

YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ

ELEKTRİK-ELEKTRONİK FAKÜLTESİ, ELEKTRİK MÜHENDİSİLİĞİ A.B.D.

“ ELEKTRİK ŞEBEKE KAYIPLARI ” DERSİ ÖRNEK SORULARI

SORU-1 300 km uzunluğunda, 154 kV, 50 Hz iik üç fazlı bir iletim hattında çelik özlü alüminyum iletkenlerin çapı 22 mm, iletkenlerin pürüzlülük katsayısı 0,8, fazlar arası açıklık 4 m’ dir. Hat boyunca ortalama hava sıcaklığı 27 °C, hava basıncı 750 mmHg’ dir. Bu koşullarda işletme geriliminin 1,5 katında toplam korona kaybını hesaplayınız.

ÇÖZÜM-1 İletken Yarıçapı, $r = 22/2 \text{ mm} = 11 \text{ mm} = 1,1 \text{ cm}$

Hava Sıcaklığı, $T = 273 + 27 = 300 \text{ °K}$

Bağıl hava yoğunluğu, $\delta = 0,386 * p/T = 0,386 * 750 / 300 = 0,965$

Hattın korona başlangıç gerilimi;

$$U_0 = 21,2 * \delta * r * m * \ln(a/r) = 21,2 * 0,965 * 1,1 * 0,8 * \ln(400/1,1) = 106,15 \text{ kV}$$

Faz – Toprak arası gerilimi olarak işletme gerilimi $U = 154 / \sqrt{3} = 88,9 \text{ kV}$

Bu gerilimin 1,5 katı, $1,5 * 88,9 = 133,35 \text{ Kv}$ olur.

Bu gerilimde bir fazın kilometresi başına korona kaybı;

$$P_k = \frac{241}{\delta} (f + 25) \sqrt{\frac{r}{a}} (U - U_0)^2 * 10^{-5} \text{ kW / km / faz}$$

$$P_k = \frac{241}{0,965} (50 + 25) \sqrt{\frac{1,1}{400}} (133,35 - 106,15)^2 * 10^{-5} \text{ kW / km / faz} = 7,27 \text{ kW / km / faz}$$

Toplam korona kaybı, $P_k = 3 * P_k * l = 3 * 7,27 * 300 = 6,543 \text{ MW}$

SORU-2 400 kV’ luk, 3 fazlı, 300 km uzunluğunda bir enerji iletim hattında çapı 28 mm, 3 katlı 54 damarlı çelik özlü alüminyum iletken kullanılmıştır. Hat boyunca ortalama hava basıncı 750 mmHg, ortam sıcaklığı 20 °C, iletken yüzeyi sıcaklığı 75 °C, iletkenler arası geometrik uzaklık 12 m ve iletkenin pürüzlülük faktörü 0,98’ dir. Havanın delinme elektrik alan şiddeti $E_0 = 21,2 \text{ kV}_{ef} / \text{cm}'$ dir.

a) Bu yüksek gerilim hattının korona gerilimini ve korona başlangıç (kritik korona) gerilimini hesaplayınız.

b) Hattın işletme gerilimindeki korona kaybını hesaplayınız.

ÇÖZÜM-2 a) İletken Yarıçapı, $r = 28/2 \text{ mm} = 14 \text{ mm} = 1,4 \text{ cm}$

54 damarlı çelik özlü alüminyum iletken için iletken yarıçapına göre geometrik ortalama yarıçapı gereken katsayı 0,810' dur. Buna göre iletkenin geometrik ortalama yarıçapı;

$$r' = 0,810 * r = 0,810 * 1,4 = 1,134 \text{ cm}$$

$$\text{Hava Sıcaklığı, } T = 273 + 20 = 293 \text{ °K}$$

$$\text{Bağlı hava yoğunluğu, } \delta = 0,386 * p/T = 0,386 * 750 / 293 = 0,988$$

Hattın korona gerilimi;

$$U_k = \sqrt{3} * E_0 * \delta * r * m * \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r * \delta}} \right) * \ln(a/r)$$

$$U_k = \sqrt{3} * 21,2 * 0,988 * 1,134 * 0,98 * \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{1,134 * 0,988}} \right) * \ln(1200/1,134)$$

$$U_k = 360 \text{ kV}$$

Kritik korona gerilimi;

$$U_0 = \frac{U_k}{\delta * \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{r * \delta}} \right)} = \frac{360}{0,988 * \left(1 + \frac{0,301}{\sqrt{1,134 * 0,988}} \right)} = 284 \text{ kV}$$

b) Peek Formülü ile Hesap:

Hattın korona radyasyon direnci;

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

$$R_k = \frac{0,988}{241} * \frac{1}{50+25} * \sqrt{\frac{1200}{1,134}} * 10^5 = 177,8 \text{ [k}\Omega / \text{km - faz]}$$

Korona kaybı;

$$P_k = l * \frac{(U - U_0)^2}{R_k} =$$

$$P_k = 300 * \frac{(400 - 284)^2}{177,8} = 22,7 \text{ MW}$$

Peterson Formülü ile Hesap:

Hava Sıcaklığı, T = 273 + 75 = 348 °K

Bağıl hava yoğunluğu; $\delta = 0,386 * p/T = 0,386 * 750 / 348 = 0,831$

Kritik korona gerilimi;

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

$$U_0 = \sqrt{3} * 21,2 * 0,831^{2/3} * 1,134 * 0,98 * \ln(1200/1,134) = 251 \text{ kV}$$

$$U / U_0 = 400 / 251 = 1,59$$

Korona Kaybı;

Peterson' a göre U/U₀ oranı için F katsayısı değeri 2,04' dir.

$$P_k = F * l * \frac{2,1 * 10^{-5} * f * U^2}{[\log(\frac{a}{r})]^2} = 2,04 * 300 * \frac{2,1 * 10^{-5} * 50 * 400^2}{[\log(\frac{1200}{1,134})]^2} = 11,2 \text{ kW}$$

SORU-3 40 MVA gücündeki 33 kV' luk bir şebekeyi besleyen bir transformatörün bağıl kısa devre gerilimi %10, çevirme oranı 33/10,5 ve sargılarının reaktansı faz başına 2,6 ohm' dur. Nominal işletmedeki transformatörün toplam bakır kaybını hesaplayınız.

ÇÖZÜM-3 Transformatör sargılarının empedansı ve omik direnci;

$$Z_{Tr} = \frac{U_k * U_{nTr}^2}{S_n} = \frac{0,10 * 33^2}{400} = 2,72 \Omega$$

$$R_{Tr} = \sqrt{Z^2 - X^2} = \sqrt{2,72^2 - 2,6^2} = 0,8 \Omega$$

Transformatörün nominal akımı;

$$I_n = \frac{S_{nTr}}{\sqrt{3} * U_{nTr}} = \frac{40 * 10^6}{\sqrt{3} * 33 * 10^3} = 700 \text{ A}$$

Nominal işletme bakır kayıpları;

$$P_{cu} = 3 * R * I^2 = 3 * 0,8 * 700^2 = 1,176 \text{ MW}$$

SORU-4 34,5 kV Hakkâri Elektrik şebekesi üç kurşun kılıflı kablo olup uzunluğu ve kullanılan iletken kesitleri 50 mm² için 15,7 km, 95 mm² için 58,8 km, 150 mm² için 53,5 km değerlerindedir. Şebeke yılda 8520 saat hizmet verdiği göre Dielektrik enerji kaybını hesaplayınız. (tanδ =0,01)

ÇÖZÜM-4

50 mm² Cu için $C_i = 0,22 \mu\text{F} / \text{km}$;

Yük akımı;

$$I_c = 181 * U * C_i * l * 10^{-6} = 181 * 34500 * 0,22 * 15,7 * 10^{-6} = 21,56 \text{ A}$$

Yük Gücü;

$$Q_c = \sqrt{3} * U * I_c * 10^{-3} = \sqrt{3} * 34500 * 21,56 * 10^{-3} = 1286,80 \text{ kVAr}$$

Dielektrik Kayıp Gücü;

$$P_\delta = Q_c * \tan\delta = 1286,80 * 0,01 = 12,8680 \text{ kW}$$

Dielektrik kayıp enerjisi;

$$W_{k\delta 1} = P_\delta * T = 12,8680 * 8520 = 109635,36 \text{ kWh olur.}$$

95 mm² Cu için $C_i = 0,28 \mu\text{F} / \text{km}$;

Yük akımı;

$$I_c = 181 * U * C_i * l * 10^{-6} = 181 * 34500 * 0,28 * 58,8 * 10^{-6} = 102,80 \text{ A}$$

Yük Gücü;

$$Q_c = \sqrt{3} * U * I_c * 10^{-3} = \sqrt{3} * 34500 * 102,80 * 10^{-3} = 6135,61 \text{ kVAr}$$

Dielektrik Kayıp Gücü;

$$P_\delta = Q_c * \tan\delta = 6135,61 * 0,01 = 61,3561 \text{ kW}$$

Dielektrik kayıp enerjisi;

$$W_{k\delta} = P_\delta * T = 61,3561 * 8520 = 522754,65 \text{ kWh olur.}$$

150 mm² Cu için $C_i = 0,32 \mu\text{F} / \text{km}$;

Yük akımı;

$$I_c = 181 * U * C_i * l * 10^{-6} = 181 * 34500 * 0,32 * 53,5 * 10^{-6} = 106,90 \text{ A}$$

Yük Gücü;

$$Q_c = \sqrt{3} * U * I_c * 10^{-3} = \sqrt{3} * 34500 * 106,90 * 10^{-3} = 6380,32 \text{ kVAr}$$

Dielektrik Kayıp Gücü;

$$P_\delta = Q_c * \tan\delta = 6380,32 * 0,01 = 63,8032 \text{ kW}$$

Dielektrik kayıp enerjisi;

$$W_{k\delta 1} = P_{\delta} * T = 63,8032 * 8520 = 543603,26 \text{ kWh olur.}$$

SORU-5 173 kW'lık bir güç 10 km uzağa taşınacaktır. İletim hattının faz başına direnci 0.2 ohm/km'dir. Cos $\varphi=1$ alarak hattaki güç kaybını 1 kV, 5 kV ve 10 kV' luk iletim gerilim değerleri için hesaplayınız.

ÇÖZÜM-5

• 1 kV için;

$$I_1 = 173 * 10^3 / \sqrt{3} * 1 * 10^3 = 100 \text{ A}$$

$$P_k = 3 * I^2 * R = 3 * 100^2 * (0,2 * 10) = 60 \text{ kW}$$

• 5 kV için;

$$I_5 = 173 * 10^3 / \sqrt{3} * 5 * 10^3 = 20 \text{ A}$$

$$P_k = 3 * I^2 * R = 3 * 20^2 * (0,2 * 10) = 2,4 \text{ kW}$$

• 10 kV için;

$$I_{10} = 173 * 10^3 / \sqrt{3} * 10 * 10^3 = 10 \text{ A}$$

$$P_k = 3 * I^2 * R = 3 * 10^2 * (0,2 * 10) = 0,6 \text{ kW}$$

SORU-6 Bir iletim hattındaki toplam kayıp 4,8 MW' tır. Bu hatta eşdeğer yeni bir hat paralel bağlanmış ve yük akımı %50 artmış olsa yeni hat kayıpları kaç MW olur.

ÇÖZÜM-6

Hat kayıpları; $3 * I^2 * R$ ile hesaplanır.

Yeni hat inşası ile $R \rightarrow R / 2$ olur ve bu değere düşer.

Hat akımı % 50 (1,5 kat) artınca $(1,5 * I)^2 = 2,25 I^2$ olur.

Bu durumda yeni hat kayıpları;

$(4,8 * 2,25) / 2 = 5,40 \text{ MW}$ olur. Yani 0,6 MW artmış olur.

SORU-7 Güç faktörü $\cos\varphi=0,85$ olmak üzere maksimum 100 MVA' lık bir güç iletimi için tesis edilen enerji sisteminde iletim hattından maksimum 400 A çekilebilmektedir. İletim hattının uzunluğu 300 km olup kullanılan iletkenin akım yoğunluğu $j=0,5 \text{ A/mm}^2$ dir.

- Bu iletim sisteminin gerilimin belirleyiniz.
- İletim hattındaki kayıp gücü bulunuz.
- Standart gerilim için kayıp gücü hesaplayınız.

ÇÖZÜM-7

a) $S = \sqrt{3} * U * I$ bağıntısından hattın gerilimi;

$$U = \frac{100 * 10^6}{\sqrt{3} * 400} = 144,34 \text{ kV}$$

b) Kesiti S olan bir iletkenin akım ile akım yoğunluğu arasındaki ilişkidir hattın omik direnci;

$$I = j * S \Rightarrow S = I / J = 400 / 0,5 = 800 \text{ mm}^2$$

300 km uzunluğundaki iletkenin direnci;

$$R = \frac{l}{k * S} = \frac{300 * 10^3}{35 * 800} = 10,71 \Omega$$

Üç fazlı devrede kayıp güç (joule kaybı);

$$\Delta P = 3 * R * I^2 = 3 * 10,71 * 400^2 = 5,14 * 10^6 \text{ W}$$

c) Standart gerilim olarak en yakın bir üst standart gerilim değeri alını . U = 154 kV için akım değeri;

$$I = \frac{100 * 10^6}{\sqrt{3} * 154 * 10^3} = 374,9 \text{ A}$$

İletken kesiti;

$$S = I / J = 374,9 / 0,5 = 750 \text{ mm}^2$$

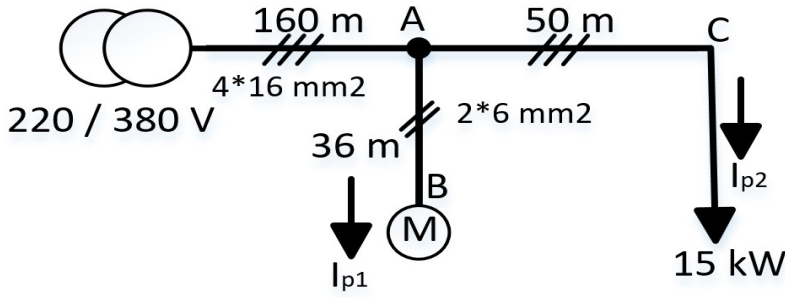
İletken direnci;

$$R = \frac{l}{k * S} = \frac{300 * 10^3}{35 * 750} = 11,43 \Omega$$

Kayıp güç;

$$\Delta P = 3 * R * I^2 = 3 * 11,43 * 374,9^2 = 4,82 * 10^6 \text{ W}$$

SORU-8 Bir alçak gerilim şebekesinde 220/380 V nominal geriliminde bir transformatör postasından çıkan 4*16 mm² lik üç fazlı bir besleme hattı üzerinde transformatörden 160 m uzaklıktaki bir branşman noktasından ayrılan 2*6 mm² lik 36 m. uzunluğundaki bir fazlı bir hattın sonunda 220 V., 12 A., 2,5 Hp, cosφ= 0,83 ve η=0,84 plaka değerlerine sahip bir motor bağlıdır. Şebeke üzerinden çekilen diğer güçler aşağıdaki şekilde belirtilmiştir. Hattın iletkeni bakır olduğuna göre motorun ucundaki gerilim düşümünü hesaplayınız.



ÇÖZÜM-8

$$P_m = 2,5 \text{ PS ise } 2,5 / 1,36 = 1,837 \text{ kW}$$

$$P_e = \frac{P_m}{\eta} = \frac{1,837}{0,84} = 2,2 \text{ kW ya da (Motor etiketinde çıkış-mekanik güç verilir)}$$

$$P_e = U * I * \cos\varphi = 220 * I * 0,83 = 2,2 \text{ kW olur.}$$

$$I_{p1} = I * \cos\varphi = 12 * 0,83 = 10 \text{ A (1. Yük için Aktif Bileşen)}$$

$$I_{p2} = \frac{15 * 10^3}{\sqrt{3} * 380} = 22,8 \text{ A (2. Yük için Aktif Bileşen)}$$

$$\Delta_{UB} = \Delta_{UA} + \Delta_{UAB} \text{ (Trafodan (U) B noktasına kadar olan kısmın gerilim düşümü)}$$

$$\Delta_{UA1} = \frac{2 * I_{p1} * 160}{56 * 16} = 3,57 \text{ V}$$

$$\Delta_{UA2} = \frac{I_{p2} * 160}{56 * 16} = 4,07 \text{ V}$$

$$\Delta_{UA} = \Delta_{UA1} + \Delta_{UA2} = 3,57 + 4,07 = 7,64 \text{ V}$$

$$\Delta_{UAB} = \frac{2 * 10 * 36}{56 * 6} = 2,14 \text{ V}$$

$$\Delta_{UB} = 7,64 + 2,14 = 9,78 \text{ V}$$

Gerilim düşümü;

$$\varepsilon_B = \frac{9,78}{220} * 100 = \%4,45 \text{ olur.}$$

SORU-9 Nominal işletme gerilimi 60 kV olan üç fazlı bir besleme hattının sonunda 60 kV altında ve $\cos\varphi = 0,8$ ile 8 MW çekilmektedir. Hattın uzunluğu 65,4 km olup kesit $3*95 \text{ mm}^2$ alüminyum iletkenidir. Hattın reaktif direnci $0,41 \Omega /\text{km}$ ve iletkenin öz iletkenlik katsayısı $34,2 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ dir.

- Hat üzerindeki gerilim düşümünü, hat başındaki gerilimi ve hat başındaki gerilime göre % cinsinden gerilim düşümünü hesaplayınız.
- Hat üzerindeki kayıpları hesaplayınız.
- Hatta ait verimi hesaplayınız.

ÇÖZÜM-9

a)

$$U_2 = \frac{60}{\sqrt{3}} = 34,6 \text{ kV}$$

$$I_p = \frac{8 * 10^6}{\sqrt{3} * 60 * 10^3} = 77 \text{ A (Aktif Bileşen=I*cosfi)}$$

$$I_q = \frac{77}{0,8} * 0,6 = 57,8 \text{ A (sinfi=0.6)}$$

$$R = \frac{65400}{34,2 * 95} = 20,1 \Omega$$

$$X = 65,4 * 0,41 = 26,8 \Omega$$

$$\Delta U = I_p * R + I_q * X = 77 * 20,1 + 57,8 * 26,8 = 3,1 \text{ kV}$$

$$U_1 = U_2 + \Delta U = 34,6 + 3,1 = 37,7 \text{ kV}$$

$$U_{1\Delta} = 60 + \sqrt{3} * 3,1 = 65,3 \text{ kV (Hatbaşı fazlar arası gerilim)}$$

$$\varepsilon_B = \frac{3100}{37,7 * 10^3} * 100 = \%8,22$$

$$b) P_z = 3 * I^2 * R = 3 \left(\frac{77}{0,8}\right)^2 * 20,1 * 10^{-3} = 555 \text{ kW}$$

$$c) P_1 = P_2 + P_z = 8,555 \text{ MW}$$

$$\eta = \frac{P_2}{P_1} = \frac{8}{8,555} * 100 = \%93,5$$

SORU-10 40 MVA gücünde 33 kV' luk bir şebekeyi besleyen bir transformatörün bağlı kısa devre gerilimi % 10, çevirme oranı 33 / 10,5 ve sargılarının reaktansı faz başına 2,6 ohm' dur. Nominal işletmede transformatörün toplam bakır kayıplarını hesaplayınız.

ÇÖZÜM-10

Transformatör sargılarının empedansı ve omik direnci;

$$Z_{Tr} = \frac{u_k * U_{nTr}^2}{S_{nTr}} = \frac{0,10 * 33^2}{400} = 2,72 \Omega$$

$$R_{Tr} = \sqrt{Z^2 - X^2} = \sqrt{(2,72)^2 - (2,6)^2} = 0,8 \Omega$$

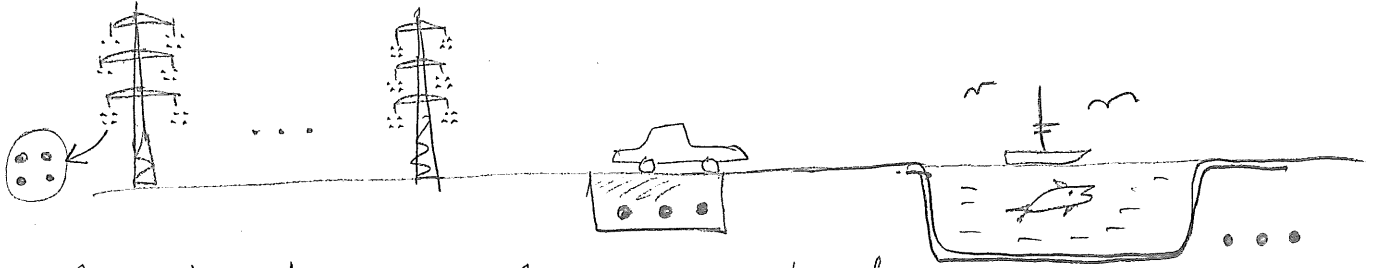
Transformatörün nominal akımı;

$$I_n = \frac{S_{nTr}}{\sqrt{3} * U_{nTr}} = \frac{40 * 10^6}{\sqrt{3} * 33 * 10^3} = 700 \text{ A}$$

Nominal işletmede bakır kayıpları;

$$P_{cu} = 3 * R * I^2 = 3 * 0,8 * 700^2 = 1176000 \text{ W} = 1,176 \text{ MW}$$

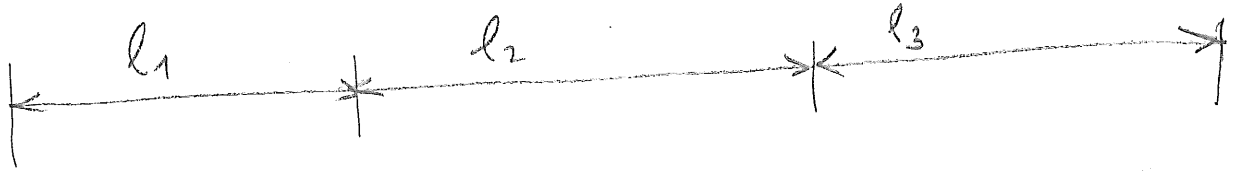
1



$l_1 = 26$ km hava hattı 954 MCM

$l_2 = 6$ km telekablolu XLPE kablo 2000 mm^2 -Cu

$l_3 = 8$ km telekablolu XLPE Denizaltı kablo 1600 mm^2 -Cu



$I = 800$ A için bu sistemde oluşan kayıp gücü bulunuz. (Kapasite akımları ihmal edilecektir. Deri etkisi %5 kabul edilecektir. σ_2 iletkenlik katsayısı; bakır için $56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ ve alüminyum için $35 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$ alınacaktır. $1 \text{ MCM} = 0.5067 \text{ mm}^2$ dir.)

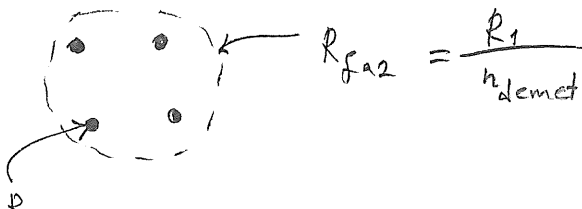
$$R_{AC} = (1 + 0.05) R_{DC} = 1.05 R_{DC} \quad ; \quad R_{AC} > R_{DC} \text{ deri etkisi nedeniyle.}$$

$$R_1 = \frac{l_1}{k_{AL} \times I_{AL}} \quad ; \quad I_{AL} = 954 \text{ (MCM)} \times (0.5067 \text{ mm}^2/\text{MCM}) = 483.4 \text{ mm}^2$$

$$R_1 = \frac{26 \times 10^3 \text{ (m)}}{35 \times 483.4} (1.05) \approx 1.6136 \quad \Omega$$

Bu, bir ACSR iletkenin direncidir. 4'lü demet (4B) oluşuna göre bir fazın direnci

$$R_{faz} = \frac{1.6136}{4} = 0.4034 \quad \Omega/\text{faz} \text{ olur.}$$



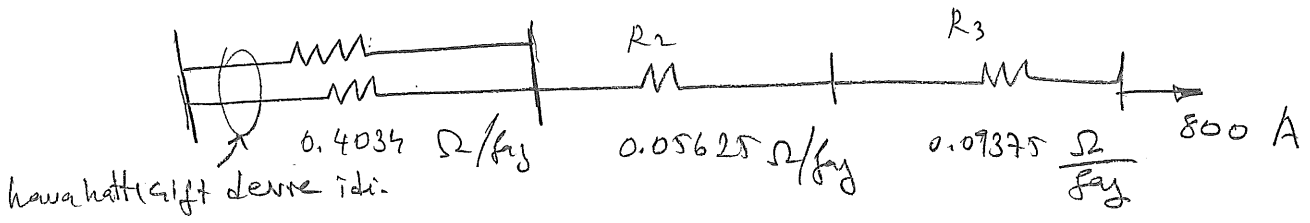
$$R_2 = \frac{l_2}{k_{cu} \times q_{cu}} \quad ; \quad R_2 = \frac{6 \times 10^3}{56 \times 2000} (1+0.05)$$

$$= 0.05625 \quad \Omega/\text{faz}$$

$$R_3 = \frac{l_3}{k_{cu} \times q_{cu}} \quad ; \quad R_3 = \frac{8 \times 10^3}{56 \times 1600} (1+0.05)$$

$$= 0.09375 \quad \Omega/\text{faz}$$

Şönt alüminyum ihmal edildiğine göre alüminyum yolları "seri" devredir.



$$P_{\text{kayıp}} = 3 \sum R I^2 \quad \text{idi.}$$

$$= 3 \left[\frac{0.4034}{2} + 0.05625 + 0.09375 \right] \times 800^2$$

$$= 675264 \quad \text{watt}$$

$$= 675.3 \quad \text{kW}$$

$$= 0.675 \quad \text{MW}$$

$U=400$ kV için "dielektrik kayıpları" 0.1 kW/km olduğuna göre, gönder $U'=390$ kV olduğunda ve gece $U''=415$ kV olduğunda XLPE kablunun dielektrik kayıpları ne olur?

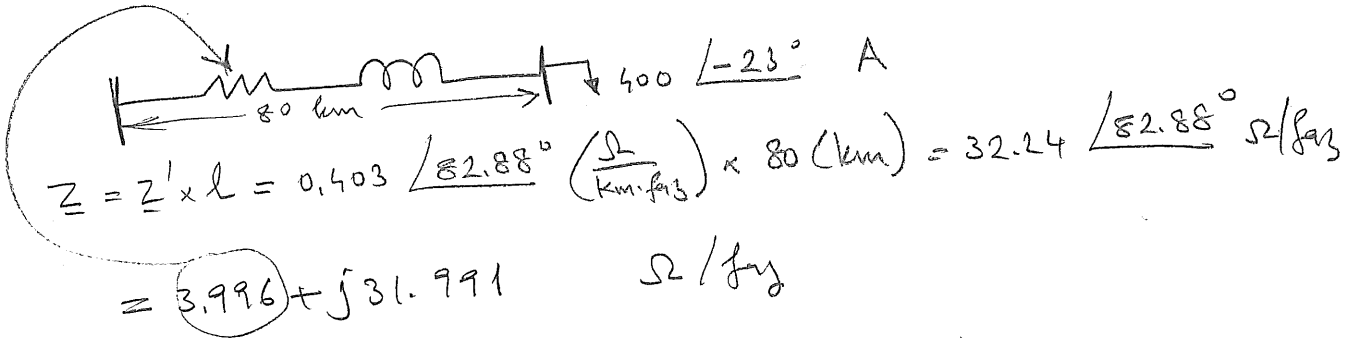
$P_{\text{dielektrik}} \Rightarrow U^2$ ile orantılıdır. O halde

$$\text{Gönder} \rightarrow 0.1 \left(\frac{\text{kW}}{\text{km}} \right) \times \left(\frac{390}{400} \right)^2 = 0.095 \quad \text{kW/km}$$

$$\text{Gece} \rightarrow 0.1 \left(\frac{\text{kW}}{\text{km}} \right) \times \left(\frac{415}{400} \right)^2 = 0.1076 \quad "$$

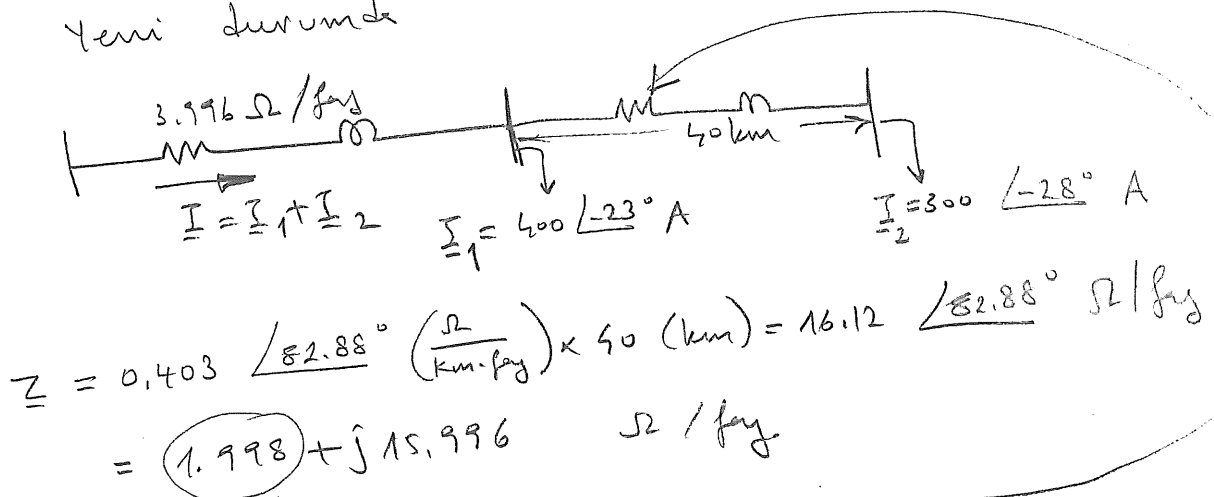
2

80 km uzunluğunda ve empedansı $0.403 \angle 82.88^\circ \Omega/\text{km}\cdot\text{faz}$ olan iletim hattının sonundan $400 \angle -23^\circ$ A akımı çekilmektedir. Bir süre sonra bu iletim hattı 40 km daha uzatılmış ve uçundan $300 \angle -28^\circ$ A çekilmeye başlanmıştır. iletim hattının uzatılması sonucu kayıp gözte % kaç artış olmuştur?


$$\underline{Z} = \underline{Z}' \times l = 0.403 \angle 82.88^\circ \left(\frac{\Omega}{\text{km}\cdot\text{faz}} \right) \times 80 (\text{km}) = 32.24 \angle 82.88^\circ \Omega/\text{faz}$$
$$= 3.996 + j31.991 \quad \Omega/\text{faz}$$

$$P_{\text{kayıp}} = 3 \times 3.996 \times 400^2 = 1918080 \text{ W}$$
$$\approx 1918 \text{ kW}$$

Yeni durumda


$$\underline{Z} = 0.403 \angle 82.88^\circ \left(\frac{\Omega}{\text{km}\cdot\text{faz}} \right) \times 40 (\text{km}) = 16.12 \angle 82.88^\circ \Omega/\text{faz}$$
$$= 1.998 + j15.996 \quad \Omega/\text{faz}$$

$$\underline{I} = \underline{I}_1 + \underline{I}_2 = 400 \angle -23^\circ + 300 \angle -28^\circ$$
$$= (368.2 - j156.3) + (264.9 - j140.8)$$
$$= 633.1 - j297.1 \quad \text{A}$$
$$= 699.3 \angle -25.1^\circ \quad \text{A}$$

Yeni durumda kayıplar

$$\begin{aligned}\Sigma P_{\text{kayıp}} &= 3 \times 3.996 \times 699.3^2 + 3 \times 1.998 \times 300^2 \\ &= 5862378 + 539460 \\ &= 6401838 \text{ W} \approx 6402 \text{ kW} \\ &= 6.4 \text{ MW}\end{aligned}$$

Kayıplardaki artış oranı

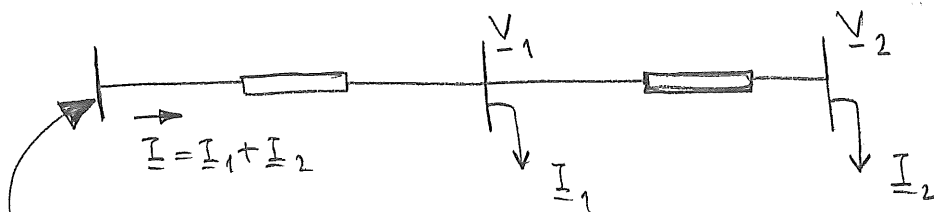
$$\frac{6402 \text{ (kW)}}{1918 \text{ (kW)}} - 1 = \%2.34 ;$$

veya $\frac{6402}{1918} = 3.34$ kat

Yeni durumda sistemdeki "reaktif kayıplar" ise

$$\begin{aligned}\Sigma Q_{\text{kayıp}} &= \left[3 \times 31.991 \times 699.3^2 + 3 \times 15.996 \times 300^2 \right] \times 10^{-6} \\ &= [46.93 + 4.32] = 51.25 \text{ MVar} \quad \text{bulunur.}\end{aligned}$$

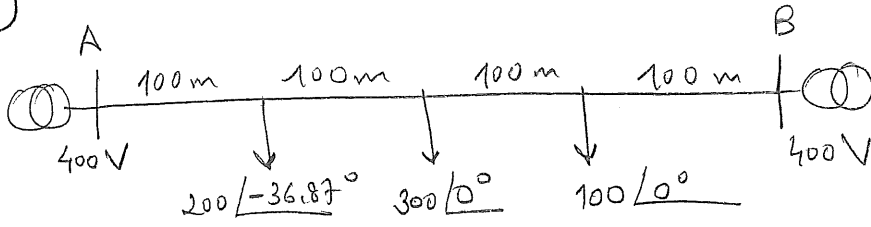
$$\Sigma Q_{\text{kayıp}} = 3 \times I^2 \quad \text{idi} \quad X = \text{Imajiner } \{ Z \}$$



$$\underline{S} = 3 \underline{V} \underline{I}^* = 3 \underline{V}_1 \underline{I}_1^* + 3 \underline{V}_2 \underline{I}_2^* + \Sigma P_{\text{kayıp}} + j \Sigma Q_{\text{kayıp}}$$

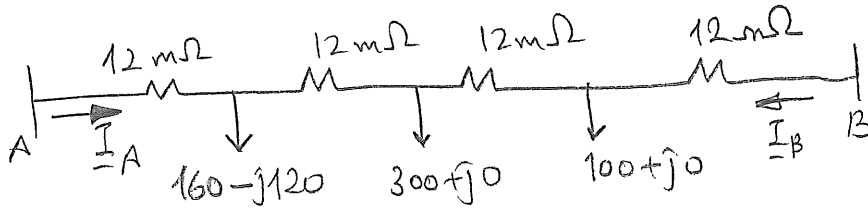
Tellegen / Boucherot teoremi

3



B bara geriliminin 390 V olması, fiderdeki kayıpların % kaç değişmesine yol açar? ($R' = 0.12 \text{ m}\Omega / \text{m. faz}$).

Önce $U_A = U_B = 400 \text{ V}$ iken fider kayıplarını bulalım. Bunun için fiderdeki akım dağılımını gerçekleştirelim.



$0.12 \left(\frac{\text{m}\Omega}{\text{m}} \right) \times 100 \text{ (m)} = 12 \text{ m}\Omega / \text{faz}$; Moment alırsak

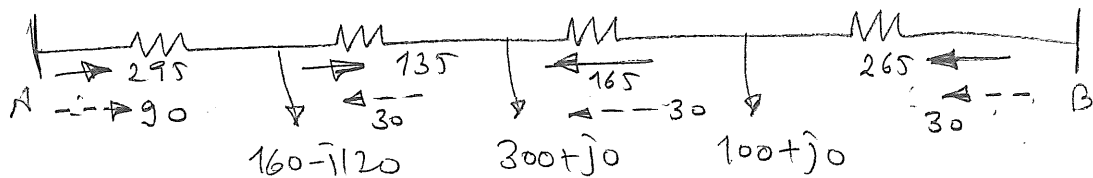
$$I_A = \frac{(160 - j120) \times 36 + (300 + j0) \times 24 + (100 + j0) \times 12}{12 + 12 + 12 + 12}$$

$$= \frac{5760 - j4320 + 7200 + 1200}{48} = 295 - j90$$

$$I_B = \frac{(160 - j120) \times 12 + (300 + j0) \times 24 + (100 + j0) \times 36}{12 + 12 + 12 + 12}$$

$$= \frac{1920 - j1440 + 7200 + 3600}{48} = 265 - j30 \text{ A}$$

veya $I_B = \sum I - I_A = (160 - j120 + 300 + 100) - (295 - j90) = 265 - j30$



Akımın gerçel ve sanal bileşenlerini, sırasıyla \rightarrow ve \dashrightarrow ile gösterdik; Kirchhoff'un akım kanunu yardımıyla akım dağılımını elde ettik. Artık kayıpları bulabiliriz:

$$P_{\text{kayıp}} = 3 R I^2 \quad I = \text{efektif akım} = \sqrt{I_{\text{gerçel}}^2 + I_{\text{sanal}}^2}$$

$$P_{\text{kayıp}} = 3 \left[\frac{12 \times 10^{-3}}{(\Omega)} \cdot (\sqrt{295^2 + 90^2})^2 + 12 \times 10^{-3} (\sqrt{135^2 + 30^2})^2 + 12 \times 10^{-3} (\sqrt{165^2 + 30^2})^2 + 12 \times 10^{-3} (\sqrt{265^2 + 30^2})^2 \right]$$

$$= 3 [1141.5 + 229.5 + 337.5 + 853.5]$$

$$= 7686 \text{ W}$$

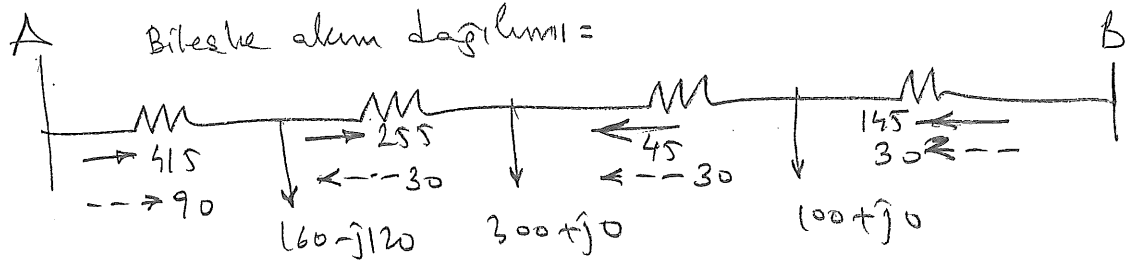
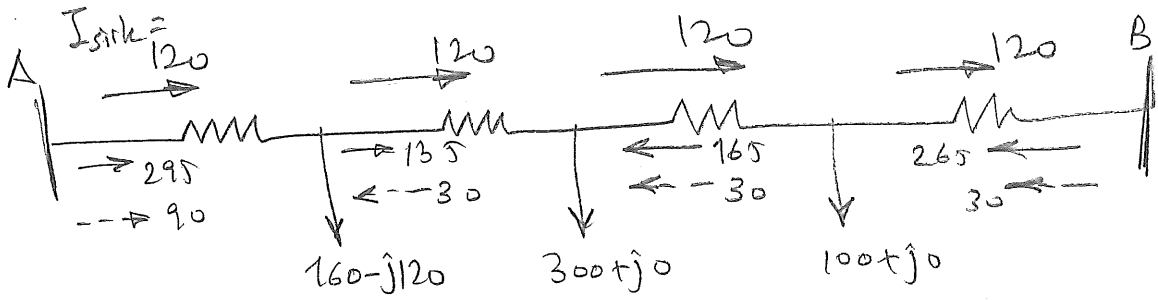
$U_A = 400 \text{ V}$, $U_B = 390 \text{ V}$ iken; $U_A > U_B$ olduğundan, zehiren yüklerin yansıma A'dan B'ye doğru bir sirkülasyon akımı akar.

Bu akımın değeri

$$I_{\text{sirk}} = \frac{(U_A - U_B) / \sqrt{3}}{R_{A-B}} = \frac{(400 - 390) / \sqrt{3}}{0.12 \left(\frac{\text{m}\Omega}{\text{m}\cdot\text{km}} \right) \times 400 (\text{km})}$$

$$= \frac{10 / \sqrt{3} \text{ (volt)}}{48 \times 10^{-3} \text{ } (\Omega/\text{km})} \approx 120 \text{ A}$$

Superpozisyon teoremi yardımıyla akım dağılımını yeniden bulalım:



$$P_{\text{kayıp}}' = 3 \left[12 \times 10^{-3} (\sqrt{415^2 + 90^2})^2 + 12 \times 10^{-3} (\sqrt{255^2 + 30^2})^2 + 12 \times 10^{-3} (\sqrt{45^2 + 30^2})^2 + 12 \times 10^{-3} (\sqrt{145^2 + 30^2})^2 \right]$$

$$= 3 \left[2163.9 + 791.1 + 35.1 + 263.1 \right]$$

$$= 9759.6 \text{ W}$$

$U_A \neq U_B$ olmaması halinde fider kayıpları

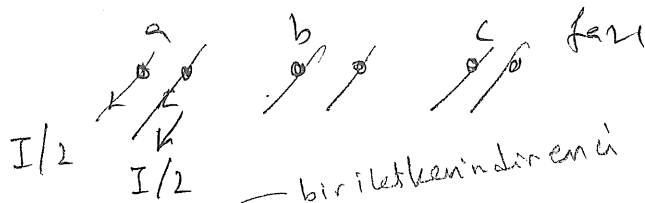
$$\frac{9759.6}{7686} - 1 \approx 0,27 ; \quad \%27 \text{ artmış olur.}$$

①

Bir iletim hattı 2'li demet iletkenlidir ve hat kayıpları 2.9 MW'dır.

Bu hat 6'lı demet iletkenli olsaydı hat kayıpları ne olurdu?

(Hat uzunluğu, iletken ve yük akımı değişmiyor.)



$$3 \left[R \left(\frac{I}{2} \right)^2 + R \left(\frac{I}{2} \right)^2 \right] = 2.9 \text{ MW}$$

$1.5 R I^2$



$$3 \left[R \left(\frac{I}{6} \right)^2 + R \left(\frac{I}{6} \right)^2 + R \left(\frac{I}{6} \right)^2 + R \left(\frac{I}{6} \right)^2 + R \left(\frac{I}{6} \right)^2 + R \left(\frac{I}{6} \right)^2 + R \left(\frac{I}{6} \right)^2 \right]$$

$0.5 R I^2$

$$1.5 R I^2 \longrightarrow 2.9 \text{ MW ise}$$

$$0.5 R I^2 \longrightarrow 0.967 \text{ MW olur.}$$

②

Bir iletim hattından 138 kV altında $\cos\phi = 0,866$
20 MW'lık güç çekilecektir. (end)

Hattın direnci $0,7 \Omega/\text{km. far}$ olacaktır. Eğer

hat kayıplarının $\leq 5\% \times 20 = 1 \text{ MW}$ olması

isteniyorsa, hattın uzunluğu en çok
kaç km olabilir?

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} U \cos\phi} = \frac{20 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 138 \times 0,866} = 96,62 \text{ A}$$

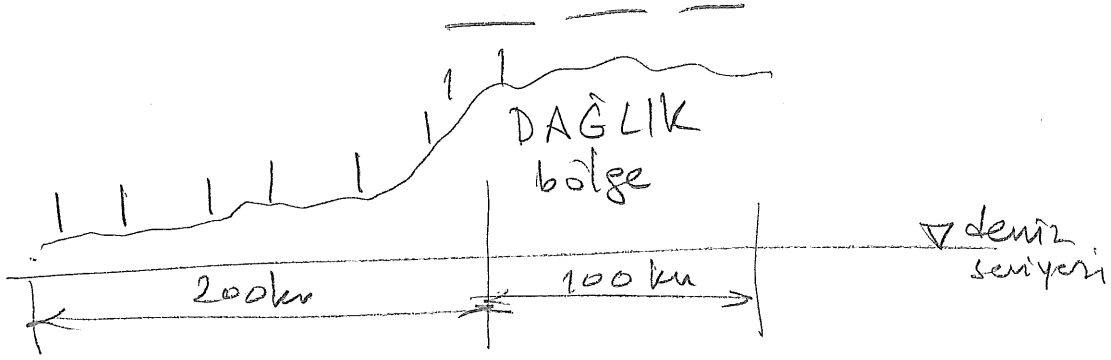
$$P_{\text{kayıp}} = 3 R I^2$$

$$10^6 \text{ (watt)} = 3 \times \left[0,7 \frac{\Omega}{\text{km. far}} \times l \text{ (km)} \right] \times 96,62^2$$

$$10^6 = 19604,4 l \quad ; \quad l = 51 \text{ km}$$

3

400 kV luk 300 km uzunluğundaki iletim hattının 100 km'sinde korona kayıpları 6 kW/km, diğer bölümünde ise 3 kW/km'dir. Hattın ortalama korona kayıplarını bulunuz.



$$\frac{100 \text{ (km)} \times 6 \left(\frac{\text{kW}}{\text{km}} \right) + 200 \text{ (km)} \times 3 \left(\frac{\text{kW}}{\text{km}} \right)}{300 \text{ (km)}}$$

$$= 4 \frac{\text{kW}}{\text{km}} \quad ; \quad 4 \left(\frac{\text{kW}}{\text{km}} \right) \times 300 \text{ (km)} = 1200 \text{ kW} \\ = 1.2 \text{ MW}$$

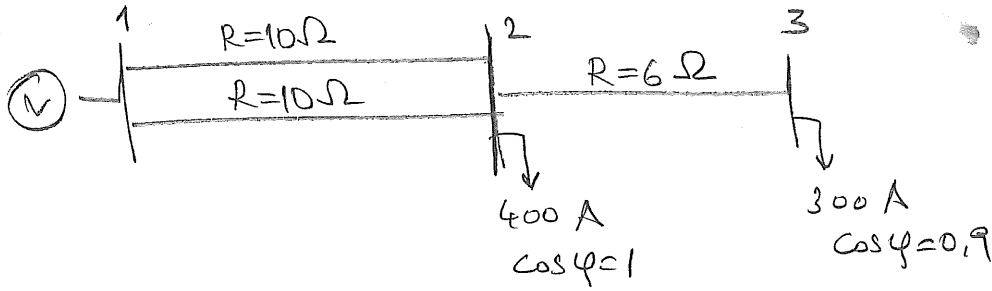
$$= \frac{4}{3} = 1.33 \frac{\text{kW}}{\text{km. faz}}$$

Hat çift devreli olsaydı

$$= 2 \times 4 = 8 \frac{\text{kW}}{\text{km}} \quad \text{olurdu.}$$

4

Şekildeki enerji sistemindeki güçte (hat) kayıp oranını bulunuz.

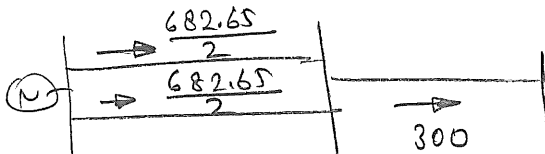


2 bareden sonra sekilen toplam akım (Kirchhoff);

$$(400 + j0) + 300(0.9 - j0.436) = 670 - j130.8 \text{ A}$$

$$\text{efektif akım} = \sqrt{670^2 + 130.8^2} = 682.65 \text{ A}$$

0 halde sistemdeki toplam kayıp

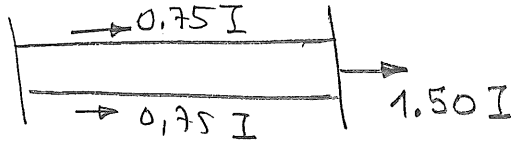
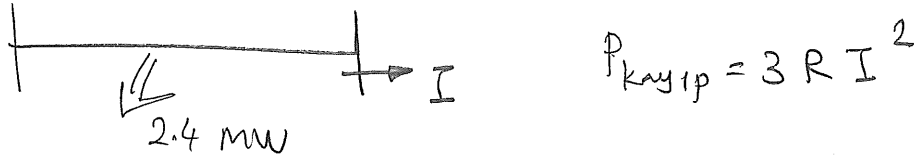


$$\Rightarrow 3 \left[10 \left(\frac{682.65}{2} \right)^2 + 10 \left(\frac{682.65}{2} \right)^2 + 6 \times 300^2 \right] \times 10^{-6}$$

(faz) (R)

$$= 8.61 \text{ MW}$$

- 5) Bir iletim hattındaki toplam kayıp 2.4 MW'dır. Bu hatte esdeğer yeni hat paralel bağlanmış ve yük akımı da %50 artmış olursa, yeni hat kayıpları kaç MW olur?



$$3RI^2 \longrightarrow 2.4 \text{ MW ise}$$

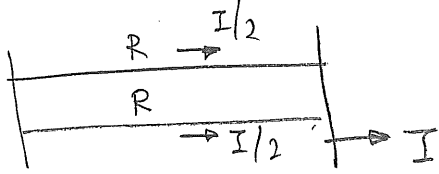
$$\underbrace{3R(0.75I)^2 + 3R(0.75I)^2}_{3.375RI^2} \longrightarrow ?$$

$$3RI^2 \longrightarrow 2.4 \text{ MW ise}$$

$$3.375RI^2 \longrightarrow$$

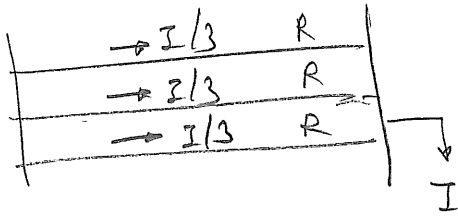
$$\text{Yeni kayıp} \Rightarrow 2.4 \left(\frac{3.375RI^2}{3RI^2} \right) = 2.7 \text{ MW}$$

- 6) Gıft devreli iletim hatında oluşan toplam kayıp 2.4 MW'dur. Bu hat 09 devreli olsaydı toplam kayıp ne olurdu? (İletkenler ve yük aynı ayın üzerindedir.)



$$(F1) \quad 3 \left[R \left(\frac{I}{2} \right)^2 + R \left(\frac{I}{2} \right)^2 \right] = 2.4 \text{ MW}$$

$1.5 R I^2$



$$(F2) \quad 3 \left[R \left(\frac{I}{3} \right)^2 + R \left(\frac{I}{3} \right)^2 + R \left(\frac{I}{3} \right)^2 \right] = R I^2$$

$$1.5 R I^2 \longrightarrow 2.4 \text{ MW ise}$$

$$R I^2 \longrightarrow 1.6 \text{ MW bulunur.}$$

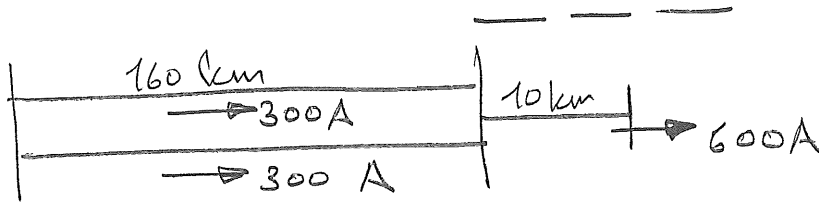
7

160 km uzunluğundaki çift devreli hava hattı 954 MCM kesitlidir. Bu hatla seri bağlı olan 10 km'lik XLPE yeraltı kablosu ise 1600 mm² Cu iletkenlidir.

(160+10) km'lik bu sistemden 600 A geldiğinde hat kayıplarını bulunuz.

(Öz iletkenlik katsayısı Al için 35 m/Ω·mm² ve Cu için 56 m/Ω·mm² alınacaktır.

Deri etkisi ihmal edilecektir. 1 MCM=0,5067 mm²)



$$\text{Hava hattı için } R = \frac{l}{k_{AL} \cdot I_{AL}} = \frac{1000 (=1 \text{ km})}{35 \times (954 \times 0,5067)} = 0,0591 \text{ } \Omega/\text{faz}$$

$$\text{Kablo için } R = \frac{l}{k_{Cu} \times I_{Cu}} = \frac{1000}{56 \times 1600} = 0,01116 \text{ } \Omega/\text{faz}$$

Sistemdeki toplam hat kayıpları

$$\left\{ \begin{array}{l} 2 \left[160 (\text{km}) \times 0,0591 \left(\frac{\Omega}{\text{km} \cdot \text{faz}} \right) \times 3 (\text{faz}) \times 300^2 \right] \\ + \left[10 (\text{km}) \times 0,01116 \left(\frac{\Omega}{\text{km} \cdot \text{faz}} \right) \times 3 (\text{faz}) \times 600^2 \right] \end{array} \right\} \times 10^{-6}$$

$$= 5,22 \text{ MW}$$

8

Bir üçgen trafosunun göcü 1600 kVA ve
bakır (sargı) kayıpları 100 kW' dir.

- (a) Trafo 1500 kVA ile yüklenirken,
(b) Trafo a fazından 500 kVA, b fazından 400 kVA
c fazından 600 kVA ile yüklenirken,
(c) Trafo nominal akımı ile yüklenirken ve
akımın THD'si de %10 iken,
(d) Trafo a fazından $0.95 I_N$, b fazından $0.92 I_N$
ve c fazından $1.05 I_N$ çekerken
(I_N nominal akım)

sargı kayıplarını bulunuz.

(a) $P_{cu} = P_{sargı} \rightarrow$ akımın, dolayısıyla göcün karresi
ile orantılıdır.

$$100 \text{ kW} \frac{1500^2}{1600^2} = 87.9 \text{ kW}$$

$$(b) \left(\frac{100}{3} \right) \times \left[\frac{500^2}{(1600/3)^2} + \frac{400^2}{(1600/3)^2} + \frac{600^2}{(1600/3)^2} \right]$$

Nominal sargı kaybı (kW/faz)

$$= \frac{100}{3} [0.1879 + 0.5626 + 1.265] =$$

$$= 90.22 \text{ kW}$$

$$(c) \quad I' = \sqrt{\underbrace{I_1^2}_{\text{semel biteren alumu}} + (0.10 I_1)^2} = 1.005 I_1$$

$$100 \text{ (kW)} \times \frac{(1.005 I_1)^2}{I_1^2} = 101 \text{ kW}$$

$$(d) \quad \frac{100}{3} \left[\frac{(0.95 I_N)^2}{I_N^2} + \frac{(0.92 I_N)^2}{I_N^2} + \frac{(1.05 I_N)^2}{I_N^2} \right]$$

$\frac{\text{kW}}{\text{faz}}$

$$= \frac{100}{3} [0.9025 + 0.8464 + 1.1025]$$

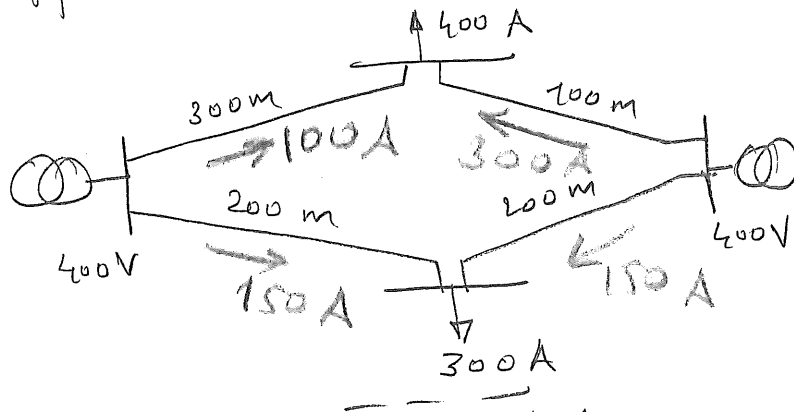
$$\approx 95.05 \text{ kW}$$

9

Selüldelü enerji dagılım sistemindelü hat kayıplarını bulunuz. Kesit $3 \times 120 \text{ mm}^2 - \text{Cu}$,

$$\cos \phi \approx 1$$

$$k_{\text{Cu}} = 56 \text{ m}/\Omega \cdot \text{mm}^2$$



Önce akım dagılımını bulalım.

$$400 \times \frac{100}{300+100} = 100 \text{ A}$$

$$300 \times \frac{200}{200+200} = 150 \text{ A}$$

$$P_{\text{kayıp}} = 3 R I^2 ; \sum_j \frac{l_j}{k_{\text{Cu}} \times 9} \times I_j^2$$

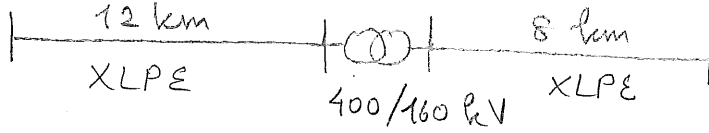
$$= 3 \times \frac{1}{56 \times 120} \left[300 \times 100^2 + 100 \times 300^2 + 200 \times 150^2 + 200 \times 150^2 \right] \times 10^{-3}$$

\downarrow
 kW kayıpları

$$= 3 \times \frac{1}{56 \times 120} \left[3 \times 10^6 + 9 \times 10^6 + 4.5 \times 10^6 + 4.5 \times 10^6 \right] \times 10^{-3}$$

$$= 9.375 \text{ kW}$$

10



Şekildeki kablo şebekesinde 8 km'lik kablunun nominal dielektrik kayıpları P_d (kW)'dir.

(a) Tüm kablo şebekesinin dielektrik kayıplarını P_d cinsinden ifade ediniz.

(b) Gece saatlerinde gerilim 170 kV'a yükseldiğine göre 8 km'lik kablunun yeni dielektrik kayıpları ne olur?

Dielektrik kayıpları gerilimin karesiyle orantılıdır, ve de kablunun uzunluğu ile orantılıdır. O halde

$$\begin{aligned} (a) \quad \sum P_d &= (P_d)_{400kV} + (P_d)_{160kV} \\ &= \frac{12 \text{ (km)}}{8 \text{ (km)}} \times \frac{400^2}{160^2} \times P_d + P_d \\ &= 10,375 P_d \quad \dots \text{ (kW)} \end{aligned}$$

(b) Gece saatlerinde 8 km'lik kablunun dielektrik kay.

$$\frac{170^2}{160^2} P_d = 1,129 P_d \quad \dots \text{ (kW)}$$

olur.

41

Bir rafineride bulunan bilyelik asenkron motorun (büyük pompa motorunun) nominal işletme büyüklükleri 1 MW, 10 kV, 1420 d/dak'dır. Bu işletme (nominal) işletme için sarji kayıpları P_{sarji} , demir (çosta) kayıpları P_{demir} ve sırtanme kayıpları P_{sart} ... (kW) olduğu biliniyor.

- (a) Motor %5'ö yekte çalışırken kayıplarını
(b) Motor %95 vs gerilimi ile çalışırken kayıplarını
(c) Motor 1200 d/dak ile çalışırken kayıplarını bulunuz.

$$\sum P_{\text{kayıp}} = P_{\text{sarji}} + P_{\text{demir}} + P_{\text{sart}}$$

$$(a) \sum P_{\text{kayıp}} = \left(\frac{(0.5 I_N)^2}{I_N^2} \right) \times P_{\text{sarji}} + P_{\text{demir}} + P_{\text{sart}}$$

$I_N = \text{Nominal akım}$ $\rightarrow 0.25$

$$(b) \sum P_{\text{kayıp}} = P_{\text{sarji}} + \left(\frac{(0.96 U_N)^2}{U_N^2} \right) \times P_{\text{demir}} + P_{\text{sart}}$$

$U_N = \text{Nominal gerilim}$ $\rightarrow 0.9216$

$$(c) \sum P_{\text{kayıp}} = P_{\text{sarji}} + P_{\text{demir}} + \left(\frac{(1200)^{1.6}}{(1420)^{1.6}} \right) P_{\text{sart}}$$

$\rightarrow 0.764$