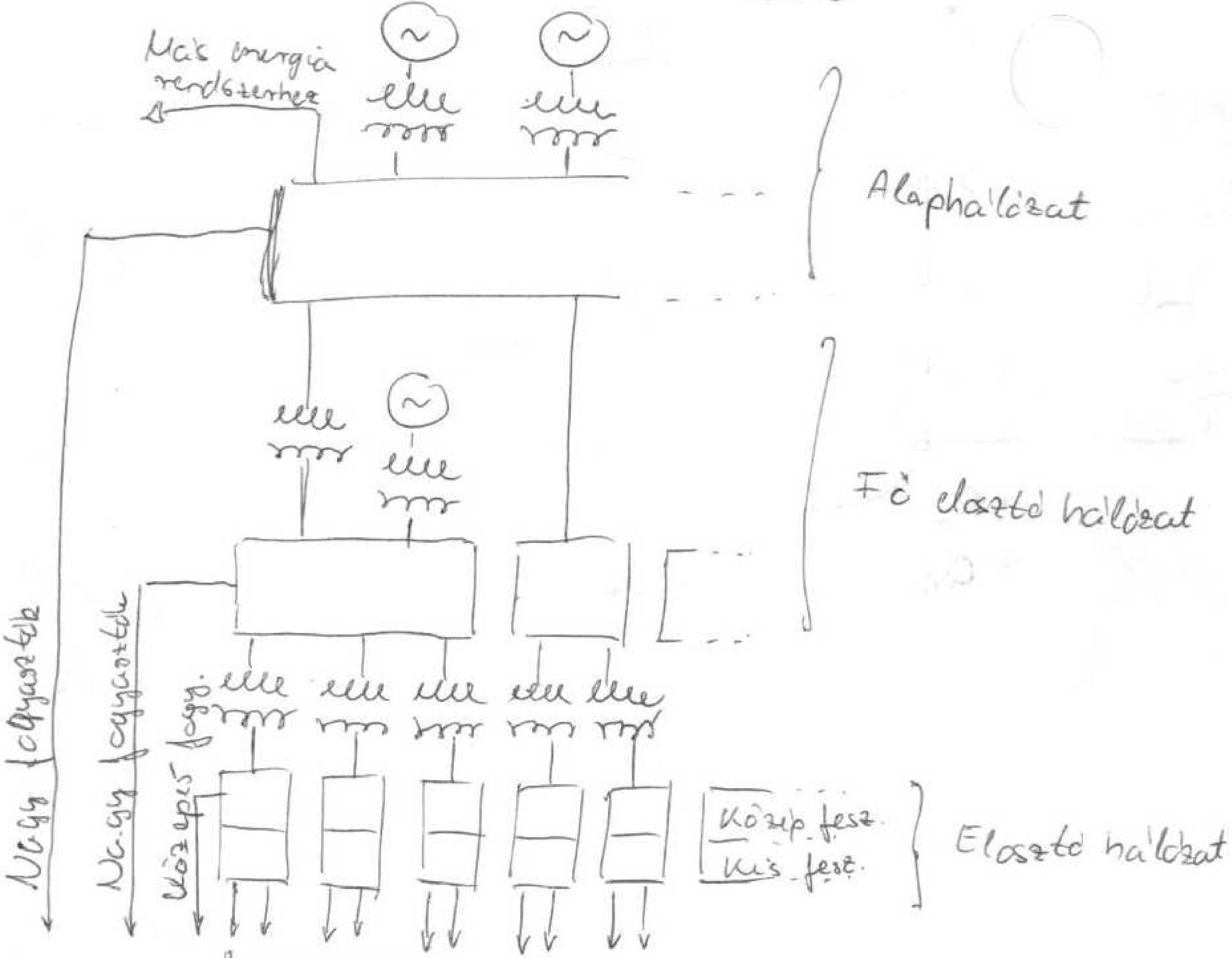
Villamos energetika

1. Ismertesse a villamos energia hálózat
   - feladatok szerinti felosztásait
   - a jellegzetes feszültség szinteket és az azokhoz tartozó átvihető teljesítmények nagyságrendjét.

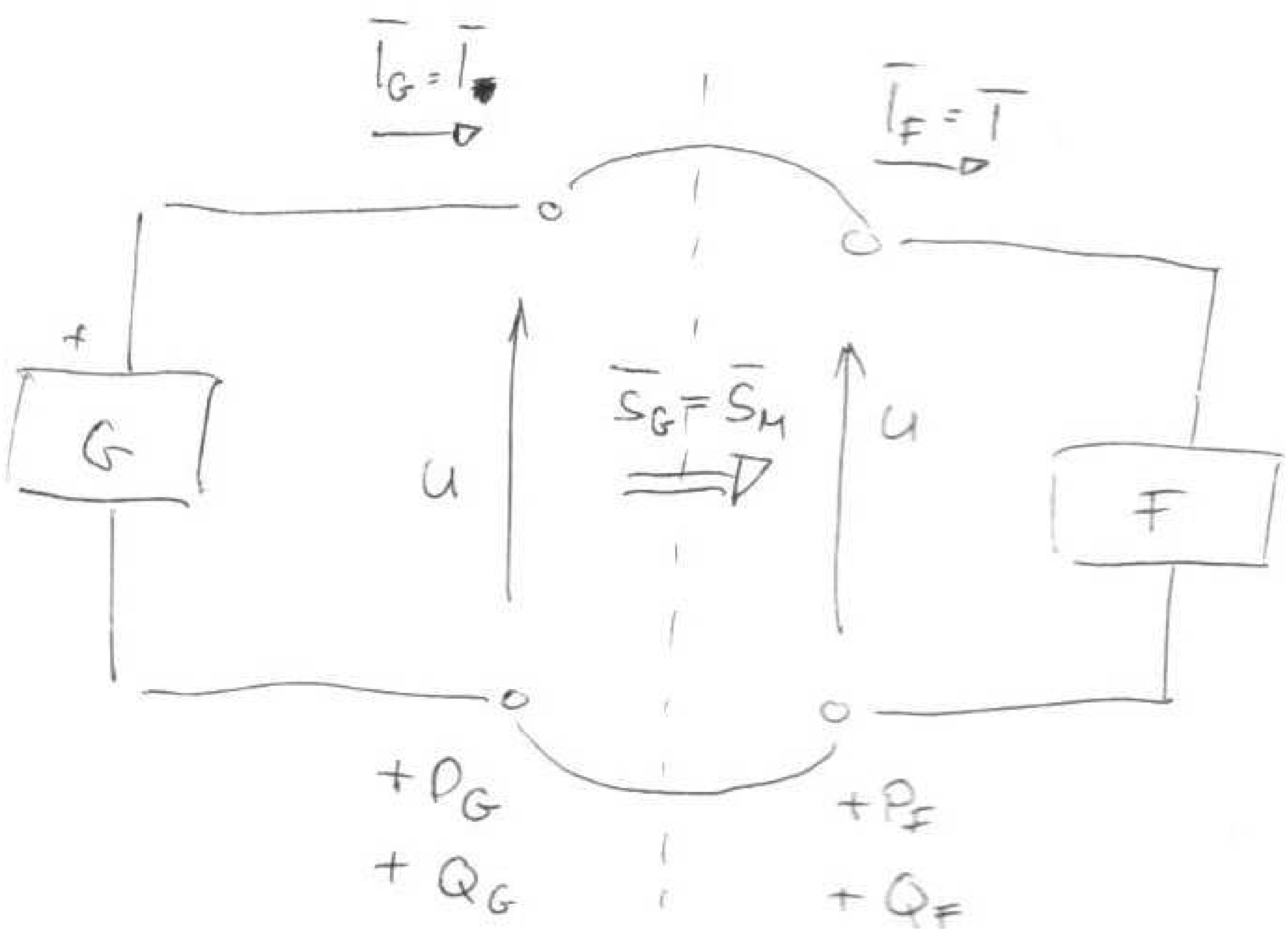
U_n (kV)	I (A)	S (MVA)	l_{max} (km)
400	1000	1000	500
120	500	100	60
20	200	10	10
0,4	100	0,1	0,5

Villamos energia-hálózat szerkezete



2. Értelmezze (táblázatosan) a hatásos és meddő teljesítmény előjelét generátoros és fogyasztói pozitív irányrendszerben.

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



3. Adja meg a 3fázisú szimmetrikus összetevők módszerénék:

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

$\bar{a} = e^{j120°}$

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \qquad [T]^{-1} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix}$$

b) a fázismennyiségek és a szimmetrikus összetevők
+c) közötti kapcsolatot

$$\bar{I}_f = \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} \qquad \bar{I}_s = \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix} \qquad \bar{I}_s = [T]^{-1} \bar{I}_f$$

$$\bar{I}_f = [T] \cdot \bar{I}_s$$

d) a fázis impedancia mtx és a szimmetrikus összetevők impedancia mtx-ok közötti kapcsolatot

$$[Z_{ff}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \qquad [Z_{ss}] = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$$

$$\Delta\bar{U} = [Z]\,\bar{I}$$

$$\Delta\bar{U}_f = [Z_{ff}] \cdot \bar{I}_f$$

$$\Delta\bar{U}_s = [Z_{ss}] \cdot \bar{I}_s$$

$$\Delta\bar{U}_s = [T]^{-1} \cdot \Delta\bar{U}_f$$

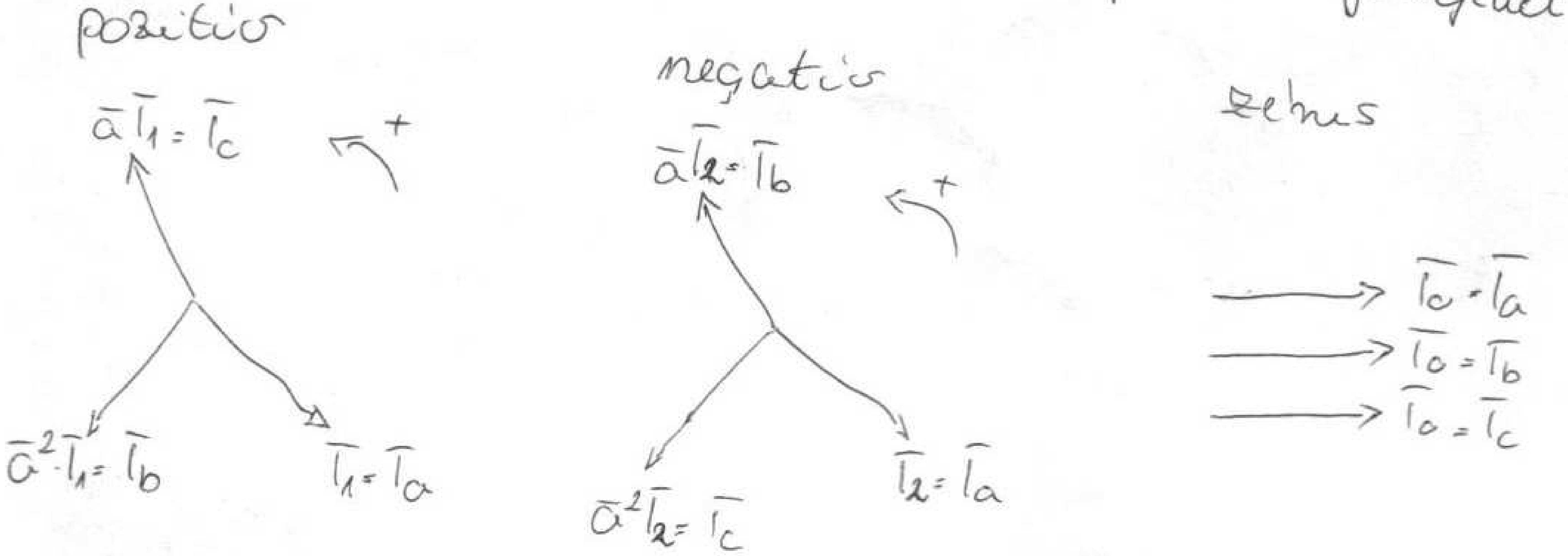
$$\bar{I}_f = [T]\,\bar{I}_s$$

$$\Delta\bar{U}_s = [T]^{-1} \cdot [Z_{ff}] \cdot [T] \cdot \bar{I}_s$$

$$[Z_{ss}] = [T]^{-1} \cdot [Z_{ff}] \cdot [T]$$

4. A szimmetrikus összetevők módszerét alkalmazza!

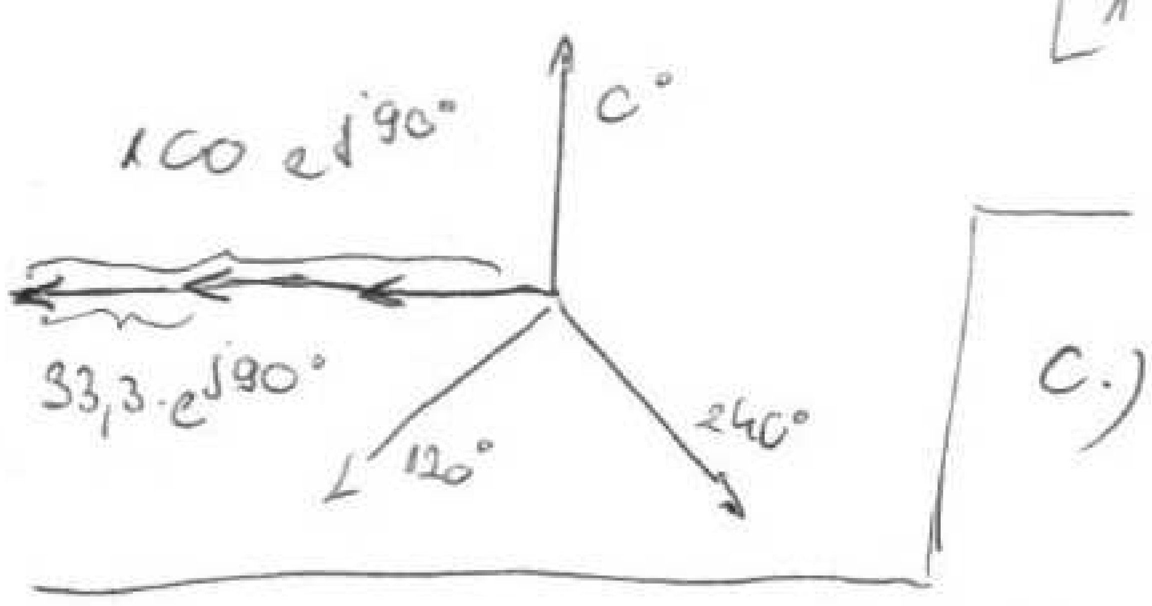
a) Fazorábrán szemléltesse a pozitív, a negatív, és a zérus sorrendű összetevők által képviselt fázismennyiségeket



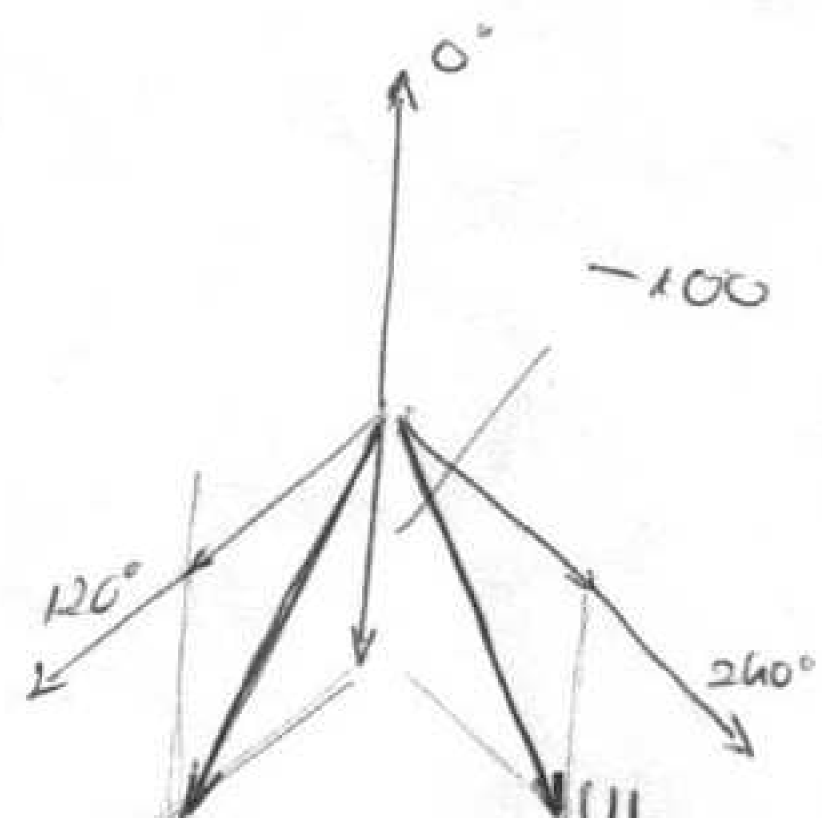
b) $I_a = 100\,A\,e^{j90°}$; $I_b = I_c = 0$ áramrendszer pozitív, negatív és zérus sorrendű összetevőinek fazorait

$$\bar{I}_f = \begin{bmatrix} 100\,e^{j90} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [A]$$

$$\bar{I}_s = [T]^{-1} \cdot [\bar{I}_f] = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 100\,e^{j90°} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 33{,}3\,e^{j90} \\ 33{,}3\,e^{j90} \\ 33{,}3\,e^{j90} \end{bmatrix} [A]$$



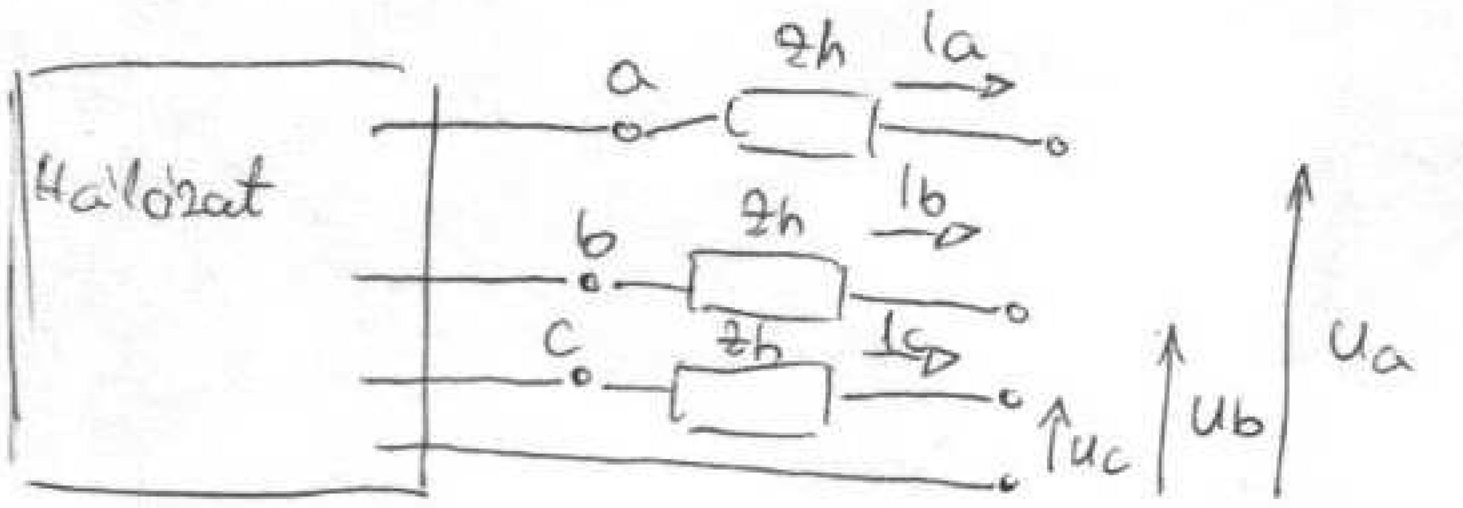
c.) $U_1 = 100\,V$
$U_2 = 0\,V$
$U_0 = -100\,V$



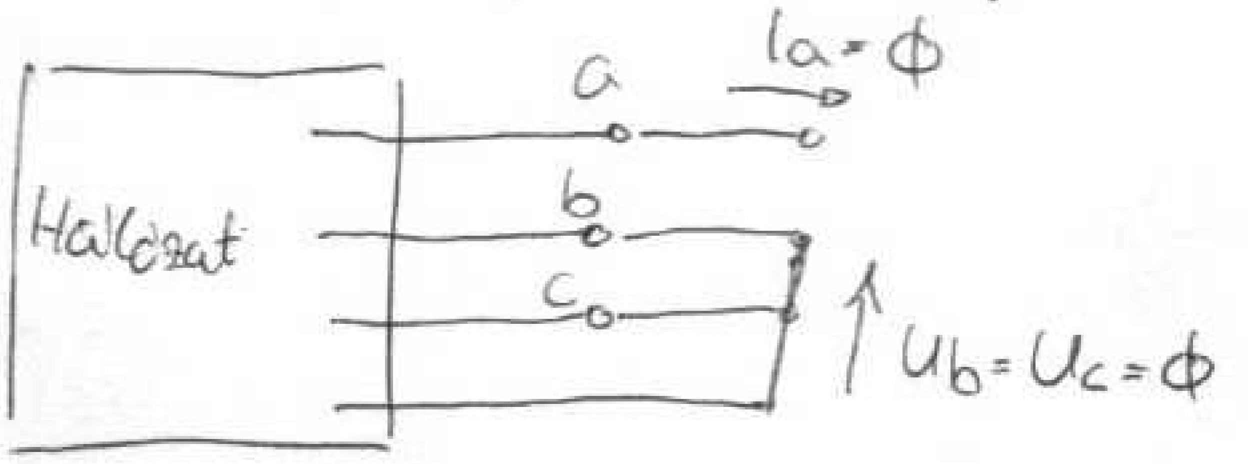
$$\bar{U}_s = \begin{bmatrix} -100 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix} [V]$$

$$\bar{U}_f = [T] \cdot \bar{U}_s = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} -100 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ -100 + 100\,e^{j240} \\ -100 + 100\,e^{j120} \end{bmatrix} [V]$$

5. * Származtassa le a szimmetrikus összetevők módszerének felhasználásával a 2 fázisú földzárlat számítására szolgáló modellt!



1. A hiba helyi fázisegyenletek felírása



$I_a = 0$

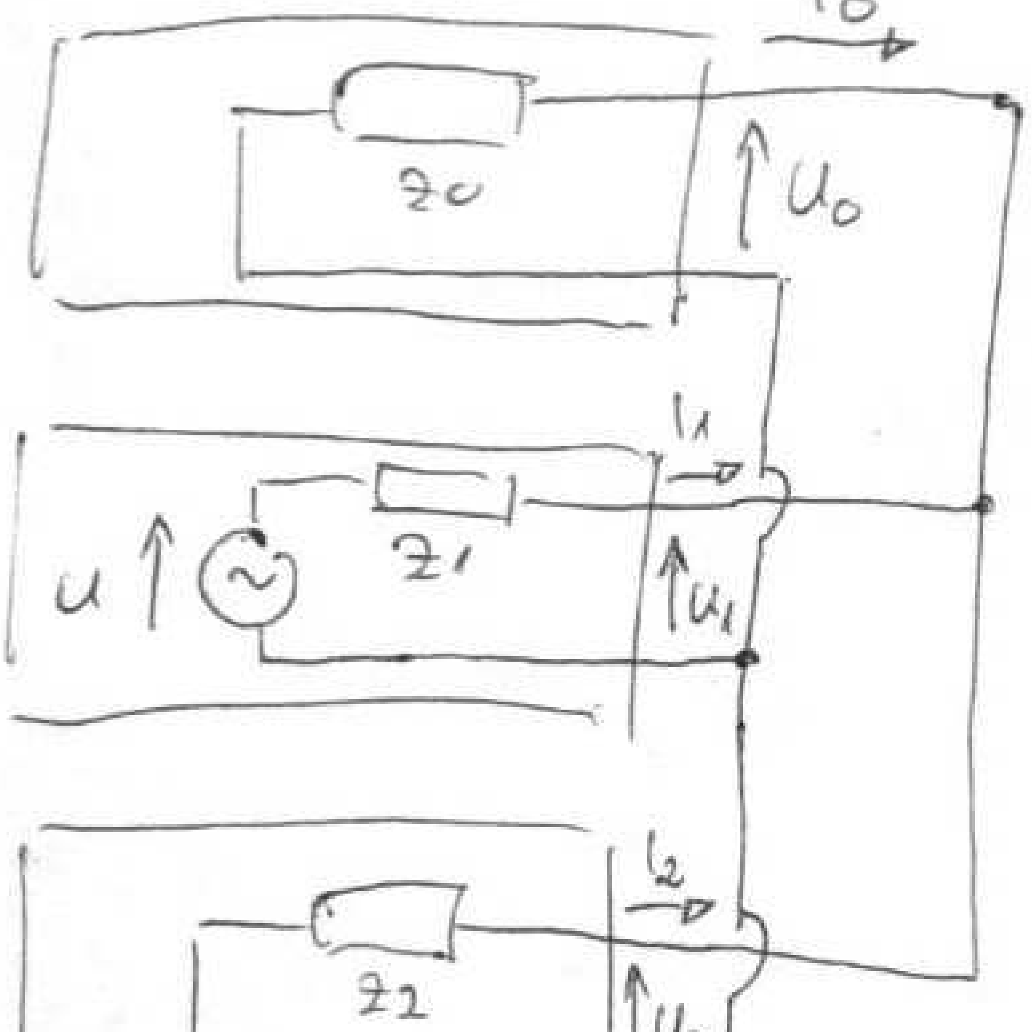
$U_b = 0$

$U_c = 0$

2. Transzformálás szimmetrikus összetevőkre

$$\bar{U}_s = [T]^{-1} \cdot \bar{U}_f = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{U_a}{3} \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

3. Az összetevő hálózatok összekapcsolása



Fontos ér!

$$\boxed{I_0 + I_1 + I_2 = 0}$$

!!

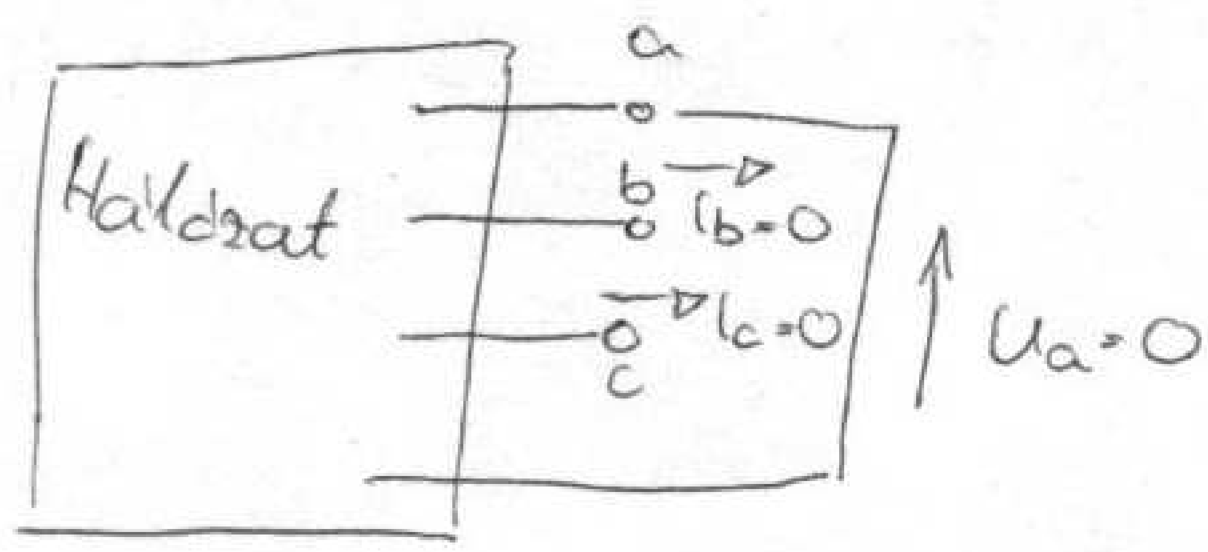
4. Feszültség- és áramelosztás szimmetrikus összetevőkkel

$$I_1 = \frac{U}{Z_1 + \frac{Z_0 Z_2}{Z_0 + Z_2}} \qquad I_0 = -I_1 \cdot \frac{Z_2}{Z_0 + Z_2} \qquad I_2 = -I_1 \cdot \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0}$$

5. Inverz transzformáció fázismennyiségekre

$$\bar{I}_f = [T]\, \bar{I}_s$$

6. ua. mint az előző csak itt 1fázisú!



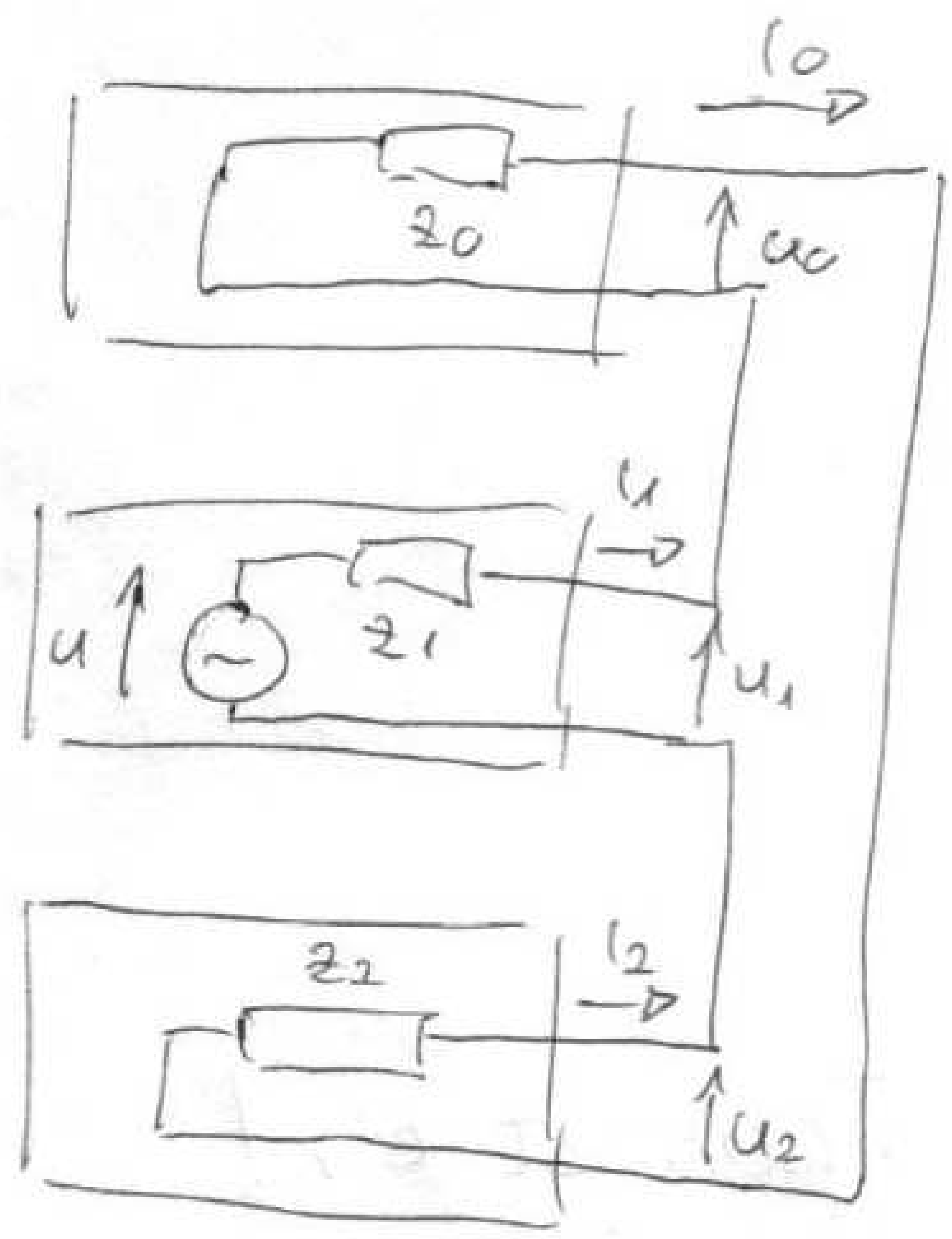
1. A hibahelyi fázisegyenletek felírása

$U_a = 0 \qquad I_b = 0 \qquad I_c = 0$

2. Transzformálás szimmetrikus összetevőkre

$$\bar I_s = [T]^{-1} \cdot \bar I_f = \frac{1}{3}\begin{bmatrix}1 & 1 & 1\\ 1 & \bar a & \bar a^2\\ 1 & \bar a^2 & \bar a\end{bmatrix}\begin{bmatrix}I_a\\ 0\\ 0\end{bmatrix} = \frac{I_a}{3}\begin{bmatrix}1\\ 1\\ 1\end{bmatrix}$$

3. Az összetevő hálózatok összekapcsolása



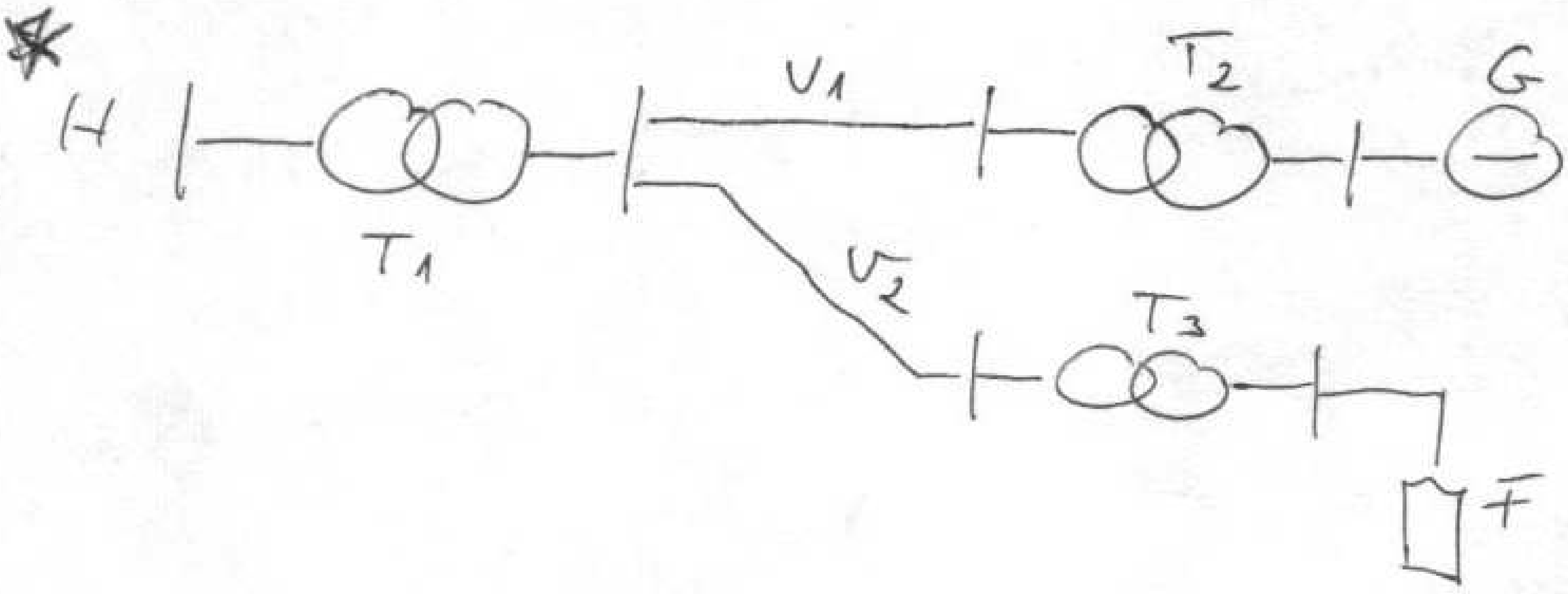
4. Feszültség- és áramelosztás szimmetrikus összetevőkkel

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

5. ~~Inverz~~ transzformáció fázismennyiségekre

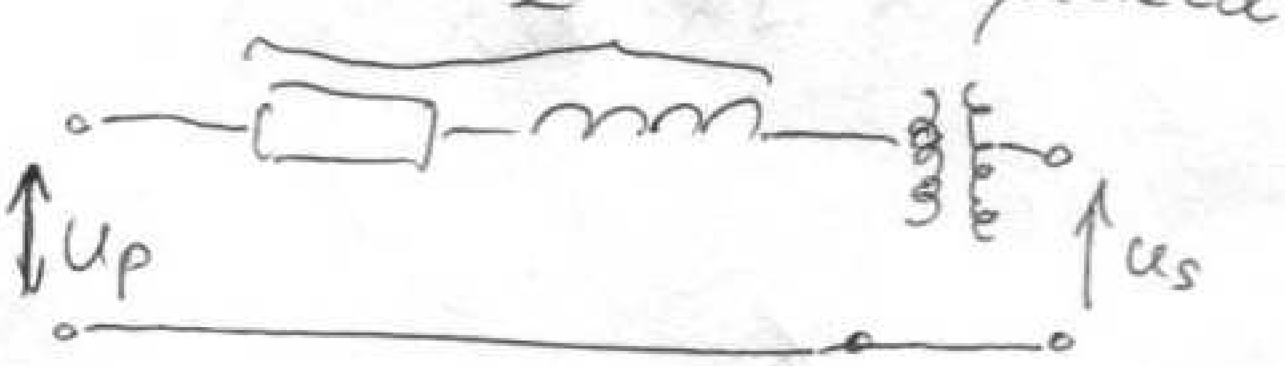
$[I_f] = [T] \cdot \bar I_s$

7. Adja meg a pozitív sorrendű hálózatot!

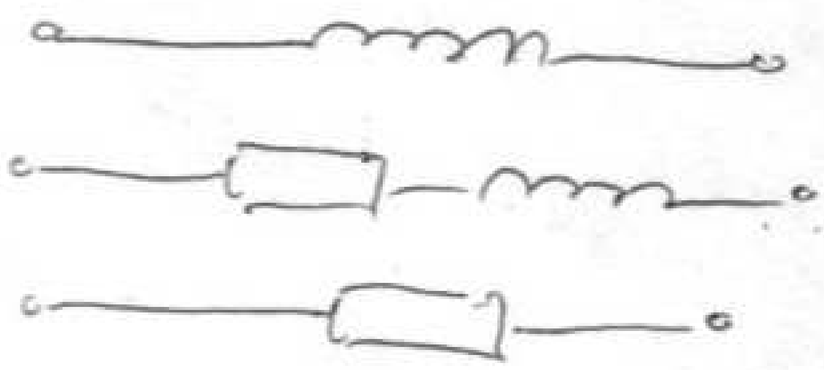


„Egy kis elmélet"

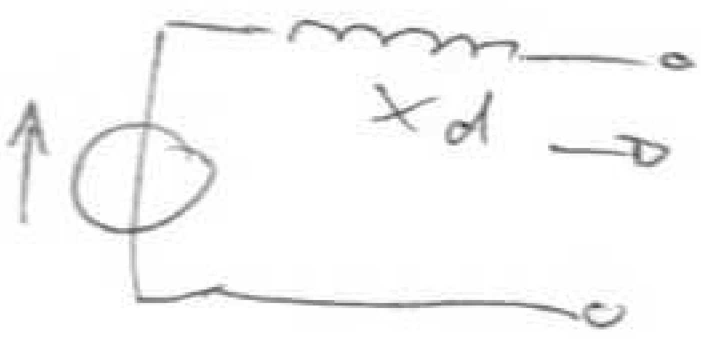
T_1; T_2; T_3 => Transzformátor



V_1; V_2 => Távvezeték → nagy (400kV), közép (120kV), kicsi (0,4kV)

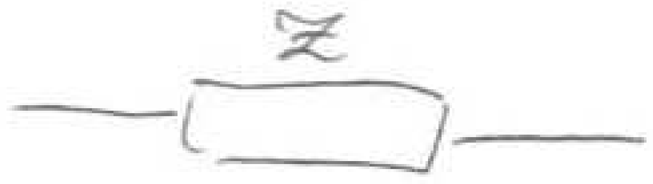


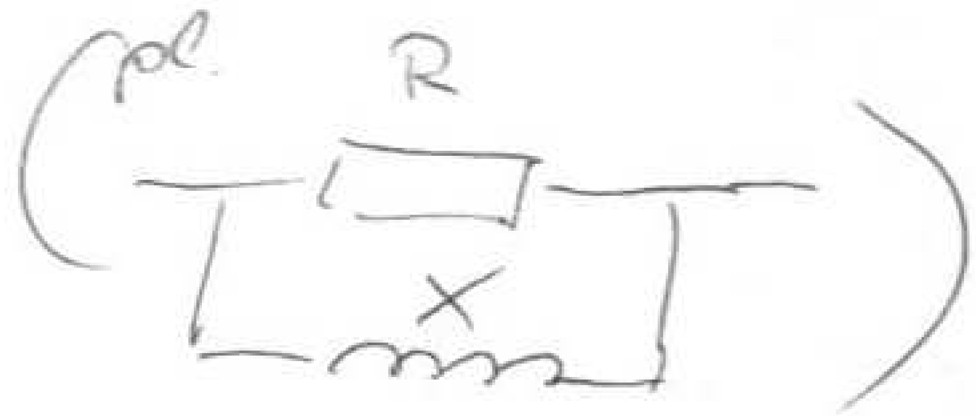
G => Generátor



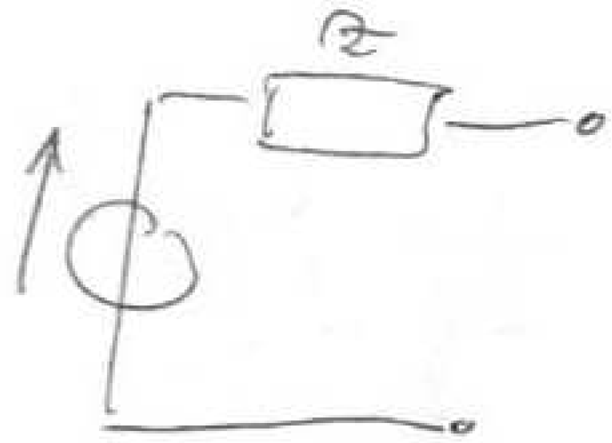
Xd → szinkron! reaktancia

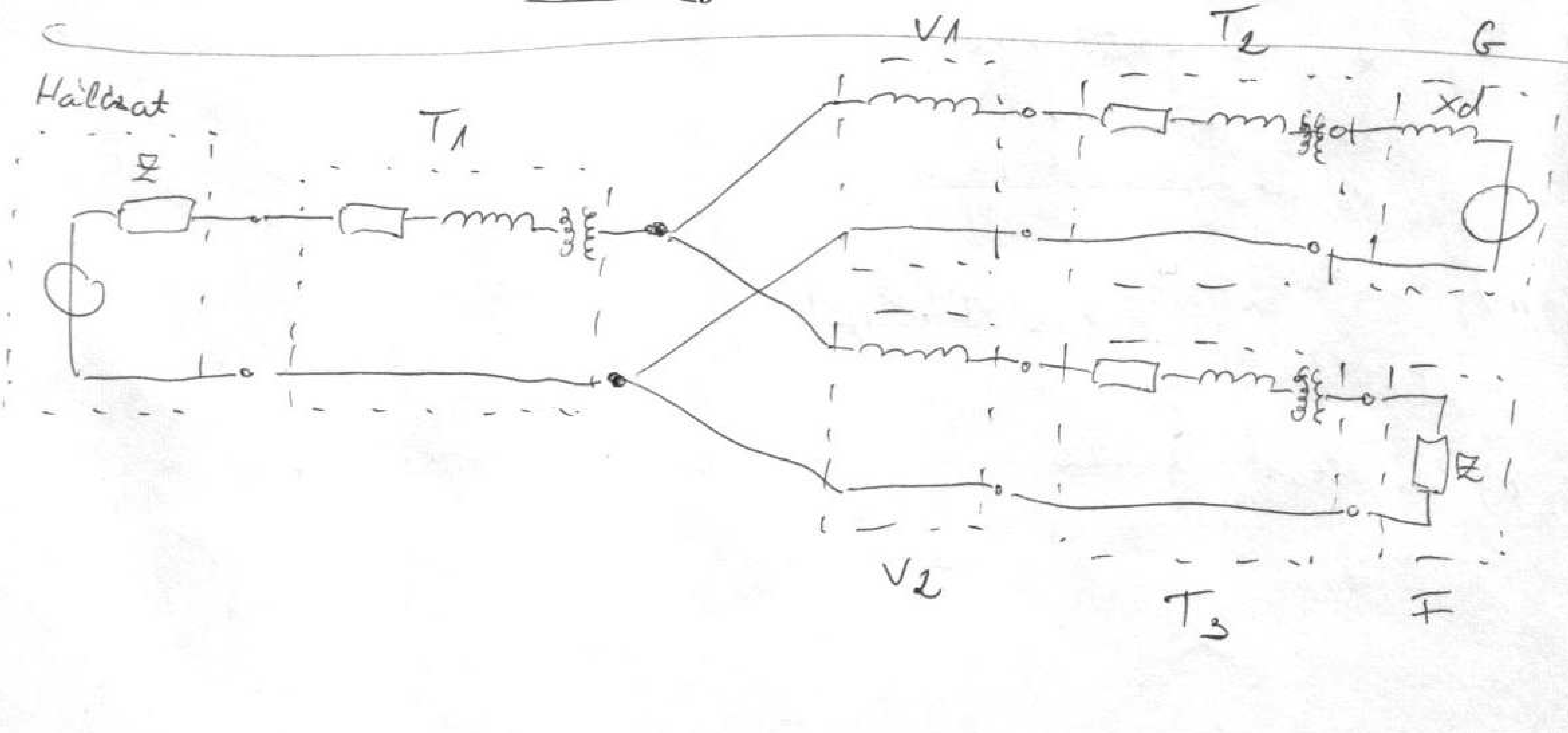
F => Fogyasztó





H => Hálózat





8. Egy (sík elrendezésű) távvezeték vezetékrendszerének reaktanciái a köv. jellegűek:

- ön reak.: $X_{aa}=X_{bb}=X_{cc}=X_0$
- kölcs. reak.: $X_{ab}=X_{bc}=X$

  $X_{ac}=X+\Delta X$

$$[X_{ff}]=\begin{bmatrix} X_0 & X & X+\Delta X \\ X & X_0 & X \\ X+\Delta X & X & X_0 \end{bmatrix}$$

$$T=\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & a^2 \end{bmatrix}$$

$$[X_{ss}]=\begin{bmatrix} \boxed{X_{00}} & X_{01} & X_{02} \\ X_{10} & \boxed{X_{11}} & X_{12} \\ X_{20} & X_{21} & \boxed{X_{22}} \end{bmatrix}$$

zérus, poz., negatív

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

$$[Z_{ss}]=[T]^{-1}\cdot Z_{ff}\cdot[T]$$

a.)

$$X_{ff}T=\begin{bmatrix} X_0 & X & X+\Delta X \\ X & X_0 & X \\ X+\Delta X & X & X_0 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} X_{a0} & X_{a1} & X_{a2} \\ X_{b0} & X_{b1} & X_{b2} \\ X_{c0} & X_{c1} & X_{c2} \end{bmatrix}$$

$$X_{a1}=X_0+X\bar{a}^2+(X+\Delta X)\bar{a}$$

$$X_{b1}=X+X_0\bar{a}^2+X\bar{a}$$

$$X_{c1}=X+\Delta X+X\bar{a}^2+X_0 a$$

b.) $X_{11}=?$ $\qquad X_{ss}=T^{-1}\cdot X_{ff}\cdot T$

$X_{22}=?$

c.) Indokolt különbözőség ha az impedanciák azonosak.

9. Adja meg annak a 3 fázisú távvezetéknek a zérus, pozitív és negatív sorrendű impedanciáját, amelynek:

- $Z_{\bar{o}} = 0{,}15 + j0{,}6$ ohm/km
- $Z_k = 0{,}05 + j0{,}3$ ohm/km

Zérus:

$$Z_0 = Z_{\bar{o}} + 2 \cdot Z_k = (0{,}25 + j1{,}2)\ \Omega/km$$

pozitív, negatív:

$$Z_1 = Z_2 = Z_{\bar{o}} - Z_k = (0{,}1 + j0{,}3)\ \Omega/km$$

$\boxed{10.}$ Fázis imp. mtx Sorrendi imp. mtx (jellege)

(1.) $\begin{bmatrix} Z_{\bar{o}} & Z_k & Z_k \\ Z_k & Z_{\bar{o}} & Z_k \\ Z_k & Z_k & Z_{\bar{o}} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} Z_{\bar{o}}+2Z_k & & \\ & Z_{\bar{o}}-Z_k & \\ & & Z_{\bar{o}}-Z_k \end{bmatrix}$

(2.) $\begin{bmatrix} Z_{\bar{o}} & Z_m & Z_n \\ Z_n & Z_{\bar{o}} & Z_m \\ Z_m & Z_n & Z_{\bar{o}} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} Z_{\bar{o}}+Z_n+Z_m & & \\ & Z_{\bar{o}}+\bar{a}^2 Z_m+\bar{a} Z_n & \\ & & Z_{\bar{o}}+\bar{a} Z_m+\bar{a}^2 Z_n \end{bmatrix}$

(3.) $\begin{bmatrix} Z_{\bar{o}} & Z_m & Z_n \\ Z_m & Z_{\bar{o}} & Z_p \\ Z_n & Z_p & Z_{\bar{o}} \end{bmatrix}$ $\begin{bmatrix} Z_{\bar{o}}+\frac{2}{3}(Z_m+Z_n+Z_p) & & \\ & Z_{\bar{o}}+\frac{1}{3}(Z_m+Z_n+Z_p)(\bar{a}+\bar{a}^2) & \\ & & Z_{\bar{o}}+\frac{1}{3}(Z_m+Z_n+Z_p)(\bar{a}+\bar{a}^2) \end{bmatrix}$

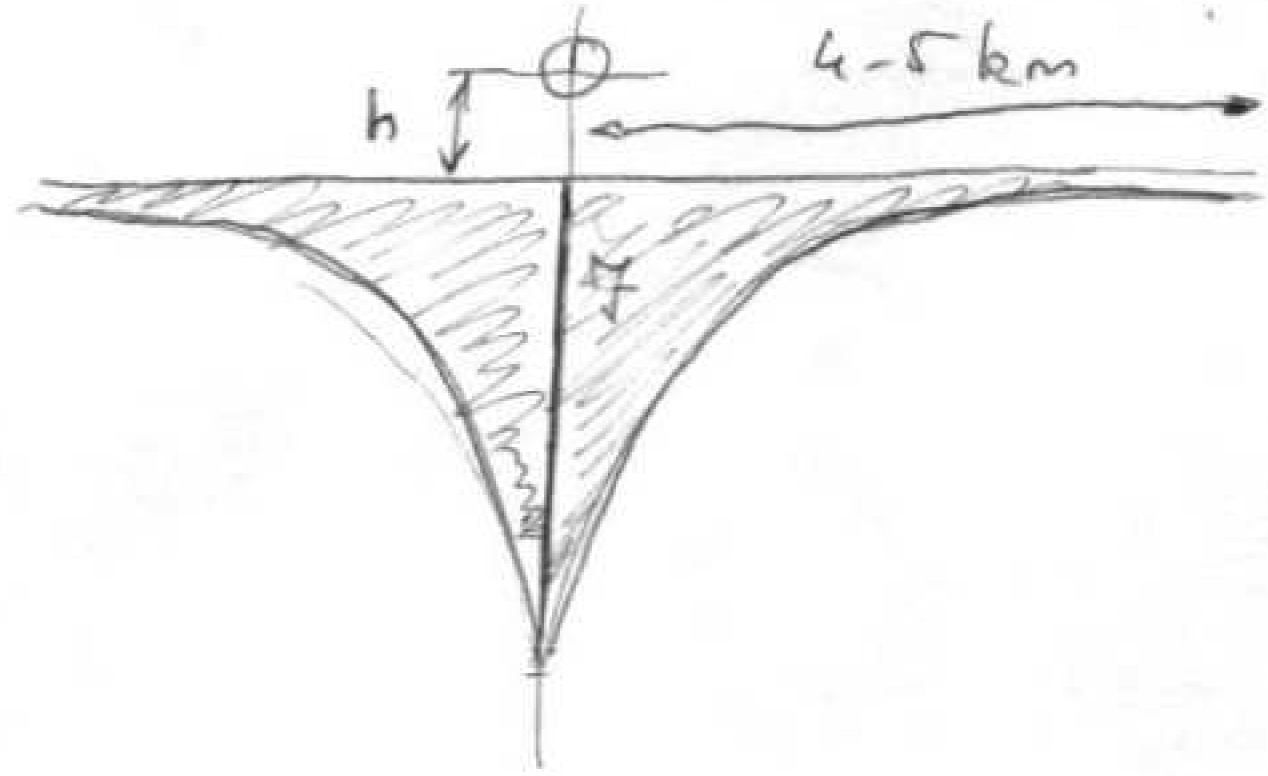
a) szimetrikus: (3)

ciklikus: (2)

Szimmetrikus és ciklikus: (1)

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

a) a földben az áramelosztás minőségi képét



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

Carson vizsgálatai 2 elrendezésre vonatkoznak!

1. Egy vezetőből és a földből alkotott hurok hosszegységenkénti önimpedanciája.

$$Z_ö = R_v + 0{,}00099f + j\,0{,}0029 f \lg \frac{D_e}{r_v^*} \quad [\Omega/km]$$

R_v: a vezető ellenállása [Ω/km]
f: frekvencia
r_v^*: a vezető redukált sugara [cm]
D_e: a fázisvezető és a földvisszavezetést helyettesítő fiktív vezető távolsága [cm]

~~$D_e = 6{,}59 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}} \cdot 10^4$ [cm]~~ $D_f = 659\sqrt{\frac{\rho}{f}}$

ρ: a föld fajlagos ellenállása

2. Két vezető-föld hurok kölcsönös impedanciája

$$Z_k = 0{,}00099 f + j\,0{,}0029 f \lg \frac{D_e}{D_{ab}} \quad [\Omega/km]$$

D_{ab}: a 2 párhuzamos vezető egymástól mért távolsága

folyt. köv. oldalon

c.) $R_ö = 0,1\ \Omega/km$; $r_ö^* = 6,59\ mm$

$f = 50\ Hz$; $\rho = 50\ \Omega/m$;

$\cancel{D_e = 6,59 \cdot \sqrt{\frac{50}{50}}} \cdot 10^4 = 65900\ cm$

$Z_ö = 0,1 + 0,00099 \cdot 50 + j\ 0,0029 \cdot 50\ \lg \frac{65900}{6,59 \cdot 10^{-3}} =$

$= 0,1495 + j\ 1,015\ [\Omega/km]$

(12.) Határozza meg a földvisszavezetéses Carson-elem helyettesítése alapján:

a) R_f, D_f értékeit ($R_f = 0,00099 f$; $D_f = 659 \sqrt{\frac{\rho}{f}}$), ha $\rho = 50 \ldots 5000\ \Omega/m$ és $f = 50 \ldots 5000\ Hz$

1. $\rho = 50\ \Omega/m$
$f = 50\ Hz$
$R_f = 0,0495\ \Omega/km$
$\cancel{D_f = 6,59 \sqrt{\frac{\rho}{f}}}\ 10^4 = 6,59 \cdot 10^4\ cm$

2. $\rho = 5000\ \Omega/m$
$f = 50\ Hz$
$R_f = 0,0495\ \Omega/km$
$D_f = 6,59 \cdot 10^5\ cm$

3. $\rho = 50\ \Omega/m$
$f = 5000\ Hz$
$R_f = 4,95\ \Omega/km$
$D_f = 0,659 \cdot 10^4\ cm$

4. $\rho = 5000\ \Omega/m$
$f = 5000\ Hz$
$R_f = 4,95\ \Omega/km$
$D_f = 6,59 \cdot 10^4\ cm$

b.) vezetők közötti legnagyobb távolságot, amelyre a helyettesítés legfeljebb 5% hibával alkalmazható

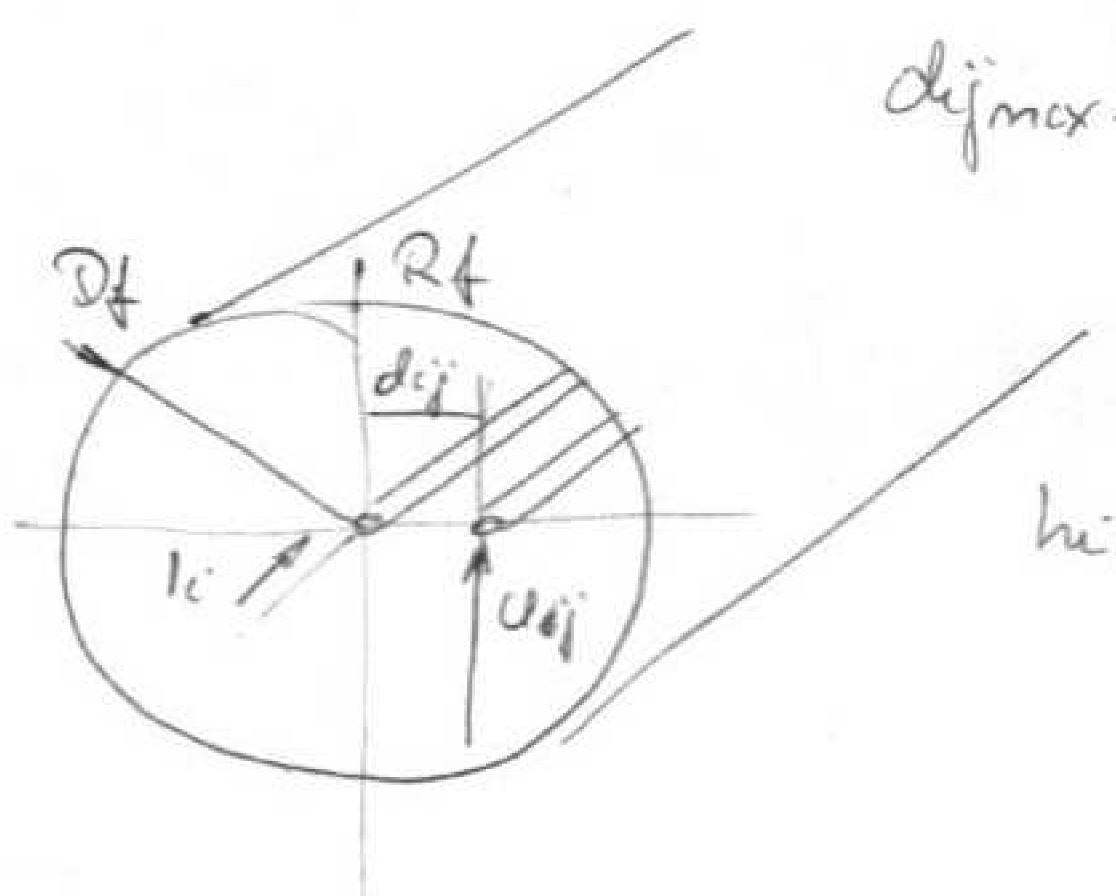
$a_{ij} = 0,135\ D_f \Rightarrow 2,5\%$

a) Vázlatrajzon szemléltesse a Carson-Clem és a komplex tükrözés módszereiben alkalmazott paramétereket és adatokat

$$\alpha = \sqrt{\mu_0 \frac{\omega}{\rho}} \; ; \; \mu_0 = 4\pi 10^{-7} \; ; \; R_f = 0{,}00099 f \; ; \; D_f = \frac{1{,}852}{\alpha}$$

$$\bar{p} = \frac{1}{\alpha} e^{-j45°}$$

Carson-Clem módszer:

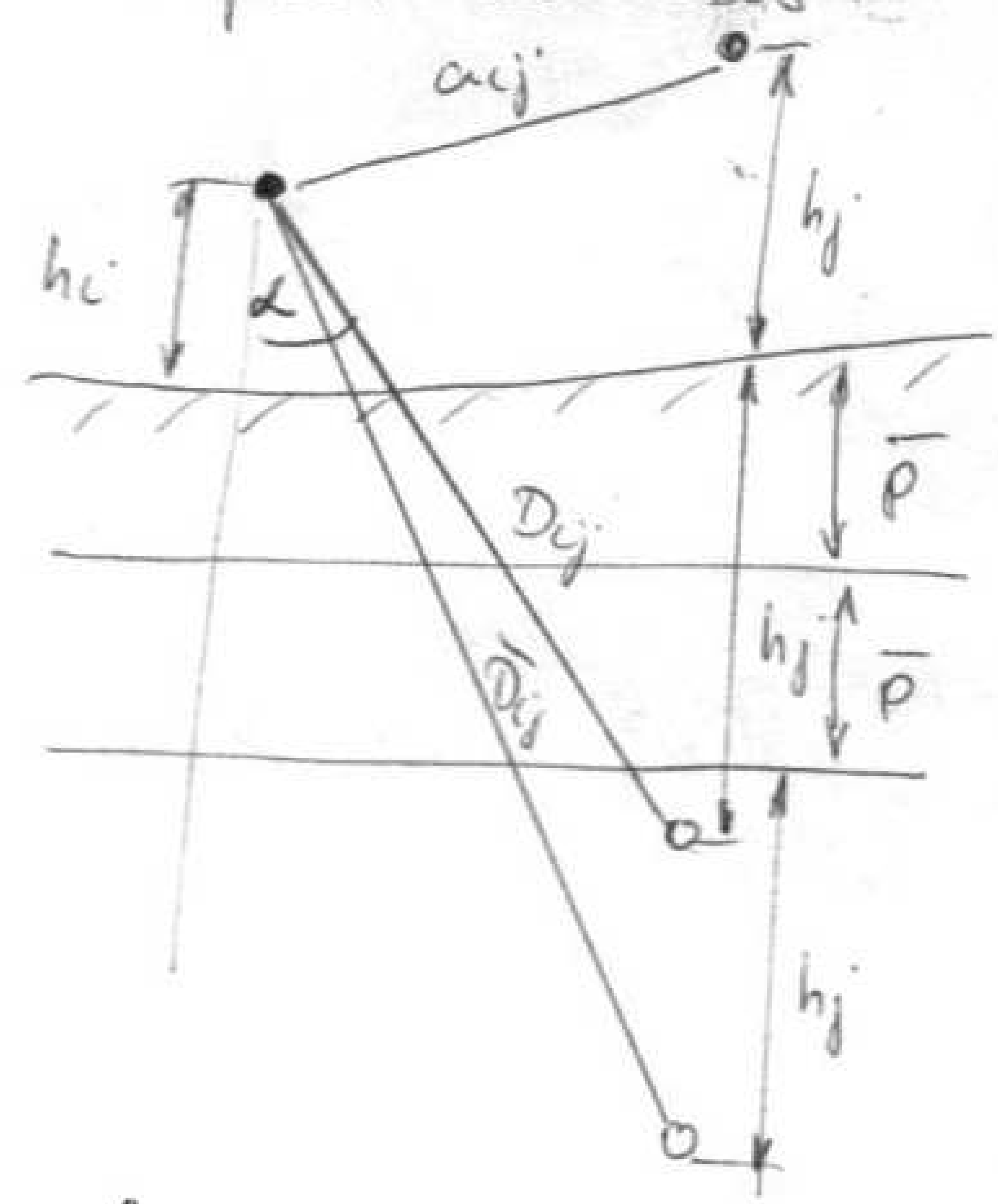


$d_{ij\,max} = 0{,}135\, D_f$

$\Downarrow$

hiba < 2,5%

Komplex tükrözés:



b) Földvisszavezetéses kölcsönös impedancia: $\rho = 100\,\Omega m$

$h_i = 15m$; $h_j = 5m$; $a_{ij} = 50m$ $\quad f = 50\,Hz$!

Carson-Clem: $\underline{Z}_k = R_f + j\, 0{,}0029 f \lg \frac{D_f}{a_{ij}} =$

$\left(\cancel{D_f = 6{,}59 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}} \cdot 10^4}\right)$

$$= 0{,}00099 \cdot 50 + j\, 0{,}0029 \cdot 50 \cdot \lg \frac{6{,}59 \cdot 10^4 \sqrt{\frac{100}{50}}}{50} =$$

$$= (0{,}0495 + j\, 0{,}474)\ \Omega / km$$

Komplex tükrözés:

$$Z_{ij} = \frac{j\omega\mu_0}{2\pi} \ln \left(\frac{\sqrt{(2\bar{p} + h_i + h_j)^2 + (a_{ij})^2}}{\sqrt{(h_i - h_j)^2 + (a_{ij})^2}} \right)$$

c)

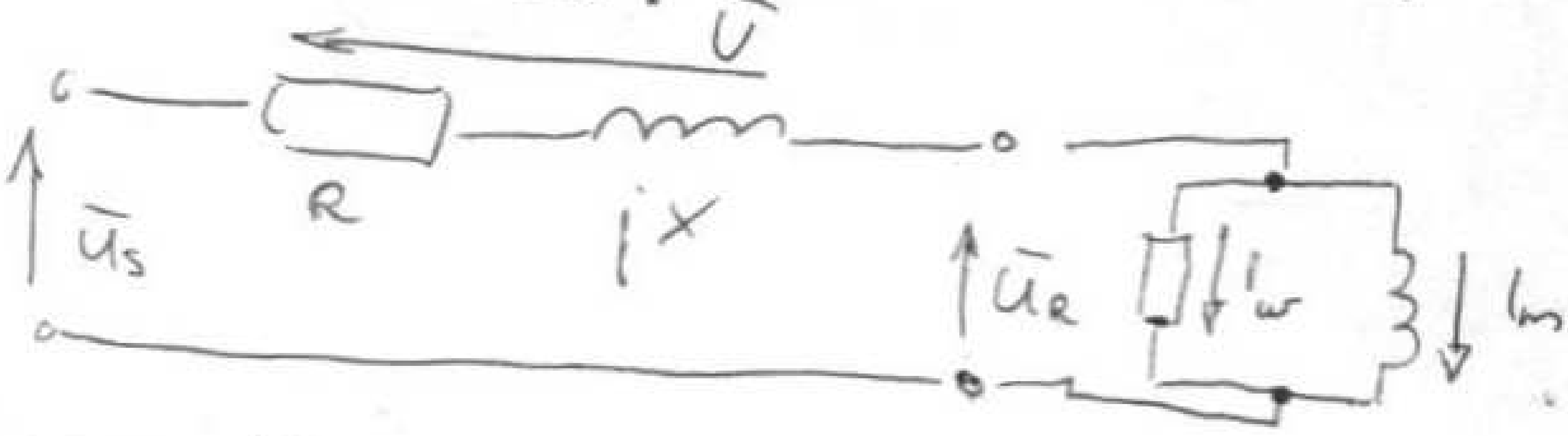
$d_{ij} = \sqrt{a^2 + (h_i - h_i)^2} = \sqrt{50^2 + 10^2} = 51 m$

$D_{ij} = \sqrt{a^2 + (h_i + h_j + 2\bar{p})^2} = \sqrt{50^2 + (20 + 2p)^2}$

$\bar{p} = \frac{D_f}{1{,}852} \cdot e^{-j45} = \frac{1}{\alpha} e^{-j45} =$

$= \sqrt{\frac{\rho}{\mu_0 \cdot 2\pi f}} = 503{,}3 \cdot e^{-j45}$

14. Jellemezze a fazorábra alapján egy $I = I_w + jI_m$ árammal terhelt $Z = R + jX$ soros impedanciával jellemzett távvezeték esetére a komplex feszültségesést, valamint hossz- és kereszt irányú összetevőit! Milyen kapcsolat van az átvitt hatásos és meddő teljesítmény, valamint a feszültségesés komponensek között.

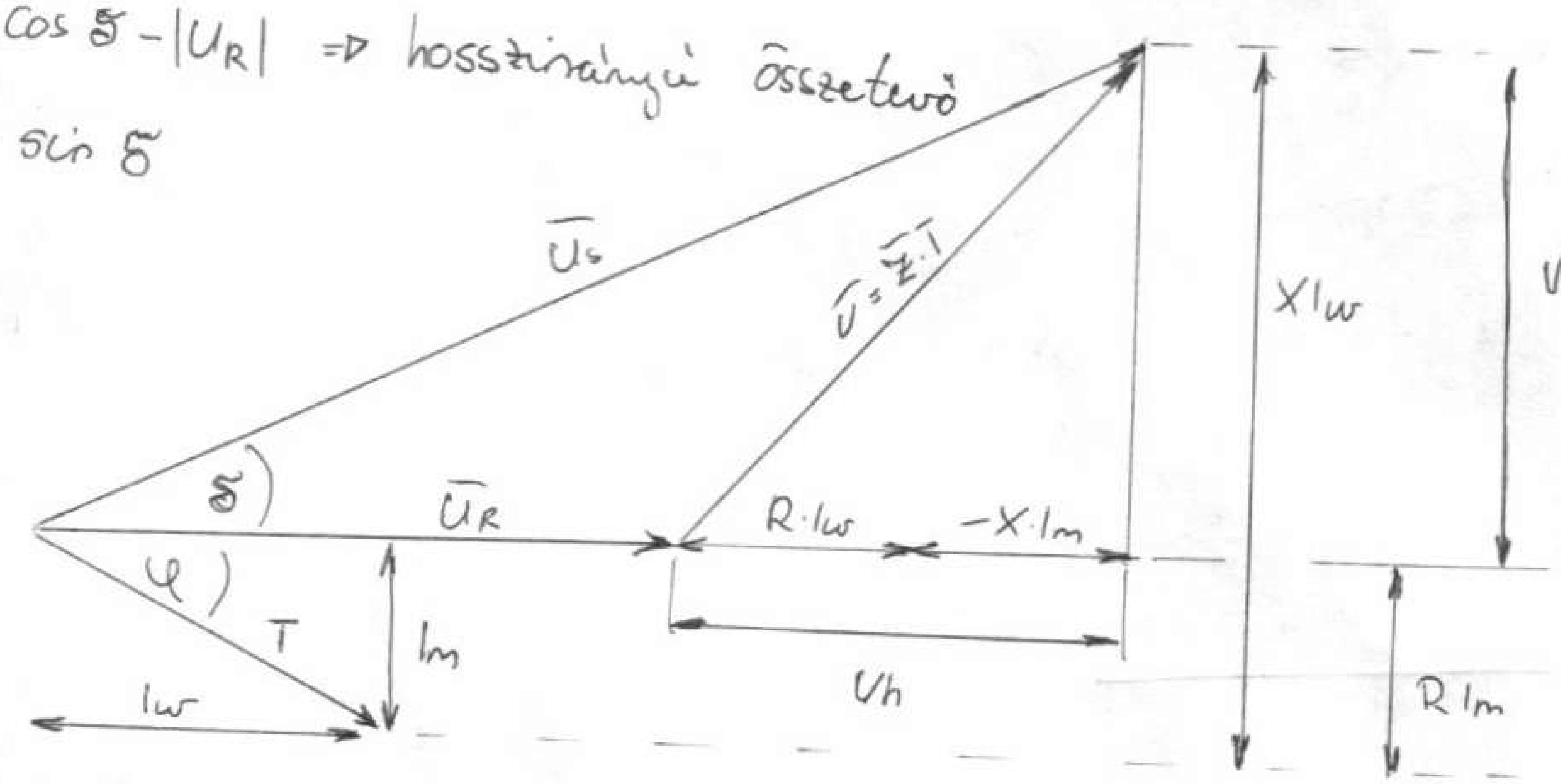


feszültség-esés → $\bar{I} = I e^{j\varphi}$ - terhelő áram

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

$V_h = |U_S| \cdot \cos\delta - |U_R|$ ⇒ hosszirányú összetevő

$V_K = |U_S| \cdot \sin\delta$

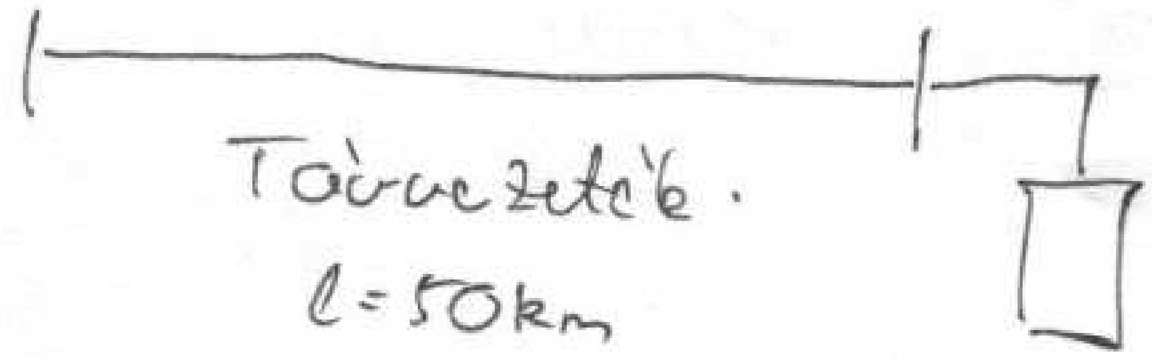


$$\bar{V} = (RI_w - XI_m) + j(RI_m + XI_w) = \frac{1}{\sqrt{3}U}\left[(RP + XQ) + j(-RQ + XP)\right]$$

$I_w = \frac{P}{\sqrt{3}U}$ $\quad I_m = -\frac{Q}{\sqrt{3}U}$

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

15. Számítsa ki az alábbi végtelen hálózat fogyasztó átviteli hálózat esetén a távvezeték feszültségesését kV-ban és viszonylagos egységben.



Hálózat

$U_n^H = 22\,kV$

$S_{rz} = \infty$

Távvezeték:

$l = 50\,km$

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

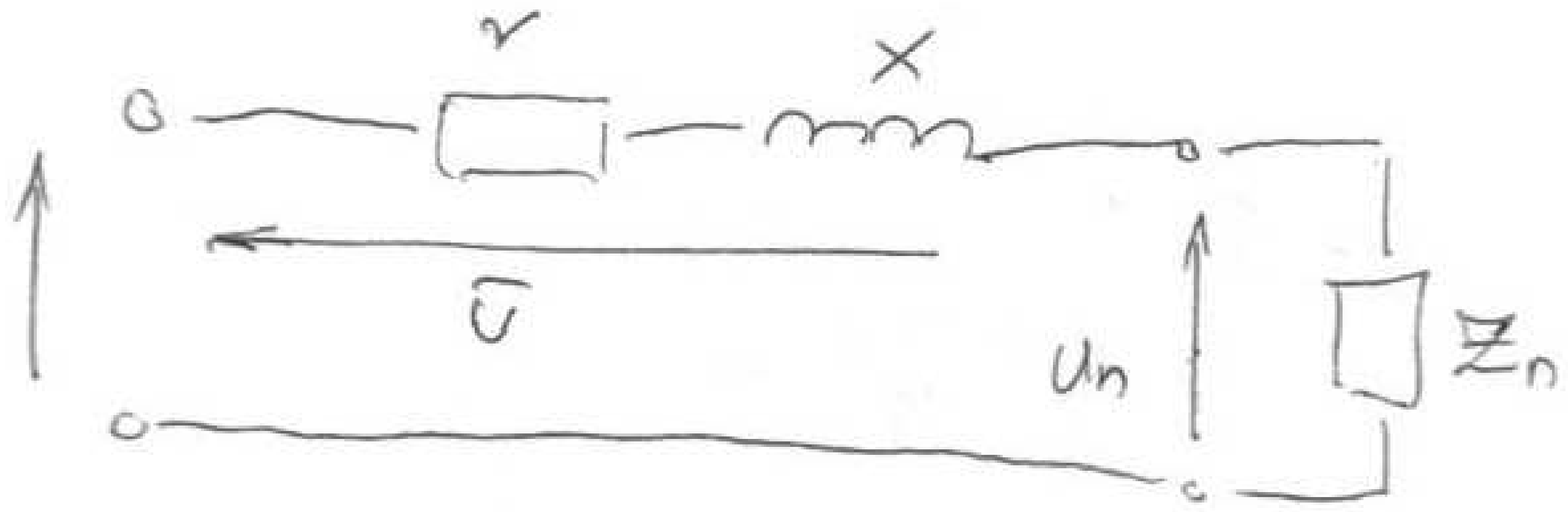
$x = 0{,}3\,\Omega/km$

Fogyasztó:

$U_n = 22\,kV$

$S_n = 6\,MVA$

$\cos\varphi = 0{,}8$ ind.



$r = l \cdot 0{,}32 = 50 \cdot 0{,}32 = 16\,\Omega$

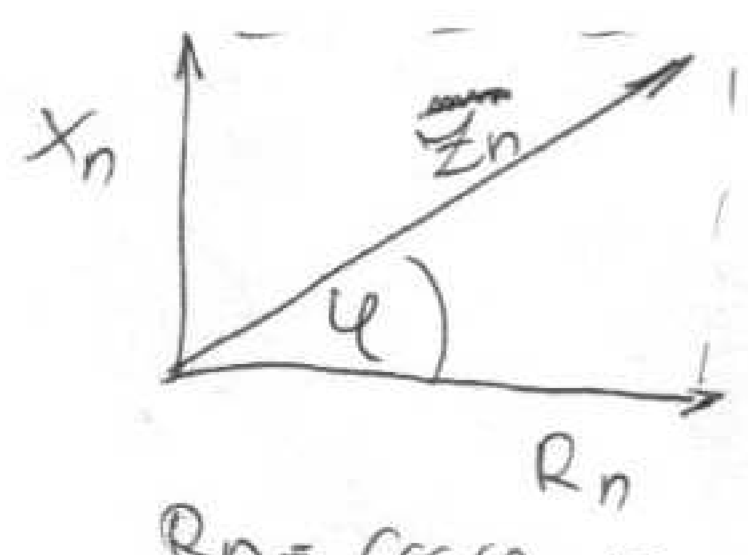
$x = l \cdot 0{,}3 = 50 \cdot 0{,}3 = 15\,\Omega$

$$Z_n = \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{(22 \cdot 10^3)^2}{6 \cdot 10^6} = 80{,}66\,\Omega$$

$\cos\varphi = 0{,}8$

$\rightarrow \varphi = 36{,}87°$

$\bar{Z}_n = (80{,}67 \cdot e^{j\,36{,}87°})\,\Omega$



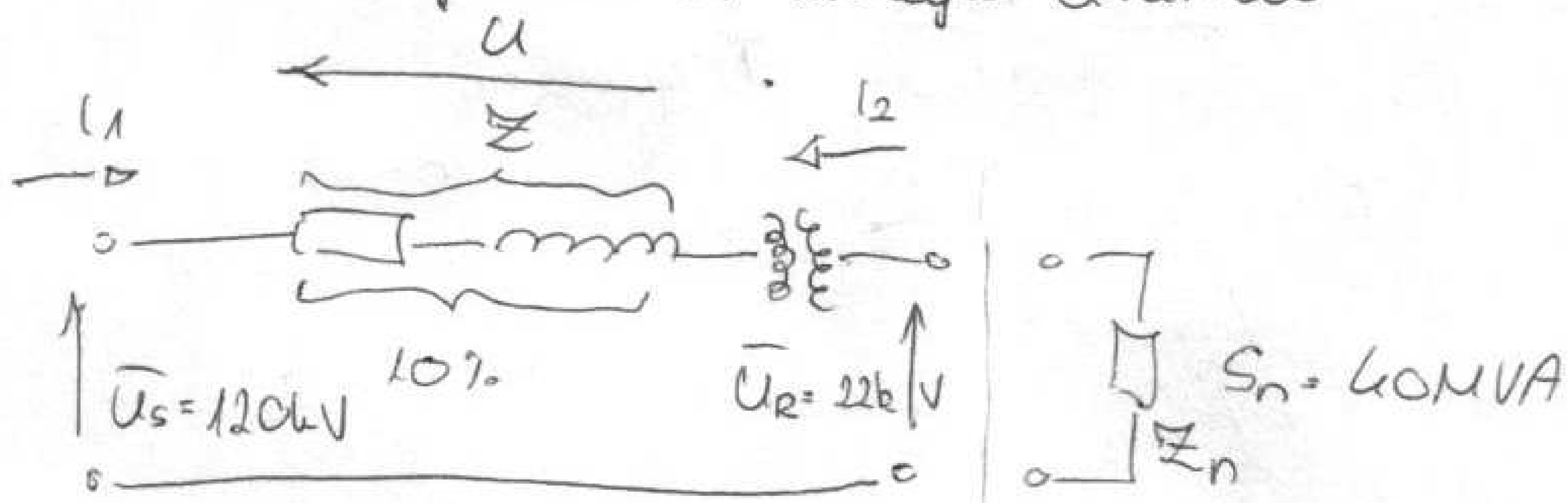
$R_n = \cos\varphi \cdot Z_n = 0{,}8 \cdot 80{,}66 = 64{,}5$

$X_n = \sin\varphi \cdot Z_n = 48{,}4\,\Omega$

$$\bar{U} = U_n^H \cdot \frac{(r + jx)}{(r + jx) + (\bar{Z}_n)} = 22k \cdot \frac{(16 + j15)}{(16 + j15) + (64{,}5 + j48{,}4)} =$$

16. Adja meg a 120/22 kV névleges feszültségű, 40 MVA névleges teljesítményű, 10% feszültségesésű transzformátor egyfázisú helyettesítő kapcsolását!

a) a transzformátor névleges áramai



$$I_2 = \frac{S_n}{\sqrt{3}\,U_R} = \frac{40\cdot 10^6}{\sqrt{3}\,22\cdot 10^3} = \underline{1{,}8\,kA/\sqrt{3}}$$

áttétel

$$a = \frac{U_S}{U_R} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{120k}{22k} = 5{,}45$$

$$I_1 = \frac{I_2}{a} = \frac{1{,}8k/\sqrt{3}}{5{,}45} = \cancel{330{,}27}\ 190{,}6\,A$$

b) a transzformátor saját rövidzárlati teljesítménye

a 10%-hoz → 120kV · 0,1 = 12 kV feszültség tartozik

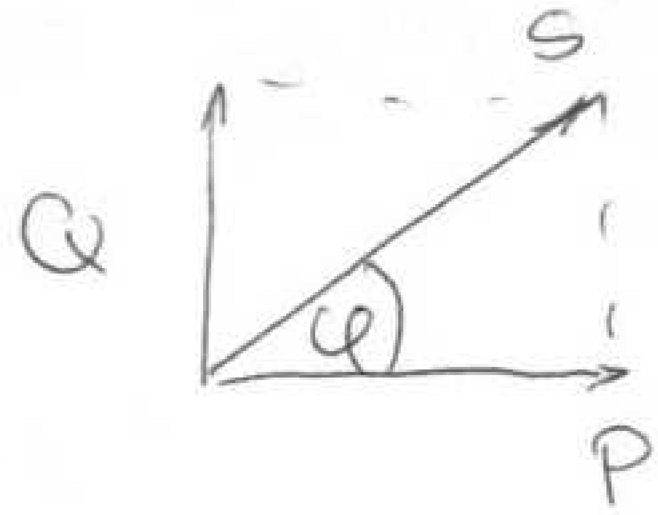
U = 12 kV

$$Z = \frac{U}{I_1} = \frac{12k}{\cancel{330{,}27}\ 190{,}6} = \cancel{36{,}33}\ 63\,\Omega$$

$$S_Z = \frac{U_S^2}{Z} = \frac{(120k)^2}{\cancel{36{,}33}\ 63} = \cancel{3303{,}05}\ \underline{396{,}36\,MVA}\quad 228{,}57\,MVA$$

17. Egy 3 fázisú fogyasztó névleges feszültsége 10kV, * névleges teljesítménye 4MVA, $\cos\varphi = 0{,}8$ (induktív)

a.) hatásos és meddő teljesítmény; hálózatból felvett áram.



$\varphi = 36{,}86°$

$P = \cos\varphi \cdot S = 4 \cdot 10^6 \cdot 0{,}8 = 3{,}2 \cdot 10^6\ VA$

$Q = \sin\varphi \cdot S = 4 \cdot 10^6 \cdot \sin 36{,}86° = 2{,}4 \cdot 10^6\ VA$

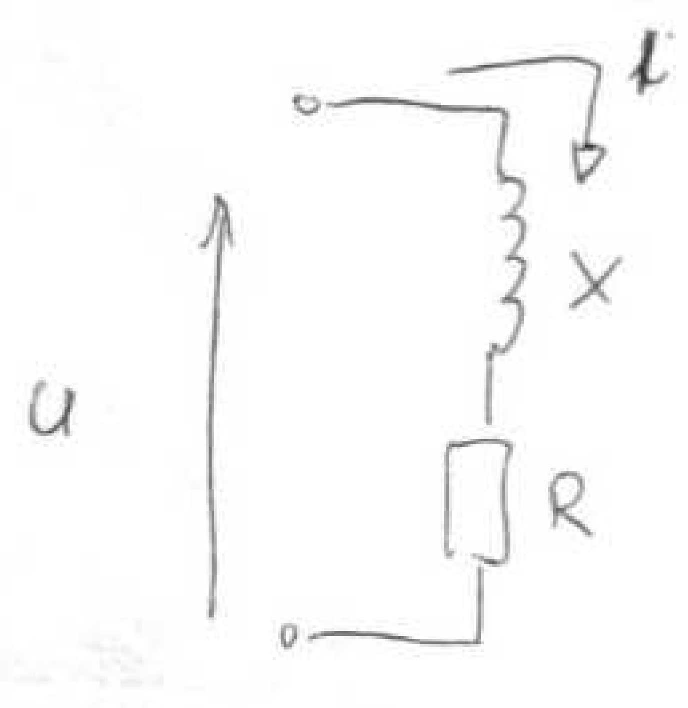
$S = U \cdot I \Rightarrow I = \frac{S}{U} = \frac{4 \cdot 10^6 \cdot e^{j36{,}86°}}{10 \cdot 10^3} = \left(0{,}4 \cdot 10^3 \cdot e^{j36{,}86°}\right) A$

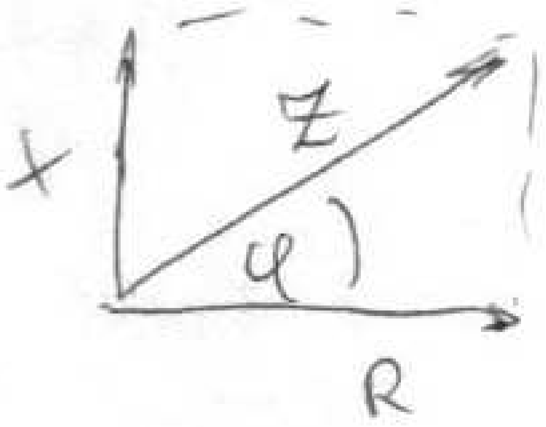
b.)

$\overline{Z} = \frac{(U)^2}{S} = \frac{(10 \cdot 10^3)^2}{4 \cdot 10^6 \cdot e^{j36{,}86°}} = \left(25\, e^{-j36{,}86°}\right) \Omega$

Rajzolja fel a soros és sönt helyettesítő kapcsolását az elemek értékeinek feltüntetésével!

– soros

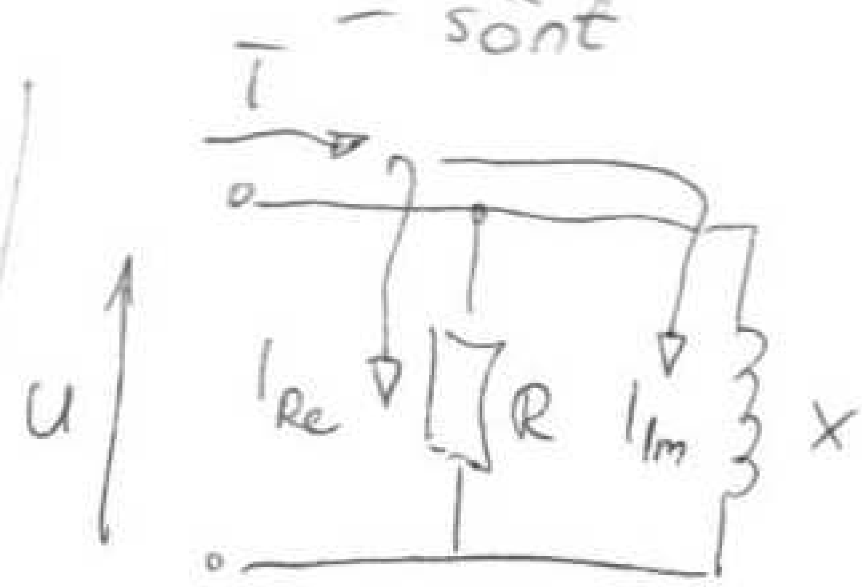


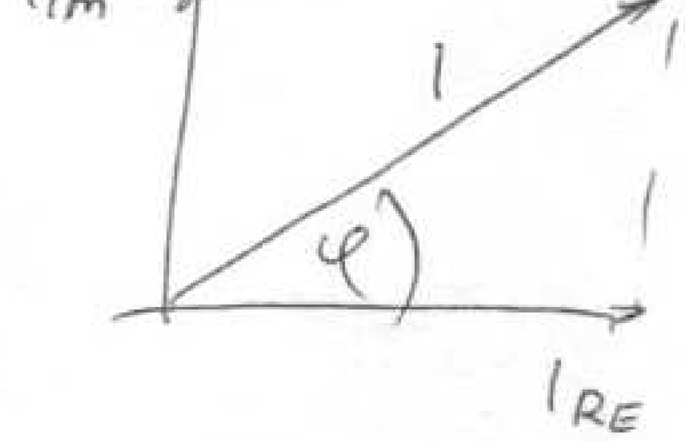


$R = \cos\varphi \cdot Z = 0{,}8 \cdot 25 = 20\ \Omega$

$X = \sin\varphi \cdot Z = 15\ \Omega$

– sönt





$I_{RE} = \cos\varphi \cdot I = 0{,}8 \cdot 400 = 320\ A$

$I_{Im} = \sin\varphi \cdot I = 240\ A$

$R = \frac{U}{I_{RE}} = \frac{10k}{320} = 31{,}25\ \Omega$

$X = \frac{U}{I_{Im}} = \frac{10k}{240} = 41{,}66\ \Omega$

18. Egy 120 kV-os gyűjtősín 3 fázisú zárlati teljesít-ménye 4000 MVA.

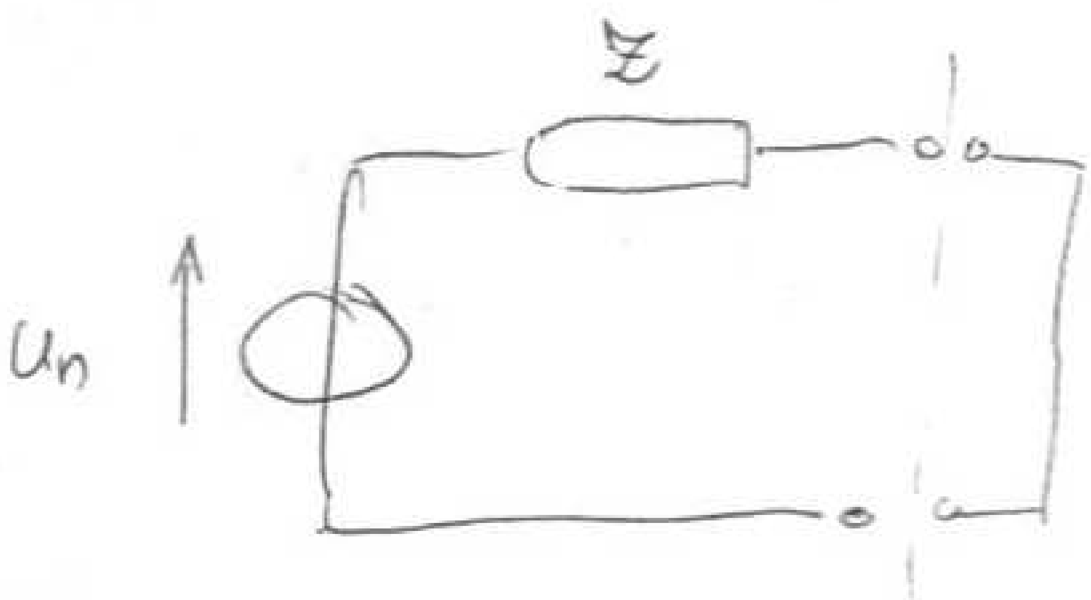
a) Számítsa ki a 3 fázisú rövidzárlati áramot!

$U_n = 120 kV$

$S_z = 4 GVA$

$$I_z = \frac{S_z}{\sqrt{3} U_n} = \frac{4 \cdot 10^9}{120 \cdot 10^3} \cdot \frac{1}{\sqrt{3}} = 19245 A$$

b) Adja meg a gyűjtősínre tápláló hálózat egyfázisú helyettesítő kapcsolását és az értékeket!

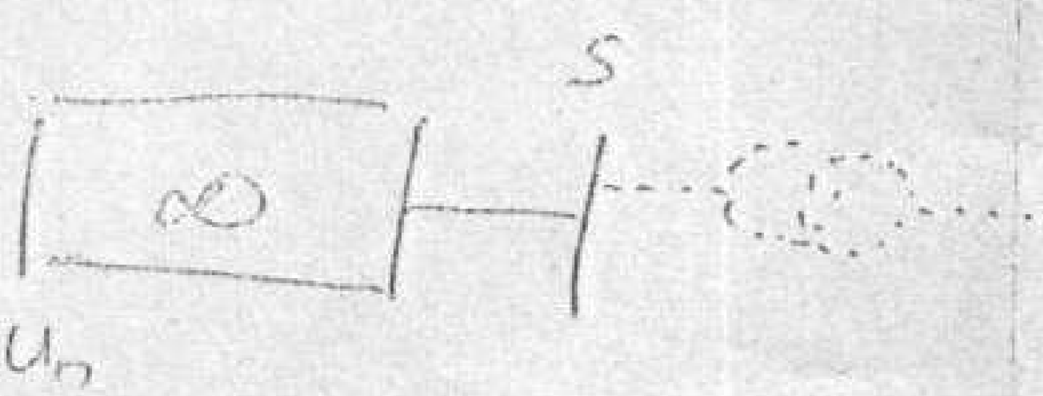


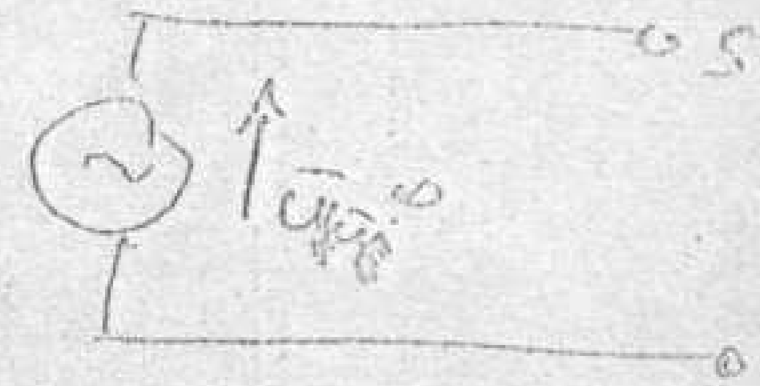
$U_n = 120 kV$

$$Z = \frac{U_n^2}{S_z} = \frac{(120k)^2}{4000 \cdot 10^6} = 3{,}6\ \Omega$$

19.

Értelmezze a végtelen hálózat fogalmát, fizikai tartalmát, adja meg a pozitív sorrendű helyettesítését!





ha $R_{be}=0 \wedge \frac{P_{terhelő}}{P_{hálózat}} \cong 0 \Rightarrow$ akkor lehet végtelen hálózat

$S_{nz} \gg S_t \Rightarrow$ végtelen hálózatnak definiálható

$\uparrow$ min 2 nagyságrend $\Downarrow$ $\varepsilon = 100\%$

Ekkor U_{fn} üzemi fázisfesz. id. fesz. forrással helyettesíthető. Létjogosultsága ennek akkor van, ha a hálózatot olyan csatlakozó elemen át vesszük, amelynek az impedanciája jóval nagyobb, mint a mögöttes hálózaté.

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

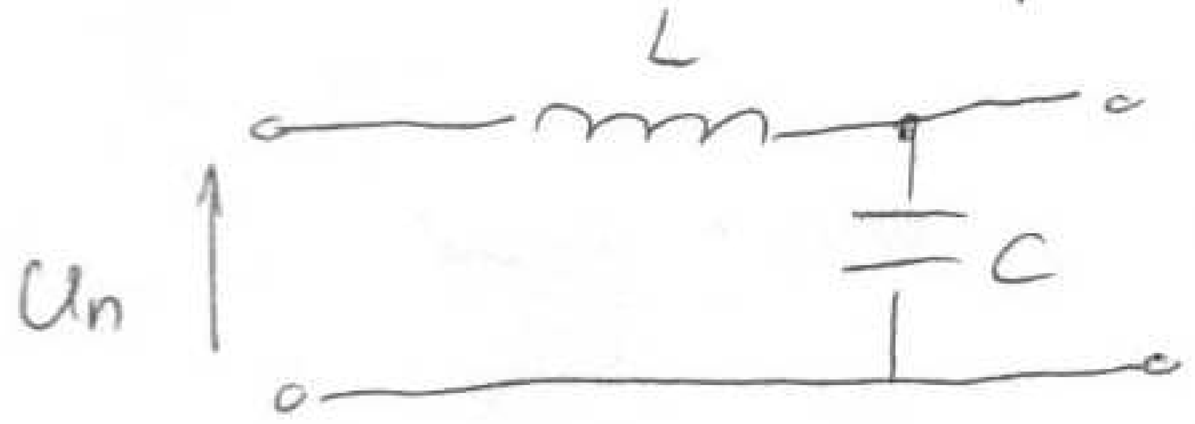
$X_L = 0{,}28\ \Omega/km$

$X_C = 0{,}4\ M\Omega/km$

$l = 100\ km$

a) a vezeték hullámellenállása

mivel veszteségmentes $\rightarrow$ nincs R



$X_C = \frac{1}{2\pi f C} \rightarrow C = \frac{1}{2\pi f X_C} = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 0{,}4M} =$

$C = 7{,}95 \cdot 10^{-9}\ F$

$X_L = 2\pi f L \rightarrow L = \frac{X_L}{2\pi f} = \frac{0{,}28}{2 \cdot \pi \cdot 50} =$

$L = 8{,}91 \cdot 10^{-4}\ H$

$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \sqrt{\frac{8{,}91 \cdot 10^{-4}}{7{,}95 \cdot 10^{-9}}} = \underline{\underline{334{,}77\ \Omega}}$

b) a vezeték természetes teljesítményét

$P_{term} = \frac{U_n^2}{Z_0} = \frac{(400k)^2}{334{,}77} = 478\ MVA$

c) Milyen kapcsolat van a $P_{term.}$ átvitelekor az átvitt hatásos és meddő teljesítmények között?

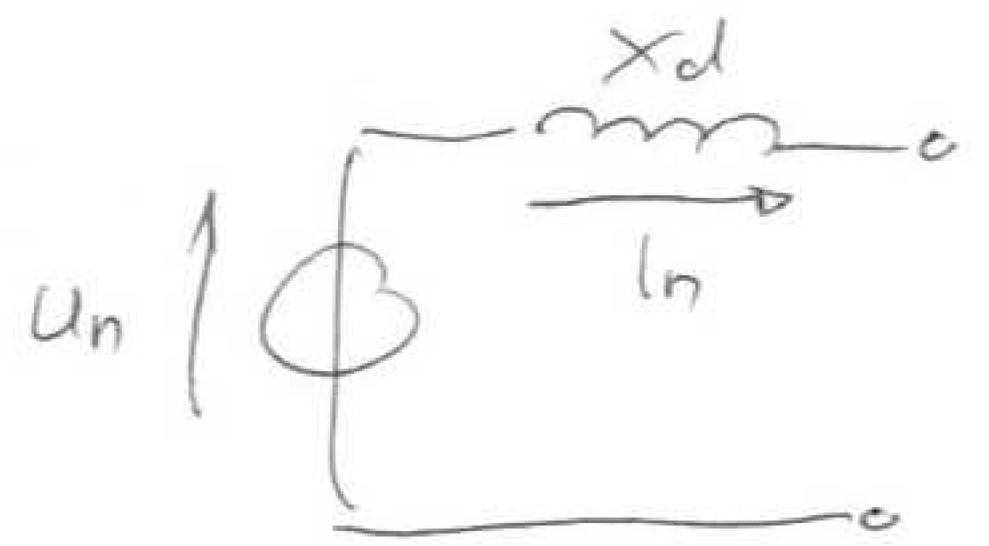
Ha $P_{term} = P_{hatásos} \Rightarrow$ Meddő mérleg egyensúlyban van

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

a/ az egyfázisú, pozitív sorrendű helyettesítő kapcsolását + értékek

$U_n = 10{,}5\ kV$ $\quad X_d = 200\% \Rightarrow \varepsilon$

$S_n = 100\ MVA$



$$S_n = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{X_d}$$

$$\hookrightarrow X_d = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{200}{100} \cdot \frac{(10{,}5\cancel{k})^2}{100\cancel{M}} =$$

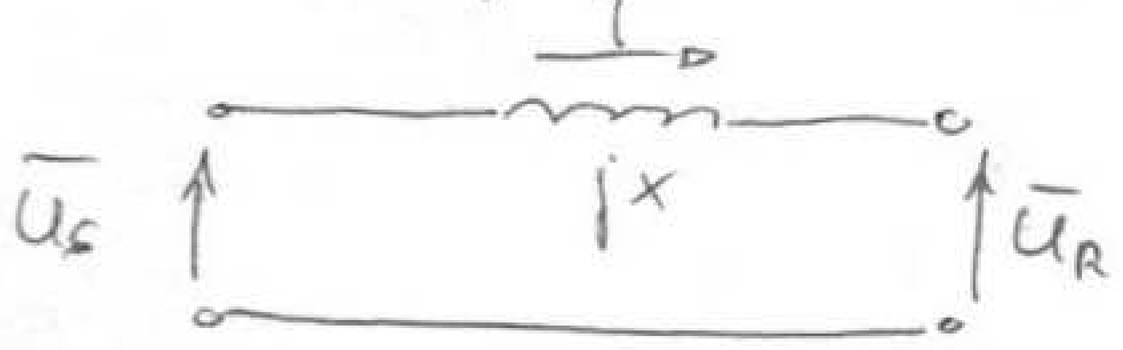
$$\underline{\underline{X_d = 2{,}2\ \Omega}}$$

b/ a generátor névleges áramát

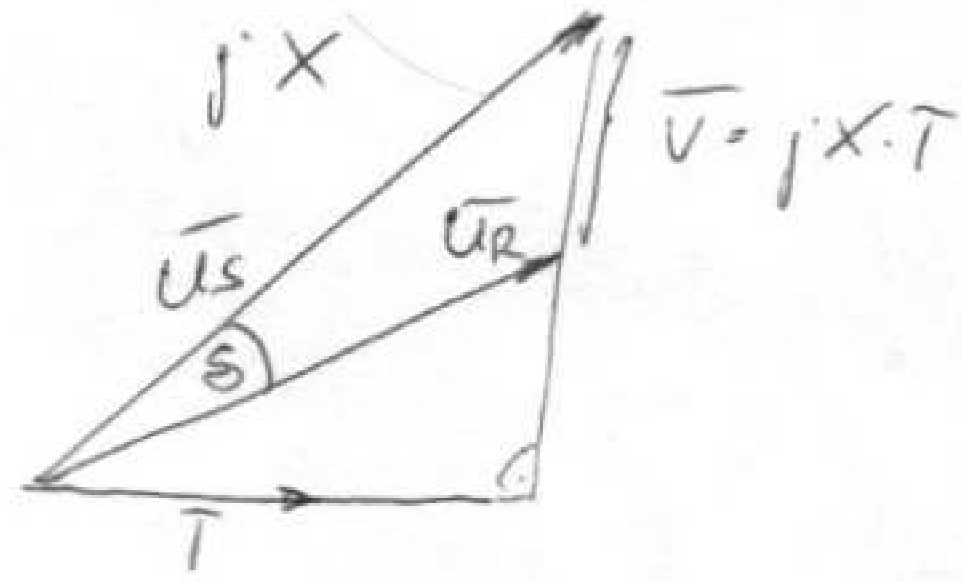
$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3}\,U_n} = \frac{100 \cdot M}{\sqrt{3} \cdot 10{,}5\,k} = \frac{9{,}523\ kA}{\sqrt{3}}$$

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

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



$$\bar I = \frac{\bar U_S - \bar U_R}{jX}$$



$$\bar S_S = P + jQ_S \qquad \bar S_R = P + jQ_R$$

$$\left.\begin{array}{l}\bar U_S = U_S \\ \bar U_R = U_R \cdot e^{-j\delta}\end{array}\right\} \text{ referencia } U_S$$

$$\bar I^* = \left(\frac{U_S - U_R e^{-j\delta}}{jX}\right)^* = \frac{U_R \sin\delta}{X} + j\,\frac{U_S - U_R\cos\delta}{X}$$

$$\bar S_S = \bar U_S \cdot \bar I^* = \underbrace{\frac{U_S \cdot U_R}{X}\cdot\sin\delta}_{P_S} + j\,\underbrace{\frac{U_S(U_S - U_R\cdot\cos\delta)}{X}}_{Q_S}$$

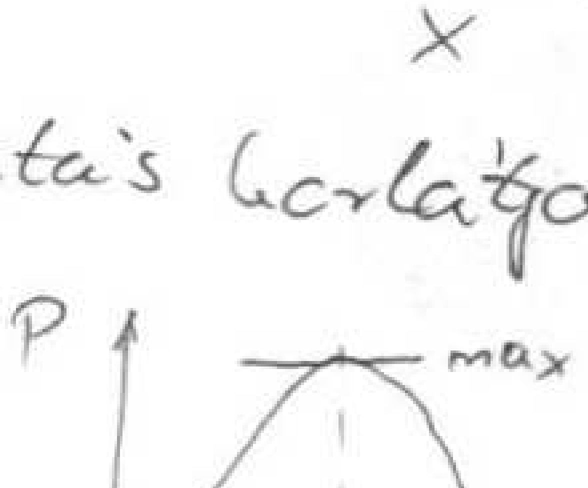
$$\left.\begin{array}{l}\bar U_S = U_S \cdot e^{j\delta} \\ \bar U_R = U_R\end{array}\right\} \text{ referencia } U_R$$

$$\bar S_R = \bar U_R \cdot \bar I^* = \overbrace{\frac{U_S \cdot U_R}{X}\sin\delta}^{P_R} + j\,\overbrace{\frac{U_R(U_S\cdot\cos\delta - U_R)}{X}}^{Q_R}$$

$$\bar I^* = \left(\frac{U_S e^{j\delta} - U_R}{jX}\right)^* = \frac{U_S\cdot\sin\delta}{X} + j\,\frac{U_S\cdot\cos\delta - U_R}{X}$$

b.) a szinkron stabilitás korlátja

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



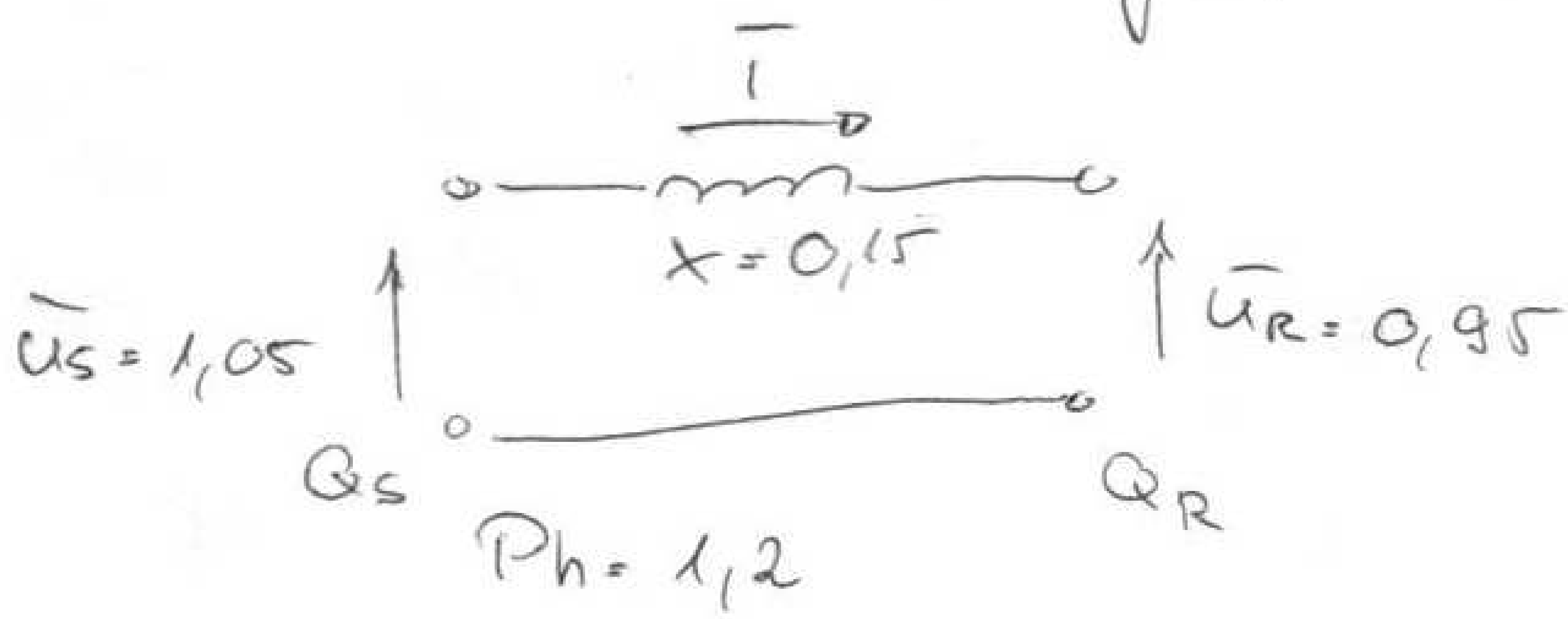
az átvitt teljesítménnyel a terhelési szög nő, maximuma 90°-nál van

c) a meddő teljesítmény áramlás

$$Q_S - Q_R = \frac{(\bar U_S - \bar U_R)^2}{X} = \frac{\bar U^2}{X} = X\cdot \bar I^2$$

a Q teljesítmény nagyságát és irányát a végpontok közötti feszültség különbség szabja meg.
(a nagyobb fesztől a kisebb felé)

23. Egy $X = 0{,}15$ v.e. nagyságú soros reaktanciával jellemzett vezetéken a végponti feszültségek $U_S = 1{,}05$ v.e. és $U_R = 0{,}95$ v.e., az S -> R irányú hatásos teljesítmény 1,2 v.e. Számítsa ki végpontjain a Q telj. értékét és adja meg azok irányát.

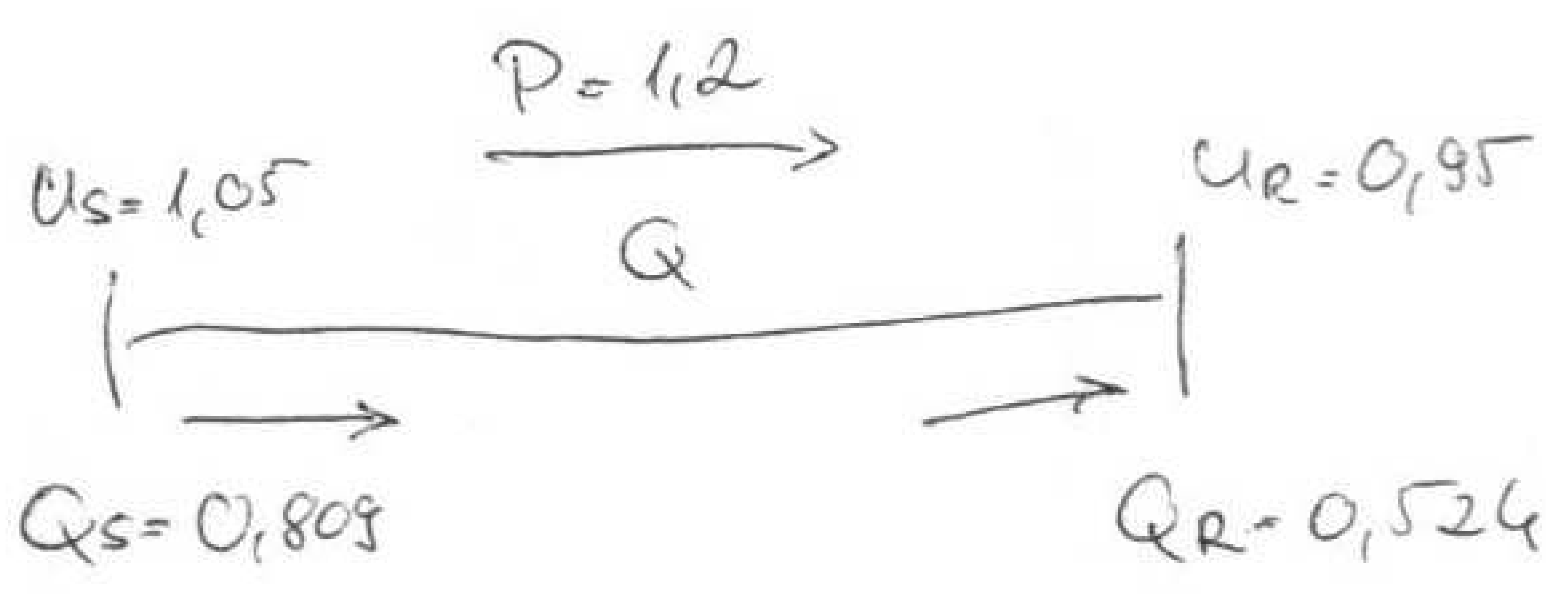


$$P_h = \frac{U_S \cdot U_R}{X} \cdot \sin\delta \Rightarrow \sin\delta = \frac{P_h \cdot X}{U_S \cdot U_R} = \frac{1{,}2 \cdot 0{,}15}{1{,}05 \cdot 0{,}95} = 0{,}18$$

$\hookrightarrow \delta = 10{,}4°$

$$Q_S = \frac{U_S(U_S - U_R \cdot \cos\delta)}{X} = \frac{1{,}05(1{,}05 - 0{,}95 \cdot \cos 10{,}4)}{0{,}15} = 0{,}809$$

$$Q_R = \frac{U_R(U_S \cdot \cos\delta - U_R)}{X} = \frac{0{,}95(1{,}05 \cdot \cos 10{,}4° - 0{,}95)}{0{,}15} = 0{,}524$$



A meddő teljesítmény áramlást a végponti feszültségek szabják meg. Mindig a nagyobb feszültségtől a kisebb felé áramlik!

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

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

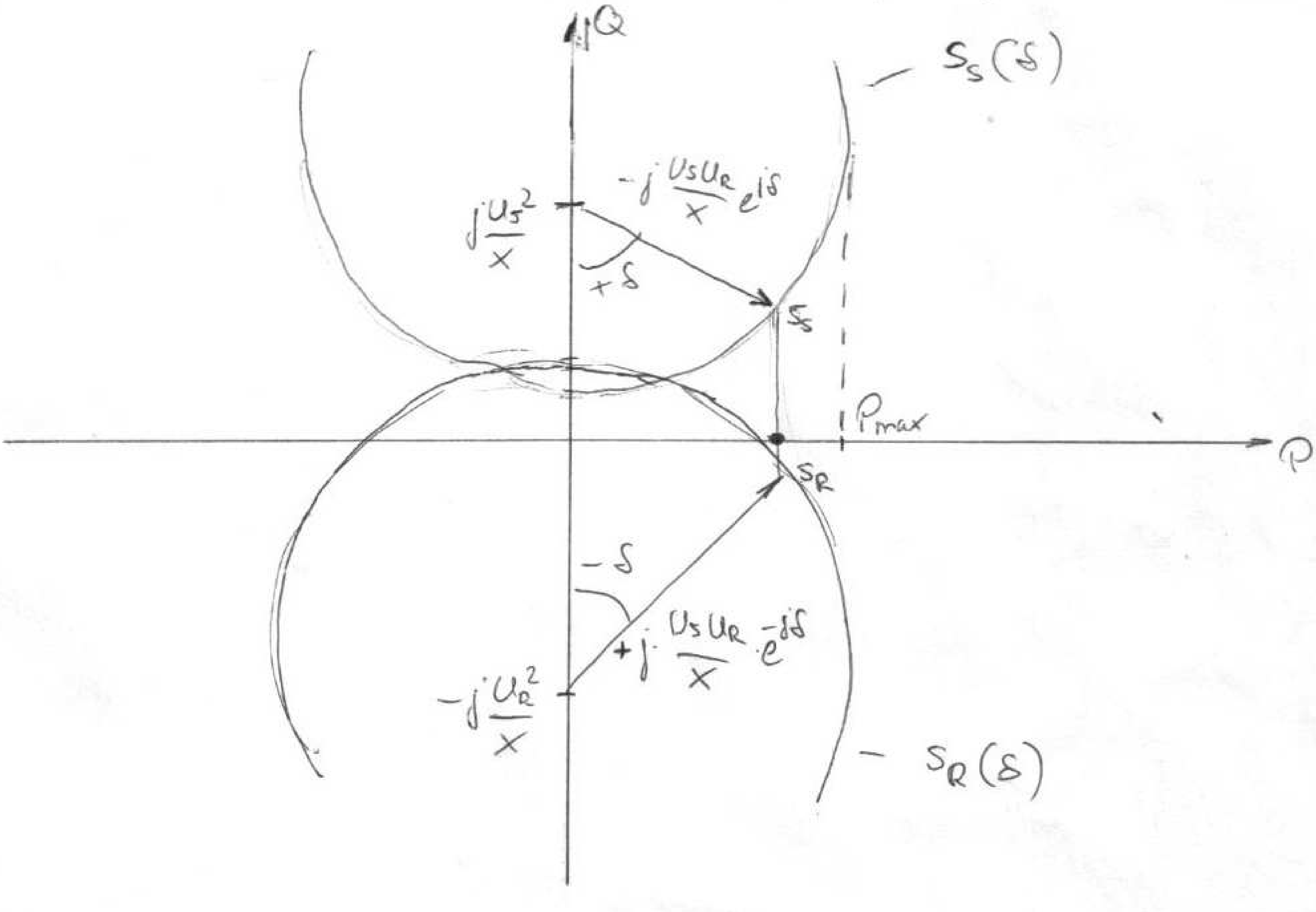
R, fogyasztó oldali teljesítmény:

$$\overline{S}_R = P_R + jQ_R = U_R \cdot I^* = U_R \cdot j\frac{U_S e^{j\delta} - U_R}{X} = \underbrace{-j\frac{U_R^2}{X}}_{\text{középpont vektor}} + \underbrace{j\frac{U_S \cdot U_R}{X} e^{-j\delta}}_{\text{sugár vektor}}$$

S, termelő oldali teljesítmény:

$$\overline{S}_S = P_S + jQ_S = U_S e^{j\delta} \cdot I^* = U_S \cdot e^{j\delta}\, j\frac{U_S e^{-j\delta} - U_R}{X} = \underbrace{j\frac{U_S^2}{X}}_{\text{középpont vektor}} - \underbrace{j\frac{U_S U_R}{X} e^{j\delta}}_{\text{sugár vektor}}$$

b) az S és R végpontok a komplex teljesítményeit szemléltető kördiagrammot egy adott teljesítmény-átviteli esetre vonatkozó összetartozó teljesítmények feltüntetésével!

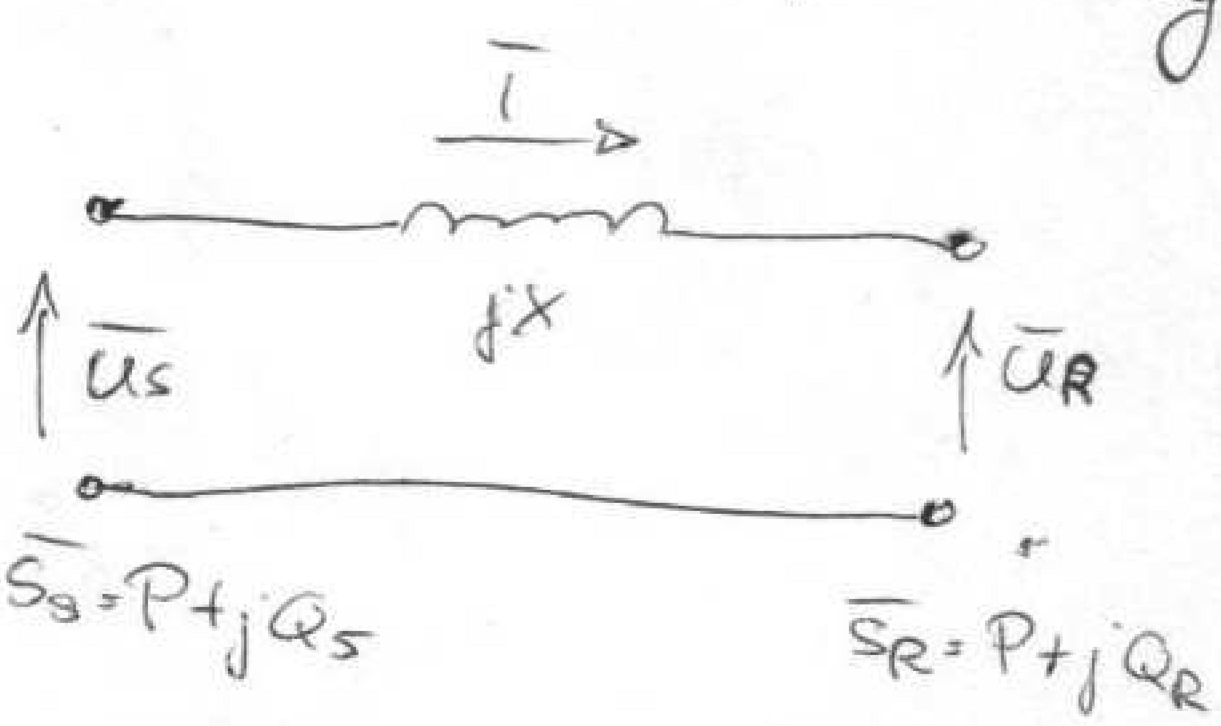


25. A $Z = jX$ soros impedanciával jellemzett vezetékre, adottaknak tekintett végponti feszültségek esetén:

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

$$jQ_R = j\frac{U_R(U_S\cos\delta - U_R)}{X}$$

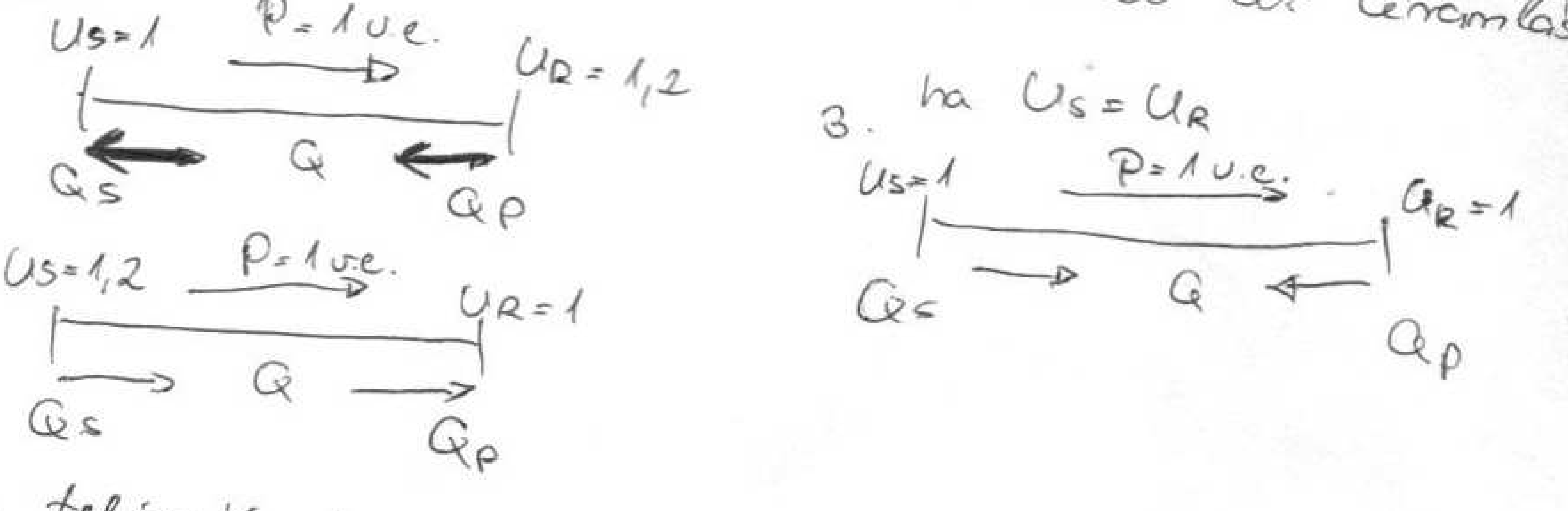
$$j\cdot Q_S = j\frac{U_S(U_S - U_R\cdot\cos\delta)}{X}$$



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

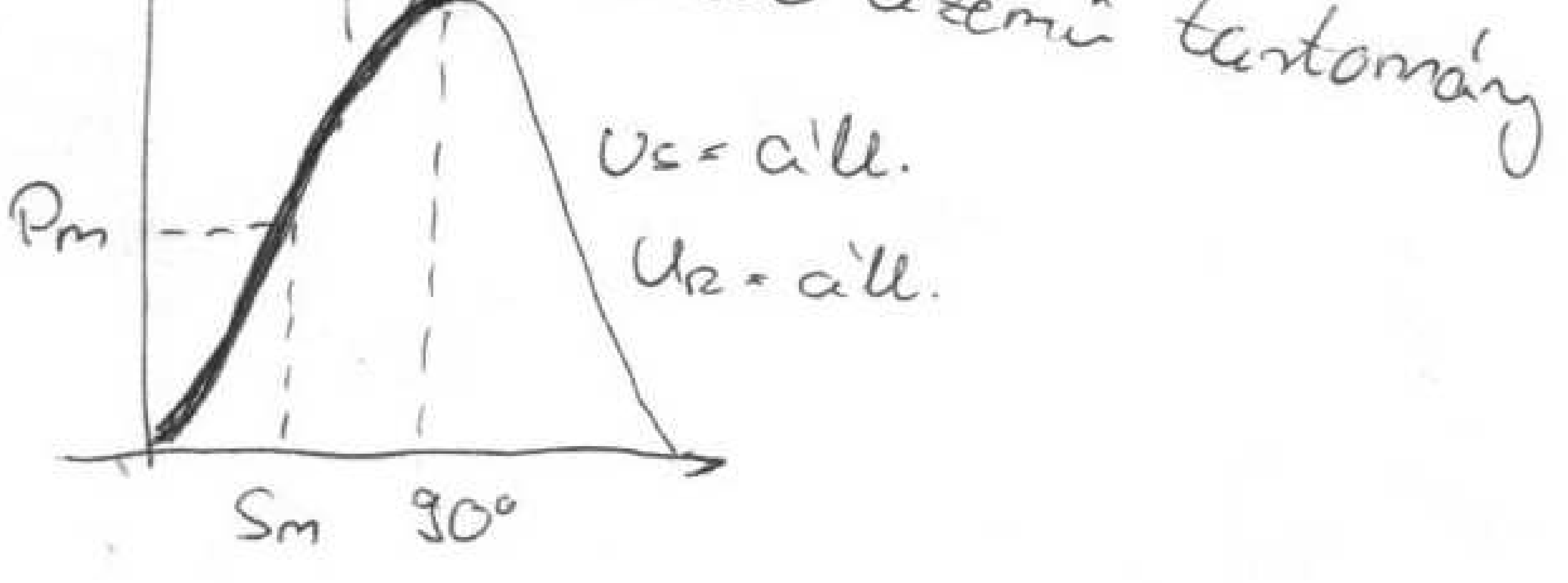
A meddő teljesítmény áramlást a végponti feszültségek nagysága határozza meg. Mindig a nagyobb feszültségű végponttól a kisebb feszültségű végpont felé áramlik. A végponti feszültségek változtatásával lehet az áramlást megfordítani.

pl.



c.) hatásos teljesítmény - terhelési szög kapcsolata

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



26. Egy villamos-energia rendszerben a hatásos (P) teljesítmények egyensúlya általános érvényű!

a) Adja meg a dinamikus energetikai egyensúly matematikai leírását!

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

P_F = összfogyasztás

P_V = összveszteség

P_G: a generátor által leadott villamos telj.

P_M: a turbina leadott mechanikai telj.-e

T: a rendszer forrás oldali összperdülete

ω: a rendszer átlagos körfr.-ja

b) Értelmezze a (fiktív) rendszer frekvenciát!

Az átlagos rend. fr.-át úgy értelmezzük, hogy átmeneti állapotokban a rendszer egyes pontjain mérhető fr. ezen átlagérték körül viszonylag kis amplitúdóval ingadozik. Állandósult állapotban a rendszer a fiktív fr.-hoz tart és stabilizálja azt.

c) Hatásos teljesítmény szabályozás

Azért kell szabályozni, mert a dinamikus energetikai egyensúlyt kifejező összefüggésnek mindig teljesülnie kell. A megtermelt energia nem tárolható!!!

(Az összfogyasztás előre jól megbecsülhető)

(17.) Egy villamos energia rendszerben a meddő (Q) teljesítménynek egyensúlya általános érvényű.

a) Adja meg a Q-ek egyensúlyának matematikai leírását!

$$Q_G = Q_F - Q_C + Q_H$$

Q_G: a generátor által leadott Q

Q_F: fogyasztók által felv.

Q_C: helyi meddőforrásokban (kondi) előállított Q

Q_H: a teljes hálózat meddő igénye (induktív fogyasztó)

b.) Természetes teljesítmény

$$P_{term} = \frac{U_{fázis}^2}{Z_0}$$

$U_{fázis}$: fázis feszültség

Z_0: hullámimpedancia

Ha a vezetéken éppen a P_{term}-nyel egyenlő P_h áram. akkor a teljes vezeték meddő mérlege zérus.

Q_{ind} (fogyasztók) = Q_{kap} (termelt)

$Q_{kap} = \omega C U^2$

$Q_{ind} = \omega L I^2$

c.) Folyamatos feszültség szabályozás

A végponti feszültségek szabályozásával irányítható meddő teljesítmény áramlás (a nagyobb feszt.ről a kisebb) → a végponti potenciál különbség eredményezi.

Feszültség szabályozása → Forrás oldal: generátor

alapvetően generátorral, → Hálózati oldal: kompenzá...

mérsékelten szabályozókkal vagy kondenzátor

Alapvetően ...

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

a) Matematikai kiírása a hatásos (P) teljesítm...

$$P = P_0 + P_0 \left(k_{pu} \cdot \frac{\Delta U}{U_0} + k_{pf} \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

$\Delta U = U - U_0$ $\quad \Delta f = f - f_0$

$$k_{pu} = \left(\frac{\Delta P}{P_0}\right) / \left(\frac{\Delta U}{U_0}\right)$$

$$k_{pf} = \left(\frac{\Delta P}{P_0}\right) / \left(\frac{\Delta f}{f_0}\right)$$

feszültség- és frekvencia érzékenységi tényezők

b) Mutasson be egy egyszerű, fizikai alapokon álló pél...

Egy R elemből álló fogyasztó, U_0 feszültségen és f_0 frekvencián felvett teljesítmény, U és f esetén P.

$P_0 = U_0^2 / R$ $\quad P = U^2 / R$

$$P = P_0 \cdot \left(\frac{U}{U_0}\right)^2$$

$\Delta U = U - U_0$

$\Delta f = f - f_0$

$$P = P_0 + P_0 \left(k_{pu} \frac{\Delta U}{U_0} + k_{pf} \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

c) frekvencia változás levezetése, ha változik P

P_{F0} rendszer f_0 frekvencián

$\Delta P_{F0} = P_{F} - P_{F0}$ közben $\Delta P_{M0} = 0$

f_0 frekvenciához $P_{M0} = P_{F0} + P_{V0}$

f — " — $P_M = P_F + P_V$

$\left\{ \begin{array}{l} P_M = P_{M0} \\ P_V = P_{V0} \end{array} \right.$ $\quad \dfrac{-\Delta P_{F0} \cdot f_0}{P_{F0} \cdot k_{pf}}$

$P_F = P_{F_0} + P_{F_0} \cdot k_{pf} \cdot \frac{\Delta f}{f_0}$ ... ΔP_{F0} ...

29. A fogyasztói teljesítmény felvétel (P és Q) függ U-tól

a) meddő (Q) teljesítmény matematikai leírása

$$Q = Q_0 + Q_0 \left(k_{qu} \frac{\Delta U}{U_0} + k_{qf} \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

$$\left.\begin{aligned} k_{qu} &= \left(\frac{\Delta Q}{Q_0}\right) \Big/ \left(\frac{\Delta U}{U_0}\right) \\ k_{qf} &= \left(\frac{\Delta Q}{Q_0}\right) \Big/ \left(\frac{\Delta f}{f_0}\right) \end{aligned}\right\} \text{feszültség- és frekvencia érzékenységi tényező}$$

b) Mutasson be egy egyszerű, fizikai áramköri példát

L elemből álló fiktív fogyasztó

U_0 feszültségen és f_0 frekvencián felvett teljesítménye

U ——— „ — f ——— „ „ ———

$$Q_0 = U_0^2 / (2\pi f_0 L) \qquad Q = U^2 / (2\pi f L)$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{U}{U_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{f_0}{f}\right) \qquad \Delta U = U - U_0$$

$$\Delta f = f - f_0$$

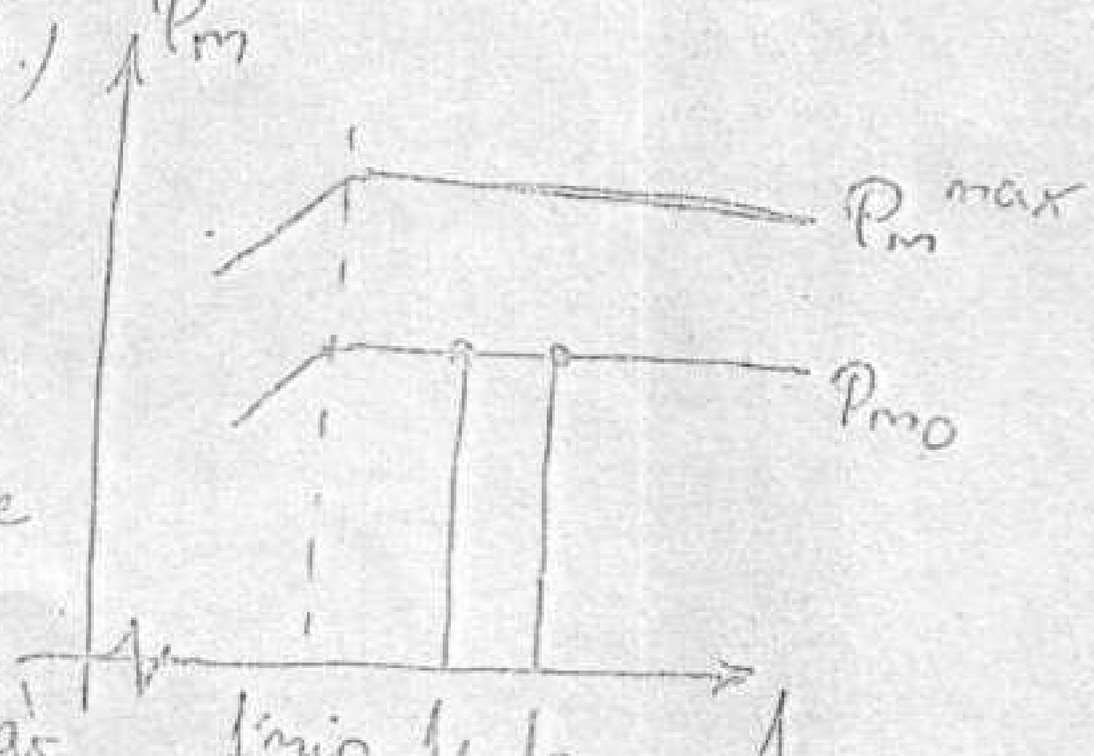
$$Q = Q_0 + Q_0 \left(k_{qu} \frac{\Delta U}{U_0} + k_{qf} \frac{\Delta f}{f_0} \right)$$

c) Miért szükséges a folyamatos feszültségszabályozás

ld. 27/c

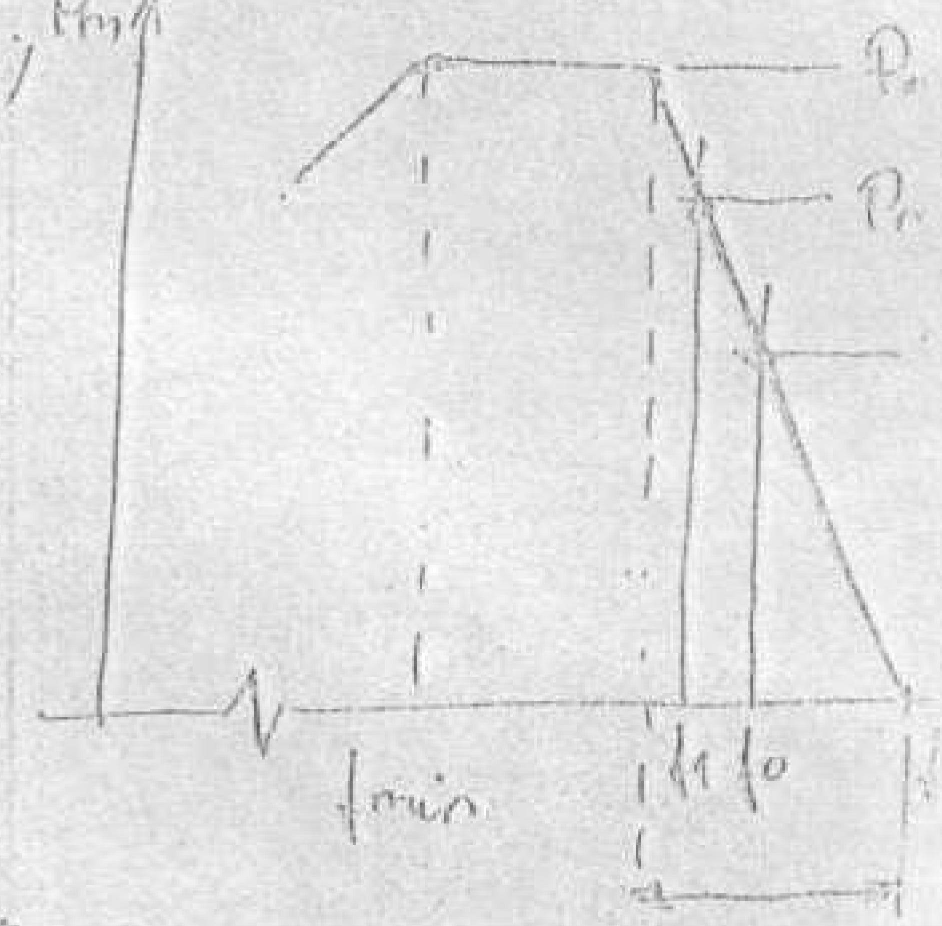
30 A fr. tartásban fontos szerepe van a turbina telj.
P(f) karakterisztikájának és az ún. szekunder
a) Ábrák adja meg a frekvenciára érzéketlen (a1)
a fr. változásra szabályozással válaszoló (a2) P(f)

a1.)



- $P_m = P_{m0}$ állandó teljesítményre való szabályozás
- a rendszer szempontjából előnytelen

a2.)



P_m: mechanikai teljesítmény

f_{min}: alatti fr.-án az egység teljesítőképessége csök.
(kb. 47,5 - 47 Hz)

$f_{üj}$: üresjárási frekvencia ($P_m = 0$)

b.) Statizmus fogalma és a szabályozás MW/Hz meredek.

Statizmus: a P(f) karakterisztika átlagos iránytangense

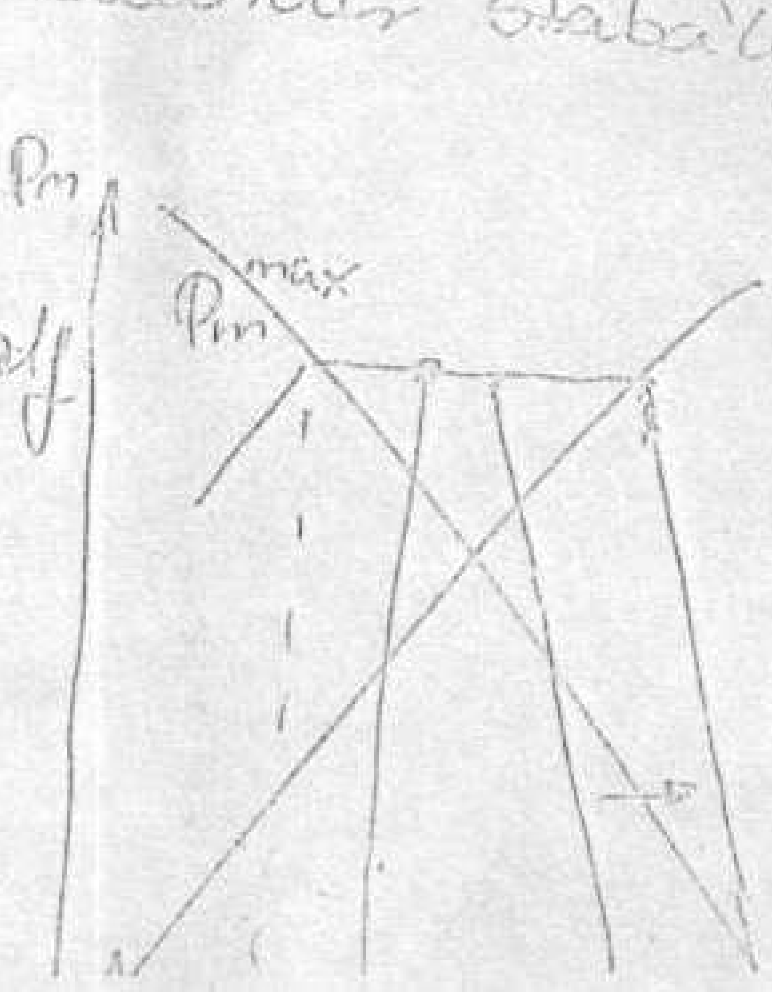
$$R = 100 \frac{\Delta f_R}{f_{név.}} [\%]$$

a karakterisztika meredeksége: $K_g = -\frac{\Delta P_m}{\Delta f} = -\frac{P_m^{max}}{\Delta f_R}$ [M

kisebb statizmus nagyobb meredekséget eredményez

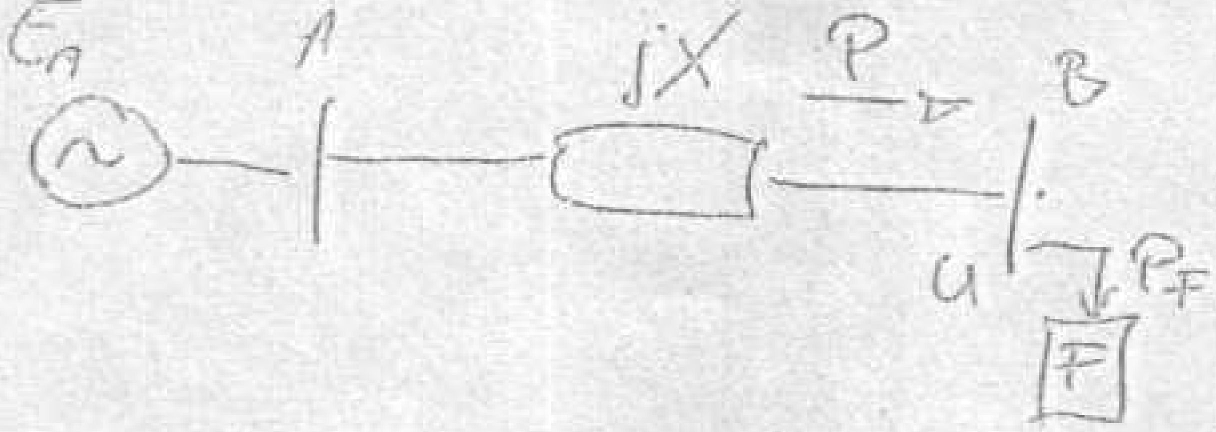
c.) a primer ill. szekunder szabályozás elvi működése (

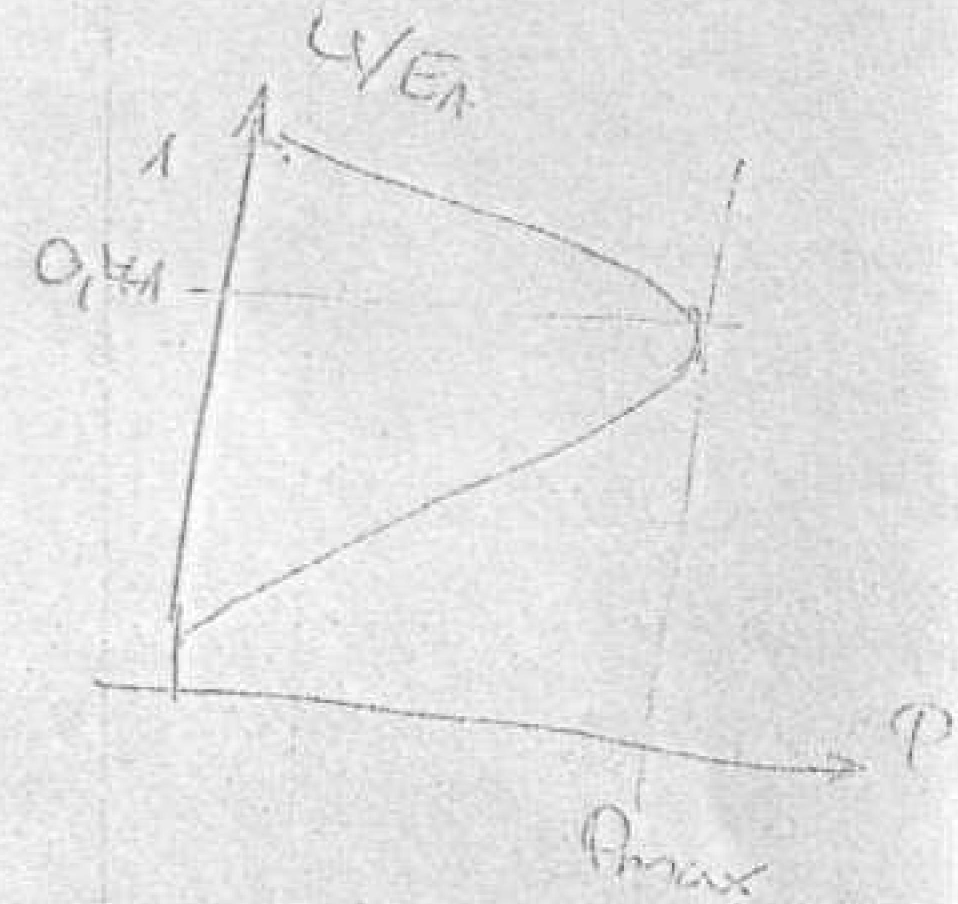
ld. vien_vmt.pdf
78. old.



31. A teljesítmény átvitelnek statikus stabilitási korlátja van.

a) a feszültség stabilitás X induktív reaktancián történő átvitelhez, és levezetés P_{max}!





$E_A^2 = U^2 + (X \cdot I)^2$ $\quad I = \frac{P}{U}$

$V = U^2$ bevezetése

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

A B pont U feszültsége: $U^2 = V = \frac{(E_A^2 \pm \sqrt{D})}{2}$

$D = E_A^4 - 4(XP)^2$

Az átvihető legnagyobb P teljesítmény D=0-nál

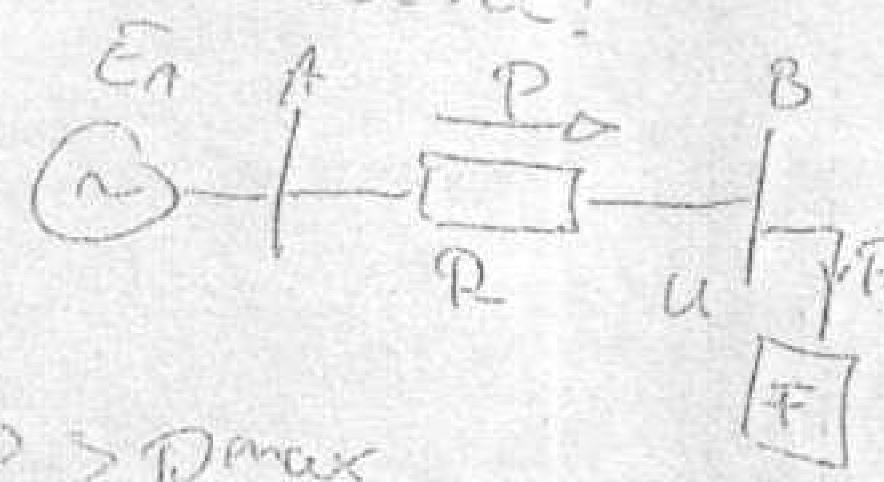
$$P_{max} = \frac{E_A^2}{2X}$$

b) a feszültségstabilitás általános feltétele, ha P_F n[illegible] függ az U-tól

$$\frac{dP}{dU} < 0$$

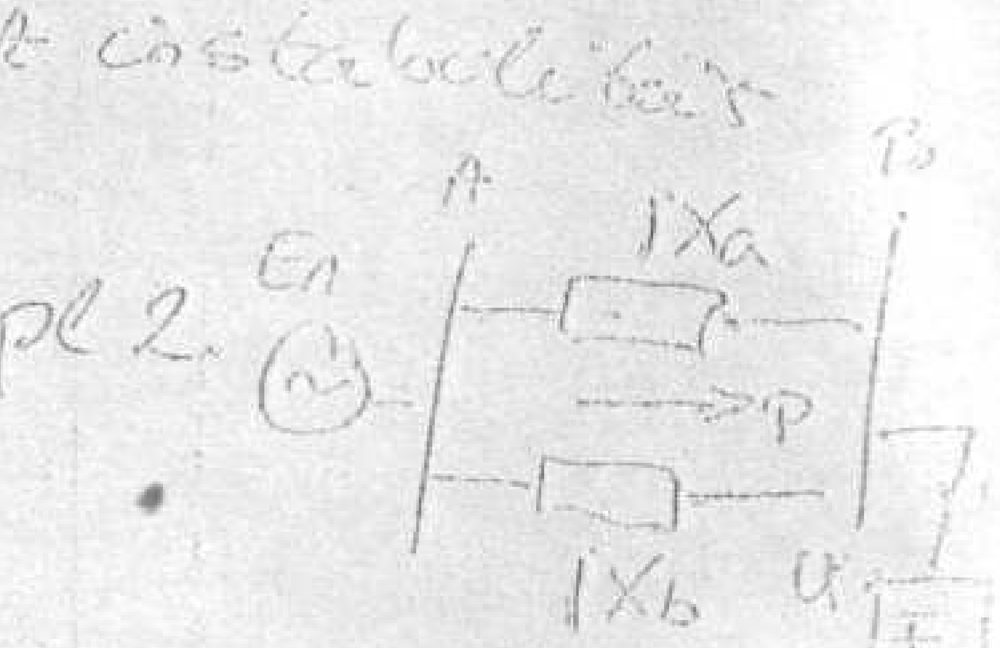
c) Mutasson áramköri példát az instabilitás kialakulására!

pl 1.



$P > P_{max}$ esetén egy ilyen hálózat létrejötte feszültség instabilitást ma[illegible]

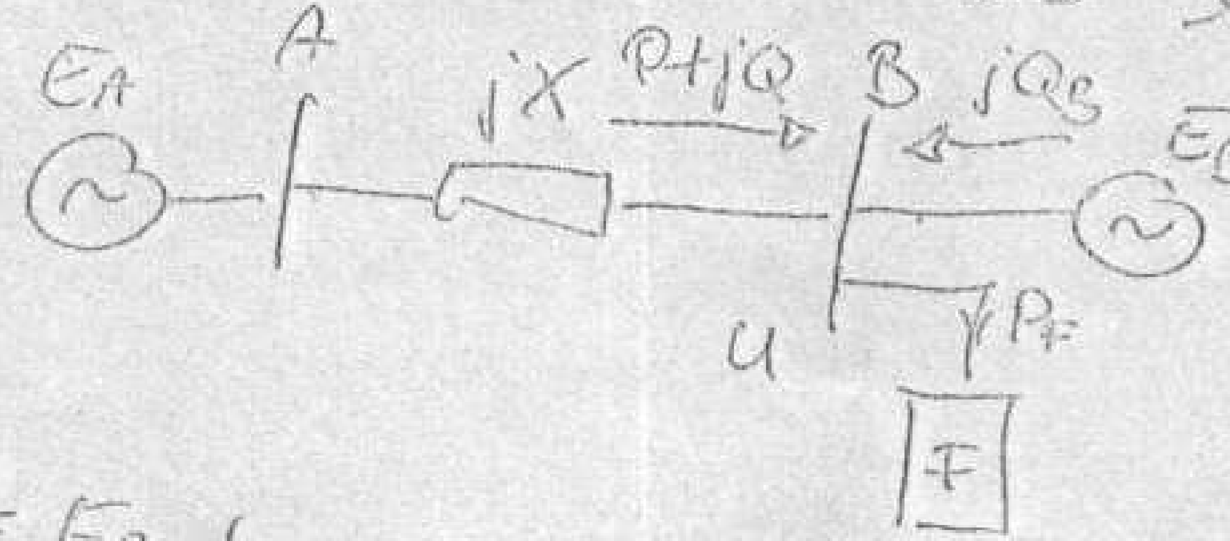
pl 2.

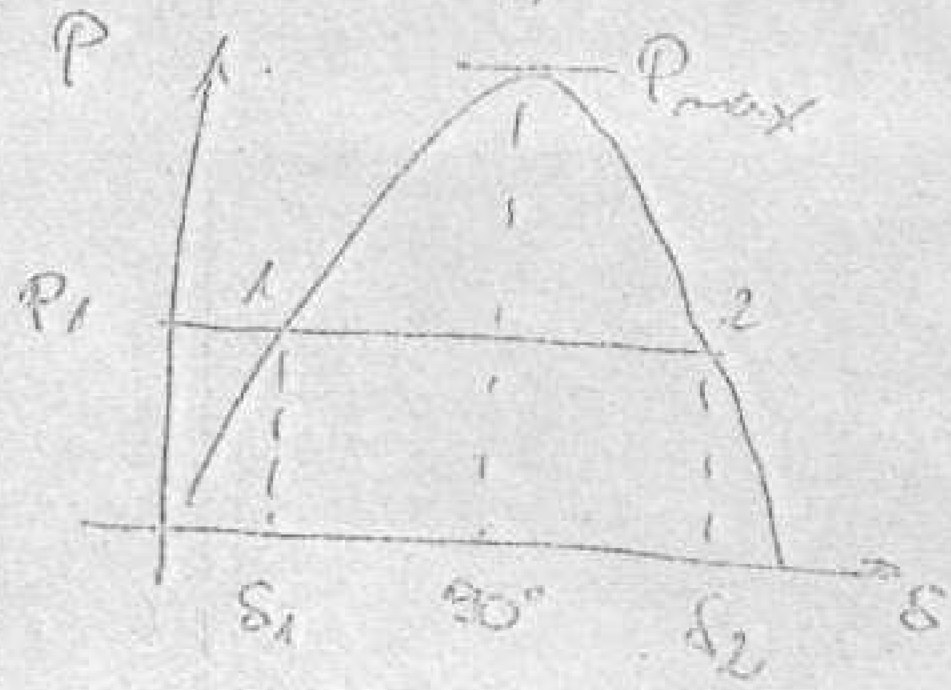


Nagy terhelési/hálózati zavarok következtében [illegible] sodó átvi[illegible]

[32] ua. mint az előző

a) Szinkronstabilitás X reaktanciánál



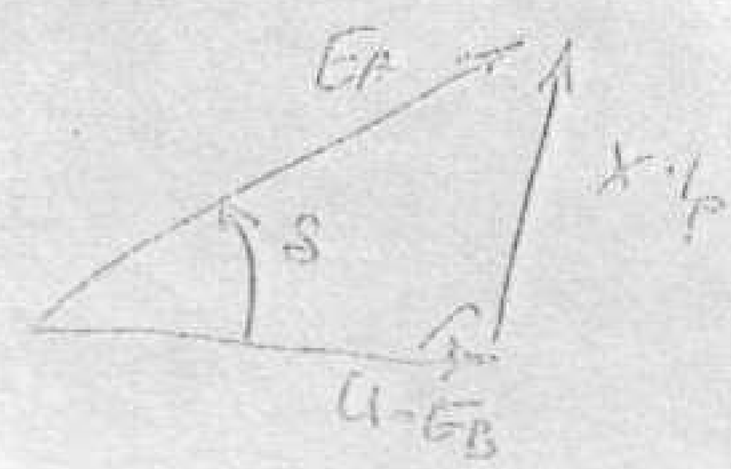


$P = E_B \cdot I_p$

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

$P = \frac{E_A \cdot E_B}{X} \cdot \sin\delta \Rightarrow$ legnagyobb teljesítmény $\sin\delta = 1$

$P_{max} = \frac{E_A \cdot E_B}{X}$ ekkor $\delta = \delta_{max} = 90°$

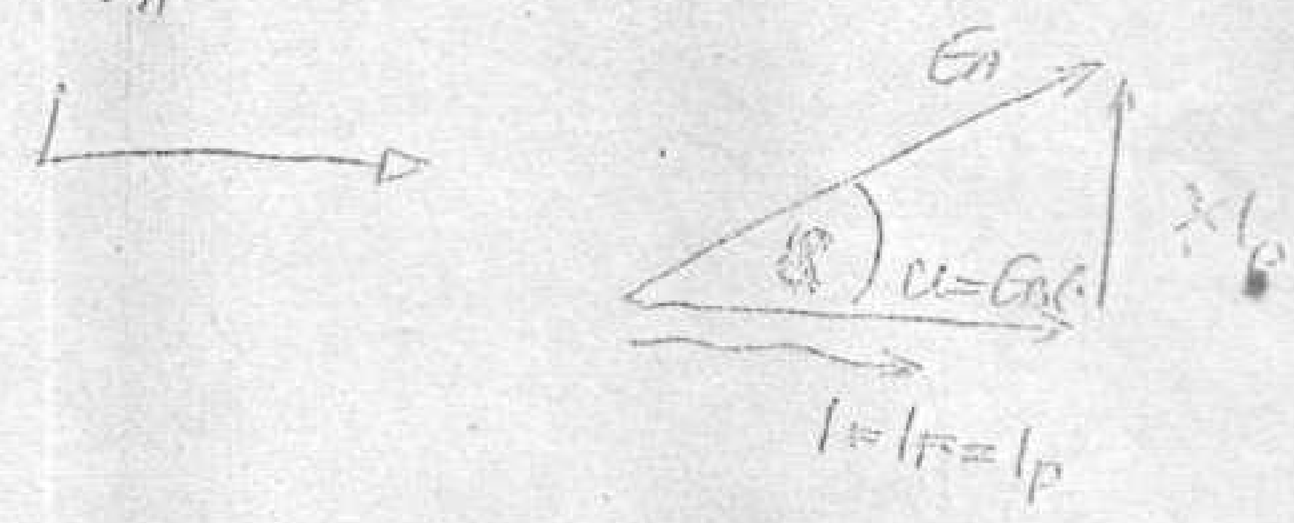


b) Adja meg a szinkron stabilitás általános feltételét!

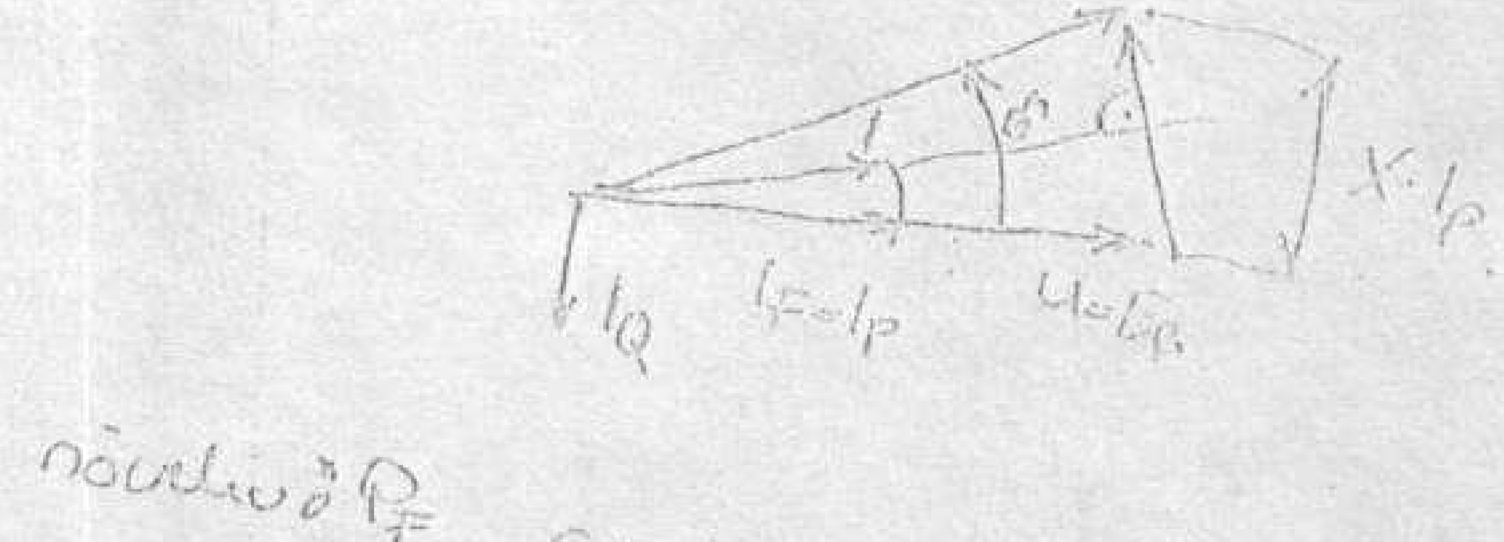
$\frac{dP}{d\delta} > 0$ szinkronozó teljesítmény: $\frac{dP}{d\delta} = p_{m}$

c) Feszültség szabályozás melletti teljesítmény változata!

$Q_B = 0 \Rightarrow E_B < E_A$



$U = E_B = E_A$



$\bar{E}_A = \bar{E}_B + jX\bar{I}$

$\bar{I}_F = \bar{I} + \bar{I}_B$

$P = P_F = U \cdot I_F$ A növekvő P_F, az E_A és E_B állandó értéken

$Q_B = E_B \cdot I_B$ tartásához az A ...

33.

$P_{F0} = 100\,000$ MVA

$f_0 = 50$ Hz

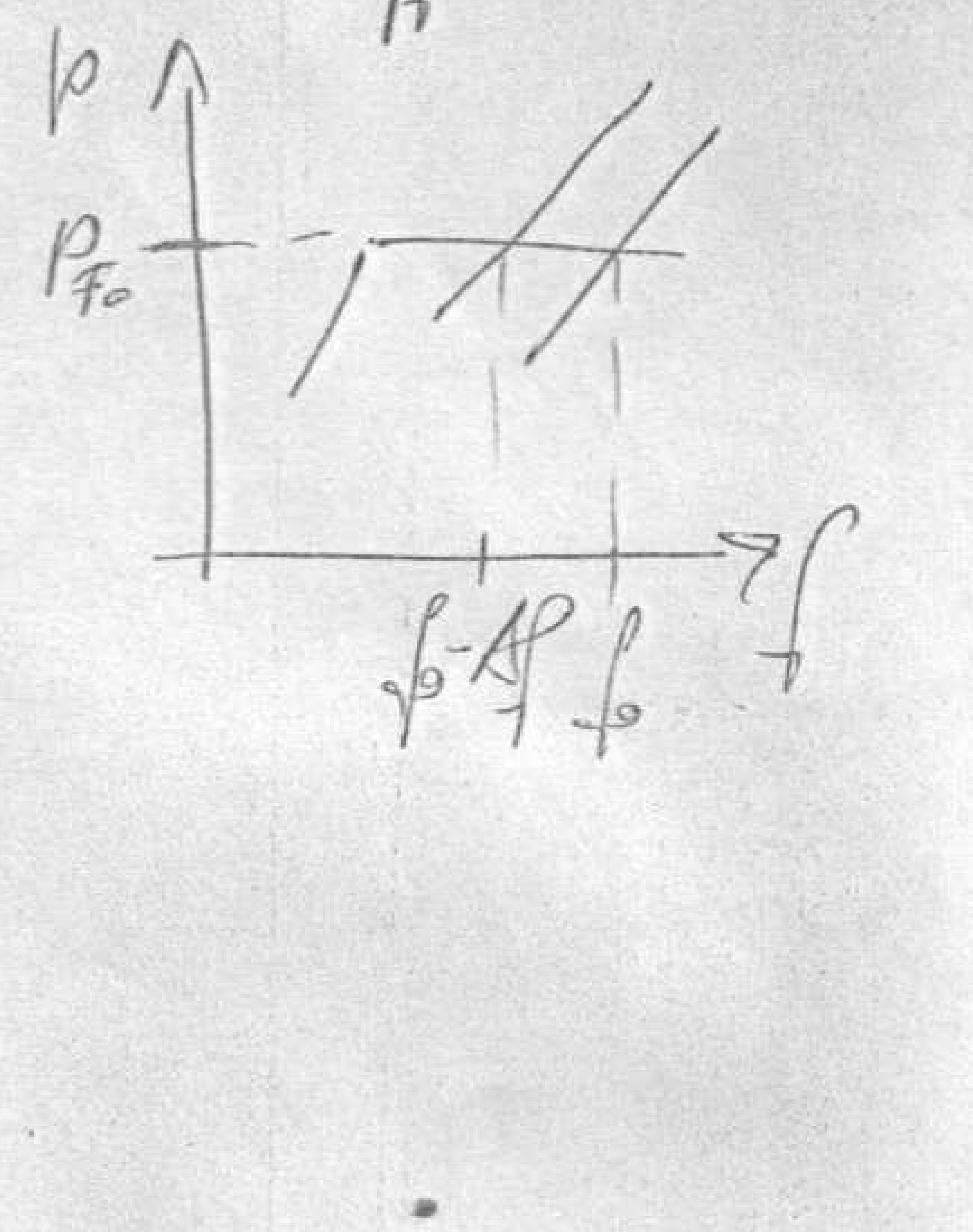
$k_{pf} = 1$

$\Delta P_{F0} = 150$ MW

<u>Ábra</u>: ? $\Delta f = ?$

$P_F = P_{F0} + \Delta P_F = 100\,150$ MVA

$$P_F = P_{F0} + P_{F0}\, k_{pf} \frac{\Delta f}{f_0} \Longrightarrow \Delta f = \frac{\Delta P_{F0}}{P_{F0}\, k_{pf}} f_0 = 0{,}075 \text{ Hz}$$



[34.] Adja meg a villamos energia - rendszerben hirtelen teljesítmény többletnek a rendszer gépei közötti eloszlá lépéseit.

1. $P_{12} = \frac{|U_1||U_2|}{Z_{12}} \sin \delta$ terhelési szögekkel arányos és a transzfo impedanciával fordított arányban oszlik el (10 ms)

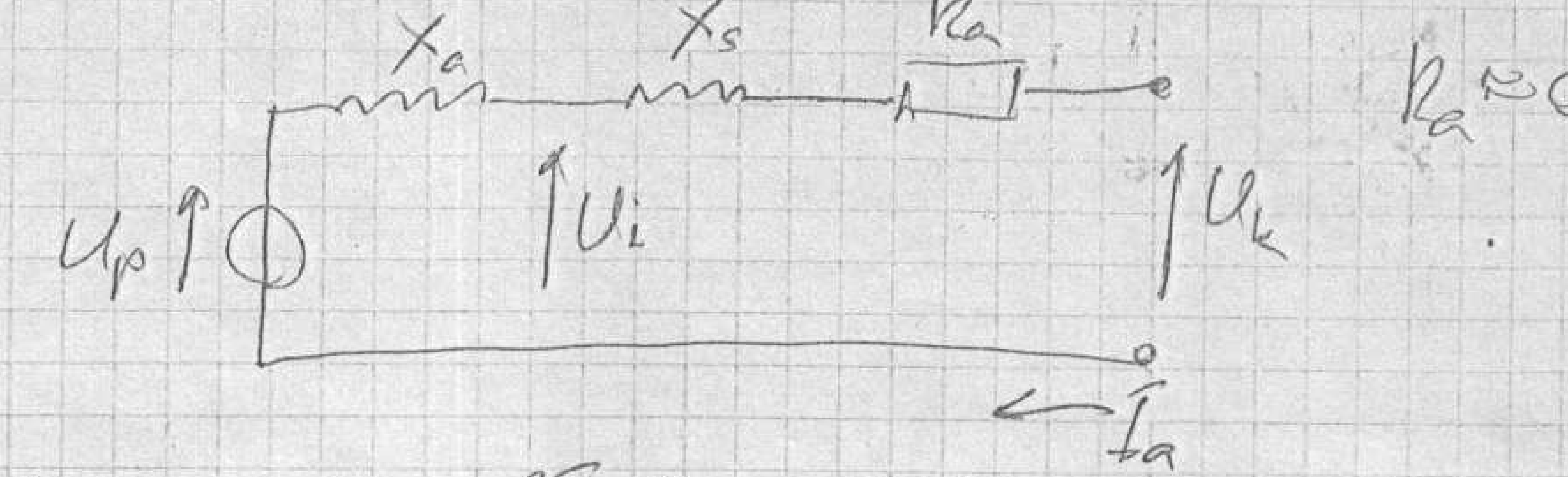
2. $\Delta W_k = -\underbrace{\omega \Theta}_{T} \frac{d\omega}{dt}$ terhelési nyomaték arányában

3. Primer szab. fr. tényezője arányában
$\Delta P = -K_g \cdot \Delta f$

4. Szekunder szabályozás szerint

5. Kereskedelmi szerződések szerint

35.

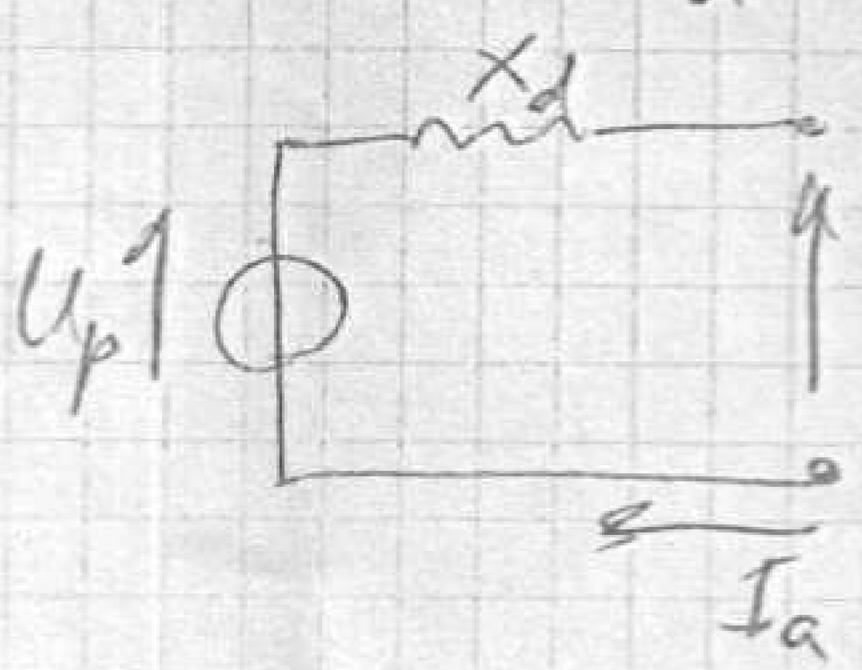


$R_a \approx 0$

pólusfesz: $U_p = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 \xi_1 N_1 \Phi_{(max)}$ → ez „aktív" fesz.forrás

armatúrafesz: $U_a = \frac{2\pi}{\sqrt{2}} f_1 \xi_1 N_1 \Phi_a$ → ez indukált fesz, de fesz.esésként vesszük figyelembe

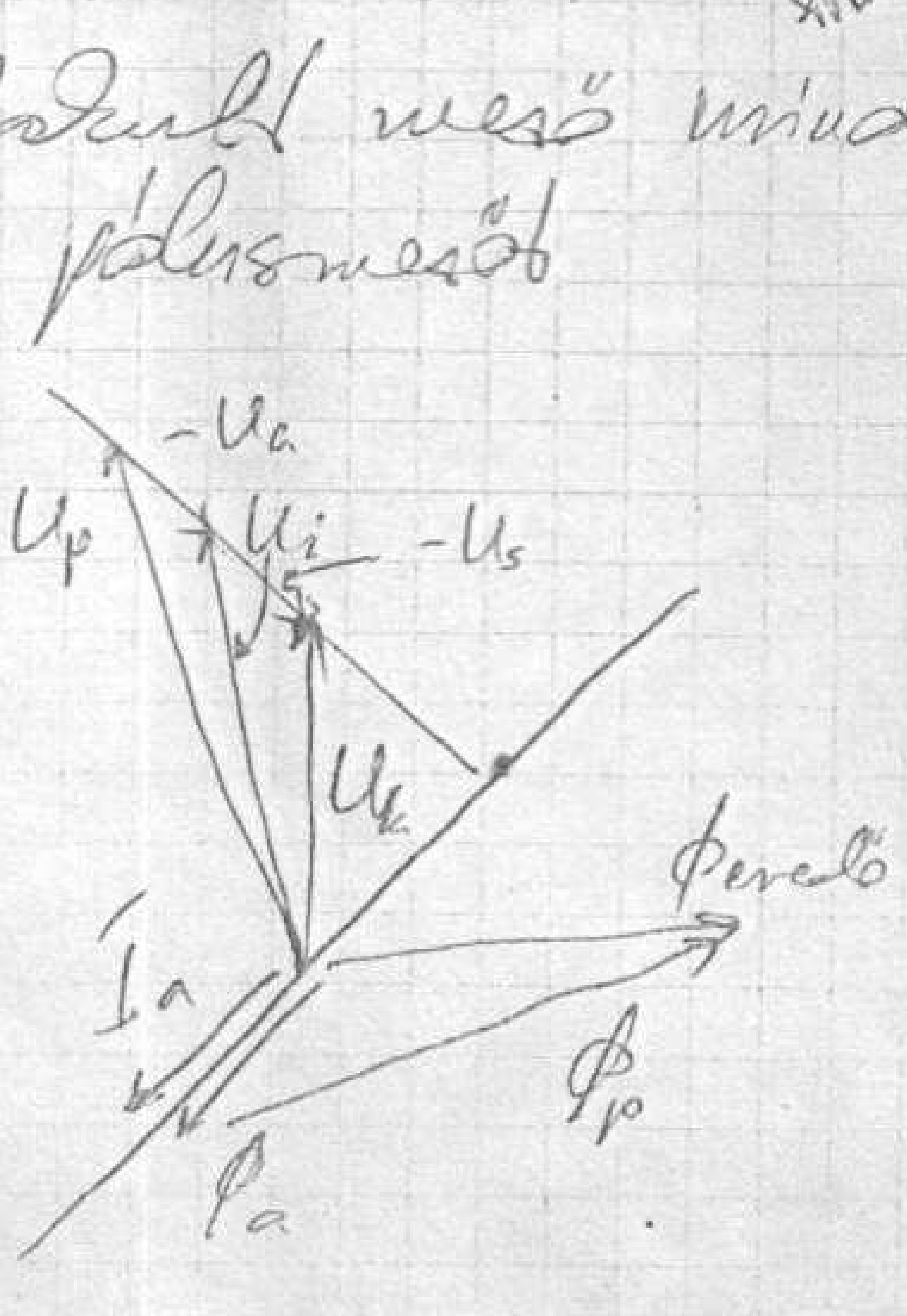
szinkron reaktancia: $X_d = X_a + X_s$



armatúra reakció:

terhelt esetben lép fel, amikor a pólusmezővel ellen ható mágneses mező alakul ki, mivel az armatúrában folyik terhelt áram. Ez a kialakult mező mindenhol hat, és lerontja a pólusmezőt

Fazor:



(36.)

A szinkron gépek általában párhuzamosan vannak kapcsolva a hálózattal. A párhuzamos kapcsolás (szinkronozás) elvégzése előtt meg kell győződni az alábbi feltételek teljesülésérõl:
- azonos frekvencia
- azonos fázissorrend
- azonos fesz.-amplitudó
- megfelelő fázisfeszültség közötti fázisköz zérus

Terhelésfelvétel:

1. Gerjesztőáram növelése:
   - gerjesztőáramot az üresjárási érték fölé növelve meddő teljesítményt szolgáltat (ez a túlgerjesztett gerj.-i állapot)
   - gerjesztőáramot csökkentve meddőt vesz fel
   - a gerjesztőáram vált. hatástalan a hatásos teljesítményre

2. Hajtó- vagy fékezőnyomaték növelése:
   - változik a felvett- vagy leadott vill. telj.
   - ez csak kis (elhanyagolható) mértékben hat a meddő telj.-re
   - a hatásos teljesítményt változtatja.

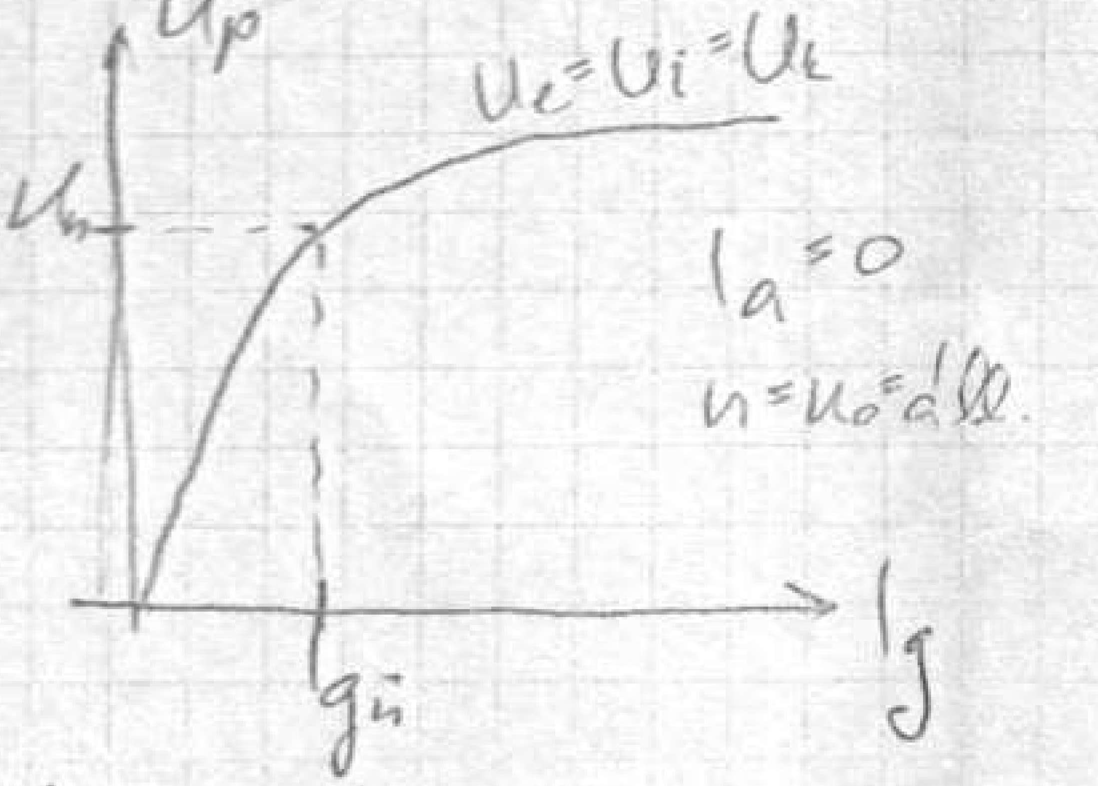
(37)

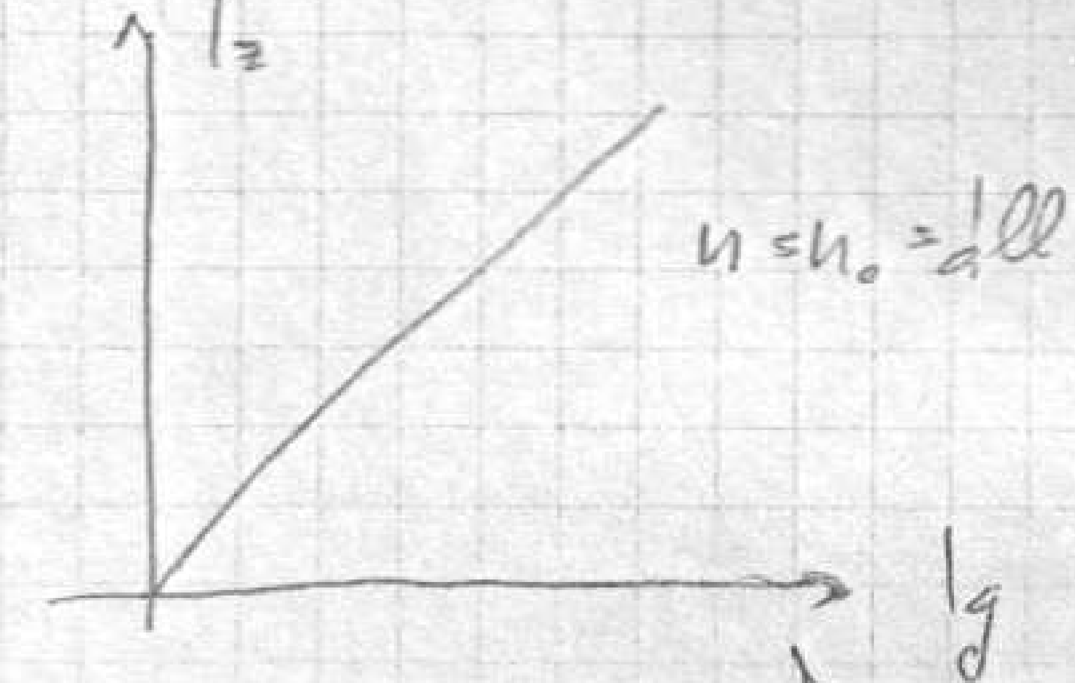
Párh. üzem stabilitása:

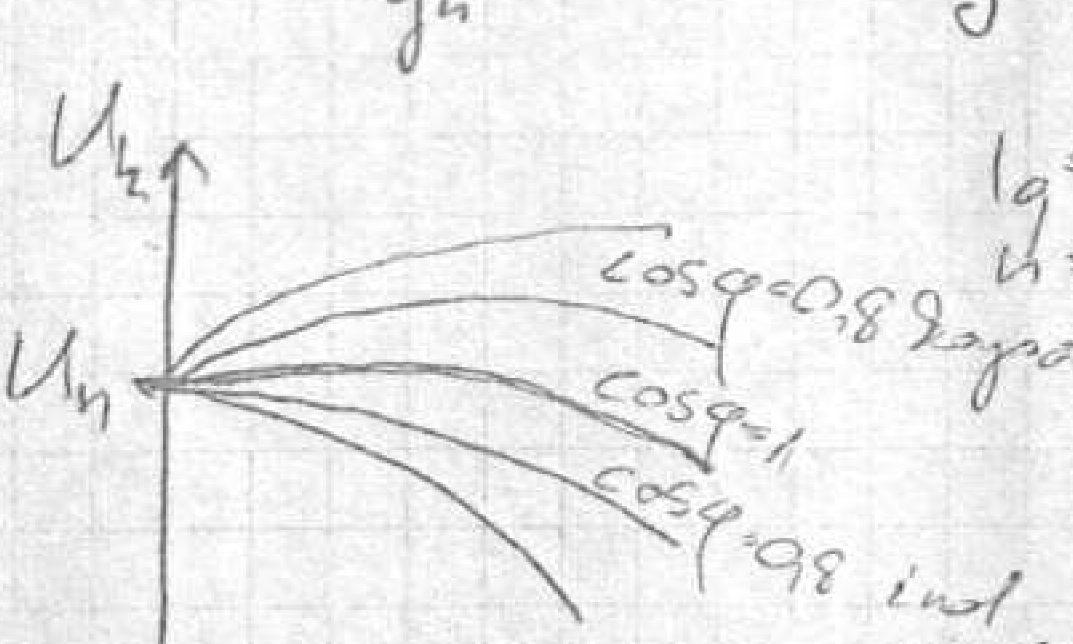
- A munkapont stabilis, ha kis kitérést követően a gép visszatér eredeti állapotába
- A munkapont labilis, ha kis kitérést követően a gép nem tér vissza eredeti állapotába.

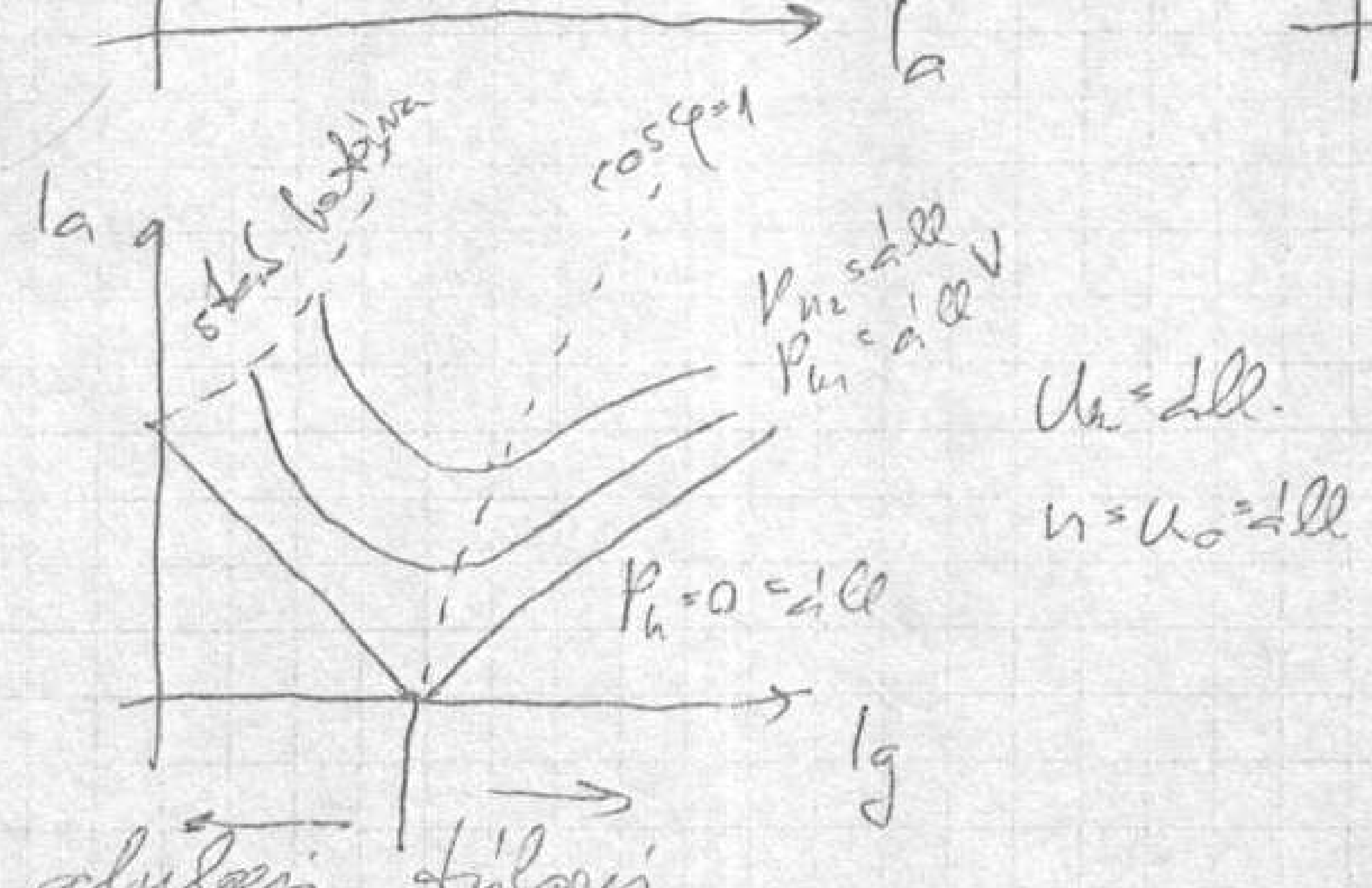
Statikus stabilitás → lassú változások esetén vizsgálju(k)
↳ elvi határa $\beta = \pm 90°$

Dinamikus stabilitás → gyors változások esetén
↳ a szinkron gép ezt jobban „bírja"

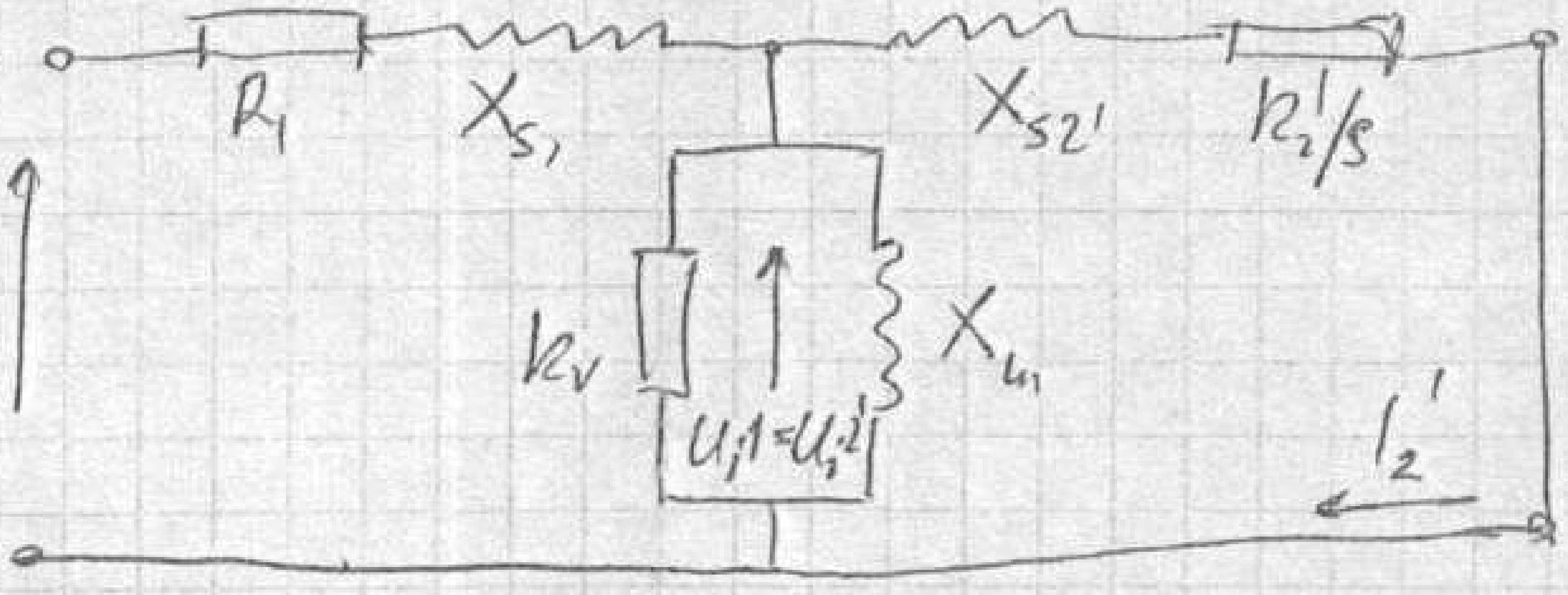








38. Háromfázisú aszinkron gép helyettesítő kapcsolása:



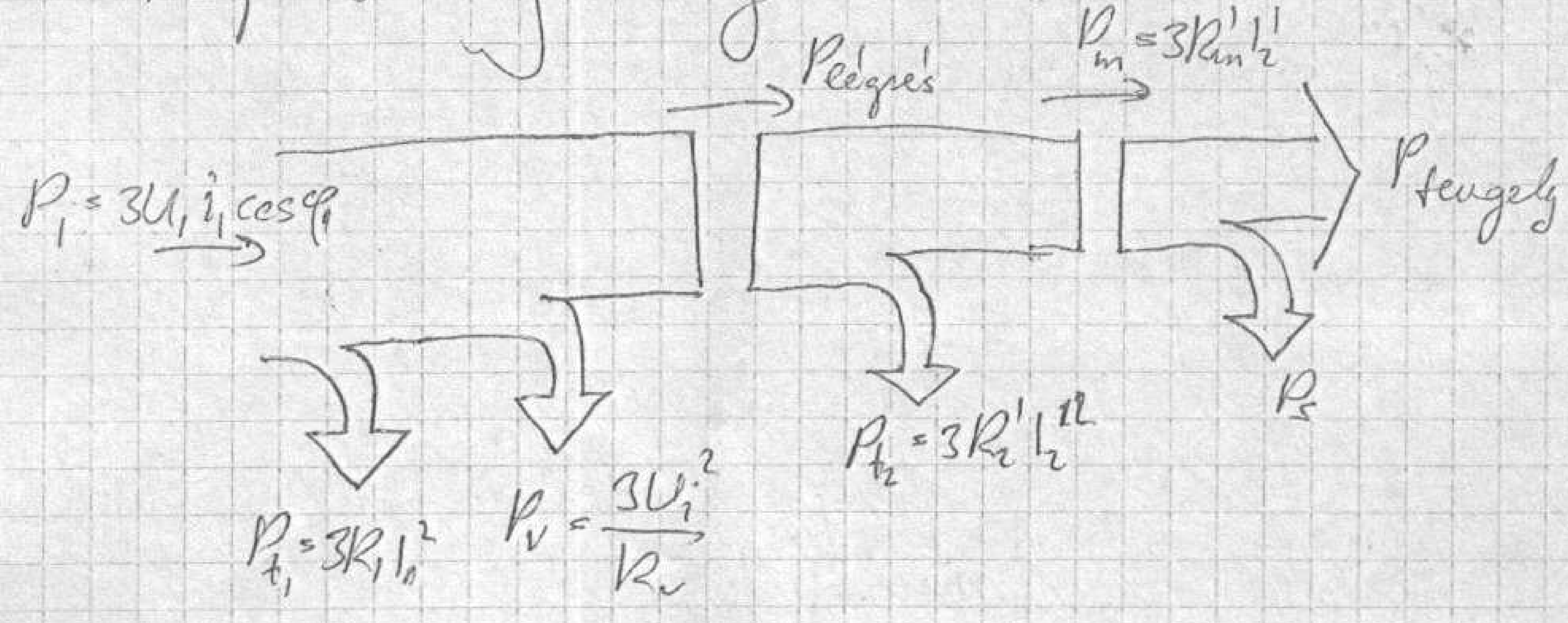
R_2' tekercs-veszteség

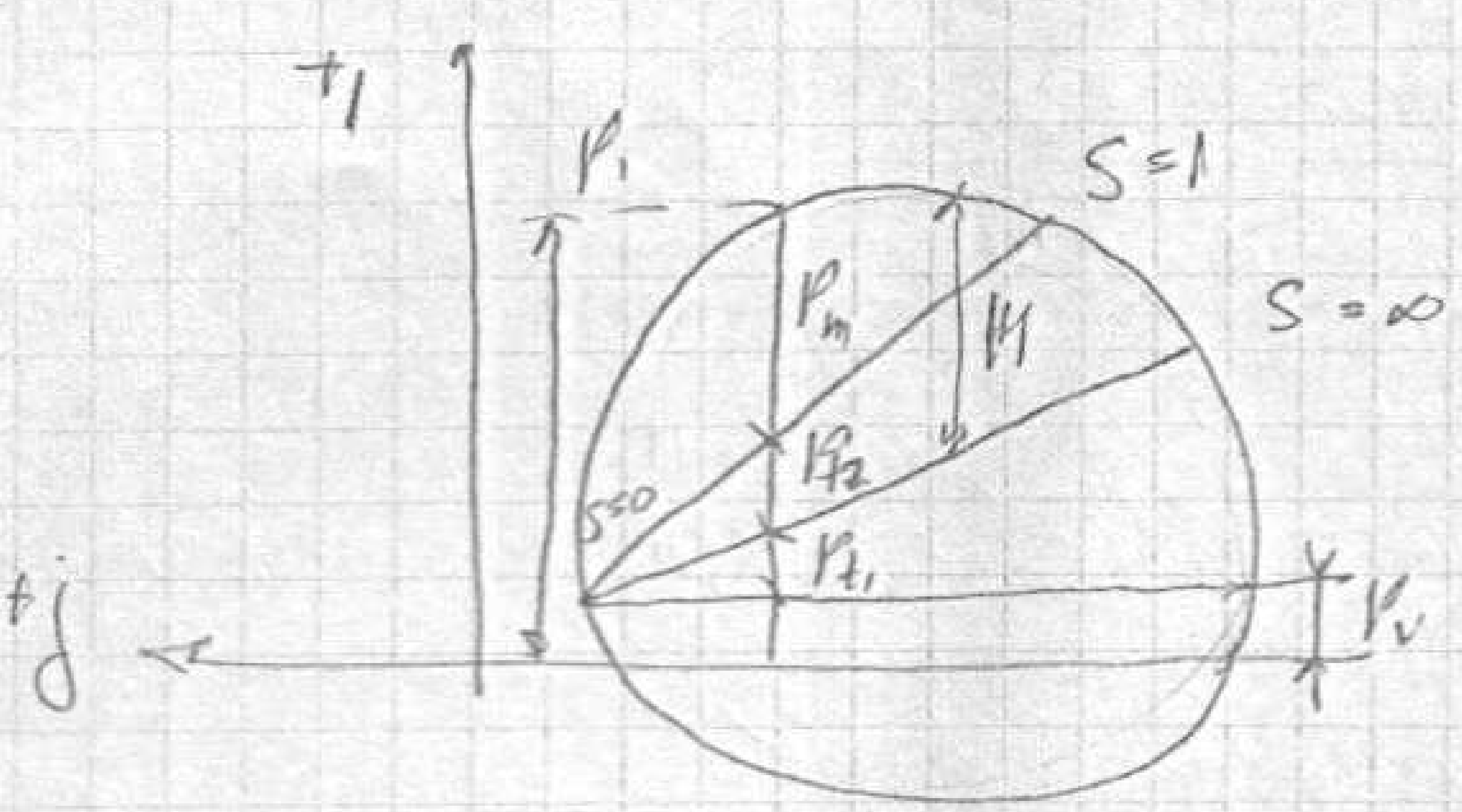
Légrésteljesítmény: a primer oldalról a szekunder oldalra a légrésen keresztül átadott telj.

$$P_l = 3\,\frac{R_2'}{s}\,I_s'^2$$

$$P_m = (1-s)\,P_l$$

(39) Teljesítménymérleg:





40, Nyomaték:

$$M = \frac{P_m}{\Omega} = \frac{(1-s)P_l}{(1-s)\Omega_0} = p\frac{P_l}{\omega_1} = \frac{3}{\Omega_0}\frac{R_2'}{s} I_2'^2$$

Indítás: Az indítási áram nagy, az indítónyomaték kicsi. Indítható közvetlenül, vagy közvetett módon.

Csúszógyűrűs:
forgórészbe ellenállás ⇒ I csökken, M nő

Kalickás:
indításkor csillag, üzemben átkapcsolás deltára ⇒ csökken az indítóáram, de a nyomaték is

- az áramkiszorítás is az ellenállás növekedését eredményezi → indításkor, mert 1 közel, f_1-nél

- mélyhornyú forgórészű szlip
  - indításkor az áramot nagyobb fajlagos ellenállású kalicka vezeti

Fordulatszám szabályozás

$$n = n_1(1-s) = \frac{f_1}{p}(1-s)$$

- f_1 primer fr. vált → félvezetős áramirányító
- szlip változtatás → tekercselt forgór.
- pólusszám vált → pólusszámváltó gép

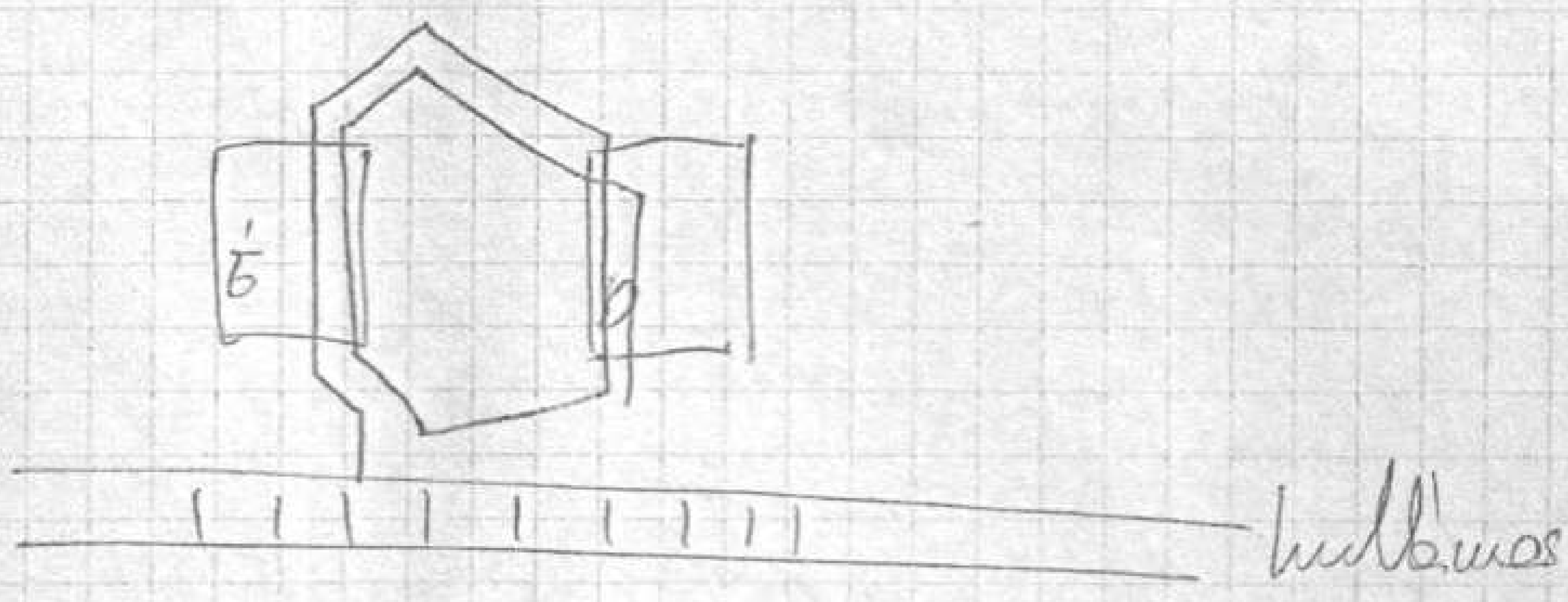
41.

$$U_i = k \cdot \Phi_a \cdot \omega$$

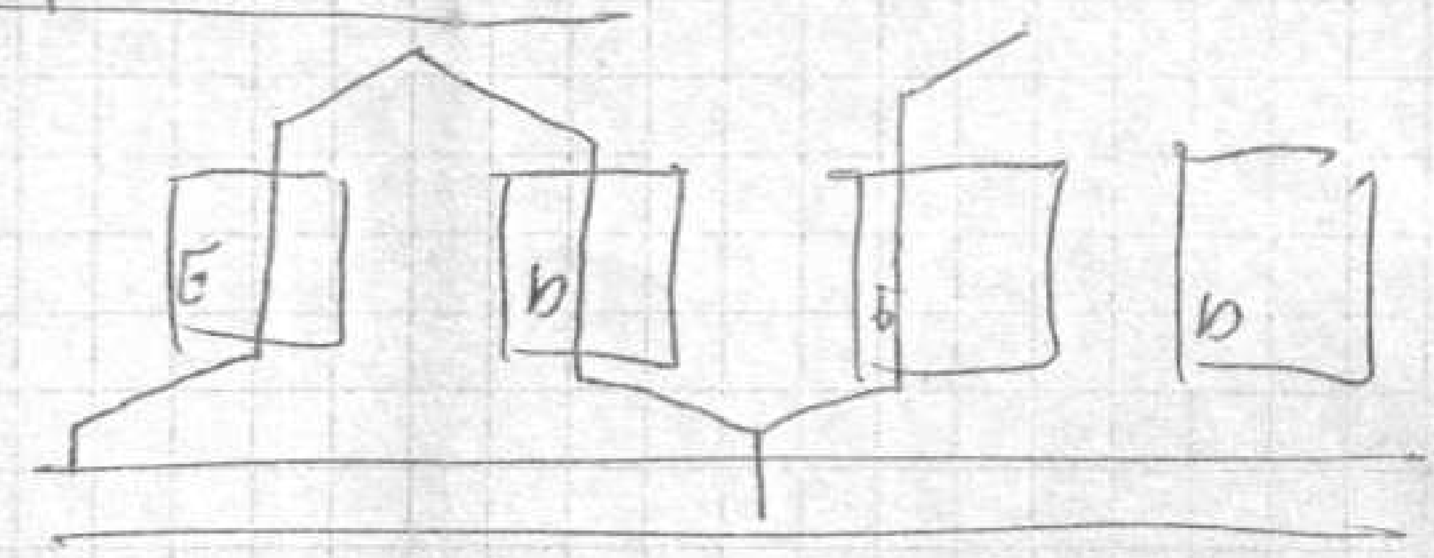
$$M = k \cdot \Phi_a \cdot I_a$$

Tekercselések: Az egyenáramú tekercselések mindig zártak, kommutátoron vannak rendszerint kétrétegesek és általában hurkosak.

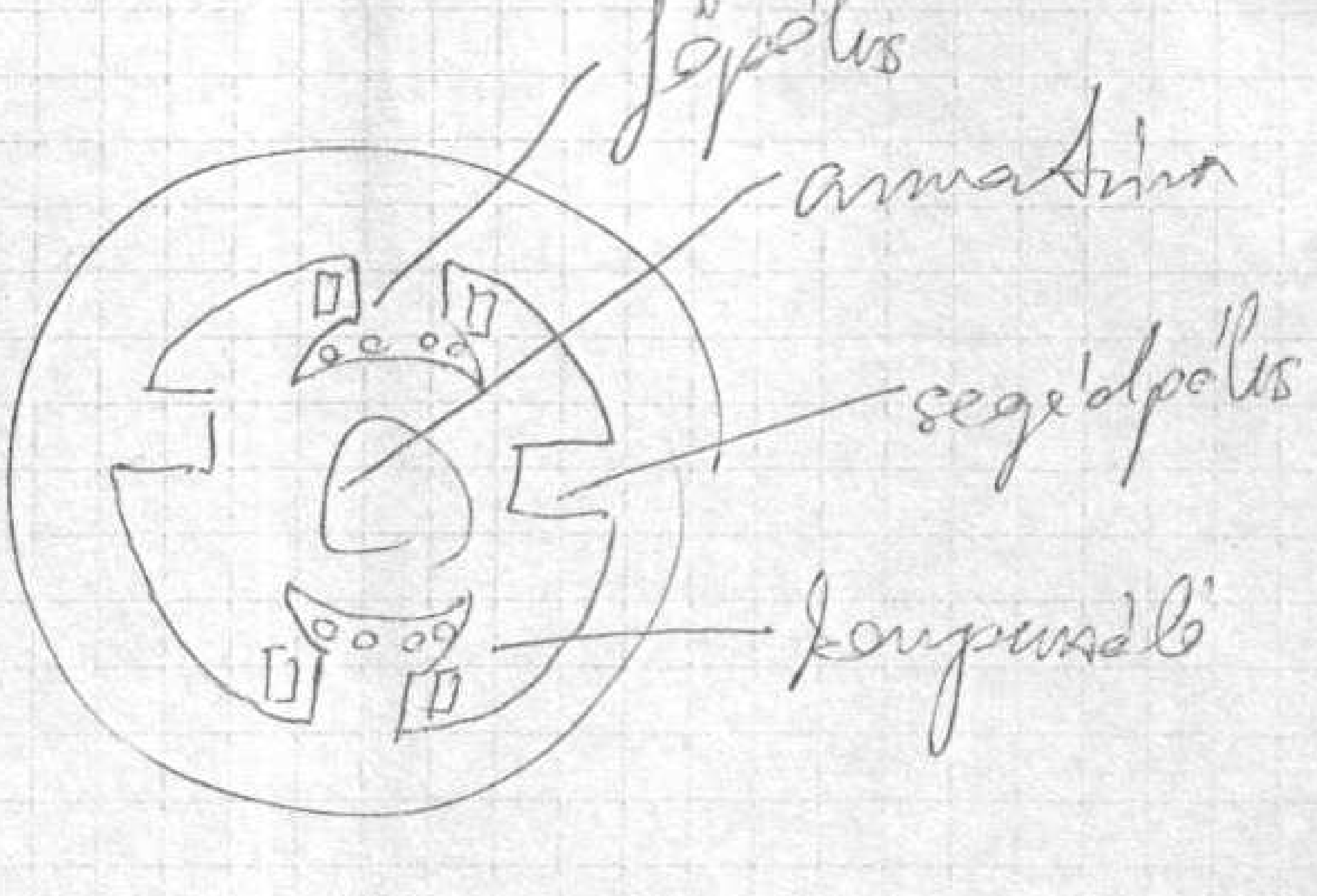
Hurkos tekercselés



Hullámos tekercselés



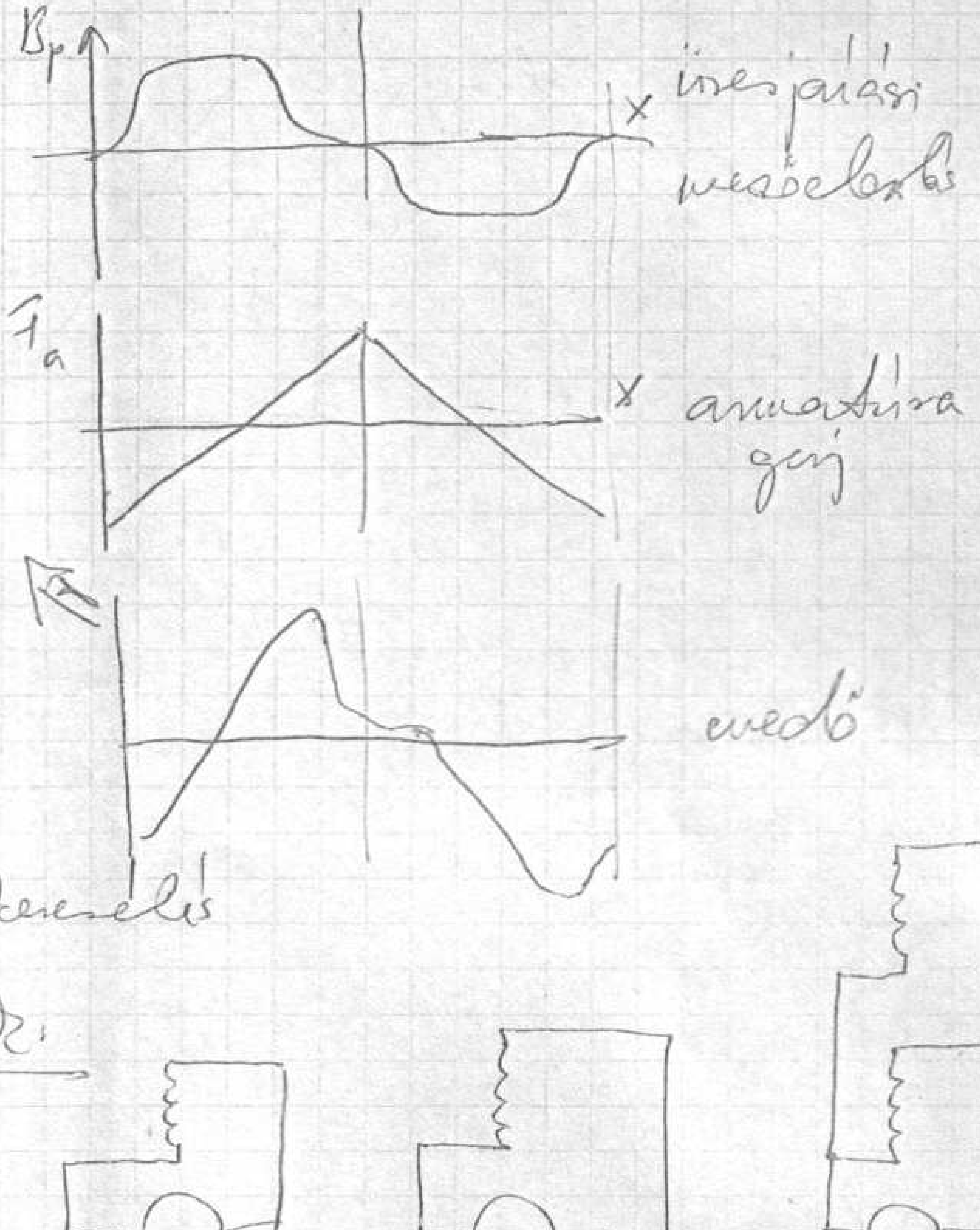
Pólusrendszer



42.

Armatúra-reakció

Az armatúrában folyó terbeli áram megváltoztatja a gép légrésében kialakuló mezőeloszlást: az üresjárási pólusmezőhöz hozzáadódik a terbeli áram által keltett mágneses tér.

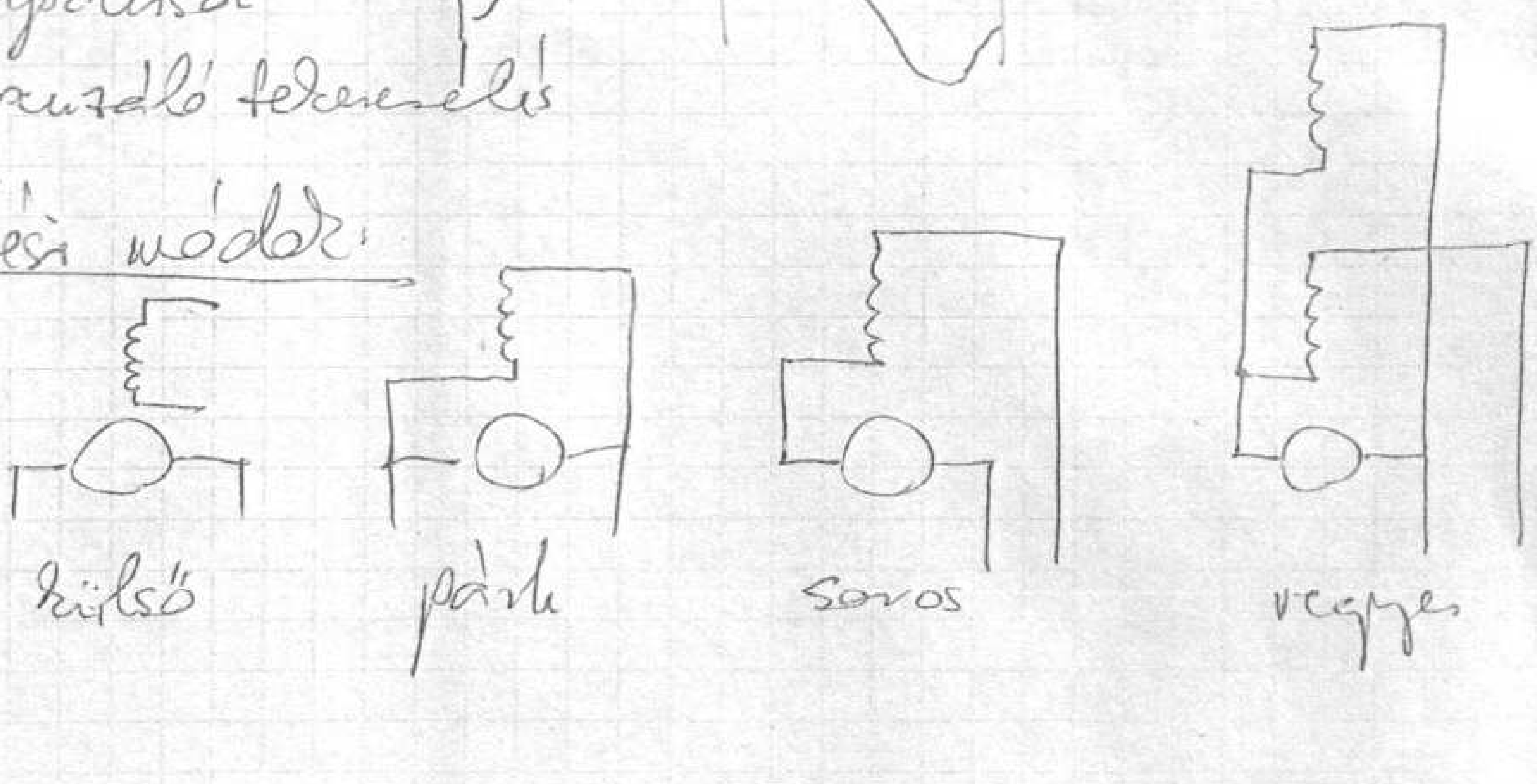


Erősen inhomogén mezőeloszlás

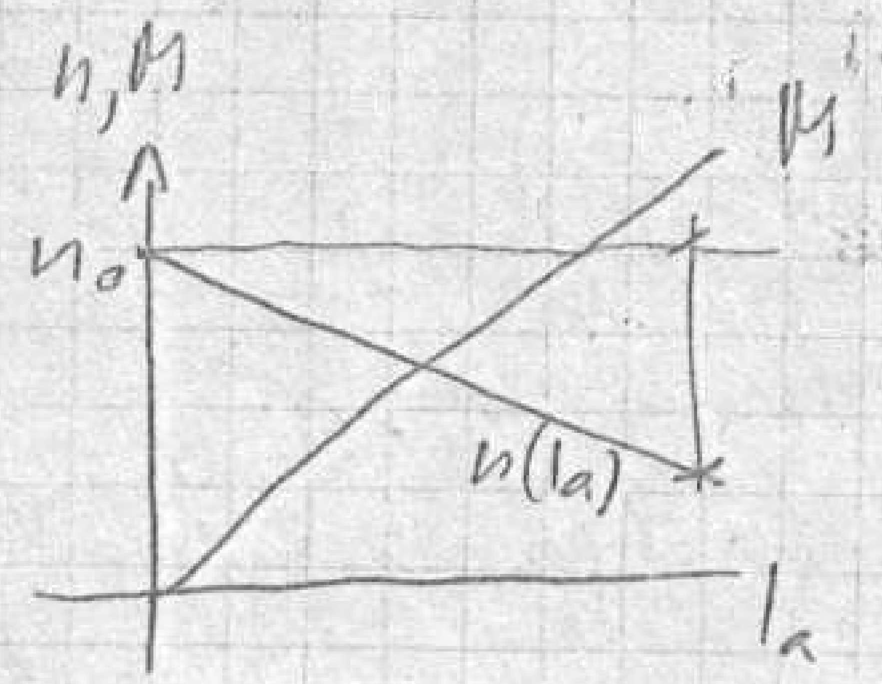
↓

Csökkentés:
- segédpólusok
- kompenzáló tekercselés

Gerjesztési módok:



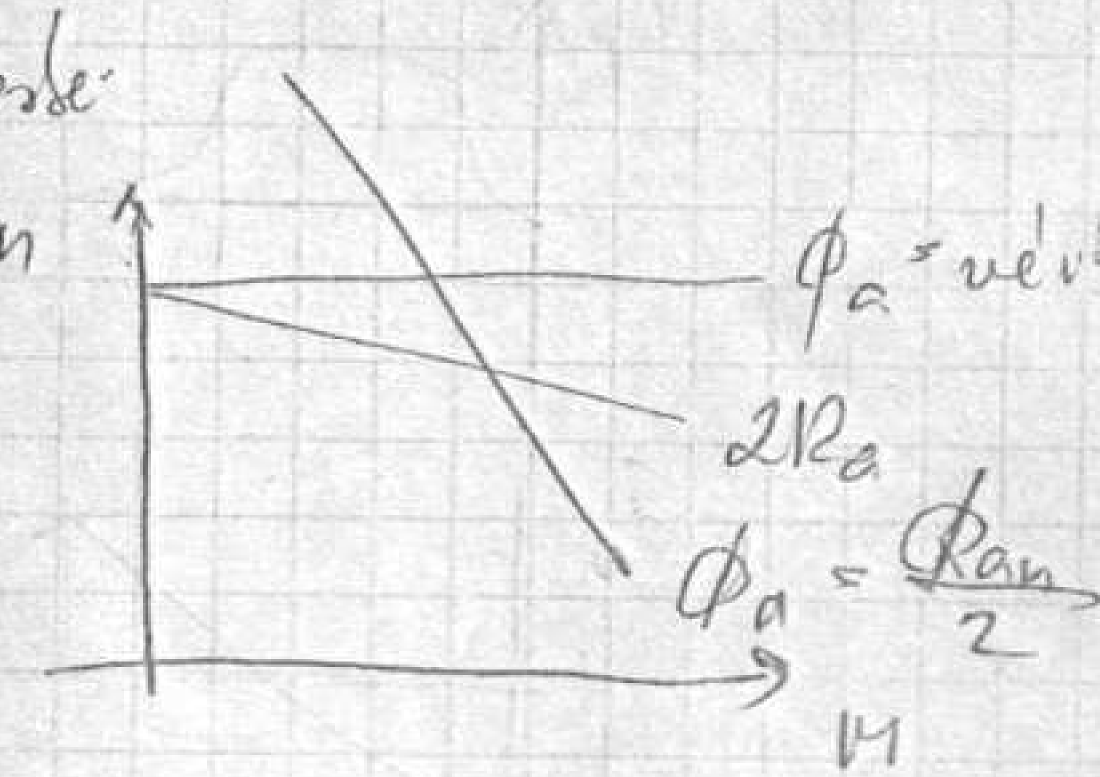
sebességi jelleggörbe:



nyomatéki jelleggörbe

$M = k_m \Phi_a I_a \quad \Phi_a = \text{áll}$

mechanikai jelleggörbe:



indítás
ford. szám vált.
fékezés

Transzformációs mátrix:

$\bar{a} = e^{j120°}$

$$[T] = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix} \qquad [T]^{-1} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix}$$

Fázis ⟷ szimmetrikus:

$$\bar{I}_f = \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} \qquad \bar{I}_s = \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$\bar{I}_s = [T]^{-1} \cdot \bar{I}_f$$

$$\bar{I}_f = [T] \cdot \bar{I}_s$$

Fázis és szimmetrikus impedancia

$$[Z_{ff}] = \begin{bmatrix} Z_{aa} & Z_{ab} & Z_{ac} \\ Z_{ba} & Z_{bb} & Z_{bc} \\ Z_{ca} & Z_{cb} & Z_{cc} \end{bmatrix} \qquad [Z_{ss}] = \begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$$

$$\Delta\bar{U} = [Z] \cdot \bar{I}$$

$$\Delta\bar{U}_f = [Z_{ff}] \cdot \bar{I}_f$$

$$\Delta\bar{U}_s = [Z_{ss}] \cdot \bar{I}_s$$

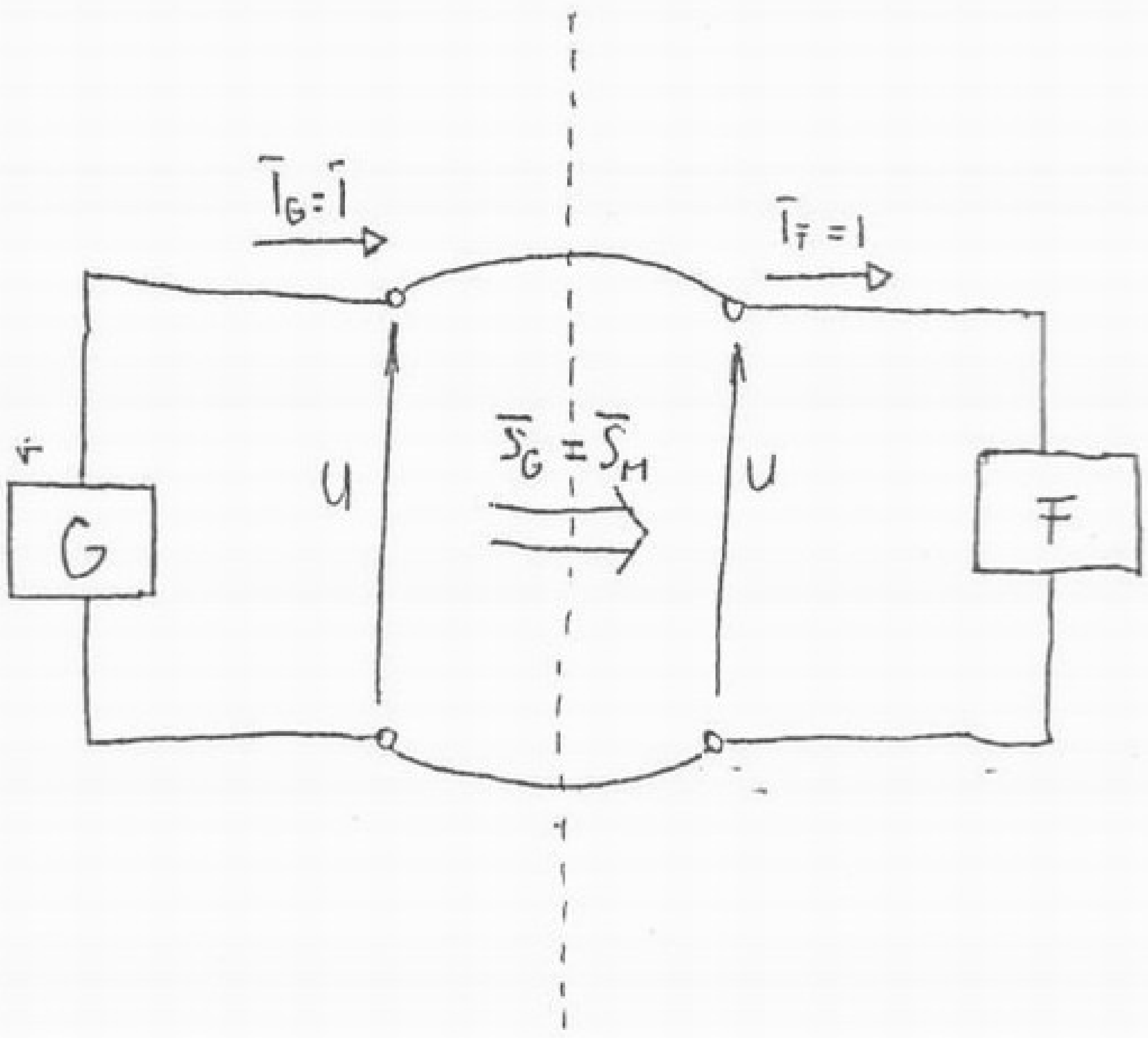
$$\Delta\bar{U}_s = [T]^{-1} \cdot \Delta\bar{U}_f$$

$$\bar{I}_f = [T] \cdot \bar{I}_s$$

$$\Delta\bar{U}_s = [T]^{-1} \cdot [Z_{ff}] \cdot [T] \cdot \bar{I}_s$$

$$[Z_{ss}] = [T]^{-1} \cdot [Z_{ff}] \cdot [T]$$

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



4

1/ $P = \frac{U_1 U_2}{Z_{1,2}} \sin\delta$ (~ ms)

villamos hálózaton, üz elosztás kép.

2/ $T - \omega\Theta$ — T - vel arányosan (gépek inerciájával arányosan)

perdület ($\omega\Theta$)

3/ Primer szabályzó karakterisztikája alapján

(~ perc)

4/ Szekunder szabályzók (~ 5 perc)

5/ Kereskedelmi szerződések

$I_P = I_F$ jelöléssel a B pontba érkező $P = P_F$ teljesítmény a $P = E_B I_P$ módon fejezhető ki.

- az E_A és az E_B közötti δ szög alapján:

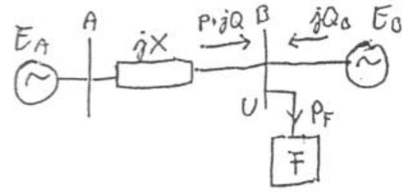
$X I_P = E_A \sin\delta$

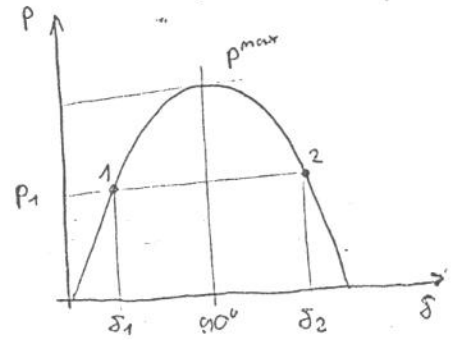
átvitt P teljesítmény δ függvényében: $P = \frac{E_A E_B}{X} \sin\delta$

Állandó feszültségek között átvihető legnagyobb teljesítmény ($\sin\delta = 1$):

$P^{max} = \frac{E_A E_B}{X}$ ekkor $\delta = \delta^{max} = 90°$

Modell és $P(\delta)$ karakterisztika a szinkron stabilitáshoz:



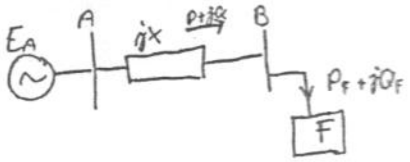


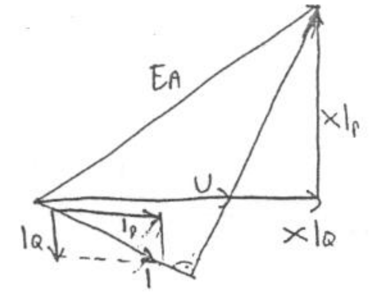
A szinkron kapcsolatban levő források feszültségei (E_A és E_B) közötti szög az átvitt P függvényében növekszik.
Valamely $P = P_1$ átvitelhez azonban két δ szög is tartozik (δ_1, δ_2), de ezek közül csak a kisebbik stabil munkapont.

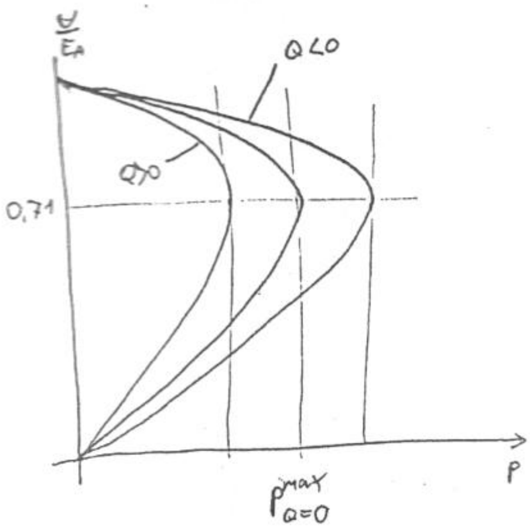
Ha valamilyen kis zavarás hatására a δ_1 munkapontból a $\delta > \delta_1$ irányba mozdulunk el a $P(\delta)$ karakterisztikán, akkor $P > P_1$ lesz az átvitt villamos teljesítmény. Ez a $P > P_{m1}$ az A oldali, esetünkben E_A feszültségű forrás forgását fékezi és ez a δ csökkenéséhez vezet, és a pillanatszerű zavarás megszüntével visszatérünk a kiinduló pontba.

A δ_2-höz tartozó 2. pont nem stabil mert a $\delta > \delta_2$ esetén $P < P_{m1}$ és ez a δ további növekedését okozza, amely az E_A és az E_B közötti szinkronkapcsolat megbomlását idézi elő.

statikus szinkron stabilitás feltétele: $\frac{dP}{d\delta} > 0$ ahol $\frac{dP}{d\delta} = P^{max} \cos\delta$







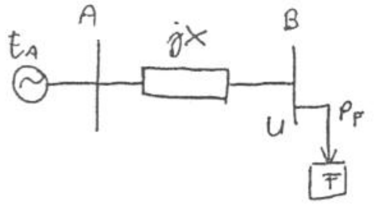
A növekvő P_F (és így növekvő P) az E_A és az E_B állandó értéken tartásához az A és B oldalon egyaránt növekedő Q betáplálást von maga után.

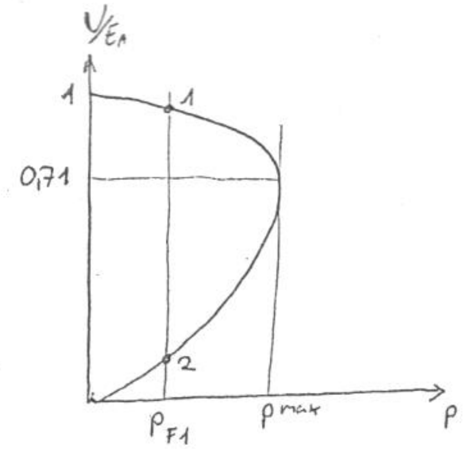
b1)

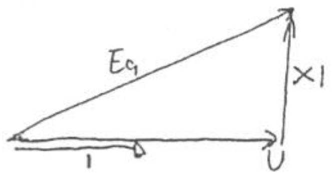
A hálózaton szállítható teljesítmény nem lehet tetszőleges:

Korlátoz: – Hálózati elemek tartósárami terhelhetősége
– feszültségek és átviteli veszteségek elfogadható szinten tartása
– állandósult üzemállapon, mint munkapont kialakulásának lehetősége.

a/







$E_A^2 = U^2 + (XI)^2$ ahol $I = \frac{P}{U}$

$V = U^2$ bevezetésével $\Rightarrow V^2 - E_A^2 V + (XP)^2 = 0$

A B pont U feszültsége:

$U^2 = V = \frac{E_A^2 \pm \sqrt{D}}{2}$ $D = E_A^4 - 4(XP)^2$

P_{F1} teljesítményhez az 1. lesz a munkapont, mert itt teljesül a feszültség stabilitás $\frac{dP}{dU} < 0$ feltétele

– A átvihető legnagyobb P teljesítmény a D=0 értékhez tartozóan:

$P^{max} = \frac{E_A^2}{2X}$

– a $P_F = P^{max}$ határesetben: $U^{min} = \frac{E_A}{\sqrt{2}}$ és $P^{max} = \frac{E_A}{\sqrt{2}X}$

c/ – $E_B = E_A$ esetén az állandó feszültségű pontok között átvihető P^{max} kétszerese a passzív fogyasztóhoz szállítható legnagyobb teljesítménynek, vagyis $P_\delta^{max} = 2P_U^{max}$

Az átvitelnél elegendő stabilitási tartalékot kell hagyni, mert az átviteli út villamos gyengülése (X növekedése) mindig bekövetkezhet.

Modellünkben a B oldali forrás kiesése az $U = E_B$ állandóság megszűnését hozza magával, a továbbiakban az átvitel erősségét a P_U^{max} jellemzi és átviteli tartalék hiányában feszültséginstabilitás állhat elő.

59

Az egyes fogyasztók által felvett, adott időpontra vonatkozó hatásos és meddő teljesítmény csak változatlan feszültség és frekvencia esetén marad állandó.

frekvencia nő $\longrightarrow$ motorok gyorsulnak

fesz. nő $\longrightarrow$ R jellegű fogyasztók teljesítménye négyzetes arányban nő

Pl: párhuzamos R-L elemekből álló fogyasztó.

$$Q_0 = \frac{U_0^2}{2\pi f_0 L} \qquad Q = \frac{U^2}{2\pi f L}$$

$$Q = Q_0 \left(\frac{U}{U_0}\right)^2 \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-1} \implies Q = Q_0 + Q_0\left(k_{qu}\frac{\Delta U}{U_0} + k_{qf}\frac{\Delta f}{f_0}\right)$$

feszültség érzékenységi tényező

frekvencia érzékenységi tényező

$$k_{qu} = \frac{\frac{\Delta Q}{Q_0}}{\frac{\Delta U}{U_0}} \qquad k_{qf} = \frac{\frac{\Delta Q}{Q_0}}{\frac{\Delta f}{f_0}}$$

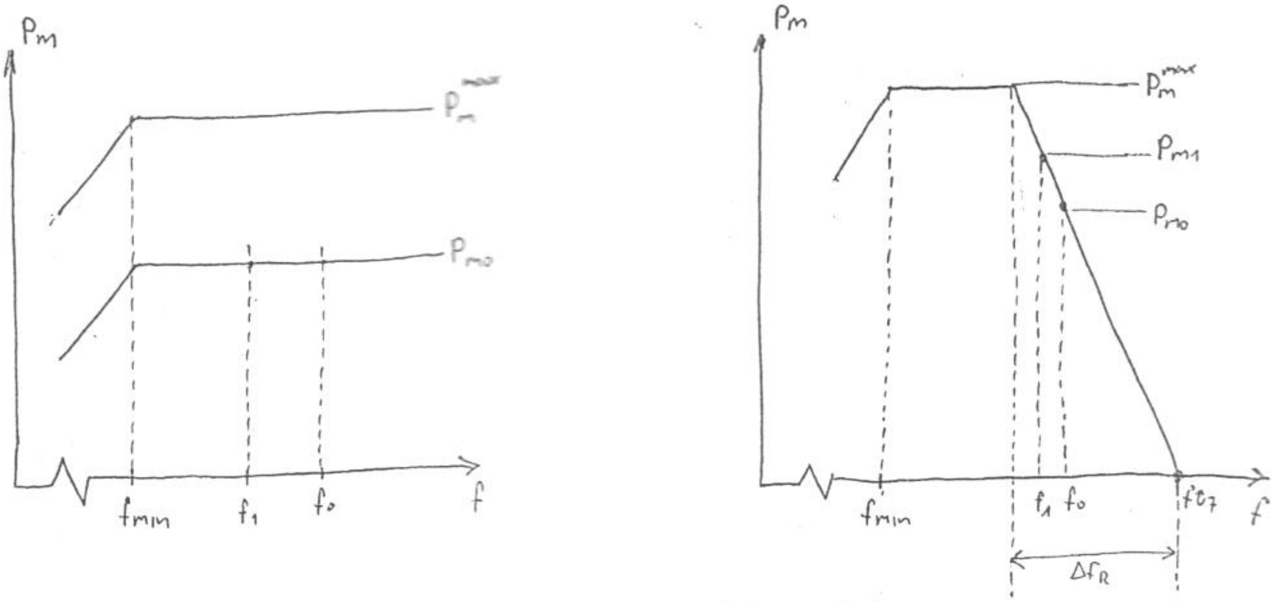
c, Az adott időpontban vételezett fogyasztói teljesítmény fesz.- és frekvencia érzékenysége "munkapont-őrző" jellegű, az U és f változások ellen hat, illetve azokat mérsékli, ezért a rendszer működésére stabilizáló hatást gyakorol (pl. csökkenő frekvencia esetén a felvett P is kisebb lesz, ezáltal csökken a változást okozó teljesítmény hiány)

Az U és f függés a rendszerben P-Q-U-f keresztkapcsolatokat hoz létre (pl: az f csökkenése a Q felvételt növeli, ezért az U csökken, ami a P felvételt is csökkenti és ez visszahat az f-re)

A $\frac{\Delta P}{\Delta f}$ érzékenységnek a teljesítmény egyensúly kialakulásában is fontos szerepe van.

30

a/



b/

Statizmus: A $P_m=0$ értékhez az $f_{ü}$, az ún. üresjárási frekvencia rendelhető és innen a P_m^{max} eléréséig Δf_R frekvenciacsökkenés szükséges. A P(f) karakterisztika átlagos arányossága, az ún. statizmus az

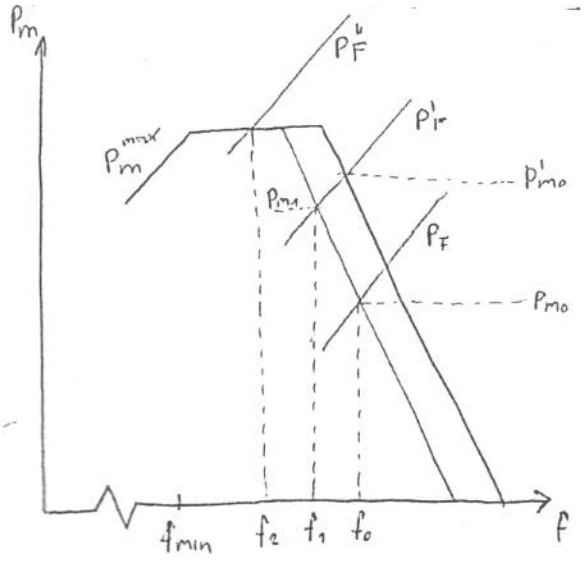
$$R = 100 \frac{\Delta f_R}{f_{névl}} \quad [\%]$$

szerint definiálható.

Meredekség:

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

c/



(28)

a/ Az egyes fogyasztók által felvett, adott időpontra vonatkozó hatásos és meddő teljesítmény, csak változatlan feszültség és frekvencia esetén marad állandó.

frekvencia nő ⟶ motorok gyorsulna

feszültség nő ⟶ R fogyasztó teljesítménye U^2 arányban nő

Pl: [illegible] párhuzamos R-L elemekből álló fiktív fogyasztó

$P_0 = \frac{U_0^2}{R}$ $\quad P = \frac{U^2}{R}$

$U-U_0$ $\quad f-f_0$

$$P = P_0\left(\frac{U}{U_0}\right)^2 \Longrightarrow P = P_0\left(k_{pu}\frac{\Delta U}{U_0} + k_{pf}\frac{\Delta f}{f_0}\right)$$

$$\cancel{P_{F0}} + \Delta P_{F0} + K_f \Delta f = \cancel{P_{F0}}$$

$$\Delta f = -\frac{\Delta P_{F0}}{K_F}$$

fesz. érzékenységi tényező $\quad$ frekvencia érzékenységi tényező

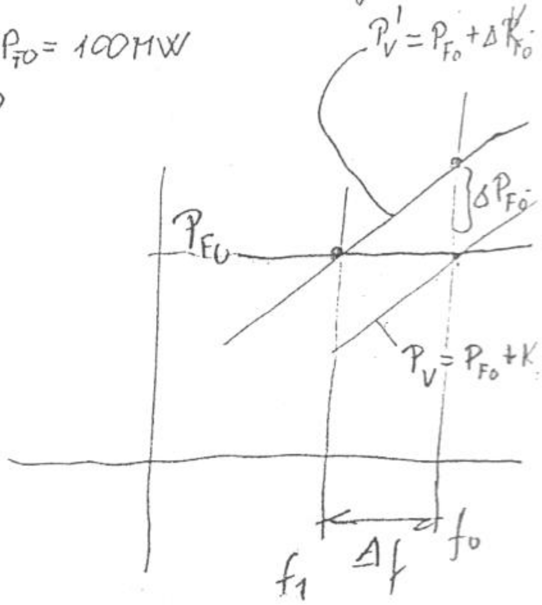
$$k_{pu} = \frac{\frac{\Delta P}{P_0}}{\frac{\Delta U}{U_0}} \qquad k_{pf} = \frac{\frac{\Delta P}{P_0}}{\frac{\Delta f}{f_0}}$$

$\cancel{P_{F0} + K_F \Delta f = P_{F0} + \Delta P_{F0} + K_f}$

P_F

b./

$\Delta f = f_1 - f$



$P_{F0} = 100\,000$ MW $\quad f_0 = 50$ Hz

A fogyasztói összigény 0,1%-al megnő vagyis $\Delta P_{F0} = 100$ MW

A forrásoldalon nem követi szabályozás: $\Delta P_{M0} = 0$

$P'_{F0} = P_{F0} + \Delta P_{F0}$

f_0 frekvenciához: $P_{M0} = P_{F0} + P_{V0}$ $\quad P_M = P_{M0}$

f frekvenciához: $P_M = P'_F + P_V$ $\quad P_V = P_{V0}$

$$P'_F = P_{F0} = P'_{F0} + P'_{F0} k_{pf} \frac{\Delta f}{f_0} \Longrightarrow \Delta f = -\frac{\Delta P_{F0} f_0}{P'_{F0} k_f}$$

ha $k_f = 1$ akkor $\Delta f = -49{,}95$ mHz ami közelítőleg 0,1%-os csökkenés.

A rendszer nagysága nagyban befolyásolja a frekvenciaváltoz

7

Meddőteljesítmény egyensúly

A fogyasztók többsége nemcsak hatásos, hanem meddő teljesítményt is igényel, ezért ezt is elő kell állítani és a fogyasztóhoz eljuttatni.

$$Q_G = Q_F - Q_C + Q_H$$

Q_G: generátor által leadott meddő teljesítmény

Q_F: fogyasztók által felvett meddő teljesítmény

Q_C: helyi meddőforrásokban (kondenzátorokban) előállított meddő teljesítmény

Q_H: a teljes hálózat meddőegyenlegének induktív fogyasztása.

Természetes teljesítmény

Egy távvezeték természetes teljesítménye: $P_{természetes} = \frac{U^2_{fázis}}{Z_0}$

fázisfeszültség

hullámellenállás

Ha a vezetéken éppen a természetes teljesítménnyel egyenlő hatásos teljesítmény áramlik, akkor a teljes vezeték meddő mérlege zérus.

Q_{ind} (fogyasztott) $= Q_{kap}$ (termelt)

$Q_{kap} = \omega C U^2$

$Q_{ind} = \omega L I^2$

Folyamatos feszültségszabályozás:

A feszültség és a meddő teljesítmény szoros kapcsolatban áll egymással. A meddő teljesítmény mindig a magasabb potenciálú helyről az alacsonyabb potenciálú felé áramlik.

$\Downarrow$

a potenciálkülönbség meddő-áramlást eredményez.

Alapvetően feszültségszabályozási és meddő-kompenzációs feladat.

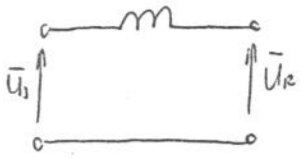
Feszültségszabályozása:

Forrásoldal: generátor

Hálózati oldal: transzformátorokkal és meddő forrásokkal szabályozható

A rendszer feszültségviszonyait alapvetően a generátorokkal állíthatjuk. Másodlagos szabályzókkal csak korrekció végezhető.

3



$$\bar{S}_s = P + jQ_s$$

$$S_R = P + jQ_R$$

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}_s - \bar{U}_R}{jX}$$

$\boxed{\text{referencia: } U_s \quad \bar{U}_s = U_s \quad \bar{U}_R = U_R e^{-j\delta}}$

$$\bar{I}^* = \left(\frac{U_s - U_R e^{-j\delta}}{jX}\right)^* = \frac{U_R \sin\delta}{X} + j\frac{U_s - U_R\cos\delta}{X}$$

$$\bar{S}_s = \bar{U}_s \bar{I}^* = \underbrace{\frac{U_s U_R}{X}\sin\delta}_{P_s} + j\underbrace{\frac{U_s(U_s - U_R\cos\delta)}{X}}_{Q_s}$$

$\boxed{\text{referencia: } U_R \quad \bar{U}_s = U_s e^{j\delta} \quad \bar{U}_R = U_R}$

$$\bar{I}^* = \left(\frac{U_s e^{j\delta} - U_R}{jX}\right)^* = \frac{U_s \sin\delta}{X} + j\frac{U_s\cos\delta - U_R}{X}$$

$$\bar{S}_R = \bar{U}_R \bar{I}^* = \frac{U_s U_R}{X}\sin\delta + j\frac{U_R(U_s\cos\delta - U_R)}{X}$$

$$P_R = \frac{U_s U_R}{X}\sin\delta \qquad Q_R = \frac{U_R(U_s\cos\delta - U_R)}{X}$$

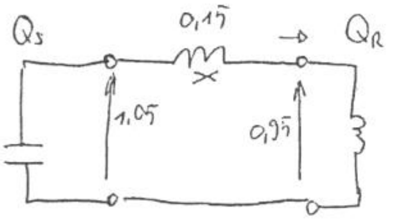
Példa:

$$P_s = P_R = P$$

$$P = \frac{U_s U_R}{X}\sin\delta \implies \delta = \arcsin\frac{PX}{U_s U_R} = 10{,}396$$

$$Q_s = \frac{U_s(U_s - U_R\cos\delta)}{X} = 0{,}8092 \text{ v.e.}$$

$$Q_R = \frac{U_R(U_s\cos\delta - U_R)}{X} = 0{,}524 \text{ v.e.}$$



S: Generátoros rendszer, a generátor 0,8092 v.e kapacitív meddőt szolgáltat

R: Fogyasztó: a fogyasztó 0,524 v.e induktív meddőt vesz fel.

A meddő teljesítmény mindig a kisebb feszültségű oldal felé áramlik.

Dinamikus energetikai egyensúly

$$\boxed{P_G = P_M - T\frac{d\omega}{dt} = P_F + P_V}$$

P_G: a generátor által leadott villamos teljesítmény
P_M: a turbina leadott mechanikai teljesítménye
T: a rendszer forrásoldali összperdülete
ω: a rendszer átlagos körfrekvenciája
P_F: Összfogyasztás
P_V: összveszteség

Látható, hogy ω addig változik, amíg $P_M = P_F + P_V$ be nem következik.

Fiktív rendszerfrekvencia:

Az átlagos rendszerfrekvenciát úgy értelmezzük, hogy átmeneti állapotokban a rendszer egyes pontjain mérhető frekvencia ezen átlagérték körül viszonylag kis amplitúdóval ingadozik. Állandósult állapotban a rendszer a fiktív frekvenciához tart és stabilizálja azt.

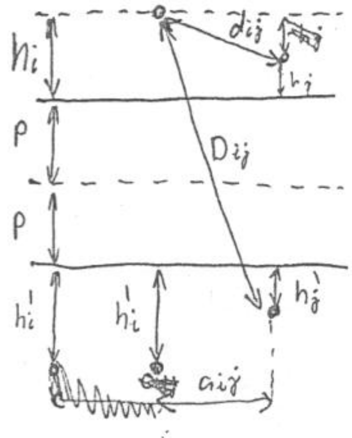
Hatásos teljesítmény szabályozás:

A fogyasztói teljesítmény igény folyamatosan változik, de a véletlenszerű változások a nagy számú fogyasztó miatt kiegyenlítődnek. Az összfogyasztás előre jól megbecsülhető. Azért kell az erőművek hatásos teljesítményét folyamatosan szabályozni, mert a dinamikus energetikai egyensúlyt kifejező összefüggésnek mindig teljesülnie kell.

⇓

A megtermelt energia nem tárolható !!!

3



$$d_{ij} = \sqrt{a_{ij}^2 + (h_i - h_j)^2} = 50{,}99$$

$$D_{ij} = \sqrt{a_{ij}^2 + (h_i + h_j + 2p)^2} = 775{,}94 + j663{,}37$$

$f = 50\,Hz$

$\alpha = \sqrt{\mu_0 \frac{\omega}{\rho}}$ $D_f = \frac{1{,}852}{\alpha}$ $h_i = 15m$ $r^* = re^{-\frac{\mu_r}{4}}$

$\mu_0 = 4\pi\, 10^{-7}$ $p = \frac{1}{\alpha} e^{-j45°} = \frac{1}{\alpha}\left(\frac{\sqrt{2}}{2} - j\frac{\sqrt{2}}{2}\right)$ $h_j = 5m$

$R_f = 0{,}00099\, f$ $\rho = 100\,\Omega m$ $a_{ij} = 50m$

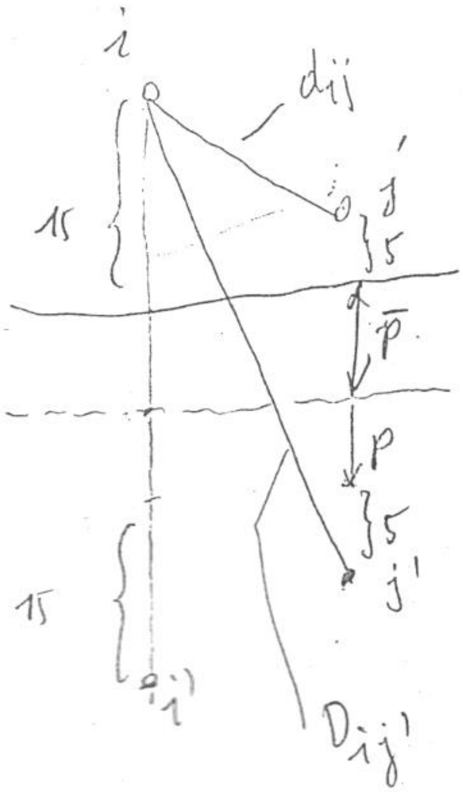
b./ I. $z_{ij} = R_f + j\omega \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-3} \ln \frac{D_f}{d_{ij}}$; $Z_ö = R_f + j\omega\, 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_f}{r^*}$

II. $z_{ij} = j\omega \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-3} \ln \frac{D_{ij}}{d_{ij}}$; $Z_ö = j\omega \cdot 0{,}2 \cdot 10^{-3} \ln\left(\frac{2h_i + 2p}{r^*}\right)$

$R_e = 0{,}00099 f$

$D_e = 654\sqrt{\frac{\rho}{f}}$

=



$R_f = ?$ $\qquad$ $R_f = 0{,}00099 f \quad \Omega/km$

$D_f = ?$ $\qquad$ $D_f = 659\sqrt{\frac{\rho}{f}} \quad m$

f \ ρ	50 Ω	5000 Ω	
50 Hz	0,0495 659	0,0495 6590	Ω/km m
5000 Hz	4,95 65,9	4,95 659	Ω/km m

$h_{max} = 5\%$ $\qquad$ $d_{max} = ?$

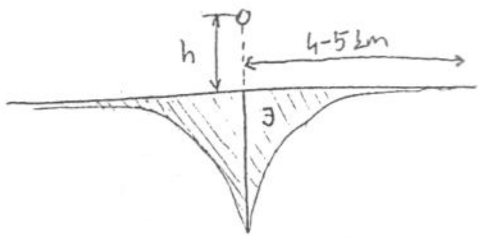
$Z_{kölcsönös} = R_f + j0{,}0029 f \, Lg \frac{D_f}{d_{ab}}$

$\frac{D_f}{d_{max}} < 0{,}135$

$Lg \frac{D_f}{d_{max}} <$

$\boxed{d_{max} \leq 0{,}135 \, D_e}$

Az áramelosztás minőségi képe



A Carson-Clem Helyettesítés értelmezése:

Carson vizsgálatai két elrendezésre vonatkoznak. Az egyik egy vezetőből és a földből alkotott hurok hosszegységenkénti önimpedanciája. A másik pedig egy-egy vezető-föld hurok között fellépő kölcsönös impedancia. Alapvetően végtelen hosszú vezetőből és végtelen térfogatú földből indulunk ki.

1) A fázisvezető-föld hurok impedanciája a föld, valamint a fázisvezető Ohmos ellenállásából és a hurok reaktanciájából tevődik össze.

A vezető-föld hurok önimpedanciája:

$$Z_ö = R_v + 0{,}00099f + j0{,}0029 f \lg \frac{D_e}{r_v^*} \quad [\Omega/km]$$

R_v: a vezető ellenállása $[\Omega/km]$; f: frekvencia ; r_v^*: a vezető redukált sugara [cm]
D_e: a fázisvezető és a földvisszavezetést helyettesítő fiktív vezető távolsága [cm]

$$D_e = 6{,}59\sqrt{\frac{\sigma}{f}} \cdot 10^4 \ [cm]$$

σ: a föld fajlagos ellenállása $[\Omega/m]$

Ha a vezetőnek a föld feletti magassága h, akkor ezt D_e-hez még hozzá kell adni. Mivel ez a gyakorlatban 1% hibát okozhat, nem vesszük figyelembe. Az áram igen nagy százaléka 4-5 km-en belül folyik vissza, ami 50Hz-es hálózati frekvencia esetén is több km^2-es keresztmetszetet jelent. A föld impedanciájának Ohmos része nem függ annak fajlagos ellenállásától, kizárólag a frekvenciától. Ezen impedancia induktív része viszont rossz vezetőképességű talaj esetén nagyobb

2) Két vezető-föld hurok kölcsönös impedanciája:

$$Z_k = 0{,}00099 f + j0{,}0029 f \lg \frac{D_e}{D_{ab}} \left[\frac{\Omega}{km}\right]$$

D_{ab}: a két párhuzamos vezető egymástól mért távolsága

Az egyszerűsített Carson-Clem képlet nem érvényes tetszőleges frekvenciákra, max. 5kHz helyettesíthető be. Tágabb körű vizsgálati esetekben a komplex tükrözési módszer alkalmazható

Példa:

$f = 50Hz$
$\sigma = 50 \frac{\Omega}{m}$
$R_v = 0{,}1 \frac{\Omega}{km}$
$r_v^* = 6{,}59 mm$

$$D_e = 6{,}59\sqrt{\frac{50}{50}} \cdot 10^4 = 65900 cm$$

$$Z_ö = 0{,}1 + 0{,}00099 \cdot 50 + j0{,}0029 \cdot 50 \cdot \lg \frac{65900}{6{,}59 \cdot 10^{-1}} = \underline{\underline{0{,}1495 + 1{,}015j \left[\frac{\Omega}{km}\right]}}$$

$$\Delta \bar{U}_f = [\bar{Z}_{ff}] \cdot \bar{I}_f \qquad \bar{Z}_{ff} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{aa} & \bar{Z}_{ab} & \bar{Z}_{ac} \\ \bar{Z}_{ba} & \bar{Z}_{bb} & \bar{Z}_{bc} \\ \bar{Z}_{ca} & \bar{Z}_{cb} & \bar{Z}_{cc} \end{bmatrix}$$

$$\bar{I}_f = [\bar{T}] \cdot \bar{I}_s \Rightarrow \begin{bmatrix} \bar{I}_a \\ \bar{I}_b \\ \bar{I}_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix}$$

$$\bar{U}_f = [\bar{T}] \cdot \bar{U}_s$$

$\Delta U_f = [\bar{Z}_{ff}] \cdot [\bar{T}] \bar{I}_s$, ahol $[\bar{Z}_{ff}] \cdot [\bar{T}] = [\bar{Z}_{fs}]$ (fázis-sorrendi)

$$\Downarrow$$

$$[\bar{Z}_{fs}] = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{a0} & \bar{Z}_{a1} & \bar{Z}_{a2} \\ \bar{Z}_{b0} & \bar{Z}_{b1} & \bar{Z}_{b2} \\ \bar{Z}_{c0} & \bar{Z}_{c1} & Z_{c2} \end{bmatrix}$$

$\Delta \bar{U}_s = [\bar{T}]^{-1} \cdot \bar{U}_f = [\bar{T}]^{-1} \cdot [\bar{Z}_{ff}] \cdot [\bar{T}] \cdot \bar{I}_s$, ahol $[\bar{T}]^{-1} \cdot [Z_{ff}] \cdot [\bar{T}] = [\bar{Z}_{ss}] \Rightarrow \Delta \bar{U}_s = [\bar{Z}_{ss}] \cdot \bar{I}_s$

$$\Delta \bar{U}_s = \begin{bmatrix} \bar{U}_0 \\ \bar{U}_1 \\ \bar{U}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{Z}_{00} & \bar{Z}_{01} & Z_{02} \\ \bar{Z}_{10} & \bar{Z}_{11} & Z_{12} \\ \bar{Z}_{20} & \bar{Z}_{21} & Z_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{I}_0 \\ \bar{I}_1 \\ \bar{I}_2 \end{bmatrix}$$

<u>teljes szimmetria:</u>

$Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc} = Z_ö$ (fázis-föld hurkok önimpedanciája)

$Z_{ab} = Z_{ba} = \ldots = Z_{ca} = Z_k$ (kölcsönös impedancia)

$$[\bar{Z}_{ff}] = \begin{bmatrix} \bar{Z}_ö & \bar{Z}_k & \bar{Z}_k \\ \bar{Z}_k & \bar{Z}_ö & \bar{Z}_k \\ \bar{Z}_k & \bar{Z}_k & \bar{Z}_ö \end{bmatrix}$$

pozitív, negatív: $U = Z_ö \overset{1}{I_a} + Z_k \overset{1a^2}{I_b} + Z_k \overset{1a}{I_c} = Z_ö I_a + Z_k \overbrace{(I_b + I_c)}^{-I_a}$

$Z = \frac{U}{I_a} = Z_ö - Z_k$

zérus: $U = Z_ö \overset{1}{I_a} + Z_k \overset{1}{I_b} + Z_k \overset{1}{I_c}$

$Z = \frac{U}{I_a} = Z_ö + 2Z_k$

- pozitív és negatív sorrendű impedancia: $Z = Z_ö - Z_k = (0{,}15 + j0{,}6) - (0{,}05 + j0{,}3) = 0{,}1 + j0{,}3 \ \frac{\Omega}{km}$

- zérus sorrendű impedancia: $Z = Z_ö + 2Z_k = 0{,}25 + j1{,}2 \ \frac{\Omega}{km}$

8.)

$X_{aa} = X_{bb} = X_{cc} = X_ö$

$X_{ab} = X_{bc} = X$

$X_{ac} = X + \Delta X$

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

$$\begin{bmatrix} X_ö & X & X+\Delta X \\ X & X_ö & X \\ X+\Delta X & X & X_ö \end{bmatrix} \qquad T = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \qquad T^{-1} = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$X_{ss} = T^{-1} X_{ff} T$$

$$X_{fs} = X_{ff}T = \begin{bmatrix} X_ö & X & X+\Delta X \\ X & X_ö & X \\ X+\Delta X & X & X_ö \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{a0} & X_{a1} & X_{a2} \\ X_{b0} & X_{b1} & X_{b2} \\ X_{c0} & X_{c1} & X_{c2} \end{bmatrix}$$

$X_{a1} = X_ö + a^2X + a(X+\Delta X)$

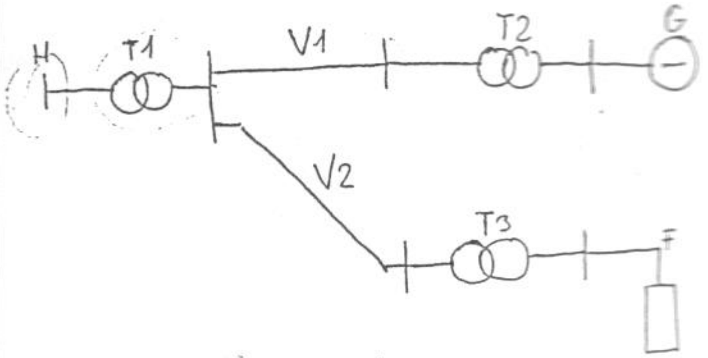
$X_{b1} = X + a^2 X_ö + aX$

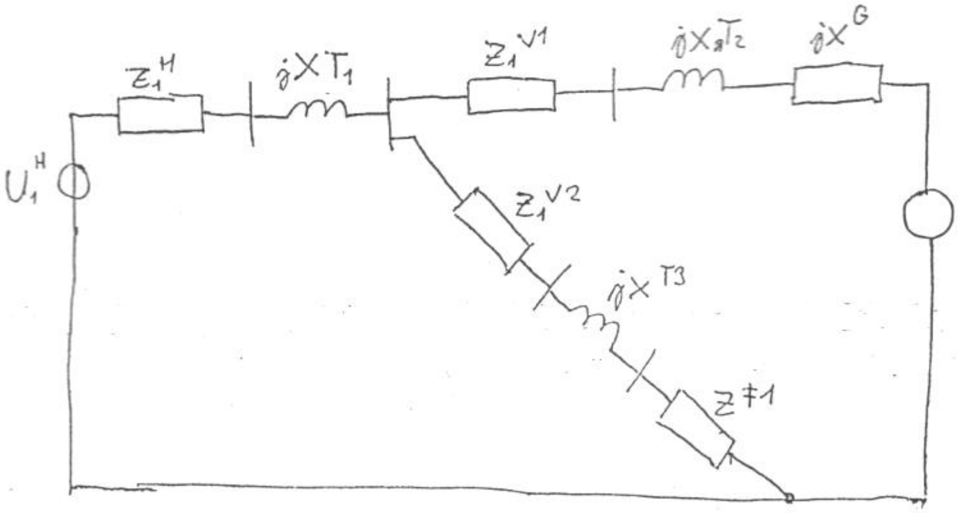
$X_{c1} = X + \Delta X + a^2 X + aX_ö$

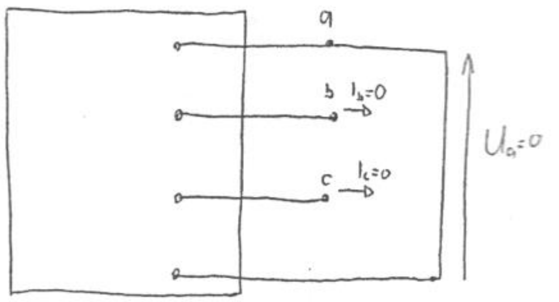
b.) X_{11}, X_{22} eleme X_{ss}-nek $\Rightarrow X_{ss} = T^{-1}X_{ff}T$ -t kell meghatározni

c.) 0-tól különbözőek (asszimmetrikus) (Akkor ha az önimpedanciák ugyanakkorák volnának 0 - lenne)

$$X_2 = X_{11} = \frac{\Delta U_1}{I_1} = \frac{\frac{1}{3}(\overset{X_{a1}I_1}{\Delta U_{a1}} + a\overset{X_{b1}I_1}{\Delta U_{b1}} + a^2\Delta U_{c1})}{I_1} = \frac{1}{3}(X_{a1} + aX_{b1} + a^2X_{c1})$$


H
T1
V1
T2
G
V2
T3
F


Z_1^H
jXT_1
Z_1^{V1}
jX_aT_2
jX^G
U_1^H
Z_1^{V2}
jX^{T3}
Z^{F1}



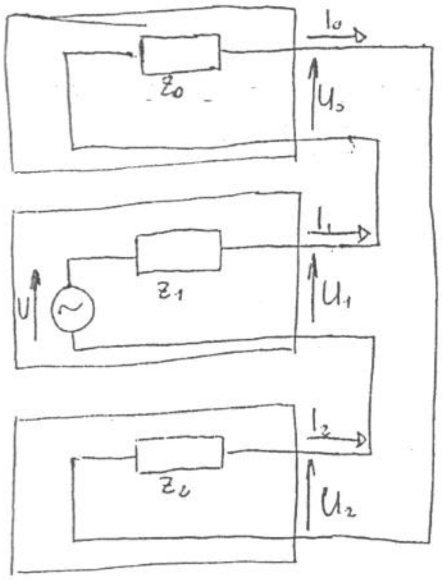
① A hibahelyi fázisegyenletek felírása

$U_a = 0 \qquad I_b = 0 \qquad I_c = 0$

② Transzformálás szimmetrikus összetevőkre

$$I_s = T^{-1} I_f = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} I_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{I_a}{3}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

③ Az összetevő hálózatok összekapcsolása



④ Feszültség- és áramelosztás szimmetrikus összetevőkkel

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

$U_0 = -I_0 Z_0 \qquad U_1 = U - Z I_1$

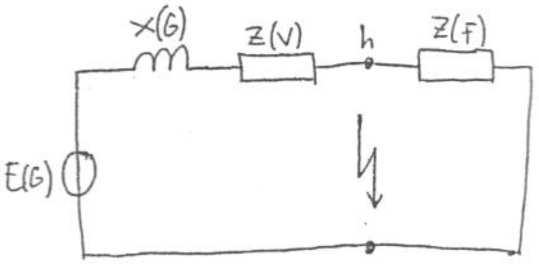
$U_2 = -I_0 Z_2$

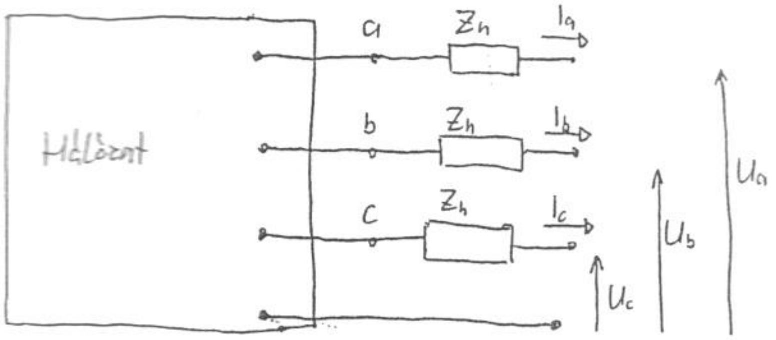
⑤ Inverz transzformáció fázismennyiségekre

$I_f = T I_s$

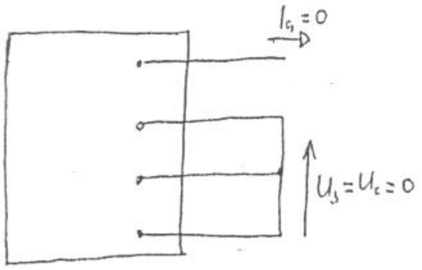
5

Általános zárlatszámítási modell és lépései:





1, A hibahelyi fázisegyenlet felírása
2, Transzformálás szimmetrikus összetevőkre
3, Az összetevő hálózatok összekapcsolása
4, Feszültség- és árameloszlás szimmetrikus összetevőkkel
5, Inverz transzformáció fázismennyiségekre.



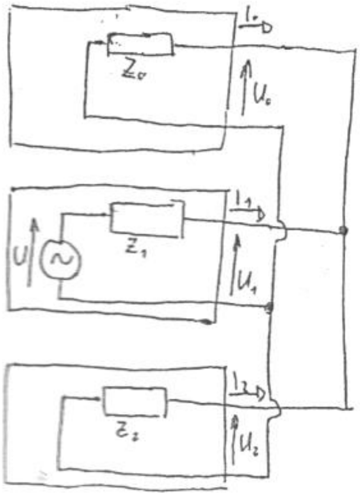
1 A hibahelyi fázisegyenletek felírása:

$I_a = 0 \quad U_b = 0 \quad U_c = 0$

2 Transzformálás szimmetrikus összetevőkre

$$U_s = T^{-1} U_f = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}\begin{bmatrix} U_a \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = \frac{U_a}{3}\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \\ 1 \end{bmatrix}$$

3 Az összetevő hálózatok összekapcsolása



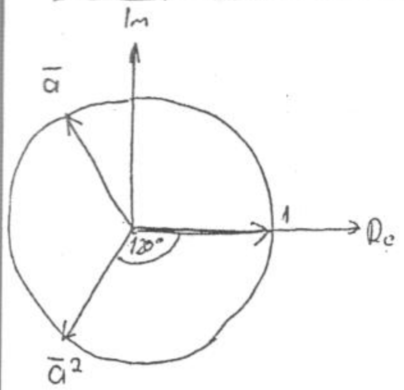
4 Feszültség és árameloszlás szimmetrikus összetevőkkel

$$I_1 = \frac{U}{Z_1 + \frac{Z_0 Z_2}{Z_0 + Z_2}} \qquad I_0 = -I_1 \frac{Z_2}{Z_0 + Z_2} \qquad I_2 = -I_1 \frac{Z_0}{Z_2 +}$$

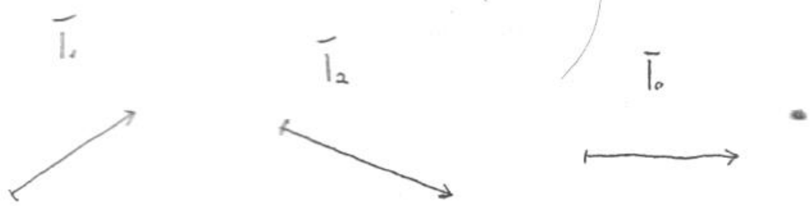
5 Inverz transzformáció fázismennyiségekre

$I_f = T I_E$

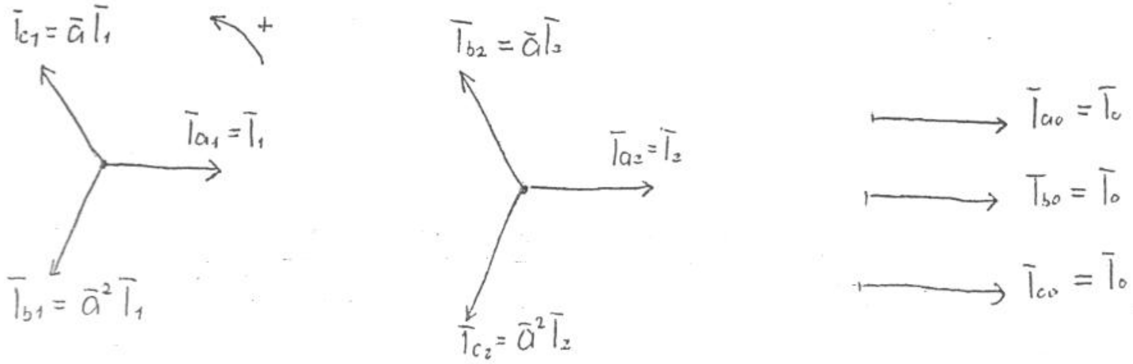
Pozitív, negatív és zérus sorrendű összetevők által képviselt fázismennyiségek



forgó operátor



pozitív negatív zérus



pozitív negatív zérus

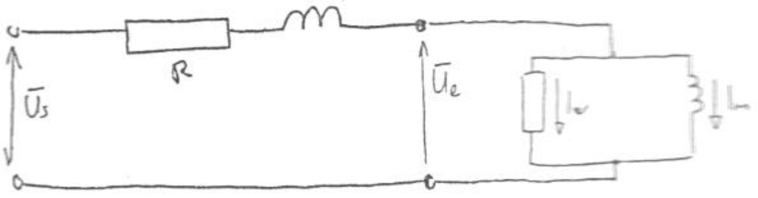
(+, −, ∅) összetevők által képviselt fázismennyiségek

Adott áramrendszer pozitív, negatív és zérus sorrendű összetevőinek fazora

$$\bar{I}_f = \begin{bmatrix} 100e^{j90°} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} [A] \qquad \bar{I}_s = \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \end{bmatrix}\begin{bmatrix} 100e^{j90°} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}[A] = \begin{bmatrix} 33{,}3\,e^{j90°} \\ 33{,}3\,e^{j90°} \\ 33{,}3\,e^{j90°} \end{bmatrix}[A]$$

Adott a szimmetrikus feszültségrendszer fázisfeszültségei

$$\bar{U}_s = \begin{bmatrix} -100 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix}[V] \qquad \bar{U}_f = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & \bar{a}^2 & \bar{a} \\ 1 & \bar{a} & \bar{a}^2 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} -100 \\ 100 \\ 0 \end{bmatrix}[V] = \begin{bmatrix} 0 \\ -100 + 100e^{j240°} \\ -100 + 100e^{j120°} \end{bmatrix}[V]$$



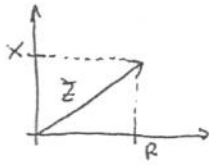
$\bar{I} = Ie^{j\varphi}$ terhelőáram

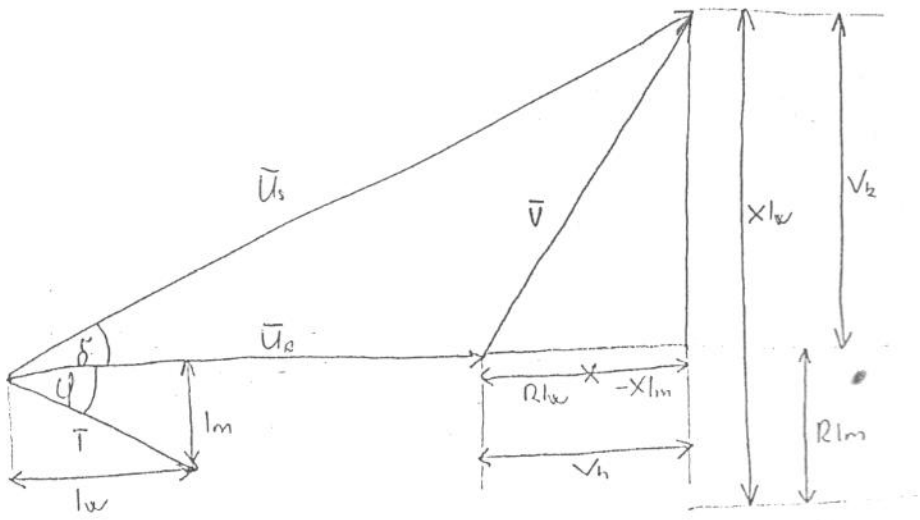
$\bar{V} = \bar{U}_s - \bar{U}_R$ feszültségesés

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

V_h : hosszirányú összetevő

V_k : keresztirányú összetevő





φ és I_m negatív, mert a terhelés induktív jellegű.

$V_h = |U_s| \cos\delta - |U_R|$

$V_k = |U_s| \sin\delta$

Általában $\delta \to 0$ ezért $V \approx V_h$

Kis $\frac{R}{X}$ arányoknál R elhanyagolható. A hosszirányú feszültségesést a meddő, a terhelési szöget pedig a hatásos teljesítmény áramlás befolyásolja.

Hálózatoknál jellemző, hogy a mérhető feszültségesés közel egyenlő a hosszirányú feszültségeséssel.

$U_n^H = 22kV$

$S_{rz} = \infty$

$l = 50km$

$r = 0,32 \frac{\Omega}{km}$

$x = 0,3 \frac{\Omega}{km}$

$U_A = 22kV$

$S_n = 6MVA$

$\cos\varphi = 0,8$

$R_{vez} = 16\Omega$

$X_{vez} = 15\Omega$

$R_f + jX_f = Z_f \quad ; \quad Z_{nf} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n}{S_n} \quad = \frac{22}{6} = 80,6\Omega$

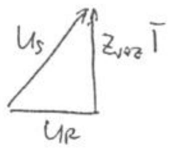
fogyasztó $\Rightarrow \varepsilon = 100\%$

$R_f = Z_{nf} \cos\varphi = 64,48\Omega$

$X_f = Z_{nf} \sin\varphi = 48,36\Omega$

$Z_e \begin{cases} R_{eredő} = 80,58\Omega = R_{vez} + R_f \\ X_{eredő} = 63,36\Omega = X_{vez} + X_f \end{cases}$

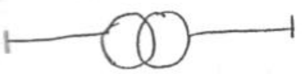
$U_f = \frac{U_n}{\sqrt{3}} = 12701,7V$



$I = \frac{U_f}{Z_e} = \frac{U_f}{R_e + jX_e} = 97,4 - j76,59 A$

$V = Z_{vez} I = 2707,34 + j235,64V$

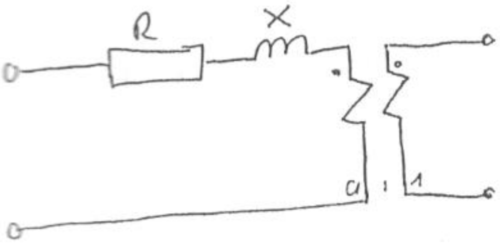
viszonylagos: $X_n = \frac{15}{48,36} = 0,31 \quad ; \quad R_n = \frac{16}{64,48} = 0,248$



$S_n = 40\,MVA$ $\qquad \varepsilon = 10\%$

120/22 kV

$$\frac{\varepsilon}{100} = \frac{S_n}{S_{rz}} = \frac{U_{rz}}{U_{nf}} = \frac{I_n}{I_{rz}} = \frac{Z}{\frac{U_n^2}{S_n}}$$



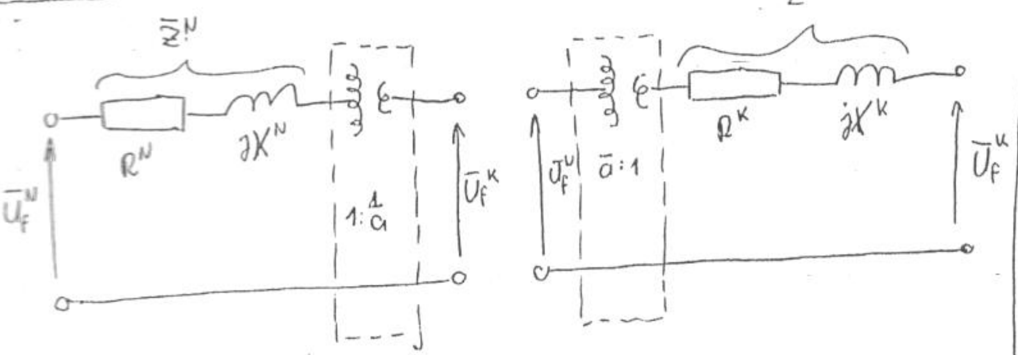
$$\boxed{\begin{aligned} X_{tr1} &= \frac{\varepsilon}{100}\cdot\frac{U_{n1}^2}{S_n} \\ X_{tr2} &= \frac{\varepsilon}{100}\cdot\frac{U_{n2}^2}{S_n} \end{aligned}}$$

$$S_n = \sqrt{3}\, U_n^N I_n^N = 3 U_{nf} I_{nf}$$

$$S_{rz} = \frac{S_n}{\frac{\varepsilon}{100}} = \underline{\underline{400\,MVA}}$$

$$I_n^k = \frac{S_n}{\sqrt{3}\, U_n^k} = \underline{\underline{1049{,}73\,A}}$$

$$I_n^N = \frac{S_n}{\sqrt{3}\, U_n^N} = \cancel{192{,}450\,A} \quad \underline{192\,450\,A}$$



$$Z^N = \frac{\varepsilon}{100}\cdot\frac{\left(U_n^N\right)^2}{S_n} \qquad Z^k = \frac{\varepsilon}{100}\cdot\frac{\left(U_n^k\right)^2}{S_n}$$

$\varepsilon = 100\,\%$ $\quad |Z_n| = \frac{U_n^2}{S_n} = 25\,\Omega$ $\quad Z = \frac{U_n}{S_n}(\cos\varphi + j\sin\varphi) = 20 + 15j\ \Omega$

$R_w^F = \cos\varphi\,|Z_n| = 20\,\Omega$

$X_N^F = \sin\varphi\,|Z_n| = 15\,\Omega$

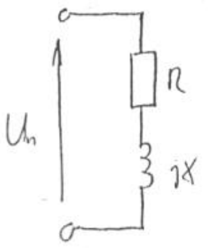
$I_n^F = \frac{S_n}{\sqrt{3}U_n} = 230{,}94\,A$

$I_w = I_n^F\cos\varphi = \underline{\underline{184{,}75\,A}}$

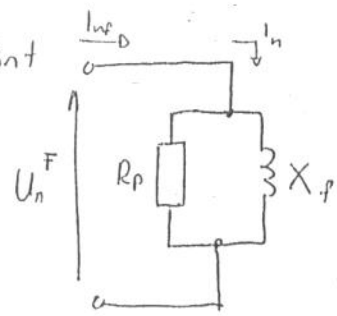
$I_m = I_n^F\sin\varphi = \underline{\underline{138{,}564\,A}}$

$S = S_n(\cos\varphi + j\sin\varphi) = \underbrace{3{,}2\,MW}_{P} + j\cdot\underbrace{2{,}4\,MVar}_{Q}$

Soros:



Sönt



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

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

a, $|I_{rz}(3f)| = ?$

r_z esetén $\varepsilon = 100\%$

$$S_{rz} = \sqrt{3}\,|U_n| \cdot |I_{rz}|$$

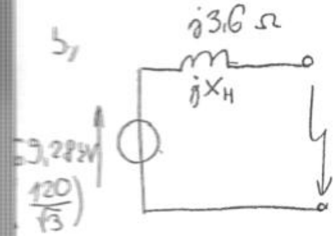
$$\Downarrow$$

$$|I_{rz}| = 19245\,A$$

$$\cancel{J_{rz} = \frac{\sqrt{3} \cdot 120}{4000}} =$$

$$J_{rz} = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 120} = 19{,}245$$

b,



$$Z = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_{rz}} = 3{,}6\,\Omega$$

nagyfesz $\Rightarrow \frac{R}{X} \to 0$ $\boxed{X = 3{,}6\,\Omega}$

$$|Z| = \frac{120\,000 / \sqrt{3}}{19\,245} =$$

$$\boxed{X = \frac{\varepsilon}{\cancel{100}} \cdot \frac{U_n^2}{S_{rz}}}$$

$$X = \frac{\varepsilon}{\cancel{100}} \cdot \frac{S_{rz}/3}{J^2} =$$

$$S_{3f} = 3\bar{S}_1 + 3\bar{S}_2 + 3\bar{S}_0$$

$U_N^{vez} = 400 kV$

$f = 50 Hz$

$R = 0 \quad , G \to \infty$

$X_L = 0,28 \frac{\Omega}{km}$

$X_c = 0,4 \frac{M\Omega}{km}$

$l = 100 km$

$$X_L \cdot l = X_L' = 28 \Omega = \omega L \Rightarrow L = \frac{X_L'}{\underset{2\pi f}{\omega}} = 0,08912 H$$

$$X_c \cdot l = X_c' = 4 \cdot 10^7 \Omega = \frac{1}{\omega C} \Rightarrow C = \frac{1}{\omega X_c'} = 795,77 nF$$

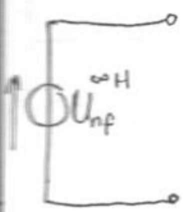
$$Z_0 = \sqrt{\frac{L}{C}} = \underline{\underline{334,65 \Omega}}$$

$S_{nat} = \frac{U_N^2}{Z_0} = 478,1 MVA$ ha ezt a telj.-t viszük át a távvezetéken, akkor a legkisebb a veszteség.

$U_f = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$

$S_{rz}^{\infty H} = \infty$; $|Z^{\infty H}| \to \emptyset$

helyettesítés:



Pl: $\underbrace{S_{rz}^{H} = 1000\,MVA \longrightarrow S_{tr} = 40\,MVA}$

$\Downarrow$

$S_{rz}^{H} >> S_{tr}$ a trafó utáni ∞ hálózatnak tekinthető. A trafó előtti hálózatnak a rövidzárási teljesítménye min. 2 nagyságrenddel nagyobb kell legyen, mint a trafó névleges teljesítménye.

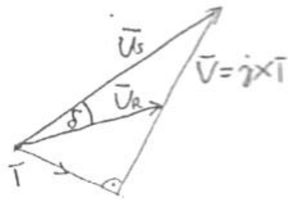
$\Downarrow$

A trafó utáni ∞ hálózatnak tekinthető

$\varepsilon = 100\,\%$, ha $S_{rz}^{H} \nearrow \Rightarrow Z_k \searrow \emptyset$

Egyes esetekben a mögöttes hálózatot ∞ hálózatnak tekinthetjük, ekkor $U_{fü}$ üzemi fázisfeszültség ideális fesz. forrással helyettesítjük. Létjogosultsága a helyettesítésnek akkor van, ha a hálózatot olyan csatlakozó elemen át nézzük, aminek az impedanciája jóval nagyobb, mint a mögöttes hálózaté.

Hatásos és meddőteljesítmény összefüggések



$\bar{S}_s = P + jQ_s \qquad \bar{S}_R = P + jQ_R$

$$\bar{I} = \frac{\bar{U}_s - \bar{U}_R}{jX}$$

referencia: U_s $\qquad \bar{U}_s = U_s$, $\quad \bar{U}_R = U_R e^{-j\delta}$

$$\bar{I}^* = \left(\frac{U_s - U_R e^{-j\delta}}{jX}\right)^* = \frac{U_R \sin\delta}{X} + j\frac{U_s - U_R\cos\delta}{X}$$

$$\bar{S}_s = \bar{U}_s \bar{I}^* = \frac{U_s U_R}{X}\sin\delta + j\frac{U_s(U_s - U_R\cos\delta)}{X} =$$

$$P_s = \frac{U_s U_R}{X}\sin\delta \qquad Q_s = \frac{U_s(U_s - U_R\cos\delta)}{X}$$

referencia: U_R $\qquad \bar{U}_s = U_s e^{j\delta}$, $\quad \bar{U}_R = U_R$

$$\bar{I}^* = \left(\frac{U_s e^{j\delta} - U_R}{jX}\right)^* = \frac{U_s \sin\delta}{X} + j\frac{U_s\cos\delta - U_R}{X}$$

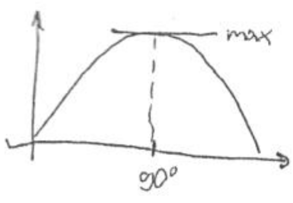
$$\bar{S}_R = \bar{U}_R \bar{I}^* = \frac{U_s U_R}{X}\sin\delta + j\frac{U_R(U_s\cos\delta - U_R)}{X}$$

$$P_R = \frac{U_s U_R}{X}\sin\delta \qquad Q_R = \frac{U_R(U_s\cos\delta - U_R)}{X}$$

A szinkron stabilitás korlátja

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

Ebből az összefüggésből látszik, hogy az átvitt teljesítménnyel a terhelési szög nő. Maximuma 90 foknál van, illetve ezen értéknél kisebb szögekre stabilis munkapont tartományban van



Meddőteljesítmény áramlás:

A meddőteljesítmény irányát és nagyságát alapjában véve a végpontok közötti feszültség különbség szabja meg. A nagyobb feszültségű végponttól a kisebb feszültségű végpont felé áramlik.

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