

VILLAMOS ENERGETIKA

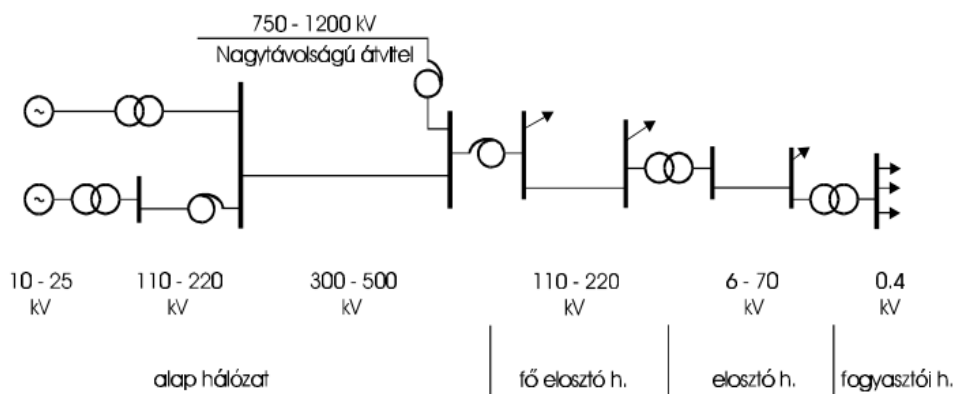
Vizsgakérdések

(BSc. 2010. tavaszi félév)

1. Ismertesse a villamosenergia-hálózat

- feladatkörök szerinti felosztását
- a jellegzetes feszültségszinteket és az azokhoz tartozó átvihető teljesítmények nagyságrendjét

Megoldás:

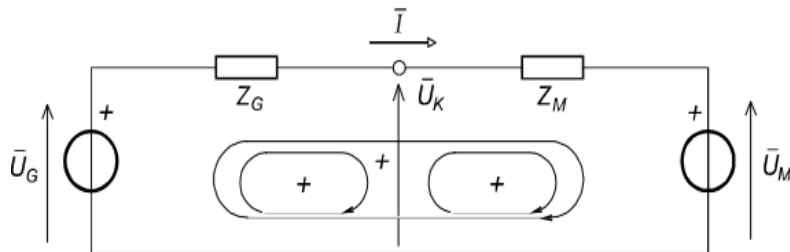


U_n kV	I A	S MVA	l_{max} km
400	1000	1000	500
120	500	100	60
20	200	10	10
0.4	100	0.1	0.5

2. Értelmezze – táblázatosan összefoglalva – a hatásos és meddőteljesítmény előjelét generátoros és fogyasztói pozitív irányrendszerben!

Megoldás:

Generátoros		Fogyasztói	
hatásos	meddő	hatásos	meddő
+ P termelés (betáplálás)	+Q kapacitív (szolgáltatás)	+P fogyasztás (felvétel)	+Q induktív (nyelés)
-P fogyasztás (vételezés)	-Q induktív (nyelés)	-P termelés (visszatáplálás)	-Q kapacitív (szolgáltatás)



l-6. ábra Pozitív irányrendszer

3. Adja meg a háromfázisú szimmetrikus összetevők módszerének:

a) „T” transzformációs mátrixát az „a” forgató vektor alapján

Megoldás:

$$\bar{a} = e^{j120^\circ}$$

$$\underline{T} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \quad \underline{T}^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix}$$

b) a fázismennyiségek és a szimmetrikus összetevők közötti kapcsolatot és

c) a szimmetrikus összetevők és a fázismennyiségek közötti kapcsolatot,

Megoldás:

$$\underline{\bar{I}}_f = \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} \quad \underline{\bar{I}}_s = \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix} \quad \underline{\bar{I}}_s = \underline{T}^{-1} \cdot \underline{\bar{I}}_f$$

$$\underline{\bar{I}}_f = \underline{T} \cdot \underline{\bar{I}}_s$$

d) a fázis impedancia és a szimmetrikus összetevő impedancia mátrixok közötti kapcsolatot (a T mátrix felhasználásával).

Megoldás:

$$\underline{Z}_{ff} = \begin{bmatrix} z_{aa} & z_{ab} & z_{ac} \\ z_{ba} & z_{bb} & z_{bc} \\ z_{ca} & z_{cb} & z_{cc} \end{bmatrix} \quad \underline{Z}_{ss} = \begin{bmatrix} z_{00} & z_{01} & z_{02} \\ z_{10} & z_{11} & z_{12} \\ z_{20} & z_{21} & z_{22} \end{bmatrix}$$

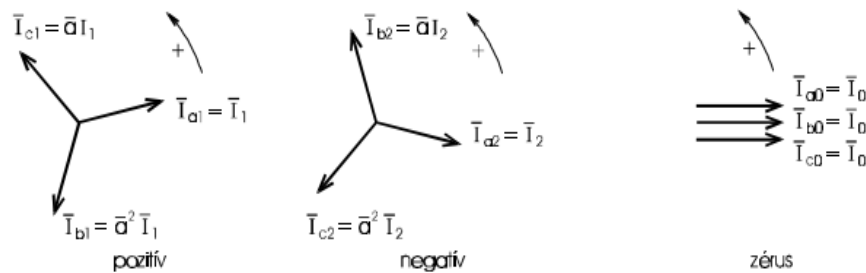
$$\Delta \bar{u} = \underline{Z} \cdot \underline{\bar{I}} \quad \Delta \bar{u}_f = \underline{Z}_{ff} \cdot \underline{\bar{I}}_f \quad \Delta \bar{u}_s = \underline{T}^{-1} \cdot \Delta \bar{u}_f$$

$$\Delta \bar{u}_s = \underline{T}^{-1} \cdot \underline{Z}_{ff} \cdot \underline{T} \cdot \underline{\bar{I}}_s$$

4. A szimmetrikus összetevők módszerét alkalmazza!

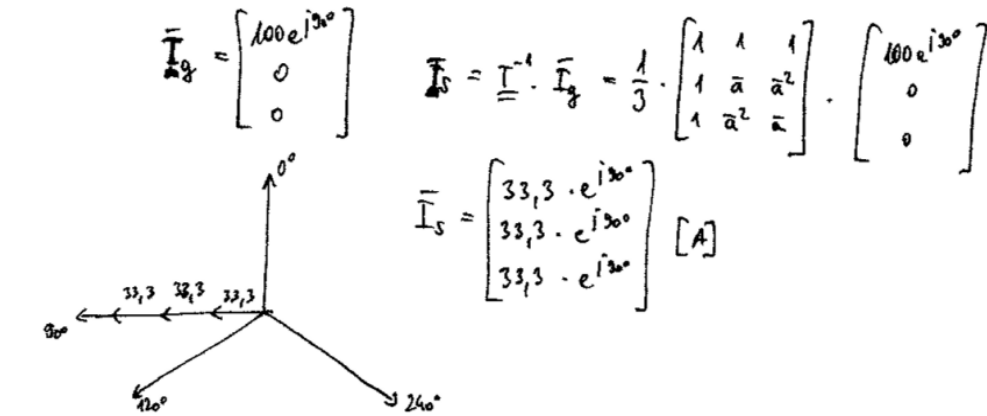
a) Fázorábrán szemléltesse a pozitív, a negatív és a zérus sorrendű összetevők által képviselt fázismennyiségeket.

Megoldás:



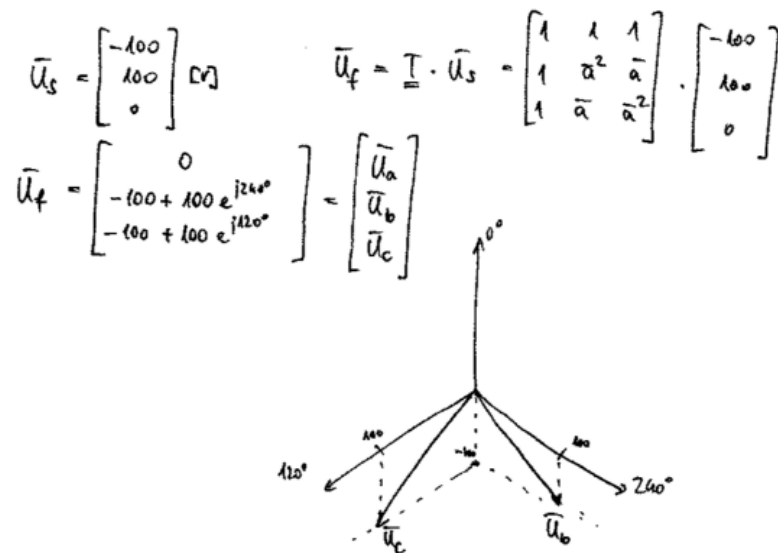
- b) Adja meg az $I_a = 100 \text{ A } 90^\circ$ és $I_b = I_c = 0$ áramrendszer pozitív-, negatív és zérus sorrendű összetevőinek fázorát.

Megoldás:



- c) Határozza meg annak az aszimmetrikus feszültségrendszernek a fázisfeszültségeit, melynek az alább megadottak a szimmetrikus összetevői: $U_1 = 100 \text{ V}$ $U_2 = 0$ $U_0 = -100 \text{ V}$

Megoldás:



5. Származtassa le a szimmetrikus összetevők módszerének felhasználásával a kétfázisú földzárlat számítására szolgáló modellt (a sorrendi hálózatok kapcsolódását).

Megoldás:

1.) $I_a = 0, U_b = 0, U_c = 0$

2.) $\bar{U}_S = \underline{T}^{-1} \cdot \bar{U}_f = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} U_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{U_a}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$

3.)

4.) $I_0 = -I_1 \frac{z_2}{z_0 + z_2}$
 $I_2 = -I_1 \frac{z_0}{z_0 + z_2}$

5.) $\bar{I}_f = \underline{T} \cdot \bar{I}_S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$

$u = (z_1 + z_0 + z_2) i_1$
 $I_0 + I_1 + I_2 = 0$

6. Származtassa le a szimmetrikus összetevők módszerének felhasználásával az egyfázisú földzárlat számítására szolgáló modellt (a sorrendi hálózatok kapcsolódását)!

Megoldás:

1.) $U_a = 0, i_b = 0, i_c = 0$

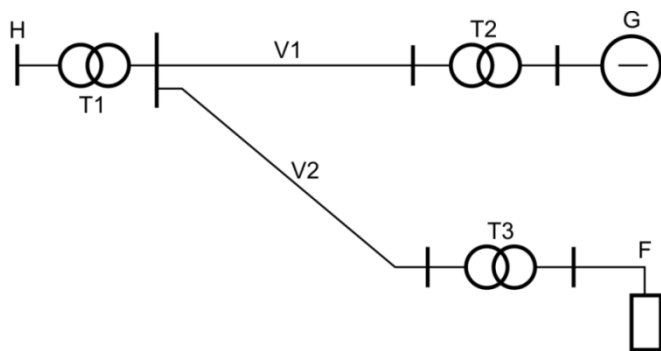
2.) $\bar{I}_S = \underline{T}^{-1} \cdot \bar{I}_f = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} i_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{i_a}{3} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$

3.)

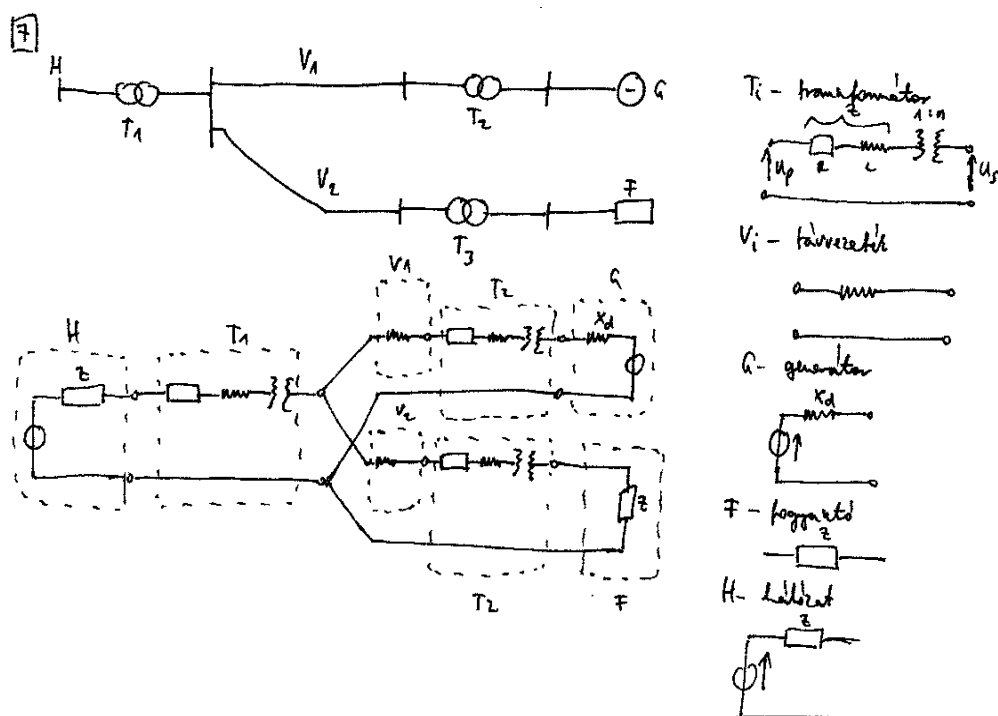
4.) $I_0 = I_1 = I_2 = \frac{u}{z_0 + z_1 + z_2}$

5.) $\bar{I}_f = \underline{T} \cdot \bar{I}_S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$

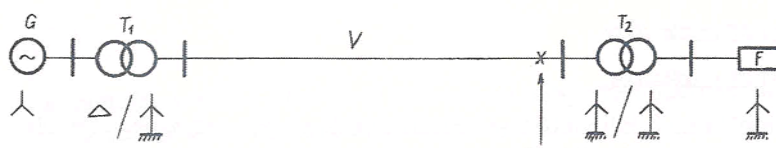
7. Adja meg az alábbi, egyvonalas sémával adott hálózat pozitív sorrendű hálózatát!



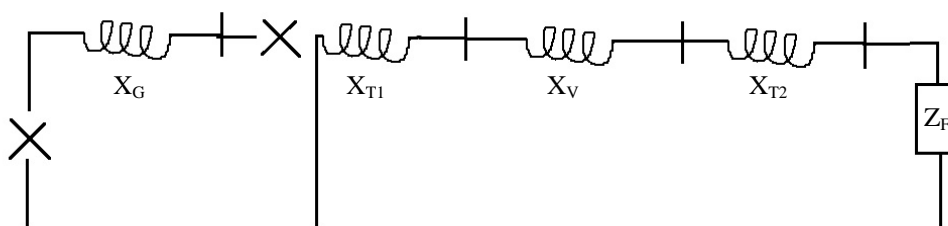
Megoldás:



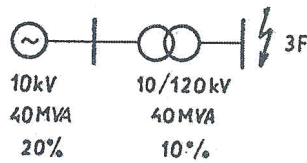
8. Rajzolja fel az alábbi hálózat zérus-sorrendű hálózatát!



Megoldás:



9. Számítsa ki az ábra szerinti hálózatra és hibára



a) a zárlati áram értékét az a, b és c fázisban hibahely feszültség szintjén;

Megoldás:

b) a zárlati áram értékét az a, b és c fázisban viszonylagos egységben.

Megoldás:

10. Adja meg annak a – szimmetrikusnak tekintett - háromfázisú távvezetéknek a zérus, pozitív és negatív sorrendű impedanciáját, amelynek

- a fázis-föld önimpedanciája:

$$Z_0 = 0,15 + j 0,6 \text{ ohm/km,}$$

- a fázisok közötti földvisszavezetétes kölcsönös impedanciája:

$$Z_k = 0,05 + j 0,3 \text{ ohm/km.}$$

Megoldás:

11. Az alábbiakban adott három különböző típusú fázis-impedancia mátrix.

Tipus:	Fázis impedancia mátrix:	Sorrendi impedancia mátrix (jellegét):
(1)	$\begin{bmatrix} Z_{\ddot{o}} & Z_k & Z_k \\ Z_k & Z_{\ddot{o}} & Z_k \\ Z_k & Z_k & Z_{\ddot{o}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$
(2)	$\begin{bmatrix} Z_{\ddot{o}} & Z_m & Z_n \\ Z_n & Z_{\ddot{o}} & Z_m \\ Z_m & Z_n & Z_{\ddot{o}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$
(3)	$\begin{bmatrix} Z_{\ddot{o}} & Z_m & Z_n \\ Z_m & Z_{\ddot{o}} & Z_p \\ Z_n & Z_p & Z_{\ddot{o}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \\ \dots & \dots & \dots \end{bmatrix}$

- a) Adja meg, hogy melyik fázis impedancia mátrix szimmetrikus, ciklikus vagy szimmetrikus és ciklikus.
- b) Az előkészített mátrixokban tüntesse fel – jellegre – a szimmetrikus összetevő mátrixok elemeit. Mutasson rá az egyes elemek esetleges egyenlőségére.

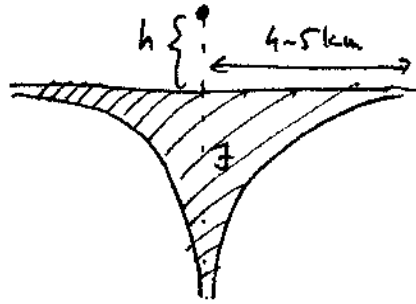
Megoldás:

Tipus:	Fázis impedancia mátrix:	Sorrendi impedancia mátrix (jellege):
(1) szimmetrikus és ciklikus	$\begin{bmatrix} Z_{\ddot{o}} & Z_k & Z_k \\ Z_k & Z_{\ddot{o}} & Z_k \\ Z_k & Z_k & Z_{\ddot{o}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} Z_{00} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{11} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{22} \end{bmatrix} \quad Z_{11} = Z_{22}$
(2) ciklikus	$\begin{bmatrix} Z_{\ddot{o}} & Z_m & Z_n \\ Z_n & Z_{\ddot{o}} & Z_m \\ Z_m & Z_n & Z_{\ddot{o}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} Z_{00} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{11} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{22} \end{bmatrix} \quad Z_{11} \neq Z_{22}$
(3) szimmetrikus	$\begin{bmatrix} Z_{\ddot{o}} & Z_m & Z_n \\ Z_m & Z_{\ddot{o}} & Z_p \\ Z_n & Z_p & Z_{\ddot{o}} \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \quad Z_{01} \neq Z_{10} \\ \text{stb}$

12. Adja meg egy vezető-föld hurokra váltakozó áram esetén:

a) A földben az árameloszlás minőségi képét.

Megoldás:



b) A Carson-Clem helyettesítés szerinti visszavezető cső paramétereinek ($R_f = 0,00099f$, $D_f = 659 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$) értelmezését és értékét, ha a frekvencia 50 Hz, a föld fajlagos ellenállása $50 \Omega\text{m}$

Megoldás:

f_j Carson - Clem ($f = 50\text{Hz}$, $\rho = 50 \Omega\text{m}$)

$R_f = 0,00099f$ - föld ellenállása

$D_f = 659 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$ - a cső sugara

$$R_f = 0,00099 \cdot 50 = 0,0495 \frac{\Omega}{\text{km}}$$

$$D_f = 659 \cdot \sqrt{\frac{0,05}{0,0495}} \approx 659 \text{ m}$$

R_f - föld ellenállása

D_f - a visszavezető és a földviszavezető helyettesítő vezetők távolsága

c) A vezető-földviszavezetés hurok-impedancia értékét, ha a vezető ellenállása $0,1 \Omega/\text{km}$, sugara $6,59 \text{ mm}$,

Megoldás:

$$R_v = 0,1 \frac{\Omega}{\text{km}}, r = 6,59 \text{ mm}$$

$$Z_0 = R_v + 0,00099f + j \cdot 0,00099f \cdot \lg \frac{D_f}{r} = 0,1 + 0,0495 + j \cdot 2\pi \cdot 50 \cdot 0,2 \cdot 10^{-3} \cdot \lg \frac{659}{6,59}$$

$$Z_0 = 0,1495 + j \cdot 0,314 \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

13. Határozza meg a földvisszavezetés Carson-Clem (egyenértékű csővel való) helyettesítése alapján:

a) a visszavezetést helyettesítő cső R_f és D_f értékeit ($R_f = 0,00099f$, $D_f = 659\sqrt{\frac{\rho}{f}}$)

a következő 4 esetre:

a ρ fajlagos talajellenállás: 50 és 5000 ohm.m, az f frekvencia: 50 és 5000 Hz,

Megoldás:

	$f = 50 \text{ Hz}$	$f = 5 \text{ kHz}$
$\rho = 50 \Omega \cdot \text{m}$	$R_f = 0,0495 \frac{\Omega}{\text{km}}$ $D_f = 659 \text{ m}$	$R_f = 0,0495 \frac{\Omega}{\text{km}}$ $D_f = 6590 \text{ m}$
$\rho = 5 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$	$R_f = 4,95 \frac{\Omega}{\text{km}}$ $D_f = 65,9 \text{ m}$	$R_f = 4,95 \frac{\Omega}{\text{km}}$ $D_f = 659 \text{ m}$

$$R_f = 0,00099f$$

$$D_f = 659 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$$

b) az a) pont szerinti viszonyokra azt a vezetékek közötti legnagyobb távolságot, amelyre a helyettesítés – legfeljebb 5% hibával – alkalmazható (Carson-Clem helyettesítés érvényes).

Megoldás:

	$f = 50 \text{ Hz}$	$f = 5 \text{ kHz}$
$\rho = 50 \Omega \cdot \text{m}$	$d_{\text{max}} = 88,96 \text{ m}$	$d_{\text{max}} = 889,6 \text{ m}$
$\rho = 5 \text{ k}\Omega \cdot \text{m}$	$d_{\text{max}} = 8,896 \text{ m}$	$d_{\text{max}} = 88,96 \text{ m}$

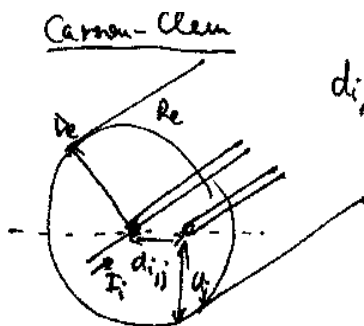
$$d_{\text{max}} \leq 0,135 \cdot D_f \rightarrow 2,5\%$$

14. A vezetékrendszerek földvisszavezetési impedanciájának számítására a Carson-Clem közelítéssel meghatározott egyenértékű cső és a komplex tükrözés módszere használatos.

a) Vázlatrajzon szemléltesse a két módszerben alkalmazott paramétereket és adatokat (a b pont szerint használt jelölések felhasználásával).

$$\left(\alpha = \sqrt{\mu_0 \frac{\omega}{\rho}}, \quad \mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \quad R_f = 0,00099f, \quad D_f = \frac{1,852}{\alpha}, \quad \bar{p} = \frac{1}{\alpha} e^{-j45^\circ} \right)$$

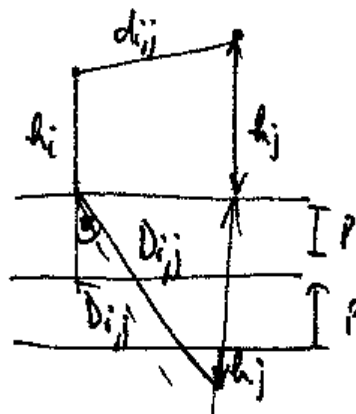
Megoldás:



$$d_{i,j,\text{max}} \leq 0,135 \cdot D_e$$

$$R_e = 10^{-3} \cdot 0,987 \cdot f \left[\frac{\Omega}{\text{km}} \right]$$

komplex tükrözés



b) Határozza meg $\rho = 100 \Omega m$ fajlagos talajellenállás esetén, a következő elrendezésű i és j jelű vezetők közötti földvisszavezetétes kölcsönös impedanciát:

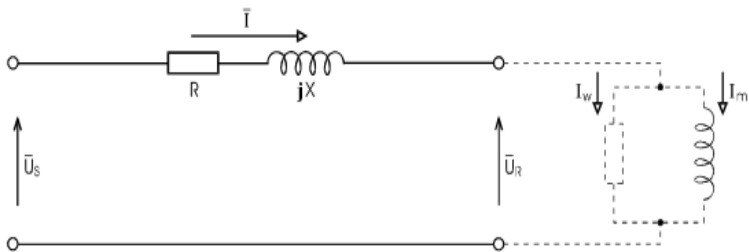
- földfeletti magasságok: $h_i = 15 \text{ m}$, $h_j = 5 \text{ m}$,
- kölcsönös vízszintes távolság: $a_{ij} = 50 \text{ m}$.

Megoldás:

(A Carson-Clem módszerről akkor térjen át a komplex tükrözés módszerre ha azt az alkalmazhatóságra vonatkozó feltétel ($d_{ij} > 0,135 D_i$) megköveteli.)

15. Jellemezze a fázorábra alapján egy $I = I_w + j I_m$ árammal terhelt $Z = R + jX$ soros impedanciával jellemzett távvezeték esetére a komplex feszültségesést, valamint annak hossz- és keresztirányú összetevőit. Milyen kapcsolat van az átvitt hatásos és meddő teljesítmény, valamint a feszültségesés komponensek között?

Megoldás:



a, áramköri jellemzők

$$\bar{V} = \bar{U}_S - \bar{U}_R = \bar{Z}\bar{I} = (R + jX)(I_w + jI_m) = (RI_w - XI_m) + j(RI_m + XI_w)$$

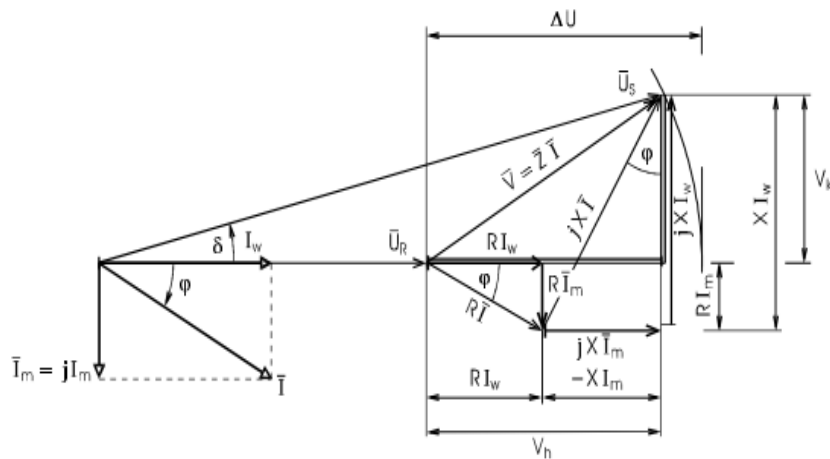
A feszültségesés komponensei:

– a hosszirányú feszültségesés

$$V_h = RI_w - XI_m$$

– a keresztirányú feszültségesés pedig

$$V_k = RI_m + XI_w$$



b, fázor ábra (induktív terhelésre, φ és I_m negatív)

A hosszirányú feszültségesést a meddő (Q) teljesítmény, a keresztirányú feszültségesést (terhelési szöget) pedig a hatásos teljesítményáramlás befolyásolja.

16. Számítsa ki az alábbi végtelen hálózat – távvezeték – fogyasztó átviteli hálózat esetén a távvezeték feszültségesést kV-ban és viszonylagos egységben (alappennyiségek a fogyasztó névleges értékei)!

Hálózat:

$$U_n^H = 22 \text{ kV}$$

$$S_{rz} = \infty$$

Távvezeték jellemzők:

$$l = 50 \text{ km}$$

$$r = 0,32 \text{ } \Omega/\text{km}$$

$$x = 0,3 \text{ } \Omega/\text{km}$$

Fogyasztó adatok:

$$U_n = 22 \text{ kV}$$

$$S_n = 6 \text{ MVA}$$

$$\cos \phi = 0,8 \text{ ind.}$$

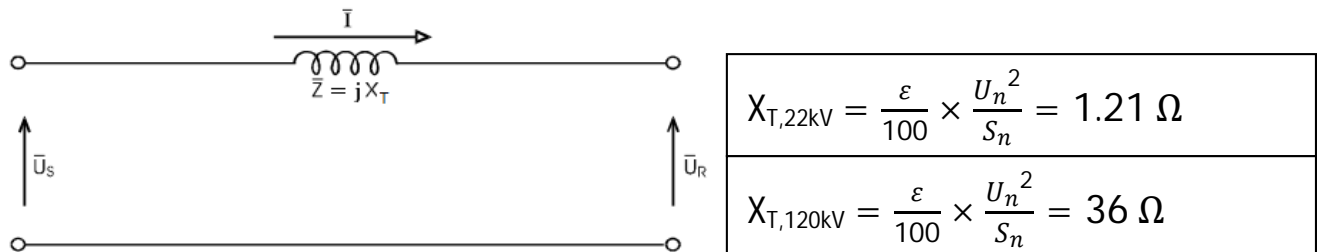
Megoldás:

$U_n^H = 22 \text{ kV}$ $l = 50 \text{ km}$ $U_n = 22 \text{ kV}$ $S_n = 6 \text{ MVA}$
 $r = 0,32 \frac{\Omega}{\text{km}}$ $x = 0,3 \frac{\Omega}{\text{km}}$ $R = 16 \Omega$ $X = 15 \Omega$ $\cos \phi = 0,8 \text{ ind}$
 $\bar{I} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} (\cos \phi - j \cdot \sin \phi) = \frac{6 \cdot 10^6}{\sqrt{3} \cdot 22 \cdot 10^3} (0,8 - j \cdot 0,6)$
 $\bar{I} = (126 - j \cdot 94) \text{ A}$ $\bar{I}_w = 126$
 $j \bar{I}_{im} = -94$
 $\Delta U_k = R_{vez} \cdot I_w - X_{vez} \cdot I_{im} = 16 \cdot 126 + 15 \cdot 94$
 $\Delta U_k = 3426 \text{ V}$ $\Delta U_k \% = \frac{3426}{\frac{U_n^H}{\sqrt{3}}} \cdot 100 = 26,97\%$

Viszonylagos egységben: $\Delta U = 0.27$

17. Adja meg a 120/22 kV névleges feszültségű, 40 MVA névleges teljesítményű, 10 % feszültségesésű (droppú) transzformátor egyfázisú helyettesítő kapcsolását a helyettesítő reaktancia értékének feltüntetésével (Ohm-ban)!

Megoldás:



a) a transzformátor névleges áramait,

Megoldás:

$$U_R = 22 \text{ kV} \quad ; \quad U_S = 120 \text{ kV}$$

$$S_n = 40 \text{ MVA} \quad , \quad \varepsilon = 10$$

$$I_2 = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_R} = 1,049 \text{ kA}$$

$$I_1 = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_S} = 192,45 \text{ A}$$

b) a transzformátor saját rövidzárlati teljesítményét.

Megoldás:

$$S_z = \frac{S_n}{\varepsilon/100} = \underline{400 \text{ MVA}}$$

18. Egy háromfázisú fogyasztó névleges feszültsége 10 kV, névleges teljesítménye 4 MVA, teljesítménytényezője $\cos\varphi = 0,8$ (induktív).

a) Számítsa ki a fogyasztó:

- hatásos és meddő teljesítményét,

Megoldás:

$$P = S_n \cdot \cos\varphi = 3,2 \text{ MVA}$$

$$Q = S_n \cdot \sin\varphi = 2,4 \text{ MVA}$$

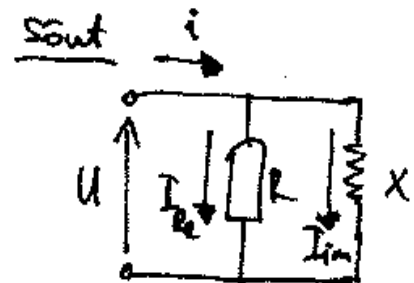
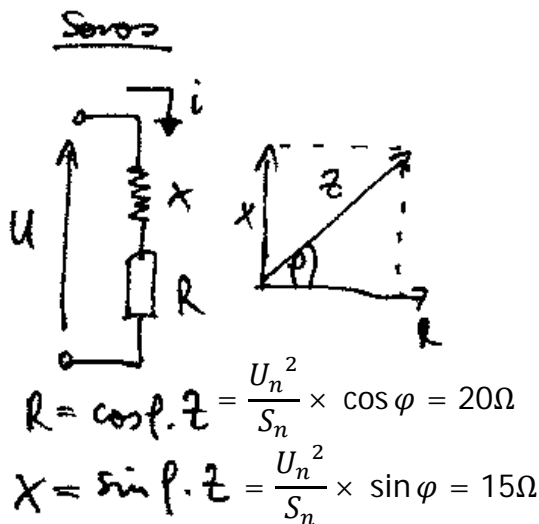
- a hálózatról felvett áramát,

Megoldás:

$$\underline{I_n^f} = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \underline{230,94 \text{ A}} \quad \bar{I}_n^f = I_n^f \cdot (\cos\varphi - j \cdot \sin\varphi) = 230,94 (0,8 - j 0,6)$$

b) Rajzolja fel a soros is és sönt helyettesítő kapcsolását az elemek értékének felöntetésével.

Megoldás:



$$R = \frac{U_n^2}{P_n} = 31,25\Omega$$

$$X = \frac{U_n^2}{Q_n} = 41,67\Omega$$

19. Egy 120 kV-os gyűjtősín háromfázisú zárlati teljesítménye 4000 MVA.

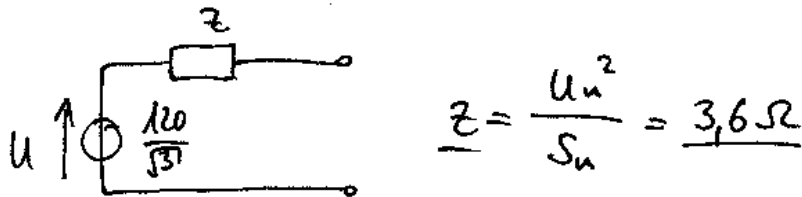
a) Számítsa ki a háromfázisú rövidzárlati áramát.

Megoldás:

$$\underline{I_{Rz}} = \frac{S_z}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \underline{19,245 \text{ kA}}$$

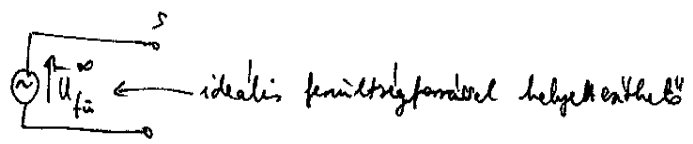
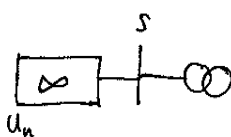
- b) Adja meg a gyűjtősínre tápláló hálózat egyfázisú helyettesítő kapcsolását és helyettesítő elemek értékének feltüntetésével.

Megoldás:



20. Értelmezze a végtelen hálózat fogalmát, fizikai tartalmát, adja meg a pozitív sorrendű helyettesítését! A vázoljon fel egy olyan gyakorlati helyzetet, amikor a hálózati csatlakozási pont végtelen hálózatnak tekinthető.

Megoldás: végtelen hálózat



olyan szaktárolóelemen át van lejtőjogszabása, amelynek az impedanciája sokkal nagyobb, mint a végtelenül feltételezett hálózat mögöttes impedanciája

$$R_{\text{fe}} \approx \infty \rightarrow \frac{P_{\text{termelő}}}{P_{\text{teljesít}} \approx \infty$$

$$S_{\text{fe}} \gg S_f$$

↑
min 2 nagyságrend

21. Egy 400 kV névleges feszültségű, 50 Hz-en üzemelő veszteségmentesnek tekinthető távvezeték paraméterei:

soros reaktancia: $x_L = 0,28 \Omega/\text{km}$,

sönt (kapacitív) reaktancia: $x_C = 0,4 \text{ M}\Omega \cdot \text{km}$, vezetékhozz: $l = 100 \text{ km}$.

Számítsa ki

- a) a vezeték hullámellenállását,

Megoldás:

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{\frac{X_L \times l}{2\pi f}}{\frac{l}{2\pi f \times X_C}}} = \sqrt{X_L \times X_C} = 334,66 \Omega$$

- b) a vezeték természetes teljesítményét.

Megoldás:

$$P_t = \frac{U_n^2}{Z_0} = 478,1 \text{ MW}$$

- c) Milyen kapcsolat van a természetes teljesítmény átvitelekor az átvitt hatásos és meddő teljesítmények között?

Megoldás:

$P = P_{\text{term}}$, akkor $Q_S = Q_R = 0$, mert $Q_C = Q_L$

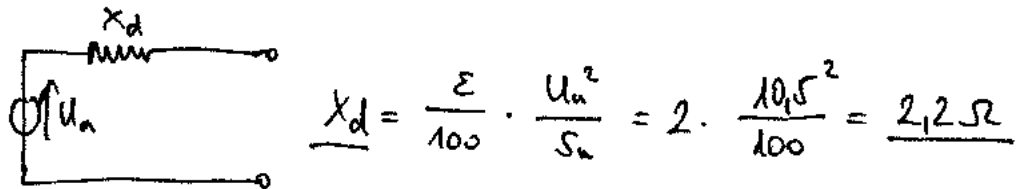
$P < P_{\text{term}}$, akkor meddő termelő

$P > P_{\text{term}}$, akkor meddő fogyasztó

22. Egy 10,5 kV névleges feszültségű, 100 MVA névleges teljesítményű és $X_d = 200\%$ reaktanciájú generátorra adja meg:

a) az egyfázisú, pozitív sorrendű helyettesítő kapcsolását a helyettesítő reaktancia értékének feltüntetésével (Ω),

Megoldás:



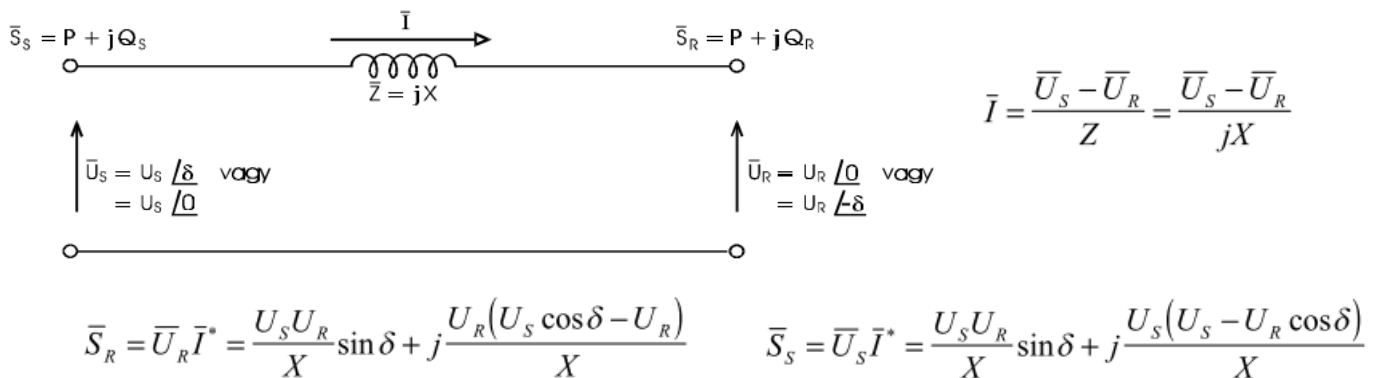
b) a generátor névleges áramát.

Megoldás: $S_n = \sqrt{3} \times U_n \times I_n$ $I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} = 5.49 \text{ kA}$

23. Adja meg a $Z = jX$ soros impedanciával jellemzett vezetékre, adottaknak végponti feszültségek esetén:

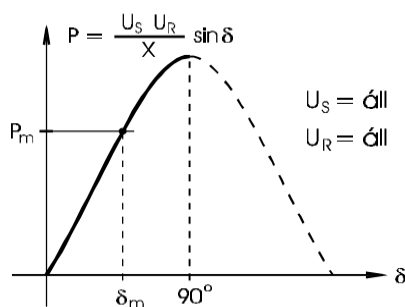
a) az S és R végpontokra a hatásos és a meddő teljesítmény összefüggéseket,

Megoldás:



b) a szinkron-stabilitás korlátját,

Megoldás:



Az átvitt teljesítménnyel a δ terhelési szög nő, $\delta = 90^\circ$ -nál maximuma van és stabilis munkapont $\delta < 90^\circ$ tartományban van.

$$P = \frac{U_S U_R}{X} \sin \delta$$

c) hogyan tudja befolyásolni a meddőteljesítmény-áramlást.

Megoldás:

$$Q_S - Q_R = \frac{(\bar{U}_S - \bar{U}_R)^2}{X} = \frac{V^2}{X} = XI^2$$

A meddő teljesítmény nagyságát és irányát alapjában véve a végponti feszültségek közötti különbség adja meg.

24. Egy $X = 0,15$ v.e. nagyságú soros reaktanciával jellemzett vezetéken a végponti feszültségek $U_S = 1,05$ v.e. és $U_R = 0,95$ v.e., az $S \rightarrow R$ irányú hatásos teljesítmény $1,2$ v.e.

Számítsa ki végpontjain a meddőteljesítmény értékeket v.e.-ben és adja meg azok irányát (értelmezze azok jellegét).

Megoldás:

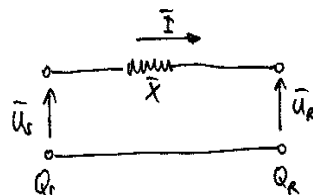
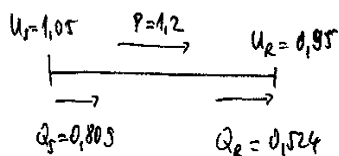
$$X = 0,15 \text{ v.e.} \quad U_R = 0,95 \text{ v.e.}$$

$$U_S = 1,05 \text{ v.e.} \quad P_{S \rightarrow R} = 1,2 \text{ v.e.}$$

$$P_{S \rightarrow R} = \frac{U_R \cdot U_S}{X} \cdot \sin f$$

$$\sin f = \frac{X \cdot P_{S \rightarrow R}}{U_R \cdot U_S} = 0,18$$

$$f = 10,4^\circ$$



$$Q_S = \frac{U_S (U_S - U_R \cos f)}{X} = 0,809$$

$$Q_R = \frac{U_R (U_S \cos f - U_R)}{X} = 0,524$$

meddő telj. áramlás a nagyobb feszültségűre (U_S) áramlik a kisebb (U_R) felé!

25. Adja meg a $Z = jX$ soros impedanciával jellemzett vezetékre, adottaknak tekintett végponti feszültségek esetén:

a) az S és R végpontokra a komplex teljesítmény összefüggéseket (fazoros formában),

Megoldás:

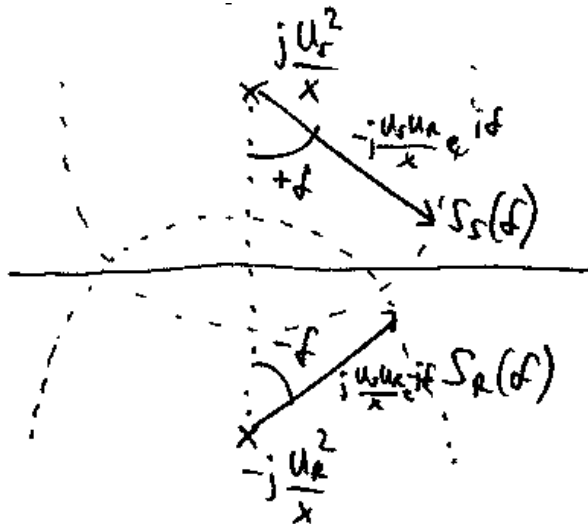
$$\bar{S}_R = P_R + jQ_R = U_R \cdot I^* = -j \frac{U_R^2}{X} + j \frac{U_S U_R}{X} e^{-jf}$$

$$\bar{S}_S = P_S + jQ_S = U_S \cdot e^{jf} \cdot I^* = j \frac{U_S^2}{X} - j \frac{U_S U_R}{X} e^{jf}$$

↳ központi vektor ↳ fogóvektor

a) az S és R végpontok a komplex teljesítményt szemléltető kördiagramot egy adott teljesítmény-átviteli esetre vonatkozó összetartozó teljesítmények feltüntetésével.

Megoldás:



26. A $Z = jX$ soros impedanciával jellemzett vezetékre, adottaknak tekintett végponti feszültségek esetén:

a) Adja meg az S és R végpontokra a meddő teljesítmény kifejezését.

Megoldás:

$$\underline{Q_S = \frac{U_S(U_S - U_R \cos \delta)}{X} \quad Q_R = \frac{U_R(U_S \cos \delta - U_R)}{X} \quad (2-35)}$$

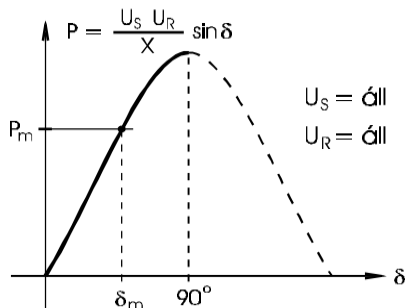
b) Mi a feltétele a meddő teljesítmény áramlási iránya megfordulásának az S és R végpontokra?

Megoldás:

A (2-35) kifejezések számlálójában lévő zárójeles kifejezések azt mutatják, hogy a meddő teljesítmény nagyságát és irányát alapján véve a végponti feszültségek közötti különbség szabja meg ($\delta = 0$, azaz ha $P = 0$, akkor mindkét végre vonatkozó kifejezésben $U_S - U_R$ szerepel). Lényegében a nagyobb feszültségű végtől a kisebb feszültségű felé áramlik az induktív jellegű meddő teljesítmény.

c) Adja meg és ábrázolja hatásos teljesítmény-terhelési szög kapcsolatra vonatkozó összefüggést. Ezen jelölje be a statikus állapotban stabil üzemi tartományt.

Megoldás:



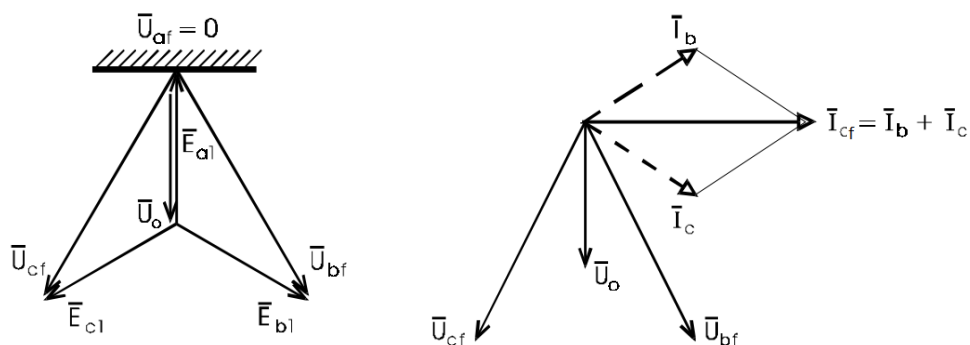
Az átvitt teljesítménnyel a δ terhelési szög nő, $\delta = 90^\circ$ -nál maximuma van és stabilis munkapont $\delta < 90^\circ$ tartományban van.

$$P = \frac{U_S U_R}{X} \sin \delta$$

27. Szigetelt csillagpontú hálózat "a" fázisú földzárlatának esetére adja meg:

a) A feszültség és a kapacitív földzárlati áram fázorábráját.

Megoldás:



b) A hibahelyi áram és a C_0 fázisföld kapacitás közötti kapcsolatot.

Megoldás:

$$I_C = \sqrt{3}U_v \omega C_0 = 3U_f \omega C_0 = 3 \frac{U_f}{X_{C0}}$$

I_C nagysága a fémesen összefüggő hálózat eredő földkapacitásától függ.

c) Milyen veszéllyel jár a szigetelt csillagpont?

Megoldás:

A földzárlat fellépésnek pillanatában, az ugrásszerű feszültségváltozás miatt a földkapacitások töltésének át kell rendeződni. Ez a fázis-induktivitásokon át transziens folyamat útján történik, amely az ép fázisokban transziens túlfeszültségeket eredményez. A földzárlati ív kialakítása és periódusonkénti visszagyújtása, azaz az ú.n. ívelő földzárlat hatására az ép fázis feszültsége a névleges többszörösére emelkedhet. Tapasztalat szerint az ívelő földzárlat veszélye a földkapacitás egy adott értéke felett jön létre, ezért szigetelt csillagponttal csak kis kiterjedésű 6 kV-os ipartelepi hálózatok üzemelhetnek.

28. Ismertesse a csillagpont kompenzálás lényegét, azaz:

a) A pontos kompenzálás feltételét.

Megoldás:

A kompenzált csillagpont földelés esetén azaz a csillagpont és a föld közé beiktatott induktivitás (Petersen tekerecs) alkalmazásakor a hibahelyen át záródó

$$I_L = 3I_{L0} = \frac{U_f}{\omega L_f} = \frac{U_f}{X^P + X_r/3}$$

nagyságú induktív jellegű áram jön létre.

A I_L azonos nagyságúvá tehető I_c -vel, ha a Petersen tekerecs reaktanciáját

$$X^P = \frac{X_{C0} - X_r}{3} \quad (X_r \ll X_{C0})$$

nagyságúra választjuk.

b) A pontos kompenzálás veszélyét, és ennek elkerülési módját.

Megoldás:

A kompenzálás hatására akkor remélhetünk ívkialvást, ha a hibahelyi maradék áram 5-10 A-nél kisebb. A maradék áramnak egyik forrása az induktív maradék áram, ami abból adódik, hogy az ú.n. soros rezonancia-veszély elkerülésére az I_L kompenzáló áramot kb. 5 %-kal I_c -nél nagyobbra kell beállítani.

29. Kompenzált csillagpontú hálózat esetére adja meg:

a) A kompenzált csillagpontú hálózat legfőbb előnyét.

Megoldás:

A hibahelyi íven $\bar{I}_C + \bar{I}_L$ áram folyik, amely elvben nulla, és az ív kialszik, a földzárlat önmagától megszűnik. Az ív kialakítását követően a feszültség a hibahelyen csak lassan tér vissza, a $3X^P$ és X_{C0} által alkotott 50 Hz-es rezgőkör több perióduson át bekövetkező lecsengésének ütemében. Ezért a csillagpont kompenzálás az ívelő földzárlat kialakulásának is elejét veszi.

b) A maradékáram keletkezésének okait.

Megoldás:

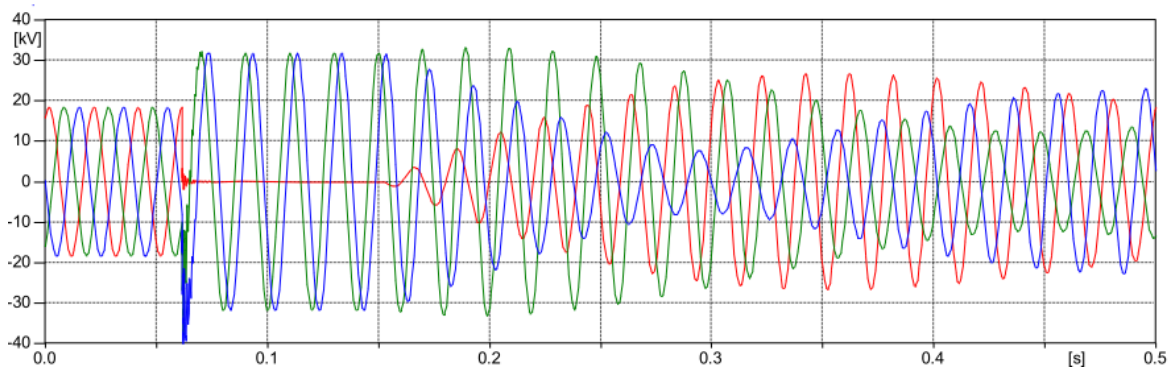
A maradék áramnak több forrása van, így:

- a csillagponti induktivitás - mint vasmagos tekercs - veszteségi ellenállásán folyó, wattos maradék áram,
- a felharmonikus áramok, amelyre a kompenzáció nem hangolt,
- az induktív maradék áram, ami abból adódik, hogy az ú.n. soros rezonancia-veszély elkerülésére az I_L kompenzáló áramot kb. 5 %-kal I_C -nél nagyobbra kell beállítani.

30. Kompenzált csillagpontú hálózat esetére adja meg földzárlat önmagától való megszűnésének feltételeit és a hibahelyen a feszültség visszatérésének a jellegét (időfüggvényét minőségileg).

Megoldás:

1. Az ív aludjék ki
 \Rightarrow a maradékáram legyen kisebb 10 A-nél.
2. A hibahelyi feszültség lassan térjen vissza
 \Rightarrow a zérus sorrendű hálózat 50 Hz-es önfrekvenciája és kis csillapítása (sokáig lengjen).
3. A hibahely villamos szilárdsága gyorsabb ütemben térjen vissza, mint a zérus sorrendű hálózat lecsengési üteme.



Itt a piros színű függvény a visszatérő fázisfeszültségünk, amely fokozatosan és lassan tér vissza az eredeti állapotába.

31. A csillagpont földelési módokkal kapcsolatosan:

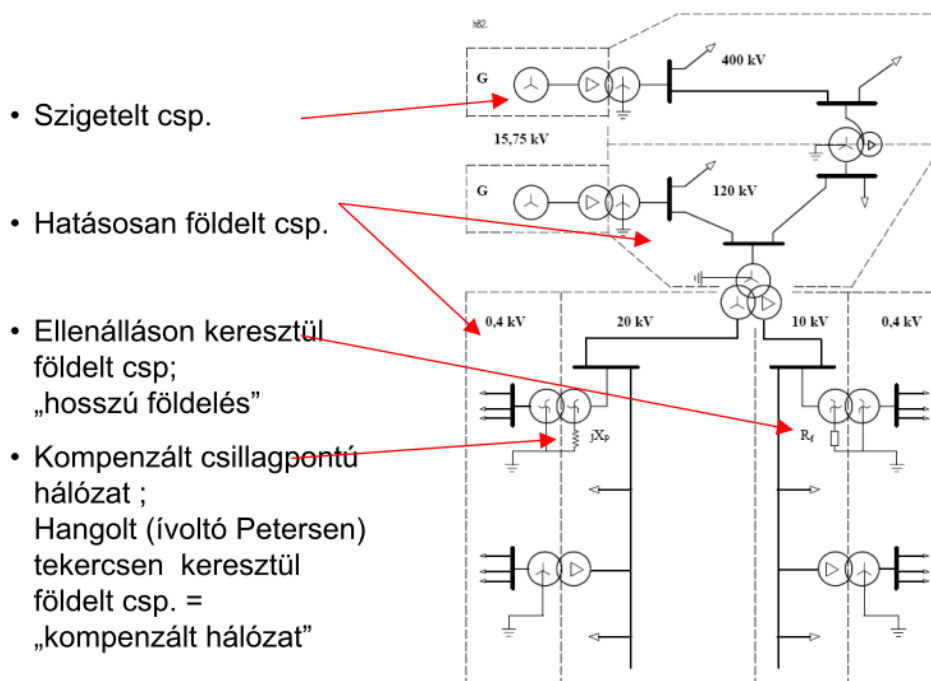
- a) Hasonlítsa össze - táblázatos formában - a különböző csillagpont földelésű hálózatokat az ép fázis feszültségemelkedése, a földzárlati áram nagysága és a védelmi érzékelés szempontjából.

Megoldás:

Szempontok	Csillagpont földelés jellege	
	Nem közvetlenül földelt	Közvetlenül földelt
Ép fázisok feszültsége: - állandósult - tranziens	Nagy(obb) Hátrány! $\approx U_v$ $(2 - 5) \times U_f$ (ívelő földzárlat)	Kicsi Előny! $< 1,4 U_f = 0,8 U_v$
Földzárlati áram	Kicsi: Előny! - szig. csp. kapacitív < 10 A - kompenzált csp.: maradék áram < (5-10) A - ellenálláson földelt: (100-150) A	Nagy rövidzárlati Hátrány!
Védelmi érzékelés	A zérus sorrendű U_0 > nagyobb alapján a földzárlat ténye felismerhető. A hibahely szelektív behatárolása nehéz. Hátrány!	Szelektíven lehetséges Előny!

- b) Adja meg, hogy a hazai hálózatok különböző feszültség szintjein (400 kV, 220 kV, 120 kV, 20 kV, 10 kV, 0,4 kV) alkalmazott csillagpont földelési módokat.

Megoldás:



- c) Adja meg a hatásosan földelt csillagpontú hálózat esetén az eredő zérus sorrendű ellenállásra és reaktanciára vonatkozó feltételeket.

Megoldás:

$$R_0/X_1 < 1 \text{ és } X_0/X_1 < 3$$

32. Egy villamosenergia-rendszerben a hatásos (P) teljesítmények egyensúlya általános érvényű.

a) Adja meg a dinamikus energetikai egyensúly matematikai leírását!

Megoldás:

$$P_G = P_M - T \frac{dw}{dt} = P_F + P_V$$

\rightarrow m. dtl. hőfelvétel
 \rightarrow m. forrással rendelkező ösperjellet
 \rightarrow turbináknál leadott mech. teljesítmény
 \rightarrow generátor által leadott vill. teljesítmény
 \rightarrow összes veszteség
 \rightarrow ösperjellet

b) Értelmezze a (fiktív) rendszerfrekvenciát!

Megoldás:

$$\omega = \sum \omega_i T_i / T \text{ a rendszer átlagos (fiktív) körfrekvenciája.}$$

$$f = \omega / 2\pi$$

c) Miért kell folyamatosan szabályozni az erőművek hatásos teljesítményét?

Megoldás:

$$a) P_G = P_F + P_V \quad \text{egyenlőség} \quad \underline{P_F \text{ változik akkor}}$$

- állandó ω
- nevével

frekvencia \neq 50 Hz-re

$$\text{vagyis } \boxed{(f - f_{nevel}) \rightarrow 0}$$

a $P_M = P_F + P_V$ által

33. Egy villamosenergia-rendszerben a meddő (Q) teljesítmények egyensúlya általános érvényű.

a) Adja meg a meddőteljesítmények egyensúlyának matematikai leírását!

Megoldás:

$$Q_G = Q_F - Q_C + Q_M \rightarrow \text{a teljes hálózati meddő egyenlegét indukáló loss.}$$

\rightarrow fogyasztók által felvett Q
 \rightarrow helyi meddőforrásokból előállított Q
 \rightarrow generátor által leadott meddő teljesítmény.

35. A fogyasztói teljesítményfelvétel (P és Q) függ a feszültségtől és a frekvenciától.

a) Adja meg ennek matematikai leírását a meddő (Q) teljesítményre!

Megoldás:

$$Q = Q_0 + Q_0 \left(k_{qu} \frac{\Delta u}{u_0} + k_{qf} \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

$$\Delta u = u - u_0$$

$$\Delta f = f - f_0$$

$$k_{qu} = \frac{\Delta Q}{Q_0} / \frac{\Delta u}{u_0}$$

$$k_{qf} = \frac{\Delta Q}{Q_0} / \frac{\Delta f}{f_0}$$

} *fen. és fele. értékekre: felvétel*

b) Mutasson be egy egyszerű, fizikai áramköri példát!

Megoldás:

Lekezdő álló áramú fogyasztó ($u_0, f_0 \rightarrow Q_0, u, f \rightarrow Q$)

$$Q_0 = \frac{u_0^2}{2\pi f_0 L}$$

$$Q = \frac{u^2}{2\pi f \cdot L}$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{u}{u_0} \right)^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0} \right) \quad \begin{matrix} \Delta u = u - u_0 \\ \Delta f = f - f_0 \end{matrix}$$

$$Q = Q_0 + Q_0 \left(k_{qu} \frac{\Delta u}{u_0} + k_{qf} \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

c) Miért szükséges a folyamatos feszültségszabályozás?

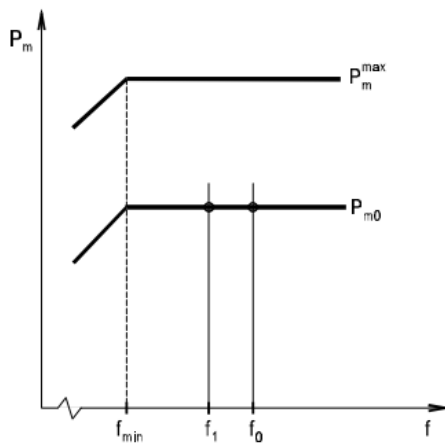
Megoldás:

A meddő teljesítmény a nagyobb feszültségű végponttól áramlik a kisebb felé.

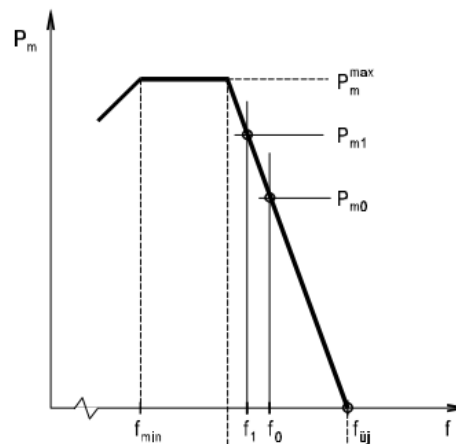
36. A frekvenciatartásban fontos szerepe van a turbina (mechanikai) teljesítmény P(f) karakterisztikájának és az ún. szekunder szabályozásnak.

a) Ábrán adja meg a frekvenciára érzéketlen (a1) ill. a frekvenciaváltozásra szabályozással válaszoló (a2) idealizált P(f) karakterisztikákat!

Megoldás:



a1)



a2)

b) Értelmezze a statizmus fogalmát és a szabályozás MW/Hz meredekségét a karakterisztika alapján!

Megoldás:

A P(f) karakterisztika átlagos arányossága, az ún. statizmus:

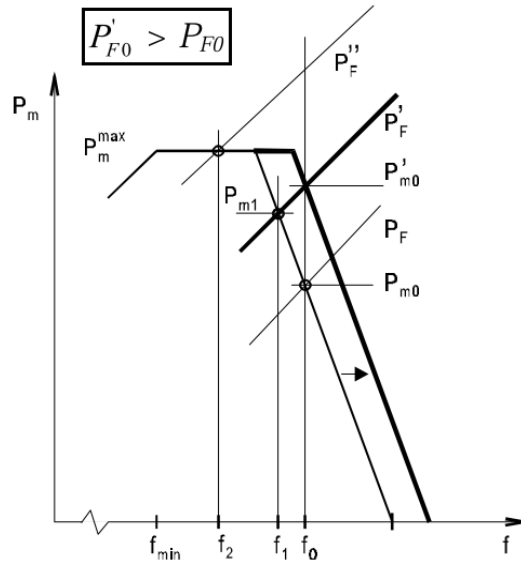
$$R = 100 \Delta f_R / f_{névl} \quad [\%]$$

A karakterisztika meredeksége:

$$K_g = - \Delta P_m / \Delta f = - P_m^{\max} / \Delta f_R \quad [\text{MW/Hz}]$$

- c) Mutassa meg a primer- ill. szekunder-szabályozás elvi működését az a2 karakterisztikához!

Megoldás:



37. A teljesítmény-átvitelnek statikus stabilitási korlátja is van.

- a) Egyszerű példán értelmezze a feszültségstabilitást X induktív reaktancián történő átvitelhez és levezetéssel határozza meg az átvihető P_{max} teljesítményt!

Megoldás:

Az X induktív reaktancián történő teljesítményátvitel a 220 kV-os vagy ennél nagyobb feszültségű hálózatokra jellemző. A 4-5a. ábra a modellt, a 4-5b. ábra az $U-I$ fazorábrát mutatja. Az ábra alapján

$$E_A^2 = U^2 + (XI)^2, \quad \text{ahol} \quad I = P / U$$

A $V = U^2$ bevezetésével V -re az alábbi másodfokú egyenletet kapjuk

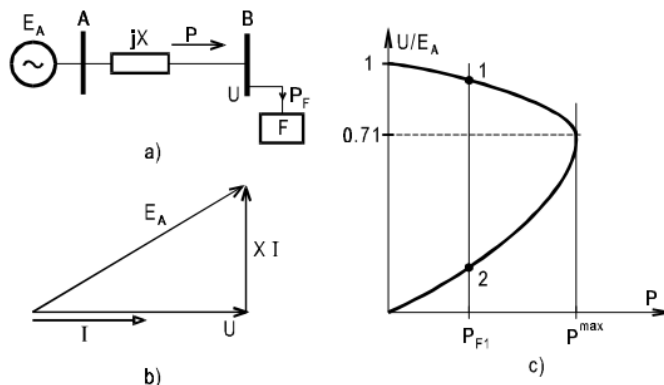
$$V^2 - E_A^2 V + (XP)^2 = 0$$

A B pont U feszültsége ennek

$$U^2 = V = (E_A^2 \pm \sqrt{D}) / 2 \quad (4-25)$$

megoldásával határozható meg, ahol $D = E_A^4 - 4(XP)^2$. Az átvitel $U(P)$ jelleggörbéjét a 4-5c. ábra mutatja. A P_{F1} teljesítményhez az 1. lesz a munkapont, mert itt teljesül a feszültség stabilitás $dP/dU < 0$ feltétele. Az átvihető legnagyobb P teljesítmény a $D = 0$ értékhez tartozóan :

$$P^{max} = E_A^2 / 2X \quad (4-26)$$



4-5. ábra Az X reaktancián történő átvitel feszültségstabilitása

b) Adja meg a feszültségstabilitás általános feltételét, ha P_F nem függ az U -tól!

Megoldás:

$$dP / dU < 0$$

c) Mutasson egyszerű áramkört példát az instabilitás kialakulására.

Megoldás:

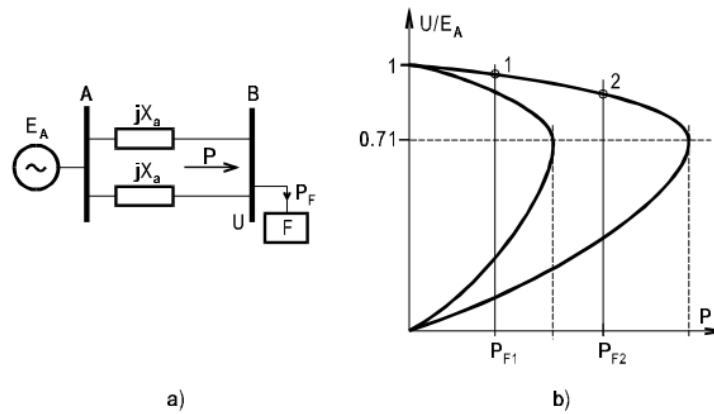
Tételezzük fel, hogy az átvitel két párhuzamos, egyenként X_a reaktanciájú vezetéken történik. A párhuzamos átvitelnél

$$X = X_a / 2 \quad \text{és így} \quad P_2^{\max} = E_A^2 / X_a,$$

az egyik vezeték hiánya esetén pedig

$$X = X_a \quad \text{és ezért} \quad P_1^{\max} = P_2^{\max} / 2.$$

Tegyük fel, hogy az áramterhelhetőség megengedi a $P_F > P_1^{\max}$ fogyasztói igény ellátását (a 4-6b. ábrán $P = P_{F2}$) és ezért az ábra szerinti 2. munkapontban üzemelünk. Bekövetkezhet azonban az egyik vezeték kikapcsolódása, ami az új munkapont hiánya miatt feszültség-összeomlást okoz.



4-6. ábra Feszültségstabilitás a kettős vezetéken történő átvitelnél

38. A teljesítmény-átvitelnek statikus stabilitási korlátja is van.

a) Egyszerű példán értelmezze a szinkronstabilitást X induktív reaktancián történő átvitelhez és levezetéssel határozza meg az átvihető P_{\max} teljesítményt!

Megoldás:

Az $I_p = I_F$ jelöléssel a B pontba érkező $P = P_F$ teljesítmény a

$$P = E_B I_p.$$

módon fejezhető ki. A 4-8b. és 4-8c. ábrákhoz egyaránt írhatjuk, hogy az E_A és az E_B közötti δ szög alapján

$$X I_p = E_A \sin \delta$$

Ezekkel az átvitt P teljesítmény a δ függvényében a

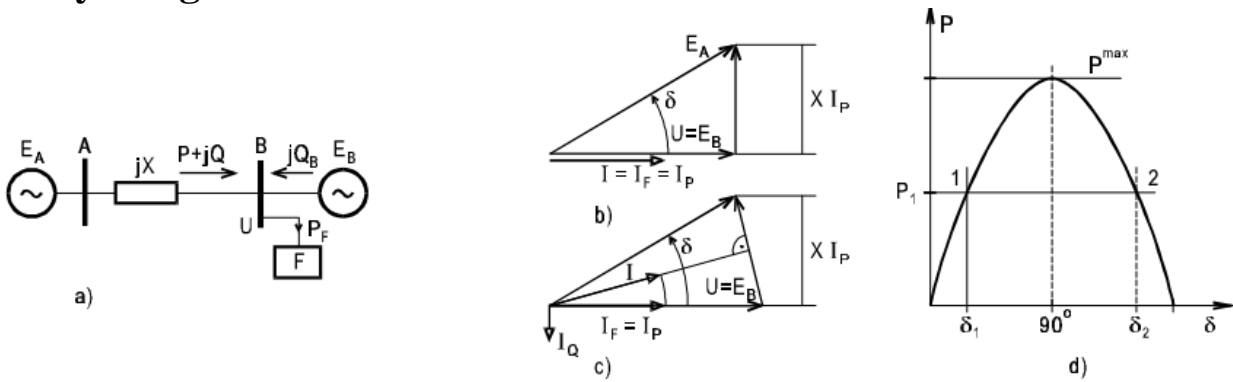
$$P = (E_A E_B / X) \sin \delta \tag{4-30}$$

kifejezéssel adható meg. Ebből adódik, hogy az állandó feszültségek között átvihető legnagyobb teljesítmény (a $\sin \delta = 1$ esetén):

$$P^{\max} = E_A E_B / X \tag{4-31a}$$

és ekkor

$$\delta = \delta^{\max} = 90^\circ \tag{4-31b}$$



4-8. ábra Modell és $P(\delta)$ karakterisztika a szinkron stabilitáshoz

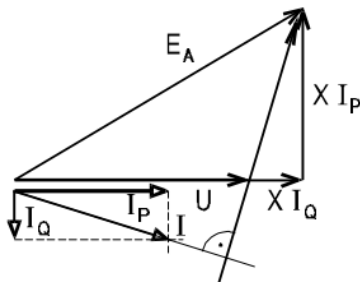
b) Adja meg a statikus szinkronstabilitás általános feltételét!

Megoldás:

$$dP/d\delta > 0$$

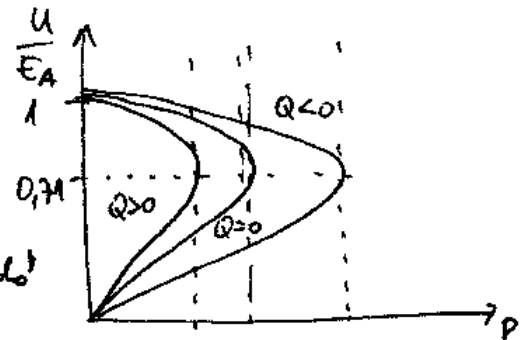
c) Fázorábrán mutassa meg a feszültszabályozás meddőteljesítmény-igényvonzatát!

Megoldás:



fen. nat. meddőtelj. igényét

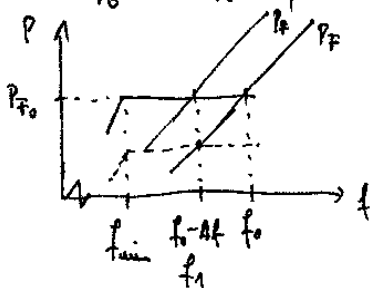
mivel P esetén az $E_A \approx E_B$ állandó értéken tartva ahhoz az $A \approx B$ oldalon exponenciál növekedő Q betáplálásra van szükség



39. Egy $P_{F0} = 100000$ MW fogyasztású rendszer 50 Hz frekvencián üzemel, a fogyasztók feltételezett a frekvenciaérzékenységi tényezője $k_{pf} = 1$ és az erőművekben frekvencia érzéketlen primer turbinaszabályozókat feltételezünk. A fogyasztói teljesítmény 150 MW-tal történő növekedésének hatására hogyan változik meg a frekvencia, ha nem történik szabályozás? Ábra segítségével illusztrálja a munkapont változást!

$P_{F0} = 100000 \text{ MW}$, $f = 50 \text{ Hz}$, $k_{pf} = 1$, $\Delta P_{F0} = 150 \text{ MW}$

$$P_F = P_{F0} + \Delta P_{F0} = 100150 \text{ MW}, \quad P_F = P_{F0} + P_{F0} k_{pf} \frac{\Delta f}{f_0} \rightarrow \Delta f = f_0 \frac{\Delta P_{F0}}{P_{F0} \cdot k_{pf}} = 0,075 \text{ Hz}$$



40. Adja meg a villamosenergia-rendszerben hirtelen fellépő teljesítménytöbbletnek a rendszer gépei (erőművei) közötti eloszlásának lépéseit.
Adja meg az egyes lépések során az eloszlást meghatározó jelenségre vonatkozó alapösszefüggéseket.

Megoldás:

a) terhelési növekedés arányosan, tranziens impedanciával fordítottan arányosan

$$P_{1,2} = \frac{|A_{11}| \cdot |A_{22}|}{Z_{12}} \cdot \sin \phi$$

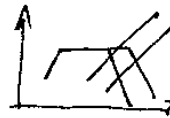
b) telekiterjesztési nyomaték arányában

$$\Delta W_E = -T \frac{dW}{dt}$$

c) primer szabályozó felm. kiterjesztése arányában

$$\Delta P = -k_g \cdot \Delta f$$

d) szekunder szabályozó beint

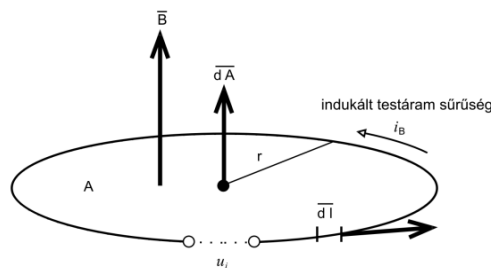


e) terhelési csökkenés / szabályozó beint

41. Adja meg kisfrekvenciás mágneses erőtér esetén:

- a) Szemléltesse B mágneses indukció által okozott testáram indukálásának mechanizmusát, valamint a B és az indukált testáram-sűrűség közötti kapcsolat összefüggését.

Megoldás:



Fluxus r sugarú területen:

$$E = \frac{d\psi}{dt} = \frac{d(r^2 \pi B_{eff} \cos \omega t)}{dt} = \omega r^2 \pi B$$

Menetfeszültség r sugarú kör mentén:

$$\psi = A \cdot B = r^2 \pi B = r^2 \pi B_{eff} \cos \omega t$$

Testáram sűrűség:

$$i = \frac{E}{R} = \frac{E}{\rho \frac{l}{A}} = \frac{2\pi f r^2 \pi B}{\rho \frac{2\pi r}{1}} = \pi r \frac{f}{\rho} B$$

- b) Adja meg az alábbi egészségi határértéket a lakosságra és foglalkozási körre:
- testáram-sűrűség alapvető korlátai (basic restrictions)

Megoldás:

Lakosságra:

Frequency range	Current density (mA/m ²) (rms)
0 Hz	—
>0-1 Hz	8
1-4 Hz	8/f
4 - 1000 Hz	2;
1000Hz-100 kHz	f/500

Foglalkozási körre:

Frequency range	Current density for head and trunk J (mA/m ²) (rms)
Up to 1 Hz	40
1 - 4 Hz	40/f
4 - 1000 Hz	10
1000 Hz – 100 kHz	f/100

- a B indukció hivatkozási szintjei (reference levels).

Megoldás:

Lakosságra:

Frekvencia		B tér mágneses indukció
hatások	egység	(μT)
0-1	Hz	4×10^4
1-8		$4 \times 10^4/f^2$
8-25		$5\,000/f$
0,025-0,8	kHz	$5/f$
0,8-3		6,25
3-150		6,25

Foglalkozási körre:

Frequency range	Magnetic flux density, B (μT)
0 — 1Hz	2x10 ⁵
1 — 8 Hz	2x10 ⁵ /f ²
8 — 25 Hz	2,5x10 ⁴ /f
0,025 — 0,8kHz	25/f
0,82 — 2,5 kHz	30,7
2,5 — 65 kHz	30,7
65 — 100 kHz	2 000/f

A lakosságra megengedett határérték:

$$B = \frac{5}{f} = \frac{5}{0,05} = 100 \mu T$$

Foglalkozási körre megengedett határérték:

$$B = \frac{25}{f} = \frac{25}{0,05} = 500 \mu T$$

VÉGE... Jah és még valami. „Mert Isten úgy szerette ezt a világot, hogy az Ő egyszülött Fiát adta, hogy aki hisz őbenne, el ne vesszen, hanem örök élete legyen.” (Jn. 3:16)

Mit is jelent ez számodra?

- 12-es kérdés: D_f képlete helyes, de a számolás során 2 hiba is van:
 - A föld fajlagos ellenállását (ρ) Ohm*m-ben kell beírni, nem Ohm*km-ben.
 - Frekvencia helyett R_f -et használt a képletben. Tehát a gyökjel alatt 50/50 áll, így a helyes eredmény kerekén $D_f=659$ méter.
 - Kiegészítés: c) részben $\lg(D_f/r_v)$ áll, ahol D_f a cső sugara, r_v a vezető sugara. Számszerűen (ez nem látszik) $r_v=6.59*10^{-3}$ és $D_f= 659$, mindkettő mértékegysége méter.

- 13-as kérdés: a táblázatok rosszul vannak kitöltve, de a számoláshoz szükséges helyes képlet ott van.
 - 1. táblázat: a "peremezés" hibás, a ρ -t és az f -et fel kell cserélni. (Oldalt f , felül ρ).
 - 2. táblázat: az 1. táblázat adataival dolgozik, tehát itt is meg kell cserélni a peremezést.

- 25-ös kérdés: a) rész: a fenti képlet harmadik tagjánál lemaradt egy $\exp(-j*\delta)$ tag, ez a szimmetria miatt is látszik hogy kell oda, vedd össze az alatta lévő sossal!