

Villamosenergia-átvitel

– Vizsgakérdések: 1–2 –

2004

1. AC és DC átvitel, feszültségintézkedések és transzformációk, váltakozó feszültség, áram, teljesítmény

1.1 Feszültségintézkedések, transzformációk, hálózatalakzatok az MK VER-ben

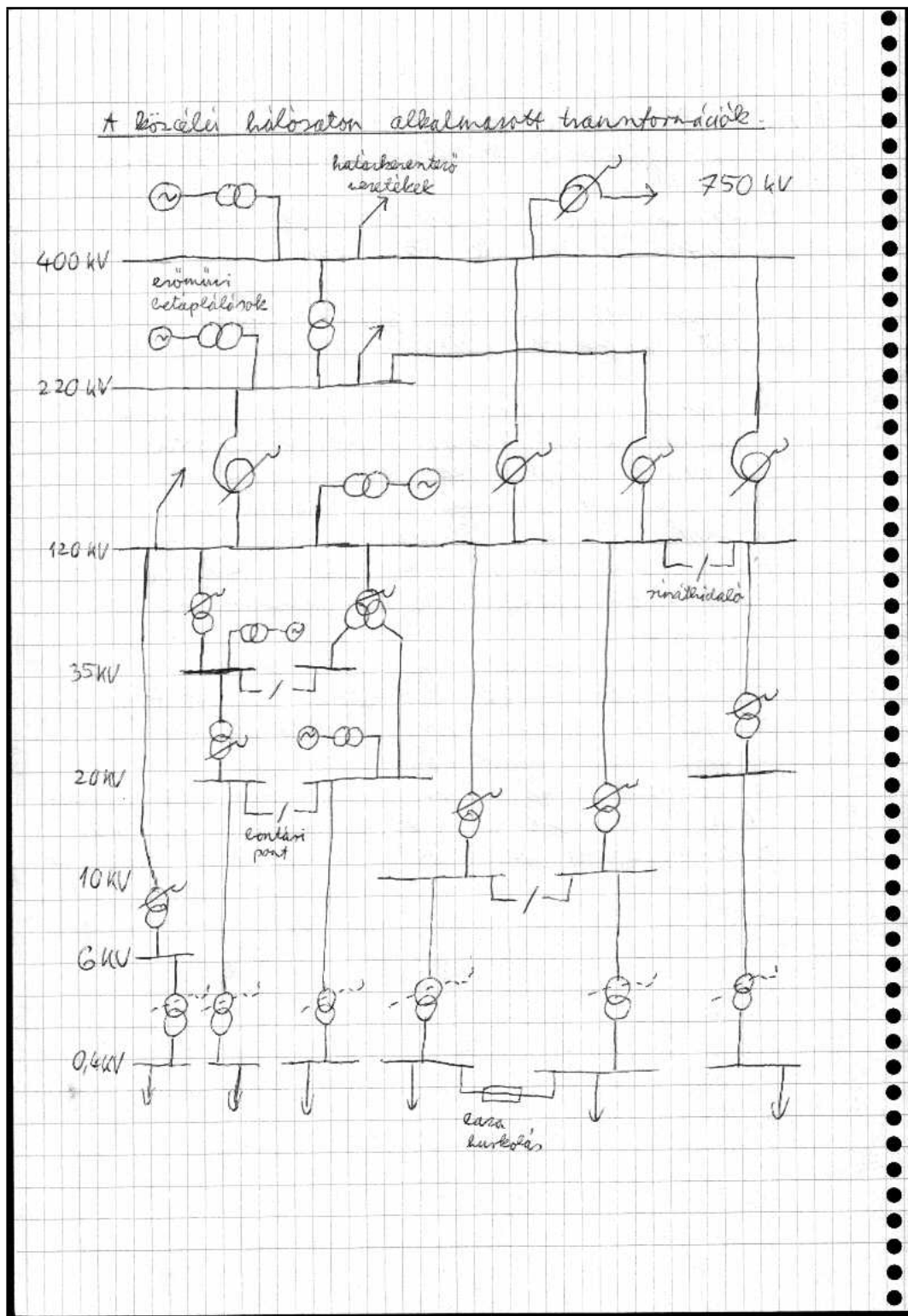
A magyar VER szabványos feszültségintézkedései, hálózati szerepek, városi hálózatalakzatok.

Nagyfeszültségű hálózati alaphálózat, amelynek feszültségintézkedései: 400 kV, 220 kV és rendszerint 120 kV. Az alaphálózatra kapcsolódnak a nagyterheltségű erőművek, a határbeszentésű üzemek, amelyek névleges feszültségei: 750, 400, 220 és 120 kV, és a főelosztó hálózati 120 kV / közepenfeszültségű transzformátorállomások egy része.

A főelosztó hálózat rendszerint kialakításánál, feszültségintézkedése 120 kV. A főelosztó hálózat fogadó pontjai a közepenfeszültségű elosztóhálózati gyűjtőszekrények, transzformátorállomások.

A közepenfeszültségű elosztóhálózat szintén rendszerint üzemel, névleges feszültségei: 35, 20, 10 és 6 kV.

A kisfeszültségű elosztóhálózat 0,4 kV-os, rendszerint üzemel.

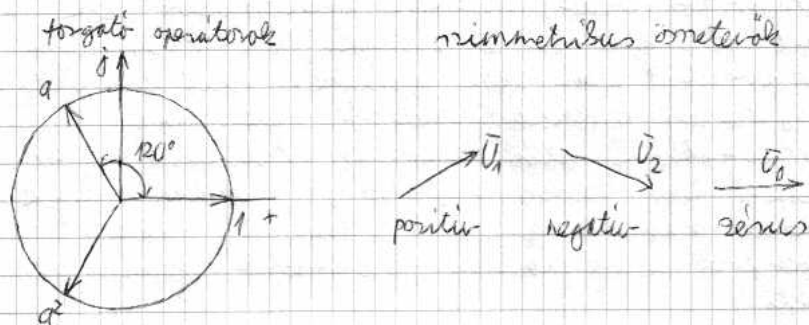


2. A nemmetrikus ömtervök módosítása. A nemmetrikus ömtervök mérése.

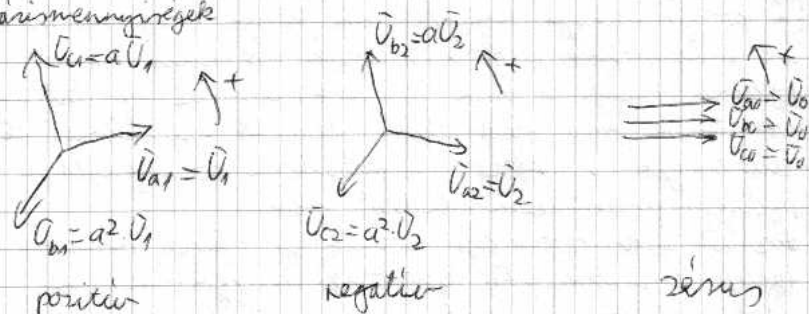
2.1 Háromfázisú feszültség- (áram) rendszer nemmetrikus ömtervei

A pozitív, negatív és zérus sorrendű feszültség- (áram-) rendszer jelölései

Az $\bar{U}_a, \bar{U}_b$ és $\bar{U}_c$ fázisok csak háromféleképpen lehetnek nemmetrikus rendűek az a-b-c fázisokhoz viszonyítva.



a különböző sorrendű ömtervek által képviselt fázismennyiségek



Pozitív sorrendű feszültségrendszer:

$\bar{U}_{a1} = \bar{U}_1$ $\bar{U}_{b1} = a^2 \cdot \bar{U}_1$ $\bar{U}_{c1} = a \cdot \bar{U}_1$, ahol $\bar{U}_1$ a pozitív sorrendű feszültség (fázis), ami a

normál üremit állapotunk kódja jellemzője
(pozitív zónend: forgásmag részét a-b-c
zónend).

Negativ konvergenz früher geringer:

$\bar{U}_{a2} = \bar{U}_2$ $\bar{U}_{b2} = a \bar{U}_2$ $\bar{U}_{c2} = a^2 \bar{U}_2$, ahol $\bar{U}_2$
a negatív xomendű szimmetrikus fázor (negatív
xomend: forgásiirány nemzeti a-c-b xomend).

Zérus xrendü knültrendör:

$V_{AB} = V_B$, $V_{BC} = V_C$, $V_{CA} = V_A$, ahol V_A a vérszintromendél fennültegy fázor (vérszintromendél: azonos fázishelyzet az a-b-c-ben).

A pontus (és negatív) sorrendű arániméterek az a-b-c társasban belül mindig $(1+a+a^2=0)$ közül valamelyiket nem vesz igénybe. Ezzel ellentétben az 1-es és sorrendű öntetők csak kisebb arániméterek) jelentősebb exten alakulhatnak ki és éppen egyértelműen $3 \cdot 1_0 = 1a + 1_b + 1_c$ aránm. folyszik. (A földaránimétereké jutó $3 \cdot 1_0$ hányad - fizikai tömegből adódóan - a társasokhoz nyomvonalát követi.)

A negatív vonrendű áram a háromfázisú villamos gépek forgórésénél kétes túllépezést okozhat (a forgórésárral ellentétesen forró mágneses mező az állórésén). A 3- ϕ réses vonrendű áram földben folyó résének mágneses tere az együtthatóval fordított és a föld által képzett hurokban fényültséget indukál, a földeléshez körszertében pedig potenciálemelkedést okoz.

Az 6. zérus sorrendű ϵ -műltség, mivel mindhárom fázis ϵ -műltségében azonosan megjelenik, az ezek különbségeként értelmezett lokális ϵ -műltsegekből kiiktatódik, inont a fázis ϵ -műltsegekből (fázisokból) képezhető háromnőz nélypontszámok, azon a csillagponti ϵ -műltségnak az áthelyeződését eredményezi. Ez - a nem határozottan

földelt rendszereken - a földpotenciálhoz viszonyított ún. csillagpont eltolódást eredményez és jelentős (alapharmónikus) túlfeszültségeket okozhat.

Aszimmetrikus feszültség - (áram-) rendszer szimmetrikus öntetési áramok meghatározása.

- pozitív sorrend

$$\bar{I}_1 = \frac{1}{3} (\bar{I}_a + a \bar{I}_b + a^2 \bar{I}_c)$$

- negatív sorrend

$$\bar{I}_2 = \frac{1}{3} (\bar{I}_a + a^2 \bar{I}_b + a \bar{I}_c)$$

- zérus sorrend

$$\bar{I}_0 = \frac{1}{3} (\bar{I}_a + \bar{I}_b + \bar{I}_c)$$

Fázismennyiségek meghatározása szimmetrikus öntetési áramokból.

- a fázis $\bar{I}_a = (\bar{I}_0 + \bar{I}_1 + \bar{I}_2)$

- b fázis $\bar{I}_b = (\bar{I}_0 + a^2 \bar{I}_1 + a \bar{I}_2)$

- c fázis $\bar{I}_c = (\bar{I}_0 + a \bar{I}_1 + a^2 \bar{I}_2)$

Transformációs mátrix és inverze.

$$U_a = U_0 + U_1 + U_2$$

$$U_b = U_0 + a^2 U_1 + a U_2$$

$$U_c = U_0 + a U_1 + a^2 U_2$$

$$\underline{U}_F = \underline{A} \cdot \underline{U}_S \quad \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{U}_S = \underline{A}^{-1} \cdot \underline{U}_F \quad \begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix}$$

A hálózati ábrázimpedancia mátrix diagonalizálási feltétele.

$$\underline{U}_F = \underline{Z}_F \underline{I}_F \Rightarrow \underline{A} \underline{U}_S = \underline{Z}_F \underline{A} \underline{I}_S \Rightarrow \underline{U}_S = \underbrace{\underline{A}^{-1} \underline{Z}_F \underline{A}}_{\underline{Z}_S} \underline{I}_S$$

$\uparrow$
 $\underline{A} \underline{U}_S$

$\uparrow$
 $\underline{A} \underline{I}_S$

$$\underline{Z}_S = \underline{A}^{-1} \underline{Z}_F \underline{A} = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{Z}_F = \underline{A} \underline{Z}_s \underline{A}^{-1}$$

$$\underline{A} \underline{Z}_s = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 & Z_1 & Z_2 \\ Z_0 & a^2 Z_1 & a Z_2 \\ Z_0 & a Z_1 & a^2 Z_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{A} \underline{Z}_s \underline{A}^{-1} =$$

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} Z_0 & Z_1 & Z_2 \\ Z_0 & a^2 Z_1 & a Z_2 \\ Z_0 & a Z_1 & a^2 Z_2 \end{bmatrix} \frac{1}{3} \begin{bmatrix} Z_0 + Z_1 + Z_2 & Z_0 + a Z_1 + a^2 Z_2 & Z_0 + a^2 Z_1 + a Z_2 \\ Z_0 + a^2 Z_1 + a Z_2 & Z_0 + Z_1 + Z_2 & Z_0 + a Z_1 + a^2 Z_2 \\ Z_0 + a Z_1 + a^2 Z_2 & Z_0 + a^2 Z_1 + a Z_2 & Z_0 + Z_1 + Z_2 \end{bmatrix}$$

$\underline{Z}_F$: fázisimpedancia mátrix
ciklikus

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} Z_{0n} & Z_m & Z_n \\ Z_n & Z_{0n} & Z_m \\ Z_m & Z_n & Z_{0n} \end{bmatrix}$$

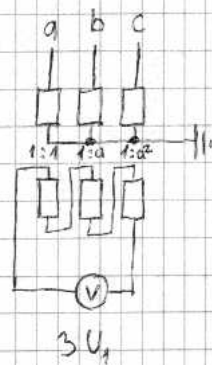
$$\text{ha } Z_m = Z_n = Z_{00}$$

$$\underline{\underline{Z_F}} = \begin{bmatrix} Z_{\dot{a}n} & Z_{\dot{a}o} & Z_{\dot{a}i} \\ Z_{\dot{a}i} & Z_{\dot{a}n} & Z_{\dot{a}o} \\ Z_{\dot{a}o} & Z_{\dot{a}i} & Z_{\dot{a}n} \end{bmatrix}$$

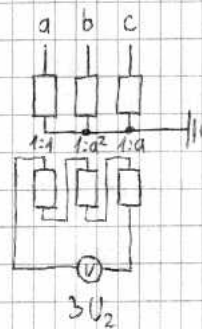
$$\underline{\underline{Z_S}} = \underline{\underline{A}}^{-1} \underline{\underline{Z_F}} \underline{\underline{A}} = \begin{bmatrix} Z_0 = Z_{\dot{a}n} + 2Z_{\dot{a}o} & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 = Z_{\dot{a}n} - Z_{\dot{a}i} & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 = Z_{\dot{a}n} - Z_{\dot{a}i} \end{bmatrix}$$

2.2 Zérus sorrendű feszültség és áram mérési lehetőségei

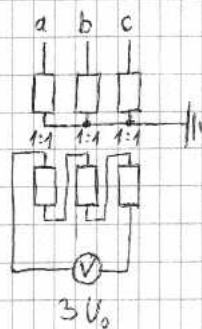
Aszimmetrikus feszültség- (áram-) rendszer szimmetrikus ömterelőinek meghatározása



$$U_1 = \frac{1}{3} (U_a + aU_b + a^2U_c)$$



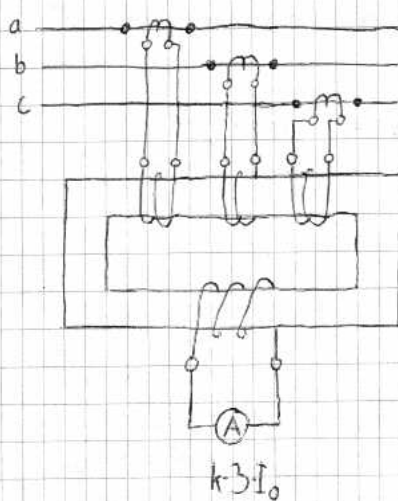
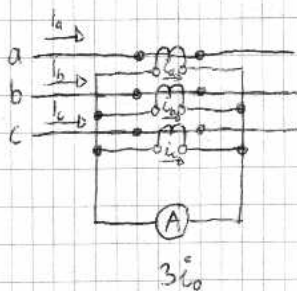
$$U_2 = \frac{1}{3} (U_a + a^2U_b + aU_c)$$



$$U_0 = \frac{1}{3} (U_a + U_b + U_c)$$

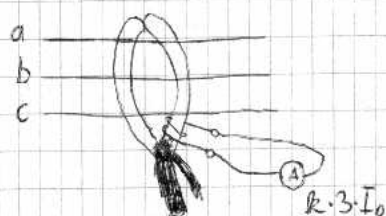
Zérus sorrendű áram mérésére szolgáló négy kapcsolóáram

$$3I_0 = I_a + I_b + I_c$$

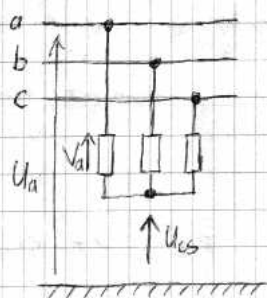


összegző transzformátor

lakatfogó



Zérus sorrendű feszültség mérésére szolgáló mérő kapcsolások:



$$U_a = V_a + U_{cs}$$

$$U_b = V_b + U_{cs}$$

$$U_c = V_c + U_{cs}$$

$$3U_0 = \underbrace{V_a + V_b + V_c}_{\emptyset} + 3U_{cs}$$

Villamosenergia-átvitel

– Vizsgakérdések: 3–6 –

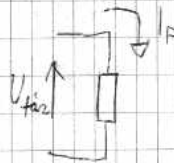
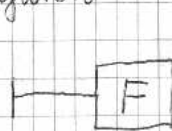
2004

3. Rendszerelemek, modellek (leképezések) nemmetrikus üzemhez

3.1 Fogyantó leképezése nemmetrikus üzemhez

Fogyantó „kapocstábla” adatai, állandó impedanciájú modellje

Fogyantó



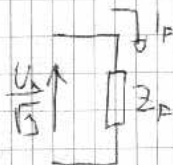
P_n 34; MW, kW

U_n : vonali; kV

$\cos \varphi_n$ (ind.)
(kap.)

$$\left(\cos \varphi_n = \frac{P_n}{S_n} \right)$$

Állandó impedanciájú fogyasztó



$$Z_F = \frac{U_n}{I_F} = \frac{U_n}{\sqrt{3}} \cdot \frac{\sqrt{3} U_n^*}{S_n^*}$$

$$S_n = \sqrt{3} U_n \cdot I_F^* = P_n + jQ_n$$

$$I_F^* = \frac{S_n}{\sqrt{3} U_n}$$

$$I_F = \frac{S_n^*}{\sqrt{3} U_n^*}$$

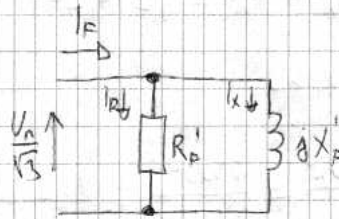
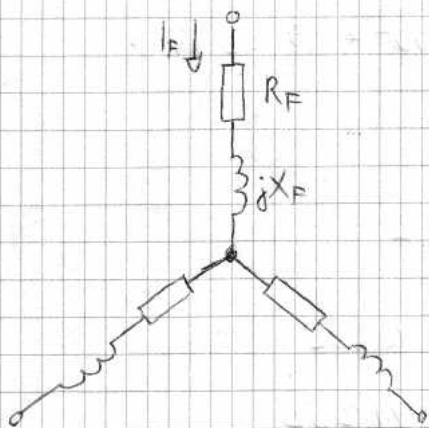
$$Z_F = \frac{U_n^2}{S_n^*} = \frac{U_n^2}{S_n (\cos \varphi_n - j \sin \varphi_n)} = |Z_F| (\cos \varphi_n + j \sin \varphi_n)$$

$$Z_F = |Z_F| (\cos \varphi_n + j \sin \varphi_n)$$

$$R_F = |Z_F| \cos \varphi_n$$

$$jX_F = j|Z_F| \sin \varphi_n$$

Sorba kapcsolt R, X és párhuzamosan kapcsolt R, X értékeinek számítása a névleges adatokból



$$S_n = P_n + jQ_n$$

$$R'_F = \frac{U_n^2}{P_n} \quad X'_F = \frac{U_n^2}{Q_n}$$

Példa

$$P_n = 200 \text{ kW}$$

$$U_n = 6,3 \text{ kV}$$

$$\cos \varphi_n = 0,92$$

$$R_F = ? , X_F = ? , R'_F = ? , X'_F = ?$$

$$|Z_F| = \frac{U_n^2}{S_n}$$

$$Z_F = |Z_F| (\cos \varphi_n + j \sin \varphi_n)$$

$$R_F = |Z_F| \cos \varphi_n$$

$$jX_F = j|Z_F| \sin \varphi_n$$

$$R'_F = \frac{U_n^2}{P_n}$$

$$X'_F = \frac{U_n^2}{Q_n}$$

$$\cos \varphi_n = \frac{P_n}{S_n}$$

$$\sin \varphi_n = \frac{Q_n}{S_n}$$

$$S_n = \frac{P_n}{\cos \varphi_n} = \frac{200 \text{ kW}}{0,92} = 217,4 \text{ kVA}$$

$$Q_n = \sqrt{S_n^2 - P_n^2} = \sqrt{217,4^2 - 200^2} = 85,22 \text{ kVAr}$$

$$\sin \varphi = 0,39$$

$$|Z_F| = \frac{U_n^2}{|S_n|} = \frac{6300^2}{217400} = 182,6 \, \Omega$$

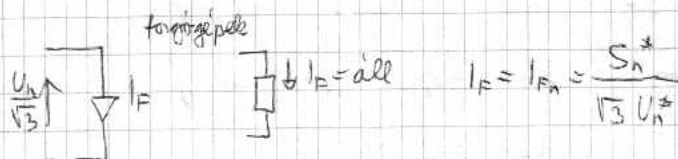
$$R_F = |Z_F| \cos \varphi_n = 182,6 \cdot 0,92 = 168 \, \Omega$$

$$X_F = |Z_F| \sin \varphi_n = 182,6 \cdot 0,39 = 71,2 \, \Omega$$

$$R_F' = \frac{U_n^2}{P_n} = \frac{6300^2}{200000} = 198,45 \, \Omega$$

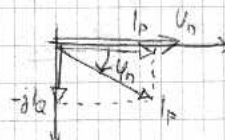
$$X_F' = \frac{U_n^2}{Q_n} = \frac{6300^2}{85220} = 465,74 \, \Omega$$

Állandó áramú fogyasztó modellje, áramának meghatározása a névleges adatokból.



$$I_F = \frac{P_n - jQ_n}{\sqrt{3} U_n} = \frac{|S_n|}{\sqrt{3} U_n} (\cos \varphi_n - j \sin \varphi_n) = I_p - jI_q$$

$|I_F|$



4. Transzformátorok leképezése szimmetrikus üzemhez

4.1 Két és háromfázisú transzformátor leképezése

Transzformátor kapcsolási adatai


 S_n 34, MVA, kVA

 U_{Pn}/U_{Sn} , kV csatl.

 ε , % drop

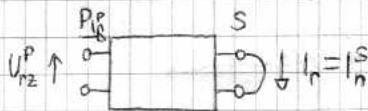
Tesztlég-, áram- és impedancia áttétel

$$\text{tesztlég-átvitel: } a_u = \frac{U_n^P}{U_n^S} = \frac{N^P}{N^S}$$

$$\text{áram-átvitel: } a_i = \frac{N^S}{N^P} = \frac{1}{a_u} \quad U_n^P \cdot I_n^P = U_n^S \cdot I_n^S$$

$$\text{impedancia áttétel: } a_z = \frac{a_u}{a_i} = \left(\frac{N^P}{N^S} \right)^2 = \left(\frac{U_n^P}{U_n^S} \right)^2 = a_u^2$$

Százalékos rövidzárási feszültség (drop) értelmezése



$$U_{P2}^P = I_n^P \cdot Z_T^P$$

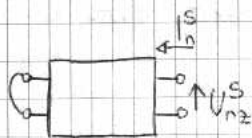
$$\varepsilon\% = \frac{U_{P2}^P}{U_n^P} \cdot 100 = \frac{I_n^P \cdot Z_T^P}{U_n^P} \cdot 100$$

$$Z_T^P = \frac{\varepsilon\%}{100} \cdot \frac{(U_n^P)^2}{S_n}$$

$$Z_T^S = \frac{\varepsilon\%}{100} \cdot \frac{(U_n^S)^2}{S_n}$$

$$\frac{Z_T^P}{Z_T^S} = \frac{(U_n^P)^2}{(U_n^S)^2}$$

$$Z_T^P = Z_T^S \left(\frac{U_n^P}{U_n^S} \right)^2 \quad a_z$$



$$U_{n2}^S = I_n^S \cdot Z_T^S$$

$$\varepsilon\% = \frac{U_{n2}^S}{U_n^S} \cdot 100 = \frac{I_n^S \cdot Z_T^S}{U_n^S} \cdot 100$$

$$Z_T^S = \frac{\varepsilon\%}{100} \cdot \frac{(U_n^S)^2}{S_n}$$

$$Z_T^P = Z_T^S \left(\frac{U_n^P}{U_n^S} \right)^2 \quad a_z$$

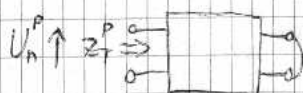
Transzformátor (mórári) reaktancia meghatározása az adatokból.

Impedancia : valós + képzetes

$$Z_T^P = R + jX_T^P \quad \text{mórári reaktancia}$$

$$Z_T^S = R + jX_T^S$$

Saját zárlati teljesítmény



$$S_z = \frac{(U_n^P)^2}{Z_T^P} = \frac{S_n}{\varepsilon}$$

S_z : SA, MVA

U_n^P : vonali, kV

5. Több-feszültségű hálózatok számítási technikái

5.1 Számítások, modellek közös feszültségszinten

A közös feszültségszintre redukálás módszer alkalmazásának lépései

- a) közös feszültségszint kiválasztása,
- b) a hálózati adatok számértékeinek meghatározása a közös feszültségszinten,
- c) áramok és feszültségek számítása közös feszültségszinten,
- d) eredmények átrájtása a saját feszültségszintre.

A módszer bemutatása példaformában: a megadott adatokkal határozza meg egy forrás-transzformátor - tápvonalak - transzformátorok nélküli hálózaton, adott helyen bekövetkező háromfázisú zárlat hatására fellépő áramokat és a kialakuló feszültségeket (a számítás befejezéséig a megjelölt mennyiségeket saját szintre is át kell számítani).

5.2 Számítások, modellek viszonylagos egységben

A viszonylagos egységekben történő számítás alkalmazásának lépései

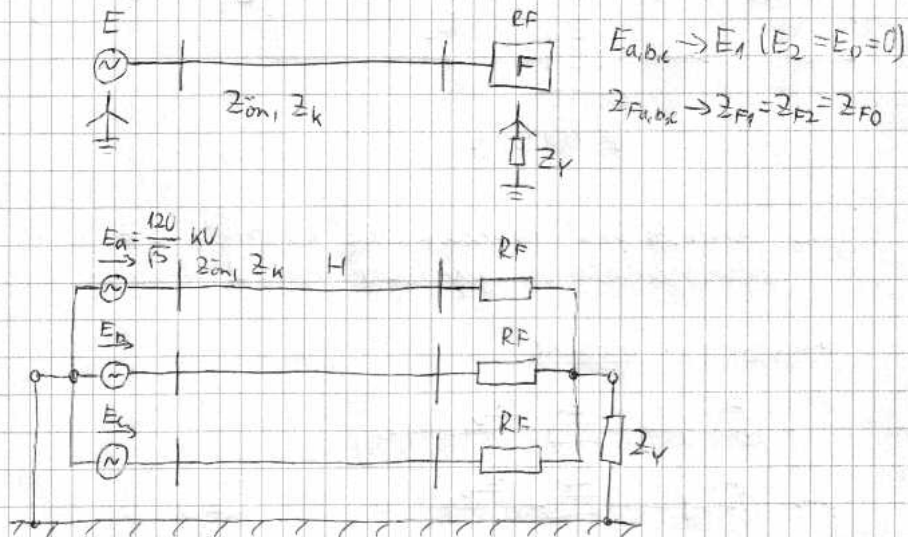
- alapmennyiségek felvétele, számítás minden hálózati körzetben,
- a hálózati elemek paramétereinek meghatározása v.e.-ben,
- az áram és a feszültségek meghatározása v.e.-ben,
- eredmények átírása dimenziós mennyiségekre.

A módszer bemutatása példaán: a megadott adatokkal határozza meg egy fűtés-transzformátor-távvezeték-transzformátortorlekben hálózaton, adott helyen bekötendő háromfázisú szűrt hálózatra lépő áramokat és a kialakuló feszültségeket (a számítás befejezéséig a megjelölt mennyiségeket dimenziós értékekre is át kell írni).

6. Háromfázisú szabaddvezeték soros impedanciái, négyvezetős modell és alkalmazása

6.1 Háromfázisú szabaddvezeték három. örművelésű és négyvezetős (soros impedanciájú) modellje

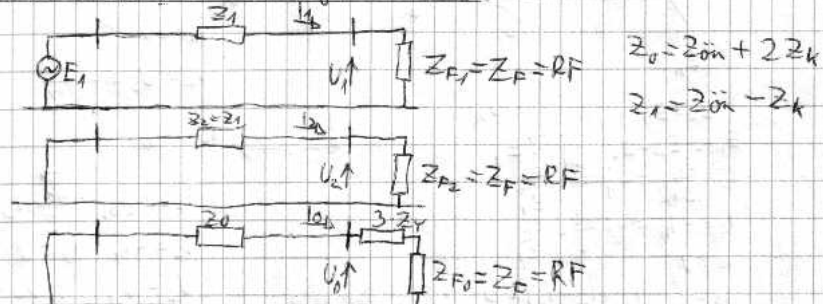
A háromfázisú áramköri modell



$$E_a = \frac{120}{\sqrt{3}} = 69,28 \text{ kV} \quad Z_{0n} = j0,6 \Omega/\text{km} \quad Z_k = j0,2 \Omega/\text{km}$$

$$H = 30 \text{ km} \quad R_F = 360 \Omega \quad Z_Y = j12 \Omega$$

Szimmetrikus örművelésű modell



Négyvezetős modell

$Z_2 = Z_1$
 $Z_f = Z_1$
 $Z_N = \frac{Z_0 - Z_1}{3}$

$I_N = I_a + I_b + I_c$

6.2 háromfázisú hálózati rendszerek végponti ZF rövidzárlata négyvezetős modell alapján

Négyvezetős modell

$I_a = 0$
 $U_{bc} = 0$
 $(U_b = U_c)$

$I_N = 0$

$R \ll X; Z = jX$

$U_a = E_a$
 $U_b = U_c = -\frac{U_a}{2}$

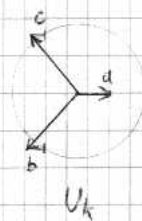
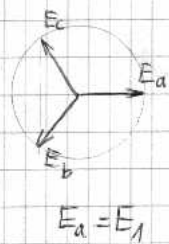
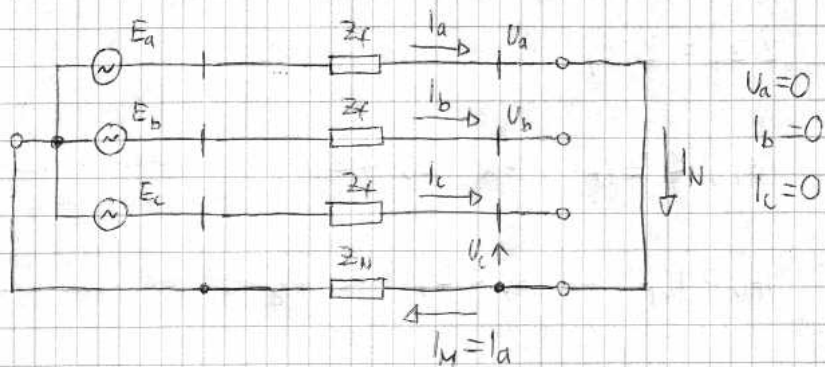
$I_c = -I_b$

$I_{2f} = |I_b| = \frac{\sqrt{3}}{2} I_{3f}$
 $I_2 = -I_1, I_0 = 0$
 $U_2 = U_1, U_0 = 0$

$E_a = E_1$
 $E_{bc} = E_b - E_c = -j\sqrt{3} E_a$
 $I_b = \frac{E_{bc}}{2Z_f} = -j\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{E_a}{Z_1}$
 $I_c = -I_b = +j\frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \frac{E_a}{Z_1}$
 $I_a = 0$
 $I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) = 0$
 $I_1 = \frac{1}{3} (I_a + aI_b + a^2I_c) = \frac{E_1}{2Z_1}$
 $I_2 = -\frac{E_1}{2Z_1}$

6.3 háromfázisú szabványosított végponti 1FN rövidzárlatos négyvezetős modell alapján

Négyvezetős modell



$R \ll X, Z = jX$

$$I_N = I_a = \frac{E_a}{Z_f + Z_N} = \frac{E_a}{\frac{2Z_1 + Z_0}{3}} = \frac{E_1}{\frac{2Z_1 + Z_0}{3}}$$

$$U_b = E_b - Z_N I_N = E_b - Z_k I_a$$

$$U_c = E_c - Z_N I_N = E_c - Z_k I_a$$

$$I_{FN} = |I_a| = 3 \frac{E_1}{2Z_1 + Z_0}$$

$$I_0 = I_1 = I_2$$

$$U_0 + U_1 + U_2 = 0$$

Z_{fN} fázisnév - földiművelés hurok:

$$Z_f + Z_N = (2Z_1 + Z_0)/3$$

Z_{ff} fázisnév - fázisnév hurok:

$$2Z_f = 2Z_1$$

$Z_{fN} < Z_{ff}$ ha $Z_0 < Z_1$ általában minden légszűrőre igaz

$I_{fN} > I_{3F}$ ha $Z_0 < Z_1$ az légszűrőkre nem igaz

Villamosenergia-átvitel

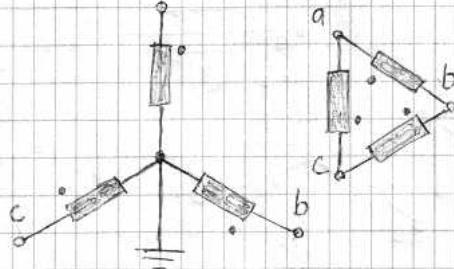
– Vizsgakérdések: 7–8 –

2004

Z. Transzformátor - kapcsolások, kapcsolatok áramképe,
transzformátor zérus sorrendű modellje

7.1 A transzformátor átláttele, kapcsolási csoport,
"fázisforgató" hatás

Yd 11 $a_0 = 120/10$ kV/kV $S_{\text{alap}} = 40$ MVA



$$I_0 = -j 1,0 \text{ v.e.}$$

$$U_0 = -0,2 \text{ v.e.}$$

$$I_1 = -j 1,0 \text{ v.e.}$$

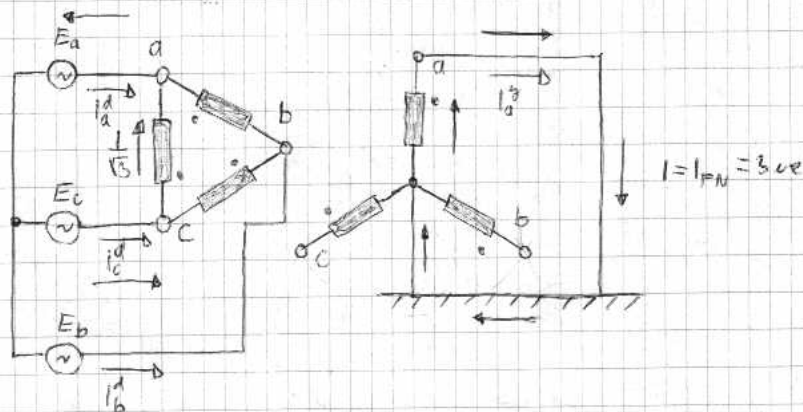
$$U_1 = 0,6 \text{ v.e.}$$

$$I_2 = -j 1,0 \text{ v.e.}$$

$$U_2 = -0,4 \text{ v.e.}$$

7.2 Transzformátor 1FN kapcsoláslata, háromfázisú áramkép a gerjesztési egyenlőség alapján

Yd11 $U_t = 120/10$ kV/kV $S_{\text{alap}} = 40$ MVA
A szeltes csillag oldalán $I_a = 3$ kA



$$I_a^d = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad I_b^d = 0 \quad I_c^d = \frac{1}{\sqrt{3}} \quad I_a^s = 1 \quad I_b^s = 0 \quad I_c^s = 0$$

$$I_a^d = 0$$

$$I_b^s = 1/3$$

$$I_1^d = I_1^s \cdot e^{j150^\circ}$$

$$I_1^s = 1/3$$

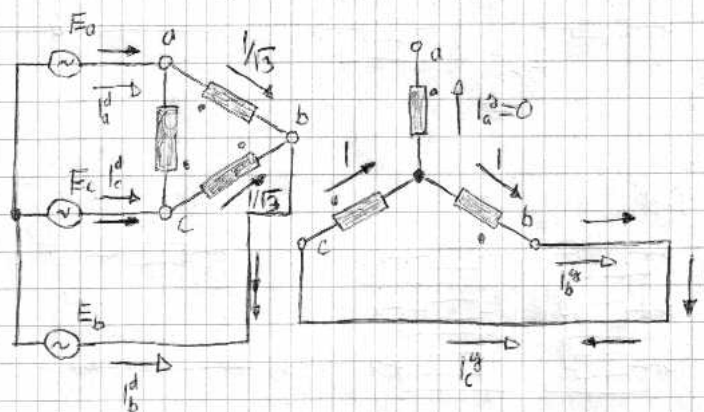
$$I_2^d = I_2^s \cdot e^{j150^\circ}$$

$$I_2^s = 1/3$$

7.3 Transzformátor 2F kapocsábrak, háromfázisú áramkép a gerjesztési egyenrűl alapján

Yd11 $u_k = 120/10$ kV/kV $S_{alap} = 40$ MVA

A izolator oldalán $I_b = 3$ kA.



$$I_a^d = 1/\sqrt{3} = I_c^d \quad I_b^d = -2/\sqrt{3} \quad I_a^s = 0 \quad I_b^s = 1 \quad I_c^s = -1$$

$$I_b^d = 0$$

$$I_b^s = 0$$

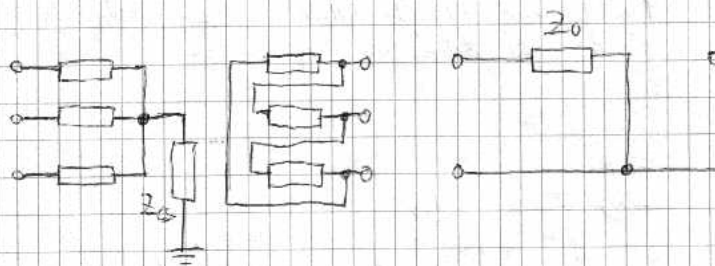
$$I_1^d = \sqrt{3} \angle e^{-j60^\circ}$$

$$I_1^s = j/\sqrt{3}$$

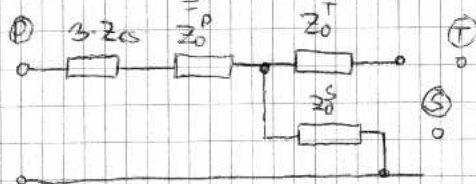
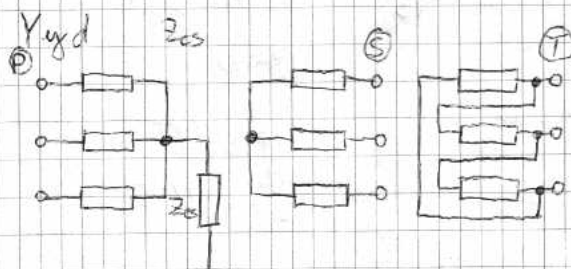
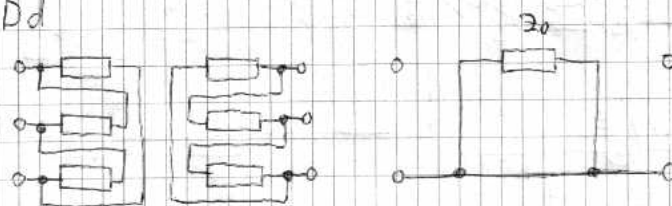
$$I_2^d = \sqrt{3} \angle e^{j60^\circ}$$

$$I_2^s = -j/\sqrt{3}$$

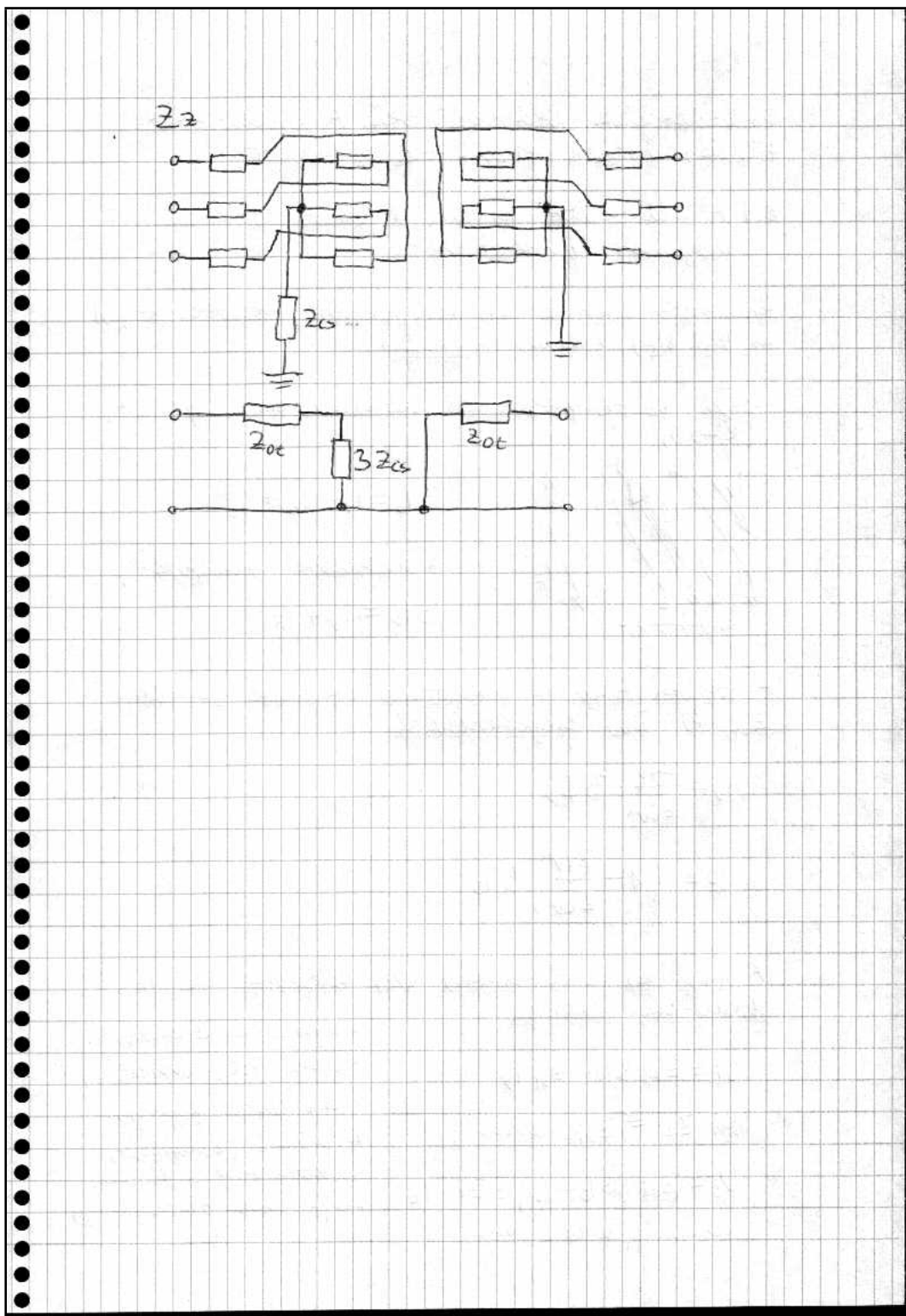
7.4 Transzformátor zárcsúvrendű modellje

Yd $Z_{cs}=0$ 

Dd



$$\begin{aligned} Z_0^P + Z_0^S &= Z_0^{PS} \\ Z_0^P + Z_0^T &= Z_0^{PT} \\ Z_0^S + Z_0^T &= Z_0^{ST} \end{aligned}$$

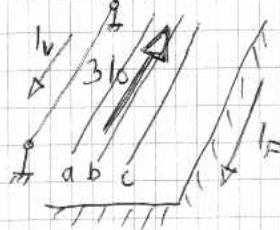


8. Szabadvezeték védővezetővel. A csillagpont-földelés határa fázis-föld zárlatkor

8.1 A védővezető határa a város környéki mágneses távollakhatásra

Fázisvezető áramok $3I_0$ komponense, védővezető (I_V) és föld (I_F) áramvisszatérés

Legyen az onlopföldelés ellenállása elhanyagolható, ($R \rightarrow 0$)



$$3I_0 = I_a + I_b + I_c$$

a metretre irányítjuk

$$3I_0 = I_V + I_F$$

A földben folgó I_F komponens kifejezése az átlagos Z_{VF} és Z_{WV} impedanciával

$$I_V = \frac{Z_{FV}}{Z_{WV}} \cdot 3I_0$$

$$I_F = \left(1 - \frac{Z_{FV}}{Z_{WV}}\right) 3I_0$$

A mágneses távollakhatás (U_i) kifejezése az I_F földáram alapján

$$U_i = Z_{Fi} 3I_0 - Z_{Vi} I_V$$

Ha $Z_{Fi} \approx Z_{Vi}$ akkor

$$U_i = Z_{Fi} (3I_0 - I_V) = Z_{Fi} \cdot I_F$$

Mondhatjuk tehát, hogy a

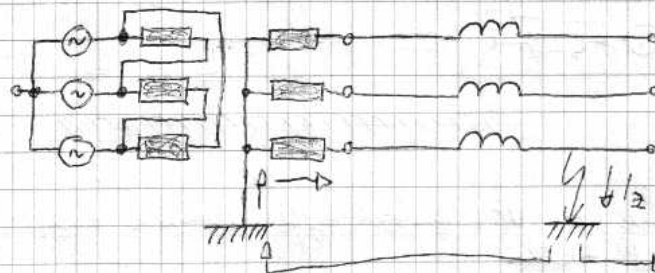
mágneses távollakhatás a földben folgó (visszatérő)

áramértékkel arányos.

A vezető (konduktív) távollakhatást a földben folgó áram okozza.

8.2 A csillagpontföldelés (alapharmonikus) hatására fázis-föld zárlatok

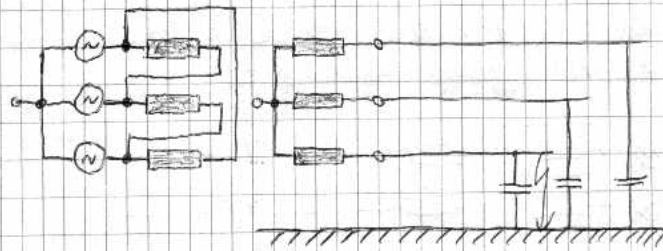
Táplálás, transzformátor, vezeték a közvetlenül földelt csillagpontú rendszer



A körözges U-I különbségek elemzése fázis-föld zárlat esetén

- $I_2 \gg I_{korlát}$: rövidzárlat
- $U_{ép.} = U_{névleges}$ (fázis)
- Jelentős: I_0
- A zárlati helytől távolodva
 - U_0 csökken
 - a zárlatos fázis feszültsége növekszik (egyéni távol $U_2 \approx U_{névleges}$)

Táplálás, transzformátor, vezeték a földre nem csatlakoztatott csillagponti rendszerhez



A lényeges U-I különbségek elemzése fázis-föld zárlat esetén

- A földzárlati áram kapacitív áram, nincs áramnövekedés a terheléshoz képest
- $U_{\text{ép}} = \sqrt{3} U_{\text{névleges(fázis)}}$
- I_0 nem jelentős
- a zárlati helytől távolodva:
 - U_0 mindenütt azonos ($U_0 = U_{\text{fázis}}$)
 - a zárlati fázis feszültsége mindenütt zérus

Villamosenergia-átvitel

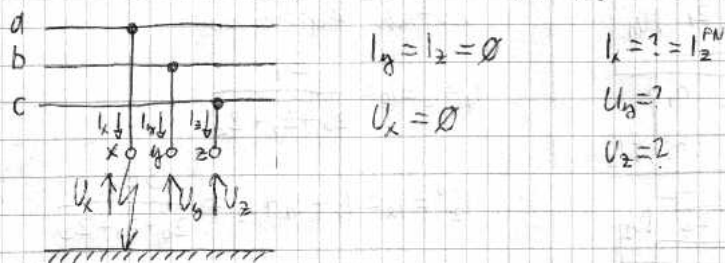
– Vizsgakérdések: 9 –

2004

9. Sínthálóak (zárlatok) leképezése nemmetrikus önmegtekercsekkel

9.1 Az 1FN(a) zárlat leképezése, námitára nemmetrikus önmegtekercsekkel

Az 1FN(a) zárlat hálózati modellje, egyenletei



$$U_x = U_0 + U_1 + U_2 = 0 \quad \text{a hibahelyen}$$

$$I_y = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_2 = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 0$$

$$I_1(a^2 - a) = I_2(a^2 - a)$$

$$I_1 = I_2$$

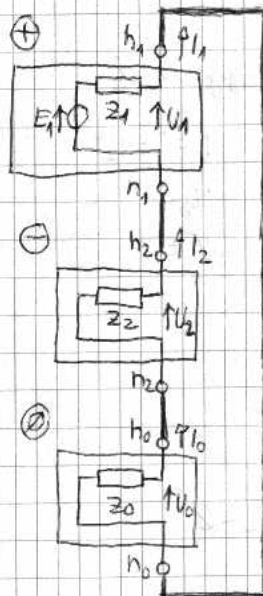
$$I_y = I_0 + a^2 I_1 + a I_1 = I_0 + I_1(a^2 + a) = 0 = I_0 - I_1$$

$$I_0 = I_1$$

$$I_0 = I_1 = I_2$$

Az IFN(a) zárlat modellezése nemmetrikus össetérő hálózatokkal

IFN-nél $I_1 = I_2 = I_0$



Mivel a három áram egyforma,
a nemm. összetérő hálózatoikat
sorosan kapcsoljuk.

$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

$$I_2^{FN} = I_x = I_0 + I_1 + I_2 = \frac{3E_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2}$$

$$I_g = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_1 (1 + a^2 + a) = 0$$

$$I_z = I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 0$$

$$U_1 = E_1 - I_1 Z_1$$

$$U_2 = 0 - I_2 Z_2$$

$$U_0 = 0 - I_0 Z_0$$

$$U_1 = E_1 - \frac{E_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \cdot Z_1$$

$$U_2 = - \frac{E_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \cdot Z_2$$

$$U_0 = - \frac{E_1}{Z_0 + Z_1 + Z_2} \cdot Z_0$$

$$U_g = U_0 + a^2 U_1 + a U_2$$

$$U_z = U_0 + a U_1 + a^2 U_2$$

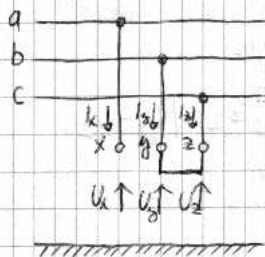
$$\begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_x \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} I_x/3 \\ I_x/3 \\ I_x/3 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ U_g \\ U_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{U_g + U_z}{3} \\ \frac{aU_g + a^2U_z}{3} \\ \frac{a^2U_g + aU_z}{3} \end{bmatrix}$$

$$I_{\text{red}} = 3I_0$$

9.2 A $2F(b,c)$ áramlat leképezése, számítás szimmetrikus
összetételűvel

A $2F(b,c)$ áramlat hálózati modellje, egyenletei



$$I_x = 0 = I_0 + I_1 + I_2$$

$$I_0 = ?$$

$$U_b = U_2$$

$$I_2 = ?$$

$$U_b = U_2 = ?$$

$$I_0 = 0$$

$$U_x = ?$$

$$U_b = U_0 + a^2 U_1 + a U_2 = U_2 = U_0 + a U_1 + a^2 U_2$$

$$U_1 (a^2 - a) = U_2 (a^2 - a)$$

$$U_1 = U_2$$

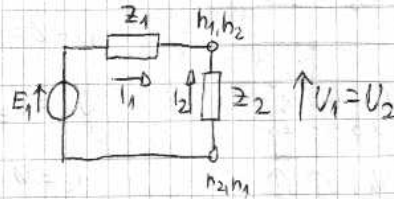
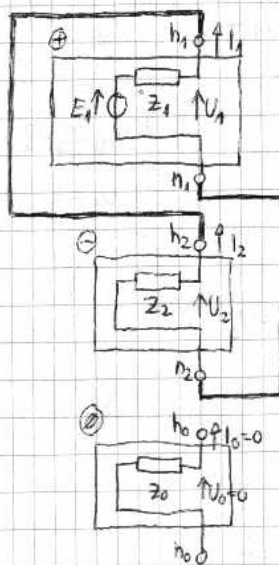
$$I_x = 0 + I_1 + I_2 = 0$$

$$I_2 = -I_1$$

$$U_0 = 0$$

A 2F(b,c) zárlat modellezése szimmetrikus
örvetszerű hálózatokkal

2F-nél $I_2 = -I_1$ és $I_0 = 0$



$$I_1 = \frac{E_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_2 = -I_1 = -\frac{E_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_x = I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

$$I_y = 0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_1(a^2 - a) = -j \frac{\sqrt{3} \cdot E_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$I_z = 0 + a I_1 + a^2 I_2 = I_1(a - a^2) = j \frac{\sqrt{3} \cdot E_1}{Z_1 + Z_2}$$

ha $Z_1 = Z_2$

$$|I_y| = \frac{E_1 \sqrt{3}}{2 \cdot Z_1} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot \left(\frac{E_1}{Z_1} \right)$$

$$|I_z| = \frac{E_1 \sqrt{3}}{2 \cdot Z_1}$$

$$U_0 = 0$$

$$U_1 = E_1 - I_1 \cdot Z_1$$

$$U_2 = 0 - I_2 \cdot Z_2 = I_1 \cdot Z_2$$

$$U_x = E_1 - I_1 \cdot Z_1 + I_1 \cdot Z_2$$

$$\text{ha } Z_1 = Z_2 \quad U_x = E_1$$

$$U_y = U_0 + a^2 U_1 + a U_2$$

$$\text{ha } Z_1 = Z_2 \quad U_y = (a^2 + a) \frac{E_1}{2} = -\frac{E_1}{2}$$

$$U_z = U_y$$

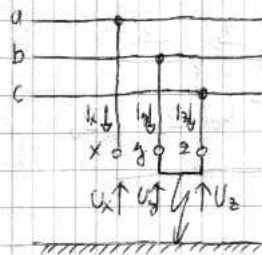
$$\text{ha } Z_1 = Z_2$$

$$U_1 = E_1 - I_1 \cdot Z_1 = E_1 - \frac{E_1}{Z_1 + Z_2} \cdot Z_1 = \frac{E_1}{2}$$

$$U_2 = I_1 \cdot Z_2 = \frac{E_1}{2}$$

9.3 A 2FN(b,c) és 3F, 3FN zárlat beképezése, számítása szimmetrikus öntetésiökkel

A 2FN(b,c) zárlat hálózati modellje, egyenletei



$$I_x = 0$$

$$I_y = ?$$

$$U_y = U_z = 0$$

$$I_z = ?$$

$$U_x = ?$$

$$I_x = I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

$$U_y = U_0 + a^2 U_1 + a U_2 = U_z = U_0 + a U_1 + a^2 U_2 = 0$$

$$U_1 (a^2 - a) = U_2 (a^2 - a)$$

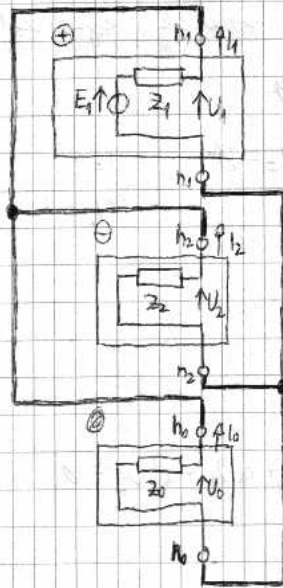
$$U_1 = U_2$$

$$U_y = U_0 + a^2 U_1 + a U_1 = 0 = U_0 + (a^2 + a) U_1$$

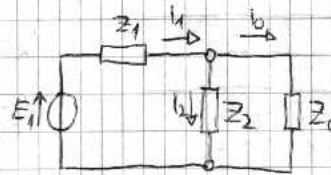
$$U_0 = U_1$$

$$U_0 = U_1 = U_2$$

A 2FN(6,1) zárlat modellezése szimmetrikus
örméti hálózatokkal.



2FN-nél $U_0 = U_1 = U_2$



$$I_1 = \frac{E_1}{Z_1 + (Z_2 \times Z_0)} = \frac{E_1}{Z_1 + \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}}$$

$$I_2 = -I_1 \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0}$$

$$I_0 = -I_1 \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0}$$

$$I_1 = \frac{E_1 (Z_2 + Z_0)}{Z_2 Z_1 + Z_2 Z_0 + Z_1 Z_0}$$

$$I_2 = -\frac{E_1 Z_0}{Z_2 Z_1 + Z_2 Z_0 + Z_1 Z_0}$$

$$I_0 = -\frac{E_1 Z_2}{Z_2 Z_1 + Z_2 Z_0 + Z_1 Z_0}$$

$$I_{\phi} = I_0 + a^2 I_1 + a I_2$$

$$I_2 = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

$$I_{\text{föld}} = I_0 + I_2 = 2I_0 + \frac{(a^2 + a)}{-1} (I_1 + I_2) = 3I_0$$

$$U_1 = E_1 - I_1 Z_1$$

$$U_x = U_0 + U_1 + U_2$$

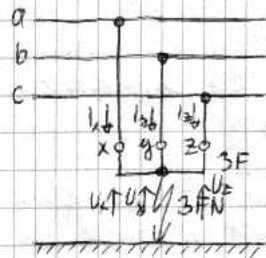
$$\text{Ha } Z_1 = Z_2 = Z_0$$

$$U_2 = 0 - I_2 Z_2$$

$$U_x = E_1$$

$$U_0 = 0 - I_0 Z_0$$

A 3F és 3FN zárlat hálózati modellje és
leképezése szimmetrikus öntetű hálózattal



$$I_x + I_y + I_z = 0$$

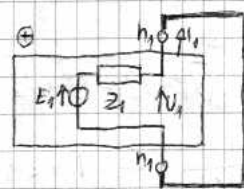
$$3I_0 = 0$$

$$U_x = U_y = U_z$$

$$U_z = \frac{1}{3} (U_x + a^2 U_y + a U_z) = 0$$

$$U_y = \frac{1}{3} (U_x + a U_y + a^2 U_z) = 0$$

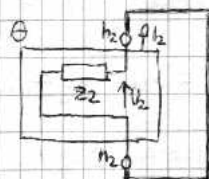
$$U_0 = \frac{1}{3} (U_x + U_y + U_z)$$



$$I_1 = \frac{E_1}{Z_1}$$

$$I_2 = 0$$

$$I_0 = 0$$

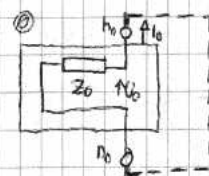


$$I_{2F} = \frac{E_1}{Z_1} = I_1$$

$$I_x = I_1$$

$$I_y = a^2 I_1$$

$$I_z = a I_1$$



Villamosenergia-átvitel

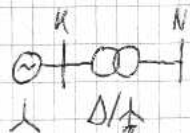
– Vizsgakérdések: 10 –

2004

10. Zárlatok összehasonlítása. Soros aszimmetria, kikapcsolások

10.1 Sönthiák összehasonlítása a hibahelyi áram nagysága és átviteli impedancia változása szempontjából

Az 1FN(a), 2F(b,c), 2FN(b,c), 3F zárlatok okozta áramok nagysága adott hibahelyen.

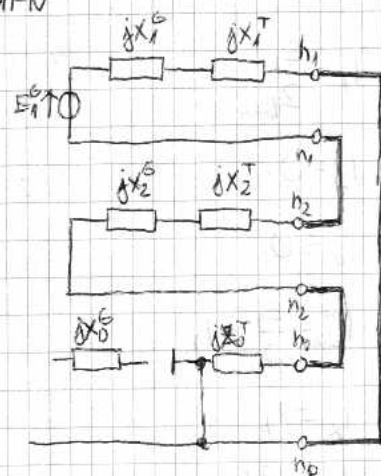


$$E_1 = 1 \text{ u.e.}$$

$$X_1^G = X_2^G = X_0^G = 0,2 \text{ u.e.}$$

$$X_1^T = X_2^T = X_0^T = 0,1 \text{ u.e.}$$

1FN

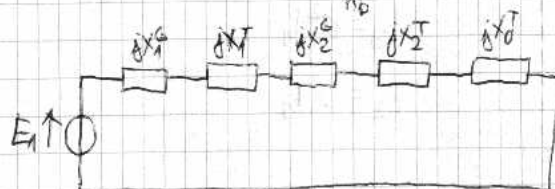


$$I_1 = \frac{E_1}{j(X_1^G + X_1^T + X_2^G + X_2^T + X_0^T)} =$$

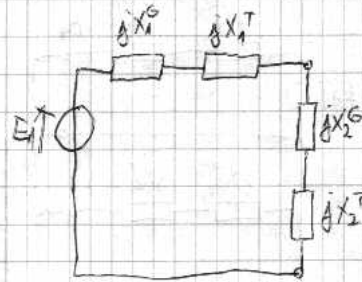
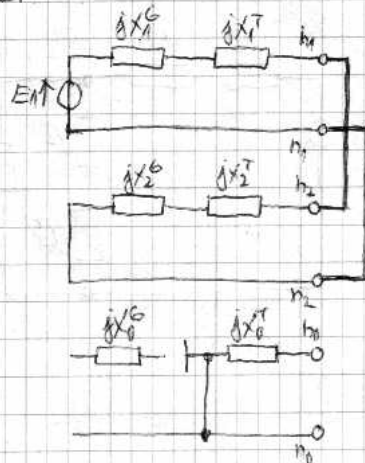
$$= \frac{1}{j0,7} = -j1,4286$$

$$I_2^{FN} = 3I_1 = -j4,2857$$

$$|I_2^{FN}| = 4,2857$$



2F



$$I_1 = \frac{E_1}{j(X_1^G + X_1^T + X_2^G + X_2^T)} =$$

$$= \frac{1}{j96} = -j1,6667 = 1,6667 \cdot e^{-j90^\circ}$$

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 =$$

$$= 0 + (e^{j120^\circ} \cdot 1,6667 \cdot e^{j90^\circ}) + (e^{j240^\circ} \cdot 1,6667 \cdot e^{j90^\circ}) =$$

$$I_2 = -I_1 = j1,6667 = 1,6667 \cdot e^{j90^\circ}$$

$$I_0 = 0$$

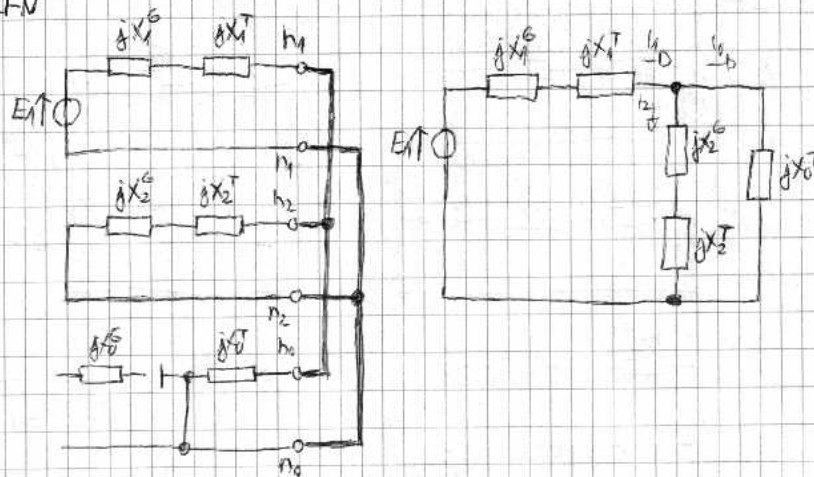
$$= 0 + 1,6667 \cdot e^{j150^\circ} + 1,6667 \cdot e^{j210^\circ} = 0 + (-1,4434 + j0,8334) +$$

$$+ (-1,4434 - j0,8334) = -2,8868$$

$$I_c = 2,8868$$

$$|I_2| = 2,8868$$

2FN



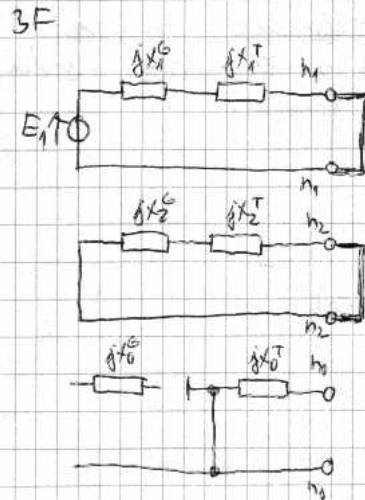
$$I_1 = \frac{E_1}{j(X_1 + X_2) + (j(X_1 + X_2) \times jX_0)} = \frac{1}{j0,375} = -j2,6667$$

$$I_2 = +j0,6667 = 0,6667 \angle 90^\circ$$

$$I_0 = j2 = 2 \angle 90^\circ$$

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = 2 \angle 90^\circ + \angle 240^\circ \cdot 2,6667 \cdot \angle 90^\circ + \angle 90^\circ \cdot 0,6667 \angle 90^\circ = 2 \angle 90^\circ + 2,6667 \angle 150^\circ + 0,6667 \angle 240^\circ = j2 + (-2,3094 + j1,3334) + (-0,5774 - j0,3334) = -2,8868 + j3$$

$$|I_2^{2FN}| = 4,1634$$

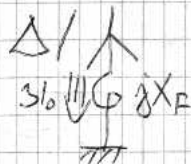


$$I_1 = \frac{E_1}{j(X_1^G + X_1^T)} = \frac{1}{j0,3} = -j \frac{10}{3}$$

$$|I_2^{3F}| = 3,3333$$

$$I_2^{1F} > I_2^{2F} > I_2^{3F} > I_2^{2F}$$

Mi a feltétel annak, hogy a legnagyobb áramot eredményező zónákban a 3F szokat legyen?



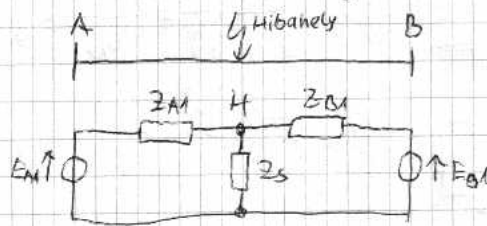
$$I_1^{1F} = \frac{E_1}{jX_1 + jX_2 + j(X_0 + 3X_F)}$$

$$X_1 = X_2 = X_0'$$

$$X_1 = X_0 + 3X_F \leftarrow |I_2^{1F}| = |I_2^{3F}|$$

$$X_F = \frac{X_1 - X_0}{3}$$

Az átviteli impedancia értelmezése a hálózat két pontja között, az egyes vonalak átviteli impedanciáit befolyásoló hálónak.

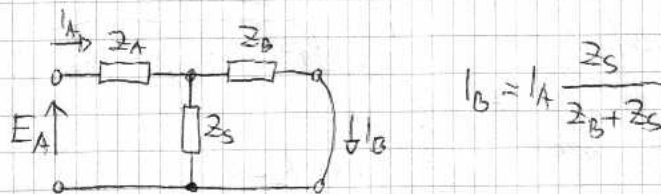


$$Z_{\text{átv}}^{(\text{kép})} = Z_A + Z_B$$



$$Z_{\text{átv}} = \frac{E_A}{I_B} \Big|_{E_B=0}$$

$$Z_{\text{átv}} = \frac{E_B}{I_A} \Big|_{E_A=0}$$

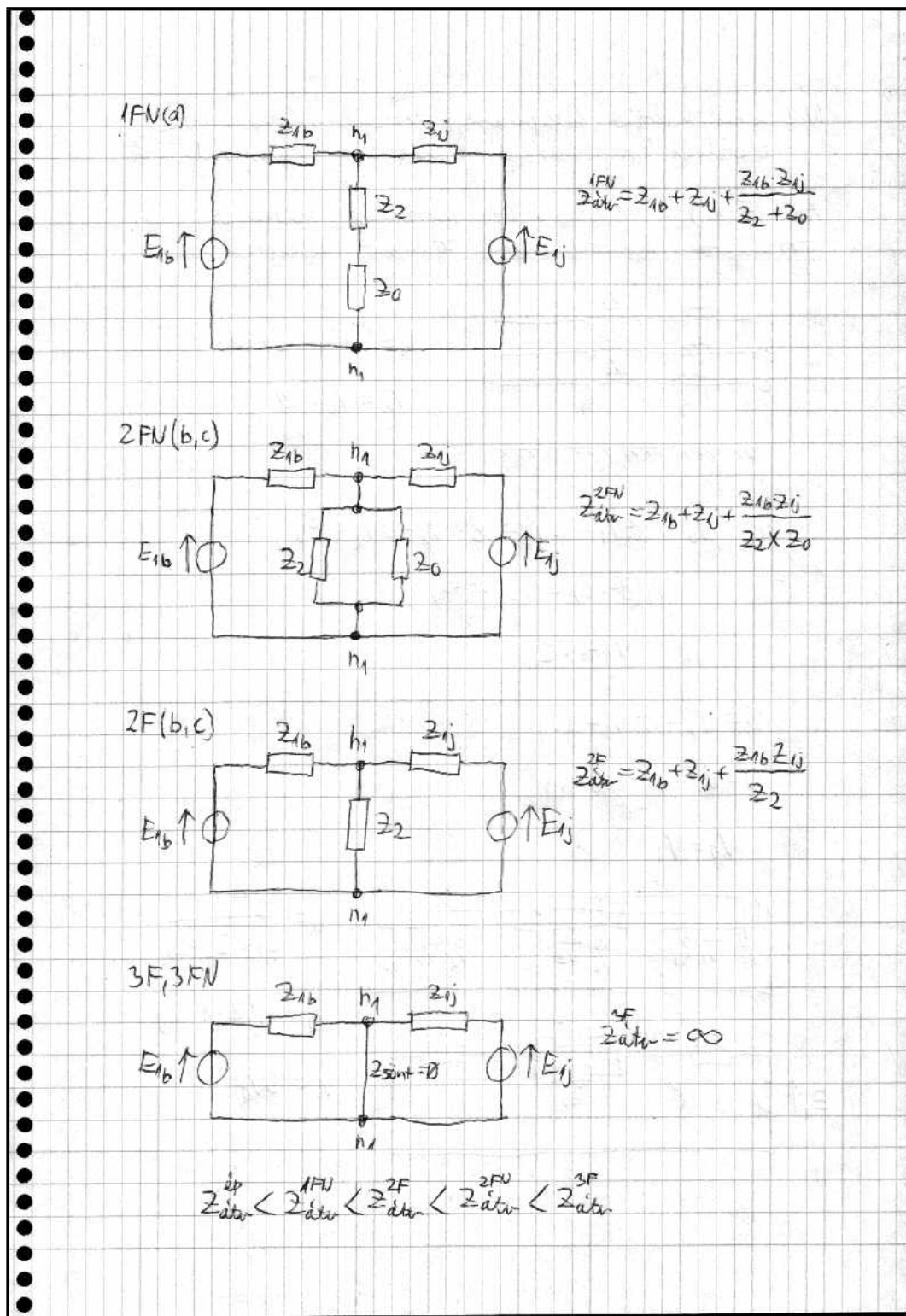


$$I_B = I_A \frac{Z_S}{Z_B + Z_S}$$

$$I_A = \frac{E_A}{Z_A + \frac{Z_S Z_B}{Z_S + Z_B}} = \frac{E_A (Z_S + Z_B)}{Z_A Z_S + Z_A Z_B + Z_S Z_B}$$

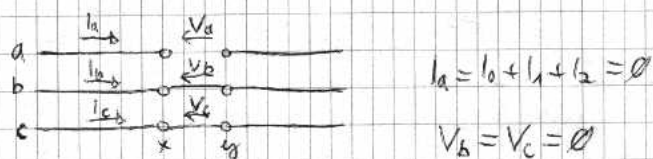
$$I_B = \frac{E_A Z_S}{Z_A Z_S + Z_A Z_B + Z_S Z_B}$$

$$Z_{\text{átv}} = Z_A + Z_B + \frac{Z_A Z_B}{Z_S}$$



10.2 Soros hibák leképezése, összehasonlítás az átviteli impedancia változásának szempontjából

az $I = (k_i) a$ soros hiba modellje, szimmetrikus öntetű hálózattal történő leképezése



$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_2 = 0 = V_0 + a V_1 + a^2 V_2$$

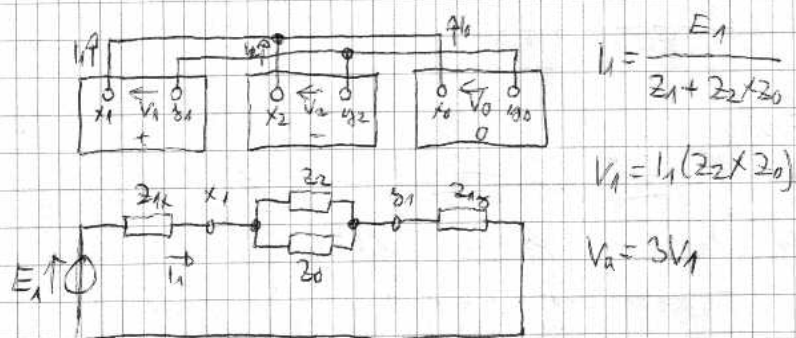
$$V_1(a^2 - a) = V_2(a^2 - a)$$

$$V_1 = V_2$$

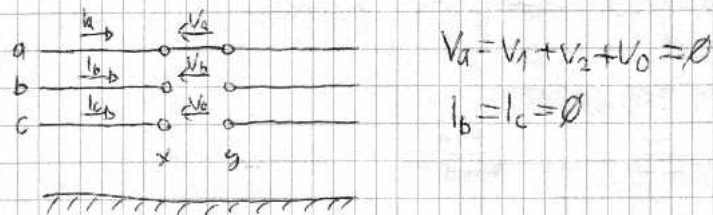
$$0 = V_0 + a^2 V_1 + a V_1$$

$$0 = V_0 + (a^2 + a) V_1$$

$$V_0 = -V_1$$



A ZF(ki)bc 2003 hiba modellje, nemmetikus
önretörő hálózatokkal történő leképezése



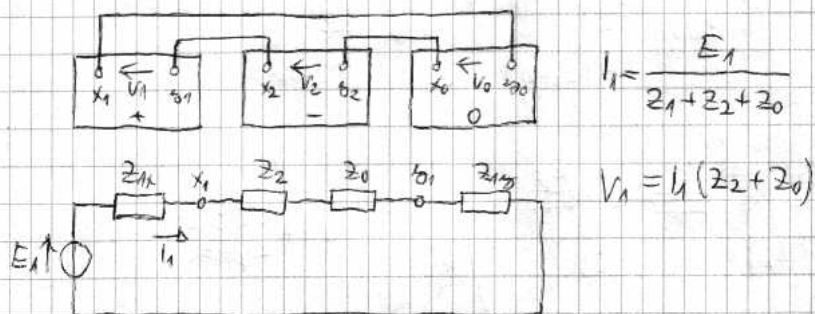
$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = 0 = I_0 + a I_1 + a^2 I_2$$

$$I_1(a^2 - a) = I_2(a^2 - a)$$

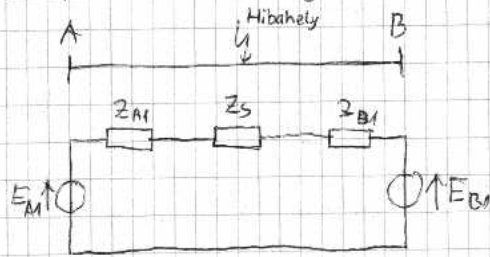
$$I_1 = I_2$$

$$0 = I_0 + a^2 I_1 + a I_1 = I_0 + (a^2 + a) I_1$$

$$I_0 = I_1$$



Az átviteli impedancia értelmezése a hálózat két pontja között, az egyes részek hibák átviteli impedanciát befolyásoló határa.

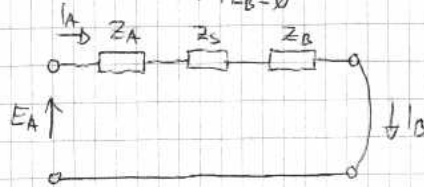


$$Z_{\text{átv}}^{(2p)} = Z_{A1} + Z_{B1}$$

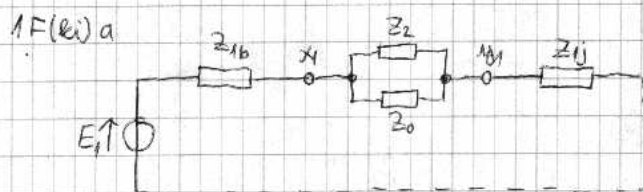


$$Z_{\text{átv}} = \frac{E_A}{I_B} \bigg|_{E_B=0}$$

$$Z_{\text{átv}} = \frac{E_B}{I_A} \bigg|_{E_A=0}$$

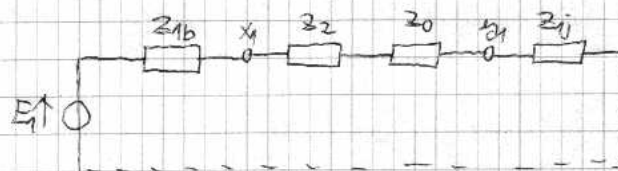


$$Z_{\text{átv}} = Z_A + Z_B + Z_S$$



$$Z_{\text{átv}}^{1F(1i)a} = Z_{1b} + Z_{lj} + (Z_2 \times Z_0)$$

2F(1i) bc



$$Z_{\text{átv}}^{2F(1i)bc} = Z_{1b} + Z_{lj} + Z_2 + Z_0$$

Villamosenergia-átvitel

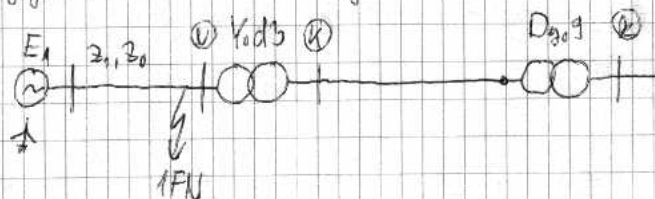
– Vizsgakérdések: 11 –

2004

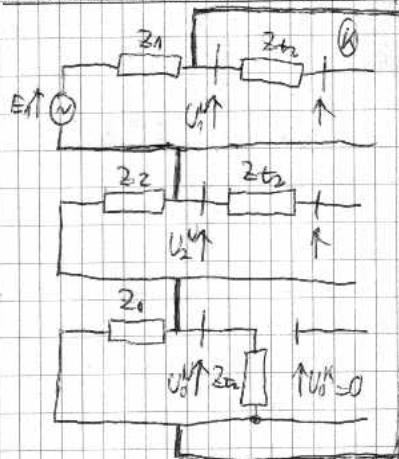
11. Fázis-föld zárlat, egyfázisú kikapcsolás kiültetést követően

11.1 1FN rövidzárlat Yd kapcsolású 120 kV/kV tr.
120 kV-os kivezetésen

Egyszerűsített kéma a megadott rendszerhez



Szimmetrikus örmeteri modellek az egyfázisú zárlat leképezésével



Legyen $Z = jX$ ($R \approx 0$)

Totálisan legyen

$X_1 = X_2 = X_0$ - azaz

legyen:

$$U_1^N = E_1 - E_1/3 = \frac{2}{3} E_1$$

$$U_2^N = -E_1/3$$

$$U_0^N = -E_1/3$$

$$U_a^N = 0; U_b^N = a^2 E_1; U_c^N = a E_1$$

A 0,4 kV-os oldali fázis és vonali feszültségek meghatározásának elvi menete

$$g + jB = 12 \rightarrow 0 \text{ óra}$$

$$U_0^P = 0; U_1^P = U_1^N = E_1 - E_1/3; U_2^P = U_2^N = -E_1/3$$

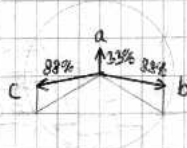
$$U_a^P = U_1^P + U_2^P = E_1/3$$

$$U_b^P = a^2 U_1^P + a U_2^P = a^2 E_1 + E_1/3$$

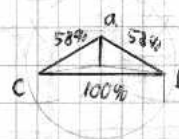
$$U_c^P = a U_1^P + a^2 U_2^P = a E_1 + E_1/3$$

A 0,4 kV-os oldali fázis és vonali feszültségek
szimulációja

$U_{\text{fázis}}$:



U_{vonali}

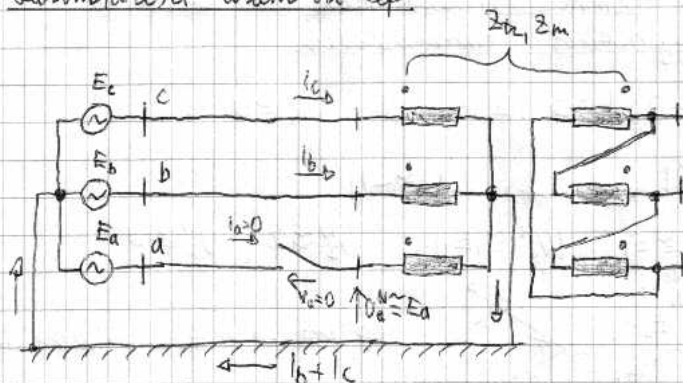


Az eredmények értékelése

0,4 kV-on ép U_{bc} feszültség. A fázisok köti
szimmetria felboml.

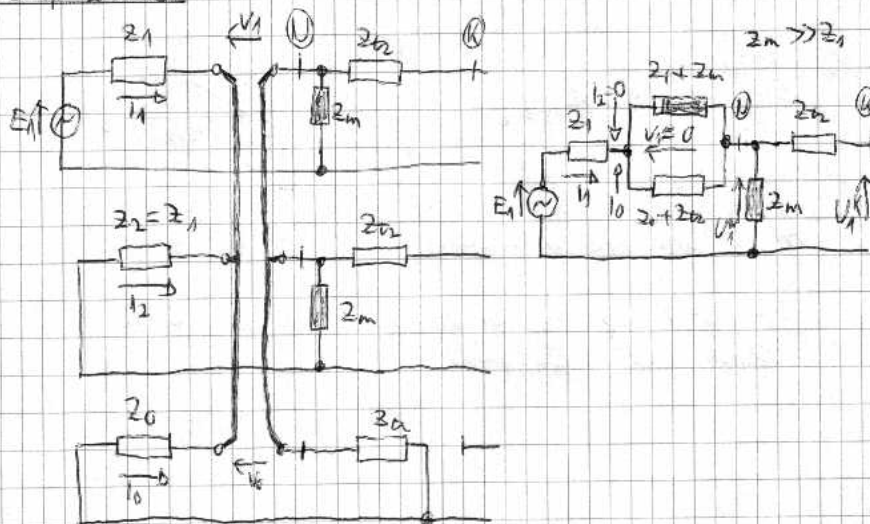
11.2 Egyfázisú kikapcsolás tesztelésénél, Yd kapcsolású
120 kV/10 kV transzformátor 120 kV-os oldalán

Számítási áramköri kép



Törési kép: A U_{bc} és U_{ca} fázisok mágneses
áramot von fel, a U_{ab} oldalon a $c-b$ tekercs
kényszerfeszültség kerül, az Y oldalon a tekercs
fluxusa $U_a^N \approx -(E_b + E_c)$ feszültség eredményez,
és $V_a \approx 0$ lesz.

Szimmm. örmeterő modellek, az egyfázisú kikapcsolás leképezésével

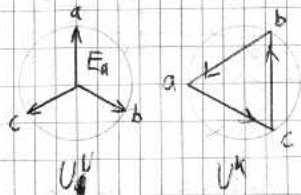


Fázis és vonali értékek átalakítása a transzformátor Y és Δ oldalán, fizikai megfontolásokkal indokolva, vagy a szimmm. örmeterő modellekre felírható összefüggésekből származtatva

$$|Z_1 + Z_m| \gg |Z_0 + Z_n| \quad I_2 \approx 0$$

$$I_1 \approx I_{\text{magneseső}} \quad I_0 \approx -I_1$$

$$U_1^N \approx E_1 \quad |U_1^K| \approx |E_1| \quad U_2^N \approx 0, \quad U_0^N \approx 0$$



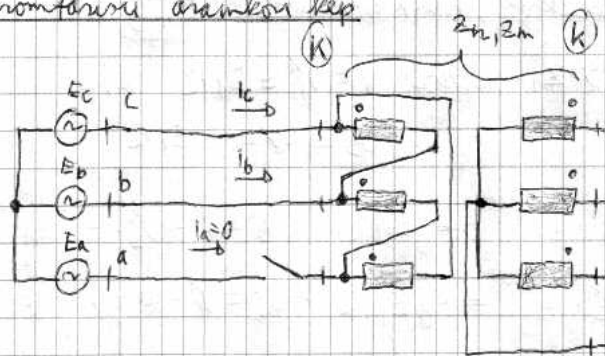
Ép vonali és fázisfeszültségek

Az eredmények értékelése:

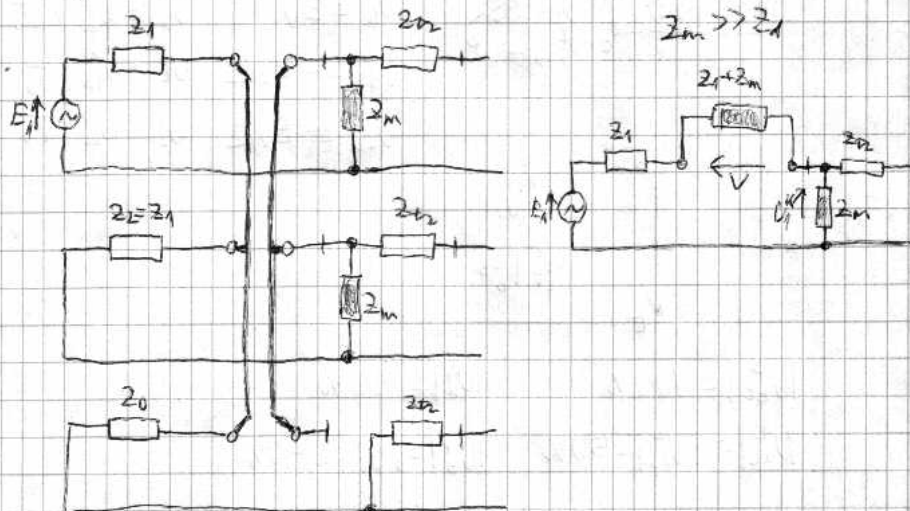
Ép vonali és fázisfeszültségek 35 (20, 10, 6) kV-on
és 0,4 kV-on

11.3 Egyfázisú kikapcsolás tesztelés, Dy kapcsolású
20/0,4 kV-os transzformátor 20 kV-os oldalán

Háromfázisú áramlási kép



Szimmetrikus áramlási modellek az egyfázisú kikapcsolás
lekezelésénél

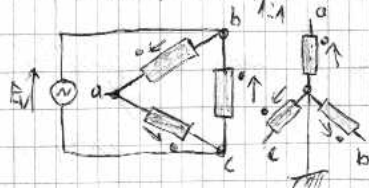


Fázis és vonali feszültségek fázorál-nézi a transzformátor D és y oldalán, fizikai megfontolásokkal indokolva, vagy a nemm. önműködő modellekkel kliszható önműködőséggel nármastala. Dy3

$$\text{Ha } Z_m \gg Z_1, \text{ akkor } V = U_1^k = E_1/2 \quad \text{és} \\ U_2^k = -V = -E_1/2$$

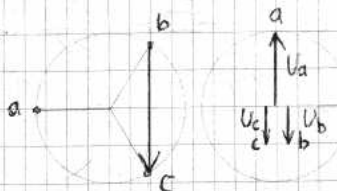
$$U_1^k = U_1^k \cdot e^{-j90^\circ} = jE_1/2 \quad \left| \quad U_a^k = U_1^k + U_2^k = -jE_1 \right. \\ U_2^k = U_2^k \cdot e^{j90^\circ} = -jE_1/2 \quad \left| \quad U_b^k = U_2^k = (a^2 + a) \cdot (-jE_1/2) = jE_1/2 \right.$$

Áramotörési fizikai kép



$$E_V = E_b - E_c = \sqrt{3} E_1 \cdot e^{j90^\circ}$$

$$U_{bc}^D = E_V \quad U_a^Y = U_{bc}^D / \sqrt{3} \\ U_{ab}^D = -E_V/2 \quad U_b^Y = U_{ab}^D / \sqrt{3} \\ U_{ca}^D = -E_V/2 \quad U_c^Y = U_{ca}^D / \sqrt{3}$$



$$|U_{bc}^D| = 100\% \quad |U_a^Y| = 100\% \\ |U_{ab}^D| = |U_{ca}^D| = 50\% \quad |U_b^Y| = |U_c^Y| = 50\%$$

Az eredmények értelmezése

A 0,4 kV-os oldalon nem lesz a motorok számára forgómozgás, az egyfázisú fogyasztók el. 2/3-a csak 50%-os teljesítményt fog használni (hűtőgép!)

Villamosenergia-átvitel

– Vizsgakérdések: 12–13 –

2004

12. Tárvezeték induktivitásának, soros impedanciájának meghatározása

12.1 Egy vezető belső és külső induktivitása, egyenértékű sugar (GMR)



Végtelen hosszú vezető

$$\oint H_x dx = i_x N \quad i_x = \frac{I}{A} \cdot x^2 \pi = I \frac{x^2}{r^2}$$

$$\frac{1}{2} \mu \int H^2 dV = \frac{1}{2} L_b I^2$$

$$dV = 2\pi x l dx$$

$$H_x = \frac{i_x}{2\pi x} = I \frac{x}{2\pi r^2}$$

$$H_x^2 = I^2 \frac{x^2}{4\pi^2 r^4}$$

$$\mu = \mu_0 \mu_r$$

$$\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Vs}{Am}$$

$$L_b = \frac{\mu_r l \cdot 2 \cdot 10^{-7}}{r^4} \cdot \frac{r^4}{4}$$

$$L_b = \frac{\mu_r}{4} \cdot 2 \cdot 10^{-7} \text{ H/m}$$

$$\Psi_k = L_k \cdot I$$

$$\Psi_k = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I \cdot l \cdot \ln \frac{D_x}{r}$$

$$\Psi_k = \int_r^{D_x} d\Phi_k$$

$$L_k = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_x}{r} \text{ H/m}$$

$$d\Phi_k = B_x \cdot l \cdot dx$$

$$B_x = \mu_0 \frac{I}{2\pi x}$$

$$L = L_k + L_b = 2 \cdot 10^{-7} \left(\ln \frac{D_x}{r} + \frac{\mu_r}{4} \right)$$

$$\frac{\mu_r}{4} = \ln e^{\frac{\mu_r}{4}} = -\ln e^{-\frac{\mu_r}{4}}$$

$$L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_x}{r \cdot e^{-\mu_r/4}}$$

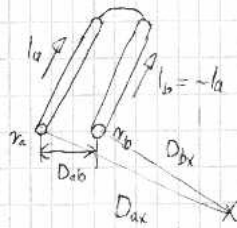
GMR, r^*
redukált sugár

$$\textcircled{D} \text{ GMR} = r \cdot e^{-\frac{\mu_r}{4}}$$

ideális vékony felületű vezető



12.2 Két vezetőből álló hurok vezetőinek ön- és kölcsönös indukciójára



- homogén, kör keresztmetszetű
- négyzetes felület
- az áram irányától függően pozitív vagy negatív (mivel figyelembe vesszük a áramirányt)
- „váltakozó” elhanyagolása
- mágnetes áram
- $D_{ab} \gg r_a, r_b$

$$\Psi_{ax} = \Psi_{aax} + \Psi_{abx}$$

$$\Psi_{aax} = 2 \cdot 10^{-7} I_a \ln \frac{D_{ax}}{\text{GMR}_a}$$

$$\Psi_{abx} = 2 \cdot 10^{-7} I_b \ln \frac{D_{bx}}{D_{ab}}$$

$$I_b = -I_a$$

$$\Psi_{ax} = 2 \cdot 10^{-7} \cdot I_a \left(\ln \frac{D_{ax}}{GMR_a} - \ln \frac{D_{bx}}{D_{ab}} \right)$$

$$D_{ax}, D_{bx} \rightarrow \infty$$

$$\Psi_{ax} = 2 \cdot 10^{-7} I_a \ln \frac{D_{ab}}{GMR_a}$$

$$\Psi_{bx} = 2 \cdot 10^{-7} I_b \ln \frac{D_{ba}}{GMR_b}$$

$$GMR_a = GMR_b = GMR$$

$$\Psi_a = 2 \cdot 10^{-7} \left(I_a \ln \frac{1}{GMR} + I_b \ln \frac{1}{D_{ab}} \right)$$

$$\Psi_b = 2 \cdot 10^{-7} \left(I_b \ln \frac{1}{GMR} + I_a \ln \frac{1}{D_{ab}} \right)$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_a \\ \Psi_b \end{bmatrix} = 2 \cdot 10^{-7} \begin{bmatrix} \ln \frac{1}{GMR} & \ln \frac{1}{D_{ab}} \\ \ln \frac{1}{D_{ab}} & \ln \frac{1}{GMR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix}$$

Általánosított feszültség:

$$V = \frac{d\Psi}{dt} = j\omega\Psi$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} = j\omega \cdot 2 \cdot 10^{-7} \begin{bmatrix} \ln \frac{1}{GMR} & \ln \frac{1}{D_{ab}} \\ \ln \frac{1}{D_{ab}} & \ln \frac{1}{GMR} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \Psi_a \\ \Psi_b \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L_{aa} & L_{ab} \\ L_{ba} & L_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix}$$

L_{aa}, L_{bb} „ön” induktivitások
 L_{ab}, L_{ba} „zártkörű” induktivitások

$X = j\omega L$ Ez a fázis pontján szereplő induktív reaktanciája az ön és zártkörű reaktancia különbsége $X_{ab} = X_{aa} - X_{ab}$

12.3 Vezető - föld hurokok ön- és kölcsönös impedanciája

fárisvezető - föld hurok önimpedanciája

Carson - Clem formula

$$Z_{aaf} = R_a + R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_f}{GMR_a} \quad \Omega/\text{km}$$

$$D_f = 693 \sqrt{\frac{S_{\text{föld}}}{f}} \quad \text{m}$$

$$R_f = 0,0495 \quad \Omega/\text{km}$$

$$S_{\text{föld}} = 10 \dots 1000 \text{ km}^2$$

$$H_0 \approx 100$$

$$D_f = 932 \text{ m}$$

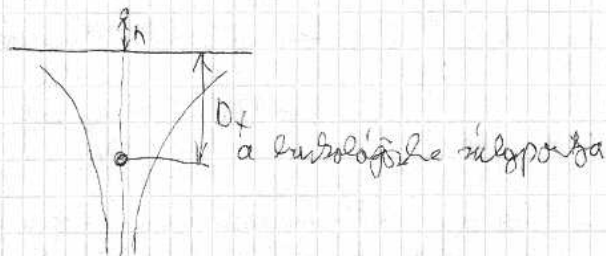
$$Z_{aaf} = R_a + R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_f}{GMR_a} \quad \Omega/\text{km}$$

két vezető - föld hurok kölcsönös impedanciája

$$Z_{abf} = R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_f}{D_{ab}} \quad \Omega/\text{km}$$

↑
konduktív
csatolás

föld - villamosvezető egyenértékű mélysége



a-b-c fázisok soros feszültségére

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

2.4 A fázis-impedancia mátrix szimmetrikus
jellemzői

$$\underline{Z}_F = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix}$$

$$Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc} = Z_{00}$$

$$\text{Ha } Z_{ab} = Z_{ac} = \dots = Z_{cb} = Z_{01}$$

$$\underline{Z}_F = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{01} \\ Z_{01} & Z_{00} & Z_{01} \\ Z_{01} & Z_{01} & Z_{00} \end{bmatrix}$$

$$\underline{Z}_S = \begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix}$$

$$Z_0 = Z_{00} + 2 Z_{01}$$

$$Z_1 = Z_2 = Z_{00} - Z_{01}$$

Védővezető(k) hatása

Szimmetrikált esetben a $+1$ - rendű impedancia valóban hatás elhanyagolható, a zérus rendű impedancia:

$$Z_0 = Z_0' - 3 \frac{Z_{vh}}{Z_v}, \text{ ahol } Z_0' \text{ a védővezető nélküli zérus rendű impedancia.}$$

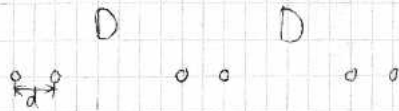
1000 db védővezető feltételezése:

$$Z_v = \frac{R_w}{2} + R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_e}{GMR_v} \quad \Omega/\text{km}$$

$$Z_{vh} = R_f + j\omega 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_e}{GMR_{\text{szén}}} \quad \Omega/\text{km}$$

$$GMR_v = \sqrt[4]{r_0^2 D_v^2} \quad GMR_{\text{szén}} = \sqrt[6]{D_{av1} D_{av1} D_{av1} D_{av2} D_{av2} D_{av2}} \quad \text{mm}$$

12.5



$$Z_1 = Z_2 = R_V + j 0,165 \lg \frac{GMD}{GMR'} \quad \Omega/\text{km}$$

$$Z_0 = R_V + 3R_f + j 0,435 \lg \frac{D_e}{GMR_{cs}} \quad \Omega/\text{km}$$

$$GMR' = \sqrt[4]{GMR^2 \cdot d^2} = \sqrt{GMR \cdot d} \quad \text{m}$$

$$GMD = \sqrt[3]{D \cdot D \cdot 2D} \quad \text{m}$$

$$GMR_{cs} = \sqrt[9]{GMR^5 D^2 D^2 4D^2} \quad \text{m}$$

$$D_e = 1000 \text{ m}$$

13. Háromfázisú maladveztől kapaitörési, réggesztős modell és alkalmazása

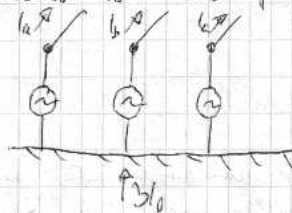
13.1 Háromfázisú maladveztől kapaitörési, réggesztős modell

Szimmetrikus háromfázisú vezetékelésű rendszer
 C_{aa} és C_{bb} kapacitáskapcsolás

$$I_{a12} = j\omega C_{a12} U_{a12}$$

$$I_{a12} = j\omega C_{a12} U_{a12}$$

- pozitív rendű táplálás



$$U_a = E_a = E_1$$

$$U_b = E_b = a^2 E_1$$

$$U_c = E_c = a E_1$$

$$\begin{aligned} I_a &= \\ I_b &= \\ I_c &= \end{aligned} \left. \begin{aligned} I_1 \\ I_2 \\ I_0 \end{aligned} \right\}$$

$$I_1 = j\omega C_{11} E_1 \rightarrow \text{sz dominál}$$

$$I_2 = j\omega C_{21} E_1$$

$$I_0 = j\omega C_{01} E_1 \rightarrow \text{aszimmetria (geom.)}$$

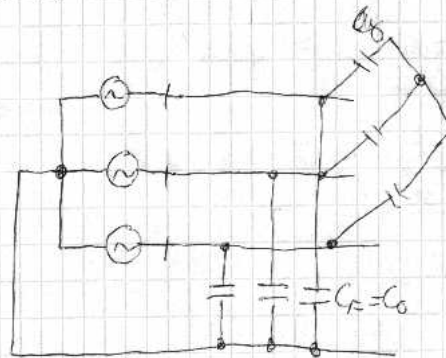
$$I_1 = \frac{1}{3} (I_a + a I_b + a^2 I_c)$$

$$I_0 = \frac{1}{3} (I_a + I_b + I_c) \rightarrow \text{húter és aladulni?}$$

$$C_{11} = \frac{1}{3} (C_{aa} + C_{bb} + C_{cc}) + \frac{1}{3} (C_{ab} + C_{bc} + C_{ac})$$

$$C_{11} = C_{aa} + C_{aa} \quad C_{00} = C_{aa} - 2C_{aa}$$

Vertikális nagyszűrő modell C_p és C_{ϕ} kapacitásainak kifejezése $C_{\phi n}$ és $C_{\phi r}$ kapacitásként



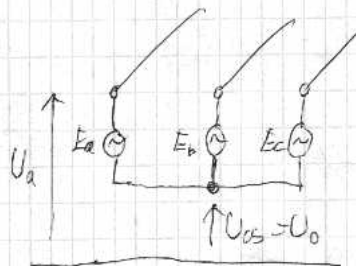
$$C_{\phi} = 3C_{\phi 0}$$

$$C_p = C_{\phi n} - 2C_{\phi 0}$$

$$C_p = C_0$$

$$C_{\phi} = C_1 - C_0$$

13.2 A földkapacitások aszimmetriájából adódó földreleketlen rendszer szilágyponti feszültségére



$$\bar{C}_{a1} = \frac{1}{3} (C_{aF} + a^2 C_{bF} + a C_{cF})$$

$$C_{a0} = \frac{1}{3} (C_{aF} + C_{bF} + C_{cF})$$

$$U_0 = - \frac{\bar{C}_{a1}}{C_{a0}} E_1$$

$$U_{cs} = - \frac{C_{aF} + a^2 C_{bF} + 0 C_{cF}}{C_{aF} + C_{bF} + C_{cF}} E_1$$

A csillagponttöltődés a földkapacitások különbségéből adódik. Ha a földkapacitások egyformák lennének, akkor a fenti képlet ~~numeratora~~ számlálója 0 lenne, így nem volna csillagponttöltődés.

Villamosenergia-átvitel

– Vizsgakérdések: 14–15 –

2004

14. Távközlési öntindancidija

14.1. Kétfázisú távközlési öntindancidija

Öntindancidija a fázisindancidija és a fázis-töltés
viszta a Maxwell-féle kapacitás egyenlete

Maxwell I. kapacitás egyenlete

$$\underline{U} = \underline{P} \cdot \underline{Q}$$

potenciáltérítés

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} P_{aa} & P_{ab} & P_{ac} \\ P_{ba} & P_{bb} & P_{bc} \\ P_{ca} & P_{cb} & P_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Q_a \\ Q_b \\ Q_c \end{bmatrix}$$

$$\begin{matrix} & D_{ac} & & \\ a & D_{ab} & b & D_{bc} & c \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{matrix}$$

$$P_{aa} = \frac{1,8 \cdot 10^{10}}{\epsilon_r} \ln \frac{D_{aA}}{r_a}$$

$$\begin{matrix} 0 & 0 & 0 \\ A & B & C \end{matrix}$$

$$P_{ab} = \frac{1,8 \cdot 10^{10}}{\epsilon_r} \ln \frac{D_{aB}}{D_{ab}}$$

$$P_{aa} = P_{bb} = P_{cc} = P_{aa} = \frac{1,8 \cdot 10^{10}}{\epsilon_r} \ln \frac{GMD_{+T}}{r}$$

$$GMD_{+T} = \sqrt[3]{D_{aA} D_{aB} D_{aC} D_{bA} D_{bB} D_{bC} D_{cA} D_{cB} D_{cC}}$$

$$P_{ab} = P_{ac} = \dots = P_{cb} = P_{ca} = \frac{1,8 \cdot 10^{10}}{\epsilon_r} \ln \frac{GMD_{+T}}{GMD_{+T}}$$

$$GMD_{+T} = \sqrt[3]{D_{ab} D_{bc} D_{ac}}$$

Maxwell II kapacitás egyenlete

$$\underline{Q} = \underline{C} \cdot \underline{U}$$

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z'_{aa} & Z'_{ab} & Z'_{ac} \\ Z'_{ba} & Z'_{bb} & Z'_{bc} \\ Z'_{ca} & Z'_{cb} & Z'_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

$$Z'_{ij} = \frac{p_{ij}}{j\omega}$$

Három fázis-föld rendszer öm- és kölcsönös potenciál-
tényezői numerikailag értékelendők esetén

$$\underline{Z}'_p = \frac{1}{j\omega} \begin{bmatrix} p_{00} & p_{01} & p_{02} \\ p_{10} & p_{11} & p_{12} \\ p_{20} & p_{21} & p_{22} \end{bmatrix}$$

Ömesség és fázisfeszültség és töltésáramok
zárta, a számok a szimmetria matrikák

$$\begin{bmatrix} U_a \\ U_b \\ U_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z'_{aa} & Z'_{ab} & Z'_{ac} \\ Z'_{ba} & Z'_{bb} & Z'_{bc} \\ Z'_{ca} & Z'_{cb} & Z'_{cc} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix}$$

14.2 A szöntimpedancia mátrix szimmetrikus önterőző

Háromfázisú tápfeszültség és, pozitív és negatív sorrendű szöntimpedanciák

$$\underline{U}_F = \underline{Z}_F \cdot \underline{I}_F$$

$$\underline{A} \underline{U}_S = \underline{Z}_F \cdot \underline{A} \underline{I}_S$$

$$\underline{U}_S = \underbrace{\underline{A}^{-1} \cdot \underline{Z}_F \cdot \underline{A}}_{\underline{Z}_S} \cdot \underline{I}_S$$

$$\begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3j\omega} \begin{bmatrix} 3p_{\text{pn}} + 6p_{\text{pi}} & 0 & 0 \\ 0 & 3p_{\text{pn}} - 3p_{\text{pi}} & 0 \\ 0 & 0 & 3p_{\text{pn}} - 3p_{\text{pi}} \end{bmatrix}$$

A sorrendű impedanciák meghatározása az ön- és kölcsönös potenciáltengezőkkel, mindehányszor a tápfeszültség

$$Z_0 = \frac{1}{j\omega} (p_{\text{pn}} + 2p_{\text{pi}})$$

$$Z_1 = Z_2 = \frac{1}{j\omega} (p_{\text{pn}} - p_{\text{pi}})$$

Zérus, pozitív és negatív sorrendű kapacitás meghatározása

$$\underline{C} = \underline{Z}^{-1} \quad C_0 = \frac{1}{p_{\text{pn}} + 2p_{\text{pi}}} \quad C_1 = C_2 = \frac{1}{p_{\text{pn}} - p_{\text{pi}}}$$

$$C_0 = C_{\text{pn}} - 2C_{\text{pi}} \quad C_1 = C_2 = C_{\text{pn}} + C_{\text{pi}}$$

Védőenergetika) határ a sorrendi impedanciára

Szimmetrizált esetben a + és - sorrendű impedanciára való hatás elhanyagolható, a zérus sorrendű impedancia:

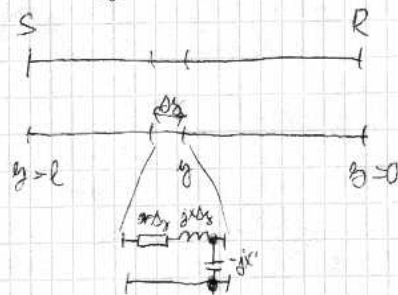
$$Z_0' = Z_0'' - 3 \frac{Z_{Vth}^2}{Z_W'}$$

ahol Z_0'' a védővezető nélküli zérus sorrendű impedancia

15. Távközlési elontott paraméterű modellje, vezetékállandók, koncentrált elemű helyettesítés

15.1 A távközlési elontott paraméterű modellje, vezetékállandók.

Az R (terjedési) végtől y távolságra lévő, Δy hosszú vezetéknek a felírható feszültség- és áramerősségi egyenletek



$$r: 12 \text{ km}$$

$$R: 12 \text{ km}$$

$$R': 1152 \text{ km}$$

$$U(y) + \Delta U = (U(y) + \Delta U) \frac{\Delta y}{2} + U(y)$$

$$\Delta U = \frac{U(y)}{2} \Delta y$$

A távközlési egyenletek

$$\frac{d^2 U}{dy^2} = \frac{2}{R'} U$$

$$\frac{d^2 I}{dy^2} = \frac{2}{R'} I$$

A távírói egyenletek megoldása

$$U(z) = U_R \operatorname{ch} \sqrt{\frac{z}{z'}} y + I_R \sqrt{z z'} \operatorname{sh} \sqrt{\frac{z}{z'}} y$$

$$I(z) = \frac{U_R}{\sqrt{z z'}} \operatorname{sh} \sqrt{\frac{z}{z'}} y + I_R \operatorname{ch} \sqrt{\frac{z}{z'}} y$$

A γ terjedési együttható és Z_0 hullámimpedancia megadása hajlágó vételekparaméterekkel

$$\gamma = \sqrt{\frac{z}{z'}} \quad \text{terjedési együttható}$$

$$Z_0 = \sqrt{z z'} \quad \text{hullámimpedancia}$$

$\eta = l$ homogén vezeték állandói (lámparaméterek)

$$U_S = A U_R + B I_R$$

$$I_S = C U_R + D I_R$$

$$A = \operatorname{ch} \gamma l \quad B = Z_0 \operatorname{sh} \gamma l \quad C = \frac{1}{Z_0} \operatorname{sh} \gamma l \quad D = \operatorname{ch} \gamma l$$

A γ terjedési együttható és Z_0 hullámimpedancia vételekmentes vételekre

$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad \gamma = j\omega \sqrt{LC}$$

Az A, B, C, D konstansok fizikai tartalma

$$A = \left. \frac{U_s}{U_R} \right|_{I_R=0} \quad \text{mültkörhitelesítő tényező}$$

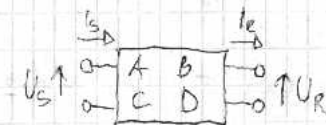
$$B = \left. \frac{U_s}{I_R} \right|_{U_R=0} \quad \text{átviteli impedancia}$$

$$C = \left. \frac{I_s}{U_R} \right|_{I_R=0} \quad \text{átviteli admittancia}$$

$$D = \left. \frac{I_s}{I_R} \right|_{U_R=0} \quad \text{áramátviteli tényező}$$

15.2 A tápviteli hálózati paraméteres egyenlete,
koncentrált elemű π modell

A tápviteli helyettesítő A, B, C, D paraméterű
négy pólnál, a hálózati paraméteres egyenlet



$$U_s = A U_R + B I_R$$

$$A = \cosh \gamma l \quad B = Z_0 \sinh \gamma l$$

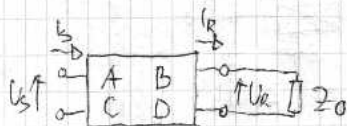
$$I_s = C U_R + D I_R$$

$$C = \frac{1}{Z_0} \sinh \gamma l \quad D = \cosh \gamma l$$

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z}{Z'}}$$

$$Z_0 = \sqrt{Z Z'}$$

az R oldalán $Z_f = Z_0$ hullámimpedanciával
készített végteli végponti feszültség és áramú
erősítő ábrázolása



$$I_R = \frac{U_R}{Z_0}$$

$$U_S = U_R \operatorname{ch} \gamma l + \frac{U_R}{Z_0} Z_0 \operatorname{sh} \gamma l$$

$$U_S = U_R (\operatorname{ch} \gamma l + \operatorname{sh} \gamma l)$$

$$I_S = \frac{U_R}{Z_0} \operatorname{sh} \gamma l + \frac{U_R}{Z_0} \operatorname{ch} \gamma l$$

$$I_S = I_R (\operatorname{sh} \gamma l + \operatorname{ch} \gamma l)$$

$$\operatorname{ch} \gamma l + \operatorname{sh} \gamma l = \frac{e^{\gamma l} + e^{-\gamma l}}{2} + \frac{e^{\gamma l} - e^{-\gamma l}}{2} = e^{\gamma l}$$

$$U_S = U_R e^{\gamma l}$$

$$I_S = I_R e^{\gamma l}$$

Vegyesábrázolás, vezetési tényező és teljesítmény

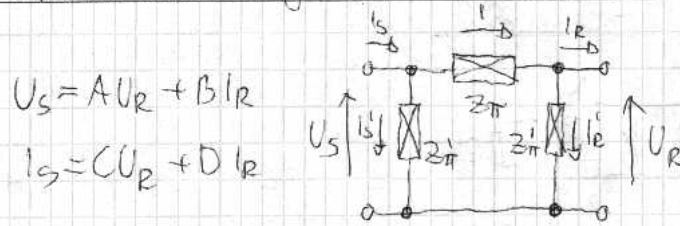
$$\gamma = \alpha + j\eta$$

$$S(\omega) = U(\omega) \cdot I(\omega)^* = U_R e^{j\eta l} \cdot \frac{U_R^*}{Z_0} e^{-j\eta l} = \frac{U_R U_R^*}{Z_0}$$

$$R_0 = \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$S(\omega) = \frac{U_R^2}{R_0} = P(\omega) \quad \text{terminals teljesítmény}$$

A távorselés koncentrált elemű π helyettesítés paramétereinek meghatározása a veszteségállandókból



$$U_s = A U_r + B I_r$$

$$I_s = C U_r + D I_r$$

$$U_s = U_r + I Z_\pi$$

$$I = I_r + I'_\pi = I_r + \frac{U_r}{Z_\pi}$$

$$U_s = U_r + I_r Z_\pi + U_r \frac{Z_\pi}{Z'_\pi}$$

$$Z_\pi = B = Z_0 \operatorname{sh} \gamma l$$

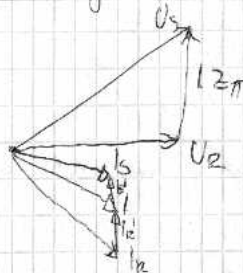
$$Z'_\pi = \frac{B}{A-1} = Z_0 \frac{\operatorname{sh} \gamma l}{\operatorname{ch} \gamma l - 1}$$

A „névleges” Z_π és Z'_π impedancia

$$Z_\pi \approx Z_0 l$$

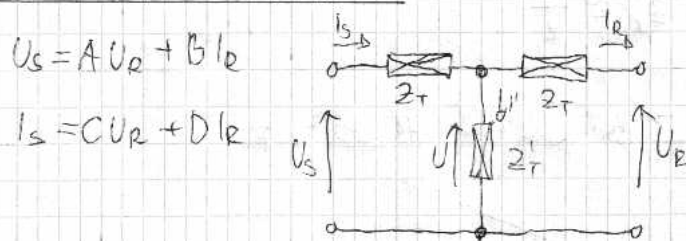
$$Z'_\pi \approx \frac{Z_0 l}{2}$$

A π helyettesítés fázorábrája



15.3 A távweték lineáris paraméteres egyenlete,
koncentrált elemű T modell

A távweték koncentrált elemű T
helyettesítése paramétereinek meghatározása
a kiterjedtlendéből



$$I_s = I_R + I'$$

$$I' = \frac{U}{Z_T'} \quad U = U_R + I_R Z_T$$

$$I' = \frac{U_R + I_R Z_T}{Z_T'}$$

$$I_s = I_R + \frac{U_R}{Z_T'} + I_R \frac{Z_T}{Z_T'}$$

$$I_s = U_R \frac{1}{Z_T'} + I_R \left(1 + \frac{Z_T}{Z_T'} \right)$$

$$Z_T' = \frac{1}{C} = \frac{Z_0}{\sinh \gamma l}$$

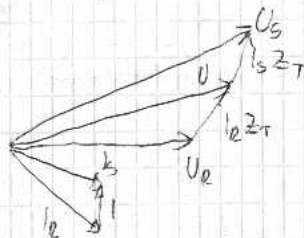
$$Z_T = \frac{D-1}{C} = Z_0 \frac{\cosh \gamma l - 1}{\sinh \gamma l}$$

A „névleges” Z_T , Z_T' impedancias

$$Z_T \approx \frac{Z \cdot l}{2}$$

$$Z_T' \approx \frac{Z'}{2}$$

A T helyettesítés ábrája



Villamosenergia-átvitel

– Vizsgakérdések: 16–18 –

2004

16. Teljesítményátvitel nagyteljesítmégű távvezetőkön, az átviteli képesség befolyásolása.

16.1 A távvezetők végponti teljesítményei a végponti feszültségek függvényében

az S és R végpontoknál áramló S_R és S_S komplex teljesítmények a távvezetők paramétereire építve kiindulva, a komplex mennyiségek abszolút értékei és nívói elhatárolása ($U_R = \text{adott}$)

$$U_S = A U_R + B I_R \Rightarrow I_R = \frac{U_S - A U_R}{B}$$

$$I_S = C U_R + D I_R$$

$$I_S = C U_R + D \frac{U_S - A U_R}{B} = U_S \frac{D}{B} + U_R \left(C - \frac{AD}{B} \right)$$

$$\frac{BC - AD}{B} = -\frac{1}{B}$$

$$I_S = U_S \frac{D}{B} - U_R \frac{1}{B}$$

$$A = |A| \angle \alpha$$

$$B = |B| \angle \beta$$

$$C = |C| \angle \gamma$$

$$D = |D| \angle \delta$$

$$U_R = |U_R| \angle 0$$

$$U_S = |U_S| \angle \theta$$

$$S_S = U_S I_S^* = U_S \left(U_S \frac{D}{B} - U_R \frac{1}{B} \right)^*$$

$$S_R = U_R I_R^* = U_R \left(\frac{U_S}{B} - U_R \frac{A}{B} \right)^*$$

$$S_S = U_S^2 \frac{D}{B} \angle \beta - \alpha - \frac{U_S U_R}{B} \angle \beta + \theta$$

$$S_R = -U_R^2 \frac{A}{B} \angle \beta - \alpha + \frac{U_S U_R}{B} \angle \beta - \theta$$

A határos és meddő P_S, Q_S, P_R, Q_R teljesítmények
venterogmentes átvitel feltételeire.

$$\alpha = 0$$

$$\beta = 90^\circ$$

$$P_S = U_S^2 \frac{D}{B} \cos 90^\circ - \frac{U_S U_R}{B} \cos(90^\circ + \theta) = \frac{U_S U_R}{B} \sin \theta$$

$$P_R = -U_R^2 \frac{A}{B} \cos 90^\circ + \frac{U_S U_R}{B} \cos(90^\circ - \theta) = \frac{U_S U_R}{B} \sin \theta$$

$$Q_S = U_S^2 \frac{D}{B} \sin 90^\circ - \frac{U_S U_R}{B} \sin(90^\circ + \theta) = \frac{U_S^2 D}{B} - \frac{U_S U_R}{B} \cos \theta$$

$$Q_R = -U_R^2 \frac{A}{B} \sin 90^\circ + \frac{U_S U_R}{B} \sin(90^\circ - \theta) = -\frac{U_S^2 D}{B} + \frac{U_S U_R}{B} \cos \theta$$

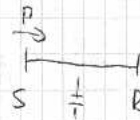
A P_f torlómegosztás teljesítmény

$$P_f = \frac{U_n^2}{Z_0}$$

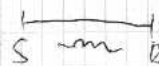
Km a venterogmentes távvezeték a hullámellenállással سازگار, a távvezeték minden pontján társítva van a feszültség és áram, és abszolút értéke a vezeték mentén nem változik. Ebben az esetben a vezetéskapacitárok által megvalósított kapacitív meddő teljesítmény egyenlő a vezeték induktivitás által igényelt meddő teljesítménnyel. Mivel a hullámellenállás értéke tényleg való, az átviteli teljesítmény is való. Ezt a teljesítményt, amellyel az ideális (venterogmentes) vezeték rendelkezne nem lép fel feszültségvesztés, torlómegosztás teljesítménynek nevezzük.

A tápvonatok meddőteljesítmény-visszatérítése
 $P < P_t$ és $P > P_t$ hatás teljesítményátvitel esetén

$$P < P_t \rightarrow Q_{\text{vissz}} \oplus$$



$$P > P_t \rightarrow Q_{\text{vissz}} \ominus$$



16.2 A tápvonatok átviteli karakterisztikáinak befolyásolása
 kompenzáló elemek beiktatásával

Két négyföldes egymás után (sorban) kapcsolással
 létrehozott átviteli eredő paramétereinek meghatá-
 rítása



$$\begin{bmatrix} A_1 & B_1 \\ C_1 & D_1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A_2 & B_2 \\ C_2 & D_2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A_1 A_2 + C_1 B_2 & A_2 B_1 + B_2 D_1 \\ A_1 C_2 + C_1 D_2 & C_2 B_1 + D_1 D_2 \end{bmatrix}$$

$$U_5 = (A_1 A_2 + C_1 B_2) U_R + (A_2 B_1 + B_2 D_1) I_R$$

$$I_5 = (A_1 C_2 + C_1 D_2) U_R + (C_2 B_1 + D_1 D_2) I_R$$

Koncentrált soros impedancia kétparametere helyettesítése



$$A = 1$$

$$B = Z$$

$$C = 0$$

$$D = 1$$

$$\begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Koncentrált párhuzamos impedancia (admittancia) kétparametere helyettesítése



$$Y = \frac{1}{Z'}$$

$$A = 1$$

$$B = 0$$

$$C = Y$$

$$D = 1$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$$

Kompensáló elemek: soros fogtűtelés, soros kondenzátor, párhuzamos fogtűtelés, párhuzamos kondenzátor hatás az átviteli paraméterekre

Soros Z

$$\begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A & AZ+B \\ C & CZ+D \end{bmatrix}$$

$$\text{Ha } Z = jX \quad B' = B + jXA$$

villamos tároló energia

$$\text{Ha } Z = -jX \quad B' = B - jXA$$

villamos tároló energia

Soros Y

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ Y & 1 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} A+BY & B \\ C+DY & D \end{bmatrix}$$

Sorozkondenzátorok nagyságát
közvetlenül eldől

Egyes kompenzációs elemek működés gyakorlati alkalmazása

Soros teljesítmény: induktív áram korlátozása

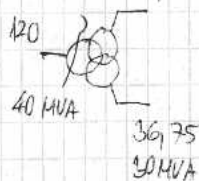
Soroztkondenzátor: fázisjavítás

17. Transzformátormátrix

17.1 A transzformátormátrix szerepe, konstrukciós megoldások

400/220/120/20/10/0,4 kV hálózati feszültségintézköz
 rögzített transzformációk hierarchiája, azonos
 névleges egyfázisú transzformátorok

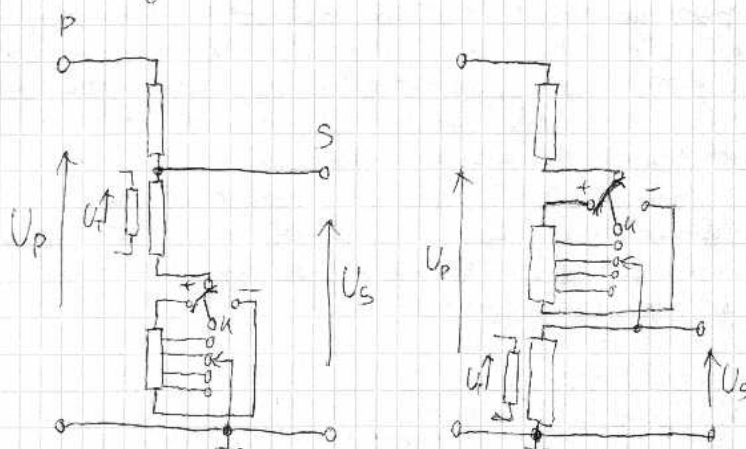
Név. telj. (MVA)	Körépárami szintek kV/kV	Szab. fázisok száma	Szab. tartomány ±%	
1100	750/417	23	750 kV +5% -7%	3x110
500	400/231	—	—	
360	400/126	19	126 kV +9,3% -10,3%	3x110
250	400/132	19	132 kV +10,2% -11,3%	
160	220/126	23	220 kV ± 12%	
40	120/36,75/21	20 MVA 21	120 kV ± 15%	

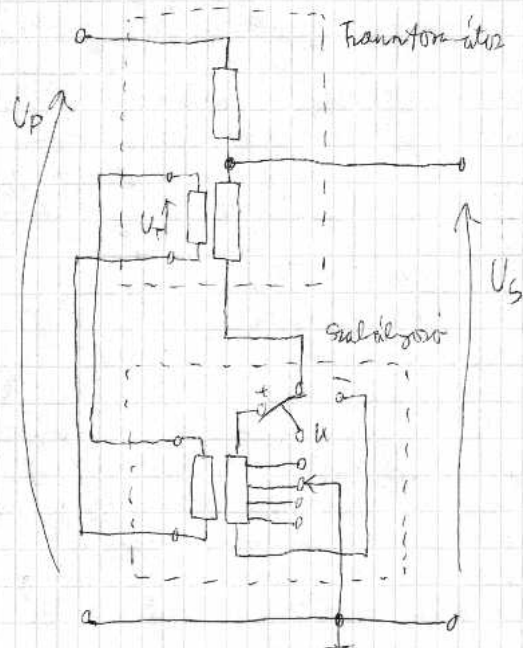


16,25,40	120/22	120 kV ± 15%
16,25,40,63	120/11	120 kV ± 15%
16,25,40	120/6,3	
	20/0,4	
0,16... 1,6	10/0,4	± 3%
	6/0,4	

A terhelés alatti mérőműszer konstrukciós megoldásai

A terhelés alatti mérőműszer megoldható a (közös) csatláspontba épített mérőműszerrel, ami nem állandó fluxusú mérőműszert eredményez, ezért a fel-, ill. leáramlás mérőműszere nem szimmetrikus. Ennek megoldás az állandó fluxusú, szimmetrikus mérőműszert adó állandó fluxusú mérőműszer. A mérőműszer mérőműszere itt a mérőműszer kivevője (közös tekercs) és a nagyfeszültségű tekercs között helyezkednek el. Szilárdponti mérőműszer esetén a mérőműszer elhelyezhető külön edényben is. Ebben az esetben a mérőműszer transzformátor gerendáját a tekercs tekercs megoldhatja. A külön edényben elhelyezett mérőműszer előnye, hogy a főáramváltással járó esetleges túlmelegedés nem a teljes olajtérrel mérőműszer, így nem befolyásolja a főtranszformátorban lévő olaj minőségét, a főtranszformátor olajterületén nincs maga alatt és a mérőműszer meghibásodása, karbantartása esetén a főtranszformátor (közvetlenül) tovább működhet. Fontos, hogy a külön edényben lévő mérőműszer esetén nagyobb a helyigény és több kábel kell a mérőműszerhez.



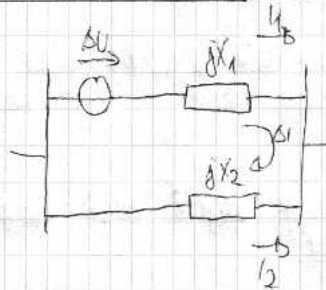


12.2 Transzformátor horn-malálysorúinak határa

Transzformátormalálysorú határainak leképezése

A transzformátorok körépálláshoz képesti állítással változtatva drukkoni nempanihol soros feszültségforrás beiktatásával vehető figyelembe. Az egyes fázisokba sorosan beiktatott feszültség fázishelyzete lehet a fázisfeszültséggel megegyező, ekkor horn-malálysorúól beszélünk, vagy az azal növeket beszélő, ekkor ford. ill. ha a soros feszültségforrás a fázisfeszültségre merőleges, akkor kereszt-malálysorú törtéjük. A kereszt-malálysorú állás előadható még, ha az adott fázis malálysorúja a másik két fázis különbségétől képzett vonali feszültséggel egyenlő.

A transzformátor kereszt-nálályaának hatásai
távvezetési hurokban



$$\Delta I \approx \frac{\Delta U}{j(X_1 + X_2)}$$

Kereszt-nálálya esetén a veszteség nélküli.
 $\Delta U = \pm \Delta U$

$$I_1' = I_1 + \Delta I = I_1 - j \frac{\pm \Delta U}{X_1 + X_2} \quad I_2' = I_2 - \Delta I = I_2 + j \frac{\pm \Delta U}{X_1 + X_2}$$

k_2 áramok képzetes komponenseit váltogatja.
Q áttérhelés

17.3 Transzformátor kereszt-nálályaának hatásai

A transzformátor kereszt-nálályaának hatásai
távvezetési hurokban

Kereszt-nálálya esetén a veszteség nélküli.
 $\Delta U = \pm j \Delta U$

$$I_1' = I_1 - j \frac{\pm j \Delta U}{X_1 + X_2} = I_1 + \frac{\pm \Delta U}{X_1 + X_2}$$

$$I_2' = I_2 + j \frac{\pm j \Delta U}{X_1 + X_2} = I_2 - \frac{\pm \Delta U}{X_1 + X_2}$$

k_2 áramok valós komponenseit váltogatja.
P áttérhelés

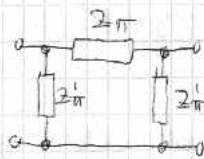
B. Teljesítményátvitel nagyarányú körépénültségű távvezetéken. Kérdőkompenzáció

18.1 Körépénültségű vezeték feszültségére és vesztesége. Kompenzáció rézt- és mos kondenzátorral

Körépénültségű vezeték helyettesítése négy pólcumai paraméteres egyenlet



$$l \approx 10 \dots 40 \text{ km}$$



$$A = \cosh \gamma l \approx 1$$

$$B = Z_l = Z_\pi = Z = R + jX$$

$$Z'_\pi = \frac{B}{A-1} = \infty$$

$$U_s = U_R + I_R Z$$

$$I_s = I_R$$

$$\begin{bmatrix} 1 & Z \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

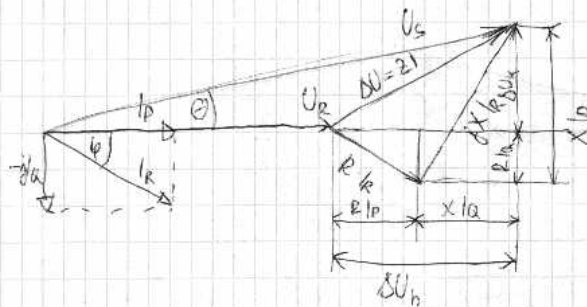
Feszültségvesztés meghatározása

$$\Delta U = I_R \cdot Z = (I_P - jI_Q) (R + jX)$$

$$I_P - jI_Q = \frac{S_P}{\sqrt{3} U_R} (\cos \varphi - j \sin \varphi)$$

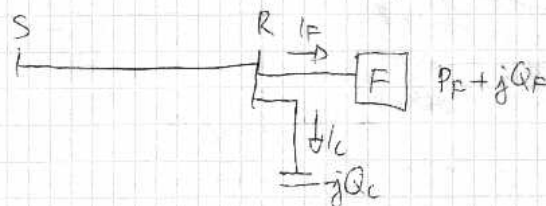
$$\Delta U = I_P R + I_Q X + j(I_P X - I_Q R) = \Delta U_A + \Delta U_H$$

$$|U_s| \approx U_R + \Delta U_H \quad \text{mivel } \Delta U_A \text{ kicsi}$$

ΔU átviteli feszültsíves ΔS átviteli teljesítmény meghatározása

$$\begin{aligned}\Delta S &= \Delta U \cdot I_R^* = [I_p R + I_q X + j(I_p X - I_q R)] (I_p + j I_q) = \\ &= R(I_p^2 + I_q^2) + jX(I_p^2 + I_q^2) = R|I|^2 + jX|I|^2\end{aligned}$$

A terhelék R végére kapcsolt kondenzátor hatására a feszültségcsökkenés ΔU_h kompenzálható, így az átviteli veszteségek is csökkennek.

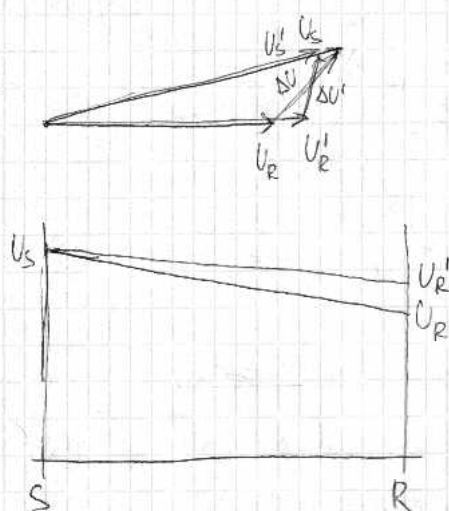


$$S = P_F + j(Q_F - Q_C)$$

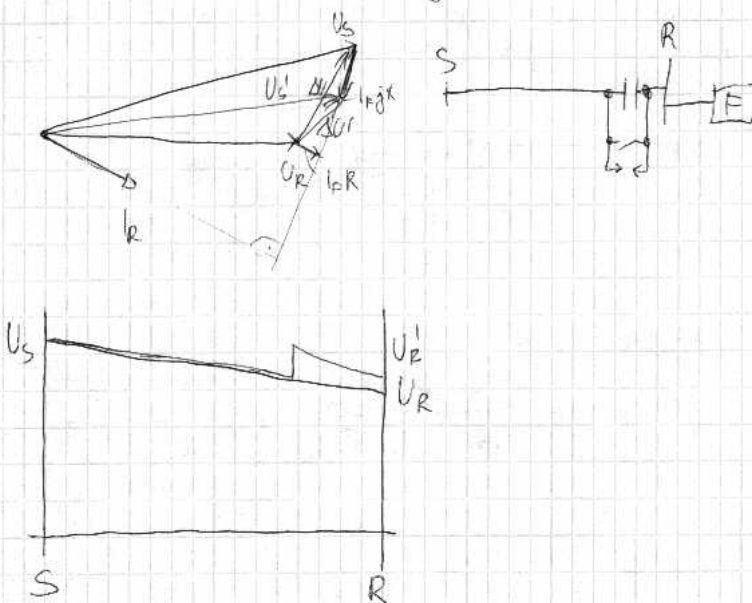
$$I_R = I_F + I_C = \frac{P_F}{\sqrt{3} U_R} - j \frac{Q_F}{\sqrt{3} U_R} + j \frac{Q_C}{\sqrt{3} U_R} = \frac{P_F}{\sqrt{3} U_R} - j \frac{Q_F - Q_C}{\sqrt{3} U_R}$$

$\underbrace{\quad}_{I_p} \qquad \underbrace{\quad}_{I_q' < I_q}$

A szinkondenzátor hatásának bemutatása fázorábrán és a veszéletemi profilágról változással



A szinkondenzátor hatásának bemutatása fázorábrán és a veszéletemi profilágról változással



Villamosenergia-átvitel

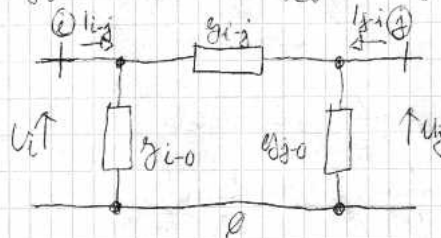
– Vizsgakérdések: 19–20 –

2004

19. Kétszámítási modellek, csomóponti Y mátrix, hálónatredukció

19.1 Kétszámítási elem négyfókus modelljének y admittanciamátrixa, való áttételi transzformáció négyfókus modellje

Egy passzív négyfókus $I = y \cdot U$ csomóponti egyenlete, a négyfókus y admittanciamátrixa

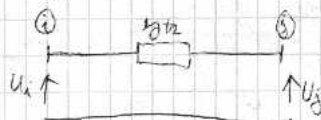


$$I_{i-j} = (y_{i-i} + y_{i-j}) U_i - y_{i-j} U_j$$

$$I_{j-i} = -y_{i-j} U_i + (y_{j-j} + y_{i-j}) U_j$$

$$\begin{bmatrix} I_{i-j} \\ I_{j-i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} y_{ii} & y_{ij} \\ y_{ji} & y_{jj} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_i \\ U_j \end{bmatrix} \quad \begin{aligned} y_{ii} &= y_{i-i} + y_{i-j} \\ y_{jj} &= y_{j-j} + y_{i-j} \\ y_{ij} &= y_{ji} = -y_{i-j} \end{aligned}$$

Való áttételi transzformátor $I = y \cdot U$ egyenlete és y admittanciamátrixa



A ② oldalra nézve

$$Z_m = \epsilon \frac{(U_{j0})^2}{S}$$

$$y_m = \frac{1}{Z_m} = \frac{1}{\epsilon} \frac{S}{(U_{j0})^2}$$

Az áttételt is kapáló foglaltó passzív négyfokozat
elemeinek sávjegyeinek



$$U_{j0} = \frac{1}{a} U_i \quad I_{j-i} = -a^* I_{i-j} \quad \text{mert} \quad U_{j0} I_{j-i}^* = -U_i I_{i-j}^*$$

továbbá:

$$I_{j-i} = y_m (U_j - U_{j0}) = -\frac{1}{a} y_m U_i + y_m U_j$$

$$I_{i-j} = -\left(\frac{1}{a^*}\right) I_{j-i} = \frac{1}{a^*} y_m U_i - \frac{1}{a^*} y_m U_j$$

$$\begin{bmatrix} I_{i-j} \\ I_{j-i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a^*} y_m & -\frac{1}{a^*} y_m \\ -\frac{1}{a} y_m & y_m \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_i \\ U_j \end{bmatrix}$$

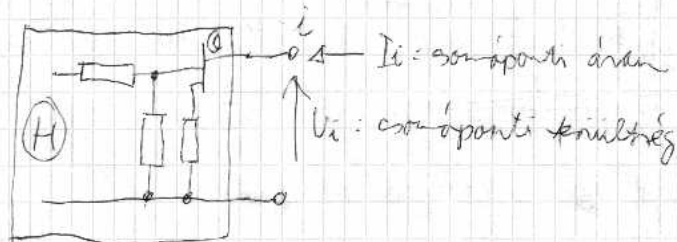
$$y_{ii} = \frac{1}{a^*} y_m$$

$$y_{iv} = \frac{1}{a^*} \left(\frac{1}{a} - 1 \right) y_m$$

$$y_{jo} = \left(1 - \frac{1}{a} \right) y_m$$

19.2 Az Y csomóponti admittancia mátrix,
skalárszorzatok az $I = Y \cdot U$ egyenlet alapján

Skálázott hálózati $I = YU$ csomóponti egyenlete



Az i csomóponthoz kapcsolódó elemi modelleken

U_i közös (azonos)

$$I_i = \sum_j (I_{i-j}) + \sum (I_{i-0})$$

$i-j$ réspólusok és kétpólusok

Az Y csomóponti admittancia mátrix elemei

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ & & & \\ & & & \\ & & & \\ & & & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad Y_{ij} = -y_{i-j} \quad \text{az } i-j \text{ réspólusok}$$

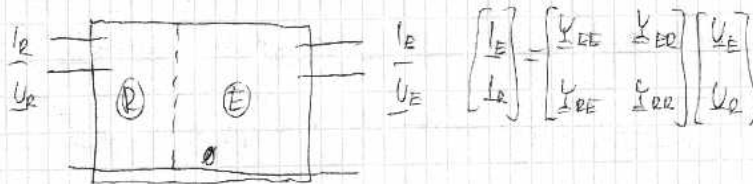
$$Y_{ii} = \sum_j (y_{i-j} + y_{i-0}) + \sum (y_{i-0}) \quad \text{az } i-0 \text{ kétpólusok}$$

$\text{az } i-j \text{ kétpólusok}$

Y mátrix adott R_{i-j} -k esetén

i	j	R	y
1	2	1	1
1	4	1	1
2	3	2	0,5
2	4	2	0,5
4	0	4	0,25

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} 2 & -1 & & -1 \\ -1 & 2 & -0,5 & -0,5 \\ & -0,5 & 0,5 & \\ -1 & -0,5 & & 1,75 \end{bmatrix}$$

Hálóntreredukció az $I=YU$ egyenlet alapján

ahol (R) a visszárt hálóntrén

(E) az elhagyott hálóntrén

A hálóntrét az $i \in (R)$ csomópontokra redukálva,
és törölve a $j \in (E)$ elhagyott csomópontok
hálóntrét tartalmazó n_{red} - mérték egyenletét az
(R) hálóntrénre, vagyis törölve az

$I_R = Y_{RR} U_R$ egyenletet (n_{red}) -del jellel
megnyitva.

$$I_E = Y_{EE} U_E + Y_{ER} U_R$$

$$I_R = Y_{RE} U_E + Y_{RR} U_R$$

$$\text{Az első egyenletből: } U_E = Y_{EE}^{-1} I_E - Y_{EE}^{-1} Y_{ER} U_R$$

és ezt a másodikba behelyettesítve és rendezve

$$\underbrace{(I_R - Y_{RE} Y_{EE}^{-1} I_E)}_{I_R^{red}} = \underbrace{\left[Y_{RR} - Y_{RE} Y_{EE}^{-1} Y_{ER} \right]}_{Y_{RR}^{red}} U_R$$

A redukált hálóntrét Y_{red} és I_{red} kifejezése

20. A csomóponti $\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$ egyenlet, a $\underline{Z}$ mátrix
és alkalmazása

20.1 A csomóponti $\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$ egyenlet, a $\underline{Z}$ csomóponti
impedancia mátrix

A hirtelolt hálózat $\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$ csomóponti egyenlete

Az összes csomópontot magába foglaló egyenlet-
rendszer:

$$\underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$$

ahol $\underline{U}$: a csomóponti feszültségek

$\underline{I}$: a csomóponti áramok

$\underline{Z}$: a csomóponti impedancia mátrix

A $\underline{Z}$ csomóponti impedancia mátrix, ill. a
mátrix elemei

Ha az $\underline{Y}$ és a $\underline{Z}$ mátrix ugyanazon elemi
modellekre építve felépített rendszere vonatkozik, akkor az

$$\underline{I} = \underline{Y} \underline{U} \rightarrow \underline{U} = \underline{Z} \underline{I} \quad \text{alapján} \quad \underline{Z} = \underline{Y}^{-1}$$

$$Y_{ii} = \frac{I_i}{U_i} \quad \left| \quad Y_{ji} = Y_{ij} = \frac{I_j}{U_i} \quad \begin{array}{l} U_j = 0 \\ j \neq i \end{array} \right.$$

$$Z_{ii} = \frac{U_i}{I_i} \quad \left| \quad Z_{ji} = Z_{ij} = \frac{U_j}{I_i} \quad \begin{array}{l} I_j = 0 \\ j \neq i \end{array} \right.$$

$$Z_{ii} \neq \frac{1}{Y_{ii}} \quad Z_{ij} \neq \frac{1}{Y_{ij}}$$

A csomóponti villamos áramerősség és csomópontok közötti villamos tárolás az Z elemek alapján

A Z mátrix elemei az áram és feszültségviszonyok kapcsolatairól adnak felvilágosítást:

$$\text{alapállapot } U^{(0)} = Z I^{(0)}$$

$$\Delta I_i \text{ megváltozás hatására } I_i = I_i^{(0)} + \Delta I_i$$

$$I_j = I_j^{(0)} \quad j \neq i \quad (\Delta I_j = 0)$$

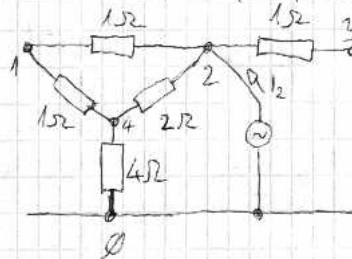
$$\Delta U_i = Z_{ii} \Delta I_i$$

$$\Delta U_j = Z_{ji} \Delta I_i$$

tehát Z_{ii} a csomópont „mozgását”

Z_{ji} a j és i közötti „villamos tárolást” adja meg.

A Z mátrix Z_{22}, Z_{21}, Z_{23} és Z_{24} elemei adott R_{ij} -k alapján



$$Z_{22} = \frac{U_2}{I_2} = 5 \Omega$$

$$Z_{23} = \frac{U_3}{I_2} = 5 \Omega$$

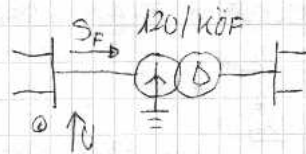
$$Z_{21} = \frac{U_1}{I_2} = 4,5 \Omega$$

$$Z_{24} = \frac{U_4}{I_2} = 4 \Omega$$

20.2 Zárlatmátrix és harkelt hálózaton a Z csomóponti mátrix és az $U = ZI$ csomóponti egyenlet alapján

A torziók (piromiok) és a fogyasztói terhelések minimális mértékű leképezése a terheléses ill. a fictív terhelésen állapotát vonatkozóan

A terhelések leképezése



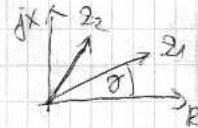
$$S_F = P_F + jQ_F \quad \left. \begin{array}{l} \text{az áram} \\ \text{állapot jellemzői} \end{array} \right\}$$

$$U = |U| e^{j\delta}$$

A munkapontba egyenértékű impedancia

$$Z = \frac{|U|^2}{S_F^*} \quad \text{de} \quad Z = \varphi_z(U + DU)$$

$$\text{és } Z = |Z| e^{j\sigma}$$



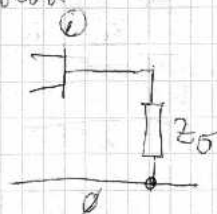
A közelítő leképezés a munkapontba átvitt impedancia alapján:

pozitív sorrendre: $Z_1 = Z$

negatív sorrendre: $Z_2 = \frac{1}{2} |Z_1| e^{j2\sigma}$ átlagos fogyasztói terület

önös sorrendre: $Z_0 = Z_0^{\text{eredő}}$ az alállomány (transzformátor) eredő impedanciája

Ábrák

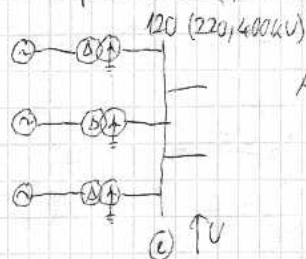


$$\sigma = 0, 1, 2$$

Kla a rindubimati nat-ühikokat a tärheldnek elhaugyo-
lõndval üggenis, arbor

$$z_1 = \infty, z_2 = \infty, \text{ de } z_0 = z_0^{\text{ord}^0}$$

A teljes példánk (fennsík) középső részén



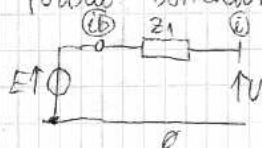
A teljes erőmre erős betáplálásra

$$S_G = P_G + jQ_G$$

$$I_G = \frac{S_G^*}{U_G^*} \quad \text{az azda áron.}$$

az orvosi (kóreltőleg) felépítésű egy belső
dermistrógonális és egy vele rola kapcsolt
impedancia

positif comprendre :



ahol (6) az ① gyűjtőre
(=on pont) kapcsolódó elem
szereplésű első pontja.

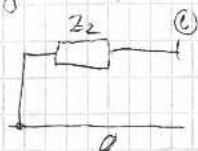
$$E = U + Z_1 I_G \quad (\text{a. nur Spannungsquelle})$$

Z_1 az erdő pozitív reaktív impedanciája
(generátoroknál X_d' vagy X_d'' függvénye időtelvél)

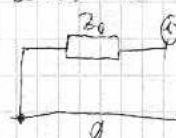
to E (elektromotoro sŭ) a ŝtlat folgman ren
allando (kapernte, nollalgora's ŝtr)

Korrelatie $E =$ afstand (E' vs E'')

negativ-sondieren:



2. Les prendre :

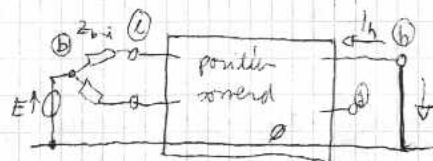


ahol Z_2 ill. Z_0 az eredő negatív ill. zeros
sorrendű impedancia

Ha a terheléseket elhanyagoljuk, akkor minden
erőmű belső feszültsége azonosnak vehető és
egy körös csomópontba összevethető.

A hálózati csomópont 3F szálaknak számítási
módja (mérése) a Z csomóponti impedancia
mátrix elemeire alapozva (hibahelyi áram,
feszültségváltozások, árameloszlás)

3F rövidzárlat számítási terheletlen hálózatra



$$I_h = -I_{3F}$$

h : hibahely

i : generátor csatlakozási pont

j : tekercses csomópont

$$\text{A zárlat előtt: } U_i^{(0)} = U_j^{(0)} = U_h^{(0)} = E$$

$$I_i^{(0)} = I_j^{(0)} = I_h^{(0)} = 0$$

$$\text{tekercses csomópont } I_j^{(0)} - k = 0$$

A zárlat hatására

$$a) I_{3F} = \frac{U_h^{(0)}}{Z_{hh}} = \frac{E}{Z_{hh}} \quad Z_{hh}: \text{mérés ponti imp.}$$

$$\Delta I_h = -I_{3F}$$

$$b) U_j = U_j^{(0)} + \Delta U_j = E + Z_{jh} \Delta I_h = E - Z_{jh} I_{3F}$$

$$U_k = E - Z_{kh} I_{3F}$$

$$c) I_{g-k} = (y_{g-k}) (U_j - U_k) = y_{g-k} [Z_{kh} - Z_{jh}] I_p$$

ahol y_{g-k} a ① és ② közötti admittancia

d) az ②-re kapcsolódó rövid beláplóáram

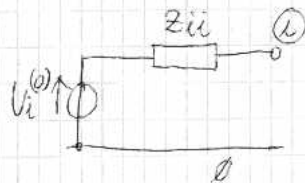
$$I_{b-i} = \frac{1}{Z_{b-i}} [E - U_i]$$

ahol Z_{b-i} az rövidre záró ponttól sorosban impedanciája.

A bemutatott művetári eljárás $E = \text{állandó}$ értéke mellett adja a rövidzártati áramokat ($E' \rightarrow I'$; $E'' \rightarrow I''$).

20.3 Egyenértékű modell egy vagy két csomópontban a Z csomóponti mátrix elemei alapján

Thévenin modell egy csomópontban (és referencia-pontja) a Z mátrix alapján.

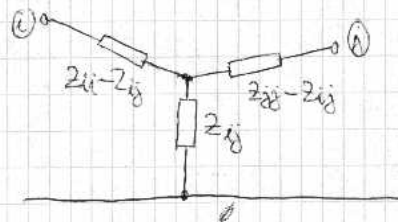


Ha a hálózat terheletlen, akkor $U_i^{(0)} = E$

Két csomópont (pl. i és j) között mérhető Z_{ij} mérési ponti impedancia a Z mátrix elemeivel megadható

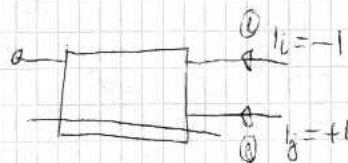
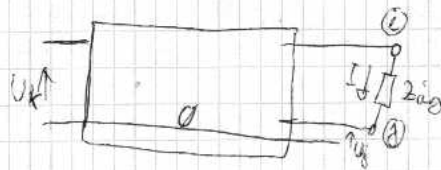
$$(Z_{ij})_{mp} = Z_{ii} + Z_{jj} - 2Z_{ij}$$

Két csomópontos (és a referencia pont) konállosítási modell a Z mátrix elemei alapján



Z_{ii}, Z_{jj}, Z_{ij} a
 Z mátrix elemei

Két (pl. i és j) csomópont közé bekapcsolva egy Z_{ij} impedancián folyó áram és az ennek hatására létrejövő potenciálváltozások meghatározásához szükséges az ún. áramkompenzációs elvű eljárás.



$$I = \frac{U_i^{(0)} - U_j^{(0)}}{Z_{ij} + (Z_{ij})_{cp}}$$

$$\Delta U_i = -Z_{ii}I + Z_{ij}I$$

$$\Delta U_j = +Z_{ij}I - Z_{jj}I$$

továbbá

$$\Delta U_k = -Z_{ki}I + Z_{kj}I$$

Villamosenergia-átvitel

– Vizsgakérdések: 22–23 –

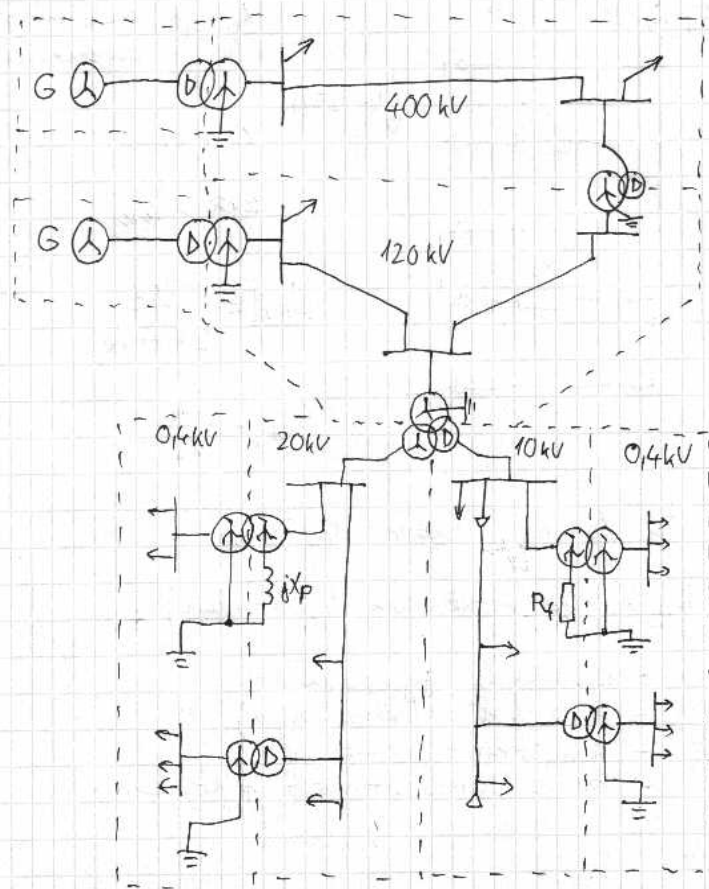
2004

22. Hálózati csillagpontföldelés, zárlatkorlátozás

22.1 Csillagpontföldelés az MK VER-ben

Az MK VER hálózati földelési ('csillagpont kezelés') gyakorlata a feszültségszintek (400, 120, 20, 10 és 0,4 kV), a hálózati tápvetések (nagyszálú, kábel), a transzformátorok, csillagpontképzők (Y, D, Z tekercselés) együtelmű megadással

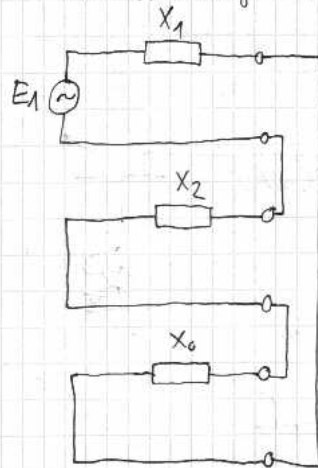
Az MK VER hálózati földelési gyakorlatának összefoglaló kémeja:



Erőművi generátor : földeltlen csillagpont
 400, 120 kV : közvetlenül földelt (határon földelt)
 20 kV maladisztribúció : izolált tekercsen földelt (kompenzált)
 10 kV kábel : ellendőlősen földelt („horui földelés”)
 0,4 kV (4 vez.) : közvetlenül földelt, több helyen
 földelt nulla-vezető

A közvetlenül földelt hálózat 3FN, ill. 1FN
 rövidzárlati áramának korlátozása lehetőségei, módja

A zárlati helyre vonatkozóan ($R \ll X$ azaz)



X_1, X_2, X_0 eredő mérőponti impedanciák

$$X_2 \approx X_1$$

$$E_1 \approx U_{\text{mfsz}}$$

$$|I_{FN}| \approx \frac{3 \cdot U_{\text{mfsz}}}{2X_1 + X_0}$$

$$|I_{3F}| = \frac{U_{\text{mfsz}}}{X_1}$$

Ha $X_0 < X_1$, akkor $I_{FN} > I_{3F}$

I_{FN} és I_{3F} csökkentése (X_1 növelése)

- hirtelenség gyengítése
- megakasztás (körzetek)
- gyújtóról - bontás
- soros zárlatkorlátozó fogótelenek

I_{FN} csökkentése (X_0 növelése)

- körmetlen földelések "ritkítása"
- csillagponti zárlatkörrelátó fűtőtekercs

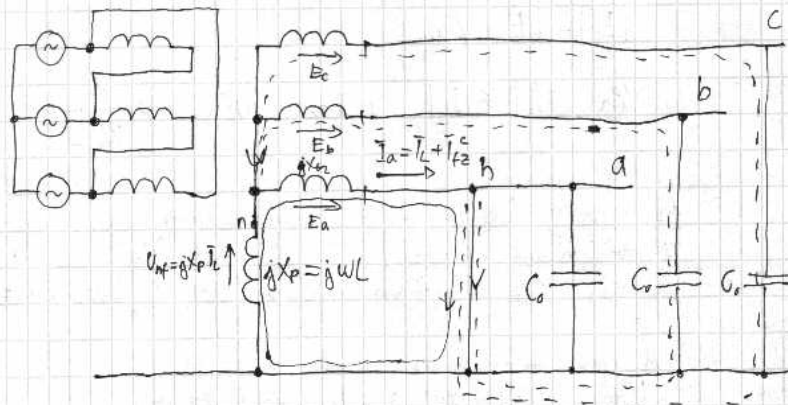
Zárlati teljesítmény

$$S_{3F} = 3 U_{NF} \cdot I_{3F} \quad ; \quad S_{FN} = 3 \cdot U_{NF} \cdot I_{FN}$$

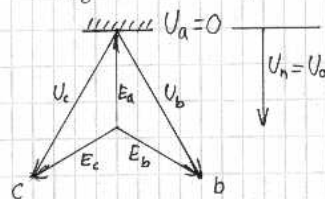
Nagyobb feszültségűen kisebb zárlati áram!

22.2 Az i-volto tekercsrel földelt (kompenzált) hálózati

A jellemző U_{abc} és I_{abc} fázisokra az
a fázis egyfázisú földzárlatakor



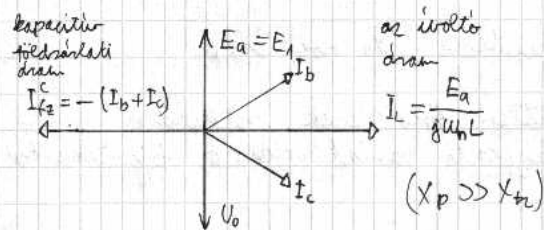
Feszültség- és áramfázisok



Állandóval földzárlat ép
conali feszültségek

$$|U_b| = |U_c| = \sqrt{3} |E_a|$$

$$\bar{U}_0 = -\bar{E}_a$$



$$\bar{I}_a = \bar{I}_L + \bar{I}_{f2}^c \approx 0$$

C_{ab}, C_{bc}, C_{ac} nélkül

$$\bar{I}_b = j\omega_n C_0 \bar{U}_b ; \quad \bar{I}_c = j\omega_n C_0 \bar{U}_c ; \quad \omega_n = 2\pi f_n$$

$$f_n = 50 \text{ Hz}$$

$$|\bar{I}_b| = |\bar{I}_c| = \omega_n C_0 \sqrt{3} |E_a|$$

$$|\bar{I}_b + \bar{I}_c| = |\bar{I}_{f2}^c| = \omega_n 3C_0 |E_a|$$

$$|\bar{I}_L| = |E_a| / \omega_n L$$

$$\text{Ha } |\bar{I}_{f2}^c| \approx |\bar{I}_L| \text{ akkor } \omega_n 3C_0 \approx \frac{1}{\omega_n L}$$

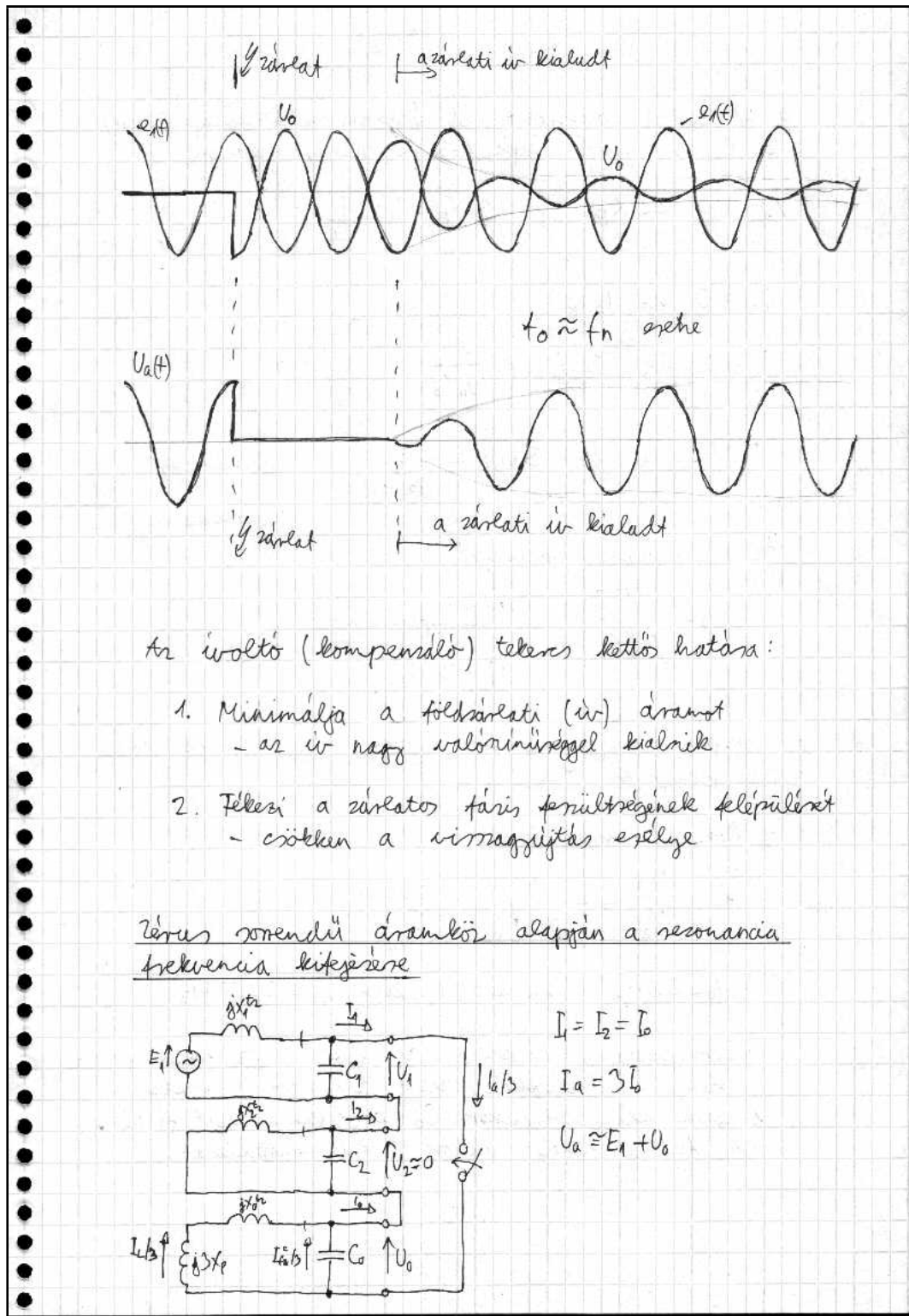
x_2 i-volto tekercs kettős (alapharmónikus) hatása:
a földáramlat alatti, ill. az i -v kialektro utáni hatás, az alapharmónikus $U_a(t)$ és $U_0(t)$ időfüggvény

Alapharmónikus időfüggvények
(földáramlat az „a” fázis-föld közi)

$$U_a(t) = U_1(t) + U_0(t) \quad U_2(t) \equiv 0$$

$$\text{de } U_1(t) = e_1(t) = e_a(t)$$

$$\text{így: } U_a(t) = e_a(t) + U_0(t)$$



A földszintet nem pontjából (állandósult állapotban)
a C_1 és $C_2 = C_1$ kapacitásoknak nincs szerepe

$$X_1^L = X_2^L \ll X_P \quad ; \quad 3X_P = 3\omega_n L$$

$$I_a \approx 0, \text{ ha } I_0 \approx 0$$

$$I_0 \approx 0, \text{ ha } 3\omega_n L \approx \frac{1}{\omega_n C_0}$$

$$X_0^{\text{reaktív}} \rightarrow \infty, \text{ ha } 3\omega_0 L = \frac{1}{\omega_0 C_0}$$

ω_n : névleges

ω_0 : rezonancia

Az ω_0 rezonancia frekvencia:

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{1}{3LC_0}} \quad \text{túlkompensálás}$$

$$|I_L| > |I_{fz}^c|$$

A kompenzáltági fok értelmezése, a túlkompensálás
működésének oka

A kompenzáltági fok:

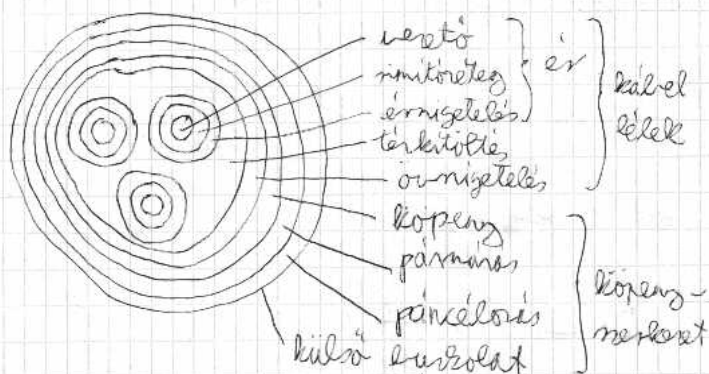
$$k = \frac{|I_L|}{|I_{fz}^c|} = \frac{1}{\omega_n^2 3LC_0} = \frac{\omega_0^2}{\omega_n^2}$$

$$f_0 = 50 \cdot \sqrt{k} \quad \text{ha } k=1,1, \text{ akkor } f_0 \approx 52,5 \text{ Hz}$$

Túlkompensálás működés az $f_0 \approx 50 \text{ Hz}$ rezonancia-
vesztés elkerüléséhez, mert állandó L esetén
vezeték kikapcsolásakor C_0 csökken, ezért f_0 nő.
Ha $f_0 < f_n$ lenne, akkor $f_0 \approx f_n$ előállhat.

23. Erőátviteli kábelek

23.1 Kábelek keresztmetszeti felépítése, villamos paraméterei

Rögzített kábelek keresztmetszeti felépítéseVillamos paraméterek jellemzői

Mátrixparaméterek

$$I_2^2 R(\omega) \cdot t_2 \approx m \cdot C \cdot \theta$$

C nagy
X kicsi

$$I_{2max} = \frac{I_{2n}}{\sqrt{t_2}}$$

 $R_{kabel}, X_{kabel}, C_{kabel}, Z_{kabel}, P_{kabel}$

Kábel paraméterek

nr.		kábel
R	=	R
X ₁	>	X ₁
C ₁	<	C ₁
Z ₀	>	Z ₀
P _{km}	<<	P _{km}

Kábelköpeny szerepe a kábel véges vándorú inductanciáját befolyásoló határa

Védelen, EMC

A köpeny jelenléte nem befolyásolja a villamos paramétereket

$$Z_0 = R_V + R_F + j\omega 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_f}{GMR_{\text{cable}}}$$

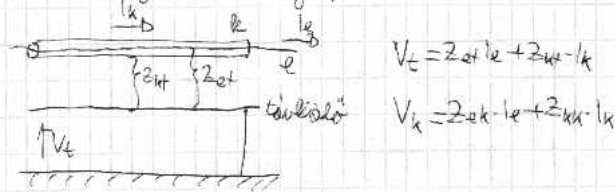
Földelt köpeny

$$Z_0^* = Z_0 - 3 \frac{Z_{kk}^2}{Z_k}$$

$$Z_{20} = R_F + j\omega 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_f}{D_{20}}$$

$$Z_2 = R_k + R_F + j\omega 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_f}{r_k}$$

A köpeny védőtűzvédelmi határolására



Szigetelt köpeny $l_k = 0$ $V_k = Z_{0t} \cdot I_e$

Földelt köpeny (min. 2 helyen)

$$V_k = 0 = Z_{0k} \cdot I_e + Z_{kk} \cdot I_k \quad I_k = -I_e \frac{Z_{0t}}{Z_{kk}}$$

$$k_V = \frac{Z_{kk} - Z_{0k}}{Z_{0k}} \approx \frac{R_k}{Z_{kk}} \quad R_k \text{ nagyon kicsi}$$

23.2 Kábelelek melegedése, kábel és talajhővezetési
összehasonlítása a villamos paraméterek
névpontjából

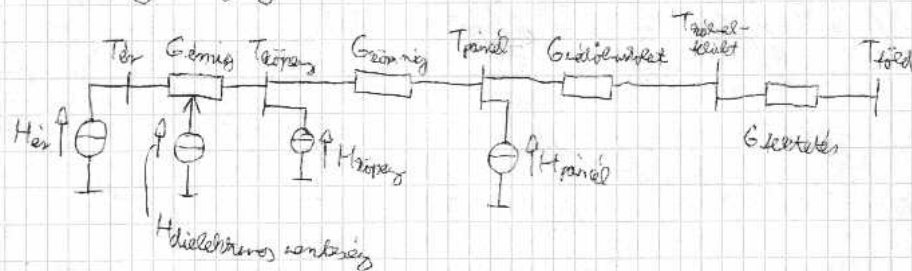
hosszú távú kábel hővesztésének
állandósult áramánál

Kábel vill. áram analógia

$$H \rightarrow I$$

$$G \rightarrow R$$

$$\Theta \rightarrow U$$



Zárati hőegyensúly

$$I^2 \cdot R(\Theta) \cdot t_2 = m \cdot c \cdot \Theta$$

Árónos vezetőkeresztmetszetű saládvezeték
és kábel R, L, C, Z_0, P_t paramétereinek
összehasonlítása

Saládvezeték		Kábel
R	$=$	R
L	$>$	L
C	$<$	C
Z_0	$\gg$	Z_0
P_t	$\ll$	P_t