

Tessék vállalni fejezetet :D

- 1 - Be van írva
- 2 - Kb összeállítva
- 3 - Kb összeállítva
- 4 - Kb összeállítva
- 5 - Kb összeállítva
- 6 - Kb összeállítva

1-6 ig faforábrák nincsenek, ha valaki érzi magában a akik erőt, csinálhat párat, feladatok konkrétan nincsenek megoldva, csak képletek meg megoldás menete van. Kb olvasható mindenhol, de ha valaki valahol úgy érzi hogy nem, akkor kép alá lehet megjegyzéseket írni, ugyanígy eljárni talált hiba esetén is.

- 7 - Bálint- nagyjából kész, ha valaki unatkozik, és hardcore hálózatos, nyomhatna bele magyarázatokat..
- 8 - Szerintem kb kész - Szmó
- 9 - nagyon szűkszavú, meglepődnék ha ennyi elég lenne... - Bálint
- 10 - 10.1 és 10.3 nagyjából kész, de a 10.2 számítás, nem találok hozzá számszerű példát.
- 11 - Norbi - Összeállítva
- 12 - Norbi - Összeállítva

# 1. Villamosenergia-átvitel áramköri alapismeretek

## 1.1 Háromfázisú feszültség- (áram) rendszer szimmetrikus összetevői

a,b,c

A háromfázisú áramok és feszültségek felbonthatók szimmetrikus összetevőkre :

Ahol  $a = e^{j 120}$  fok

$$\begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

Visszatranszformálás:

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \end{bmatrix}$$

Teljesítmény:  $S_{3f} = U_a \cdot I_a^* + U_b \cdot I_b^* + U_c \cdot I_c^* = 3 \cdot (U_0 \cdot I_0^* + U_1 \cdot I_1^* + U_2 \cdot I_2^*)$

## 1.2 Feszültségesés, veszteség számítása soros $Z=R+jX$ impedancián

a, Soros RL

Hosszirányú feszültségesés:  $\Delta U_{hossz} = R \cdot I_w + X \cdot I_m$

Áramokat a teljesítményekből lehet számolni

b,c Kondenzátor bekerül

A kondenzátor változtatni fog az áram irányán, nagyságán.

$$I_c = \frac{j \cdot Q_c}{3 \cdot U_n} \quad \Delta U_{hossz} = X \cdot I_c$$

A fazorábra úgy fog kinézni, hogy a, esetben lefele mutat a fesz valamilyen szöggel, b esetben pedig felfele.

## 1.3 Feszültség szintek, transzformációk, hálózatalakzatok az MK VER-ben

a,  $S_n$  névleges teljesítmény sorozatképzési-szabály, névleges teljesítmények kof/kif trafón

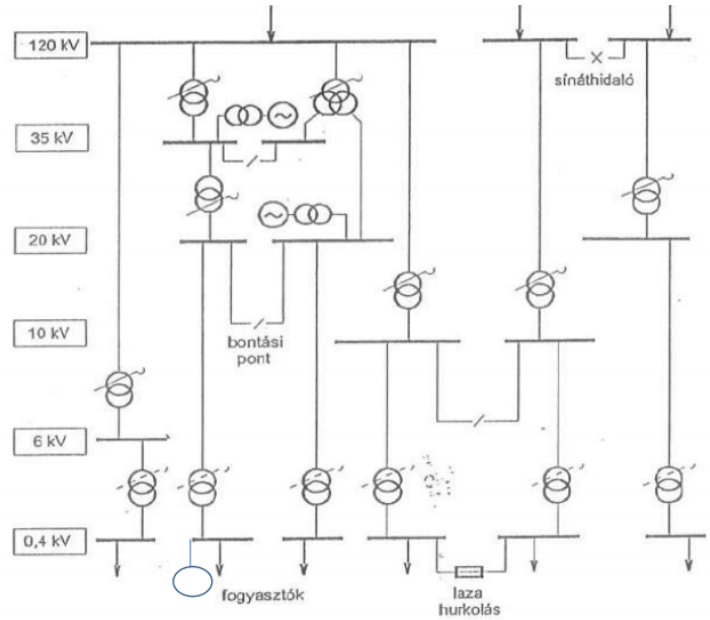
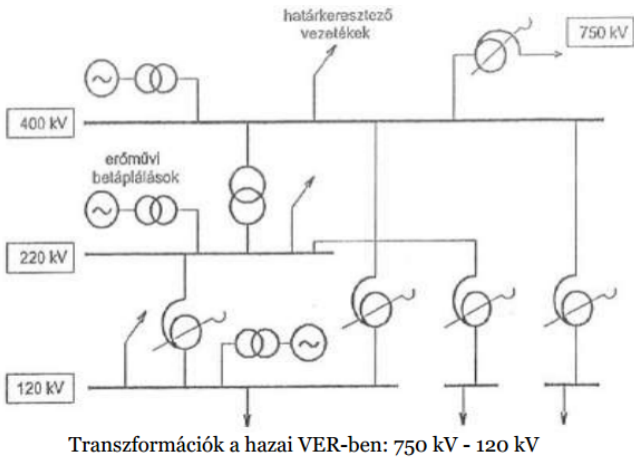
$$S^{(i+1)} = \left( \sqrt[10]{10} \right)^2 \cdot S^i$$

Névleges teljesítmények: 16 160 1600  
25 250 2500

**b, Adja meg a magyar VER (szabványos) feszültség szintjeit : KIF, KÖF, NAF értékek**

- KIF: 0,4 Kv
- KÖF: 10 20 35 Kv
- NAF: 120 220 400 750 Kv

**c, Adja meg az átviteli és elosztó hálózaton alkalmazott feszültség-transzformációk rendszer(ábra alapján)**



## 2. Energiaforrás, fogyasztói terhelés leképezése

### 2.1 Generátor 3F kapocsárlata üzemi terhelésből

Generátor:  $U_n = 6 \text{ kV}$ ;  $S_n = 4 \text{ MVA}$   
 $U_g = 1 \text{ u.e.}$ ;  $P_g = 1 \text{ u.e.}$ ;  $Q_g = \beta$   
 $X_d = 2 \text{ u.e.}$   $X_d' = 0,3 \text{ u.e.}$

a, Állóáram?  
 $I_n = S_n / \sqrt{3} \cdot U_n$   
 $Z_n = U_n^2 / S_n = U_n / I_n$

b, Poluszfeszültség?  
 $U_{pf} = U_g + j X_d \cdot I_g$

c, Terhelési állapotból felépítő 3F kapcsolóáramlat transziens áramerőssége?  
 $I_z^{3F} = E_f' / j X_d'$ , ahol  $E_f' = U_{pf} + j X_d' \cdot I_g$

d, lecsatlakozás → soros

## 2.2 Fogyasztói terhelés leképezése szimmetrikus üzemhez

Fogyasztó (3f):  $U_n = 10kV$ ;  $S_n = 2MVA$ ;  $\cos\varphi = 0,92$

a, állandó áramú fogyasztói modell  $I_p$  és  $I_q$ ?

$$I_p = \frac{P_{FN}}{\sqrt{3} \cdot U_{FN}} \quad ; \quad I_q = \frac{Q_{FN}}{\sqrt{3} \cdot U_{FN}} \quad \text{ahol ugye} \quad P = 3 \cdot U \cdot I \cdot \cos\varphi \quad S = P + jQ$$
$$Q = U \cdot I \cdot \sin\varphi \quad \text{egyenlétrendszerként}$$

b, impedancia modell  $R, X$  értéke

$$Z_F^Y = R_F^Y + jX_F^Y = \frac{U_{FN}^2 \cdot \cos\varphi}{P_{FN}} [\cos\varphi + j \sin\varphi] \leftarrow \text{soros modell}$$

$$R_p = \frac{U_{FN}^2}{P_{FN}} \quad ; \quad X_p = \frac{U_{FN}^2}{Q_{FN}} \leftarrow \text{párhuzamos modell}$$

c, napi villamos energia felvitel:  $P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t \Rightarrow E = P \cdot t$  ?

## 2.3 Számítások és modellek közös feszültség szinten, viszonylagos egységben

S alapos, Z alapos, trafós marhaskodás ami energetikából is volt, nincs kedvem be copy pastelni a sok oldalas pdf et, majd egyszer

# 3. Háromfázisú transzformátorok

## 3.1 Transzformátor áttétele, kapcsolási csoport

3.1 transzformátor

a)  $U_A, U_B, U_C$  nagy mutató

b)  $U_A, U_B, U_C$  kis mutató

c)  $U_A, U_B, U_C$  nagy mutató

tr:  $Yd9 \leftarrow$  görös  
 nagy mutató  
 csillag

összegezésre: Ha  $U_1^d = U_1^Y \cdot e^{-j\frac{\pi}{6}}$  viszonylagos egységben  
 akkor  $U_2^d = U_2^Y \cdot e^{+j\frac{\pi}{6}}$

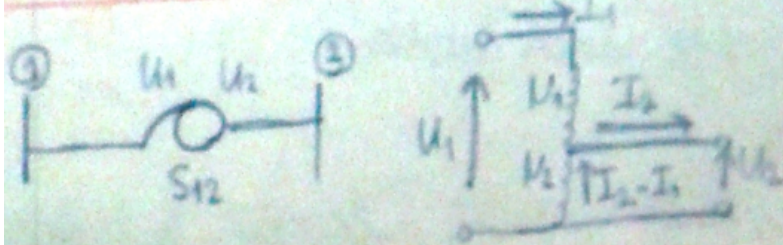
b) Dy5  $\Rightarrow$

c)  $k_f: 0,4/120$   $V_{z5}; Dy5$   $k_f: 35; 20; 10; 6$  kV  
 $120/k_f$   $Yd11$   $k_f: 35; 10; 6$  kV

$\bar{a}_t = \frac{U_1^V}{U_1^k}$

### 3.2 Takarékos kapcsolású transzformátor

#### 1. társasági transzformátor



$$\text{átvitel: } a = a_{12} = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

Saját teljesítmények:

$$S_1 = \sqrt{3} \cdot (U_1 - U_2) \cdot I_1 \quad \left. \vphantom{S_1} \right\} S_1 = S_2$$

$$S_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot (I_2 - I_1)$$

Általános teljesítmény:

$$S_{12} = \sqrt{3} \cdot U_1 \cdot I_1 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot I_2$$

### 3.3 22 / 0.4 kV-os transzformátor

$$S_{tr} = 400 \text{ kVA}$$

rezisztív veszteség:  $\text{reptesz} \quad E_x = 4\% \quad P_{re} = 3850 \text{ W}$

induktív veszteség:  $P_0 = 610 \text{ W} \quad Q_0 = 0,02 S_{tr}$

Kioldalon:  $U_k = 0,42 \text{ kV} \quad I_k = 0,8 \cdot I_n \quad \cos \varphi = 1$

a) feszültségvesztés?

$$\Delta U_{tr} = R_{tr} \cdot I_p + X_{tr} \cdot I_a \quad ; \quad \text{ahol} \quad I_p = \frac{P_k}{U_k}$$

$$I_a = \frac{Q_k}{U_k}$$

b)  $P_v$  és  $Q_v$  veszteségek?

$$P_v = R_{tr} (I_{tr})^2 = E_p (I_{tr})^2 = P_{re} (I_{tr})^2 \quad ; \quad Q_v = X_{tr} (I_{tr})^2 = E_x (I_{tr})^2 = Q_{re} (I_{tr})^2$$

c) Noldali teljesítmény tényező?

$$\cos \varphi_v = \frac{P_v}{S_v}$$

d) ábrára  $\Rightarrow$  soros

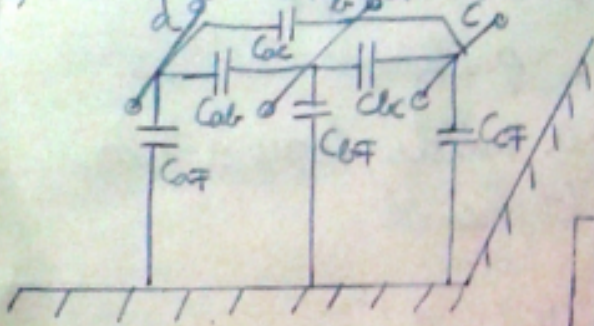
# 4. Szabadvezeték soros impedanciái, kapacitásai, négyvezetős modell

## 4.1 Háromfázisú szabadvezeték szimm. összetevőjű és négyvezetős (soros impedanciájú) modellje

$E_a = 120/1.732 \text{ kV}$ ;  $Z_{0n} = j0,6 \text{ ohm/km}$ ;  $Z_L = j0,2 \text{ ohm/km}$ ; hossz:  $H = 30 \text{ km}$

$Z_F = 300 \text{ ohm}$ ;  $Z_Y = j12 \text{ ohm}$

a, háromfázisú áramfői modell?



$$I_a = j\omega [C_{aa} \cdot U_a - C_{ab} \cdot U_b - C_{ac} \cdot U_c]$$

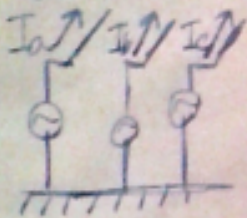
$$I_b = \dots$$

$$I_c = \dots$$

$$\begin{aligned} C_{aa} &= C_{aF} + C_{ab} + C_{ac} \\ C_{aF} &= C_{aa} - C_{ab} - C_{ac} \end{aligned}$$

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

b, szimmetrikus modell?



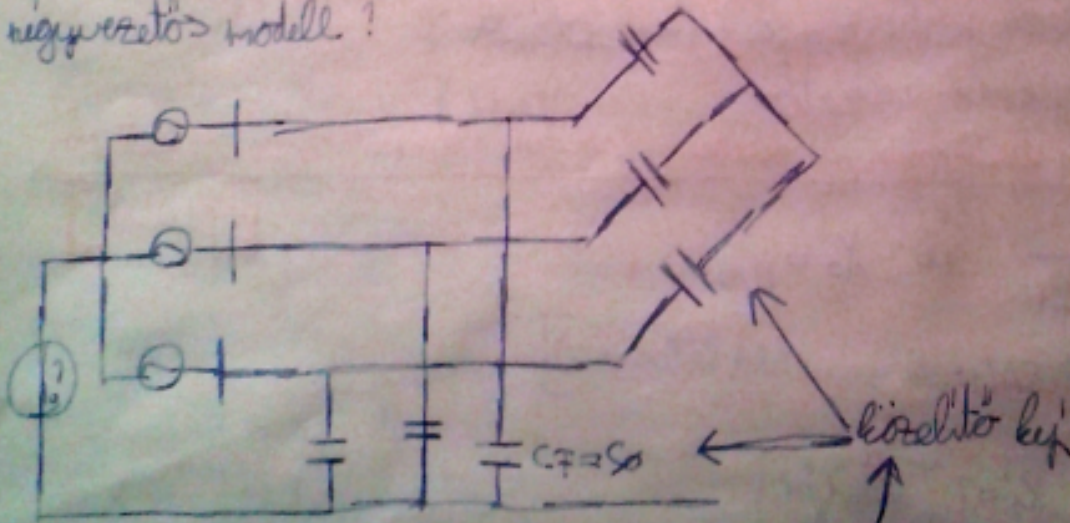
$$C_{11} = \frac{1}{3} (C_{aa} + C_{bb} + C_{cc}) + \frac{1}{3} (C_{ab} + C_{bc} + C_{ca})$$

$C_{0n}$   $C_k$

$$C_{11} = C_{0n} + C_k$$

$$C_{00} = C_{0n} - 2C_k$$

c, négyvezetős modell?



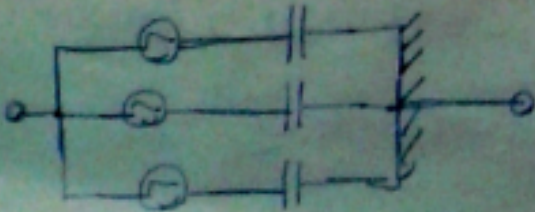
$$C_{11} = C_{0n} + C_k$$

$$C_{00} = C_{0n} - 2C_k$$

Ha nem független, akkor az

## 4.2 Háromfázisú szabadvezeték kapacitásai, négyvezetős modell, földkapacitások aszimmetriája

d,



Ucs nem függ  $C_{ab}, C_{bc}, C_{ac}$ -től

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

## 5. Szabadvezeték soros impedanciák, kapacitások számítása

### 5.1 Vezető-föld hurkok ön és kölcsönös impedanciái, szimmetrikus összetevő impedanciák

a ~ GMR: bürör, köb keresztmetszetű, nem mágneses vezető geometriailag is mágneses szempontból egyenértékű sugara: GMR

~ Egyenértékű mélység (visszatv. cső sugara)  $D_e = 659 \cdot \sqrt{\frac{\rho}{f}} \cdot m$   
 $\rho :=$  fajlagos ellenállás

~  $R_f$ : föld egyenértékű ohmos ellenállása, annak a mértéke, hogy a talaj mennyire áll ellen az elektromos áram folyásának  
 [10 - 1000  $\Omega m$ ]

~ GMD: az a-b-c vezetők közötti egyenértékű távolság

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

b) (talán)

Önimpedancia:  $Z_{aaf} = R_a + 0,00099 f + j \cdot 0,0029 f \cdot \lg\left(\frac{D_e}{GMR_a}\right)$

Kölcsönös imp.:  $Z_{abf} = 0,00099 f + j \cdot 0,0029 \cdot f \cdot \lg\left(\frac{D_e}{D_{ab}}\right)$

pozitív sorrendű imp.:  $Z_1 = R_1 + j \cdot 0,145 \cdot \lg\left(\frac{D}{x}\right)$

c,

- a fázisvezetők védelme villámsapás ellen
- az oszlopföldelés párhuzamos kapcsolása
- mágneses áramkötő vezető



## 5.2 Háromfázisú távvezeték söntimpedanciája, a söntimpedanciák szimmetrikus összetevői

[ FELADAT ]

a)  $X_2' = X_1' = \frac{1}{\omega \cdot 0,1}$  és  $X_0' = \frac{1}{\omega \cdot 0,2}$   
 [? SA/18. old ⇒ nem lehet kiolvasni:]

b)  $U_n = 400 \text{ kV}$   
 $L = 100 \text{ km}$   
 $C_1 = 12 \text{ nF/km}$   
 $f = 50 \text{ Hz}$

$X_1' = ?$  [relációból]

töltőáram  $= I_c = ? = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot X_1'}$

bővíztelítési áram  $= Q_{csf} = ? \Rightarrow S_c' = \sqrt{3} \cdot 120 \cdot 0,188$   
 $S_c' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_c'$

## 6. NF távvezeték üzeme

### 6.1 A távvezeték láncparaméteres egyenlete, koncentrált elemű (vagy T) modell

a)  $U_s = A \cdot U_R + B \cdot I_R$   
 $I_s = C \cdot U_R + A \cdot I_R$

ahol  $A, B, C$  távvezeték állandói:  $A = \text{ch } r \cdot l$   
 $B = z_0 \cdot \text{sh } l$   
 $C = \frac{\text{sh } r \cdot l}{z_0}$

üresjárásban:  $A = \frac{U_s}{U_R}$ ;  $C = I_s / U_R$

rövidzárasban:  $B = \frac{U_s}{I_R}$ ;  $A = \frac{I_s}{I_R}$

b)  $z_\pi = B$   $z_\pi' = B / (A - 1) = z_\pi / (A - 1)$   
 $z_T = (A - 1) / C$   $z_T' = 1 / C$

c)  $z = r + jx$   $z_\pi = z \cdot l$   $z_T = \frac{z \cdot l}{2}$   
 $z' = -jx'$   $z_\pi' = 2z' / l$   $z_T' = \frac{z'}{l}$

d) fázorálbra ⇒ sorozat

## 6.2 A távvezeték teljesítményviszonyai

$$U_n = 400 \text{ kV} \quad C = 12 \text{ nF/km} \quad P_s = P_r = 400 \text{ MW}$$
$$X_L = 0,3 \text{ } \Omega/\text{km} \quad l = H = 150 \text{ km}$$

a)  $R_{\text{cs}}$  hullámellenállás? Természetes teljesítmény?

$$R_{\text{cs}} = \sqrt{X_L \cdot X_C}$$

$$P_t = \frac{U_n^2}{R_{\text{cs}}}$$

b) szögkülönbség?  $\leftarrow H$

$$\delta = \eta \cdot l$$

d, c) Teljesítmény?

d, ???  
d, 000

$$Q_C = \frac{U_n^2}{X_C} = \frac{P_t \cdot l}{\sqrt{L} \cdot 10^3}$$

### 6.3 Meddőteljesítmény-áramlás nagyszültségű távvezetéken

$P_{K-L} = 400 \text{ MW}$ ;  $U_K = 410 \text{ kV}$ ;  $U_L = 400 \text{ kV}$ ;  $R = 0,02 \Omega/\text{km}$   
 $X_L = 0,3 \Omega/\text{km}$ ;  $C = 12 \text{ nF/km}$ ;  $H = 150 \text{ km}$   
a,  $P_{\phi}$  és  $P_t$ ?  $\Rightarrow$  előző feladatokban voltak

$$b) Q_{K-L} = \frac{Q_{VEZ}}{2} + Q_{\Delta U} - Q_{RP}$$

$$Q_{L-K} = \frac{Q_{VEZ}}{2} - Q_{\Delta U} + Q_{RP}$$

$$Q_{VEZ} = Q_L - Q_C - X_L (P/U)^2 - U^2/X_C$$

$$Q_{\Delta U} = U \cdot \left( \frac{\Delta U}{X_L} \right)$$

$$Q_{RP} = P (R/X_L)$$

$$U = \frac{(U_K + U_L)}{2}$$

$$\Delta U = U_K - U_L$$

$$P_t = U_n^2 / (X_L \cdot X_C)^{1/2}$$

$$Q_C = Q_{Cn} (U/U_n)^2$$

## 7. A teljesítményátvitel korlátai

### 7.1 A teljesítményátvitel korlátai. Feszültség-stabilitás.

Rendszerező és magyarázó ismertetés:

a1) Ismertesse a teljesítményátvitel fizikai korlátait, a2) az átvivőképesség növelésének elvi lehetőségeit

Villamosenergia hálózaton keresztül szállítható teljesítmény korlátozott a

-hálózati elemek terhelhetőségével

-feszültség és a veszteségek elfogadható mértéken tartásával

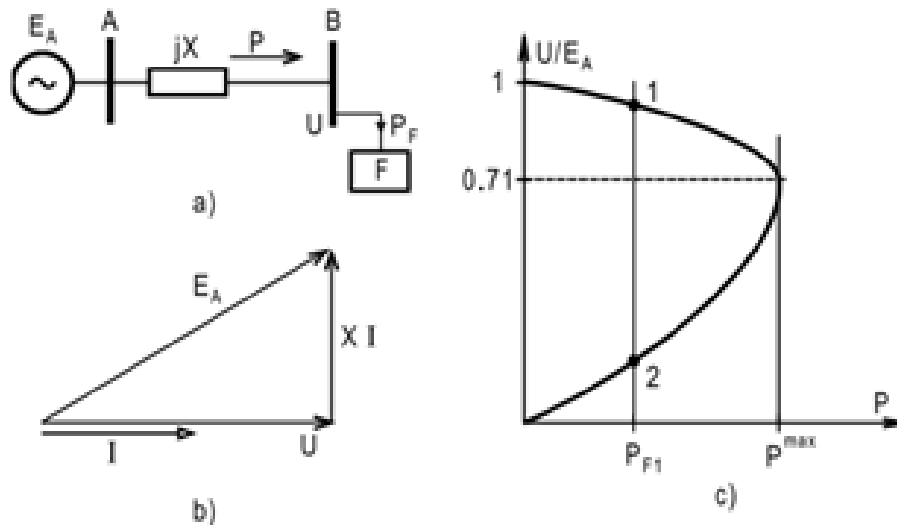
Áramterhelhetőség:

Állandósult állapotban átvihető teljesítményt általában (az adott hűlési/hűtési viszonyok mellett) az elemek melegedése, ezzel kapcsolatosan az áram terhelhetősége korlátozza. Két állomás között mindig a „leggyengébb láncszem” a mértékadó, pl. legkisebb keresztmetszet.

Külső hőmérséklet szerint: téli-, nyári terhelhetőség, ezen belül rövid-közepes-hosszú időtartamú terhelhetőség.

**Modell, levezetés, , magyarázat:**

b) Adjon meg egyszerű modellt a feszültségstabilitás bemutatásához



**c) Levezetéssel határozza meg a Pmax átvihető teljesítményt nem szabályozott U feszültségű végponthoz X reaktancián**

Fazorábra alapján:

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

$$V = U^2$$

$$V^2 - E_A^2 V + (XP)^2 = 0, \quad \text{másodfokú egyenlet}$$

$$U^2 = V = (E_A^2 \pm \sqrt{D}) / 2, \quad \text{megoldóképlet}$$

$$D = E_A^4 - 4(XP)^2, \quad \text{másodfokú egyenlet diszkriminánsa}$$

Átvihető legnagyobb P teljesítmény D=0 értékhez tartozóan:

$$P^{max} = E_A^2 / 2X$$

**d1) Adja meg az U(P) diagramot**

Az ábrán a c, jelű.

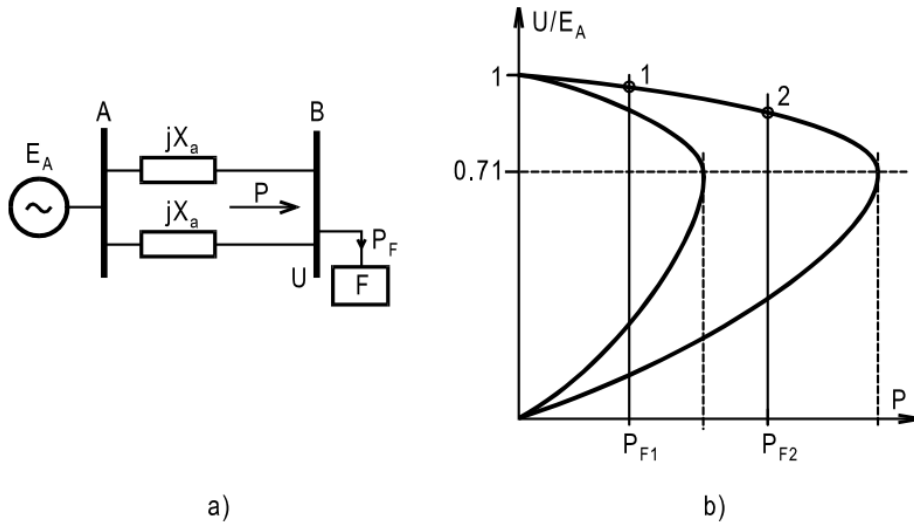
**d2) a feszültség-stabilitás általános feltételét az átvitt P és a végponti U alapján kifejezve**

**Ábra, magyarázat:**

Az ábra az megint ugyan az...

???

e) Mutassa meg a feszültség-összeomlás kialakulását kétvezetékes elvi esethez



A párhuzamos átvitelnél

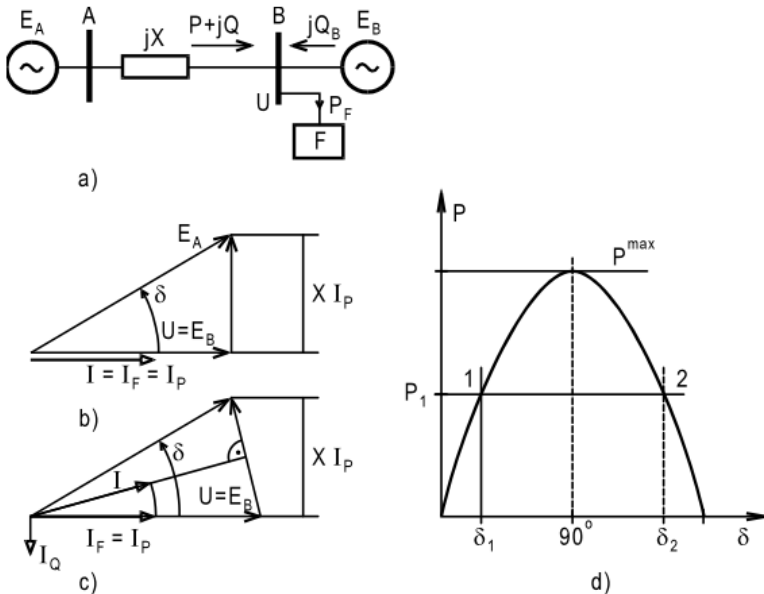
$$X = X_a / 2 \quad \text{és így} \quad P_2^{\max} = E_A^2 / X_a,$$

az egyik vezeték hiánya esetén pedig

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

Akkor van baj, ha egy olyan munkapontban üzemelünk, ami a P1 görbétől jobbra van, és kiesik egy vezeték...  
Ekkor jön létre feszültségösszeomlás.

## 7.2 A teljesítmény-átvitel korlátai. Statikus szinkron-stabilitás.



b) Adjon meg egyszerű modellt a szinkronstabilitás bemutatásához

ábra/ a

c) Ismertesse a végponti U szabályozás Q betáplálási vonzatát fazorábra segítségével.  
Adja meg a Pmax átvihető teljesítmény kifejezését szabályozott feszültségű pontok között X reaktancián történő átvitelhez

Fazorábra -> ábra/ b, ha  $Q=0$ , ekkor  $E_b < E_a$   
c, ekkor  $U_b = U_a = U$

$P = (E_a \cdot E_b / X) \cdot \sin(\delta)$  -> Pmax, ha  $\sin(\delta) = 1$ , tehát  $P_{max} = E_a \cdot E_b / X$ , ekkor  $\delta = 90^\circ$

d) Adja meg a P(delta) diagramot c2) a statikus szinkron stabilitás feltételét P és alapján kifejezve  
Diagram: ábra/d,

Statikus szinkron stabilitás feltétele:

$$dP / d\delta > 0$$

Képlet, magyarázat:

e) Ismertesse a szinkronozó teljesítményt

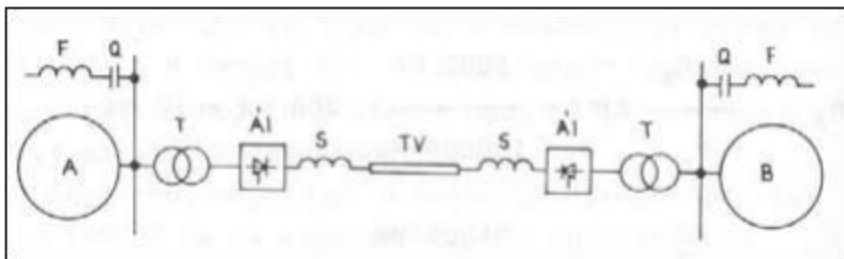
$$dP / d\delta = P_{max} \cos\delta = P_{sz}$$

<= "munkapont megőrzési-képességének erősségére utaló kifejezés"

## 8. HVDC - Egyenáramú átvitel

Nagy távolságokon az egyenáram kevesebb veszteséget okoz, mint a váltakozó, viszont a drága AC/DC átalakítók miatt rövidebb szakaszokon az AC olcsóbb. elterjedését a fejlődő átalakítók segítik (IGCT, GTO, MCT, IGBT).

Felépítése:



T: átviteli feszültséget előállító trafó, ÁI: vezérelt áramirányítók, TV: egyenáramú távvezeték, S: simitó fajtótekerccs, FQ: felharmónikus szűrő, meddő források.

### Alkalmazása

- Nagy teljesítmények átvitele nagy távolságra (1000 km fölött)
- Betáplálás koncentrált fogyasztói területre
- Szélerőmű parkok, tenger alatti energiaátvitel
- Eltérő frekvenciájú hálózatok összekötése
- Egyenáramú betét (távolság nélküli átvitel a teljesítményáramlás elosztásának céljából)

### Előnyök

- nagyobb teljesítményátvitel
  - váltó veszteség:  $2 \cdot (P/Vm)^2 / \cos^2 \phi \cdot r_o \cdot l/A$
  - egyen veszteség:  $(P/Vm)^2 \cdot r_o \cdot l/A$
- kisebb oszlopméret
  - elég 2 vezeték a 3 vagy 6 helyett
- nincs szkin hatás
  - frekvenciafüggő jelenség
- kevesebb koronakisülés
  - frekvenciafüggő jelenség
- szinkronizálatlan csatlakozás
  - különböző frekvenciájú hálózatok is összecsatolhatók

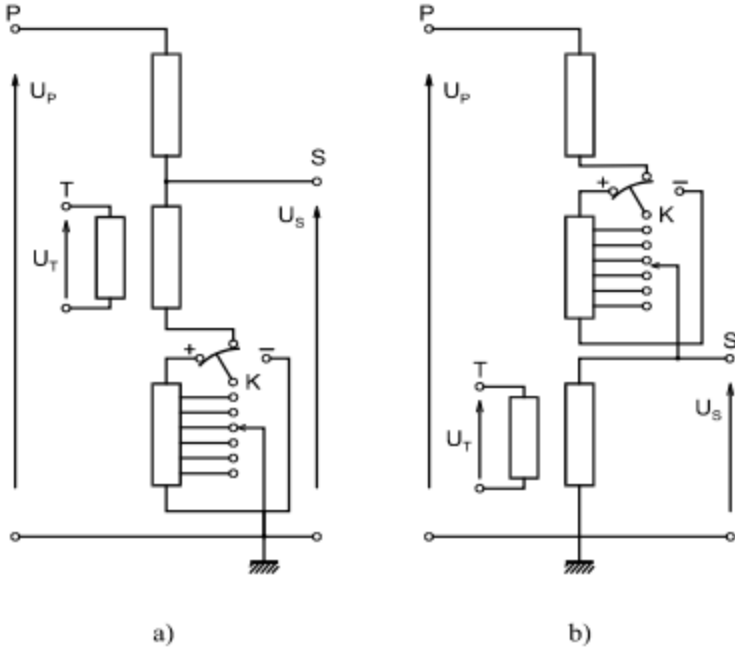
### Hátrányok

- drága átalakítók
- magas meddő teljesítmény igény
  - reflexiók miatt
- felharmónikusok keletkezése
  - tranzisztorok miatt
- nehéz megszakítás
  - a tranzisztorok gyorsabban reagálnak, mint bármelyik mechanikus kapcsoló
- nehéz feszültségtranszformáció

## 9. Szabályzások NAF / NAF transzformátorral

9.1 NAF/NAF transzformátor hossz- és kereszt szabályozása

**a) Egyfázisú ábrán mutassa meg a takarékos kapcsolású transzformátor áttétel-változtatásának kialakítását (az ábrához választható, de meg kell nevezni : csillagponti szabályozás vagy állandó fluxusú szabályozás)**



1. ábra: Takarékos kapcsolású transzformátor áttételének szabályozása

a) csillagponti szabályozás b) állandó fluxusú szabályozás

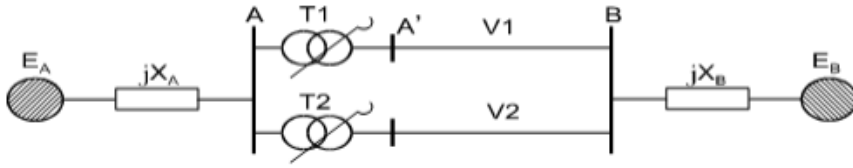
Az ábrákon bejelölt K pont a középállást jelenti,

a + jel az áttétel növelését, a primer és szekunder oldali feszültség egymástól való távolítását,

a - jel az áttétel csökkentését a primer és szekunder oldali feszültség közelítését jelenti.

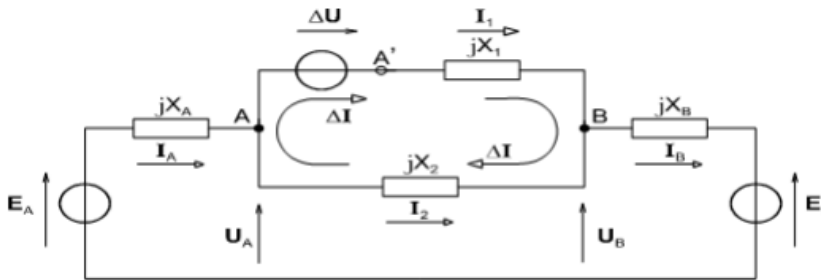


**b) Adjon meg áramköri ábrát a transzformátor-szabályozás egyszerűsített leképezéséhez és a szabályozás hatásának bemutatásához, párhuzamos távvezetékek esetére.**



**2a) egyvonalas séma T1 és T2 transzformátorral**

Az 2b. ábra a transzformátorok középállású áttétele szerinti pozitív sorrendű áramköri modellt mutatja, viszonylagos egységre vonatkozóan.



**2b) pozitív sorrendű modell (ve.-ben), a transzformátorok középállása szerinti áttételekkel**

**c) Magyarázza meg c1) a hossz szabályozás hatását c2) a kereszt szabályozás hatását**

Hossz-szabályozás hatása párhuzamos ágakban

Csak az egyik transzformátorral végzett hossz-szabályozás a párhuzamos ágakon áramló meddőteljesítményeket változtatja meg.

A T1 és T2 kvázi párhuzamosan üzemelő transzformátorok hosszirányú szabályozását egyidejűleg, azonos irányban és mértékben végezve tényleges feszültségváltozást érhetünk el, és elmarad(hat) a gyakorlatban nem kívánatos meddőteljesítmény-köráramlás.

Kereszt szabályozás párhuzamos ágakban

A T1 és T2 kvázi párhuzamosan (párhuzamos útvonalon) üzemelő transzformátorok keresztirányú szabályozását egyidejűleg, de ellenkező irányban végezve, a P áramlás átrendezésére való hatás fokozható.

# 10. KÖF és KIF hálózatok, feszültségszabályozás, veszteségek.

## 10.1 Középfeszültségű vezeték feszültségesése és vesztesége. Kompenzálás söntkondenzátorral

### a) Középfeszültségű szabadvezeték modellje szimmetrikus üzemállapothoz



### b) Feszültségesés meghatározása

Az elosztó hálózati szerepű, sugarasan üzemelő közép- és kiefeszültségű vezetékek nem túl nagy hosszúságúak, középfeszültségen a gyakorlatban néhányszor 10 km-es, kiefeszültségen néhány 100 méteres vezeték hosszakkal lehet számolni. A rövid vezetékek a soros impedanciájával vehetők figyelembe, szabadvezetékek söntimpedanciája a teljesítmény átvitel szempontjából végtelen nagyra tekinthető.

A feszültségesés a hosszirányú feszültségeséssel számítható, az alábbi mennyiségekkel:

$I_T$  (A) : áram a táppontnál

$L$  (km) : a vezeték hosszúsága a tápponttól a végpontig

$Z_v = R_v + jX_v$  (ohm/km) : a vezeték fajlagos pozitív sorrendű impedanciája

$\varphi$  : a terhelés átlagos fázisszöge,  $\tan \varphi = Q/P$

és az eredmény

$U_v$  (V) : feszültségesés a tápponttól a végpontig (fázisérték)

Végponti terhelés:

$$\Delta U_{Vp} = I_T L (R_v \cos \varphi + X_v \sin \varphi)$$

Egyenletesen eloszló terhelés:

terhelési súlypont a tápponttól  $\frac{1}{2} L$  távolságban:

$$\Delta U_{EE} = (1/2) \Delta U_{Vp}$$

Szektor jellegű eloszló terhelés:

1) a tápponttól távolodva csökkenő mértékű terhelés, terhelési súlypont  $1/3 L$  távolságban:

$$\Delta U_{Sz-C} = (1/3) \Delta U_{Vp}$$

2) a tápponttól távolodva növekvő mértékű terhelés, terhelési súlypont  $2/3 L$  távolságban:

$$\Delta U_{Sz-N} = (2/3) \Delta U_{Vp}$$

Ha a vezetékíven üzemszerűen közepén van kialakítva a bontáspont akkor üzemszervi ellátás esetében legrosszabb esetben az ívet egészen a másik táppontig kell ellátni. Elvi esetben, ha a bontási ponttól másik táppontig a távolság szintén  $L$ , a két szakasz terhelési jellege és mértéke azonos, akkor az üzemszervi feszültségesés a  $2L$  hosszúságú íven egyenletesen eloszló terhelés esetében:  $\Delta U_{EEüz} = 4 \Delta U_{EE}$ .

Szektor 2) jellegű eloszló terhelés esetében:  $\Delta U_{Szüz} = 3 \Delta U_{Sz}$

A feszültségesések meghatározásakor és az eredmények felhasználásakor az alábbi szempontokat, körülményeket kell figyelembe venni:

- Üzemi állapotban a bontási pont az ív közepe táján, vagy végpontján van-e.

- Az ívről induló sugaras leágazás helye

üzemszerűen közepén történő bontásnál legkedvezőtlenebb esetben közvetlenül a

bontáspont előtt; ív végponton történő bontásnál a vezeték középső szakaszán van.

- A tápponthez legközelebb lévő transzformátor legalább 30% terhelésű csúcsidőszakban és terheletlen völgyidőszakban.
- A villamosan legtávolabb lévő transzformátor névlegesen terhelt.
- A közép/kisfeszültségű transzformátorok 22 kV-on feszültségmódosító megcsapolással rendelkeznek.
- Az ív táppontjában terheléstől függő automatikus feszültségszabályozás van.

### c) Az átvitel fázorábrája



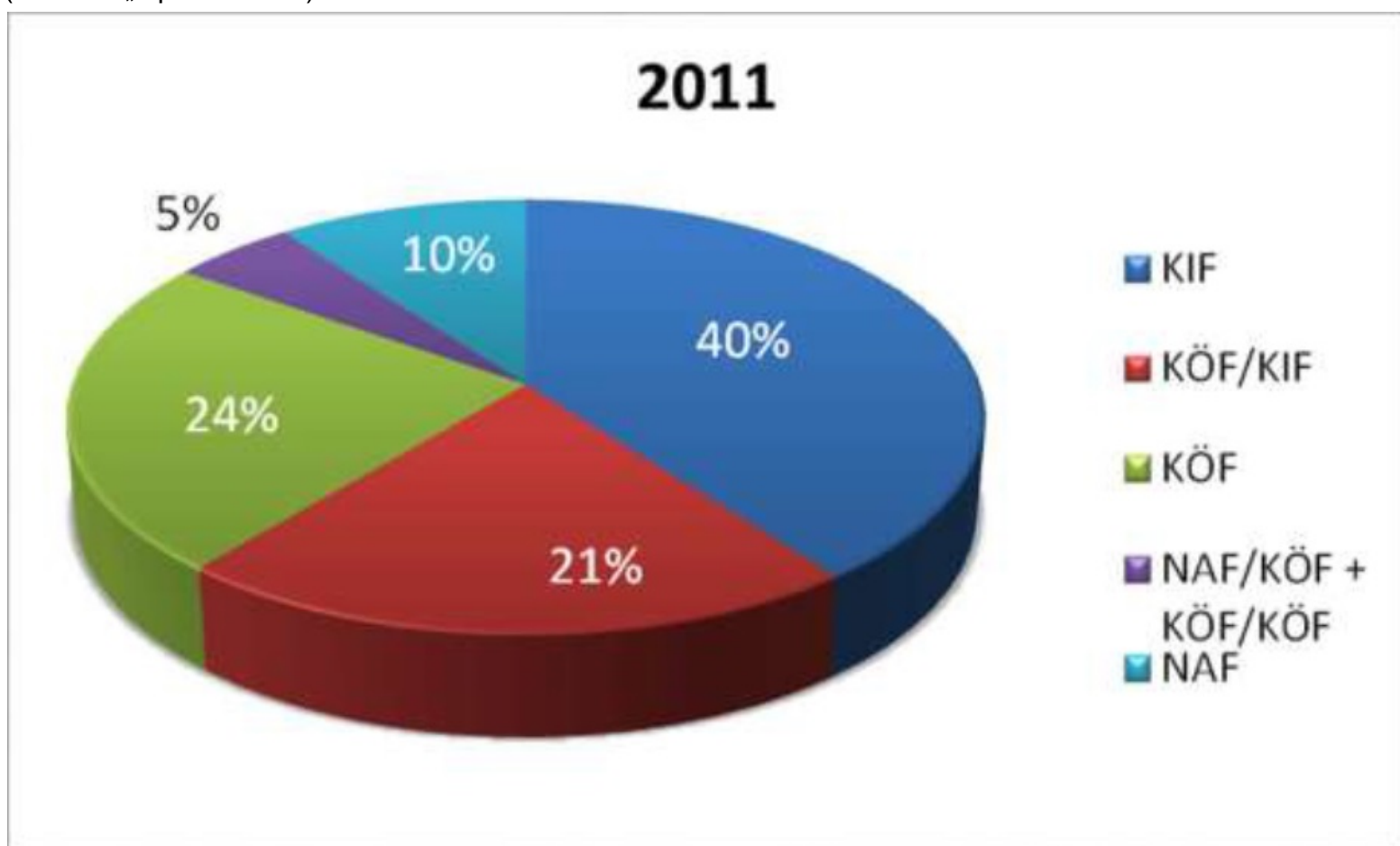
### d) Az átviteli veszteség meghatározása

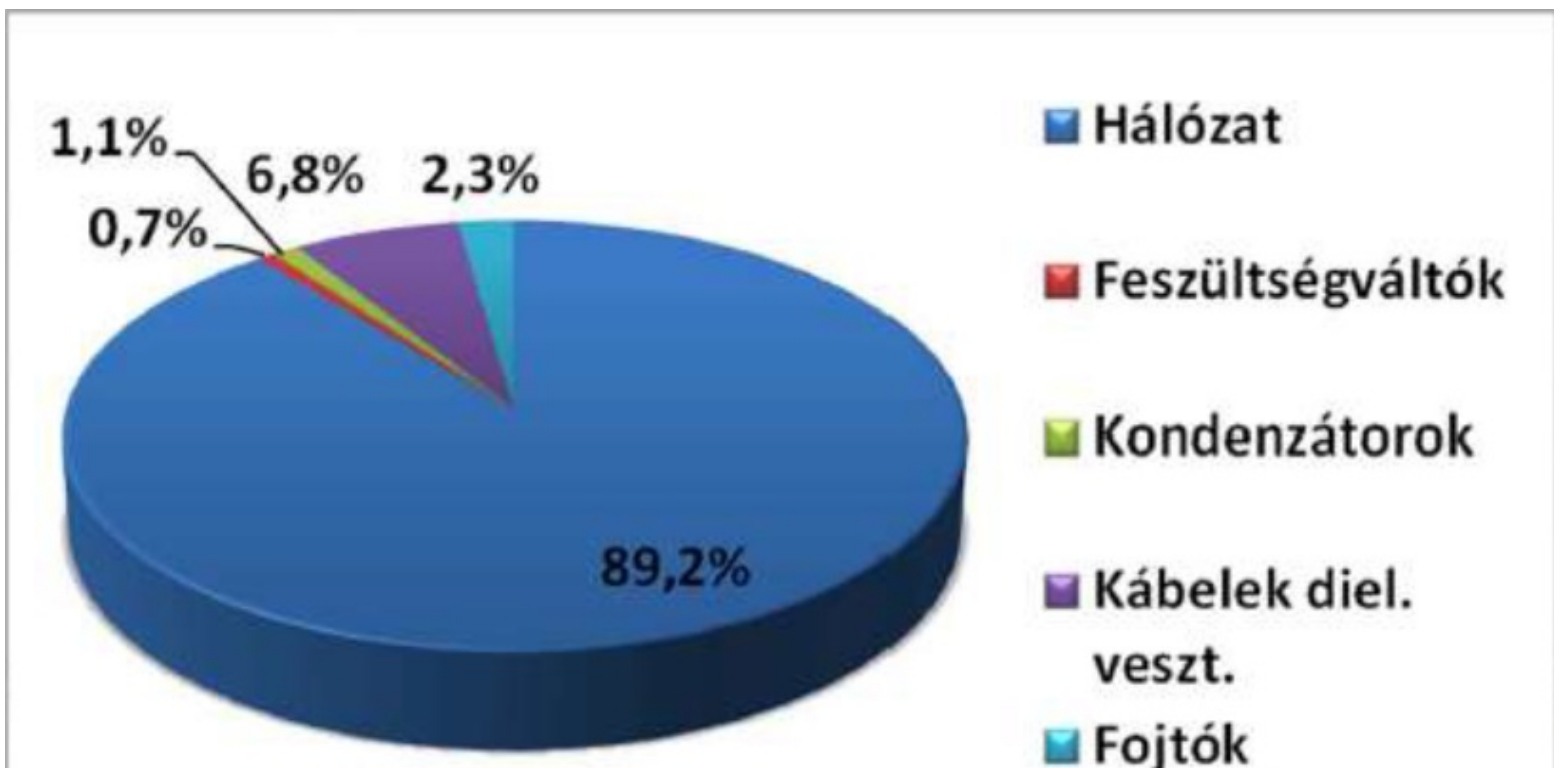
A KÖF elosztóhálózati energiaveszteségek megoszlása

NAF(120 kV), KÖF( 20,10 kV) , KIF (0.4 kV) távvezetékek:  $\Sigma$ 74%

NAF/KÖF, KÖF/KÖF, KÖF/KIF transzformátorok:  $\Sigma$ 26%

(benne a „lopás”: 1-3 %)





KÖF/KIF transzformátorok veszteség-összetevői:

81 % vasveszteség (feszültség alatt)

19 % soros rézveszteség (áramterhelés)

átlagos kihasználtság: 15% (!)



e) A vezeték R végére kapcsolt söntkondenzátor hatása a feszültségesés  $U_n$  hosszirányú összetevőjére és az átvitel veszteségére

f) A söntkondenzátor hatásának bemutatása fazorábrán

## 10.2 Középfeszültségű vezeték feszültségesésének és veszteségének számítása, a söntkompenzáció hatása

a) Határozza meg az S táppontból az R fogyasztói pontba  $Z = R + jX$  impedanciájú vezetéken történő teljesítményszállítás okozta  $\Delta U_n$  hosszirányú (vonali) feszültségesést és a vezetéki  $P_{w3f}$  háromfázisú wattos veszteséget. Az R oldalra kapcsolódó fogyasztó adatai:  $P_F$  (3fázisú),  $U_n$  (vonali),  $\cos \varphi$  és  $UR = U_n$ .

b) Határozza meg, hogy a számított mennyiségek hogyan változnak egy  $Q_c$  (3fázisú) teljesítményű söntkondenzátor R pontra kapcsolása esetén.

c) Rajzoljon fazorábrát a kompenzálás nélküli és a söntkondenzátor bekapcsolása utáni állapotra.

## 10.3 A közép és kiefeszültségű hálózatok feszültségszabályozása

a) szabályozási célok, eszközök 120/20 kV állomás + 20/0.4 kV rendszerben

A szabályozás szükségességének alapvető oka a fogyasztói teljesítményigény időbeni változása:

1. A rendszerterhelés, illetve a 120 kV-on szállított teljesítmény változása miatt az átviteli hálózati NAF /120 kV-os szabályozások ellenére változni fog a 120 kV / KÖF táppontok 120 kV-os oldali feszültsége, ezt az ingadozást a KÖF oldalra vonatkozóan ki kell küszöbölni.

2. A KÖF és a 0.4 kV-os hálózati elemeken (vezeték, transzformátor) a terhelés függvényében változik a feszültségesés, ezeket a változásokat a KÖF és KIF fogyasztói csatlakozási pontokra vonatkozóan ellensúlyozni kell.

Ezt a szükséges feszültségszabályozást a 120kV/KÖF transzformátor(ok) áttételének terhelés alatti változtatásával (fokozatléptetés) lehet megoldani, a 120 kV-os oldalon kialakított áttétel-változtatási lehetőség révén. A 120 /22 és a 120 /11 kV-os transzformátorok,  $\pm 15\%$ -os primer oldali csillagponti szabályozással rendelkeznek, a fokozatok száma 27 , vagy 19 (középpállás és  $\pm 13$ , illetve  $\pm 9$  fokozatlépés).

27 fokozatállás esetén  $15/13=1,15\%$ ,

19 fokozatállás esetén  $15/9 =1,66\%$

fokozatonkénti feszültségszabályozást tesz lehetővé.

Az automatikus feszültségszabályozás szükséges holtávja a fokozatváltás szabályozási értékének 1,5-szerese  
27 fokozat esetén: 1,7%, 19 fokozat esetén: 2,5%

A KÖF sín  $U_K$  feszültségének szabályozásával a 400/231 V névleges feszültségű fogyasztói csatlakozási pontokra kell biztosítani a feszültségnek a névleges (100 %-os) érték körüli 10 %-os sávon belül való megtartását. A szabályozási feladat, lényegét tekintve, a következők szerint fogalmazható meg:

1. A villamosan legközelebbi fogyasztónál (az ábrán a T1 transzformátorkörzetben F1) a feszültség ne legyen túl nagy, vagyis szükséges, hogy

$$U_{F1} [\%] \quad 110 \% \quad (440/254 \text{ V})$$

2. A villamosan legtávolabbi fogyasztónál (az ábrán a T2 körzetben F2, vagy a T3 körzetben F3) a feszültség ne legyen túl kicsi, vagyis szükséges, hogy

$$U_{F2}, U_{F3} [\%] \quad 90 \% \quad (360/208 \text{ V})$$

Völgyterheléskor az 1. feltétel megtartásához a 20 kV-os tápponti feszültség csökkentésének határt szab az 1. feltétel, csúcsterheléskor a 2. feltétel megtartásához a feszültség növelésének határt szab az 1. feltétel.

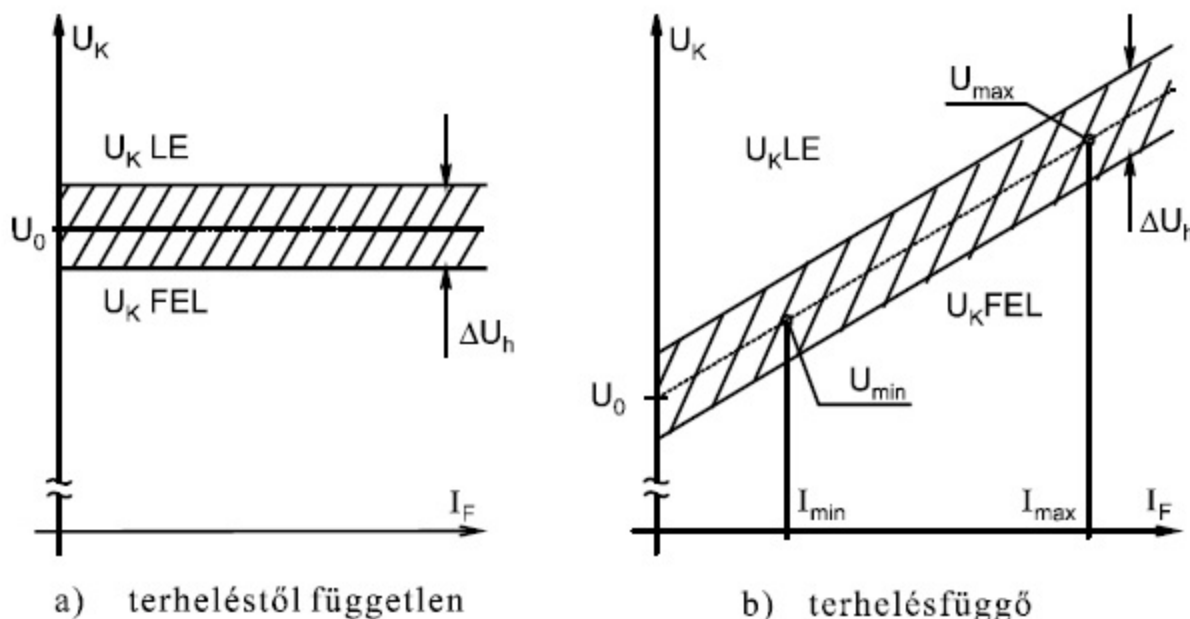
### b) a terhelőáramtól függő / független transzformátorszabályozás (ATSZ) szabályozást mutató karakterisztikái

A 22 kV-os tápponti gyűjtősín  $U_K$  feszültségének automatikus szabályozását kétféle megfontolás szerint végezhetjük:

a/ Transzformátor terheléstől független ( $U_0$  alapjel szerinti)  $U_K$  értékre szabályozás

b/ Transzformátor terhelésétől függő ( $U_0$  alapjeltől és terhelő áramtól függő)  $U_K$  értékre szabályozás

Az a/ esetben csak a 120 kV-os oldali feszültségingadozásokat és a 120/22 kV-os transzformátoron fellépő - a transzformátor terhelő áramától függő - feszültségesést kompenzáljuk, és a beállított (esetenként módosított)  $U_0$  alapjel szerinti  $U_K$  értékre szabályozunk.



### A feszültségszabályozás elvi karakterisztikája

A 120 kV-os oldali fokozatléptetés a K oldalra feszültségváltozást eredményez. A fel/le szabályozások elhatárolása céljából szabályozási holtávot ( $\Delta U_h$ ) kell tartani, amelyet az egy fokozatléptetés okozta feszültségváltozásnál ( $\Delta U_{fok}$ ) nagyobbra kell megválasztani. Esetünkben  $\Delta U_{fok} = 15\% / 9 = 1.66\%$ , tehát a  $\Delta U_h$  2.5 % holtáv beállítása megfelelő. A terhelő áramtól nem függő  $U_K$  értékre történő szabályozásnál az

Automatikus Transzformátor Szabályozó (ATSZ) által érzékelt feszültségre az  $U_{\dot{E}} = U_K = |U_K|$  érvényes, és a terhelés alatti automatikus szabályozás (fokozat léptetés) az alábbi feltételek szerint valósul meg:

$U_K$  felszabályozás, ha  $U_{\dot{E}} < U_{0A}$ , ahol  $U_{0A} = U_0 - U_h/2$

$U_K$  leszabályozás, ha  $U_{\dot{E}} > U_{0F}$ , ahol  $U_{0F} = U_0 + U_h/2$

Az  $U_0$  érték szükség szerint (távkezeléssel) módosítható.

Az  $U_K$  felszabályozás a 120 kV-os oldali a fokozatléptetést a kisebb menetszámok (a -15 %) irányába, a leszabályozás a nagyobb menetszámok (a +15%) irányába vezérli. Ha az  $U_K$  a holtsávba esik, akkor nem lesz fokozatléptetés. Az időleges ingadozások miatti felesleges szabályozást a fokozatváltás megfelelő késleltetésével (például 60-120 sec) kell elkerülni.

A b/ esetben a 22 és 0.4 kV-os oldalon fellépő - az egyes leágazásokban a „saját” terhelő áramtól függően változó - feszültségeséseket is ellensúlyozni kívánjuk, elvileg úgy, mintha a 120 /22 kV-os transzformátor terhelését figyelembe véve az összes leágazás által ellátott teljes fogyasztói terület fiktív villamos súlypontjában tartanánk állandó értéken a feszültséget. Ezt az elvet úgy valósítjuk meg, hogy a transzformátort terhelő  $I_{Tr}$  áram és az alállomási (esetenként ki-vagy bekapcsolt) kondenzátortelep(ek)  $I_C$  áramából képezzük a teljes fogyasztói terület eredő  $I_F$  áramfelvételét az

$$I_F = I_{Tr} - I_C$$

szerint. A szabályozóban egy beállított  $Z_m$  műimpedancián fellépő feszültségeséssel módosítjuk az alállomási gyűjtősín tényleges  $U_K$  feszültségét, és ezt tekintjük az  $U_{\dot{E}}$  érzékelt feszültségnek:

$$U_{\dot{E}} = |U_K - Z_m I_F|$$

A szabályozási logika a továbbiakban ugyanaz, mint az a/ estben, de a beállított  $U_0$  alapjel most a fiktív villamos súlypont állandó értéken (pontosabban a holtsávon belül) tartott feszültségének feleltethető meg.

## **11. NF hurkolt hálózatok számítása**

Sajnos itt főleg csak kézzel írt jegyzet van, mely szerintem tökéletesen lefedi a kérdések anyagát, persze próbálom csak a lényegét kivenni. Teljes képben hagyom, hogy jól látható legyen, ha valaki lementeni szeretné. Természetesen ha így gagyí, akkor megpróbálhatom jobbra tenni, de szerintem pont az a lényeg, hogy a fontos rész itt egyben legyen, az pedig így itt van (:

### **11.1 A csomóponti $I=YU$ és $U=ZI$ egyenlet értelmezése, $Y$ és $Z$ meghatározása**

**a) Értelmezze a hurkolt hálózat  $I=YU$  és  $Z=UI$  csomóponti egyenletéhez az  $I$ ,  $U$ ,  $Y$ ,  $Z$  elemeit**

Ábra és meghatározás:

Adatok: az  $i$ - $j$  csomóponti kapcsolatok és az  $R_{i-j}$  értékek: 1-2  $1\Omega$ , 1-4  $1\Omega$ , 2-3  $2\Omega$ , 2-4  $2\Omega$ , 4-0  $4\Omega$



A hálózatra

$$\underline{I} = \underline{Y} \underline{U} \quad \text{ahol } \underline{Y} \text{ a csop. adm. mátrix}$$

$$\underline{I} = \begin{bmatrix} I_1 \\ I_2 \\ \vdots \\ I_n \end{bmatrix} \quad \text{és} \quad \sum_{i=0}^n I_i = 0 \quad \text{mert a csop. áramok közös visszavertése a referenciaáram (referencia csomópont)}$$

$$\underline{U}_i = \begin{bmatrix} U_{i0} \\ U_{i1} \\ \vdots \\ U_{in} \end{bmatrix} \quad \text{a csomópontok referencia-pontokhoz képesti feszültsége } \textcircled{0} \uparrow U_i$$

$$\underline{Y} = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} & \dots & Y_{1n} \\ & Y_{22} & & \\ & & \dots & \\ & & & Y_{nn} \end{bmatrix} \quad \text{ahol az elemi vez. ill. kitpólsókra vonatkozó egyenletek "összekapcsolása" alapján}$$

$$Y_{ij} = -y_{i-j} \quad \text{az } i-j \text{ köppólásból}$$

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

Eg. (pl az  $\textcircled{0}$ ) csomópontja:

$$\rightarrow I_i = \sum_{R=1}^n Y_{iR} U_R = Y_{ii} U_i + \sum_{R \neq i} Y_{iR} U_R$$

Az elemi modellekre

$$\rightarrow S_{i-j} = P_{i-j} + jQ_{i-j} = U_i \hat{I}_{i-j} \quad \text{köppólásra}$$

$$\rightarrow S_{i-0} = P_{i-0} + jQ_{i-0} = U_i \hat{I}_{i-0} \quad \text{kitpólsóra}$$

A hálózat csomópontjaira

$$\rightarrow S_i = U_i \hat{I}_i \quad [ S_i = \sum (S_{i-j}) + \sum (S_{i-0}) ]$$

$$\text{és } P_i = \text{Re}\{S_i\}; \quad Q_i = \text{Im}\{S_i\}$$

$$\text{továbbá } S_i = P_i + jQ_i$$

Az áramerősségek csomópontot magába foglaló egyenletrendszer:

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

ahol  $\underline{U}$ : a csomóponti feszültségek  
 $\underline{I}$ : a csomóponti áramok  
 $\underline{Z}$ : a csomóponti impedancia mátrix

Ha az  $\underline{Y}$  és a  $\underline{Z}$  mátrix ugyanazon elemi modellekből felépített rendszerre vonatkozik, akkor az

$$\underline{I} = \underline{Y} \underline{U} \quad \text{és} \quad \underline{U} = \underline{Z} \underline{I}$$

alapján 
$$\underline{Z} = [\underline{Y}]^{-1}$$

Összekapcsolva:

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

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

rövidzárási ( $U_j = 0$ )  
 csomóponti  
 és  
 transzfer  
 admittanciák

áramzárási ( $I_j = 0$ )  
 csomóponti  
 és  
 transzfer  
 impedanciák

A  $\underline{Z}$  mátrix elemei az áram  $i$  feszültségmegváltozások kapcsolására adnak felülíróértéket:

ábrapállapot 
$$\underline{U}^{(0)} = \underline{Z} \underline{I}^{(0)}$$

$\Delta I_i$  megváltozás hatására 
$$\left. \begin{array}{l} I_i = I_i^{(0)} + \Delta I_i \\ I_j = I_j^{(0)} \quad j \neq i \quad (\Delta I_j = 0) \end{array} \right\}$$

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

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

tehát  $Z_{ii}$  a csomópont "mérésérték"  
 $Z_{ji}$  a  $j$  és  $i$  közötti "váltakozó tárolást"  
 adja meg.

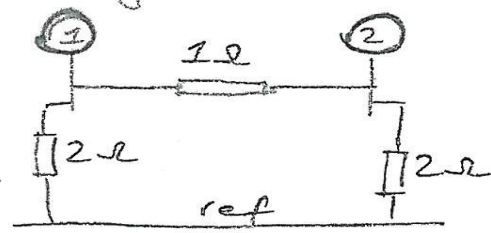
b) Rajzolja meg a megadott hálózatot, a referenciapont a 0

c) Határozza meg az Y mátrix elemeit a megadott egyszerű passzív hálózat

d) Határozza meg a Z mátrix Z22, Z21, Z23 és Z24 elemeit a megadott egyszerű passzív hálózat

A "mini" example for Y<sub>bus</sub> and Z<sub>bus</sub> - 1 -

The "system"



1 Ω → 1 mho  
2 Ω → 0.5 mho

$y_{1-2} = 1/2_{1-2}$   
 $y_{1-0} = 1/2_{1-0}$

Y<sub>bus</sub>

	①	②
①	1.5	-1
②	-1	1.5

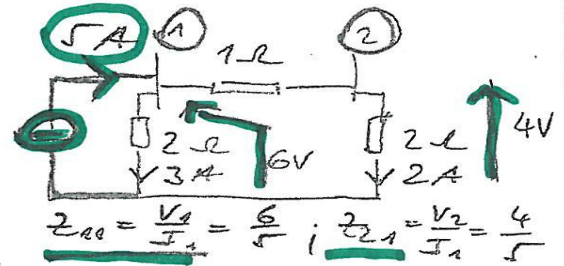
who

$Y_{11} = y_{1-2} + y_{1-0}$   
 $Y_{22} = y_{1-2} + y_{2-0}$   
 $Y_{12} = Y_{21} = -y_{1-2}$

Z<sub>bus</sub>

	①	②
①	6/5	4/5
②	4/5	6/5

or



$Z_{22} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{6}{5}$  ;  $Z_{21} = \frac{V_2}{I_1} = \frac{4}{5}$

Y<sub>bus</sub> \* Z<sub>bus</sub> = 

1	0
0	1

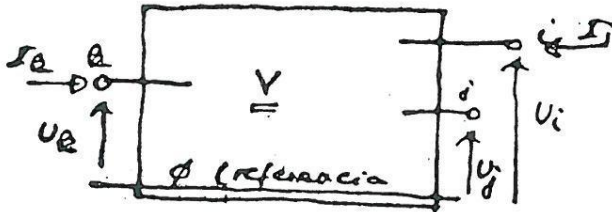
$Y_{bus} 1^{th} \text{ row} * Z_{bus} 1^{th} \text{ col} : 1.5 * \frac{6}{5} - 1 * \frac{4}{5} = \frac{5}{5} = 1$   
 $Y_{bus} 1^{th} \text{ row} * Z_{bus} 2^{th} \text{ col} : 1.5 * \frac{4}{5} - 1 * \frac{6}{5} = 0$   
 $Y_{bus} 2^{th} \text{ row} * Z_{bus} 1^{th} \text{ col} : -1 * \frac{6}{5} + 1.5 * \frac{4}{5} = 0$   
 $Y_{bus} 2^{th} \text{ row} * Z_{bus} 2^{th} \text{ col} : -1 * \frac{4}{5} + 1.5 * \frac{6}{5} = \frac{5}{5} = 1$

## 11.2 Hálózati elem négyfólyus modelljének y admittancia mátrixa, valós áttételű transzformátor négyfólyus modellje

a) Adja meg egy passzív négyfólyus  $I = y \cdot U$  csomóponti egyenletét, a négyfólyus y admittanciamátrix elemeinek értelmezését (meghatározását)

A csomóponti admittancia mátrix  
fizikai értelmezése mérések alapján

Hálózati váza:



Egyenletrendszer

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

vagyis részletezve:

$$I_i = Y_{ii} U_i + \sum_{j \neq i} Y_{ij} U_j$$

$$I_k = Y_{ka} U_a + \sum_{j \neq k} Y_{kj} U_j$$

Az egyenletekben

ha  $U_i \neq 0$  de minden

más  $U_k (k \neq i) = 0$  akkor:

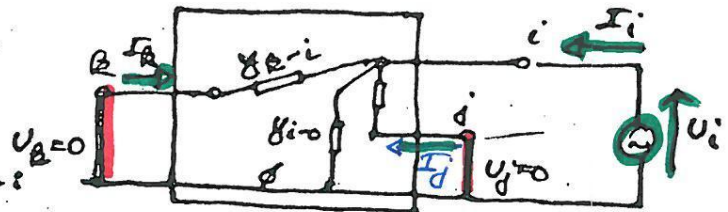
$$I_i = Y_{ii} U_i$$

$$I_j = Y_{ji} U_i$$

$$I_k = Y_{ki} U_i$$

A mérési vezérlés alapján:

$$Y_{ii} = \frac{I_i}{U_i} = y_{k-i} + y_{j-i} + \dots + y_{i-i} = \sum_i y_{j-i} + y_{i-i}$$



$$Y_{ki} = \frac{I_k}{U_i} = -y_{k-i}$$

Vagyis az  $\underline{Y}$  mátrix elemei rövidzárási méretpontok ( $Y_{ii}$ )

i transzfer ( $Y_{ki}$ ) admittanciainak összekezdése.

c) Adja meg egy valós áttételű transzformátor  $I = y \cdot U$  egyenletét és  $y$  admittancia mátrixát az at áttétellel és az ytr admittanciával

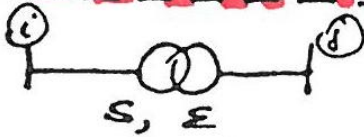
d) Levezetés alapján adja meg az áttételt is magába foglaló passzív négy pólus elemeinek kifejezését az at áttétellel és az ytr admittanciával.

Transzformátor (kapcsolási rajzát korábban láttuk)

Több feszültségűre közzelbe adható technikai mérései:

- 1, közös feszültségűre
- 2, viszonylagos értékben
- 3, "Saját" feszültségűre

A transzformátor képe

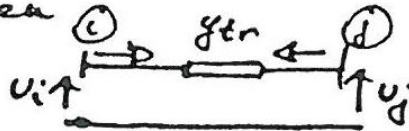


$a = U_i / U_j$  arányokban

A j) oldalra rövidített impedancia  
 $Z_{tr} = E \cdot \frac{(U_{j0})^2}{S}$

ittalra  $y_{tr} = \frac{1}{Z_{tr}} = \frac{1}{E} \cdot \frac{S}{(U_{j0})^2}$

1) ill 2) esetben



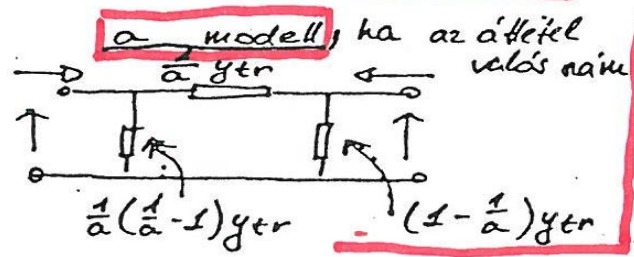
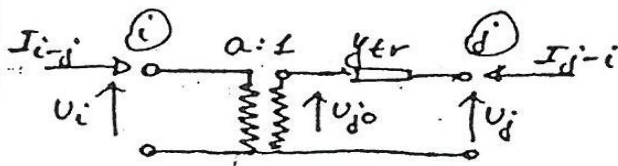
1)  $U_i$  és  $I_i$  a

j) oldali feszültségűre

2) v.c. ban

De: 1) minden elem  $U_i, U_j, I_i, I_j, y_{i-j}, y_{j-i}$   
 a)  $y_{j-i}$  közös feszültségűre ill 2) az áttétellel  
 azaz áttétel alapmennyiségek szerinti viszonylagos  
 értékben.

3) Levezetés a "sajót" feszültségűre történő rámutatáshoz



Levezetés:

Az eredeti alakra:

továbbá:  $U_{j0} = \frac{1}{a} U_i$ ;  $I_{j-i} = -\hat{a} I_{i-j}$  mert  $U_{j0} \hat{I}_{j-i} = -U_i \hat{I}_{i-j}$

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

$$I_{i-j} = -\left(\frac{1}{\hat{a}}\right) I_{j-i} = \frac{1}{a \hat{a}} y_{tr} U_i + \frac{1}{a} y_{tr} U_j$$

tömören:

$$\begin{bmatrix} I_{i-j} \\ I_{j-i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{1}{a^2} y_{tr} & -\frac{1}{a} y_{tr} \\ -\frac{1}{a} y_{tr} & y_{tr} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_i \\ U_j \end{bmatrix}$$

A kétféle admittanciámatrica passzív elemekkel leképezhető a mátrix szimmetrikus: vagyis jelcsere esetén  $a = \hat{a}$ ; a valós (nincs keresztcsatározás)

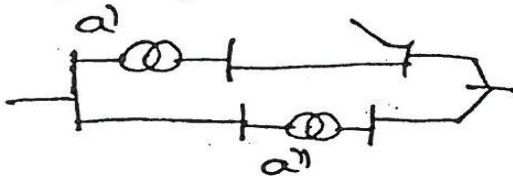
Az admittanciámatrica értelmezése alapján:

$$y_{i-j} = \frac{1}{a} y_{tr} \quad (\neq y_{ij} = y_{ji} = -y_{i-j})$$

$$y_{i-0} = y_{ii} - y_{i-j} = \frac{1}{a^2} y_{tr} - \frac{1}{a} y_{tr} = \frac{1}{a} \left(\frac{1}{a} - 1\right) y_{tr}$$

$$y_{0-0} = y_{00} - y_{i-j} = y_{tr} - \frac{1}{a} y_{tr} = \left(1 - \frac{1}{a}\right) y_{tr}$$

Az 1, és 2, sorinti rámutatás esetében, ha:



ei  $a' \approx a''$   
de  $a' \neq a''$  !

akkor pl közös feszültségűre rámutatás  $a = a'$

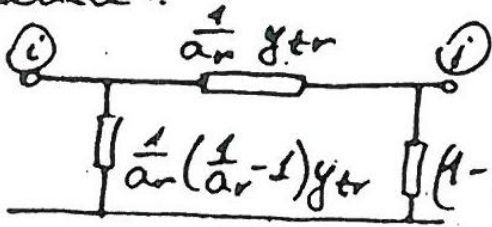
átféttel oi az  $a''$ -s trafóval  $\hat{a}_r = \frac{a''}{a}$  alapján a 3) sorinti modell kell ( $\hat{a}_r$  értelmezésében károsítható)

Használó a helyet, ha a transzformátor szabályozást akarjuk 3, variál modellezni vagyis



$$a_n = \frac{U_{in}}{U_{jn}} \quad \text{de} \quad a = \frac{U_i}{U_{j0}} \neq a_n$$

A modell:

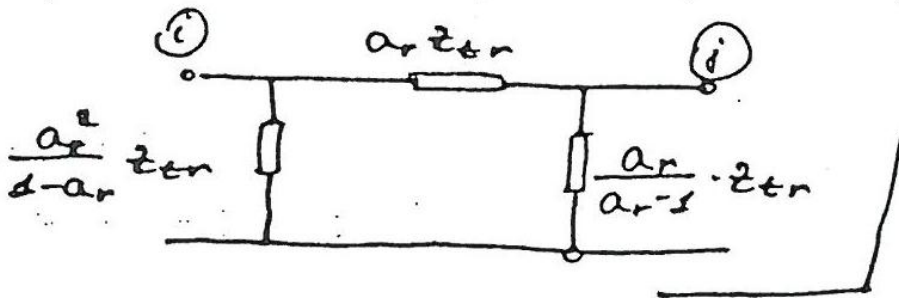


$$\text{ahol } a_r = \frac{a}{a_n}$$

$$y_{tr} = \frac{1}{E} \frac{S}{(U_{jn})^2}$$

de minden más elem  $a_n$  ill  $a_n^2$  variál számítva a  $j$  oldalra.

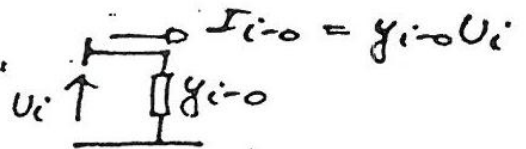
Hagyjuk: ha az admittanciák helyett az "ismerős" impedanciaértéket írjuk akkor  $z = 1/y$  alapján:



Statikus sötetelem



a modell egy kétpólus:



### **11.3 Hálózatredukció az $I=YU$ egyenlet alapján. Egyenértékű modell $Z$ csomóponti mátrix elemei alapján**

a) Ismertesse a hálózatredukció eljárását az  $I=YU$  egyenlet alapján , és mutassa meg a redukált hálózathoz  $Y_{red}$  és  $I_{red}$  kifejezését //túl nagy a kép sajnos, ezért nem vagdosom.

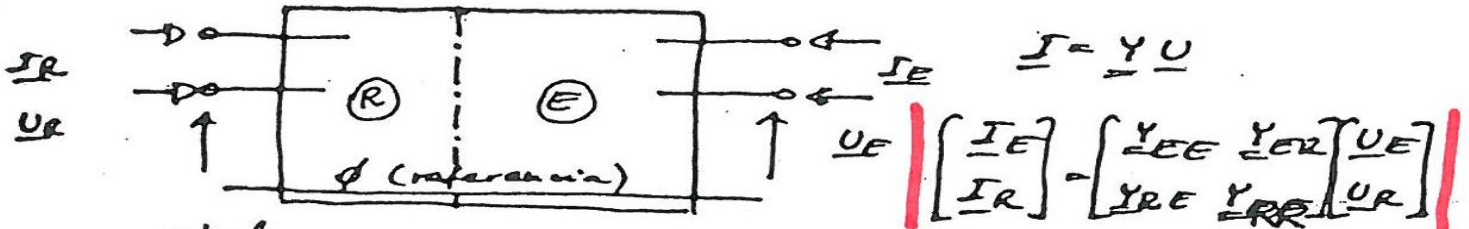


## HÁLÓZAT REDUKÁLÁSA

A hálózatra a csomóponti áramok ( $\underline{I}$ ) és a csomóponti feszültségek ( $\underline{U}$ ) közötti összefüggések (lineáris hálózati elemeket feltevéssel) lineáris egyenletrendszerrel írhatók le:

$$\underline{I} = \underline{Y} \underline{U} \quad \text{ahol } \underline{Y} \text{ a csomóponti admittancia mátrix.}$$

Ha a teljes hálózattól csak a csomópontok egy részére keressük az áram-feszültség összefüggéseket, akkor ezt a hálózat redukciójával érkeztük el.



ahol

Ⓡ a végpont hálózatra

ⓔ az elhagyott hálózatra

A hálózatot az  $i \in \text{Ⓡ}$  csomópontokra redukáljuk és keressük a  $j \in \text{ⓔ}$  elhagyott csomópontok hatásait tartalmazó áram-feszültség összefüggést az Ⓡ hálózatra, vagyis keressük az

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_R^{(red)} \\ \underline{I}_R \end{bmatrix} = \underline{Y}_{RR}^{(red)} \underline{U}_R \quad \text{egyenletrendszer}$$

(red)-del jelölt mennyiségek

A teljes hálózatot címő egyenletrendszert kifejtve:

$$\underline{I}_E = \underline{Y}_{EE} \underline{U}_E + \underline{Y}_{ER} \underline{U}_R$$

$$\underline{I}_R = \underline{Y}_{RE} \underline{U}_E + \underline{Y}_{RR} \underline{U}_R$$

az első egyenletből:  $\underline{U}_E = \underline{Y}_{EE}^{-1} \underline{I}_E - \underline{Y}_{EE}^{-1} \underline{Y}_{ER} \underline{U}_R$

és ezt a másodikba behelyettesítve is rendezve

$$\begin{bmatrix} \underline{I}_R - \underline{Y}_{RE} \underline{Y}_{EE}^{-1} \underline{I}_E \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{Y}_{RR} - \underline{Y}_{RE} \underline{Y}_{EE}^{-1} \underline{Y}_{ER} \end{bmatrix} \underline{U}_R$$

$$\underline{I}_R^{(red)} = \underline{Y}_{RR}^{(red)} \underline{U}_R$$

Ha  $\underline{I}_E = \underline{0}$  vagyis az elhagyott csomópontokon nincs árambekapcsolás (degy árcéltel) akkor PASSIV Hálózat (reír) redukciójáról van szó.

Helyenkor

$$\underline{I}_R^{(red)} = \underline{I}_R = \underline{Y}_{RR}^{(red)} \underline{U}_R$$

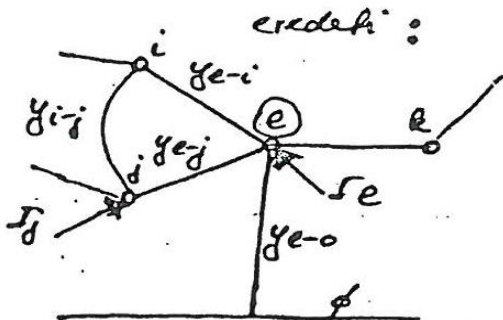
Az egyenletrendszer ill  $\underline{Y}_{RR}^{(red)}$  egyúttal egyenletkező közbet is jelenti

Ha  $\underline{I}_E \neq \underline{0}$  tehát  $\underline{I}_R^{(red)} \neq \underline{I}_R$  akkor passzív+aktív közbet redukciót végeztünk. Ha alapesetben ismert

$\underline{I}_E = f(\underline{U}_E, \underline{U}_R)$  akkor a redukció csak abban az esetben eredményes egyenletkező közbet egyenletrendszer ha igaz az, hogy:

$\Delta \underline{I}_E = \underline{0}$  vagyis  $\Delta \underline{I} \neq f(\Delta \underline{U}_E, \Delta \underline{U}_R)$ ; ekkor köz csak az egy en egyenletkező csak közbet jellegű.  
(Az egyenletkező a közbet erősségekre nem vonatkozik!)

A redukciót nem "egyszerre", hanem eg-eg csomópont egy utáni redukciójával végeztük el a többszörös módon:



Az  $\underline{Y}_{EE}$  és  $\underline{Y}_{ER}$  ill  $\underline{Y}_{RE}$  matrixokban most

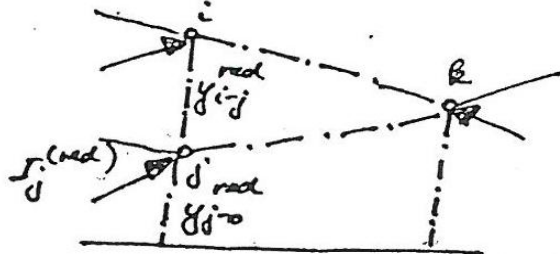
$$Y_{ee} = \sum_i Y_{e-i} + Y_{e-0}$$

$$Y_{ej} = -Y_{e-j}$$

$$Y_{ei} = -Y_{e-i}$$

$$Y_{ij} = Y_{ji}$$

Az  $\textcircled{e}$  csop redukciójánál:



a redukció alapszámításait alkalmazva:

$$Y_{ij}^{red} = Y_{ij} - \frac{Y_{ie} Y_{ej}}{Y_{ee}}$$

$$Y_{jj}^{red} = Y_{jj} - \frac{Y_{je} Y_{ej}}{Y_{ee}}$$

$$I_j^{red} = I_j + \frac{Y_{je}}{Y_{ee}} I_e$$

A csop aditívumain pozitív elemei  $(Y_{ii}, Y_{ij} \neq 0)$  és az összeadható elemek aditívumai  $(y_{i-j}, y_{j-0})$  közötti összefüggések alapján a redukált közből illetve annak esetében az  $\ominus$  csop redukciója utáni állapot összeadhatóság is megadható

$$\begin{array}{l}
 \text{pozitív} \\
 \text{aditív}
 \end{array}
 \left[ \begin{array}{l}
 y_{i-j}^{\text{red}} = Y_{ij}^{\text{red}} = -Y_{ij} + \frac{Y_{ie} Y_{ej}}{Y_{ee}} = y_{i-j} + \frac{(y_{i-e})(y_{e-j})}{Y_{ee}} \\
 y_{j-0}^{\text{red}} = Y_{jj}^{\text{red}} - \sum_i y_{i-j}^{\text{red}}
 \end{array} \right.$$

$$\begin{array}{l}
 \text{aditív} \\
 \text{aditív}
 \end{array}
 \left[ \begin{array}{l}
 I_j^{\text{red}} = I_j - \frac{Y_{ie}}{Y_{ee}} I_e = I_j + \frac{y_{e-i}}{Y_{ee}} I_e
 \end{array} \right.$$

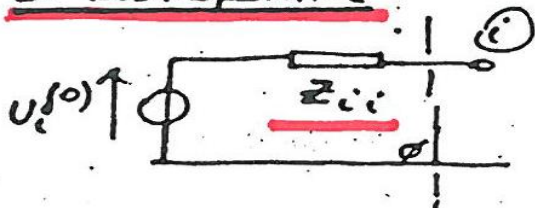
b) a két (pl: i és j) csomópontra (és a referenciapontra) vonatkozó passzív modellt a Z mátrix elemei alapján.

c) a két (pl: i és j) csomópont közé bekapcsolt új Zág impedancián folyó áram meghatározását és az ennek hatására létrejövő potenciálváltozások meghatározását az ún. áramkompenzációs elvű eljárással.

Adott a bekapcsolás előtti állapotra:  $U_i, U_j, U_k, Z_{ii}, Z_{jj}, Z_{ij}, Z_{ik}, Z_{jk}$ , és  $Z_{ág}$  értéke.

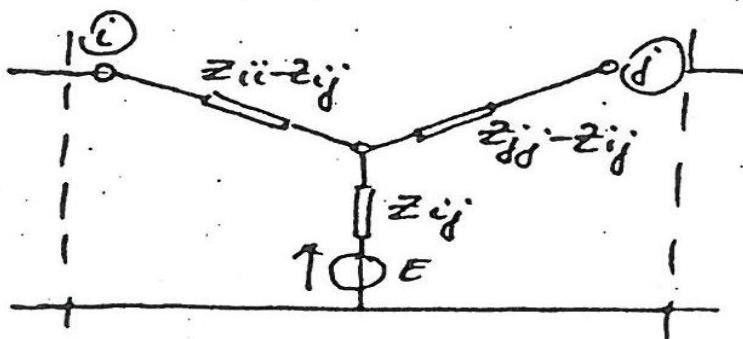
### Egyértékű csomóponti modellek

#### 1 csomópontra



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

#### 2 csomópontra (terheletlen kábel)



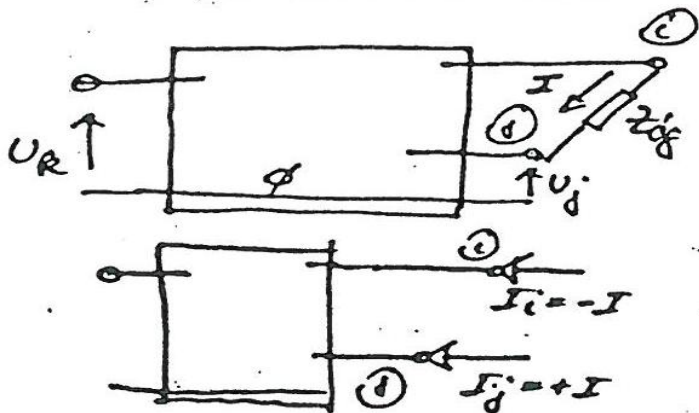
$Z_{ii}, Z_{jj}, Z_{ij}$   
a  $\underline{Z}$  mátrix elemei

(Az ábra a  $\underline{Z}$  értelmezése alapján készült)

Az  $i$  és  $j$  között mérhető impedancia (az ábra alapján)

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

#### $U_j$ ág bekapcsolásakor



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

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

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

továbbá

$\Delta U_R = -Z_{Ri} I + Z_{Rj} I$

## **12. Teljesítményáramlás számítása NF hurkolt hálózaton**

Sajnos itt főleg csak kézzel írt jegyzet van, mely szerintem tökéletesen lefedi a kérdések anyagát, persze próbálom csak a lényegét kivenni. Teljes képben hagyom, hogy jól látható legyen, ha valaki lementeni szeretné. Természetesen ha így gagyi, akkor megpróbálhatom jobbra tenni, de szerintem pont az a lényeg, hogy a fontos rész itt egyben legyen, az pedig így itt van (:

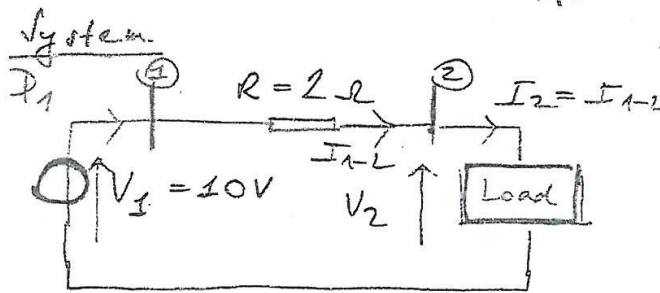
12.1 a) része és a 12.2 b) része ugyanaz.

Ismertesse, értelmezze, magyarázza:

**12.1 a) a számítási alapfeladat előírt (ismert) és számítandó mennyiségeinek rendszerét, a betáplálások típus-modelljeit**

# A feladat nem lineáris jellegű

## Introduction to Power Flow Studies



Load:  
 $P_2 = 8\text{ W}$  demand  
 $Q = 0$   
 $V_2$  is unknown

### Problem to be solved

•  $V_2 = ?$      $I_{1-2} = ?$      $P_{\text{loss}} = ?$      $P_1 = ?$

### Theoretically two solutions exist:

a)  $V_2^{(1)} = 8\text{ V}$      $I_{1-2}^{(1)} = 1\text{ A}$      $I_2^{(1)} = 1\text{ A}$

!  $P_2 = V_2 I_2 = V_2^{(1)} \cdot I_2^{(1)} = 8\text{ W}$

b)  $V_2^{(2)} = 2\text{ V}$      $I_{1-2}^{(2)} = 4\text{ A}$      $I_2^{(2)} = 4\text{ A}$

?  $P_2 = V_2 I_2 = V_2^{(2)} \cdot I_2^{(2)} = 2 \cdot 4 = 8\text{ W}$

### Which one is the real one?

a)  $P_{\text{loss}}^{(1)} = R \cdot (I_{1-2}^{(1)})^2 = 2 \cdot 1^2 = 2\text{ W}$

b)  $P_{\text{loss}}^{(2)} = R \cdot (I_{1-2}^{(2)})^2 = 2 \cdot (4)^2 = 32\text{ W}!$

$P_1 = P_{\text{Load}} + P_{\text{loss}}$

a)  $P_1 = 8 + 2 = 10\text{ W}$

b)  $P_1 = 8 + 32 = 40\text{ W}$

### physical solution

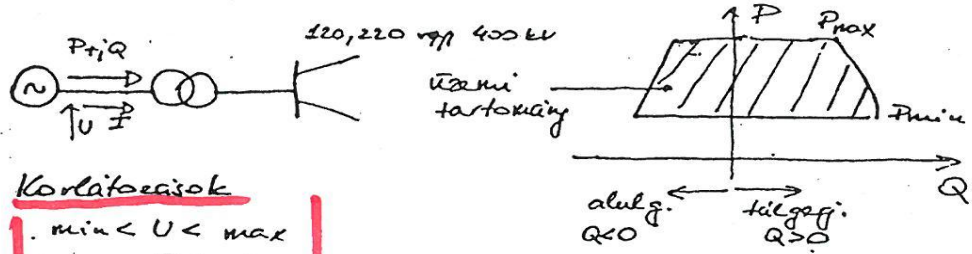
min loss  $\rightarrow V_2^{(1)} = 8\text{ V}$

$P_{\text{loss}}^{(1)} = 2\text{ W}$

the solution a)

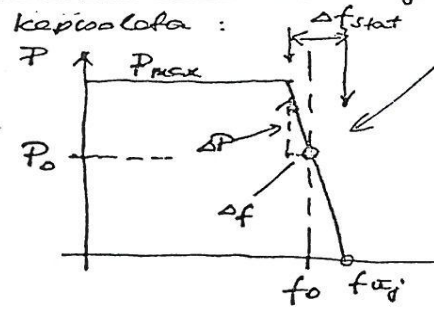
# A betáplálások (forrásból) leképezése

Ennek rendszeres és matematikailag alátámasztott megoldása lényegesen összetettebb feladatot, mint ahogy azt a terkelek esetében láttuk; ezért csak az elvi hátteret vizsgáljuk és a gyakorlatban működés közelítő feltevéseket alkalmazunk. (rendszeresbb kapárazat nélkül).



- Korlátozások**
- $\cdot \min < U < \max$
  - $\cdot I < \max$
  - $\cdot \min < P < \max$
  - $\cdot \min < Q$  (stabilitási okokból)

A leendő P teljesítmény is a rendszer frekvenciájának



a generátor-turbina frekvencia karakterisztikája

$f_0$ : "üzemi frekvencia"

$f_0$ : rendszer frekvencia

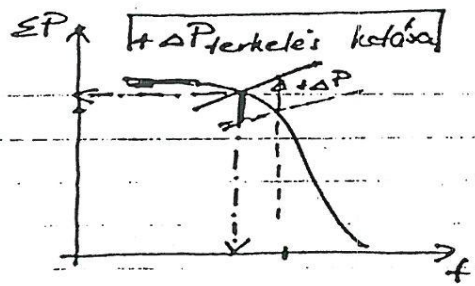
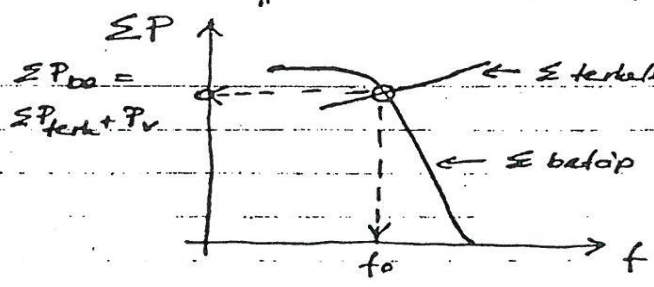
$\Delta f = f - f_0 \rightarrow P = P_0 + \Delta P = P_0 - k \Delta f$

és  $P \leq P_{\max}$

[5%-os statizmusra  $\Delta f_{\text{stat}} = 0,05 \cdot 50 = 2,5 \text{ Hz}$ ]

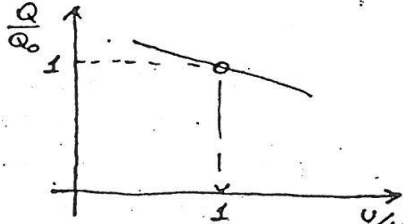
A primer szabóság a frekvenciaváltozás hatására megváltoztatja a betáplált teljesítményt.

A rendszer frekvenciája a betáplálások és a terkelek (+ tartalék) együttes teljesítmény-frekvencia jelleggörbéi által egyértelműen adódik.



11/23

A kapacitív - leadott meddőteljesítmény összefüggés követhető:



vagyis, ha a hálózati kisebb feszültséget kívánunk a gépkapocorra, akkor növekszik a meddőteljesítmény - betáplálás (és fordítva) és ennek  $\%U_0$  hatására növekszik for a kapacitív teljesítmény (és fordítva)

A munkapontra linearizálható tekintések kapott a gyakorlatban szokás egyszerűsítő követelmények a következők:

1. A rendszer frekvenciáját nem számítjuk (vagyis nem a betáplált és fogyasztott teljesítmények alakítását ki frekvenciát) hanem azt ismertként tekintjük.

Követelmény: <sup>mind,</sup> a hálózati értékek csak a számítás végén határozhatók meg (kezdetben tehát ismeretlenek) ezért kell egy olyan betáplálási pont ahol nem számítjuk a betáplált teljesítményt.

2. Az 1. ponttal és a feszültség-meddőteljesítmény karakterisztika elkészítésével együtt jár, hogy a  
 $P$  (betáplált hatás)  
 $Q$  (betáplált meddő)  
 $U$  (feszültség)

vonatkozásában a következő típusú betáplálási pontokat kell értelmezni:

a)  $P_G$  előirt és  $Q_G$  előirt (előirt: megírt)  
 típus:  $PQ$  ( $PQ$  menetrend)

b)  $P_G$  előirt és  $|U|$  előirt  
 típus:  $PU$  ( $PU$  menetrend)

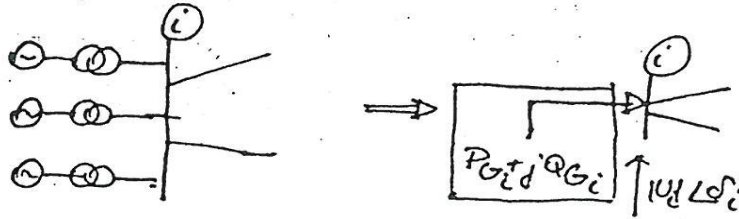
(feladata: a hálózati feszültségek megtartása)

c)  $|U|$  előirt és  $\delta = 0^\circ$  a vonatkozási irány  
 típus:  $U\delta$ : Hírágerőmű (lásd 1. pont)  
 ilyen típusú csomópont 1 kell.

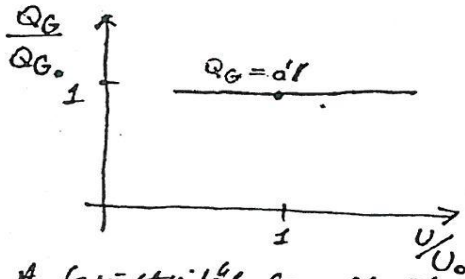


3. A  $P_G, Q_G, |U|$ -ei  $\delta$  az erőmű kálózati csatlakozási pontjára értelmezett

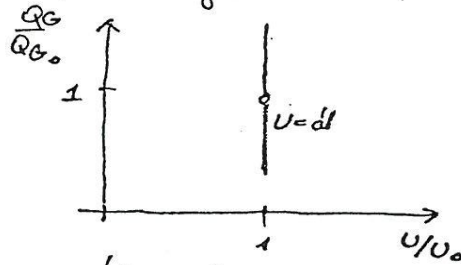
Ábrázolva:



Megjegyzés: a 3. pont szerinti értelmezés általános jellegű a jelenlegi számítási eljárásokban, de az 1. és 2. a "klasszikus eljárások" kategóriájába tartozik és a gyakorlatban már károsabb a linearizált modellek alapján történő leképezés. A  $Q_G = \text{áll}$  és az  $U = \text{áll}$  előírás az alábbi idealizált karakterisztikának felel meg:



A feszültségtől függetlenül állandó  $Q_G$ -re szabóhoz



Állandó feszültségre szabóhoz

Load-Flow elvi példa numerikus megoldása iterációval:

Lineáris közelítéssel

$U=8V \quad I=1A \quad P=UI=8W$

Adatok:  $E=10 \text{ V}$ ,  $R=2 \text{ ohm}$   $P^e=8W$  (előírt) Keresett: U

Alapegyenletek:  $P=U*I$  és  $I=(E-U)/R$  ebből:

a  $P^e$  előírt és az  $U^{i-1}$  iterációs érték szerint

$I^{i,SZ} = P^e / U^{i-1}$  a számított áram és ebből:

$U^i = E - R * I^{i,SZ}$  az iterációval „javított” új U érték

$\Delta U^i = U^i - U^{i-1}$  a változás az i iterációs lépésben

$P^{i,SZ} = U^i * I^{i,SZ}$  a számított P érték

$\Delta P^i = P^e - P^{i,SZ}$  eltérés az előírt  $P^e$  értéktől

végül  $U^{i-1} \leftarrow U^i$  az újabb iterációs számításhoz

i	$U^{i-1}$	$I^{i,SZ}$	$U^i$	$\Delta U^i$	$P^{i,SZ}$	$\Delta P^i$
1	10.0	0.8	8.4	-1.6	6.72	1.28
2	8.4	0.9524	8.0952	-0.3048	7.0799	0.2901
3	8.0952	0.9882	8.0235	-0.0717	7.9288	0.0712
4	8.0235	0.9971	8.0058	-0.0177	7.9826	0.0174
5	8.0058	0.9993	8.0014	-0.0044	7.9958	0.0042
6	8.0014	0.9998	8.0004	-0.001	7.9988	0.0012

12. 1 c) az eljárás egyszerűsített algoritmusát, ha nincs PU típusú csomópont:  
(kezdet, ciklusok, egyenletek, logikai döntések, befejezés)

## Gauss-Seidel iterációs módszer

Az egyszerűség kedvéért PU típusú csomópontot nem veszünk fel.

A számítás fő lépései:

1. A kezdetértékek beállításása

a)  $U_1 = |U_1| |0|$  a kiáramlásra

b)  $U_i = |U_i| |0|$   $i = 2, 3, \dots, n$  (a PQ típusú csomópontokra)

2. Iterációs ciklus

$i = 2, 3, 4, \dots, n$

a)  $I_i = \hat{S}_i / \hat{U}_i$  ----- csomópontmodell

b)  $U_i^{j+1} = \frac{1}{Y_{ii}} [I_i - \sum_{j \neq i} Y_{ij} U_j]$  ----- hálózati

c)  $S_i = U_i^{j+1} \hat{I}_i$  ----- } hibakorrekcióhoz

d)  $H_i = |P_i^e - P_i| + |Q_i^e - Q_i|$  ----- }

e)  $U_i^s = U_i + \alpha (U_i^{j+1} - U_i)$  [ $\alpha = 1 \div 1,7$ ; gyorsító]

3.  $\max(H_i) < \epsilon$

NEM

IGEN

4.  $I_1 = Y_{11} U_1 + \sum_j Y_{1j} U_j$

$S_1 = U_1 \hat{I}_1$

és a további eredményeket

Megjegyzés:

- A 2/d képlet helyett  $H_i = |U_i^{j+1} - U_i|$  is lehet

- a 2/e és 2/b bevezetéséből látható, hogy pl a k-adik csomópontra az

$U_k^{j+1}$  számításánál már meg kell adni a

a 2, 3, 4... (k-1) csomópontokra meghatározott "új" feszültségeket.

## Load-Flow elvi példa numerikus megoldása iterációval

### $dP/dU$ érzékenységi függvény segítségével

$$U=8V \quad I=1A \quad P=UI=8W$$

**Adatok:**  $E=10V$ ,  $R=2\text{ ohm}$   $P^e=8W$  (előírt) **Keresett:**  $U$

**Alapegyenletek:**  $P=U \cdot I$  és  $I=(E-U)/R$  ebből:

$$P^{i,sz} = \{EU^{i-1} - (U^{i-1})^2\} / R \quad \text{a számított } P \text{ érték. (i: iterációs érték)}$$

$$(dP/dU)^i = (E - 2U^{i-1}) / R \quad \text{a } \Delta P / \Delta U \text{ érzékenység,}$$

amely szerint

$$\Delta P^i = (dP/dU)^i * \Delta U^i, \quad \text{illetve a}$$

$$\Delta P^i = P^e - P^{i,sz} \quad \text{meghatározásával (eltérés a } P^e \text{ értéktől)}$$

a szükséges  $\Delta U^i$  változtatás:

$$\Delta U^i = [(dP/dU)^i]^{-1} * \Delta P^i,$$

és így :

$$U^i = U^{i-1} + \Delta U^i \quad \text{az iterációval „javított” új } U \text{ érték.}$$

végül  $U^{i-1} \leftarrow U^i$  az újabb iterációs számításhoz

i	$U^{i-1}$	$P^{i,sz}$	$\Delta P^i$	$(dP/dU)^i$	$\Delta U^i$	$U^i$
1	10.0	0.0	8.0	-5.0	-1.6	8.4
2	8.4	6.72	1.28	-3.4	-0.3765	8.0235
3	8.0235	7.2992	0.0708	-3.0235	-0.0234	8.0000
4	8.0000	8.0	0.0			

A hálózati csomópontok teljesítmény-fervültség  
érékenysége

Az elemzésnek célja az, hogy meghatározzuk az egyes hálózati csomópontok és a teljes hálózat viselkedését a csomópontokra értelmezett

$$\Delta U_i, \Delta \delta_i \text{ in } \Delta P_i, \Delta Q_i$$

(a csomópontokra képest történő) kis megváltozások hatására. Keressük tehát a

$$\begin{bmatrix} \Delta P \\ \Delta Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \underline{J} \\ \underline{L} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \Delta \delta \\ \Delta U \end{bmatrix}$$

egyenletrendszer

$\underline{J}$  építkező mátrixot, az az. érzékenységi mátrixot

A fenti egyenlet alapján a csomópont körüli kis megváltozásokra írható

$$\begin{aligned} \underline{P} &= \underline{P}_0 + \Delta \underline{P} & \text{ha} & \quad \underline{\delta} = \underline{\delta}_0 + \Delta \underline{\delta} \\ \underline{Q} &= \underline{Q}_0 + \Delta \underline{Q} & & \quad \underline{U} = \underline{U}_0 + \Delta \underline{U} \end{aligned} \quad \text{és} \quad \underline{J}(\underline{\delta}_0, \underline{U}_0) \text{ ismert}$$

(A "0" index a csomópontokra utal)

A  $\underline{J}$  mátrix két fő blokkra bontható

$$\underline{J} = \begin{bmatrix} \underline{pd} & \underline{pu} \\ \underline{qd} & \underline{qu} \end{bmatrix}$$

ahol az egyes blokkokban a teljesítmény-fervültség összefüggések parciális deriváltjainak függvényei szerepelnek

$$\underline{pd} = \begin{bmatrix} \frac{\partial P_1}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_2} & \frac{\partial P_1}{\partial \delta_3} & \dots \\ \frac{\partial P_2}{\partial \delta_1} & \frac{\partial P_2}{\partial \delta_2} & & \\ \vdots & & & \frac{\partial P_n}{\partial \delta_n} \end{bmatrix}$$

$$\underline{qu} = \begin{bmatrix} \frac{\partial Q_1}{\partial U_1} & \frac{\partial Q_1}{\partial U_2} & \dots & \frac{\partial Q_1}{\partial U_n} \\ \frac{\partial Q_n}{\partial U_1} & & & \frac{\partial Q_n}{\partial U_n} \end{bmatrix}$$

12. 2 c) az eljárás egyszerűsített algoritmusát, ha nincs PU típusú csomópont: (kezdet, ciklusok, egyenletek, logikai döntések, befejezés)

Newton - Raphson iterációs módszer

(PU típusú csomópontot nem vettük fel!)  
Az eljárás fő lépései

1. A kezdetértékek beállítása

- a)  $U_1 = |U_1| \angle 0$  a hálózatra
- b)  $U_i = |U_i| \angle \delta_i$   $i = 2, 3, \dots, n$  (a PQ tip. csomópontok)

2. A  $\Delta P, \Delta Q$  eltérések számítása  
 $i = 2, 3, \dots, n$

a)  $I_i = Y_{ii} U_i + \sum_j Y_{ij} U_j$  ----- hálózat

b)  $S_i = U_i \hat{I}_i$ ;  $P_i = \text{Re}\{S_i\}$ ;  $Q_i = \text{Im}\{S_i\}$

c)  $\Delta P_i = P_i^e - P_i$ ;  $\Delta Q_i = Q_i^e - Q_i$  ----- csp. modell  
ei hibakorlát ellenőrzéshez

3. J elemeinek számítása

$(i = 2, 3, \dots, n)$   
 $(j = 2, 3, \dots, n)$

4. Az új ferültségek számítása

a) 
$$\begin{bmatrix} \Delta \delta_2 \\ \Delta \delta_3 \\ \vdots \\ \Delta \delta_n \\ \Delta |U_2| \\ \Delta |U_3| \\ \vdots \\ \Delta |U_n| \end{bmatrix} = \underline{\underline{J^{-1}}} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix}$$

- b)  $i = 2, 3, \dots, n$   
 $\delta_i^{j+1} = \delta_i + \Delta \delta_i$ ,  $|U_i^{j+1}| = |U_i| + \Delta |U_i|$   
és  $U_i = |U_i^{j+1}| e^{j \delta_i^{j+1}}$

5. hibakorlát

$\max(|\Delta P_i| + |\Delta Q_i|) < \epsilon$

NEH

IGEN

6.  $I_1 = Y_{11} U_1 + \sum_j Y_{1j} U_j$   
 $S_1 = U_1 \hat{I}_1$   
stb.