12	Távvezeték induktivitásának meghatározása Távvezeték soros impedanciája

Vezetékparaméterek

1. Távvezeték induktivitása

1.1 Egy vezetőszál teljes fluxuskapcsolódása hosszegységre vonatkoztatva: /Fizikailag csak zárt hurokban folyó áramnak van értelme, egy végtelen hosszu vezető fluxuskapcsolódását gyakorlati szempontok miatt értelmezzük/

$$\Psi=2\cdot10^{-7}\cdot i/\ln e^{\frac{\mu_{rb}}{4}}+\ln\frac{D_{ax}}{r}/=2\cdot10^{-7}\cdot i\cdot\ln\frac{D_{ax}}{r^*}\quad /Vs/m/$$

Az r sugaru tömör vezetőt a fluxuskapcsolódások szempontjából /külső+belső/ egy r^* sugaru, végtelen vékony falu csővezetővel helyettesitjük: $r^*<r$, r^* az un. redukált sugár, szokásos jelölése: GMR. 209-215 oldal.

1.2 Két végtelen hosszu, párhuzamos kör keresztmetszetü vezető körül kialakuló mágneses tér alapján értelmezhető egy vezetőszál ön és kölcsönös induktivitása hosszegységre vonatkoztatva:

$$L_{aa}=\frac{\Psi_a}{i_a}=2\cdot10^{-7}\cdot\ln\frac{1}{r_a^*}\ /H/m/\qquad L_{ab}=\frac{\Psi_a}{i_b}=2\cdot10^{-7}\cdot\ln\frac{1}{D_{ab}}\ /H/m/$$

A hosszegységet 1 km-re választva, áttérve 10-es alapu logaritmusra, 50 Hz-en az ön és kölcsönös induktiv reaktancia:

$$X_{aa}=0,145\cdot\lg\frac{1}{r_a^*}\ /\Omega/km/\qquad X_{ab}=0,145\cdot\lg\frac{1}{D_{ab}}\ /\Omega/km/$$

Egy fázis pozitiv sorrendü induktiv reaktanciája az ön és kölcsönös reaktancia különbsége:

$$X_{a1}=X_{aa}-X_{ab}=0,145\cdot\lg\frac{D_{ab}}{r_a^*}\ /\Omega/km/$$

216-221 oldal

1.3 Fázisvezető-föld hurok impedanciája: /Carson-Clem képlet/ 50 Hz/

$$Z_{vf}=R_v+R_f+j\cdot0,145\cdot\lg\frac{D_e}{r^*}\ /\Omega/km/$$

$R_f=0,0495\ \Omega/km$ a föld ellenállása, $D_e=\sqrt{\frac{\rho}{f}}\cdot6,59\cdot10^2\,m$ a földvisszavezetés mélysége, ρ a föld fajlagos ellenállása $/\Omega\cdot m/$.

114

Két vezető-föld hurok kölcsönös impedanciája:

$$Z_{abf} = R_f + j.0,145 \cdot \lg \frac{D_e}{D_{ab}} \; /\Omega/km/$$

Fontos, hogy valós része is van - a föld közös eleme a két vezető-föld huroknak - és a föld ellenállása csak a frekvenciától függ. 244-249 oldal.

1.4 Háromfázisu vezetékrendszer +, - és 0 sorrendü impedanciája:

A fázismennyiségekre a következő vektoregyenlet irható fel:

$$\underline{U}_f = \underline{\underline{Z}}_f \cdot \underline{I}_f .$$

Kifejtve:

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

Az a-b-c rendszert a $\underline{\underline{T}}_{sf}$ /fázisból +, -, 0 sorrend/ és a $\underline{\underline{T}}_{fs}$ /+, -, 0 sorrendből fázis/ transzformációs mátrixok segitségével szimmetrikus összetevőkre bontjuk.

$$\underline{\underline{T}}_{sf} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \qquad \underline{\underline{T}}_{fs} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$\underbrace{\underline{\underline{T}}_{sf} \cdot \underline{U}_f}_{\underline{U}_s} = \underbrace{\underline{\underline{T}}_{sf} \cdot \underline{\underline{Z}}_f \cdot \underline{\underline{T}}_{fs}}_{\underline{\underline{Z}}_s} \cdot \overbrace{}^{\underline{\underline{E}}} \underbrace{\underline{\underline{T}}_{sf} \cdot \underline{I}_f}_{\underline{I}_s}$$

Kifejtve:

$$\begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

Szimmetrizált /fáziscserés/ esetben, vagyis ha teljesül, hogy

$$Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc} = Z_{ön} \quad \text{és}$$

$$Z_{ab} = Z_{bc} = Z_{ac} = Z_{ca} = Z_{cb} = Z_{ba} = Z_{kölcsönös}, \text{ akkor a}$$

$\underline{\underline{Z}}_s$ mátrix diagonál-mátrix lesz, tehát nem lesz kölcsönhatás a különböző sorrendü hálózatok között:

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

ahol $Z_1 = Z_{ön} - Z_{kölcs.} = Z_2$ és

$Z_0 = Z_{ön} + 2 \cdot Z_{kölcs.}$

/ezek az összefüggések az a-b-c rendszer transzformálásával levezethetők/

A vezető-föld hurokra érvényes Carson-Clemm összefüggések felhasználásával, feltéve, hogy a fázisvezetők egy egyenlőoldalu háromszög csúcsaiban vannak elhelyezve, tehát a fázistávolság D, a pozitiv és negativ sorrendü impedancia:

$$Z_1=Z_2=Z_{ön}-Z_{kölcs}=R_v+R_f+j\cdot\lg\frac{D_e}{r^*}+0{,}145-R_f-0{,}145\cdot\lg\frac{D_e}{D}=$$

$$=R_v+j.0{,}145\cdot\lg\frac{D}{r^*}\quad /\Omega/km/$$

Zérussorrendü impedancia:

$$Z_o=Z_{ön}+2Z_{kölcs}=R_v+R_f+j\cdot 0{,}145\cdot\lg\frac{D_e}{r^*}+2\cdot R_f+2\cdot j\cdot 0{,}145\cdot\lg\frac{D_e}{D}=$$

$$=R_v+3\cdot R_f+j\cdot 0{,}145\cdot\lg\frac{D_e^3}{r^*D^2}=R_v+0{,}1485+j\cdot 0{,}435\cdot\lg\frac{D_e}{GMR_{cs}}$$

$$/\Omega/km/$$

A csoportos redukált sugár: $GMR_{cs}=\sqrt[3]{r^*D^2}$ (m)

Aszimmetrikus /pl. vizszintes/ fáziselrendezés esetén a képletekbe az egyenértékü távolság - GMD - és redukált sugár - GMR - kerül. Az általánosan alkalmazható képletek tehát:

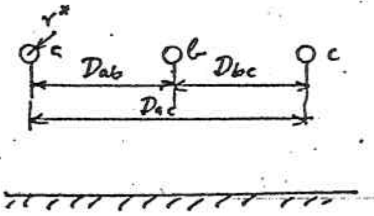
$$\boxed{\begin{aligned} Z_1=Z_2 &= R_v + j\cdot 0{,}145\cdot\lg\frac{GMD}{GMR}\quad /\Omega/km/ \\ Z_o &= R_v+3\cdot R_f+j.0{,}435\cdot\lg\frac{D_e}{GMR_{cs}}\quad /\Omega/km/ \end{aligned}}$$

1.4.1 <u>1 x 3 fázisu vezeték:</u>

$GMR = r^*$ (m)

$GMD = \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ac}}$ (m)

$GMR_{cs}=\sqrt[9]{r^{*3}\,D_{ab}^2D_{bc}^2D_{ac}^2}$ (m)



1.4.2 <u>1 x 3 fázisu, köteges vezeték:</u>

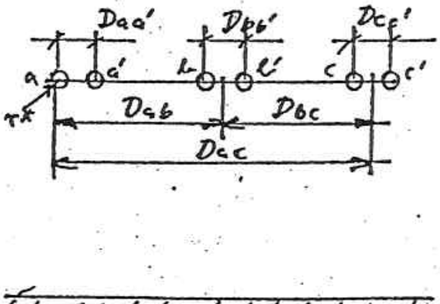
Feltéve, hogy $D_{aa'}=D_{bb'}=D_{cc'}$

és $D_{aa'}\ll D_{ab}$

$GMR=\sqrt[4]{r^{*2}\cdot D_{aa'}^2}=\sqrt{r^*D_{aa'}}$ (m)

$GMD=\sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ac}}$ (m)

$GMR_{cs}=\sqrt[9]{GMR^3D_{ab}^2D_{bc}^2D_{ac}^2}$ (m)



$Z_1=Z_2=\frac{R_v}{2}+j\cdot 0{,}145\cdot\lg\frac{GMD}{GMR}$ /Ω/km/, $Z_o=\frac{R_v}{2}+3R_f+j0{,}435\lg\frac{D_e}{GMR_{cs}}$ /Ω/km/

1.4.3 Kétrendszerü, 2 x 3 fázisu vezeték:

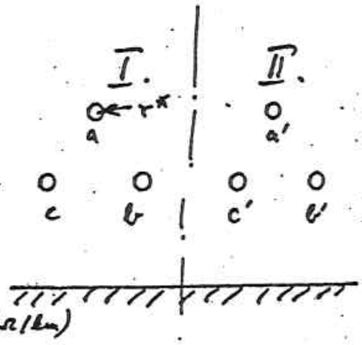
Pozitiv és negativ sorrend:

$$Z_1^{I}=Z_1^{II} = R_v+j0,145\cdot lg\frac{GMD}{GMR} \quad /\Omega/km/$$

ahol $GMR=r^{*}$ (m)

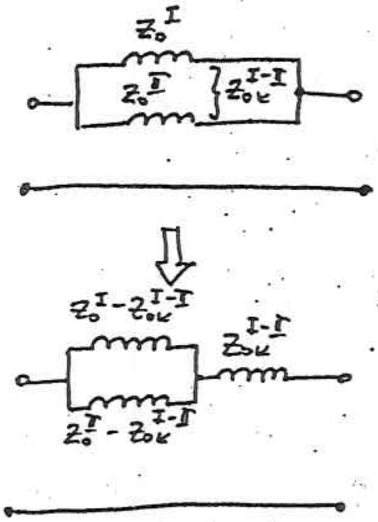
$$GMD=\sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ac}} \quad (m)$$

$$Z_1=Z_2=\frac{Z_1^{II}+Z_1^{I}}{2}=\frac{R_v}{2}+j0,145\cdot lg\frac{\sqrt{GMD}}{\sqrt{GMR}} \quad (\Omega/km)$$



Pozitiv ill. negativ sorrendü mennyiségek esetén /szimmetrizált vezetékeket feltételezve a két rendszer közötti kölcsönhatások elhanyagolhatók.

Zérus sorrend: a kölcsönhatások nem hanyagolhatók el. A helyettesitő séma ill. annak egyenértékü átalakitása alapján feltéve, hogy $Z_o^{I} = Z_o^{II}$



$$Z_o=\frac{\left(Z_o^{I}-Z_{ok}^{I-II}\right)^2}{2\left(Z_o^{I}-Z_{ok}^{I-II}\right)}+Z_{ok}^{I-II}=\frac{Z_o^{I}+Z_{ok}^{I-II}}{2}$$

ahol

$$Z_o^{I}=Z_o^{II}=R_v+3R_f+j0,435\cdot lg\frac{D_e}{GMR_{cs}} \quad /\Omega/km/$$

$$Z_{ok}^{I-II}=3R_f+j0,435\cdot lg\frac{D_e}{GMD_{kölcs.}} \quad /\Omega/km/$$

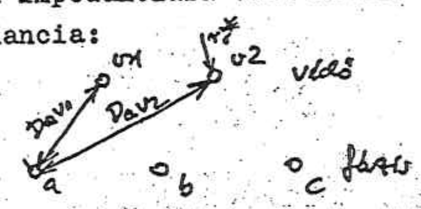
A képletekben

$$GMR_{cs}=\sqrt[9]{r^{*3}D_{ab}^2D_{bc}^2D_{ac}^2}=\sqrt[3]{r^{*}GMD^2} \quad (m)$$

$$GMD_{kölcs}=\sqrt[9]{D_{aa'}D_{ab'}D_{ac'}D_{ba'}D_{bb'}D_{bc'}D_{ca'}D_{cb'}D_{cc'}} \quad (m)$$

1.5 A védővezető hatása

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



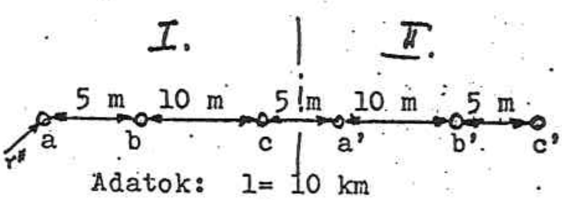
$$Z_o=Z_o'-3\cdot\frac{Z_{vfk}^2}{Z_v}$$

ahol Z_o' a védővezető nélküli zérus sorrendü impedancia, Két db. védővezetőt feltételezve:

$$Z_v=\frac{R_{vv}}{2}+R_f+j0,145\cdot lg\frac{D_e}{GMR_v} \quad /\Omega/km/, \quad Z_{vfk}=R_f+j0,145\, lg\frac{D_e}{GMD_{kölcs.}} \quad /\Omega/km/$$

és $GMR_v=\sqrt[4]{r_v^{*2}D_v^2}$, valamint $GMD_{kölcs}=\sqrt[6]{D_{av1}D_{bv1}D_{cv1}D_{av2}D_{bv2}D_{cv2}}$ (m)

1.5 Példa: Zérus sorrendü csatolás



Adatok: $l = 10$ km
$r^{*} = 1$ cm
$R_v = 0,2\ \Omega/km$
$\rho_{föld} = 100\ \Omega m$

Az ábrán látható kétrendszerü vezeték II. rendszerét karbantartják. Az I. rendszerben $I_a = I_b = I_c = 100$ A zérus sorrendü áram folyik.

a/ A II. rendszer vezetői mindkét végükön földeltek, mekkora áram folyik a II. rendszer vezetőiben?

b/ A II. rendszer csak egyik végén földelt. Mekkora potenciál--emelkedés lesz a földeletlen végen?

Megoldás:

a/ Az 1.4.3 pont szerint zérus sorrendü áramok esetén a kölcsönhatás a két vezetékrendszer között nem hanyagolható el, vagyis a zérus sorrendü csatolás miatt áram fog folyni a II. rendszer vezetőiben is. A 0 sorrendü áramkörre felirható feszültség egyenlet: $U_o^{II} = I_o^{II} \cdot Z_o^{II} \cdot l + I_o^{I} \cdot Z_{ok}^{I-II} \cdot l$. Mivel a II. rendszer vezetői mindkét végükön földeltek az $U_o^{II} = 0$, és igy:

$$I_o^{II} = -I_o^{I} \frac{Z_{ok} \cdot l}{Z_o^{II} \cdot l}$$

Az 1.4.3 pont szerint:

$$Z_o^{II} = R_v + 3R_f + j0,435 \cdot lg\frac{D_e}{GMR_{cs}} \quad \text{és} \quad Z_{ok} = 3R_f + j0,435 \cdot lg\frac{D_e}{GMD_{kölcs}} \quad /\Omega/km/$$

Ahol

$$D_e = 6.59 \cdot 10^2 \sqrt{\frac{\rho}{f}} = 6,59 \cdot 10^2 \sqrt{\frac{100}{50}} = 932 \text{ m}$$

$$GMR_{cs} = \sqrt[9]{r^{*3} D_{ab}^2 D_{bc}^2 D_{ac}^2} = \sqrt[9]{10^{-6} \cdot 5^2 \cdot 10^2 \cdot 15^2} = 0,9381 \text{ m}$$

$$GMD_{kölcs} = \sqrt[9]{20 \cdot 30 \cdot 35 \cdot 15 \cdot 25 \cdot 30 \cdot 5 \cdot 15 \cdot 20} = 19,1988 \text{ m}$$

Ezekkel:

$$Z_o^{II} = 0,2 + 0,1485 + j0,435 \cdot lg\frac{932}{0,9381} = 0,3485 + j1,3038 \text{ és } |Z_o^{II}| = 1,35\ \Omega/km$$

$$Z_{ok} = 0,1485 + j0,435 \cdot lg\frac{932}{19,1988} = 0,1485 + j0,7335 \text{ és } |Z_{ok}| = 0,748\ \Omega/km$$

A II, vezetékrendszerben a zérus sorrendü áramkomponens:

$$|I_o^{II}| = -100 \cdot \frac{0,748}{1,35} = -55,45 \text{ A /abszolut érték/}$$

Az egyes vezetőkben folyó áramok: $I_{a'} = I_{b'} = I_{c'} = I_o^{II} = -55,45$ A

b/ Ha az egyik vég nyitott, akkor $I_o^{II} = 0$ és

$$|U_o^{II}| = I_o^{I} \cdot Z_{ok} \cdot l = 100 \cdot 0,748 \cdot 10 = 748 \text{ V}$$ /abszolút érték/

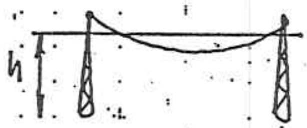
13	Háromfázisú szabadvezeték kapacitásai, négyvezetős modell és alkalmazása

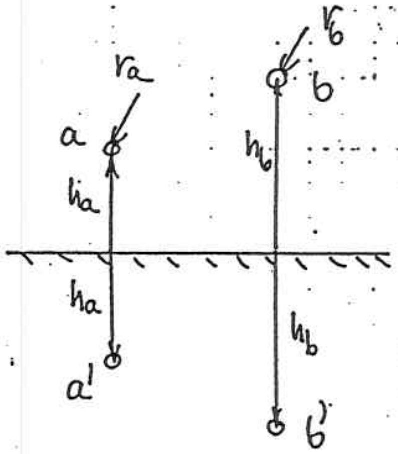
14	Távvezeték söntimpedanciája

Szabadvezeték kapacitása
(értelmezés, leképezés)

Általános bevezető

– Sztatikus tükrözés





h – átlagos földfeletti magasság

Geometria: r_a, r_b, h_a, h_b

↓

potenciáltényezők (Maxwell)

pl: $\left.\begin{matrix} p_{aa}, p_{ab}, p_{bb} \end{matrix}\right\} \rightarrow P = \begin{array}{cc|l} a & b & \\ \hline \; & \; & a \\ \; & \; & b \end{array}$

$C = P^{-1}$

– Alapegyenletek

$$U = P \cdot Q \xleftrightarrow{\text{inverz}} Q = C \cdot U$$

$$\downarrow d/dt \qquad\qquad \downarrow d/dt$$

$$U = Z' \cdot J \xleftrightarrow{\text{inverz}} J = Y \cdot U$$

$Y = j\omega C$

U – potenciál / forrás E \ üresjárási U

J – kapacitív töltőáram

$Z' = -jX'$

X' – kapacitív reaktancia

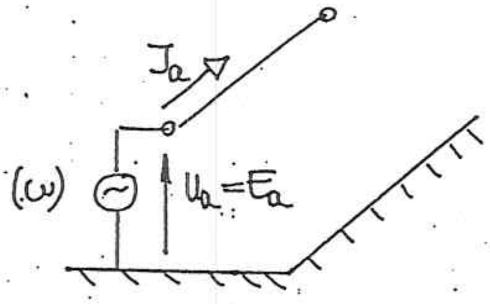
$\left[X_{kap} = \dfrac{1}{\omega C} \right]$

$P^{-1} \rightarrow C \qquad P \rightarrow X' \rightarrow C'$

$X' \begin{bmatrix} \boxed{x} & & o \\ & \boxed{x} & \\ o & & \boxed{x} \end{bmatrix} \qquad C = C' = \begin{bmatrix} x & & o \\ & x & \\ o & & x \end{bmatrix}$

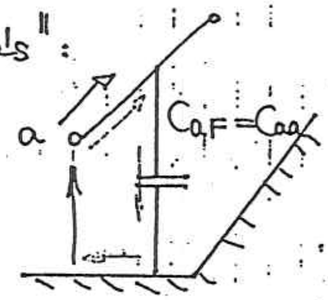
C és a töltőáram

— Egy vezető



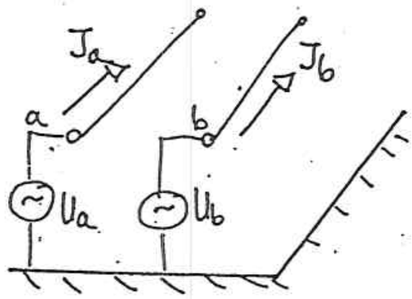
$$J_a = j\omega\, C_{aa} U_a$$

"ábrázolás":



$$C_{aa} = \frac{1}{P_{aa}}$$

— Két vezető

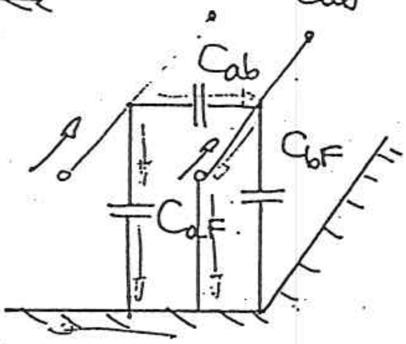


$$J_a = j\omega (C_{aa} U_a - C_{ab} U_b)$$

$$J_b = j\omega (-C_{ab} U_a + C_{bb} U_b)$$

$$C_{ab} = C_{ba}$$

$C_{ab} > 0$ (poz. számérték)



$$U_b = 0$$

$$J_a = j\omega\, C_{aa} U_a$$

$$J_b = -j\omega\, C_{ab} U_a$$

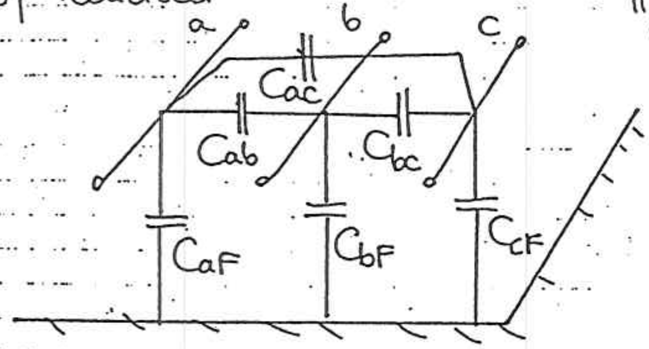
$$P = \begin{vmatrix} P_{aa} & P_{ab} \\ P_{ba} & P_{bb} \end{vmatrix} \xleftrightarrow{\text{inverz}} \begin{bmatrix} C_{aa} & -C_{ab} \\ -C_{ba} & C_{bb} \end{bmatrix}$$

$$C_{aa} = C_{aF} + C_{ab}$$

$$C_{bb} = C_{bF} + C_{ab}$$

– 3f rendszer

"ábrázolva"



$J_a = j\omega\,(C_{aa}U_a - C_{ab}U_b - C_{ac}U_c)$

$J_b = \dots$

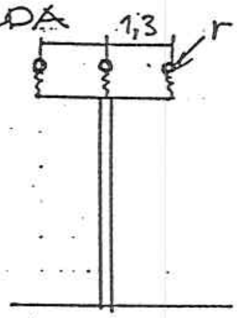
$J_c = \dots$

$C_{aa} = C_{aF} + C_{ab} + C_{ac}$

$C_{aF} = C_{aa} - C_{ab} - C_{ac}$

C_{aF} (nem független) függ a többi vezető (b,c) helyzetétől.

PÉLDA



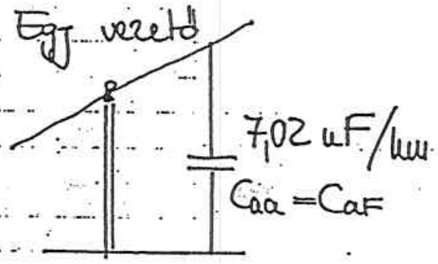
$U_n = 20$ kV, légvezeték

$h = 9$ m

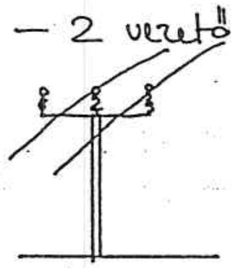
vez : 95 mm² Al

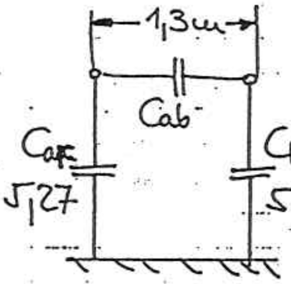
$r = 0{,}65$ cm

– Egy vezető



– 2 vezető

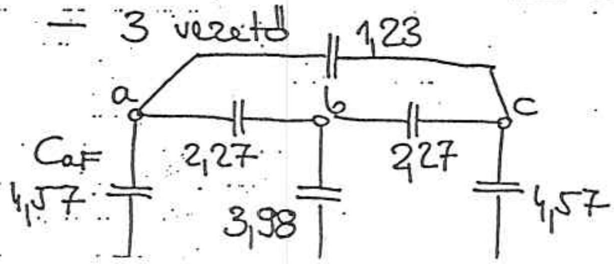




$C_{aa} = C_{bb} = 7{,}89$ uF/km

$C_{ab} = 2{,}62$ uF/km

– 3 vezető



$C_{aa} = C_{cc} = 8{,}07$ uF/km

$C_{bb} = 8{,}53$

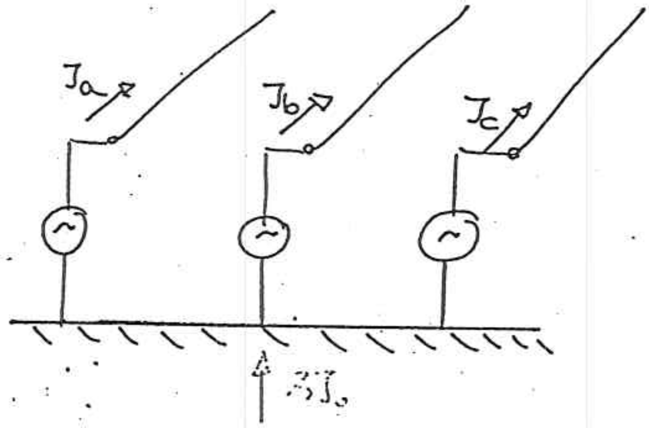
C szimmetrikus összetevői

$$J_{\underset{a-b-c}{fázis}} = j\omega\, C_{fázis} \cdot U_{fázis}$$

$$\updownarrow$$

$$J_{0,1,2} = j\omega\, C_{0,1,2} \cdot U_{0,1,2}$$

— pozitív sorrendű táplálás



$U_a = E_a = \boxed{E_1}$

$U_b = E_b = a^2 E_1$

$U_c = E_c = a E_1$

$J_a =$ $\boxed{J_1}$

$J_b =$ $\boxed{J_2}$

$J_c =$ $\boxed{J_0}$

$\boxed{J_1 = j\omega\, C_{11} E_1}$ → ez domінál

$J_2 = j\omega \boxed{C_{21}} E_1$ — asszimetria (geom.)

$J_0 = j\omega \boxed{C_{01}} E_1$

$$J_1 = \frac{1}{3}\left(J_a + aJ_b + a^2 J_c\right)$$

$$J_0 = \frac{1}{3}\left(J_a + J_b + J_c\right)$$ ↗ Ki tud-e alakulni?

$$C_{11} = \underbrace{\frac{1}{3}\left(C_{aa} + C_{bb} + C_{cc}\right)}_{C_{ön}} + \underbrace{\frac{1}{3}\left(C_{ab} + C_{bc} + C_{ac}\right)}_{C_K}$$

$$C_{11} = C_{ön} + C_K$$

$/C_{ön} \neq C_F/$

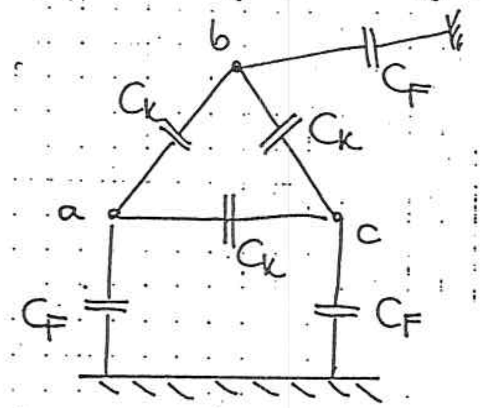
$$C_{00} = C_{ön} - 2C_K$$

sorosan ind.

$Z_{11} = Z_{ön} - Z_k$

$Z_{00} = Z_{ön} + 2Z_k$

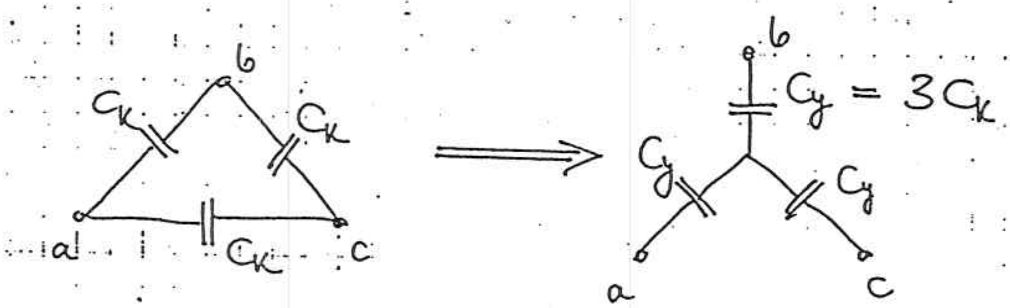
Ha a geom. kiegyenlített



$$C_{öü} = C_F + 2C_K$$

$$C_{11} = C_F + 3C_K = C_{1(1)}$$

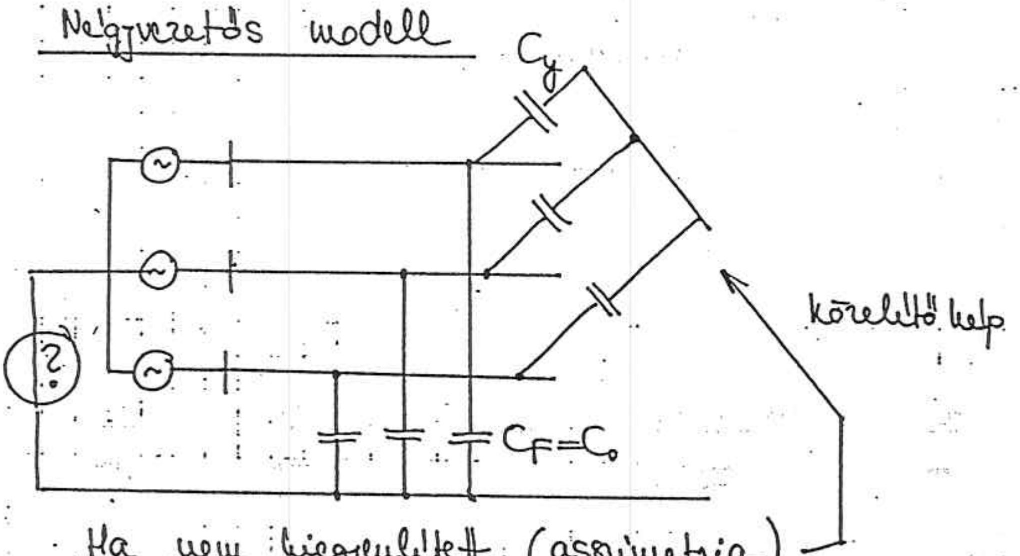
$$C_{00} = C_F = C_{0(0)}$$



$$C_{1(1)} = C_F + C_y \qquad C_y = C_1 - C_0$$

$$C_0 = C_F \qquad C_F = C_0$$

Négyvezetős modell



Ha nem kiegyenlített (asszimetria)

a számítási példához:

$$C_{11} = C_{öü} + C_K = 19{,}15\ \mu F/km$$

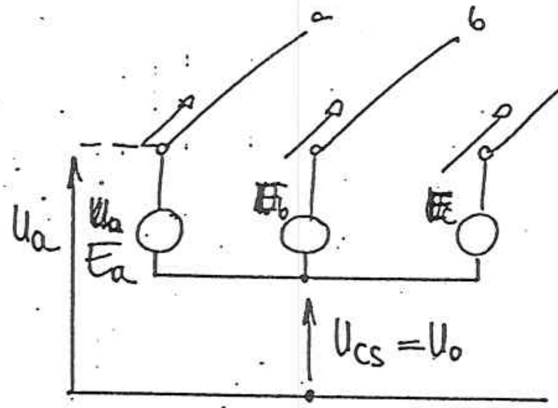
$$C_{00} = C_{öü} - 2C_K = 4{,}38\ \mu F/km \quad (0{,}23\ C_{11})$$

emlékeztető: soros X

$$X_0 = (2 - \underline{2{,}5} - 3)X_1$$

$C_0 \cong (0{,}5 - 0{,}7)\,C_1$

C. asszimetria



$E_a = E_1$
$E_b = a^2 E_1$
$E_c = a E_1$

$\overline{U_a} = \overline{E_a} + \overline{U_0}$
$\overline{U_b} = \overline{E_b} + \overline{U_0}$
$\overline{U_c} = \overline{E_c} + \overline{U_0}$

$J_0 = j\omega\, \overline{C_{01}} E_1 + j\omega C_{00} U_0 = 0\,!$

$$\boxed{U_0 = -\frac{\overline{C_{01}}}{C_{00}} \cdot E_1}$$

csillagpont U eltolódás

Ha a geom. szimmetrikus $\overline{C_{01}} = 0 \rightarrow U_{cs} = U_0 = \emptyset$

$$\overline{C_{01}} = \frac{1}{3}\left(C_{aa} + a^2 C_{bb} + a\, C_{cc}\right) + \frac{1}{3}\left(a\, C_{ab} + C_{bc} + a^2 C_{ac}\right)$$

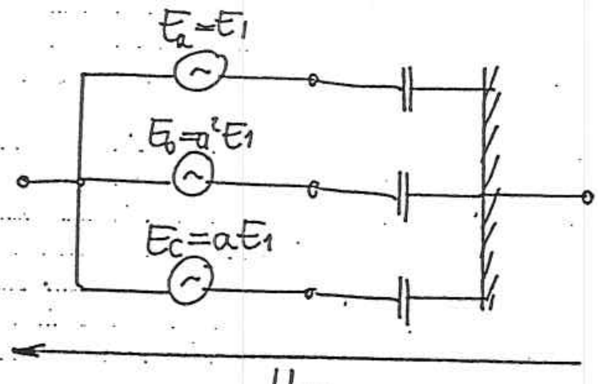
$C_{aF} = C_{aa} - C_{ab} - C_{ac}$
$C_{bF} = \ldots$
$C_{cF} = \ldots$

$$\boxed{\overline{C_{01}} = \frac{1}{3}\left(C_{aF} + a^2 C_{bF} + a\, C_{cF}\right)}$$

A csillagponteltolódást nem a kölcsönös, hanem a földkapacitások különbözőségéből adódik.

C_{aF} függ a b és c vezető geom. helyzetétől.

$$C_{00} = \frac{1}{3}\left(C_{aF} + C_{bF} + C_{cF}\right)$$

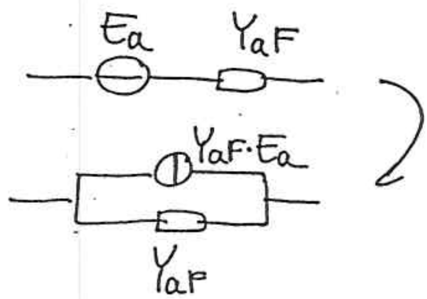


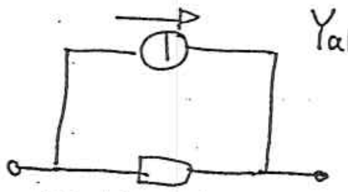
U_{cs} nem függ C_{ab}, C_{bc}, C_{ac}-től.

$$Y_{aF} = j\omega C_{aF}$$

$$Y_{bF} = j\omega C_{bF}$$

$$Y_{cF} = j\omega C_{cF}$$





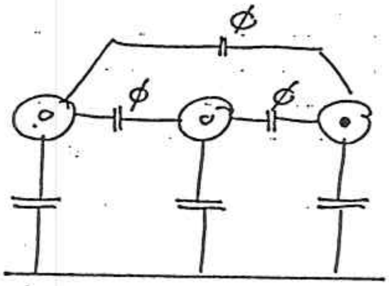
$$Y_{aF}E_a + Y_{bF}E_b + Y_{cF}E_c =$$

$$= \left(Y_{aF} + Y_{bF}a^2 + Y_{cF}a\right)E_1$$

$$U_{cs} = -\frac{Y_{aF} + a^2 Y_{bF} + aY_{cF}}{Y_{aF} + Y_{bF} + Y_{cF}} \cdot E_1$$

$$U_{cs} = -\underbrace{\frac{C_{aF} + a^2 C_{bF} + aC_{cF}}{C_{aF} + C_{bF} + C_{cF}}}_{\frac{\overline{C}_{01}}{\overline{C}_{00}}} \cdot E_1$$

Egyeres kábelnél:



2. Távvezeték kapacitása

A következőkben csak a háromfázisu esettel foglalkozunk, a fizikai háttér és a képletek megértéséhez szükséges a tankönyv 271-286. oldalainak részletes áttanulmányozása.

Cél: az induktiv reaktanciához hasonló strukturáju képletek levezetése. A geometriai viszonyokból nem a kapacitás, hanem a potenciáltényezők határozhatók meg közvetlenül. A háromfázisu vezetékrendszer fázisfeszültségei és a fázisok villamos töltései között érvényes a következő egyenletrendszer:

$$U_a = p_{aa}Q_a + p_{ab}Q_b + p_{ac}Q_c$$
$$U_b = p_{ba}Q_a + p_{bb}Q_b + p_{bc}Q_c$$
$$U_c = p_{ca}Q_a + p_{cb}Q_b + p_{cc}Q_c$$

A három egyenletet egy vektoregyenletbe összefoglalva: $\underline{U}_f = \underline{\underline{P}}_f \underline{Q}_f$

ahonnan $\underline{Q}_f = \underline{\underline{P}}_f^{-1} \underline{U}_f$ és a $\underline{\underline{P}}_f^{-1} = \underline{\underline{C}}_f$ a kapacitásokat tartalmazó mátrix.

A fázisfeszültségre felirt vektoregyenlet a $\underline{\underline{T}}_{sf}$ és $\underline{\underline{T}}_{fs}$ forgató mátrixok segitségével szimmetrikus komponensekre bontható:

$$\underbrace{\underline{\underline{T}}_{sf} \cdot \underline{U}_f}_{\underline{U}_s} = \underbrace{\underline{\underline{T}}_{sf} \cdot \underline{\underline{P}}_f \cdot \overbrace{\underline{\underline{T}}_{fs} \cdot \underline{\underline{T}}_{sf}}^{\underline{\underline{E}}}}_{\underline{\underline{P}}_s} \cdot \underbrace{\underline{Q}_f}_{\underline{Q}_s}$$

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

Szimmetrizált esetben a $\underline{\underline{P}}_s$ diagonál mátrix, amelyben

$$p_1 = p_2 = p_{ön} - p_{kölcs.} \text{ és } p_o = p_{ön} + 2 \cdot p_{kölcs.}$$

A $\underline{\underline{P}}_s$ inverze, $\underline{\underline{C}}_s$ is diagonál mátrix lesz, amelynek elemeire igaz, hogy

$$C_1 = C_2 = C_{ön} + C_{kölcs} \text{ és } C_o = C_{ön} - 2 \cdot C_{kölcs}, \text{ továbbá } C_1 = \frac{1}{p_1} \text{ és } C_o = \frac{1}{p_o}.$$

A kapacitiv reaktancia a hálózati körfrekvencia figyelembe vételével:

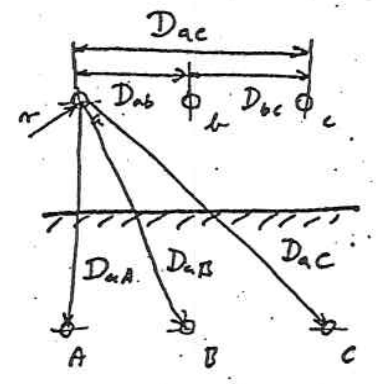
$$X_2' = X_1' = \frac{1}{\omega C_1} \text{ és } X_o' = \frac{1}{\omega C_o}$$

A zérus sorrendü kapacitiv reaktancia számitásánál a föld figyelembe vétele a vezetők földhöz képesti tükörképével történik.

A hosszegységre vonatkozó kapacitiv reaktancia dimenziója $\Omega \cdot$km, ill. kezelhető számérték érdekében $10^6 \cdot \Omega \cdot$km, tehát adott hosszuságu vezeték kapacitásának meghatározásánál a hosszal osztani kell /a hosszegységre vonatkozó kap. reaktanciák párhuzamosan kapcsolódnak/. A képletekben a fázisvezetők sugara /és nem a redukált sugara!/ szerepel.

2.1 1 x 3 fázisu vezeték +, - és 0 sorrendü hosszegységre vonatkozó kapacitiv reaktanciája 50 Hz esetén:

127



$X_1' = 0{,}132\cdot \lg \frac{GMD}{GMR}$ /MΩkm/ $= X_2'$

$X_0' = 3\cdot 0{,}132\cdot \lg \frac{GMD/\text{fázis-tükör}/}{GMR_{cs}}$ /MΩkm/

a képletekben:

GMR = r /m/

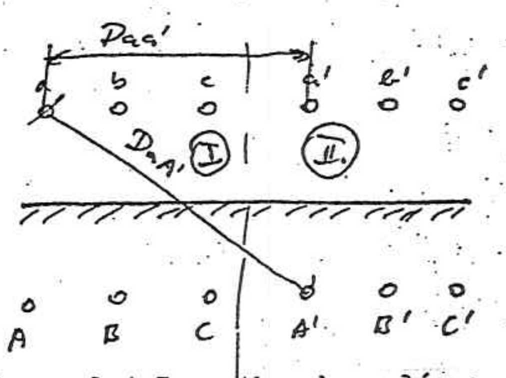
$GMD = \sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ac}}$ /m/

$GMR_{cs} = \sqrt[9]{r^3 D_{ab}^2 D_{bc}^2 D_{ac}^2}$ /m/

$GMD/\text{fázis-tükör}/ = \sqrt[9]{D_{aA}D_{aB}D_{aC}D_{bA}D_{bB}D_{bC}D_{cA}D_{cB}D_{cC}}$ /m/

Az 1 x 3 fázisu vezetékrendszer tekinthető alapesetnek, és a többi vezetékelrendezés erre vezethető vissza a GMR, GMD, stb. megfelelő értelmezésével.

2.2 2 x 3 fázis



A + és - sorrendü reaktanciák az egyes rendszerekre az előző módszerrel határozhatók meg, a kölcsönhatás /szimmetrizált esetben/ elhanyagolható:

$$X_1' = \frac{X_1^{I\,\prime}}{2}, \text{ ha } X_1^{I\,\prime} = X_1^{II\,\prime}$$

A zérus sorrendü kapacitiv reaktancia az 1.4.3 ponthoz hasonlóan:

$$X_0' = \frac{X_0'^{\,I} + X_{0k}'^{\,I-II}}{2} \quad \text{ahol } X_{0k}'^{\,I-II} = 3\cdot 0{,}132\cdot \lg \frac{GMD/\text{Ifázis-IItükör}/}{GMD/\text{Ifázis-IIfázis}/} \text{ /MΩkm/}$$

$$GMD/\text{Ifázis-IItükör}/ = \sqrt[9]{D_{aA'}\cdot D_{aB'}\cdot D_{aC'}\cdot D_{bA'}\cdot D_{bB'}\cdot D_{bC'}\cdot D_{cA'}\cdot D_{cB'}\cdot D_{cC'}} \text{ (m)}$$

$$GMD/\text{Ifázis-IIfázis}/ = \sqrt[9]{D_{aa'}\cdot D_{ab'}\cdot D_{ac'}\cdot D_{ba'}\cdot D_{bb'}\cdot D_{bc'}\cdot D_{ca'}\cdot D_{cb'}\cdot D_{cc'}} \text{ (m)}$$

2.3 A védővezető hatása

A + és - sorrendü reaktanciákra gyakorolt hatás elhanyagolható, zérus sorrendben:

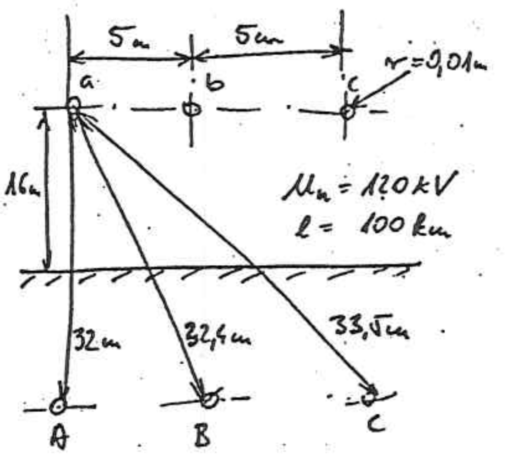
$$X_0'^{\,*} = X_0' - 3\cdot \frac{\left(X'/\text{védő-fázis kölcs.}/\right)^2}{X_{vv}'}$$

a képletekben

$$X_{vv}' = 0{,}132\cdot \lg \frac{GMD/\text{védő-védő tükör}/}{GMR_{\text{védő}}} \text{ /MΩkm/}$$

$$X'/\text{védő-fázis kölcs.}/ = 0{,}132\cdot \lg \frac{GMD/\text{fázis-védő tükör}/}{GMD/\text{fázis-védő}/} \text{ /MΩkm/}$$

2.4 Példa a kapacitás-számitásra



Mekkora az ábrán látható vezetékelrendezés hosszegységre vonatkozó kapacitiv töltőárama és töltőteljesitménye/pozitiv sorrendü/, és mekkora a zérus sorrendü kapacitás?

A hosszegységre vonatkozó töltőáram:

$$I_c' = \frac{U_n}{\sqrt{3}\cdot X_1'} \quad \text{ahol } X_1' = 0{,}132\cdot \lg\frac{\sqrt[3]{D_{ab}D_{bc}D_{ac}}}{r}$$

$$X_1' = 0{,}132\cdot\lg\frac{\sqrt[3]{5\cdot5\cdot10}}{0{,}01} = 0{,}369\ \mathrm{M\Omega km}$$

A töltőáram tehát: $I_c' = \dfrac{120\cdot10^3}{\sqrt{3}\cdot0{,}369\cdot10^6} = 0{,}188\ \mathrm{A/km}$

A háromfázisu töltőteljesitmény: $S_c' = \sqrt{3}\cdot120\cdot0{,}188 = 39\ \mathrm{kVAr/km}$

A teljes hosszra vonatkozó értékek: $X_c = 3690\,\Omega$, $I_c = 18{,}8$ A és $S_c = 3{,}9$ MVAr

A zérus sorrendü kapacitás:

$$X_0' = 3\cdot0{,}132\cdot\lg\frac{\mathrm{GMD/fázis\text{-}tükör/}}{\mathrm{GMR}_{cs}}$$

Az ábra alapján: $D_{aA} = D_{bB} = D_{cC} = 32\mathrm{m}$

$D_{aB} = D_{bA} = D_{bC} = D_{cB} = 32{,}4\mathrm{m}$

$D_{aC} = D_{cA} = 33{,}5\mathrm{m}$

és igy

$$\mathrm{GMD/fázis\text{-}tükör/} = \sqrt[9]{32^3\cdot32{,}4^4\cdot33.5^2} = 32{,}5\mathrm{m}$$

A csoportos redukált sugár:

$$\mathrm{GMR}_{cs} = \sqrt[9]{r^3D_{ab}^2D_{bc}^2D_{ac}^2} = \sqrt[9]{0{,}01^3\cdot5^2\cdot5^2\cdot10^2} = 0{,}735\mathrm{m}$$

ezekkel

$$X_0' = 0{,}396\cdot\lg\frac{32{,}5}{0{,}735} = 0{,}65\ \mathrm{M\Omega km}$$

A teljes hosszra vonatkoztatva: $X_{co} = 6500\,\Omega$