Peak Korona
Gerilimi**

BAĞIL HAVA YOĞUNLUĞU

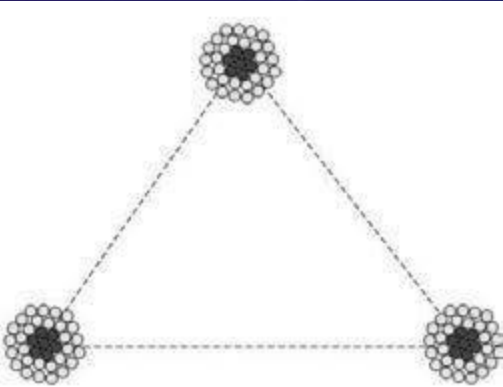
- $\delta = 0,386 \cdot \frac{p}{273+\theta}$
- p hava basıncı (mmHg), θ ise hava sıcaklığıdır (°C).

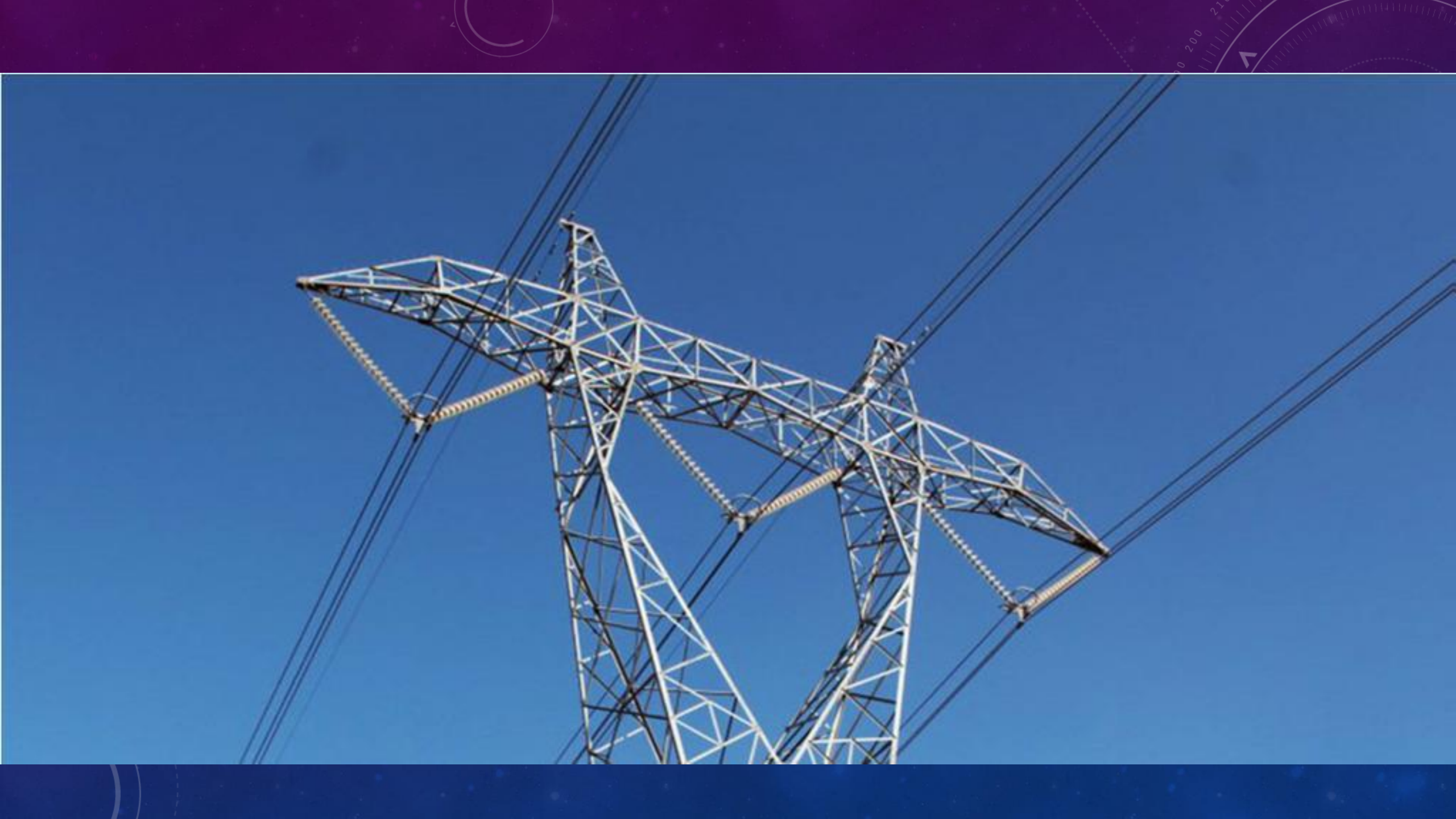
İLETKENİN YÜZEY DURUMUNA GÖRE PÜRÜZLÜLÜK FAKTÖRÜ

İletkenin yüzey durumu	Pürüzlülük Faktörü
Parlatılmış iletken	1,0
Düz ve yeni iletken	0,98 – 0,93
Uzun süre hava etkisinde kalmış iletken	0,93 – 0,88
Örgülü eski iletken	0,88 – 0,87
Örgülü yeni iletken	Yaklaşık 0,87
İçi boş üstü düz (bakır) iletken	0,90

DEMET İLETKEN

- Havai hatlarda gerilim büyüdükçe ve iletken çapı küçüldükçe elektrik alan şiddeti büyüyeceğinden, korona olayı yaşanır. Yüksek 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.





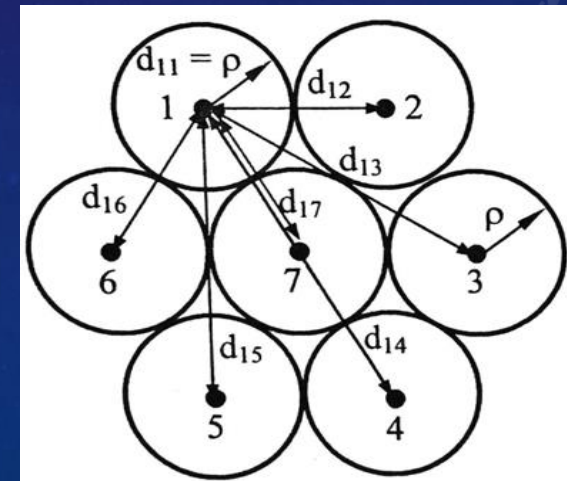
DEMET İLETKENLERDE KORONA KAYBI HESABI

Demet iletkenli hatlar için korona, elektrik alan şiddeti, kapasite ve endüktans hesaplarında; iletken yarıçapı olarak geometrik ortalama yarıçap (GMR), hatlar arası açıklık olarak geometrik ortalama açıklık (GMD) kullanılır.

Tek telden oluşan dolu iletken için: $GMR=r$

Her biri yarıçapında çok sayıda telden oluşan örgülü iletken için:

$$GMR_{\text{örgülü}} = n^2 \sqrt{(d_{11} d_{12} \dots d_{1n})(d_{21} d_{22} \dots d_{2n}) \dots (d_{n1} d_{n2} \dots d_{nn})}$$



DEMET İLETKENLERDE KORONA KAYBI HESABI

- Çok sayıda iletkenenden oluşan bir demet iletken için ise R_e eşdeğer yarıçapı olarak da bilinen GMR:

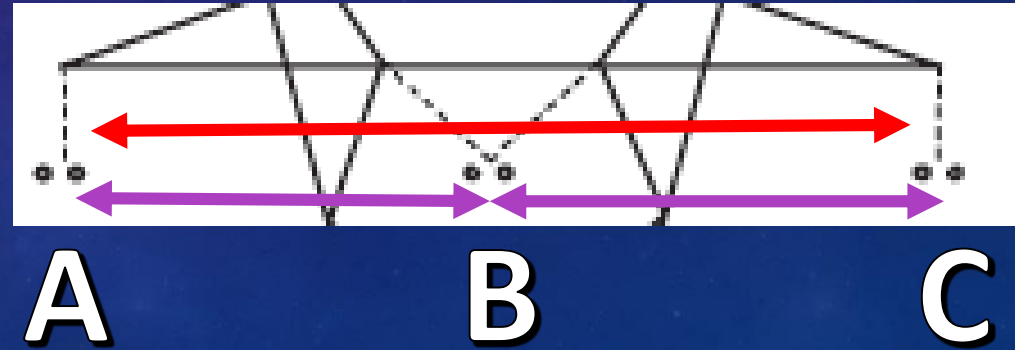
$$GMR = R_e = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot R^{n-1}} = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot \left(\frac{d}{2 \sin \frac{\pi}{n}}\right)^{n-1}}$$

- bağıntısından hesaplanır. Bu bağıntıda n demetteki iletken sayısını, r bir iletkenin yarıçapını ve R demet yarıçapını, d demetteki iletkenler arası uzaklığı gösterir.

$$R_e = R \cdot \sqrt[n]{\frac{r \cdot n}{R}} \quad R = \frac{d}{2 \sin\left(\frac{\pi}{n}\right)}$$

GEOMETRİK ORTALAMA AÇIKLIK (GMD)

- Demet iletkenli 3 fazlı hatlarda geometrik ortalama açıklık (GMD) ise;
- $GMD = \sqrt[3]{a_{AB}a_{BC}a_{AC}}$



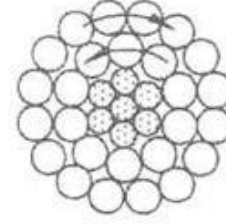
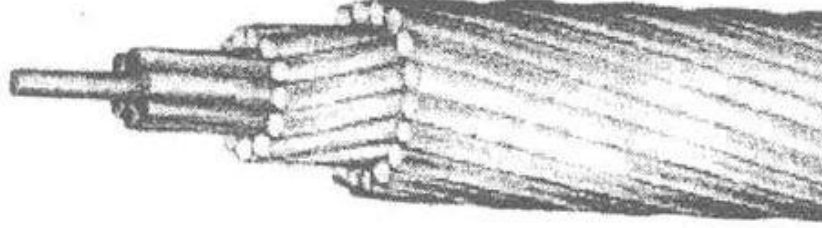
DEMET İLETKENLERDE KORONA KAYBI HESABI

- Demet iletkenli hatlarda endüktans hesabı yapılırken iletken yarıçapı olarak, akıma ve bunun yarattığı manyetik alana bağlı olarak ortaya çıkan deri etkisi nedeniyle farklı bir yarıçap kullanılır. Deri etkisi adı verilen olayda iletkenden akan alternatif akım, iletken kesitinin tamamına yayılmış olarak akmayıp iletken yüzeyine yakın bölümden (sanki derisinden) akar. Bu yüzden endüktans hesaplarında akımın aktığı bölümün kesitine eşit dairenin yarıçapına karşı düşen yarıçap kullanılır. Buna göre tek telden oluşan dolu bir iletken için $GMR=r'=k.r$ bağlantısıyla belirlenir. Burada, r iletkenin gerçek yarıçapını, k ise bir sonraki slayttaki çizelgeden alınan bir katsayıyı göstermektedir.

ÖRGÜLÜ ALÜMİNYUM İLETKENLERİN ENDÜKTANSINI HESAPLARKEN KULLANILAN R' DEĞERLERİ İÇİN K KATSAYILARI

Örgülü iletkendeki tel sayısı	$r'=k.r$ bağlantısındaki k katsayısının değeri	İletkenin endüktansı mH/km-faz
7	0,726	0,0639
19	0,758	0,0522
37	0,768	0,0528
61	0,772	0,0515
91	0,774	0,0509
127	0,776	0,0503
Yuvarlak dolu iletken	0,7788	0,04972
Dikdörtgen kesitli dolu iletken	0,2235 (a+b) (a, b: kenar uzunlukları)	

İLETKENLERİN YAPISI



26 Al/7 St

- Alüminyum teller
- Çelik teller
- ↗ Sarım yönü

Şekil 2. Partridge çelik-alüminyum iletken.

Örgülü iletkenlerde çapları eşit olan ortada bir tel ve bu telin çevresindeki katmanlarda, her bir katmanda bir önceki katmandakinden 6 fazla olmak üzere veya n katman sayısı olduğuna göre $3n^2+3n+1$ bağıntısının verdiği sayıda 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 yapılıır.

ÇELİK ÖZLÜ ALÜMİNYUM İLETKENLERİN ENDÜKTANSINI HESAPLARKEN KULLANILAN R' DEĞERLERİ İÇİN K KATSAYILARI

İletkendeki Kat ve Tel Sayısı	r'=k.r bağıntısındaki k katsayısının değeri
Tek katlı iletkenler	0,35 – 0,70
İki katlı ve 26 telli iletken	0,809
İki katlı ve 30 telli iletken	0,826
İki katlı ve 54 telli iletken	0,810

Endüktans hesaplarında kullanılan;

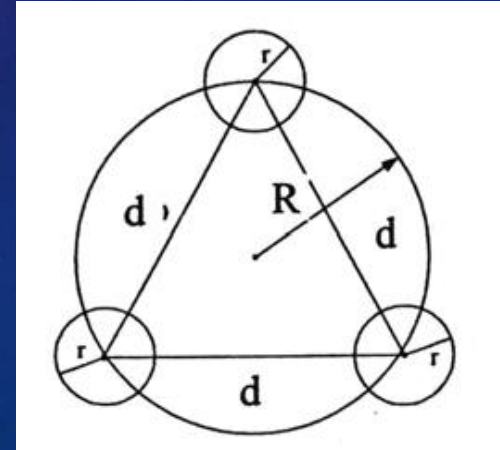
$$GMR = \sqrt[n]{n \cdot r' \cdot R^{n-1}} = \sqrt[n]{n \cdot r' \cdot \left(\frac{d}{2 \sin \frac{\pi}{n}} \right)^{n-1}}$$

KORONA GERİLİMİ

- Tekil iletkenlerin kullanıldığı hatlarda korona gerilimi, bir fazlı hatta,
- $U_k = 2.21,2. m. \delta. \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r. \delta}}\right). \ln \left(\frac{a}{r}\right)$ (kV_{ef}) bağıntısıyla, üç fazlı hatta ise;
- $U_k = \sqrt{3}. 21,2. m. \delta. \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r. \delta}}\right). \ln \left(\frac{a}{r}\right)$ (kV_{ef}) bağıntısıyla hesaplanır. Burada,
- r : iletkenin yarıçapı (cm)
- a : Hatlar arasındaki açıklık (cm)
- δ : Bağıl hava yoğunluğu
- m : İletkenin pürüzlülük faktörüdür.

KORONA GERİLİMİ

- Koronanın oluşması istenmeyen bir durumdur. Korona, istenmeyen bir durum olduğu için korona geriliminin de mümkün olduğu kadar büyük olması istenir. Korona gerilimini büyütmenin en ekonomik yolu iletken çapını büyütmedir. Fakat bu işlem iletken kesiti büyütmeden yapılmalıdır. Bu amaç için demet iletken kullanılır. Böylece hattın karakteristik empedansı azalır ve gücü artar.
- Demet iletkendeki iletken sayısı gerilim seviyesi ile artar, örneğin 2'li, 3'lü, 4'lü ... olabilir.
- r : iletken yarıçapı
- d : iletkenler arası açıklık
- R : iletkenlerin merkezinden geçen dairenin yarıçapı



KORONA GERİLİMİ

Gerilim Seviyesi	Demetteki İletken Sayısı (n)
220	2
345	2 veya 3
500	3 veya 4
765	4 veya 8
1100	8 veya 12
1500	12

Örnekler görülebilir...

KORONA GERİLİMİ

- Demet iletken kullanılan hatlarda korona gerilimi, bir fazlı hatta,
- $$U_k = \frac{2n.r.d}{d+A.2.r} E_0 . m . \delta . \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r.\delta}} \right) . \ln \left(\frac{2.h}{R_e} \right) \quad (kV_{ef})$$
 bağıntısıyla, üç fazlı hatta ise;
- $$U_k = \frac{\sqrt{3} n.r.d}{d+A.2.r} E_0 . m . \delta . \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r.\delta}} \right) . \ln \left(\frac{a}{R_e} \right) \quad (kV_{ef})$$
 bağıntısıyla hesaplanır.
- Burada n: demetteki iletken sayısı
- r: iletken yarıçapı, d: demetteki iletkenler arası açıklık A: demet iletken sayısına bağlı sabit
- m: pürüzlülük faktörü δ : bağıl hava yoğunluğu h: iletkenin yerden yüksekliği (cm)
- a: iletkenler arası açıklık (cm) R_e : demet iletken yerine alınabilen eşdeğer tekil iletken yarıçapıdır.

KORONA GERİLİMİ

- $A = (n-1) \sin \frac{\pi}{n}$

- $R = \frac{d}{2 \sin \frac{\pi}{n}}$

n	A	R
2	1	d/2
3	1,73	D/√3
4	2,12	D/√2

KORONA ALAN ŞİDDETİ

- $E_k = E_0 \cdot m \cdot \delta \cdot \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r \cdot \delta}}\right)$
- E_0 = Çarpma ile iyonlaşmanın başladığı gerilime (U_0) karşılık olan alan şiddetidir. (21,2 kV/cm)

KORONA ALAN ŞİDDETİ

- Demet iletkenli hatlarda, hattaki maksimum elektrik alan şiddeti;

$$E_{max} = \frac{U}{n.r.ln\left(\frac{a}{R_e}\right)} \cdot \left(1 + A \cdot \frac{2.r}{d}\right)$$

- Hava hatlarında koronanın başlamaması için bu değerin mümkün olduğunca düşük olması istenir. Emax'ın düşürülmesi için en uygun yol demet iletkenindeki iletkenler arası açıklığın (d) artırılmasıdır.

Açıklığın en uygun değeri ise,

- $\frac{\partial E_{max}}{\partial d} = 0$ eşitliğinden belirlenir. Burada bulunan açıklık, kritik açıklık (d_{kr}) olarak isimlendirilir. Demet iletkenlerdeki kritik açıklık genel olarak 20 – 40 cm aralığında değişmektedir.

KORONA KAYBI HESABI İÇİN PEEK VE PETERSON FORMÜLLERİ

1 fazlı hat için korona kaybına ait Peek formülü:

$$P_{fk} = \frac{(U_f - U_{f0})^2}{R_k}$$

3 fazlı hat için korona kaybına ait Peek formülü:

$$P_k = 3 * P_{fk} = 3 * \frac{(U_f - U_{f0})^2}{R_k}$$

Korona radyasyon direnci

$$R_k = \frac{\delta}{241} * \frac{1}{f + 25} * \sqrt{\frac{a}{r}} * 10^5 \text{ k}\Omega/\text{kn} \text{ —faz}$$

U_f : Faz-nötr gerilimi

U_{f0} : Çarpma ile iyonlaşmanın başladığı faz-nötr gerilimi (kV)

P_{fk} : Bir faza ait korona kaybı (kW/km-faz)

P_k : Üç faza ait korona kaybı (kW/km)

f : Frekans(Hz)

Hat uzunluğu ile çarpılarak hat için toplam korona kaybı bulunur. $P_T = P_k * l$

• (kW)

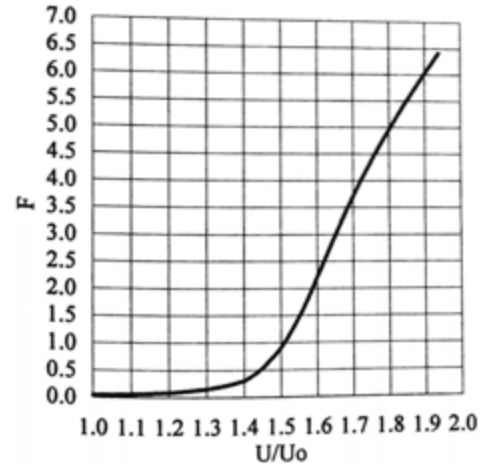
PETERSON FORMÜLÜ

$$U_0 = \sqrt{3} * E_0 * m * \delta^{\frac{2}{3}} * r * \ln\left(\frac{a}{r}\right)$$

$$P_k = F * \frac{2.1 * 10^{-5} * f * U^2}{\left[\ln\left(\frac{a}{r}\right)\right]^2}$$

$$\delta = 0.386 \frac{p}{273 + T_i}$$

T_i : İletken Sıcaklığı (°C)



- P: hava basıncı (mmHg)
- T: iletken yüzeyi sıcaklığı (°K)
- F, U/U0 oranına bağlı bir katsayı (Çizelgede mevcuttur.)

KAYNAKÇA

- «Çözümlü Problemlerle Yüksek Gerilim Tekniđi» Özcan Kalenderli, Celal Kocatepe, Oktay Arıkan, Birsen Yayınevi
- «High Voltage Engineering: Fundamentals» E. Kuffel, W. S. Zaengl, J. Kuffel, Elsevier Newnes publications
- IEEE/PES Berkshire Chapter, 30 Nisan 2015