

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 fázorábra 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, Sn névleges teljesítmény sorozatképzési-szabály, névleges teljesítmények kof/kif trafón

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

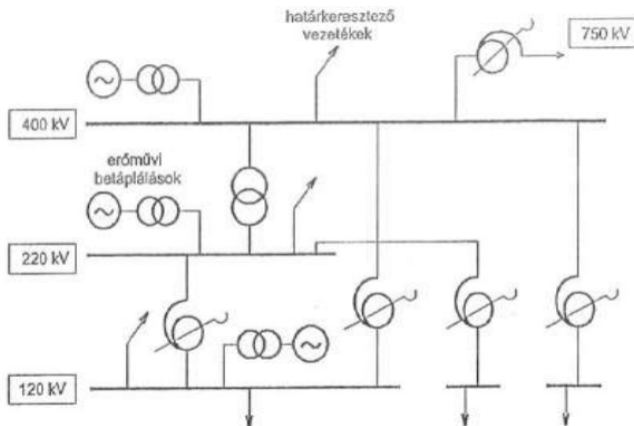
Névleges teljesítmények: 16 160 1600
25 250 2500

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

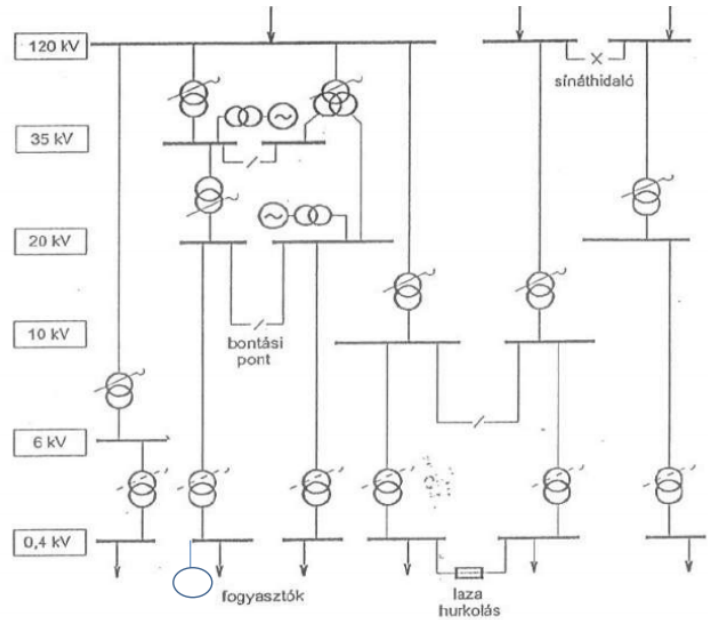
- KIF: 0,4 Kv

- 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)



Transzformációk a hazai VER-ben: 750 kV - 120 kV



2. Energiaforrás, fogyasztói terhelés leképezése

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

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

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

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

d, ábrákra → sorozat

2.1 Generátor 3F kapcsolási ábrája üzemi terhelésből

2.2 Fogyasztói terhelés leképezése szimmetrikus üzemhez

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

a, állandó áramú fogyasztói modell I_p és I_q ?

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

egyenlétrendszerként

b, impedancia modell R, X értéke

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

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

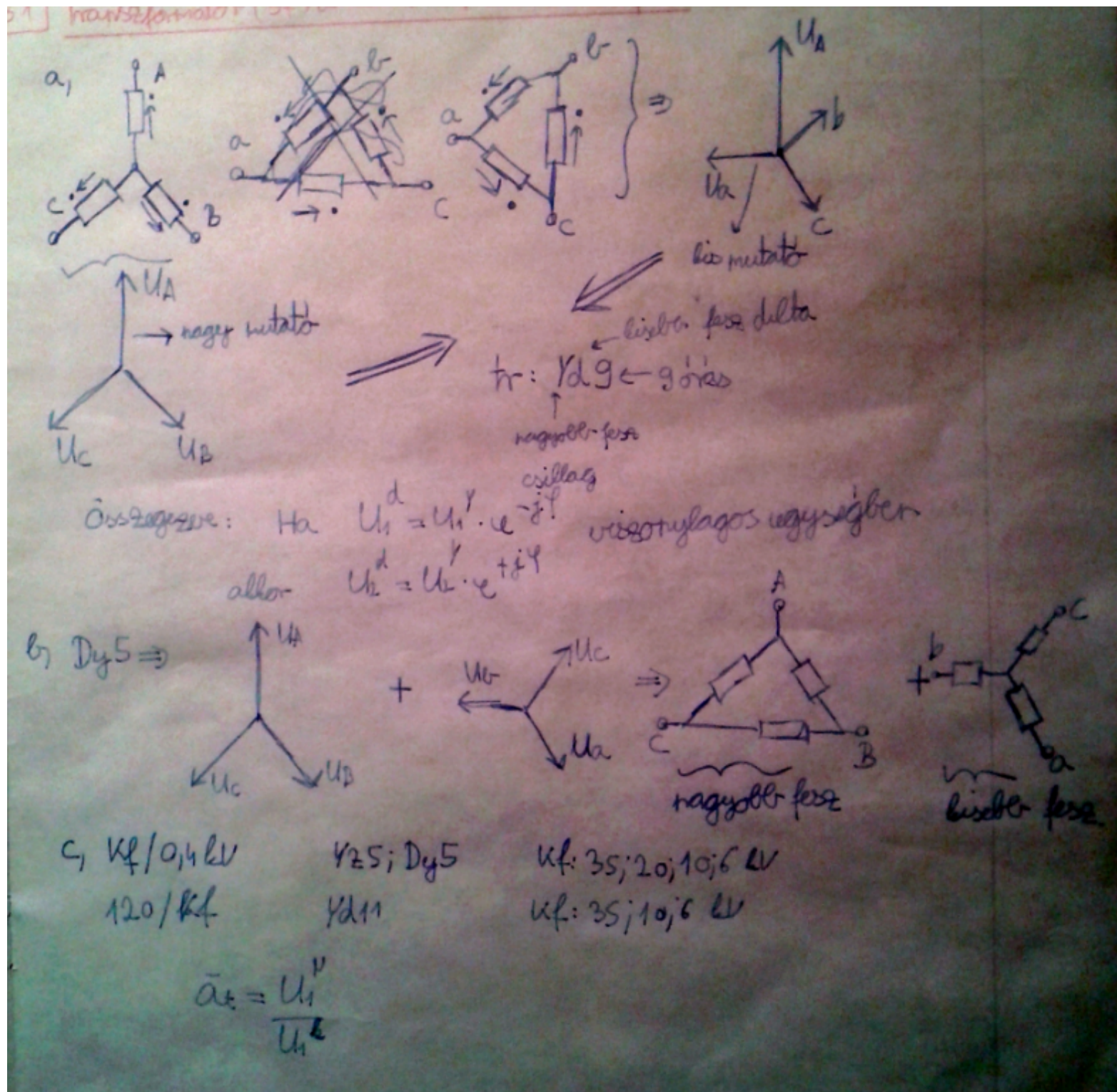
c, napi villamos energia felvitel: $P = \frac{W}{t} \Rightarrow W = P \cdot t \Rightarrow E = P \cdot t$?

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



3.2 Takarékos kapcsolású transzformátor

2. Takarékos kapcsolású transzformátor

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

Saját teljesítmény:
 $S_1 = \sqrt{3} \cdot (U_1 - U_2) \cdot I_1$
 $S_2 = \sqrt{3} \cdot U_2 \cdot (I_2 - I_1)$
 $S_1 = S_2$

Általában: $a = a_n = \frac{U_1}{U_2} = \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$

3.3 22 / 0.4 kV-os transzformátor

$S_{tr} = 400 \text{ kVA}$
 rövidzárlati: $\epsilon_x = 4\%$ $P_{r2} = 3850 \text{ W}$
 üresjárat: $P_0 = 610 \text{ W}$ $Q_0 = 0,02 S_{tr}$
 Kif. oldalon: $U_k = 0,42 \text{ kV}$ $I_k = 0,8 \cdot I_n$; $\cos \phi = 1$

a) feszültségvesztés?
 $\Delta U_{tr} = R_{tr} \cdot I_p + X_{tr} \cdot I_a$; ahol $I_p = \frac{P_k}{U_k}$
 $I_a = \frac{Q_k}{U_k}$

b) P_v és Q_v veszteség?
 $P_v = R_{tr} \cdot (I_{tr})^2 = R_{tr} \cdot (I_n)^2 = P_{r2} \cdot (I_n)^2$; $Q_v = X_{tr} \cdot (I_{tr})^2 = X_{tr} \cdot (I_n)^2 = Q_{r2} \cdot (I_n)^2$

c) Váltakozó teljesítmény tényező?
 $\cos \phi_v = \frac{P_v}{S_v}$

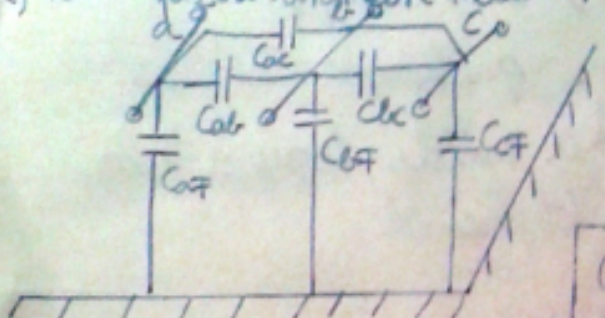
d) ábrákra $\Rightarrow$ sorozat

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 áramfőri modell?



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

$$I_b = \dots$$

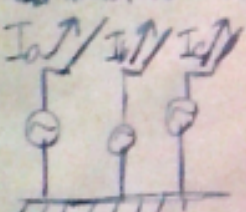
$$I_c = \dots$$

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

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

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

b, szimmetrikus modell?



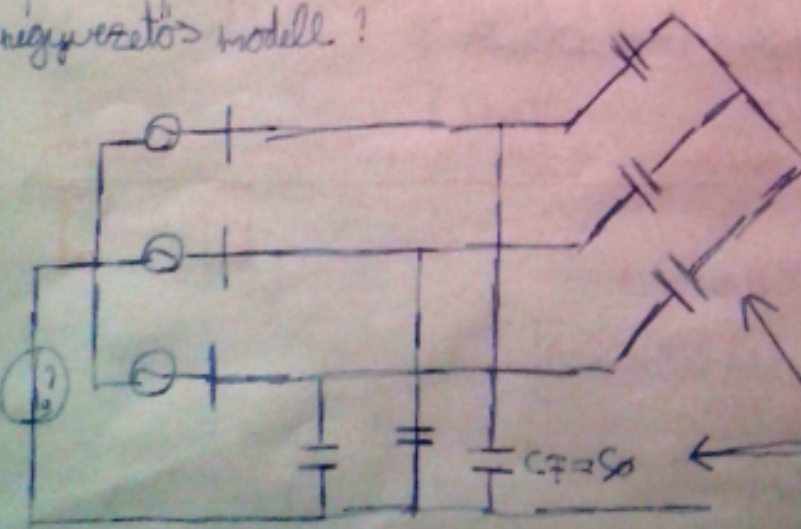
$$C_{11} = \frac{1}{3} (C_{aa} + C_{bb} + C_{cc}) + \frac{1}{3} (C_{ab} + C_{bc} + C_{ca})$$

C_{0n}
 C_k

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

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

c, négyvezetős modell?



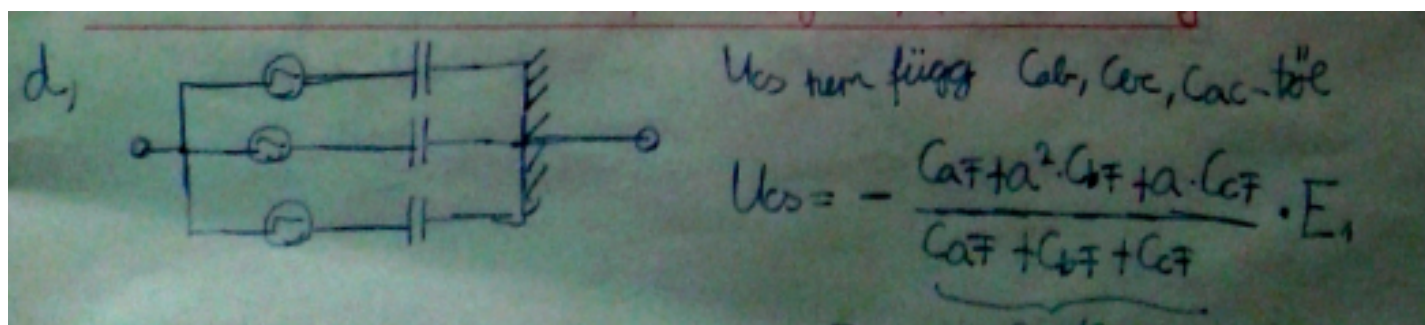
$C_F = S_0$

közelítő kij

Ha nem független, akkor az

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

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



5. Szabadvezeték soros impedanciák, kapacitások számítása

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

a ~ GMD: bűrör, kör keresztmetszetű, nem mágneses vezető geometriailag és mágneses szempontból egyenértékű sugara: GMD

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

~ R_f : föld egyenértékű ohmos ellenállása, annak a miteke, 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: $Z_{aaf} = R_a + 0,00099 f + j \cdot 0,0029 f \cdot \lg \left(\frac{D_e}{GMD_a} \right)$

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

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 árműködő vezető

E2) 3f + ...

5.2 Háromfázisú távvezeték söntimpedanciája, a söntimpedanciák szimmetrikus összetevői

[FELADAT]

a) $X_2' = X_1' = \frac{1}{\omega \cdot C_1}$ és $X_0' = \frac{1}{\omega \cdot C_0}$
 [? SA/18. old. $\Rightarrow$ nem lehet kiolvasni:]

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

$X_1' = ?$ [előzőből]

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

teljesítmény $= Q_{3\phi} = ? \Rightarrow S_c' = \sqrt{3} \cdot 120 \cdot 0,188$
 $S_c' = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_c'$

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 $\Rightarrow$ sorozat

6.2 A távvezeték teljesítményviszonyai

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

a) R_0 hullámellenállás? Természetes teljesítmény?

$$R_0 = \sqrt{X_L \cdot X_C}$$

$$P_t = \frac{U_n^2}{R_0}$$

b) szögkülönbség?

$$\delta = \eta \cdot l \quad \leftarrow H$$

c) Teljesítmény?

d) ???

$$Q_C = \frac{U_n^2}{X_C} = \frac{P_t \cdot l}{12 \cdot 10^3}$$

6.3 Meddőteljesítmény-áramlás nagyfeszültségű távvezetéken

Handwritten mathematical derivations for reactive power flow in a transmission line:

Given parameters:
 $P_{K-L} = 400 \text{ MW}$; $U_K = 410 \text{ kV}$; $U_L = 400 \text{ kV}$; $R = 0,02 \Omega/\text{km}$
 $X_L = 0,3 \Omega/\text{km}$; $C = 12 \text{ nF/km}$; $H = 150 \text{ km}$

Questions: a, P_ϕ és P_t ? $\Rightarrow$ előző feladatban voltak

Derivations:

$$Q_{K-L} = \frac{Q_{VEZ}}{2} + Q_{\Delta U} - Q_{RP}$$
$$Q_{L-K} = \frac{Q_{VEZ}}{2} - Q_{\Delta U} + Q_{RP}$$
$$Q_{VEZ} = Q_L - Q_C - X_L (P/U)^2 - U^2/X_C$$
$$Q_{\Delta U} = U \cdot \left(\frac{\Delta U}{X_L} \right) \quad Q_{RP} = P (R/X_L)$$
$$P_t = U_n^2 / (X_L \cdot X_C)^{1/2}$$
$$Q_C = Q_{Cn} (U/U_n)^2$$
$$U = \frac{U_K + U_L}{2}$$
$$\Delta U = U_K - U_L$$

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

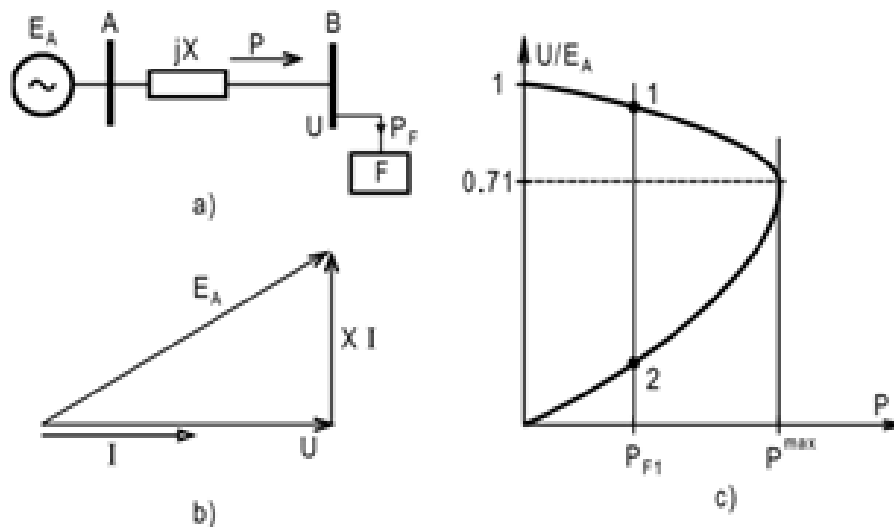
Áramterhelhetőség:

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

Fázorábra 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.

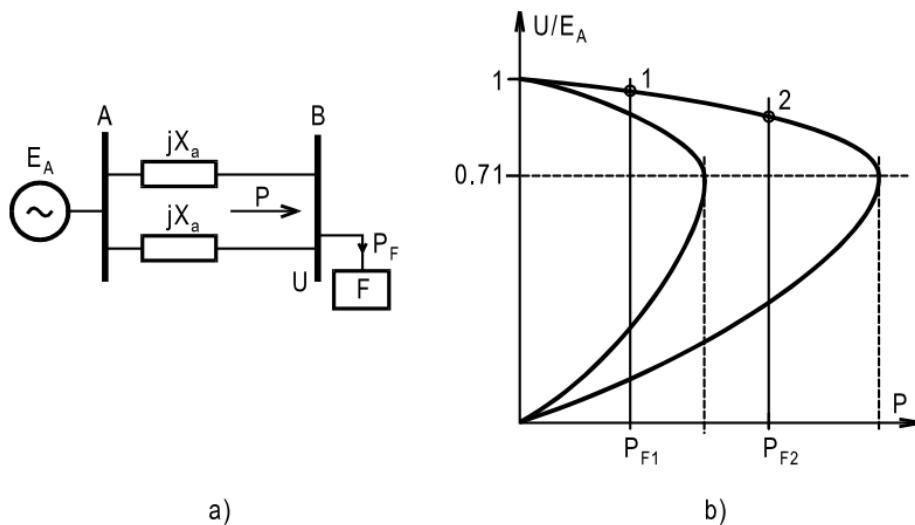
d2) a feszültség-stabilitás általános feltételét az átvitt P és a végponti U alapján kifejezve

Ábra, magyarázat:

Az ábra az megint ugyan az...

???

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



A párhuzamos átvitelnél

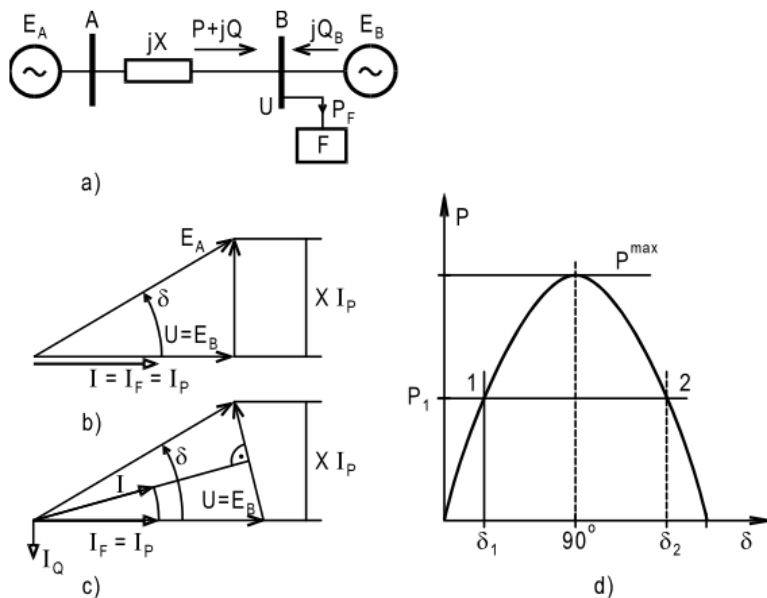
$$X = X_a / 2 \quad \text{és így} \quad P_2^{\max} = E_A^2 / X_a,$$

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

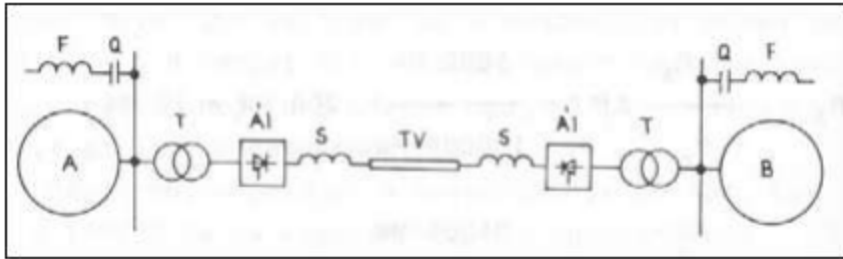
$$dP / d\delta = P_{\max} \cos\delta = P_{sz}$$

<= "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: szűrő fűtőtekercs, FQ: felharmónikus szűrő, meddő források.

Alkalmazása

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

Előnyök

- nagyobb teljesítményátvitel
 - váltó veszteség: $2 \cdot (P/V_m)^2 / \cos^2 \alpha \cdot r_o \cdot l/A$
 - egyen veszteség: $(P/V_m)^2 \cdot r_o \cdot l/A$
- 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

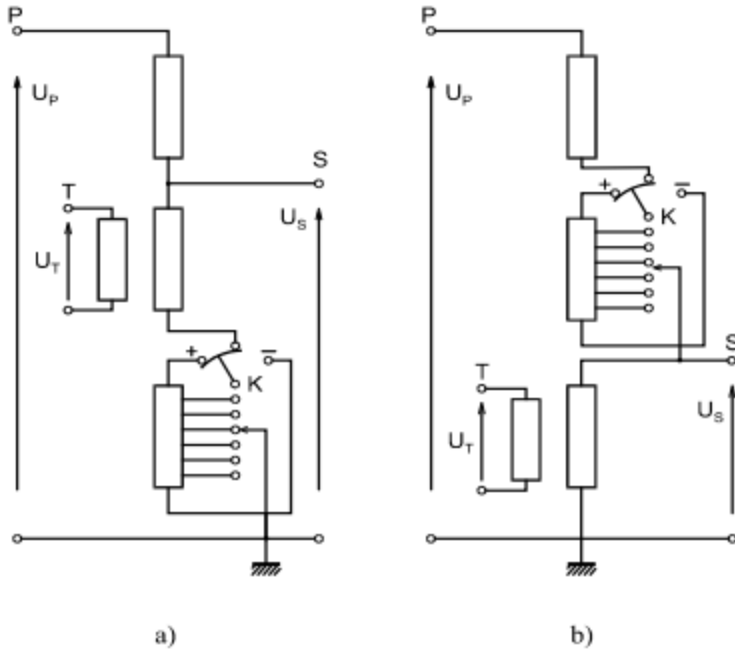
Hátrányok

- 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.

MIÉRT JÓ?!

A transzformátorok középálláshoz képesti áttétel változtatása áramköri szempontból soros feszültségforrás beiktatásával vehető figyelembe (2a és 2b ábrák, ezek lejjebb vannak).

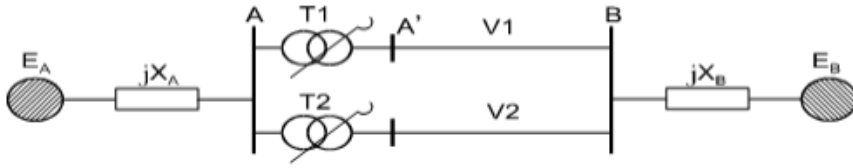
Az egyes fázisokba (vagy a pozitív sorrendű áramköri modellbe) sorosan beiktatott szabályozási-feszültség fázishelyzete:

- hossz szabályozás, vagyis feszültség effektív érték szabályozás esetén a primer oldali feszültséggel megegyező fázishelyzetű,

- ferde, illetve kereszt szabályozás, másként fázisszög szabályozás - fázis(szög)tolás - esetén a primer oldali feszültséggel szöget bezáró (ferde szabályozás), vagy arra merőleges fázishelyzetű.

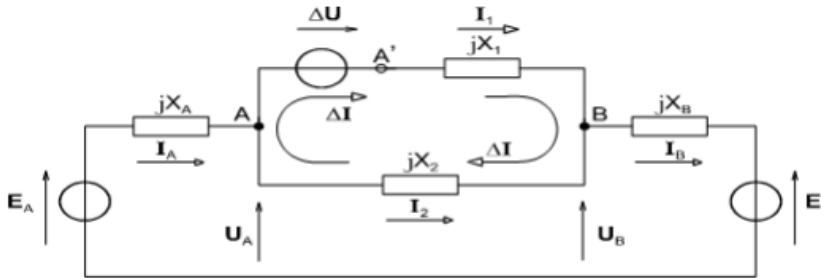
Mondható, hogy a hossz szabályozás a feszültség abszolút értékét, a kereszt (illetve ferde) szabályozás jó közelítéssel csak a feszültség fázisszögét változtatja.

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 egységekre 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, közepfeszültségen 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

φ : 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 üzemzavari 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 üzemzavari 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 fazorábrája



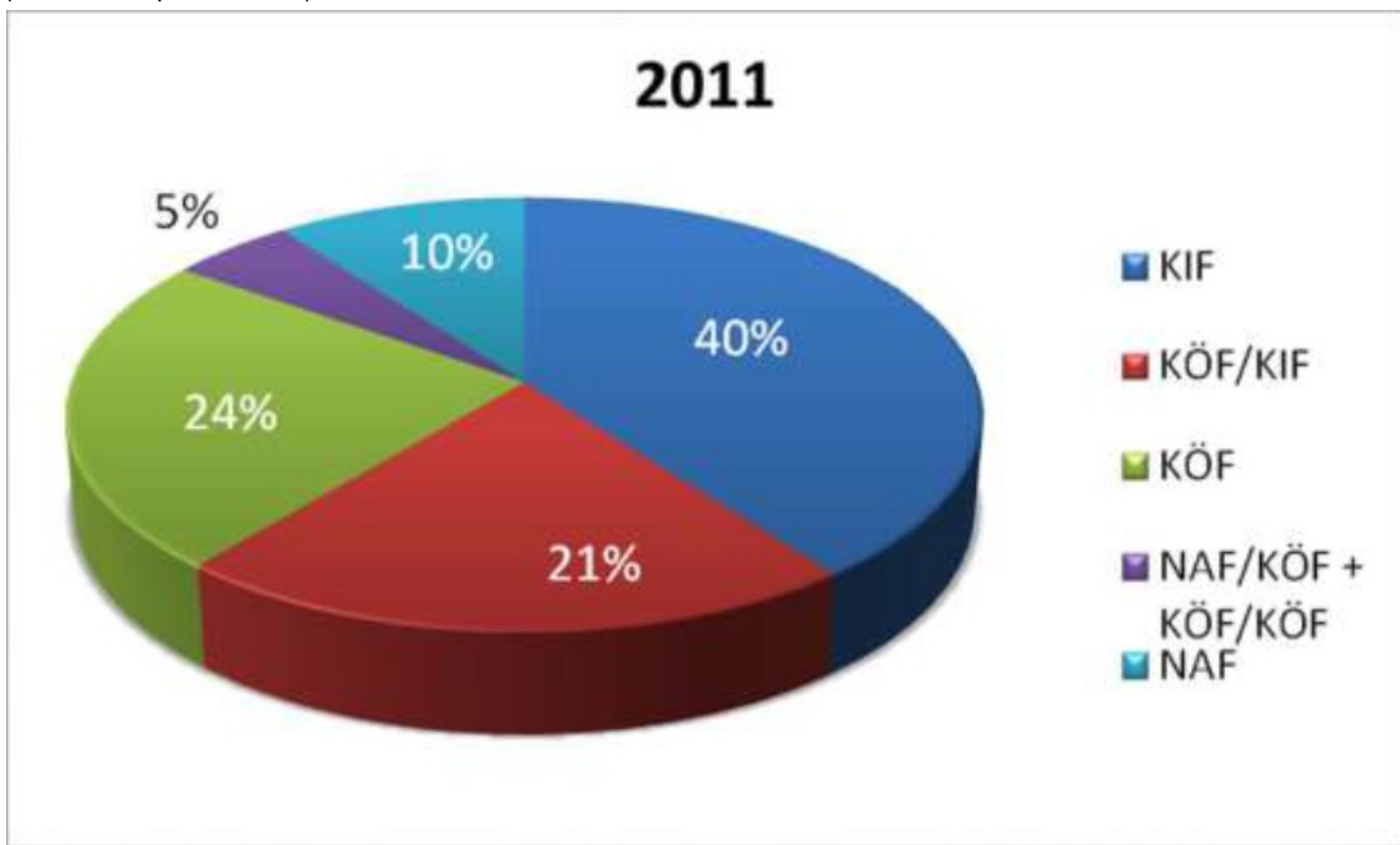
d) Az átviteli veszteség meghatározása

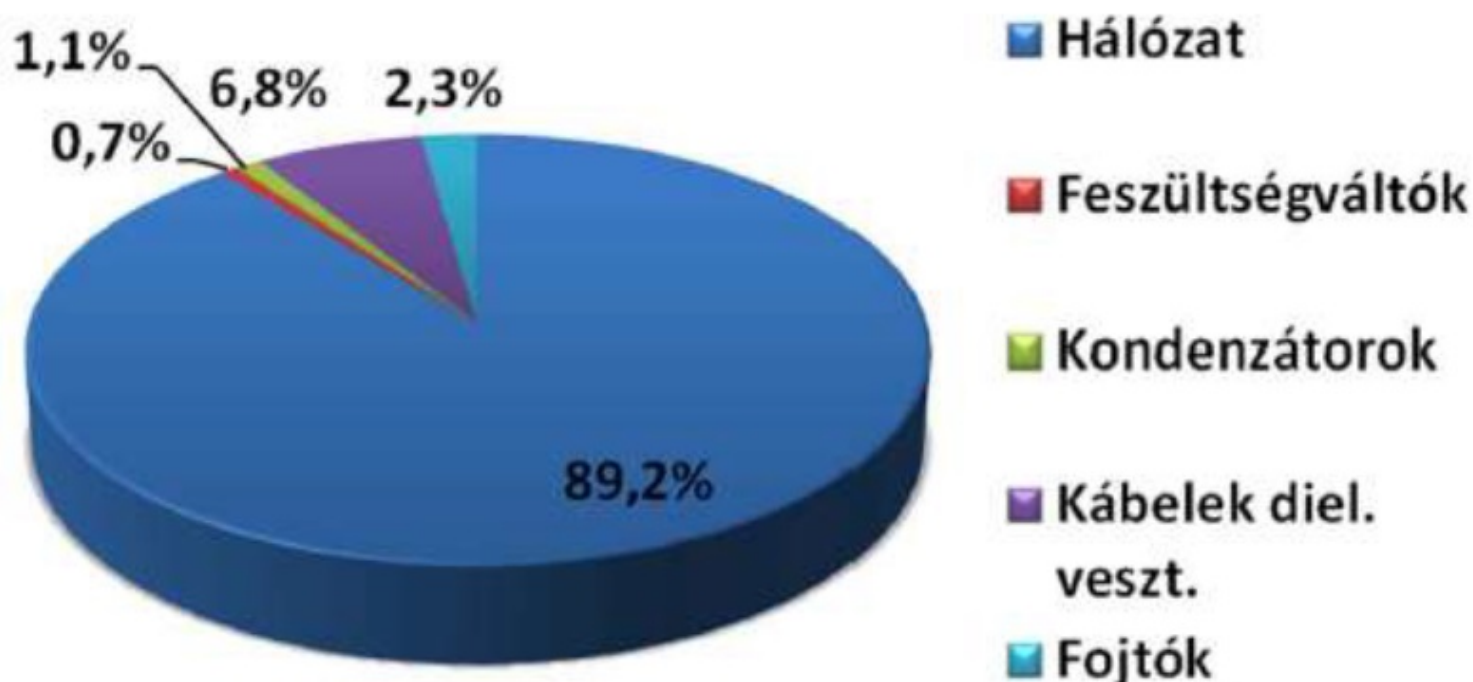
A KÖF elosztóhálózati energiaveszteségek megoszlása

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 %)



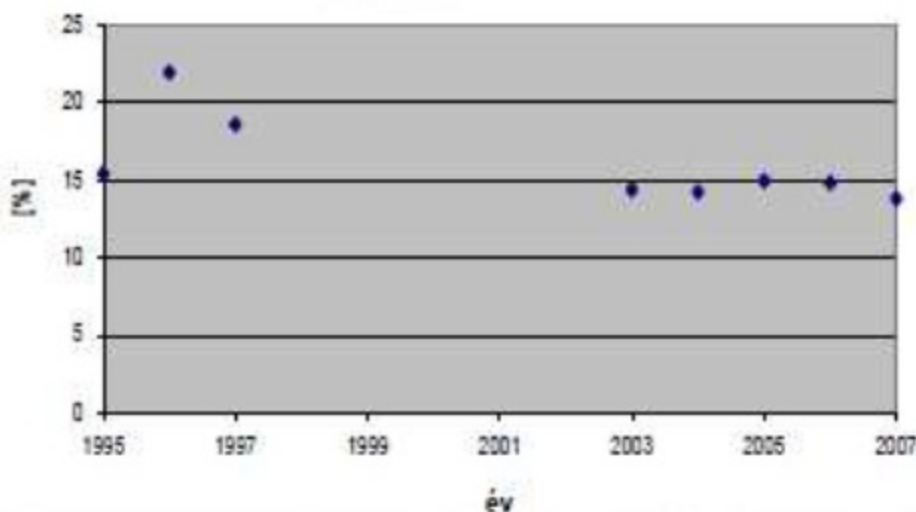


KÖF/KIF transzformátorok veszteség-összetevői:

81 % vasveszteség (feszültség alatt)

19 % soros rézveszteség (áramterhelés)

átlagos kihasználtság: 15% (!)



A magyar VER elosztóhálózatába adott évben beépített közép/kisfeszültségű transzformátorok éves átlagos kapacitás kihasználtsága (kisfeszültségen $\cos \phi = 0,9$ teljesítménytényező felvételével)

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 ΔU_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 $U_R = U_n$.

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 kisfeszültségű 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 (középállás és ± 13 , illetve ± 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

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

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

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

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.

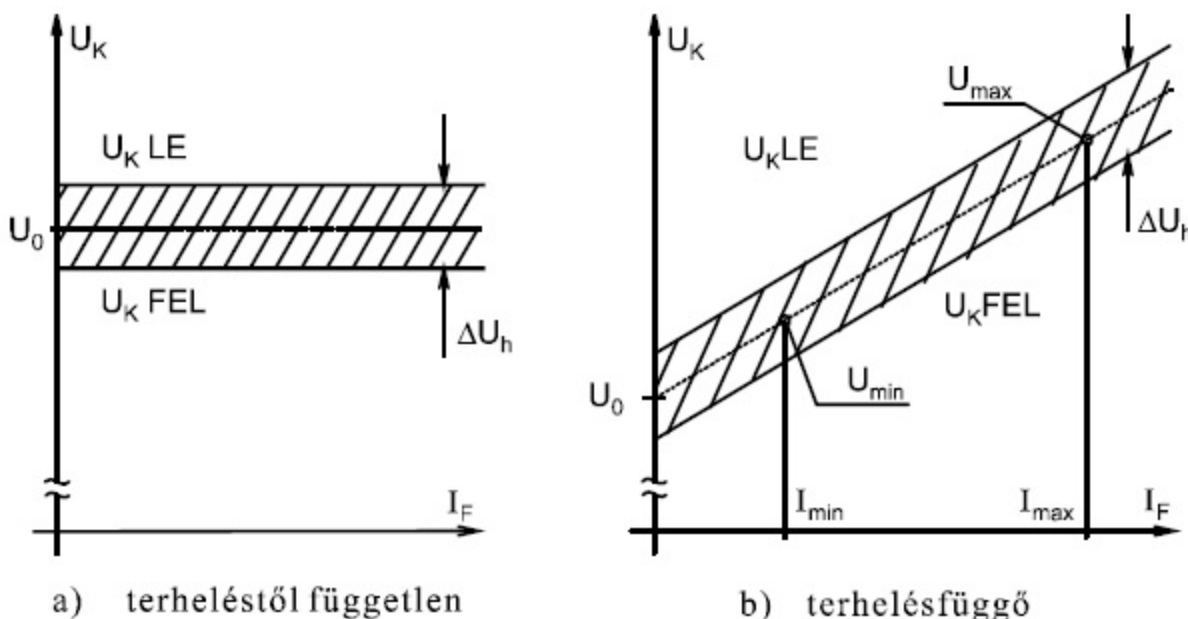
b) a terhelőáramtól függő / független transzformátorszabályozás (ATSZ) szabályozást mutató karakterisztikái

A 22 kV-os tápponti gyűjtősin 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 (ΔU_h) kell tartani, amelyet az egy fokozatléptetés okozta feszültségváltozásnál (ΔU_{fok}) nagyobbra kell megválasztani. Esetünkben $\Delta U_{\text{fok}} = 15\% / 9 = 1.66\%$, tehát a ΔU_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 holtávba 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 gyűjtősin 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 holtávon 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 gagyi, 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 $U=ZI$ 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 1Ω , 1-4 1Ω , 2-3 2Ω , 2-4 2Ω , 4-0 4Ω

A hálózatra

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

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

$$\underline{U}_i = \begin{bmatrix} U_{i0} \\ U_{i1} \\ \vdots \\ U_{in} \end{bmatrix} \quad \text{a csomópontok referenciaponthoz képesti feszültségei } \odot \uparrow U_i$$

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

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

$$Y_{ii} = \sum_j (Y_{i-j} + Y_{i-0}) + \sum (Y_{i-0}) \quad \begin{array}{l} \text{az } i-j \text{ köppólsókból} \\ \text{az } i-0 \text{ kitpólsókból} \end{array}$$

Eg. (pl az $\odot$) csomópontra:

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

Az elemi modellekre

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

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

A hálózat csomópontjaira

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

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

$$\text{továbbá } S_i = P_i + jQ_i$$

Az Összes csomópontot megcélba 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 $\underline{Y}$ ei 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:

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

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

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

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

A $\underline{Z}$ mátrix elemei az áram ei feszültségmegváltozások kapcsolataira adnak felülírást:
 állapot $\underline{U}^{(0)} = \underline{Z} \underline{I}^{(0)}$

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

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

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

tehát Z_{ii} a csomópont "mennyiség"
 Z_{ji} a j ei i. körzeti "villamos tárolást"
 adja meg.

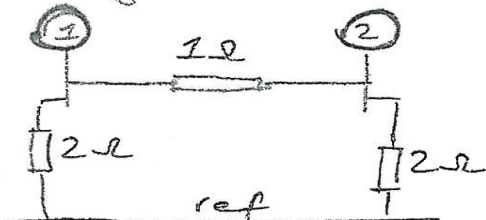
b) Rajzolja meg a megadott hálózatot, a referenciapont a 0

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

d) Határozza meg a Z mátrix Z_{22} , Z_{21} , Z_{23} és Z_{24} elemeit a megadott egyszerű passzív hálózathoz

A Mini example for $\underline{Y}_{bus}$ and $\underline{Z}_{bus}$ -1-

The "system"



$$1 \Omega \rightarrow 1 \text{ mho}$$

$$2 \Omega \rightarrow 0.5 \text{ mho}$$

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

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

$\underline{Y}_{bus}$

	①	②
①	1.5	-1
②	-1	1.5

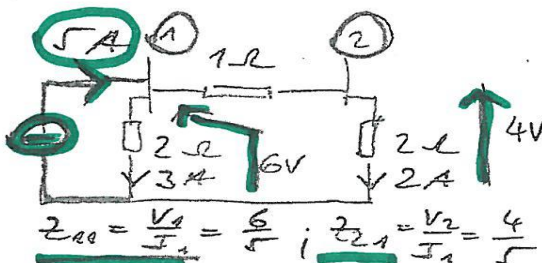
mho

$$\begin{aligned} Y_{11} &= y_{1-2} + y_{1-0} \\ Y_{22} &= y_{1-2} + y_{2-0} \\ Y_{12} &= Y_{21} = -y_{1-2} \end{aligned}$$

$\underline{Z}_{bus}$

	①	②
①	$\frac{6}{5}$	$\frac{4}{5}$
②	$\frac{4}{5}$	$\frac{6}{5}$

Ω



$$\underline{Z}_{22} = \frac{V_2}{I_2} = \frac{6}{5} ; \underline{Z}_{21} = \frac{V_2}{I_1} = \frac{4}{5}$$

$$\underline{Y}_{bus} * \underline{Z}_{bus} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

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

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

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

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

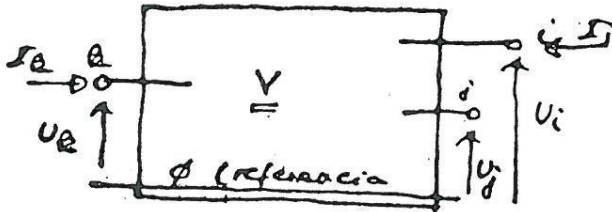
7/14

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

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

A csomóponti admittancia mátrix
fizikai értelmezése mérések alapján

Hálózati ábra:



Egyenletrendszer

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

valós relációk:

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

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

Az egyenletekben

ha $U_i \neq 0$ de minden

más $U_k (k \neq i) = 0$ akkor:

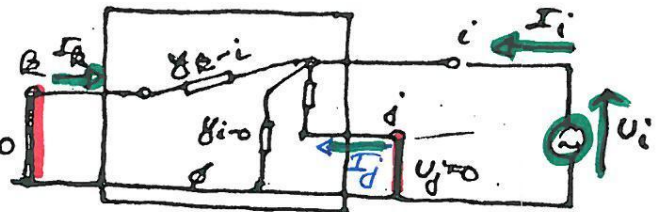
$$I_i = Y_{ii} U_i$$

$$I_j = Y_{ji} U_i$$

$$I_k = Y_{ki} U_i$$

A mérési vezérlés alapján:

$$Y_{ii} = \frac{I_i}{U_i} = y_{a-i} + y_{j-i} + \dots + y_{i-o} = \sum_j y_{j-i} + y_{i-o}$$



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

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

és transzfer (Y_{ki}) admittanciák deriváltak.

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

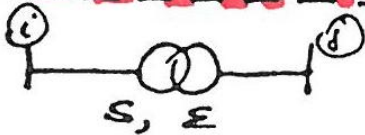
d) Levezetés alapján adja meg az áttételt is magába foglaló passzív négypólus elemeinek kifejezését az at áttétellel és az ytr admittanciával.

Transzformátor (kapcsolásigényű közbélyben tekercs bázisán)

Több feszültségű közbélyben admatástechnikai mérései:

- 1, közös feszültségűn
- 2, viszonylagos egyben
- 3, "Saját" feszültségűn

A transzformátor képe

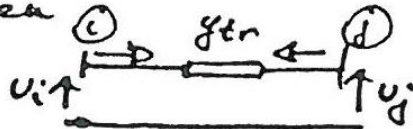


$$a = U_i / U_{j0} \text{ arányokban}$$

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

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

1, ill 2, esetben



1, U_i és I_{i-j} a

j oldali feszültségűn

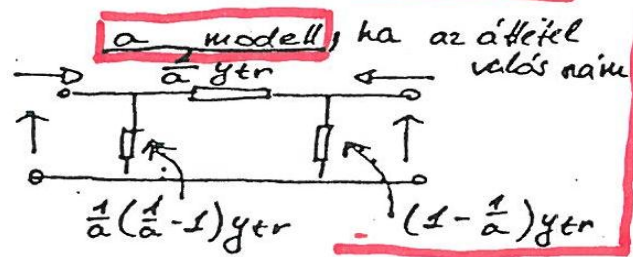
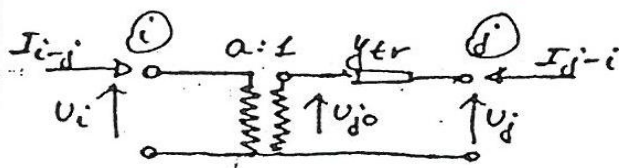
2, v. c. ban

De: 1, minden elem $U_i, U_j, I_{i-j}, I_{j-i}, y_{i-j}, y_{j-i}$

és y_{j0} közös feszültségűn ill 2, az áttételt

arány áttétel alapmennyiségek szerinti viszonylagos egyben.

3) Levezetés a "sajót" feszültségűre történő rájáratáshoz



Levezetés:

Az eredeti alakra:

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

továbbá:

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

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

tömören:

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

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

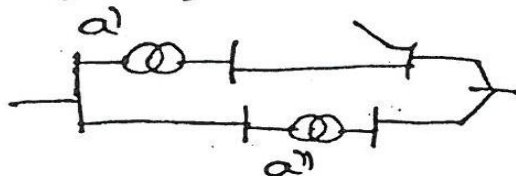
Az admittanciámatrica értelmezése alapján:

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

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

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

Az 1, és 2, kerinti rájáratás esetében, ha:



$$\begin{aligned} \text{ei } a' &\approx a'' \\ \text{de } a' &\neq a'' ! \end{aligned}$$

akkor pl közös feszültségűre rájáratás $a = a'$

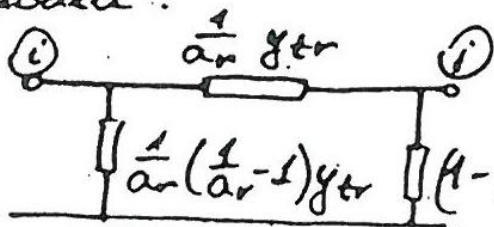
áttétellel oi az a'' -s trafóval $\hat{a}_r = \frac{a'}{a}$ alapján a 3) kerinti modell kell ($\hat{a}_r$ értékeként kell használni)

Használó a képlet, ha a transzformátor szabályozót akarjuk 3, variáns modellezni vagyis



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

A modell:

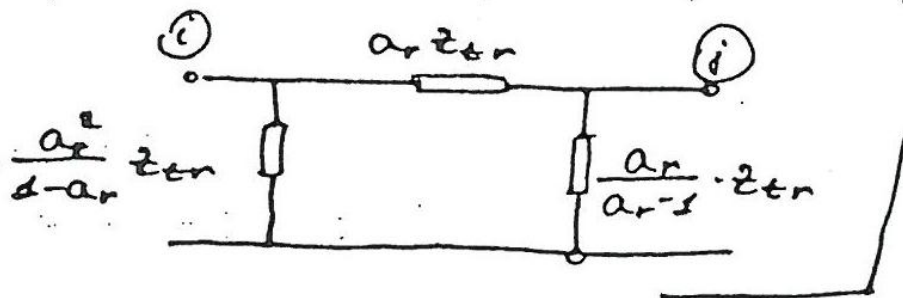


$$\text{ahol } a_r = \frac{a}{a_n}$$

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

de minden más elem a_n ill. a_n^2 variánsra a j) dologra.

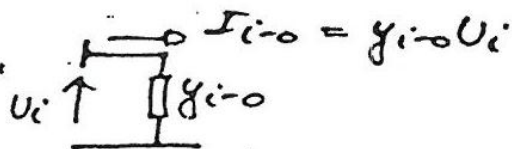
Hagyjunk: ha az admittanciák helyett az "ismert" impedanciaértékeket írjuk akkor $z = 1/y$ alapján:



Statikus szimuláció



a modell egy kétpólus:



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

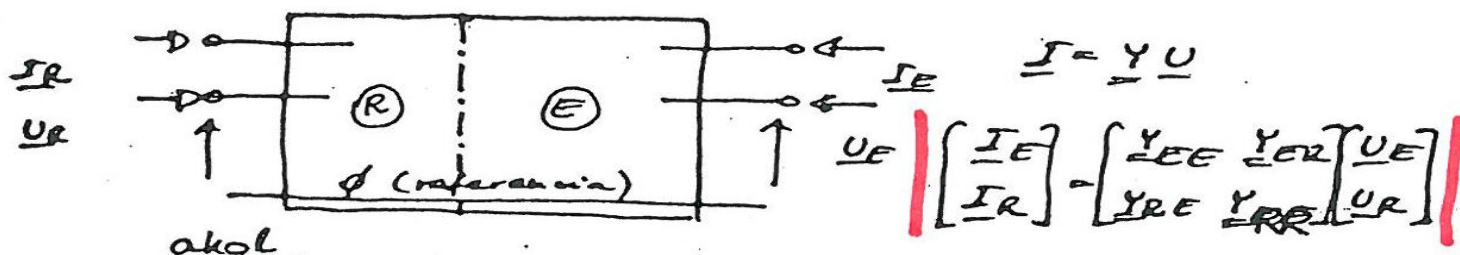
a) Ismertesse a hálózatredukció eljárását az $I=YU$ egyenlet alapján , és mutassa meg a redukált hálózathoz Y_{red} és I_{red} kifejezését //túl nagy a kép sajnos, ezért nem vagdosom.

HÁLÓZAT REDUKÁLÁSA

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

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

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



ahol

(R) a végpont hálózatra

(E) az elhagyott hálózatra

A hálózatot az $i \in (R)$ csomópontokra redukáljuk és keressük a $j \in (E)$ elhagyott csomópontok hatásait tartalmazó áram-feszültség összefüggést az (R) hálózatra, vagyis keressük az

$$\left[\underline{I}_R^{(red)} = \underline{Y}_{RR}^{(red)} \underline{U}_R \right] \text{ egyletrendszert}$$

(red)-del jelölt mennyiségek

A teljes hálózatot mindig egyletrendszert kapjuk:

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

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

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

és ezt a másodikba behelyettesítve is rendezve

$$\left(\underline{I}_R - \underline{Y}_{RE} \underline{Y}_{EE}^{-1} \underline{I}_E \right) = \left[\underline{Y}_{RR} - \underline{Y}_{RE} \underline{Y}_{EE}^{-1} \underline{Y}_{ER} \right] \underline{U}_R$$

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

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

Illegit

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

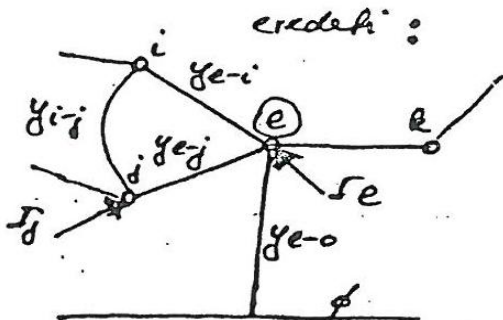
Az egyenletrendszer ill $\underline{Y}_{RR}^{(red)}$ egyúttal egyértékű költséget is jelent

Ha $\underline{I}_E \neq \underline{0}$ tehát $\underline{I}_R^{(red)} \neq \underline{I}_R$ akkor passzív+aktív költségi redukciót végzünk. Ha alap esetben ismert

$\underline{I}_E = f(\underline{U}_E, \underline{U}_R)$ akkor a redukció csak abban az esetben eredményez egyértékű költségi egyenletrendszert 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 kezdésben az egyértékűség csak közelítő jellegű. (Az egyértékűség a költségi vonalakra nem vonatkozik!)

A redukciót nem "egyszerre", hanem egy-egy csomópont egymás utáni redukciójával végezzük el a következő módon:



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

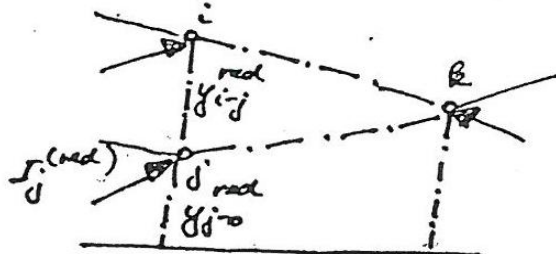
$$Y_{ee} = \sum_i y_{e-i} + y_{e-0}$$

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

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

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

Az $\textcircled{e}$ cs. redukciójánál:



a redukció alapszempontjait alkalmazva:

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

$$Y_{ji}^{red} = Y_{ji} - \frac{Y_{je} Y_{ei}}{Y_{ee}}$$

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

A csop admittancia mátrix elemei (Y_{ii}, Y_{ij} stb) és az áramerősségek admittanciái (y_{i-j}, g_{j-0}) közötti összefüggések alapján a redukált hálózat illesztése jellemeztetve az e csop redukciója utáni állapot bevezetésével is megadható

$$\begin{aligned} \text{passzív} \quad & \left[\begin{aligned} g_{i-j}^{\text{red}} &= -Y_{ij}^{\text{red}} = -Y_{ij} + \frac{Y_{ie} Y_{ej}}{Y_{ee}} = y_{i-j} + \frac{(y_{i-e} \times y_{e-j})}{Y_{ee}} \\ g_{j-0}^{\text{red}} &= Y_{jj}^{\text{red}} = Y_{jj} - \sum_i g_{i-j}^{\text{red}} \end{aligned} \right. \\ \text{aktív} \quad & \left[I_j^{\text{red}} = I_j - \frac{Y_{je}}{Y_{ee}} I_e = I_j + \frac{g_{e-j}}{Y_{ee}} I_e \right. \end{aligned}$$

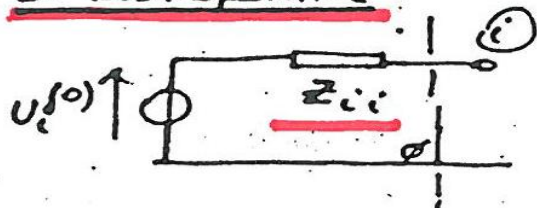
b) a két (pl: i és j) csomópontra (és a referenciapontra) vonatkozó passzív modellt a Z mátrix elemei alapján.

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.

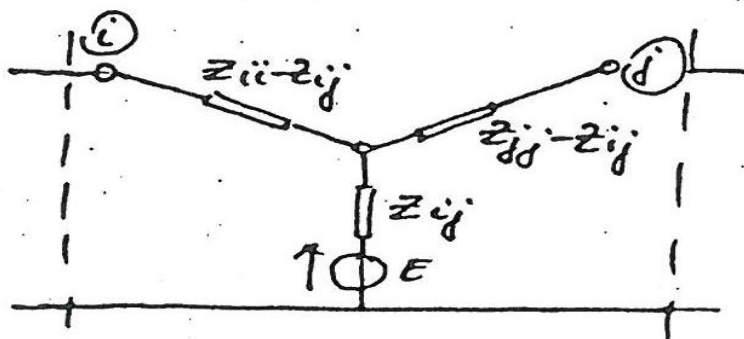
Egyértékű csomóponti modellek

1 csomópontra



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

2 csomópontra (terhelés kábel)



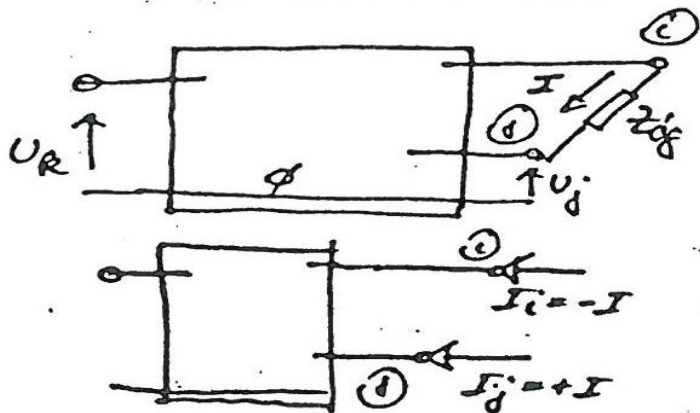
Z_{ii} , Z_{jj} , Z_{ij}
a Z mátrix elemei

(Az ábra a Z mátrix elemeinek 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



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

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

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

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 (:

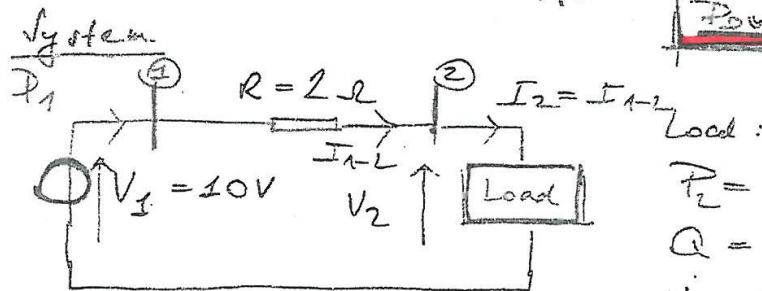
12.1 a) része és a 12.2 b) része ugyanaz.

Ismertesse, értelmezze, magyarázza:

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

A feedback non-linear's jelly?

Introduction to Power Flow Models



Load:
 $P_2 = 8W$ demand
 $Q = 0$
 V_2 is unknown

Problem to be solved

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

Theoretically two solution exist:

a) $V_2^{(1)} = 8V$ $I_{1-2}^{(1)} = 1A$ $I_2^{(1)} = 1A$
 ! $P_2 = V_2 I_2 = V_2^{(1)} \cdot I_2^{(1)} = 8W$

b) $V_2^{(2)} = 2V$ $I_{1-2}^{(2)} = 4A$ $I_2^{(2)} = 4A$
 ? $P_2 = V_2 I_2 = V_2^{(2)} I_2^{(2)} = 2 \cdot 4 = 8W$

Which one is the real one?

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

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

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

a) $P_1 = 8 + 2 = 10W$

b) $P_1 = 8 + 32 = 40W$

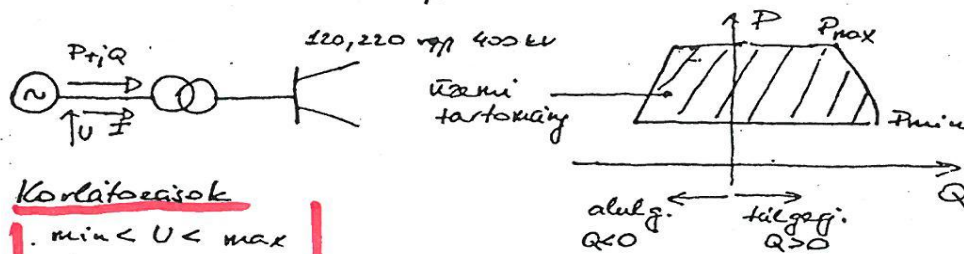
physical solution, min loss $\rightarrow V_2^{(1)} = 8V$

the solution a)

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

A betáplálás (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 működő közelítő feltevéseket alkalmazunk. (rendszeresebb kaparózat nélkül).



Korlátozások

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

A leendő P teljesítmény és a rendszer frekvenciájának

kapcsolata:

P

P_{max}

P_0

ΔP

Δf

f_0

$f_{\text{új}}$

Δf_{stat}

f

f_0

$f_{\text{új}}$

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

Δf_{stat}

Δf

a generátor-turbina frekvencia karakterisztikája

$f_{\text{új}}$: "üzemi" frekvencia

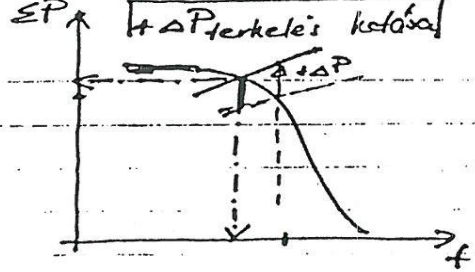
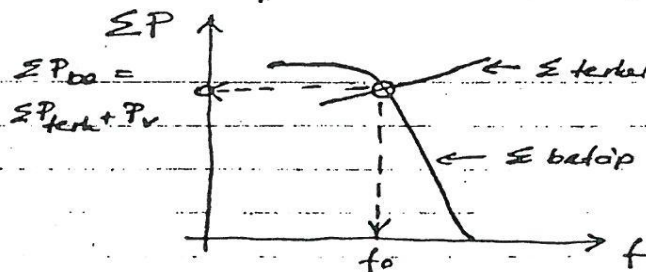
f_0 : rendszer frekvencia

$\Delta f = f - f_0 \rightarrow P = P_0 + \Delta P = P_0 - k \Delta f$
és $P \leq P_{\text{max}}$

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

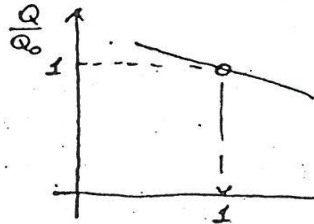
A primer szabályozás a frekvencia-változás hatására megváltoztatja a betáplált teljesítményt.

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



11/23

A kapacitívitás - leadott meddőteljesítmény összefüggés követhető:



vagyis, ha a hálózati kisebb feszültséget kívánunk a gépkapocorra, akkor növekszik a meddőteljesítmény - betáplálás (és fordítva) és ennek %-os hatására növekszik a kapacitívitás (és fordítva)

A munkapontra linearizálható tekintések kapott a gyakorlatban szokás egyszerűsítő következő a követelések:

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

Következő: minél a hálózati értékek csak a számítás végén határozzuk meg (kezdetben tehát ismeretlesek) ezért kell egy olyan betáplálási pont ahol nem számítjuk a betáplálási teljesítményt.

2. Az 1. ponttal és a feszültség-meddőteljesítmény karakterisztika elkészítésével együtt jár, hogy a

P (betáplált teljesítmény)

Q (betáplált meddő)

U (feszültség)

vonatkészében a következő típusú betáplálási pontokat kell értelmezni:

- a) P_G előirt és Q_G előirt (előirt: megadott)
típus: PQ (PQ menetrend)

- b) P_G előirt és $|U|$ előirt

típus: PU (PU menetrend)

(feladata: a hálózati feszültségek megtartása)

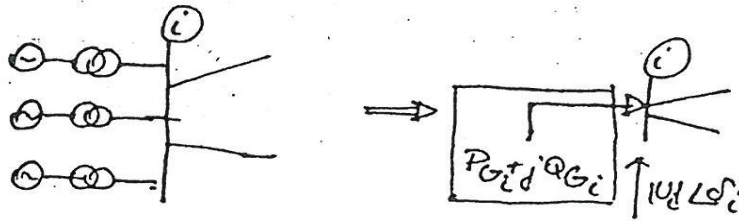
- c) $|U|$ előirt és $\delta = 0^\circ$ a vonatkész irány

típus: UD : Hírágyas (lásd 1. pont)

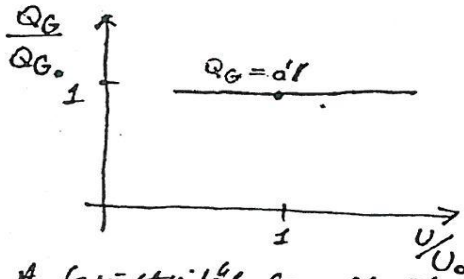
ilyen típusú csomópont 1 kell.

3. A $P_G, Q_G, |U|$ -ei δ az erőmű különböző csatlakozási pontjára értelmezett

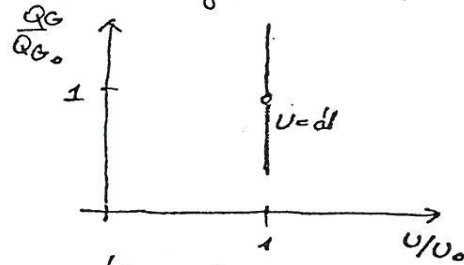
Ábrázolva:



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



A feszültségtől függetlenül állandó Q_G -re szabó



Állandó feszültségre szabó

Load-Flow elvi példa numerikus megoldása iterációval:Lineáris közelítéssel

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

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

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

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

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

$$U^i = E - R \cdot I^{i,sz} \quad \text{az iterációval „javított” új } U \text{ érték}$$

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

$$P^{i,sz} = U^i \cdot I^{i,sz} \quad \text{a számított } P \text{ érték}$$

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

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

i	U^{i-1}	$I^{i,sz}$	U^i	ΔU^i	$P^{i,sz}$	ΔP^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 kezdbértékek beállításai

a) $U_1 = |U_1| \angle 0^\circ$ a hálózatra

b) $U_i = |U_i| \angle \delta_i$ $i = 2, 3, \dots, n$ (a PQ tip csop-b)

2. Iterációs ciklus

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

a) $I_i = \hat{S}_i^e / \hat{U}_i$ ----- csop. modell

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

c) $S_i = U_i^{dj} \hat{I}_i$

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

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

Megjegyzés:

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

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

U_k^{dj} számításánál szükségesek a

a $2, 3, 4, \dots, (k-1)$ csomópontok megkalkulált " U_j " értékei.

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 ΔU^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}	$P^{i,sz}$	ΔP^i	$(dP/dU)^i$	ΔU^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 kölcsönös csomópontok teljesítmény-fervültség érékenysége

Az elemzések célja az, hogy meghatározzuk az egyes kölcsönös csomópontok és a teljes hálózat viselkedését a csomópontokra értelmezve

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

(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.
érékenységi mátrixot

A fenti egyenlet alapján a csomópont körüli kis megváltozásokra írható

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

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

$$\underline{J} = \begin{bmatrix} \underline{p_d} & \underline{p_u} \\ \underline{q_d} & \underline{q_u} \end{bmatrix}$$

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

pl

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

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

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 vettünk fel!)

Az eljárás fő lépései

①. A kezdetértékek beállítása

a) $U_1 = |U_1| \angle 0$ a hálózati feszültség

b) $U_i = |U_i| \angle \theta_i \quad i = 2, 3, \dots, n$ (a PQ típusú csomópontok)

②. A $\Delta P_i, \Delta Q_i$ eltérések számítása

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

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

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. $\hat{Y}$ elemeinek számítása

$\begin{pmatrix} i = 2, 3, \dots, n \\ j = 2, 3, \dots, n \end{pmatrix}$

④. Az új feszültségek számítása

a)
$$\begin{bmatrix} \Delta \theta_2 \\ \Delta \theta_3 \\ \vdots \\ \Delta \theta_n \\ \Delta |U_2| \\ \Delta |U_3| \\ \vdots \\ \Delta |U_n| \end{bmatrix} = \hat{Y}^{-1} \begin{bmatrix} \Delta P_2 \\ \Delta P_3 \\ \vdots \\ \Delta P_n \\ \Delta Q_2 \\ \Delta Q_3 \\ \vdots \\ \Delta Q_n \end{bmatrix}$$

b) $i = 2, 3, \dots, n$

$\theta_i^{j+1} = \theta_i + \Delta \theta_i$; $|U_i^{j+1}| = |U_i| + \Delta |U_i|$

és $U_i = |U_i^{j+1}| e^{j\theta_i^{j+1}}$

⑤. hibakorlátok

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

NEH

IGEN

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