Sare elektrikoen proiektuak

3. Aireko sareak. Kalkulu elektrikoa

3. Aireko sareak. Eroale baten kalkulu elektrikoa

3.1. Oinarrizko ezaugarriak

Eroalearen ezaugarri elektriko nagusiak hauek dira:

- Erresistentzia elektrikoa.....
- Autoindukzioa. Erreaktantzia .... } INPEDANTZIA

- Kapazitatea. Suszeptantzia.....
- Perditantzia edo nahi ez den konduktantzia..... } ADMITANTZIA (GALERAK)

3.1.1. Erresistentzia elektrikoa

Eroaleek erresistentzia elektrikoa dutenez, sare elektrikoetan energia-galerak sortzen dira. Erresistentzia sarearen luzeraren araberakoa denez, eroale mota bakoitzak kilometroko (R_k) duen erresistentzia elektrikoa jakinarazten du eroaleen ekoizleak.

R_k = km-ko erresistentzia elektrikoa (Ω/km)

3.1.2. Autoindukzioa. Erreaktantzia. Inpedantzia

Autoindukzioa

Eroale batetik pasatzen den korronte aldakorrak fluxu magnetikoa sortzen du inguruan. Fluxu magnetiko aldakorrak indar elektroeragileak sortzen ditu: : $e = - d\Phi/ dt$. Eroaleak berak inguruan sorturiko fluxu magnetiko hori erakarriko duenez, eroaletik igarotzen den intentsitateak indar elektroeragilea sortuko du eroalean bertan.

Bestalde, fluxu elektromagnetikoaren eta fluxu horrek berak sorturiko intentsitatearen arteko erlazioari autoindukzioa deitzen zaio. Autoindukzioaren formula hau da: $\Phi = L . i$.

Beraz, ondorioa: $e= - L di/dt$.

Fase bakoitzaren autoindukzio-balioa kalkulatzeko, formula hau erabiltzen da:

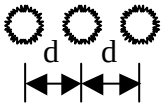
$$L = \left[\frac{\mu}{2n} + 4{,}6 \log \frac{GND}{GNR} \right] 10^{-4} \quad (H/km)$$

Formula horretan hauek ditugu: μ= eroalearen iragazkortasun magnetikoa (μ_{Kobre} =1)

n = fase bakoitzak duen eroale kopurua (eroale bakuna=1, eroale bikoitza=2, hirukoitza=3, etab.)

GND = eroaleen arteko batez besteko distantzia geometrikoa (mm)

$GND = (D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13})^{1/3}$ .....

Faseak ilaran izanez gero,... 

$\Rightarrow$ $GND=(d.d.2d)^{1/3} = d.(2)^{1/3}$]

GNR= batez besteko erradio geometrikoa

Fase bakunetan..... GNR = r

Fase bikoitz eta hirukoitzetan.....$GNR = [r \Delta^{n-1}]^{1/n}$

Fase laukoitzetan..... $GNR = [r \sqrt{2} \Delta^{3}]^{1/4}$

Δ = fase bereko eroaleen arteko distantzia

Erreaktantzia. Inpedantzia

Autoindukzioari dagokion erreaktantzia hau da:

$$X_k = \omega L_k \quad (\Omega/km)$$

Beraz, sarearen erresistentzia gehituta, sarearen inpedantzia kalkula daiteke:

$$Z_k = R_k + j X_k \quad (\Omega/km)$$

3.1.3. Kapazitatea. Suszeptantzia

Kapazitatea

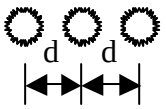
Fase bakoitzaren eta lurren artean sortzen den kapazitatea honela kalkulatzen da:

$$C = \frac{24{,}2}{\log {}^{GND}/_{GNR}} \; 10^{-9} \; (F/km)$$

Formula horretan hauek ditugu:

GND = eroaleen arteko batez besteko distantzia geometrikoa (mm)

$GND = (D_{12} \cdot D_{23} \cdot D_{13})^{1/3}$ .....

Faseak ilaran izanez gero,... 

$\Rightarrow$ $GND=(d.d.2d)^{1/3} = d.(2)^{1/3}$]

GNR= batez besteko erradio geometrikoa

Fase bakunetan..... GNR = r

Fase bikoitz eta hirukoitzetan.....GNR = $[r \Delta^{n-1}]^{1/n}$
Fase laukoitzetan..... GNR = $[r \sqrt{2} \Delta^{3}]^{1/4}$
Δ = fase bereko eroaleen arteko distantzia

Suszeptantzia

Kapazitateari dagokion erreaktantzia kapazitiboa hau da:

$$XK_k = 1 / (\omega C_k) \quad (\Omega/km)$$

Suszeptantzia erreaktantzia kapazitiboaren alderantzizkoa denez, suszeptantzia honela kalkulatzen da.

$$S_k = \omega C_k \quad (S/km)$$

3.1.4. Perditantzia. Admitantzia

Perditantzia

Sareen isolamendua perfektua ez denez, energia pixka bat galtzen da (haizea eroalea baita eta isolagailuak ez baitira perfektuak).

Nahi ez den konduktantziari perditantzia deitzen zaio. $G_k = 1/R = i_p/U = i_p U/ U^2 = Pg_f/ U^2$

Azkenean:

$$G_k = Pg_f / U^2 \quad (S/km)$$

i_p = galtzen den korrontea
Pg_f = fase bakoitzeko potentzia-galerak (kW/km)
U = sare tentsioa / $\sqrt{3}$.

Admitantzia

Beraz, sarearen perditantziari suszeptantzia gehituta, sarearen admitantzia kalkula daiteke:

$$A_k = G_k + j S_k \quad (S/km)$$

3.1.5. Koroa-efektua

Sare baten eroaleek haizearen isolamendu elektrikoa gainditzen duen tentsioa badute, galerak sortzen dira haizearen eraginez. Une horretan, argizko koroa ikusten da eroalearen inguruan, eta horregatik deitzen zaio "koroa-efektua". Eragin hori sorrarazten duen tentsioari "tentsio kritikoa" deitzen zaio. Beraz, sare-tentsioa tentsio kritikoa baino altuagoa denean hasten dira koroa-efektuaren galerak, alegia, tentsio kritikoa sare-tentsioa baino txikiagoa denean. Tentsio kritikoa haizearen hezetasunaren eta beste ezaugarrienaraberakoa da.

Ingeniari estatubatuar batek, *Peek* jaunak, galerak kalkulatzeko formula bat asmatu zuen:

$$Uk = 21{,}1 \sqrt{3}\, m_c\, m_t\, \delta\, r\; 2{,}302\; \log GND/r = 84\, m_c\, m_t\, \delta\; r\; \log GND/r$$

Non:

21,1 = haizearen isolamendu elektrikoaren balio eraginkorra (kV/cm) egoera arruntetan, alegia, tenperatura 25 ºC eta presioa 76 cmHg.
m_c = eroalearen zimurtasun-koefizientea (0,830,87)
m_t = koefiziente meteorologikoa (1 eguraldi lehorrean, 0,8 eguraldi hezean)
δ = haizearen dentsitate-koefizientea = $(273 + 25)p / (273 + \theta)$
[p=presioa kg/cm^2 , θ= altuerari dagokion tenperatura baliokidea]
GND= faseen arteko batez besteko distantzia geometrikoa (cm)
r = eroalearen erradioa (cm)

3.1.6. Ezaugarrien laburpena

Sarearen ezaugarri kilometrikoak hauek dira:

* Erresistentzia: R_K
* Autoindukzioa: L_K
* Perditantzia: G_K
* Kapazitatea: C_K

Horiek oinarri hartuta, sarearen beste ezaugarriak kalkulatu daitezke:

Autoindukzioari dagokion ***erreaktantzia*** hau da:

$$X_k = \omega L_k \quad (\Omega/km)$$

Beraz, sarearen erresistentzia gehituta, sarearen ***inpedantzia*** kalkula daiteke:

$$Z_k = R_k + j\, X_k \quad (\Omega/km)$$

Kapazitateari dagokion ***suszeptantzia:***

$$S_k = \omega C_k \quad (S/km)$$

Sareen galerak, ***perditantzia:***

$$G_k = Pg_f / U^2 \quad (S/km)$$

Beraz, sarearen perditantziari suszeptantzia gehituta, sarearen ***admitantzia*** kalkula daiteke:

$$A_k = G_k + j\, S_k \quad (S/km)$$

3.1.7. Merkatuan dauden eroaleen taulak

Ikusi 1. eranskina.

3. 2. Kalkulua

Sare bat kalkulatzeko, Goi Tentsioko Sare Elektrikoen Araudian (GTSEA) oinarritu behar da. GTSEAren 21. artikuluak dio zein izan behar duten oinarrizko datuek:

- Kontsumitzaileek gehienez xurgatuko duten intentsitatea I_2 (Sareak jasan beharko duena)
- Tentsio-galera onargarri maximoa (normalena % 7)
- Potentzia-galera onargarri maximoa (normalena % 3 100 km-ko)

a) Sareak jasan beharko duen gehienezko intentsitatea kontuan hartuta, merkatuan dauden eroaleen artean bat aukeratzen da, GTSEAren 22. artikulan agertzen diren dentsitate maximoak ez gainditzeko.

$I_2 \leq$ GTSEAren korronte-dentsitatea x sekzioa → sekzio nominala → eroale mota

(3.2.1. puntuak eroale-aukeraketaz dihardu).

b) Eroale mota aukeratu ondoren, ekoizleak emango ditu eroalearen ezaugarriak (konposizioa, erresistentzia, etab.). Horiek abiapuntutzat hartuta, ezaugarri elektrikoak kalkula daitezke, tentsio- eta potentziagalera onargarri maximoak ez gainditzeko.

R_k, X_k, G_k, S_k } Kalkulatu: % p eta % u

(% p eta % u kalkulatzeko moduak 3.2.2. – 3.2.5 puntuetan aztertzen dira).

c) Tentsio-galeraren ehunekoa eta potentzia-galeraren ehunekoa jakinda, ziurtatu behar da onargarriak diren maximoak baino txikiagoak direla[****].

Ziurtatu:
% p ≤ % p max.
eta % u≤ % p max.

(c) Beste aukera bat hau izango litzateke: onargarriak diren tentsio- eta potentzia-galera maximoen ehunekoak abiapuntutzat hartuta, gehienez garraia daitekeen intentsitatea ($I_{GARRAIO}$) kalkulatzea (eroaleak ezaugarri termoelektrikoen arabera duen intentsitate maximoa, $I_{max,}$ baino txikiagoa izan behar du $I_{GARRAIO}$ intentsitateak). Hori egin ondoren, kontsumitzaileak eskatzen duen intentsitatea I_2 (potentziaren araberakoa) $I_{GARRAIO}$ baino txikiagoa dela[****] ziurtatu behar da:

Ziurtatu $I_2 \leq I_{GARRAIO}$ edo bestela esanda $P_2 \leq P_{GARRAIO}$

[****] Handiagoak badira, beste mota bateko eroaleak erabil daitezke edo mota bereko eroalearekin dúplex, tríplex edo cuadruplex zirkuituak osatu.

Non: $P_{GARRAIO}$ = sareak garraiatu dezakeen potentzia maximoa baita, sarearen luzera eta egoerak kontuan harturik (eroale mota, zirkuitu mota, luzera, etab.)

3.2.1. Eroale-aukeraketa. Oinarrizko datuak.

Kalkulua egiteko, Goi Tentsioko Sare Elektrikoen Araudian (GTSEA) oinarritu behar da.

Sareak jasan beharko duen gehienezko intentsitatea (I_2) ezagututa, eroalearen sekzio minimoa jakin behar da GTSEAren 22. artikuluan agertzen diren dentsitate maximoak ez gainditzeko.

$I_2 \leq$ GTSEAren korronte-dentsitatea x dagokion sekzioa ⟶ eroalearen sekzio nominala

Merkatuan dauden eroaleen sekzioak eta GTSEAn adierazitakoak desberdinak direnez, interpolazioak egin behar dira, merkatuko eroaleei dagokien dentsitatea jakiteko.

22. artikuluan esaten da aluminio-altzairuzko eroaleak aztertzeko, taulako aluminioaren zutabea erabili behar dela eta, ondoren, ateratzen diren datuak koefiziente batez biderkatu behar direla.

Adibidez, HAWK motako eroalearen sekzioa 281,1 mm^2-koa denez, 22. artikuluaren taulan agertzen diren 250 mm^2 eta 300 mm^2-ko dentsitateak aztertuko ditugu, 281,1 mm^2-ko eroale bati dagokion dentsitatea jakiteko. HAWK eroalea aluminio-altzairuzkoa denez, aluminioari dagokion zutabean begiratu behar da:

GTSEA taulan ..... 250 eta 300 mm^2 artean = 50 mm^2 ---------- 2,30 eta 2,15 A/ mm^2 artean = –0,15 A/ mm^2

Eta ..... 250 eta 281,1 mm^2 artean = 31,1 mm^2 ---------- x

$$x = -0{,}0933 \text{ A/mm}^2$$

HAWK eroalea aluminio-altzairuzkoa 26+7 denez, dagokion koefizientea= 0,926 da.

Orduan, dentsitatea hau da:..... $\delta_{max} = (2{,}30 - 0{,}0933)\ 0{,}926 = 2{,}043$ A/ mm^2

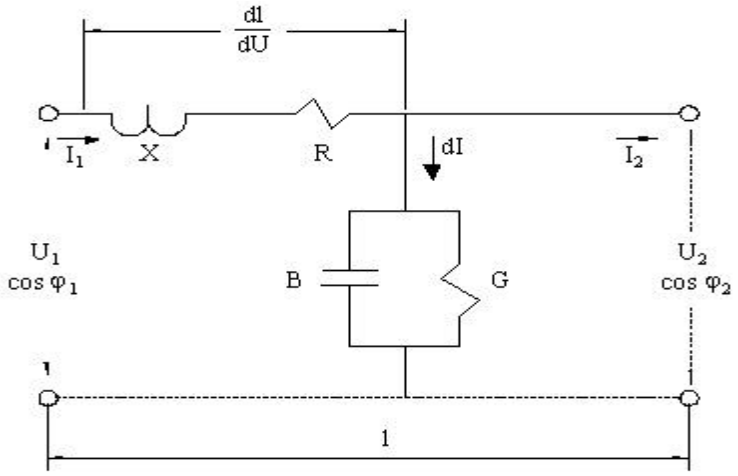
Eta intentsitatea:..... $I_{max} = 2{,}043 \times 281{,}1 = 574{,}28$ A

Eroalea aukeratu ondoren, ekoizleen tauletan aurki daitezke ezaugarriak.

Ezaugarriak jakin ondoren, falta diren datuak kalkula daitezke.

3.2.2. Sare baten kalkulu zehatza

Sare baten kalkulu zehatza egiteko, zati diferentzialetan zatitzen da sarea. Hori eginez gero, sarearen zati diferentzial bakoitzak dituen ezaugarriak honela kalkulatzen dira:



Z_k inpedantzia kilometrikoa eta A_k admitantzia kilometrikoa baldin badira, zati diferentzial horretan, honela kalkulatzen dira dU eta dI:

$$dU = Z_K \, I \, dl$$

$$dI = A_K \, U \, dl$$

Ekuazio diferentzial horiek integratuz, sarearen bukaerazehaztuz eta sinplifikazio-metodo batzuk erabiliz, sarearen ezaugarriak (U_1, U_2, I_1, I_2), hornituriko potentzia (P_1) eta kontsumitzaileak xurgaturikoa (P_2) kalkula daitezke.

Hartara, potentzia-galera kalkula daiteke:

$$p = P_1 - P_2$$

potentzia-galera proportzionala $p_p = (P_1 - P_2) / P_2$

potentzia-galeraren ehunekoa $\% p = 100\, p_p = 100(P_1 - P_2) / P_2$

Tentsio-galera ere kalkulatzen da:

Tentsio-galera proportzionala $u_p = (U_1 - U_2) / U_2$

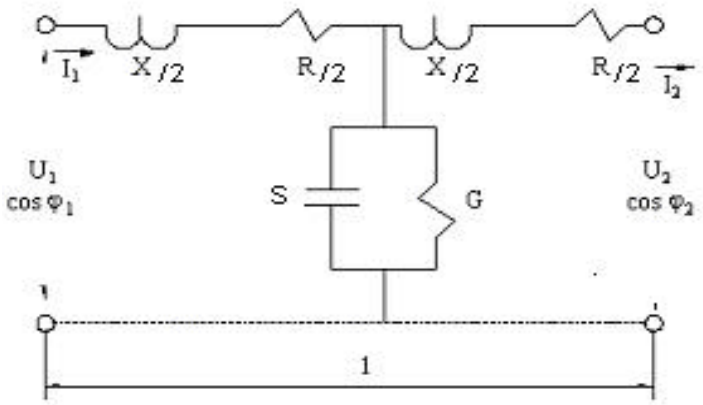
Tentsio-galeraren ehunekoa $\% u = 100 u_p$ $\quad\Rightarrow\quad \% u = 100(U_1 - U_2) / U_2$

Tentsio-galeraren ehunekoa eta potzentzia-galeraren ehunekoa jakinda, ziurtatu behar da onargarriak diren maximoak baino txikiagokoak direla. (normalki $\% u_{max} = \% 7$ eta $\% p_{max} = \% 3$ 100 km-rako)

3.2.3. T zirkuitu baliokidearen bidezko kalkulu analitikoa

T zirkuitu baliokidearen bidezko kalkulu analitikoa metodo sinplifikatu bat da. Metodo honen bidez, sarean zehar dagoen inpedantzia sarearen muturretan dagoela jotzen da. Aldi berean, sarean zehar dagoen admitantzia sarearen erdian dagoela jotzen da.

Baldintza horien arabera, irudia hau ateratzen da:



irudi horrek sortzen duen diagrama bektoriala aztertuta:

- Bukaerako datuak ezagunak badira, U_2, I_2, cos φ_2 oinarri hartuta, ezezagunak direnak kalkula daitezke: U_1, I_1, cos φ_1.
- Edota, sarearen hasierako datuetatik (U_1, I_1, cos φ_1) abiatuta, bukaerakoak kalkula daitezke: U_2, I_2, cos φ_2.

Datu horiek guztiak jakin ondoren, hasieran hornituriko potentzia (P_1) eta bukaeran xurgaturikoa (P_2) kalkula daitezke.

Orduan, potentzia-galera kalkula daiteke:

$$p = P_1 - P_2$$

potentzia-galera proportzionala $p_p = (P_1 - P_2) / P_2$

potentzia-galeraren ehunekoa $\%\ p = 100\ p_p = 100(P_1 - P_2) / P_2$

tentsio-galera ere kalkulatzen da:

tentsio-galera proportzionala $u_p = (U_1 - U_2) / U_2$

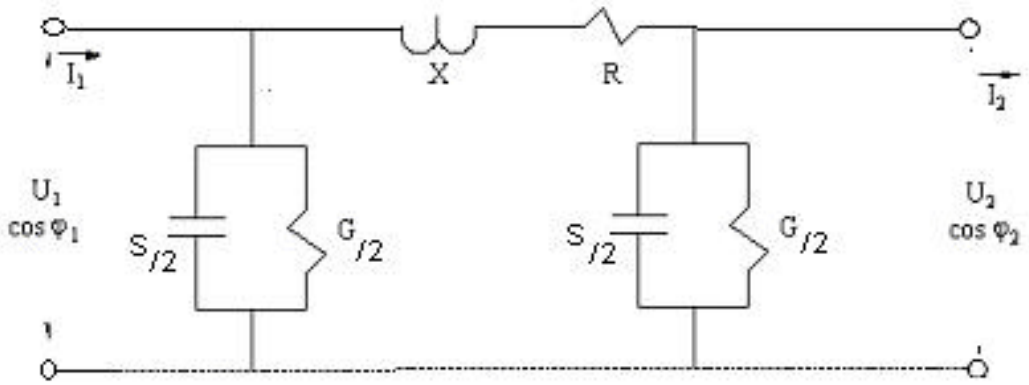
tentsio-galeraren ehunekoa $\%\ u = 100 u_p$ $\%\ u = 100(U_1 - U_2) / U_2$

Tentsio-galeraren ehunekoa eta potentzia-galeraren ehunekoa jakinda, ziurtatu behar da onargarriak diren maximoak baino txikiagokoak direla. (normalki, $\%\ u_{max} = \%\ 7$ eta $\%\ p_{max} = \%\ 3$ 100 km-rako)

3.2.4. Π zirkuitu baliokidearen bidezko kalkulu analitikoa

Π zirkuitu baliokidearen bidezko kalkulu analitikoa metodo sinplifikatu bat da. Metodo honen bidez, sarean zehar dagoen admitantzia sarearen muturretan dagoela jotzen da. Aldi berean, sarean zehar dagoen inpedantzia sarearen erdian dagoela jotzen da.

Baldintza horien arabera, irudi hau ateratzen da:



Irudi horrek sortzen duen diagrama bektoriala aztertuta:

- Bukaerako datuak ezagunak badira, U_2, I_2, cos φ_2 oinarri hartuta, ezezagunak direnak kalkula daitezke: U_1, I_1, cos φ_1.
- Edota, sarearen hasierako datuetatik (U_1, I_1, cos φ_1) abiatuta, bukaerakoak kalkula daitezke: U_2, I_2, cos φ_2.

Datu horiek guztiak jakin ondoren, hasieran hornituriko potentzia (P_1) eta bukaeran xurgaturikoa (P_2) kalkula daitezke.

Orduan, potentzia-galera kalkulatze daiteke:

$$p = P_1 - P_2$$

potentzia-galera proportzionala $p_p = (P_1 - P_2) / P_2$

potentzia-galeraren ehunekoa $\%\ p = 100\ p_p = 100(P_1 - P_2) / P_2$

tentsio-galera ere kalkulatzen da:

tentsio-galera proportzionala $u_p = (U_1 - U_2) / U_2$

tentsio-galeraren ehunekoa $u\% = 100 u_p$ $u\% = 100\ (U_1 - U_2) / U_2$

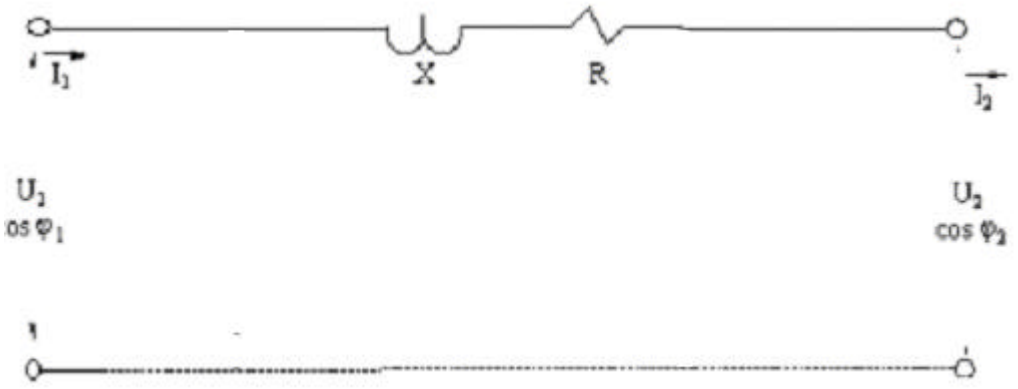
Tentsio-galeraren ehunekoa eta potentzia-galeraren ehunekoa jakinda, ziurtatu behar da onargarriak diren maximoak baino txikiagokoak direla (normalki, % u_{max}=% 7 eta % p_{max} =% 3 100 km-rako)

3.2.5. Momentu elektrikoaren bidezko kalkulua

Momentu elektrikoaren bidezko kalkulua metodo sinplifikatuena da. Metodo honen bidez sarean zehar dagoen admitantzia baztertzen denez, lortzen diren datuak sarearen benetako ezaugarrien hurbiltze bat baino ez dira. Hala eta guztiz ere, metodo hau erabiltzen da sarearen ezaugarrien hurbilketa lortzeko.

Sarean zehar dagoen admitantzia baztertu ondoren, erraza da sarearen inpedantzia kalkulatzea.

Baldintza horien arabera, irudi hau ateratzen da:



Zirkuitu horretan oso argi ikusten da intentsitatearen balioa: $I = I_1 = I_2$

Eta, beraz, tentsio-galera: $\nabla u = U_1 - U_2 = \sqrt{3}\, Z\, I$

Tentsio-galera proportzionala: $u_p = (U_1 - U_2) / U_2 = \sqrt{3}\, Z\, I / U_2$

Tentsio-galeraren ehunekoa: $\% u = 100\, u_p$ .... orduan $\Rightarrow$ $u_p = \% u / 100 = \sqrt{3}\, Z\, I / U_2$

Sarearen potentziaren eta intentsitatearen arteko erlazioa: $I = P / (\sqrt{3}\, U_2 \cos\varphi_2)$

Beraz, I balioa aurreko formulan ordezkatuz: $\% u / 100 = Z\, P / (U_2^2 \cos\varphi_2)$

Eta, formula horren bidez P ateratakoan, sarearen potentzia (P) hau da: $P = \% u.\ U_2^2 \cos\varphi_2 / 100\, Z$

Bestalde, Z-ren balioa hau da: $Z = R\cos\varphi_2 + X\,\mathrm{sen}\varphi_2 = [R_K \cos\varphi_2 + X_K\, \mathrm{sen}\varphi_2]$ sare-luzera

Beraz, azkeneko bi formulen artean:

$$P = \frac{u\%}{100} \frac{U_2^2 \cos\varphi}{[R_k \cos\varphi_2 + X_k \,\mathrm{sen}\,\varphi_2] \text{ sare-luzera}}$$

Sare-luzera beste aldera pasatuz:

$$P \times \text{sare-luzera} = \frac{\%\, u}{100} \cdot \frac{U_2^{\,2}}{R_k + X_k \operatorname{tg} \varphi_2}$$

Ezkerraldean gelditzen den P x sare-luzera biderkadurari MOMENTU ELEKTRIKOA (*M*) deitzen zaio.

P = potentzia (MW)
Sare-luzera = sarearen luzera (km)
% u= tentsio-galeraren ehunekoa, normalena 7
U_2 = U= bukaerako tentsioa (kV)
R_k = eroalearen kilometroko erresistentzia (Ω/ km)
X_k = eroalearen kilometroko erreaktantzia (Ω/ km)

Potentzia-galera: $p = 3\, R_K .\, I^2$

Garraiaturiko potentzia: $P = \sqrt{3}\, U\, I \cos\varphi$

Potentzia-galeraren ehunekoa...

$$\%\, p_K = 100\ p/\ P = \frac{3\, R_K\, I^2}{\sqrt{3}\, U\, I \cos\varphi}\, 100 = \frac{\sqrt{3}\, R_K\, I}{U \cos\varphi}\, 100$$

Sarearen potentziaren eta intentsitatearen arteko erlazioa: $I = P / (\sqrt{3}\, U \cos\varphi)$

Azkenean,

$$p_k^{\%} = \frac{\sqrt{3}\, R_k \dfrac{P}{\sqrt{3}\, U \cos\varphi}\, 100}{U \cos \varphi} = \frac{100\, R_k\, P}{U^2 \cos^2 \varphi}$$

$$\%\, p_{100km} = 100\, \%\, p_k$$

Tentsio-galeraren ehunekoa eta potentzia-galeraren ehunekoa jakinda, ziurtatu behar da onargarriak diren maximoak baino txikiagokoak direla. (normalki, % u_{max}=% 7 eta % $p_{100KM(max)}$ =% 3)

3.2.6. Ariketak

Sare baten baldintzak hauek izanez gero:

Eroale mota = Gull (R_k=0,0085Ω/km , r =12,7mm , I_{max} =713,1 A)
Zirkuitu mota = duplex
Fase desberdinen arteko distantzia: D_{12}= 6,1 . D_{23}= 6,1 . D_{13}= 12,2
Fase bereko eroaleen arteko distantzia Δ = 40 cm = 400 mm
Tentsioa = 220 kV
Luzera= 100 km
Tentsio-galera maximoa % u = % 7
Potentzia-galera maximoa % p= % 3 100 km-ko
cosφ=0,9 tgφ=0,484

1. Ezaugarri termoelektrikoen araberako potentzia maximoa.

   Eroale bat I_{max} = 713,1 A ⇒ Duplex zirkuituan I_{max} = 2* 713,1= 1426,2 A

   $\mathbf{P_{max\ term}} = \sqrt{3}\, U\, I_{max} \cos\varphi = \sqrt{3}* 220000* 1426{,}2* 0{,}9 =$ **488 MW**

2. Garraia dezakeen potentzia maximo erreala:

   Eroale batekin R_k=0,0085Ω/km ⇒ Duplex zirkuituan R_k=0,0085 / 2 = 0,0425Ω/km

   GND=(6,1*6,1*12,2) $^{1/3}$ = 7,68 m =7.680 mm
   GNR = [r Δ $^{2-1}$]$^{1/2}$ = [r Δ^{1}]$^{1/2}$ = (12,7*400) $^{1/2}$ = 71,27 mm

$$L = \left[\frac{\mu}{2n} + 4{,}6 \log \frac{GND}{GNR}\right] 10^{-4} = \left[\frac{1}{2*2} + 4{,}6 \log \frac{7680}{71{,}27}\right] 10^{-4} = 0{,}96\ \text{mH/km}$$

$$X_L = L\,\omega = 0{,}96 * 314 = 0{,}301\Omega/\text{km}$$

$$P\ x\ \text{sare-luzera} = \frac{u}{100} \frac{U_2^{\,2}}{R_k + X_k \operatorname{tg}\varphi_2} \Rightarrow P\ x\ 100 = \frac{7}{100} \frac{220^{\,2}}{0{,}0425 + 0{,}301*0{,}484}$$

$P_{GARRAIO}$ = 179 MW

3. Potentzia-galera

$$\%\, p_k = \frac{100\ R_K\ P}{U^2\ \cos^2\varphi} = \frac{100*0{,}0425*179}{220^2 * 0{,}9^2} = \%\ 0{,}019 \Rightarrow \mathbf{\%\ p_{100km}} = 0{,}019 * 100 = \mathbf{\%1{,}9}$$

Sare baten baldintzak hauek izanez gero:

Eroale mota = Gull (R_k=0,0085Ω/km , r =12,7 mm , I_{max} =713,1 A)
Zirkuitu mota = bi zirkuitu duplex paraleloan jarriak
Fase desberdinen arteko distantzia: D_{12}= 6,1 . D_{23}= 6,1 . D_{13}= 12,2
Fase bereko eroaleen arteko distantzia Δ = 40 cm = 400 mm
Tentsioa = 220 kV
Luzera= 100 km
Tentsio-galera maximoa % u=% 7
Potentzia-galera maximoa % p= % 3 100 km-ko
cosφ=0,9 tgφ=0,484

1. Ezaugarri termoelektrikoen araberako potentzia maximoa:

   Eroale bat I_{max} = 713,1 A $\Rightarrow$ Duplex zirkuituan I_{max} =2* 2* 713,1= 2852,4 A

   $\mathbf{P_{max\ term}} = \sqrt{3}\ U\ I_{max} \cos\varphi = \sqrt{3}*220000*2852{,}4*0{,}9 =$ **976 MW**

2. Garraia dezakeen potentzia maximo erreala:

   Eroale batekin R_k=0,0085 Ω/km $\Rightarrow$ Duplex zirkuituan $R_k = {}^{1}/_{2} * {}^{0,0085}/_{2}$ = 0,0212 Ω/km

   GND=(6,1*6,1*12,2) $^{1/3}$ = 7,68 m =7.680 mm
   GNR = [r Δ $^{2-1}$]$^{1/2}$ = [r Δ^1]$^{1/2}$ = (12,7*400) $^{1/2}$ = 71,27 mm

$$L_{\text{zirkuitu bat}} = \left[\frac{\mu}{2n} + 4{,}6 \log \frac{GND}{GNR}\right] 10^{-4} = \left[\frac{1}{2*2} + 4{,}6 \log \frac{7680}{71{,}27}\right] 10^{-4} = 0{,}96 \text{ mH/km}$$

$$X_{L\ ZIRKUITU\ BAT} = L\ \omega = 0{,}96 * 314 = 0{,}301\ \Omega/km \Rightarrow X_L = {}^{1}/_{2}\ X_{L\ ZIRKUITU\ BAT} = 0{,}15\ \Omega/km$$

$$P\ x\ \text{sare-luzera} = \frac{u}{100} \frac{U_2^{\,2}}{R_k + X_k \operatorname{tg}\varphi_2} \Rightarrow P\ x\ 100 = \frac{7}{100} \frac{220^{\,2}}{0{,}0212 + 0{,}15*0{,}484}$$

$P_{GARRAIO}$ = 361,2 MW

3. Potentzia-galera:

$$\%\ p_k = \frac{100\ R_K\ P}{U^2 \cos^2\varphi} = \frac{100*0{,}0212*361{,}2}{220^2 * 0{,}9^2} = \%\ 0{,}019 \Rightarrow \mathbf{\%\ p_{100Km}} = 0{,}019 * 100 = \%\mathbf{1{,}9}$$