Villamosenergia-átvitel / Villamosenergia-rendszerek I.

2008. tavasz

Előadók: Faludi Andor (VET/ VM) Szabó László (VET/ VM)
kedd 10:15 - 12:00 péntek 10:15-12:00 V2716

hét	hó	dátum	nap	No	ea. téma	Előadó	
1	február	12.	kedd	1	1	FA	
		15.	péntek	2	2	*	
2		19.	kedd	3	3	*	
		22.		4	4-5	*	
3		26	kedd	5	5	*	
		29		6	- P -	*	
4	március	4	kedd	7	6	SzL	
		7.		8	7	+	
5		11.	kedd	9	7-8	+	
		14.		10	9	FA	
6		18.	kedd	11	10	*	
		21.		12	11	SzL	
7		25.	kedd	13	- P -	+	
		28.		14	RV	FA SzL	
8	április	1.	kedd	15	12	FA	
		4.		16	13	SzL	
9		8.	kedd	17	14-15	FA	
		11.		18	15	*	
10		15.	kedd	19	16	*	
		18.		20	16-17	*	
11		22.	kedd	22	18	*	
		25.	péntek	22	- P -	*	
		26.	szombat	23	19	#FA SzL	
12		29.	kedd	24	20	#FA SzL	
	május	2.	*péntek*	---	szünet	-----------	
13		6.	kedd	25	21	#FA SzL	
		9.		26	22	SzL	
14		13.	kedd	27	23	FA	
		16.		28	§ 24	FA SzL	

#Villamosenergia-rendszerek I.

P:összefoglaló és számítási példák
RV:részvizsga: írásbeli az 1-11 témából (nem kötelező!)
§ 24: tanulmányi látogatás az Albertfalva 220/120/10 kV-os alállomásban
Házi feladat: Kiadás: február 19-22. **Beadási határidő: május 13. 12:00**
Vizsgaidőszak: 5éves: május 19. — június 27. BSc: május 26. —június 20.
A vizsga megkezdésének alapfeltétele az elfogadott Házi feladat
Vizsga: 3ó írásbeli + aznapi javító szóbeli lehetőség

Vizsga	hó	dátum	nap	kezdés	hely	max
1.	máj.	27.	kedd	9:00	V2 716	35
2.	jún.	3.	"--"	"--"	"--"	"--"
3.	jún.	10.	"--"	"--"	"--"	"--"
4.	jún.	17.	"--"	"--"	"--"	"--"
5. BSc	jún.	19.	csütörtök	"--"	Tanszék	20
5. 5év	jún.	26.	csütörtök	"--"	Tanszék	20

Villamosenergia-átvitel / Villamosenergia-rendszerek I.

Előadás - témakörök 2008.

1-11	*Témakör-címek I. rész*
1	AC és DC átvitel, soros és párhuzamos rendszer, feszültségszintek és transzformációk, AC U/I/S/P/Q
2	A szimmetrikus összetevők módszere. A szimmetrikus összetevők mérése
3	Rendszerelemek, modellek (leképezések) szimmetrikus üzemhez
4	Transzformátorok leképezése szimmetrikus üzemhez
5	Többfeszültségű hálózatok számítási technikái
6	Háromfázisú szabadvezeték soros impedanciái, négyvezetős modell és alkalmazása
7	Transzformátor-kapcsolások, kapocszárlatok áramképe. Transzformátor zérus sorrendű modellje.
8	Szabadvezeték védővezetővel. A csillagpontföldelés hatása fázis-föld zárlatkor
9	Sönthibák (zárlatok) leképezése szimmetrikus összetevőkkel
10	Zárlatok összehasonlítása. Soros aszimmetria, kikapcsolások
11	Fázis-föld zárlat, egyfázisú kikapcsolás feszültségtorzító hatása

12-24	*Témakör-címek II .rész*
12	Távvezeték induktivitásának meghatározása. Távvezeték soros impedanciája
13	Háromfázisú szabadvezeték kapacitásai, négyvezetős modell és alkalmazása
14	Távvezeték söntimpedanciájának meghatározása
15	Távvezeték elosztott paraméterű modellje, vezetékállandók, koncentrált elemű helyettesítés
16	Teljesítményátvitel nagyfeszültségű távvezetéken. Az átvivőképesség befolyásolása
17	Transzformátorszabályozás
18	Teljesítményátvitel sugaras középfeszültségű távvezetéken. Meddőkompenzálás
19	Hálózatszámítási modellek, csomóponti Y admittancia mátrix, hálózatredukció
20	A csomóponti U=Z*I egyenlet, a Z mátrix és alkalmazása, zárlatszámítás hurkolt hálózaton
21	Teljesítményáramlás számítása nagyfeszültségű hurkolt hálózaton
22	Hálózati csillagpontföldelés, zárlatkorlátozás
23	Erőátviteli kábelek (szerkezeti felépítés, villamos paraméterek, melegedés, hőáramlási séma)

#Villamosenergia-rendszerek I.

#19	A villamosenergia-rendszer védelmei: követelmények, védelmi rendszerek és automatikák.
#20	Zárlatérzékelés, zárlatvédelmi készülékek. Sugaras KF távvezeték túláramvédelme.
#21	Az impedanciamérés-elvű távolsági védelem. Az áramkülönbözeti-elvű differenciál védelem.

24	Tanulmányi látogatás 220 / 120 / KF alállomásban

Tananyag (Oktatási segédlet): http://www.vet.bme.hu
→Oktatás→Főszakirányok→Villamosenergia-rendszerek
→Tantárgyak→ Villamosenergia-átvitel→Tananyag
Vizsgakérdések: →Villamosenergia-átvitel→Ellenőrző kérdések

Tananyag (Oktatási segédlet) és vizsgakérdések: http://www.vet.bme.hu
→Oktatás→BSc szakirány→Villamosenergia-átvitel

Vizsgakérdések címszavakban

tananyag I.rész

1.1 Feszültségszintek, transzformációk, hálózatalakzatok az MK VER-ben
2.1 Háromfázisú feszültség- (áram) rendszer szimmetrikus összetevői
2.2 Teljesítmény szimmetrikus összetevőkkel. Zérus sorrendű feszültség és áram mérési lehetőségei
3.1 Fogyasztó leképezése szimmetrikus üzemhez
4.1 Két- és három tekercslésű transzformátor, leképezés szimmetrikus üzemhez
4.2 Hálózati transzformátorok, transzformátorszabályozás konstrukciós megoldások
5.1 Számítások és modellek közös feszültségszinten
5.2 Számítások és modellek viszonylagos egységben
6.1 Háromfázisú szabadvezeték szimm. összetevőjű és négyvezetős soros impedancia modellje
6.2 Háromfázisú szabadvezeték végponti 2F és 2FN rövidzárlata négyvezetős modell alapján
6.3 Háromfázisú szabadvezeték végponti 3F és 1FN rövidzárlata négyvezetős modell alapján
7.1 A transzformátor áttétele, kapcsolási csoport, fázisforgató hatás
7.2 Transzformátor 1FN kapocszárlata, 3f áramkép a gerjesztési egyensúly alapján
7.3 Transzformátor 2F kapocszárlata, 3f áramkép a gerjesztési egyensúly alapján
7.4 Transzformátorok zérus sorrendű modellje
8.1 A védővezető hatása a zérus sorrendű mágneses távolbahatásra
8.2 A csillagpontföldelés (alapharmonikus) hatása fázis-föld zárlatkor
9.1 Az 1FN(a) zárlat leképezése, számítása szimmetrikus összetevôkkel
9.2 A 2F(b,c) zárlat leképezése, számítása szimmetrikus összetevôkkel
9.3 A 2FN(b,c) és 3F, 3FN zárlat leképezése, számítása szimmetrikus összetevőkkel
10.1 Sönthibák összehasonlítása: hibahelyi áram nagysága, az átviteli imp. Változása
10.2 Soros hibák leképezése, összehasonlítás az átviteli imp. Változása szempontjából
11.1 1FN rövidzárlat Yd kapcsolású 120 kV/Kf tr. 120 kV-os kivezetésén
11.2 Egyfázisú kikapcsolás terheletlen, Yd kapcsolású 120 kV/Kf tr. 120 kV-os kivezetésén
11.3 Egyfázisú kikapcsolás terheletlen, Dy kapcsolású 20 / 0.4 kV-os tr. 20 kV-os oldalán

tananyag II. rész

12.1 Áramvezető belső és külső induktivitása, két vezetőből álló hurok induktivitásai
12.2 Vezető-föld hurkok ön- és kölcsönös impedanciái
12.3 A fázis-impedancia mátrix szimmetrikus összetevői, az impedanciák számítása
13.1 Háromfázisú szabadvezeték kapacitásai, négyvezetős modell, földkapacitások aszimmetriája
14.1 Háromfázisú távvezeték söntimpedanciája, söntimpedancia mátrix és szimmetrikus összetevői
14.2 Távvezeték söntimpedancia szimmetrikus összetevők és töltőáramok számítása
15.1 A távvezeték elosztott paraméterű modellje, vezetékállandók
15.2 A távvezeték láncparaméteres egyenlete, koncentrált elemű PI modell
15.3 A távvezeték láncparaméteres egyenlete, koncentrált elemű T modell
16.1 A távvezeték végponti teljesítményei a végponti feszültségek függvényében
16.2 A távvezeték átviteli képességének befolyásolása kompenzáló elemek beiktatásával
17.1 Transzformátor hossz-és keresztszabályozásának hatása
18.1 KF vezeték feszültségesése és vesztesége. Kompenzálás sönt és soros kondenzátorral
18.2 KF vezeték feszültségesésének és veszteségének számítása, a söntkompenzáció hatása
19.1 Hálózati elem négypólus modelljének y mátrixa, valós áttételű tr. négypólus modellje
19.2 Az Y csomóponti admittancia mátrix. Hálózatredukció az I=YU egyenlet alapján
20.1 A csomóponti U=ZI egyenletrendszer, a Z csomóponti impedancia mátrix
20.2 Zárlatszámítás hurkolt hálózaton a Z mátrix és az U=ZI csomóponti egyenlet alapján
20.3 Egyenértékű modell egy vagy két csomópontra a Z csomóponzi. impedancia mátrix alapján
21.1 A teljesítményáramlás-számítás menete GAUSS iterációs eljárás alapján
21.2 A teljesítményáramlás-számítás menete NEWTON iterációs eljárás alapján
22.1 Csillagpontföldelések az MK VER-ben
22.2 Az ívoltó tekerccsel földelt (kompenzált) hálózat
23.1 Kábelek szerkezeti felépítése, villamos paraméterei
23.2 Kábelek melegedése, kábel és szabadvezeték összehasonlítása (vill. paraméterek)

#Villamosenergia-rendszerek I.

#19.1 A villamosenergia-rendszer védelmeivel szemben támasztott követelmények
#19.2 A szekunder védelmek felépítése
#20.1 Kétlépcsős, áramtól független késleltetésű túláramvédelem
#20.2 Körvezeték irányított túláramvédelme
#21.1 Áramkülönbözeti elven alapuló (differenciál) védelmek
#21.2 Impedancia-érzékelésen alapuló távolsági védelem

Félévközi részvizsga:

Részvizsga szabályok:

* **A részvétel önkéntes, előzetes jelentkezéssel.**
* **Irásbeli az I. tananyagrész 1.- 11. vizsgakérdésekből**
* A vizsga **írásbeli,** megoldási idő: **16 45p**
  6 feladat: egyet ki kell húzni, az 5 megoldott feladatból a legkisebb pontszámú nem számít be az összpontszámba
* Egy feladat: max 10 pont (4, 5.. 10 pont).
  A 40%-nál kisebb mértékben megoldott feladat: 0 pont.

Év végi vizsga:

* A vizsga **írásbeli,** megoldási idő: **36**
* **Ha a részvizsga összpontszám elérte a 25 pontot**, akkor ez a pontszám az év végi vizsgán **hallgatói kívánság alapján** érvényesíthető és az évvégi vizsgán csak a **tananyag II. tananyagrészéből** kell írásbeli vizsgát tenni (**II. rész 5 kérdésből 4 megoldandó**, 1 kihúzandó)
* Ha a részvizsga összpontszám **nem érte el a 25 pontot** , vagy eléri ugyan, de a hallgató nem tartja elegendőnek, akkor az év végi vizsgán **a teljes tananyagból kell írásbeli vizsgát** tenni: **I. tananyagrész 5 kérdésből 4 megoldandó,** (1 kihúzandó)
  II. tananyagrész 5 kérdésből 4 megoldandó, (1 kihúzandó)
* Egy feladat: max 10 pont (4, 5.. 10 pont).
  A 40%-nál kisebb mértékben megoldott feladat: 0 pont

Év végi értékelés **beszámított részvizsga, vagy év végi teljes vizsga megoldott 8 feladata alapján:**

Négy (vagy annál több) **0 pontos** feladat esetén a **vizsga eredménye elégtelen.**

Az írásbeli alapján kapott osztályzat, amely 2,3,4 érdemjegy esetén szóbelivel javítható

Összpontszám	*Írásbeli osztályzat*	*Végeredmény*
0 - 32 (- 40 %)	1	ismétlő vizsga
33 - 44 (41 % -)	2	* *szóbeli vizsgával*
45 - 56 (56 % -)	3	*a 2,3,4 osztályzat*
57 - 68 (71 % -)	4	*javítható*
69 - 80 (86 % -)	5	jeles vizsga

**szóbeli javító vizsga:*
– ha a részvizsga elérte a 30 pontot, akkor csak a II. tananyagrészből
– egyébként a teljes tananyagból

Szabó László V1 211 — Villamos energia átvitel — 11.12k, 1.h

Faludi Andor V1 204

Labor Szerdán 18-20 ig V1 213, Tananyag neten van!
vet.bme.hu : oktatás, főszaki, vill. energia rendsz., tárgyak, VEAT, tananyag : pdf fájlok

Villamos energia rendszerek

Régen létezett: - egyenáram ; több szigetre volt osztva az ország
- váltakozó áram

több féle fesz érték, és több féle frekvencia

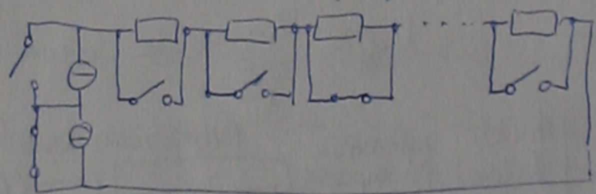
Ma: 3 fázis, váltakozó áram, 50 Hz, egy nagy rendszer

Az egyenáram tárolható akkumulátorokban!
A váltakozó nem -ll- !
↳ Ezért pont annyi kell belőle, amennyi éppen fogy.

Az egyenáram nem transzformálható nyugalmi indukcióval.

	Előny	Hátrány
Eá	tárolható	nem transzformálható
Vá	transzformálható	nem tárolható

Hálózat: - soros hálózat: minden fogyasztó, generátor sorban.

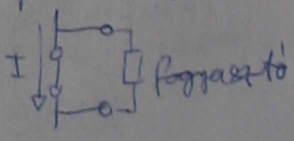


← I = áll.

- régi karácsonyfa izzók
- áramváltó szekunder kör

- Ha szakadás van, akkor minden leáll.
- A szakadási helyen fesz. esés lép fel.

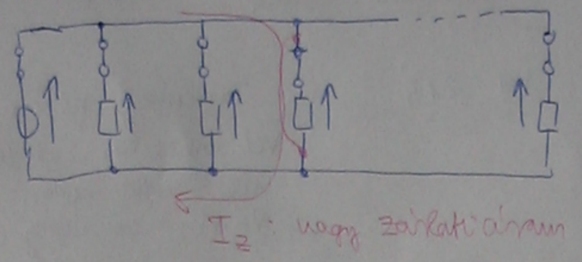
Új fogyasztó beiktatása előtt, előre ki kell építeni csatlakozásokat:



Itt a zárlat nem okoz hibát.

- Párhuzamos hálózat:

áll. = U



- Egyszerűen bővíthető
- Zárlatnál gond van!
- Fogyasztó szakadása v. vezeték szakadása nem gond

- 1 fázisnál: 2-szeres fr.-jú lengő tag van az idő fv.-ben
- 3 fázisnál: szimmetrikus esetben a lengő tag simább

Európában: 3 fázis, váltakozó, 50Hz

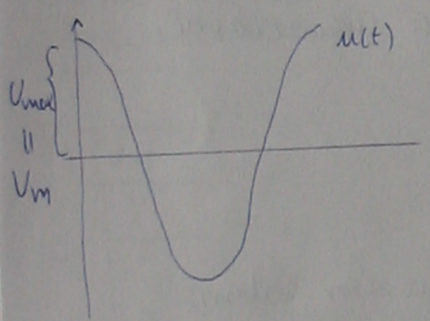
Nemzetközi rendszer: UCTE (Portugáliától – Bulgáriáig)

ucte.org

Mo. Kele tag. Kötelező ajánlások vannak a tagokra.

Villamos energia jellemzői: – frekvencia: $f = 50\,Hz \pm 50\,mHz$

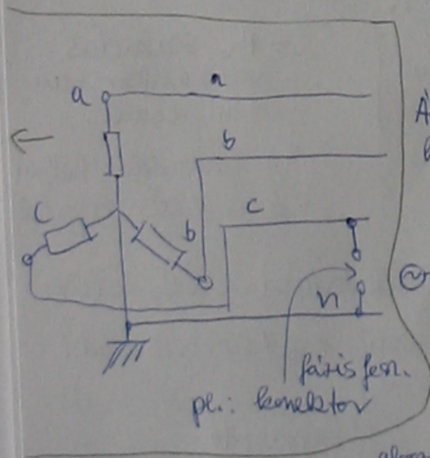
0,1 %

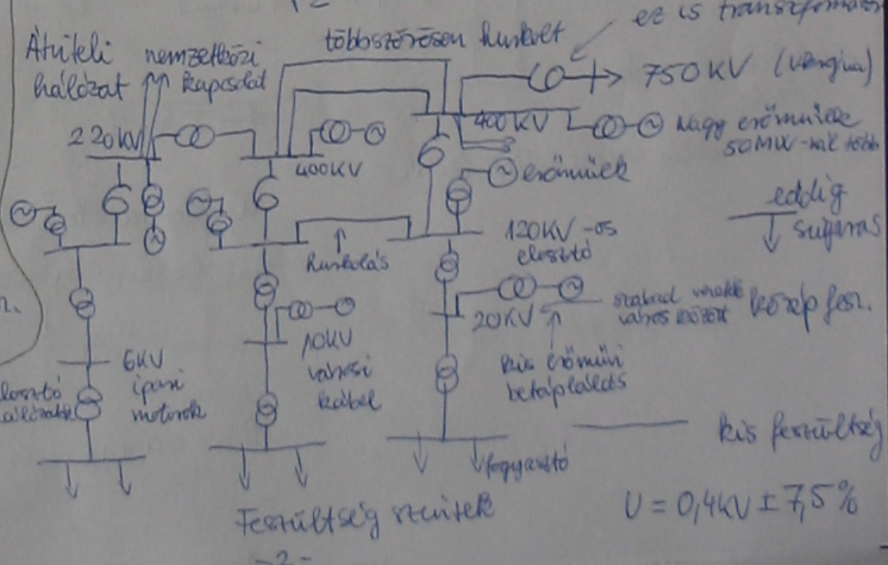


– feszültség: U: – abszolút értéke
– hullám alakja

$u(t) = U_m \cdot \cos \omega t$

$U_{eff} = \frac{U_m}{\sqrt{2}}$ ← azaz abszolút értéke



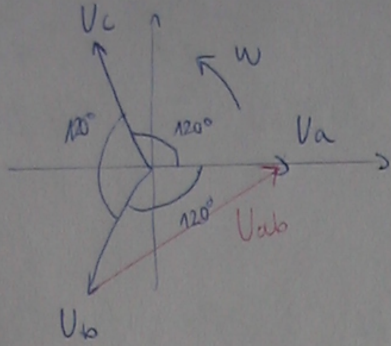


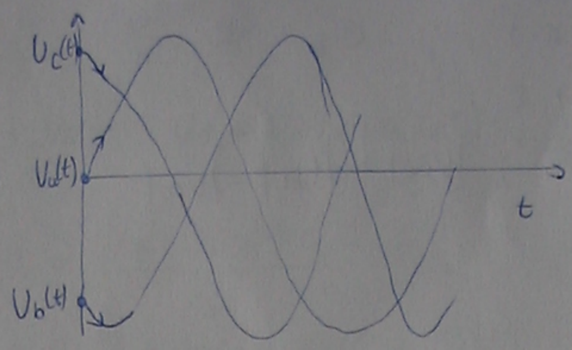
$0{,}4KV = 400V$ ← vonali

$231V$ ← fázis

Feszültség szintek

$U = 0{,}4KV \pm 7{,}5\%$





A 3 összege mindig Ø!

$\bar{U}_a = U_a e^{j\omega t}$

$U_a - U_b = U_{ab}$

$|U_{ab}| = \sqrt{3} \cdot U_a$

Mo.-on van 6 db áramszolgáltató!

E-on : 3db

: 2db

Francia : 1db (Démász)

MAVIR.hu

Paks : közel 2000 MW

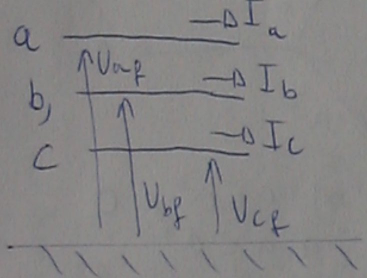
Dunamenti

Mátrai : 800 MW

Tiszai : 800 MW

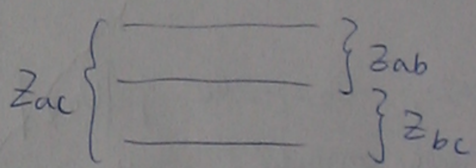
Netről: 1. AC U / I / S / P / Q

11.15. p.
1. h



U_{a_f} - fázis fesz.

$U_a =$



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

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

n fázis:

$U_a = U_{a0} + U_{a1} + U_{a2} + \ldots + U_{an-1}$

$U_b = U_{b0} + U_{b1} + U_{b2} + \ldots + U_{bn-1}$

$U_c = U_{c0} + U_{c1} + U_{c2} + \ldots + U_{cn-1}$

$\vdots$

$U_n = U_{n0} + U_{n1} + U_{n2} + \ldots + U_{n,n-1}$

$|U_{a,k}| = |U_{b,k}| = |U_{c,k}| = \ldots = |U_{n,k}|$

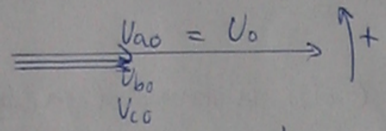
$k = 0, 1, 2, \ldots, n-1$

$\longrightarrow$

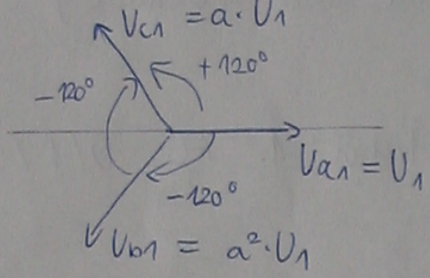
$k = 0, 1, 2, \ldots\ n-1$; $\Theta_k = -k \cdot \frac{360^\circ}{n}$

$n = 3$; $k = 0, 1, 2$

$k = 0$; $\Theta_0 = 0^\circ$; $|U_{a0}| = |U_{b0}| = |U_{c0}|$



$k = 1$; $\Theta_1 = -120^\circ$; $|U_{a1}| = |U_{b1}| = |U_{c1}|$

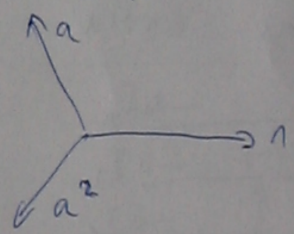


Forgató vektorok ;

$1 \cdot e^{j120^\circ} = a$

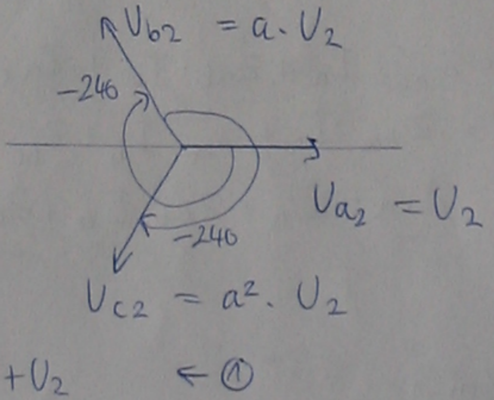
$1 \cdot e^{-j120^\circ} = a^2$

$1 \quad = 1$



$k = 2$; $\Theta_2 = -240^\circ$; $|U_{a2}| = |U_{b2}| = |U_{c2}|$

Negatív sorrendű



$1 + a + a^2 = 0$

$a \cdot a = a^2$

$a \cdot a^2 = 1$

$U_a = U_0 + U_1 + U_2 \quad \leftarrow ①$

$U_b = U_0 + a^2 U_1 + a U_2 \quad \leftarrow ②$

$U_c = U_0 + a U_1 + a^2 U_2 \quad \leftarrow ③$

$$\underline{U}_F = \underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}}_{\underline{A}} \underbrace{\begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix}}_{\underline{U}_S}$$

← szimmetrikus összetevők

$\underline{A}$ – transzformációs mátrix

$\underline{I}_F = \underline{\underline{A}} \cdot \underline{I}_s$; $\underline{U}_s = \underline{\underline{A}}^{-1} \underline{U}_F$

① + ② + ③ : $U_a + U_b + U_c = 3U_0 + U_1 \underbrace{(1+a+a^2)}_{0} + U_2 \underbrace{(1+a^2+a)}_{0}$

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

① + a② + a²③ : $U_a + a \cdot U_b + a^2 U_c = \emptyset + 3U_1 + \emptyset$

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

① + a²② + a③ : $U_a + a^2 U_b + aU_c = \emptyset + \emptyset + 3U_2$

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

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

$$\underline{\underline{A}} \cdot \underline{\underline{A}}^{-1} \stackrel{?}{=} \underline{\underline{E}}$$

$$\frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \quad \underline{A}^{-1}$$

$$\underbrace{\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}}_{\underline{\underline{A}}} \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} \cdot \frac{1}{3} = \underline{\underline{E}} \quad \checkmark$$

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

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

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

$$\underline{U}_S = \underbrace{\underline{\underline{A}}^{-1} \cdot \underline{\underline{Z}}_F \cdot \underline{\underline{A}}}_{\underline{\underline{Z}}_S \,=\, \langle Z_0 \; Z_1 \; Z_2 \rangle} \cdot \underline{I}_S$$

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

$$\underline{\underline{Z}}_F \overset{?}{=} \underline{\underline{A}} \cdot \underline{\underline{Z}}_S \cdot \underline{\underline{A}}^{-1}$$

$$\begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_2 \end{bmatrix} \quad \frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Z_0 & Z_1 & Z_2 \\ Z_0 & a^2 Z_1 & a Z_2 \\ Z_0 & a Z_1 & a^2 Z_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{Z_0+Z_1+Z_2}{3} & \frac{Z_0+aZ_1+a^2Z_2}{3} & \frac{Z_0+a^2Z_1+aZ_2}{3} \\ \frac{Z_0+a^2Z_1+aZ_2}{3} & \frac{Z_0+Z_1+Z_2}{3} & \frac{Z_0+aZ_1+a^2Z_2}{3} \\ \frac{Z_0+aZ_1+a^2Z_2}{3} & \frac{Z_0+a^2Z_1+aZ_2}{3} & \frac{Z_0+Z_1+Z_2}{3} \end{bmatrix}$$

$$\frac{Z_0+Z_1+Z_2}{3} = Z_{ön}$$

$$\frac{Z_0+aZ_1+a^2Z_2}{3} = Z_m$$

$$\frac{Z_0+a^2Z_1+aZ_2}{3} = Z_n$$

$$\underline{\underline{Z}}_F = \begin{bmatrix} Z_{ön} & Z_m & Z_n \\ Z_n & Z_{ön} & Z_m \\ Z_m & Z_n & Z_{ön} \end{bmatrix}$$ ciklikus

Megjegyzése: 1. $Z_{ön} \quad Z_m \quad Z_n$

$Z_n \quad Z_{ön} \quad Z_m$

$Z_m \ldots$

Ezért ciklikus!

Legyen: $Z_m = Z_n = Z_{kö}$

kölcsönös

Ha $\underline{\underline{Z}}_F = \begin{bmatrix} Z_{ön} & Z_{kö} & Z_{kö} \\ Z_{kö} & Z_{ön} & Z_{kö} \\ Z_{kö} & Z_{kö} & Z_{ön} \end{bmatrix}$

szimmetrikus

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

Szorzás:

11.15. p. 1.h

$$\begin{bmatrix} Z_{ön} & Z_{kö} & Z_{kö} \\ Z_{kö} & Z_{ön} & Z_{kö} \\ Z_{kö} & Z_{kö} & Z_{ön} \end{bmatrix}$$

$$\underline{\underline{A}} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix}$$

$$\frac{1}{3}\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{Z_{ön} + 2Z_{kö}}{3} & \frac{Z_{ön} + 2Z_{kö}}{3} & \frac{Z_{ön} + 2Z_{kö}}{3} \\ \frac{Z_{ön} + Z_{kö}\overbrace{(a+a^2)}^{-1}}{3} & \frac{Z_{kö} + a Z_{ön} + a^2 Z_{kö}}{3} & \frac{(1+a) Z_{kö} + a^2 Z_{ön}}{3} \\ \frac{Z_{ön} + (a+a^2) Z_{kö}}{3} & \frac{Z_{kö} + a^2 Z_{ön} + Z_{kö} a}{3} & \frac{(1+a^2) Z_{kö} + a Z_{ön}}{3} \end{bmatrix}$$

Eredmény:

$$\begin{bmatrix} Z_{ön} + 2Z_{kö} & 0 & 0 \\ \emptyset & \frac{3(Z_{ön} - Z_{kö})}{3} & 0 \\ 0 & 0 & \frac{3(Z_{ön} - Z_{kö})}{3} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{ön} + 2Z_{kö} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{ön} - Z_{kö} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{ön} - Z_{kö} \end{bmatrix}$$

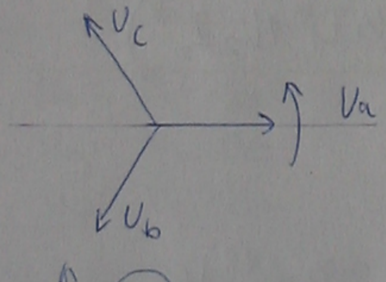
$(1 + a + a^2 = 0)$

21.: $\frac{Z_{ön} - Z_{kö}}{3} + \frac{a Z_{ön} - a Z_{kö}}{3} + \frac{a^2 Z_{ön} - a^2 Z_{kö}}{3} = \emptyset$

3.3.-as elem: $\frac{Z_{ön} - Z_{kö}}{3} + a^2 \frac{Z_{ön} - Z_{kö}}{3} + a \frac{Z_{ön} - Z_{kö}}{3}$

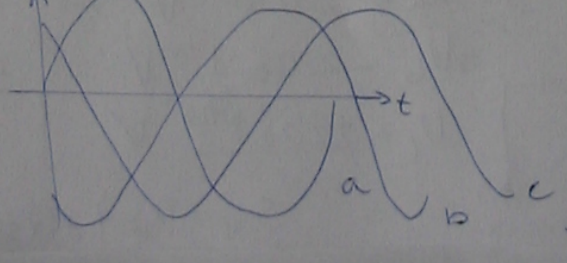
Z_0 = zérus sorrendű imp. : $Z_{ön} + 2 Z_{kö}$

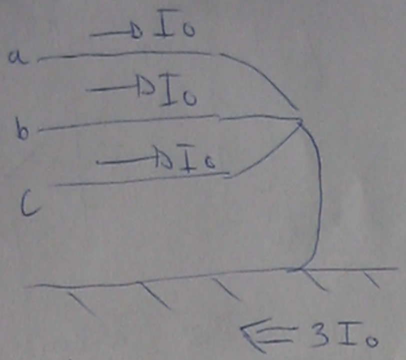
$Z_1 = Z_2 = Z_{ön} - Z_{kö}$

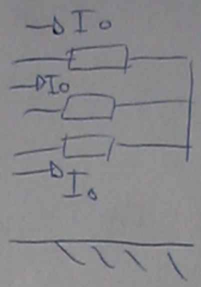


$\Rightarrow$ $a \to b \to c$ tisztán pozitív sorrendű

$a \to c \to b$ ← negatív sorrendű







Ez így NEM zérussorrendű!

Zérus sorrendű áram, csak földelt csillagpont esetén folyhat.

<u>Teljesítmény</u>:

$$S_{3f} = U_a \cdot I_a^* + U_b \cdot I_b^* + U_c \cdot I_c^*$$

$$S_{3f} = \underline{U}_F^T \cdot \underline{I}_F^*$$

$$[U_a \; U_b \; U_c] \begin{bmatrix} I_a^* \\ I_b^* \\ I_c^* \end{bmatrix} = [\ldots]$$

← 1 szám

$$\underline{U}_F = \underline{\underline{A}} \cdot \underline{U}_s \qquad \underline{I}_F = \underline{\underline{A}} \cdot \underline{I}_s$$

$$\underline{U}_F^T = \underline{U}_s^T \cdot \underline{\underline{A}}^T \qquad \underline{I}_F^* = \underline{\underline{A}}^* \cdot \underline{I}_s^*$$

$$S_{3f} = \underline{U}_s^T \cdot \underline{\underline{A}}^T \cdot \underline{\underline{A}}^* \cdot \underline{I}_s^*$$

$$\underline{\underline{A}}^T = \underline{\underline{A}} \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 3 & 0 & 0 \\ 0 & 3 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{bmatrix} = 3 \cdot \underline{\underline{E}}$$

$a^* = a^2$

$a^{2*} = a$

$$\underline{\underline{A}}^* = 3 \cdot \underline{\underline{A}}^{-1}$$

$$S_{3f} = 3\left(U_0 I_0^* + U_1 I_1^* + U_2 I_2^*\right)$$

I:

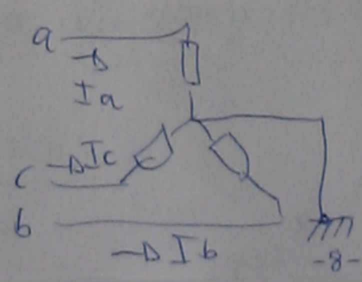
$$\left.\begin{aligned} I_a &= 13\,A \\ I_b &= 10 e^{-j120^\circ} = a^2 \cdot 10\,A \\ I_c &= 10 e^{j120^\circ} = a \cdot 10\,A \end{aligned}\right\} \quad I_0,\ I_1,\ I_2 = ?$$

II:

$I_0 = 2 \cdot e^{-j30^\circ}$

$I_1 = 10 \cdot e^{j30^\circ}$

$I_2 = 3e^{+j30^\circ}$



$$\left.\begin{aligned} U_a &= 220\, e^{j0^\circ}\, V \\ U_b &= 220 e^{-j120^\circ}\, V \\ U_c &= 220 e^{j120^\circ}\, V \end{aligned}\right\} \quad S_{3f} = ?$$

$$S_{3f} = P_{3f} + jQ_{3f}$$

Negatív sorrend: $U_2 = \frac{1}{3}(U_a + a^2 U_b + a\, U_c)$ 11.15.p. 1.h.

$$I_2 = \frac{1}{3}(I_a + a^2 I_b + a\, I_c)$$

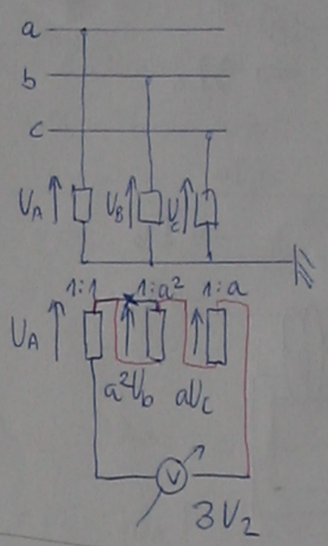
Zérus sorrendű: U, I mérése

$$U_0 = (U_a + U_b + U_c)\,\frac{1}{3} \quad ; \quad I_0 = (I_a + I_b + I_c)\,\frac{1}{3}$$

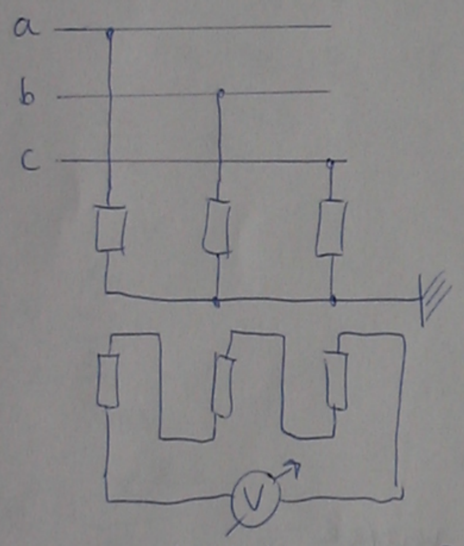
Szimmetrikus összetevők mérése 11.19k 2.h

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

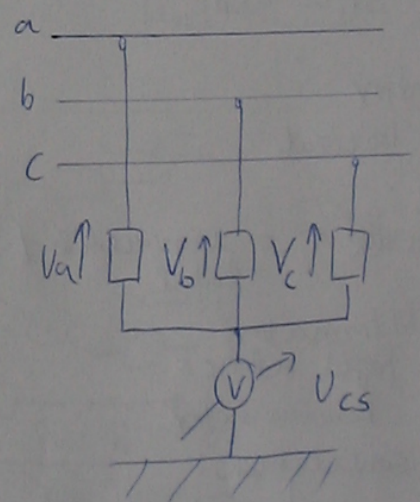
$$U_2 = \frac{1}{3}(U_a + a^2 U_b + a\, U_c)$$



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



$$U_a + U_b + U_c = 3U_0$$



$$U_a = V_a + U_{cs}$$
$$U_b = V_b + U_{cs}$$
$$U_c = V_c + U_{cs}$$

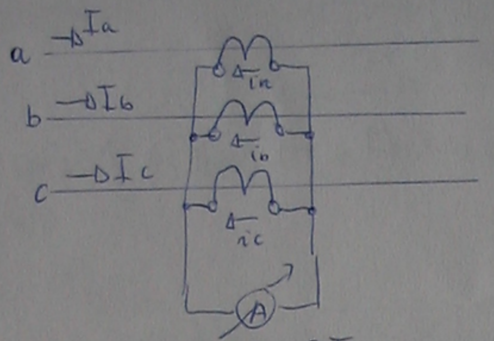
$$3U_0 = U_a + U_b + U_c = \underbrace{V_a + V_b + V_c}_{\equiv 0} + 3\,U_{cs}$$

$$\underline{U_0 = U_{cs}}$$

U_0 – zérus sorrendű fesz.

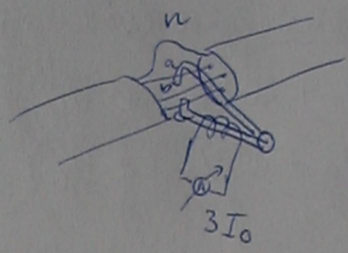
$I_0 = \frac{1}{3}(I_a + I_b + I_c)$ Áramváltó

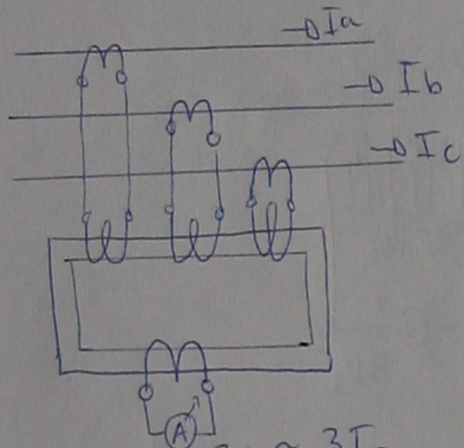
Holmgreen



$\Rightarrow 3I_0$

Lakat fogó:





$3i_0 \approx 3I_0$

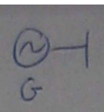
Forrás:
- generátor
- „nagy" hálózat

Átvivő elemek:
- távvezeték: - légvezeték / szabad vezeték
  - kábel
- transzformátor
- soros fojtó tekercs
- soros kondenzátor

Fogyasztók, söntelemek:
- söntfojtó tekercs (Ezek nem fogyasztanak hatásos telj.-t.)
- sönt kondenzátor

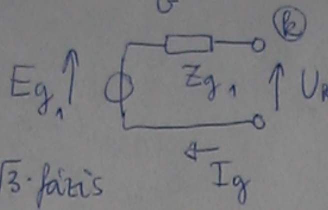
11.19.02
2.a

Generátor modell:



(egyvonalas séma)

⊕ sorrendű



U_n: - vonali $= \sqrt{3} \cdot$ fázis
- kV

P_n: - 3f
- névleges
- wattos
- MW

S_n: - 3fázisú
- névleges
- látszólagos
- MVA

$\cos \varphi_n$: P_n / S_n

Energia termeléshez: szinkron generátort használunk.

X_d - szinkron reaktancia %-ban adott; 120 ... 250%

X_d' - tranziens 25 .. 35%

X_d'' - szubtranziens 20 .. 25%

$X_2 \approx 0{,}7 \ldots 0{,}9 \cdot X_d''$

$X_0 \approx 0{,}7 \ldots 0{,}8 \cdot X_d''$

$Z_g = R_g + j \cdot X_g$, $R_g \approx \emptyset$

$$X_d^{\Omega} = \frac{X_d^{\%}}{100} \cdot Z_n^{(\Omega)} \quad ; \quad Z_n^{(\Omega)} = \frac{U_{n\,fázis}}{I_n} = \frac{\frac{U_n}{\sqrt{3}}}{\frac{S_n}{\sqrt{3}\,U_n}} = \frac{U_n^2}{S_n} = Z_n$$

$$|S_n| = \sqrt{3} \cdot |U_n| \cdot |I_n|$$

$$|I_n| = \frac{|S_n|}{\sqrt{3}\,|U_n|}$$

$$Z_n^{(\Omega)} = \frac{U_n^2}{S_n}$$

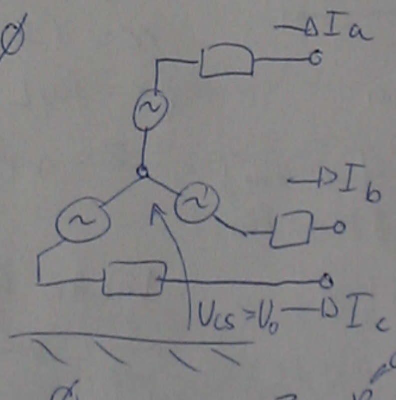
(U_n: kV, S_n: MVA)

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

$X_d' =$

$X_d'' =$

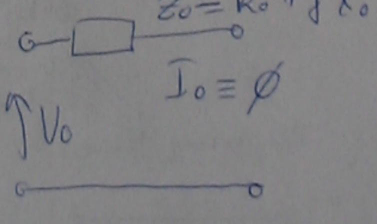
Ø



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

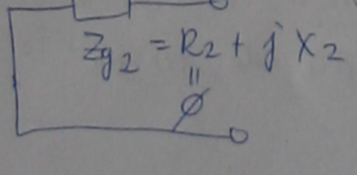
Zérus sorrendű modell

Ø

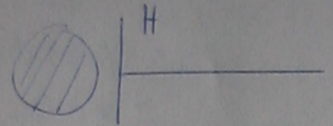


Negatív sorrend:

⊖



„Nagy" hálózat: Nagy beépített teljesítménye van. 1-pozitív sorrendű

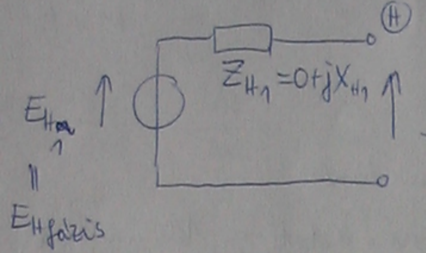


U_{Hn} : vonali; kV

S_{z3f} : MVA

Ezek abszolút értékek:

$S_{z3f} = \sqrt{3} \cdot U_{Hn} \cdot I_{z3f}$



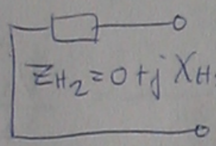
$\frac{U_{Hn}}{\sqrt{3}} = U_{H1}$

$I_{z3f} = \frac{E_{H\,fázis}}{Z_H} = \frac{U_{Hn}}{\sqrt{3} \cdot Z_H}$

$Z_H = \frac{U_{Hn}}{\sqrt{3} \cdot I_{z3f}} = \frac{U_{Hn} \cdot U_{Hn}\sqrt{3}}{\sqrt{3} \cdot S_{z3f}}$

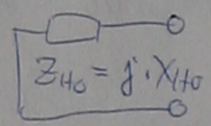
$Z_H^{(\Omega)} = \frac{U_{Hn}^2}{S_{z3f}} = 0 + j \cdot X_H$ ← vonali, kV; ↖ MVA

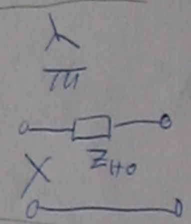
⊖



$X_{H2} \approx X_{H1}$

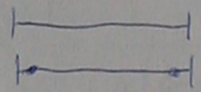
0 Földelt csillagponttal





Átvivő elemek $\omega = 2\pi 50$ $[\ell] =$ km

távvezeték:



Hossz egységre eső paraméterek:

$r = (\Omega / km)$

$jx = j\omega L$ (Ω / km)

$z = r + jx$ (Ω / km) soros pár.

C : F/km, nF/km

↳ $-j\frac{1}{\omega C} = -jX_C$ $[\Omega \cdot km]$ $M\Omega \cdot km$

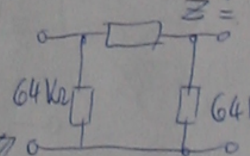
Középfesz., rövid: 10 km

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

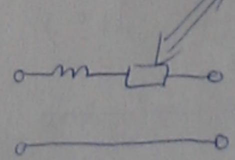
$x = 0{,}4\ \Omega/km$

$C = 10\,nF/km$

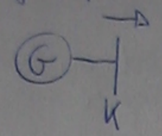
Vezeték helyettesítése:



$X_C^{(50nF)} = \frac{1}{\omega \cdot 50 \cdot 10^{-9}} = 63{,}7\,k\Omega$



Nyitó példa

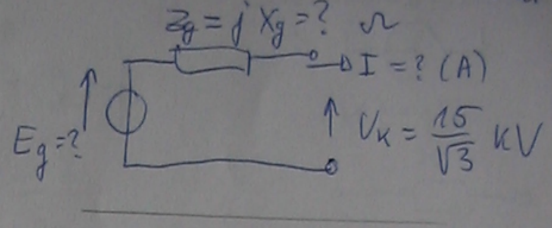


$S_n = 150 + j\,60$ MVA (3f)

$U_k = U_n = 15$ kV (vonali)

$X_d = 120\%$

$X' = 30\%$



$$X_d^{\Omega} = \frac{X_d^{\%}}{100} \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = \frac{120}{100} \cdot \frac{(15\,kV)^2}{161{,}55\,MVA} = 1{,}67\,\Omega$$

$$I = \frac{S^*}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{150 - j60\,MVA}{\sqrt{3} \cdot 15\,kV} = 5{,}7735\,kA - j\,2{,}3094\,kA = 6{,}22 \cdot e^{-21{,}8^\circ}$$

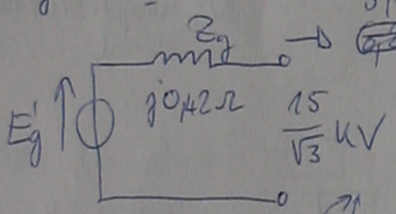
$|S_n| = 161{,}55$

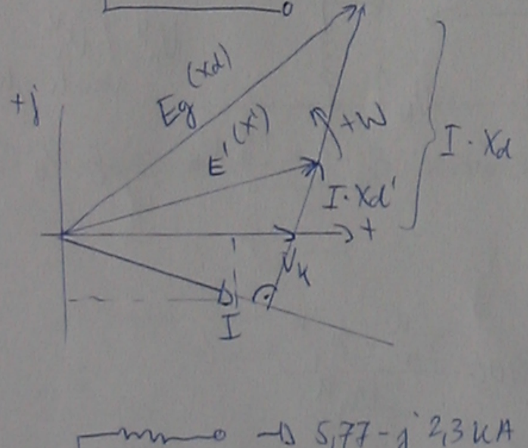
$$X' = 0{,}3 \cdot \frac{U_n^2}{S_n} = 0{,}42\,\Omega$$

$E_g^{(X_d)} =$

$E_g'^{(X')} =$

$5{,}77 - j\,2{,}3\,kA = I_g$





$$E_{g,f}' = U_{kf} + I_g \cdot Z_g =$$

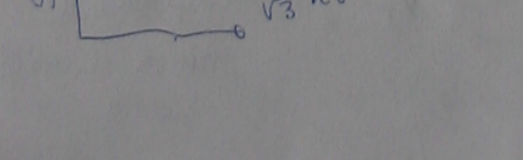
$$= 8{,}66\,kV + (5{,}77 - j\,2{,}3\,kA) \cdot j\,0{,}42\,\Omega$$

$$= 8{,}66 + 0{,}97 + 2{,}42\,j \quad (kV)$$

$$= 9{,}63 + 2{,}42\,j \quad (kV)$$ ← Park-V forrendi fesz. ekt.

Absz: $9{,}93\,kV\,e^{j14^\circ}$

$\sqrt{3} \cdot$ Absz: $17{,}2\,kV$



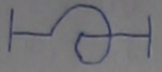
$$E_g = V_{kf} + I_g \cdot Z_g =$$

$$= 8{,}66\,kV + (5{,}77 - j\,2{,}3\,kA) \cdot 1{,}67\,j\,\Omega$$

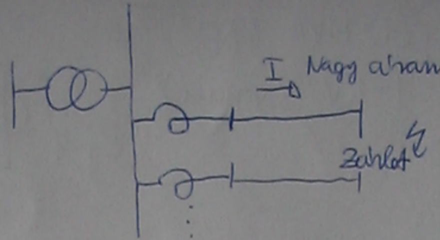
$$= 8{,}66 + 3{,}84 + j\,9{,}64 \quad kV$$

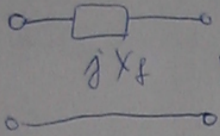
$$= \underline{12{,}5 + j\,9{,}64\,kV}$$

Soros fojtó tekercs: Túláram védelem ellen, középfeszültségű állomáson

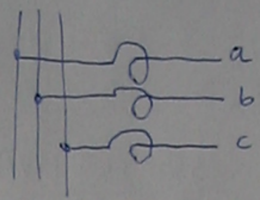


$Z_f = jX_f$



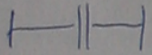


jX_f $\quad X_{f1} = X_{f2} = X_{f0}$

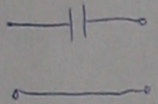


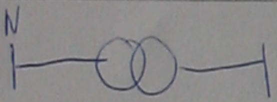
X_f (Ω)
U_n fázis ← szigetelési szint
I_n (A)
S_{n1f} $\quad S_{n1f} = I_n^2 \cdot X_f$

Soros kondenzátor (Nem elterjedt, kiiktatták)

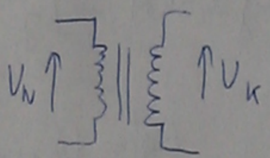


$Z_c = -jX_c$

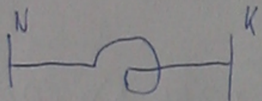




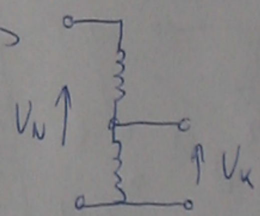
Kéttekercsű



N – nagyfeszültségű oldal



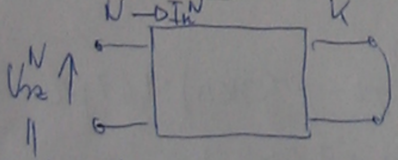
Takarék kapcs. →



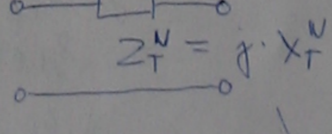
S_n 3f, MVA
U_n^N / U_n^K vonali, kV
ε %

Yy kapcs csak páros, és: 0, 6 órás
Yd
Yz $\quad$ 5, 7, 11 → páratlan óra számmal
Dy

$$\varepsilon\% = \frac{U_{rz}\ (\text{fázis})}{U_{n f}} \cdot 100 = 100\, \frac{I_n^N \cdot Z_T^N}{U_{n f}^N} = 100\, \frac{I_n^K \cdot Z_T^K}{U_{n f}^K}$$



$\| $
$Z_T^N \cdot I_n^N$



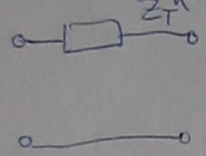
$Z_T^N = j \cdot X_T^N$

– sönt ágak ∞ impedanciájú
– ohmos ellenállás nulla

$\varepsilon \to \varepsilon_r, \varepsilon_x$
$\varepsilon_r \downarrow 0$

$$X_T^N = \frac{\varepsilon}{100}\cdot\frac{U_{nf}^N}{I_n^N} = \frac{\varepsilon}{100}\cdot\frac{U_n^N\cdot\sqrt{3}\cdot U_n^N}{\sqrt{3}\, S_n} = \frac{\varepsilon}{100}\cdot\frac{\left(U_n^N\right)^2}{S_n}\ (\Omega)$$ 11.22 p. 2 h

$$I_n^N = \frac{S_n}{\sqrt{3}\, U_n^N}$$

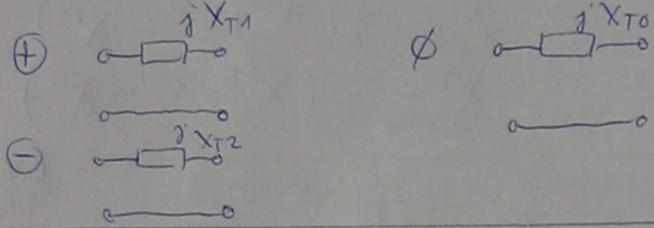


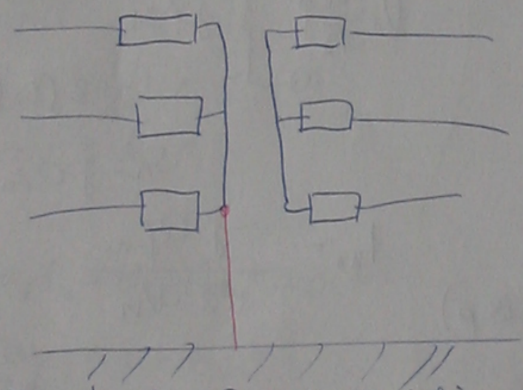
$$Z_T^K = jX_T^K \quad ; \quad X_T^K = \frac{\varepsilon}{100}\cdot\frac{\left(U_n^K\right)^2}{S_n}$$

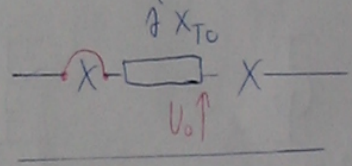
$$X_T^N = X_T^K\cdot\frac{\left(U_n^N\right)^2}{\left(U_n^K\right)^2} = X_T^K\cdot a_u^2$$

$$a_u = \frac{U_n^N}{U_n^K}$$

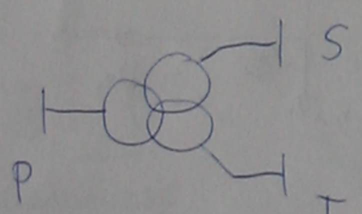
$$X_{T1} = X_{T2} = X_{T0}$$







A transzformátorok 3 tekercsűek:



$S_n^P / S_n^S / S_n^T$

pl.: 400/132 kV / 18 kV (30 kV)

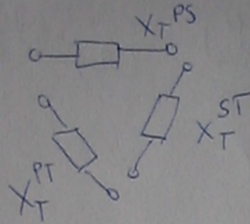
250 / 250 / 175 MVA

T (tercier) : pl.: transzformátor olaj szivattyú működéséhez.

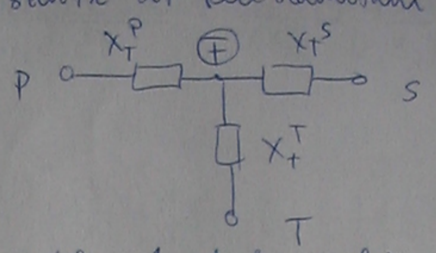
$U_n^P / U_n^S / U_n^T$

$\varepsilon_{PS},\ \varepsilon_{ST},\ \varepsilon_{PT}$ ← 3 féle drop adható meg

→



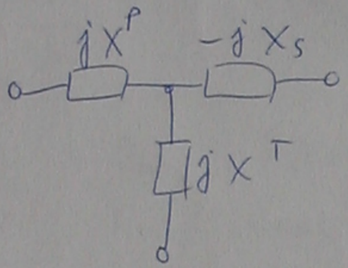
⟹ Közös U szintre át kell számítani



$$\left.\begin{aligned} \underline{X^P} + \underline{X^S} &= X^{PS} \\ X^P + \underline{X^T} &= X^{PT} \\ X^S + X^T &= X^{ST} \end{aligned}\right\}$$

2-őt összeadok, 1-et kivonok:

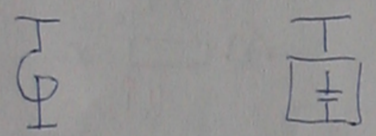
$$2X^P + \cancel{X^S} + \cancel{X^T} - \cancel{X^S} - \cancel{X^T} = X^{PS} + X^{PT} - X^{ST}$$



$$X^P = \frac{1}{2}\left(X^{PS} + X^{PT} - X^{ST}\right)$$
$$X^S = \frac{1}{2}\left(X^{PS} + X^{ST} - X^{PT}\right)$$
$$X^T = \frac{1}{2}\left(X^{PT} + X^{ST} - X^{PS}\right)$$

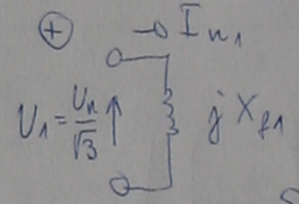
11.26.k 3.h

Söntelemek, fogyasztók



söntfojtó tekercs		kondi
S_n	Q_{fn} (3f)	Q_{cn}
	U_n (vonali)	U_n
	$\cos\varphi = \phi$ (ind)	$\cos\varphi = \phi$ (kap)

$$S_n = 0 + j \cdot Q_{fn}$$

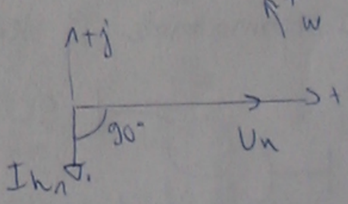


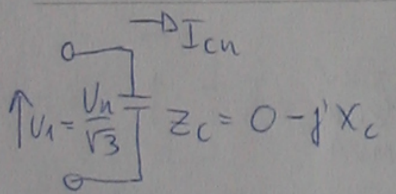
$$I_n = \frac{S_n^*}{U_n^* \sqrt{3}}$$

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n^*$$

$$S_n = j\,Q_{fn}$$

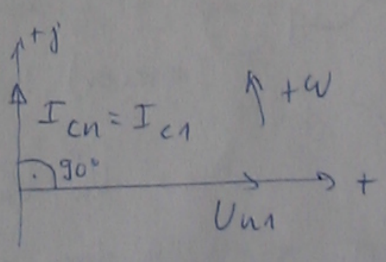
$$I_{n1} = \frac{-j\,Q_{fn}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$



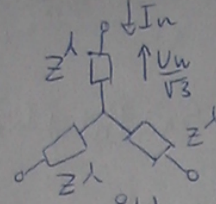


$$S_n = 0 - j\,Q_{cn}$$

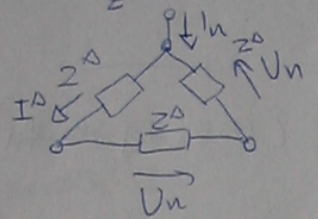
$$I_n = \frac{S_n^*}{\sqrt{3} \cdot U_n} = \frac{j\,Q_{cn}}{\sqrt{3} \cdot U_n}$$



$X_{f2} = X_{f1}$ $\qquad$ $X_{C2} = X_{C1}$



$$Z^\lambda = \frac{U_n}{\sqrt{3} \cdot I_n}$$



$$Z^\Delta = \frac{U_n \sqrt{3}}{I_n}$$

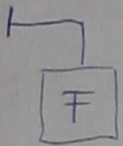
$$I^\Delta = \frac{I_n}{\sqrt{3}}$$

S_n, U_n azonos !

$\Downarrow$

$$\boxed{Z^\Delta = 3 Z^\lambda}$$

$$\boxed{C^\Delta = \frac{1}{3} C^\lambda}$$



P_n 3 fázisú, MW

U_n vonali kV

$\cos\varphi_n$ (ind / kap)

1. Z = áll.
2. I = áll.
3. P, Q = áll.

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

$pu = 0{,}8 \ldots 1 \ldots 1{,}5 \ldots (2)$

$pf = 0{,}9 \ldots 1 \ldots 1{,}2$

$$Q = Q_0 \left(\frac{U}{U_0}\right)^{qu} \cdot \left(\frac{f}{f_0}\right)^{qf}$$

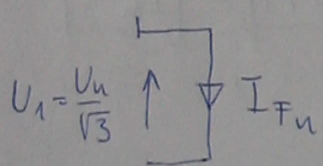
$qu = 1{,}5 \ldots 2 \ldots 7$

$qf = -1$

$$P = P_0 (a_P P_n + a_I \cdot I_n + a_Z \cdot Z_n)$$

$$a_P + a_I + a_Z = 1$$

Állandó áramú fogyasztó

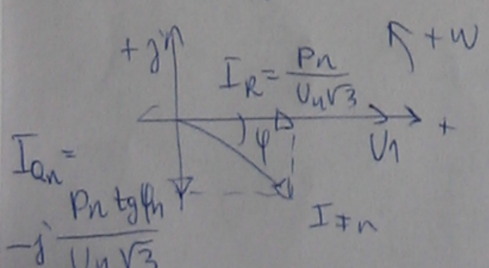


$$I_{F_n} = \frac{S_n^*}{U_n\sqrt{3}} = \frac{P_n - j P_n \operatorname{tg}\varphi_n}{\sqrt{3}\, U_n} = \underbrace{\frac{P_n}{U_n\sqrt{3}}}_{I_P} - j \underbrace{\frac{P_n \operatorname{tg}\varphi_n}{U_n\sqrt{3}}}_{I_Q}$$

$$S_n = \frac{P_n}{\cos\varphi_n} (\cos\varphi_n + j \sin\varphi_n) = P_n + j P_n \operatorname{tg}\varphi_n$$

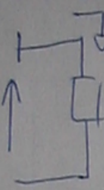
induktív $\cos\varphi$

$$I_{F_n} = I_{P_n} - j I_{Q_n}$$



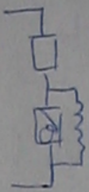
Állandó impedanciájú

$$Z_{F1} = \frac{U_n}{I_n\sqrt{3}} = \frac{U_n\sqrt{3}\,U_n}{\sqrt{3}\cdot S_n^*} = \frac{U_n^2}{S_n^*}$$



I_n

$U_1 = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$ $\quad Z_{F1} = R_{F1} + jX_{F1} \Rightarrow$



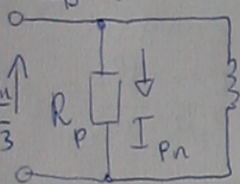
R_F

jX_F

$S_n = P_n + jQ_n$

$$I_n = \frac{S_n^*}{\sqrt{3}\,U_n}\ ; \quad Z_{F1} = \frac{U_n^2}{|S_n|(\cos\varphi_n - j\sin\varphi_n)} = \frac{U_n^2}{|S_n|}(\cos\varphi_n + j\sin\varphi_n)$$

$$= |Z_{F1}|(\cos\varphi_n + j\sin\varphi_n)$$



I_n $\quad \mathcal{Z} - jI_{Qn}$

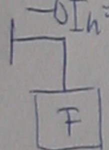
$U_1 = \frac{U_n}{\sqrt{3}}$ $\quad R_p \quad I_{Pn} \quad jX_p$

$$R_p = \frac{U_n}{\sqrt{3}\,I_{Pn}} = \frac{U_n\sqrt{3}\,U_n}{\sqrt{3}\,P_n} = \frac{U_n^2}{P_n}$$

$$X_p = \frac{U_n}{\sqrt{3}\,I_{Qn}} = \frac{U_n\sqrt{3}\,U_n}{\sqrt{3}\,Q_n} = \frac{U_n^2}{Q_n}$$

$$= P_n\,\mathrm{tg}\,\varphi_n$$

Példa:



$I_n = ?$

$P_n = 300\ kW$

$U_n = 11\ kV$

$\cos\varphi_n = 0{,}96$ (ind)

$\sin\varphi_n = 0{,}28$

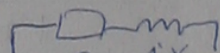
$$I_n = \frac{P_n}{\cos\varphi_n\cdot\sqrt{3}\cdot U_n}(\cos\varphi_n - j\sin\varphi_n)$$

$$I_n = \frac{300}{0{,}96\sqrt{3}\cdot 11}(0{,}96 - j0{,}28)$$

$$I_n = 15{,}75 - 4{,}59j\ A$$

$$I_n^{(0,4)} = \frac{11}{0{,}4}\cdot I_n^{(11)} = 433{,}1 - 126j\ A \Rightarrow \underline{451\ A} = \left|I_n^{(0,4)}\right|$$

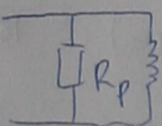
$Z_F = R_F + jX_F = ?$



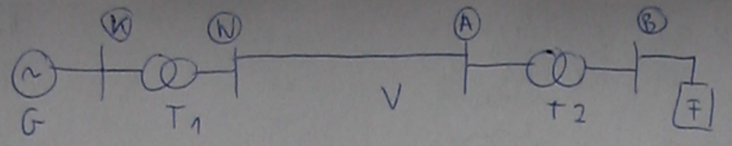
$R_F \quad jX_F$

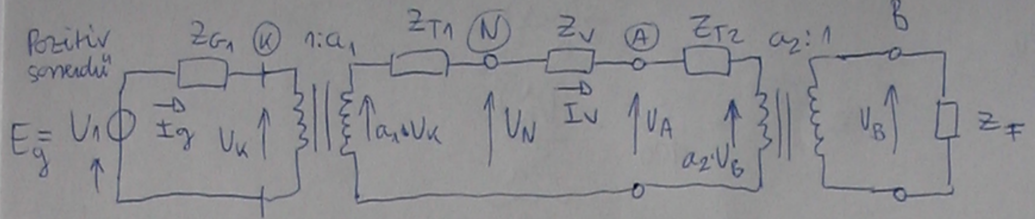
R_p

X_p



$R_p \quad jX_p = ?$





Ismert : U_B

Keresek: I_V

$$I_V = \frac{a_1 \cdot U_K - a_2 \cdot U_B}{Z_{T1} + Z_V + Z_{T2}}$$

$$I_V = \frac{I_g}{a_1}$$

$$I_g = \frac{E_g - U_K}{Z_G}$$

1. Közös U szintre redukálás
2. Viszonylagos egységek alkalmazása

1.1 Közös U szint (célszerű) megválasztása

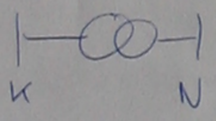
1.2 Impedanciák, ismert U, I mennyiségek átszámítása a közös U szintre

1.3. Feladat megoldás a közös U szinten

1.4. Eredmények átszámítása a saját U szintre

(Erre van példa kidolgozva)

Transzformátor:



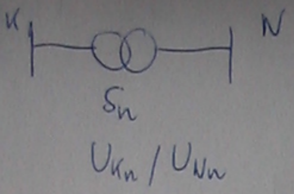
$$Z_T^K = \frac{\varepsilon}{100} \frac{(U_n^K)^2}{S_n} = \frac{\varepsilon}{100} Z_{Tn}^K$$

$$Z_T^N = \frac{\varepsilon}{100} \frac{(U_n^N)^2}{S_n} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot Z_{Tn}^N$$

$$\frac{Z_T^K}{Z_{Tn}^K} = \frac{Z_T^N}{Z_{Tn}^N} = \frac{\varepsilon}{100} \qquad Z_{Tn}^N = a_n^2 \cdot Z_{Tn}^K$$

$$a_n = \frac{U_n^N}{U_n^K} \qquad \frac{Z}{Z_{alap}} = Z^{(v.e.)}$$

$$\frac{U^{(kV)}}{U_{alap}^{(kV)}} = U^{(v.e.)} \; ; \; \frac{I^{(A)}}{I_{alap}^{(A)}} = I^{(v.e.)} \qquad S^{(MVA)} / S_{alap}^{MVA} = S^{v.e.}$$



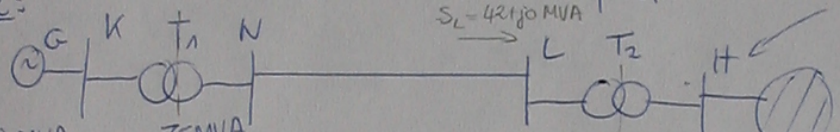
$$Z_T^{(K,\Omega)} = \frac{\varepsilon}{100} \underbrace{\frac{(U_n^K)^2}{S_n}}_{Z_n^{(K,\Omega)}}$$

$$Z_T^{(N,\Omega)} = \frac{\varepsilon}{100} \cdot \underbrace{\frac{(U_n^N)^2}{S_n}}_{Z_n^{(N,n)}}$$

$$\frac{Z_T^{(K,\Omega)}}{Z_N^{(K,\Omega)}} = \frac{\varepsilon}{100} = \frac{Z_T^{(N,\Omega)}}{Z_n^{(N,\Omega)}} = Z_T^{(v.e.)}$$

v.e. → r.e. → pu.

pl:



60 MVA, 10kV, $X' = 30\%$

75MVA, 10/132 kV, 10%

$Z_V = 0 + j0{,}58\ \frac{\Omega}{km}$, 20km

126/220 kV, 160 MVA, 12%

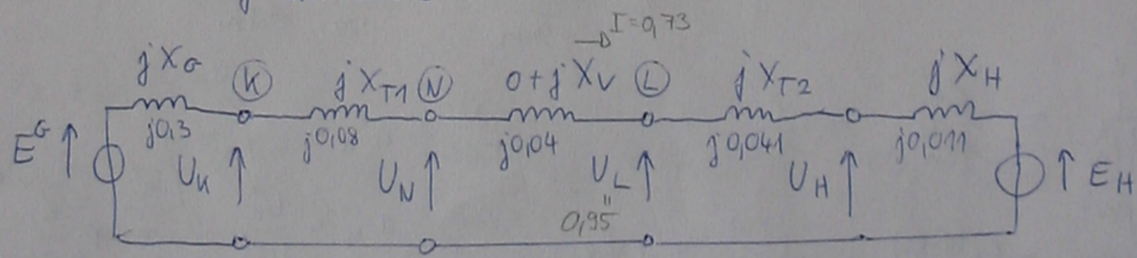
	I.	II.	III.
S_a (MVA, 3f)	60	60	60
U_a (kV, vonali)	10	132	$132 \cdot \frac{220}{126} = 230{,}5$
I_a (A)	3464	262,4	150,3
Z_a (Ω)	1,67	290,4	885,3

1. Alapmennyiségek felvétele

$$I_a = \frac{S_a}{\sqrt{3}\, U_a} \cdot 10^3\ (A)$$

$$Z_a = \frac{U_a^2}{S_a}\ (\Omega)$$

2. Adatok meghatározása v.e.-ben



11.29. p.
3.h

$$X_G = \underbrace{\frac{X_G^{\%}}{100}\cdot\frac{U_{Gn}^2}{S_n}}_{X_G^{\Omega}} \cdot \frac{S_a^I}{(U_a^I)^2} = \frac{30}{100}\cdot\frac{10^2}{60}\cdot\frac{60}{10^2} = 0,3$$

$$X_{T1} = \underbrace{\frac{\varepsilon_{T1}}{100}\cdot\frac{(U_{nK}^{T1})^2}{S_n^{T1}}}_{X_{T1}(\Omega)} \cdot \frac{S_a^I}{(U_a^I)^2} = \frac{10}{100}\cdot\frac{10^2}{75}\cdot\frac{60}{10^2} = 0,08$$

$$Z_V = (0 + j0,58)\cdot 20 = j11,6\,\Omega \quad , \quad Z_V^{v.e.} = \frac{Z_V^{(\Omega)}}{Z_a^{II}} = \frac{j11,6\,\Omega}{290,4\,\Omega} = j0,04$$

$$X_{T2} = \frac{12}{100}\cdot\frac{(220)^2}{160}\cdot\frac{60}{(230,5)^2} = 0,041$$

$$X_H^{(\Omega)} = \frac{U_{Hn}^2}{S_{3F}} = \frac{220^2}{5000} = 9,68\,\Omega \quad , \quad X_H^{v.e} = \frac{X_H^{(\Omega)}}{Z_a^{III}} = \frac{9,68\,\Omega}{885,3\,\Omega} = 0,011$$

Legyen: $\underline{U_L = 126\ \text{kV}}$
valós

$$U_L^{v.e} = \frac{126}{132} = 0,9545$$

$$S_L^{v.e} = \frac{42}{60} = 0,7$$

$$I_L = \frac{S_L^{v.e}}{U_L^{v.e}} = \frac{0,7}{0,95} = 0,73 + j0 \text{ v.e.}$$

↑ Ilyenkor nincs $\sqrt{3}$!

3. Számítás v.e-ben
4. Eredmények → dimenziós mennyiségre átszámítás

Meghatározandó:

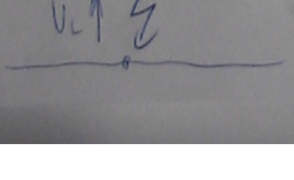
$E_G = ?$

$E_H = ?$

$U_K, U_N, U_H = ?$

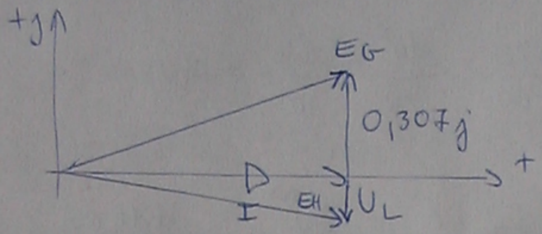
(L) sínen 3F ↯ $\quad I_{bal} = ?$ $\quad$ Feltételezve, hogy $|E_G|, |E_H|$ áll.

$I_{jobb} = ?$



$E_G = U_L + j\,(X_V + X_{T1} + X_G) \cdot I_L =$

$= 0{,}9545 + j\,(0{,}42) \cdot 0{,}73 = 0{,}9545 + j\,0{,}307$



$E_H = U_L - j\,(X_{T2} + X_H) \cdot I_L = 0{,}9545 - j\,0{,}052 \cdot 0{,}73 = 0{,}9545 - j\,0{,}038$

$U_K = U_L + j\,(X_V + X_{T1})\,I$

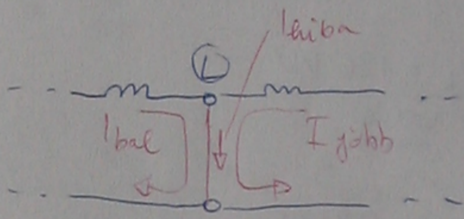
$U_N = U_L + j\,X_V\,I$

$U_H = U_L - j\,X_{T2} \cdot I$

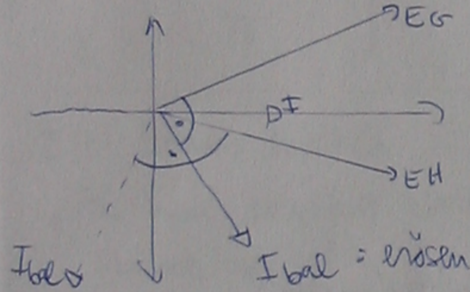
Zárlat számítás:

pl. ① és a föld között

$|E_G| = áll$; $|E_H| = áll$



$$I_{bal} = \frac{E_G}{j\,(X_G + X_{T1} + X_V)} = \frac{0{,}9545 + j\,0{,}307}{j\,0{,}42} = \frac{j\,0{,}9545 - 0{,}307}{-0{,}42} = 0{,}73 - 2{,}27j$$



I_{bal} = erősen induktív

$$I_{jobb} = \frac{E_H}{j\,(X_{T2} + X_H)} = \frac{0{,}9545 - j\,0{,}0379}{j\,0{,}0519} = \frac{j\,0{,}9545 + 0{,}0379}{-0{,}0519} =$$

$I_{jobb} = -0{,}73 - j\,18{,}39$

A hiba helyen : $I_{hiba} = j\,-20{,}66$ v.e.

pl.: $E_G^{(kV)} = E_G^{v.e.} \cdot U_a^{I} = 9{,}545 + j\,3{,}07$ kV , vonali

$E_H^{(kV)} = E_H^{v.e.} \cdot U_a^{III} = 220 - j\,8{,}74$ kV

→

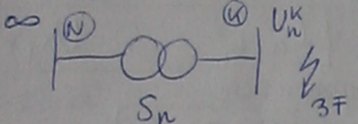
$I^{(A)\,I.}_{bal} = I^{v.e}_{bal} \cdot I^{I}_{\alpha} = 2529 - j\,7874\,A$

$I^{II.}_{bal} = 191{,}8 - j\,596{,}4\,A$

$I^{I}_{jobb} = -191 - j\,4823\,A \approx j\,5224\,A$

$S^{(L)}_{z3f} = \sqrt{3}\,U_{nL} \cdot I_{z3f} = \sqrt{3} \cdot 220 \cdot 5{,}224\,kA = 1990\,MVA$

Transzformátor "saját" zárlati telj.



S_n

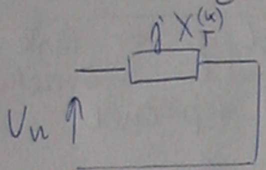
U_n^K / U_n^N

ε

$$I_z^{3F} = \frac{U_n^K}{\sqrt{3} \cdot Z_T}$$

$$S_{z3F} = \sqrt{3} \cdot I_z^{3F} \cdot U_n^K = \frac{(U_n^K)^2}{Z_T}$$

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



$$\frac{(U_n^K)^2 \cdot 100 \cdot S_n}{\varepsilon \cdot (U_n^K)^2} = S^{(saját)}_{z3F} = \frac{S_n}{\varepsilon/100}$$

$\left.\begin{array}{l} S_{nT2} = 160\,MVA \\ \varepsilon = 12\,\% \end{array}\right\} \quad S^{T2}_{z\,saját} = \frac{160}{0{,}12} = 1333\,MVA$

EA: Szabó László

„Aki nem készített ebédet, ne szidja, hogy milyen!"

Számozásról ↑

- Szabadvezetékek soros impedanciái
- Négyvezetős modell
- Zárlatok számítása

"Fizikai valóság"

$\boxed{\begin{array}{l}\text{modell, paraméterek} \\ \text{analízis, elemzés}\end{array}}$ (← mit vizsgálunk)

értékelés

Rendszerek: DC

AC 50Hz ~ (szinuszos) | alapharmonikus (50Hz)

↳ $i_{a,b,c}(t)$ | felharmonikus

↳ $u_{a,b,c}(t)$

átmenet (tranziens) ; $\boxed{\text{állandósult}}$

↑ változó

$i_{a,b,c}$

$u_{a,b,c}$ → alapharmonikus fazor

$\boxed{I_{a,b,c} \quad U_{a,b,c}}$

komponensek

$\boxed{0,\ 1,\ 2}$

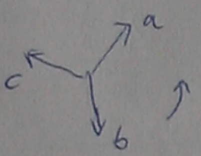
zérus, pozitív, negatív

0, d, q ← Park összetevők

Forgó gépeknél

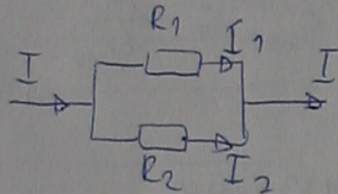
0, α, β

1



Park vektor
(idő fv-ekre is jó)

legkisebb (minimális) "ellenállás", veszteség



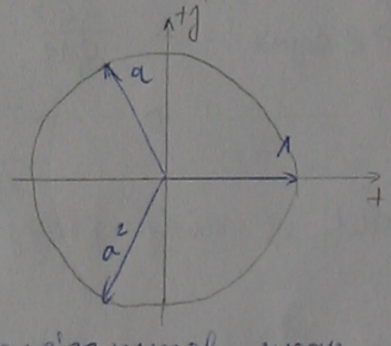
áramosztás

DC P_V

AC $\bar{S}_V = P_V + jQ$

$a = e^{j120°} = -\frac{1}{2} + j\frac{\sqrt{3}}{2}$

$a^2 = e^{j240°} = -\frac{1}{2} - j\frac{\sqrt{3}}{2}$



A villamos 500V-os egyenárammal megy.

$Z = \frac{U}{I} = R + jX$ ← fázis-föld hurokimpedanciája

Kölcsönös impedancia

3 fázisú rendszer: 6 jellemző

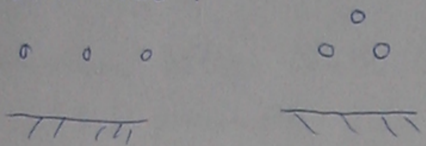
Szimmetrikus összetevők

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

Pozitív sorrend: $Z_{ön} - Z_{kölcs} = Z_1$; $Z_2 = Z_1$

$Z_0 = Z_{ön} + 2Z_{kölcs}$

Aszimmetria:



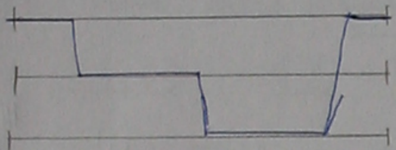
szimm $\leftarrow$ Geometriailag

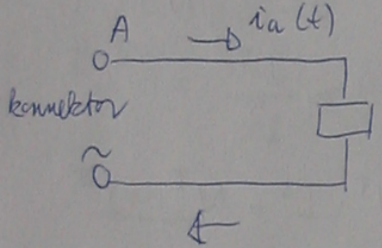
Fázisok: A B C $\leftarrow$ magyar

R S T $\leftarrow$ német jelölés

Színei: zöld sárga piros $\leftarrow$ magyar

Red Yellow Blue $\leftarrow$ angol

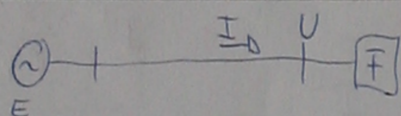




$i_a(t) \rightarrow$ alapharm. $\rightarrow I_a$

felharm. $\rightarrow I_{a,k}$

Négyvezetős vezeték modell



$3\bar{I}_0 = \bar{I}_a + \bar{I}_b + \hat{I}_c$

$\uparrow$

csak földzárlat vagy rövidzárlat esetén van!

Pozitív, negatív, zérus modell

$\uparrow$ van forgás $\uparrow$ nincs forgás $\uparrow$

$3I_0 \cdot Z = I_0 \cdot 3Z$

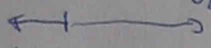
Z_f: fázis impedancia

$$Z_0 = Z_{ön} + 2Z_k \qquad \Longleftrightarrow \qquad Z_{ön} = \frac{1}{3}(Z_0 + 2Z_1)$$

$$Z_1 = Z_{ön} - Z_k \qquad\qquad Z_k$$

2F Zárlat

$I_a = I_0 + I_1 + I_2$

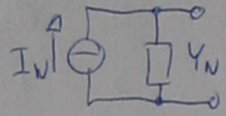


Zárlat b és c között

$$I_{2F} = \frac{\sqrt{3}}{2} \cdot I_{3F}$$

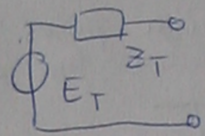
Hatások összegzése (szuperpozíció)
(R, L, C rendszer)

- két pontra egyenértékű modell
  - Norton
  - Thévenin



$Y_N = \frac{1}{Z_T}$

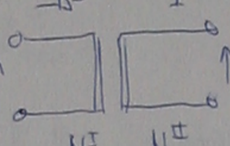
$I_N = Y_N \cdot E_T$



$$I_{2FN} = I_{2F} + I_N$$

Transzformátor

- csillag
- delta
- zeg-zug



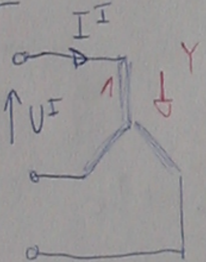
III. 7. p
4. h

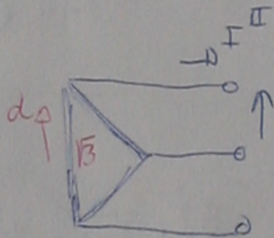
áttétel: $\frac{U^I}{U^{II}} = \frac{N^I}{N^{II}}$

$= \frac{I^{II}}{I^I}$

$N^I \cdot I^I = N^{II} \cdot I^{II}$

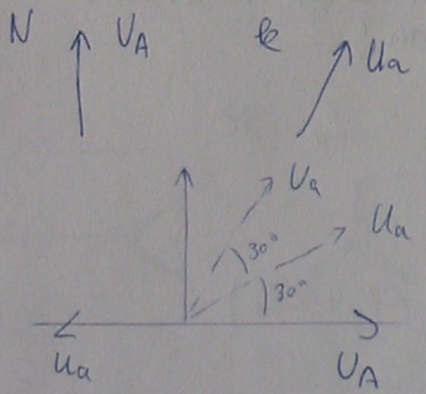
3F tr.

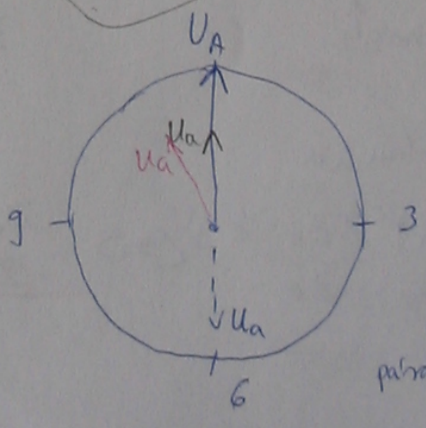




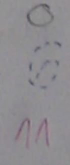
$I^d = \frac{I^Y}{\sqrt{3}}$

ha $a = \frac{U^I}{U^{II}} = 1 = \frac{I^{II}}{I^I}$





óraszám:



páros: p — even
páratlan: pt — odd

→

páros: Yy Dd Zz

pt: Yd Yz

Nagy betű: nagyobb fesz.

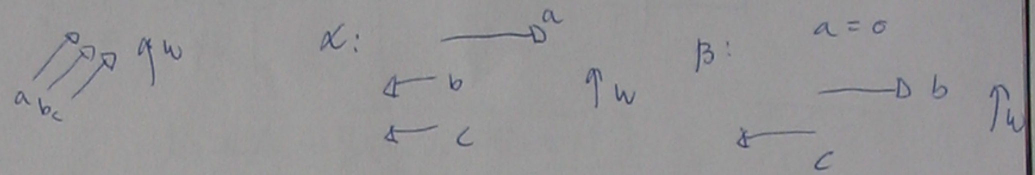
Kis fesz: kisebb fesz.

pl.: Yd 11

Amerikai hölgy: Edith Clarke

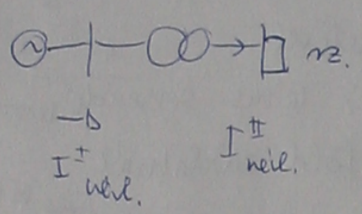
$\alpha, \beta, 0$ összetevők

0 sorrend:



Zárlat:

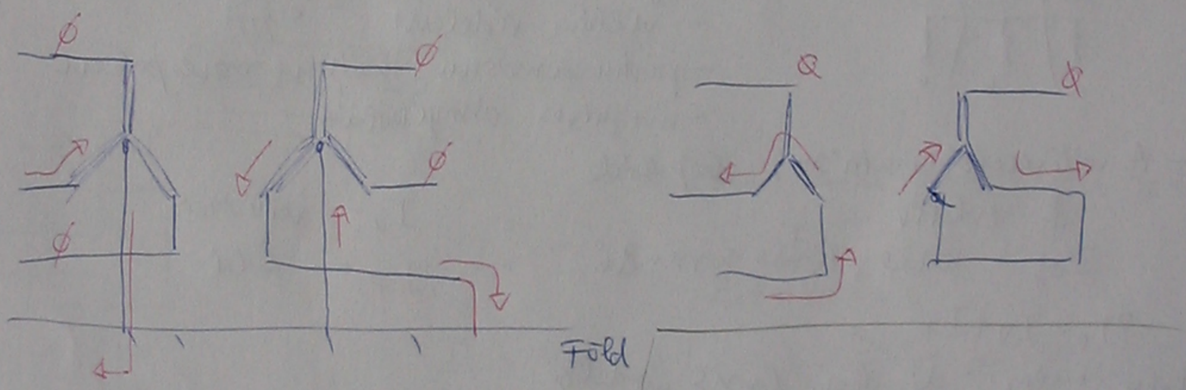
3F⚡: Mind 3 fázis össze

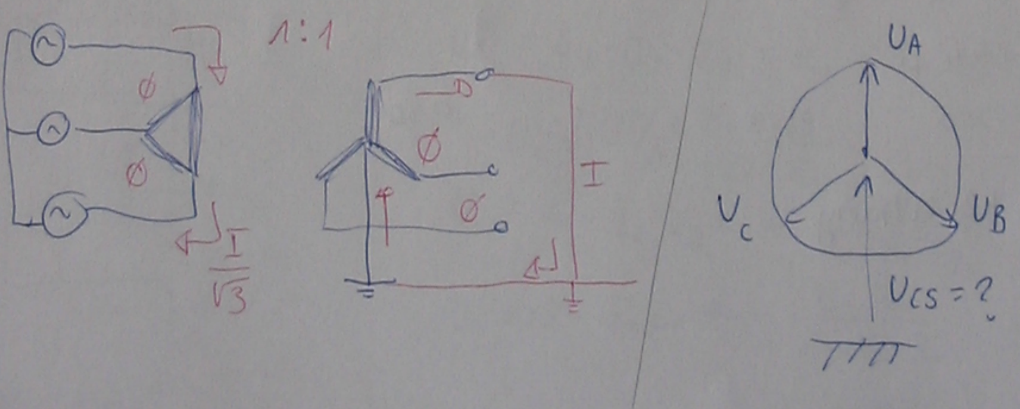


$$\frac{U_z^{I}}{U_{név.}^{I}} \cdot 100\% = U_z\% = \overset{5}{\cancel{6}}\%$$

$I_{név.}^{I}$ $I_{név.}^{II}$

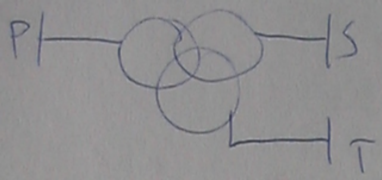
$$I_z^{II} \leq \frac{I_{név}^{II}}{U_z} \leq 20 \quad ; \quad S_z = U_{név} \cdot I_z \leq \frac{S_{név}}{U_z}$$

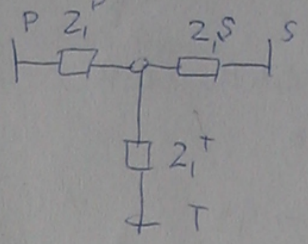




Csillagpont képző : Zeg-Zug tekercs

Takarék kapcsolású tr.





$Z_1^{PS} = Z_1^P + Z_1^S$

⋮

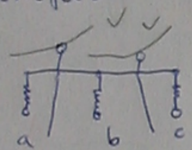
III. 11. 5.h

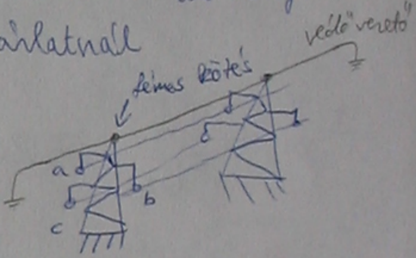
Hálózati földelések

- Háromfázisú szabadvezeték védővezetővel
- Forrás és fogyasztó pozitív, negatív és zérus sorrendű modellje
- Csillagföldelés hatása fázis-föld zárlatnál

-Árnyékoló vezető

- Háromfázisú szabadvezeték védővezetővel





↓
- villám védelem
- párhuzamosan köti az oszlopokat
- mágneses árnyékolás

- A védővezető hatása, képletek

f = fiktív

Z_{of} = fázis, zérus sorrendű

I_v - védővezető

I_F - föld

$3I_0 = I_v + I_F$

Teljesítmény - U fesz. forrás modellje

Vezetékes szemléltető pl.:

MVA: 1200 250 33,3 5 0,36

Saját zárlati teljesítmény

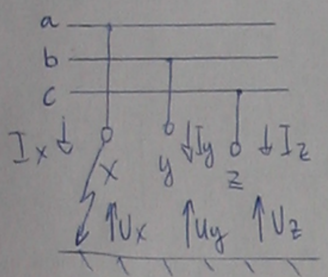
Asszimmetriák vizsgálata (FA)

Asszimmetrikus hálózati állapotok

Sönt hibák : 1FN (a) ← „a" fázisban
2FN (b,c)
2F (b,c)
3F , 3FN

Soros hibák : 1F ki (a) ← fázis kikapcsolás
2F ki (b,c)

Hibahely:



$$U_x = \emptyset = \boxed{U_0 + U_1 + U_2 = \emptyset}$$

$$I_x = I_0 + I_1 + I_2$$

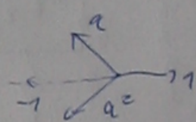
$$\left.\begin{matrix} I_y = 0 \\ I_z = 0 \end{matrix}\right\} I_y = I_z$$

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

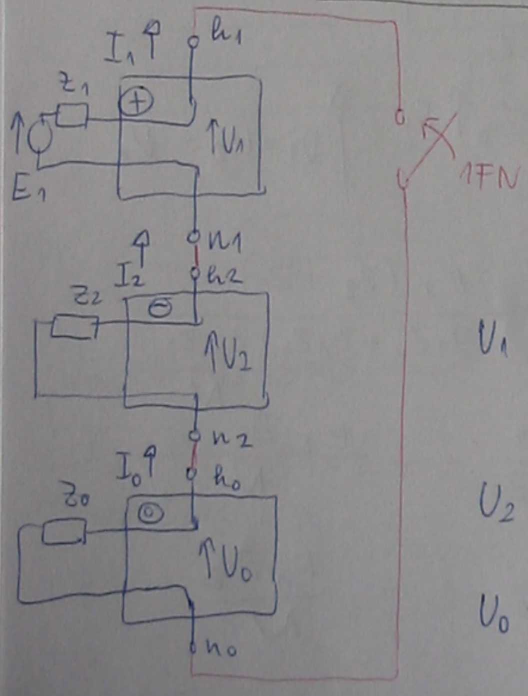
$$I_1(a^2 - a) = I_2(a^2 - a)$$

$$I_1 = I_2$$

$$I_y = 0 = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_0 + I_1 \underbrace{(a + a^2)}_{-1}$$



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



Sorba kell kötni, hogy : $I_0 = I_1 = I_2$ legye

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

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

$$U_1 = E_1 - I_1 \cdot Z_1 = E_1 - E_1 \frac{Z_1}{Z_1 + Z_2 + Z_0} =$$

$$U_1 = \frac{E_1 (Z_2 + Z_0)}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$U_2 = 0 - I_2 \cdot Z_2 = - \frac{E_1 Z_2}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

$$U_0 = 0 - I_0 Z_0 = - \frac{E_1 Z_0}{Z_1 + Z_2 + Z_0}$$

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

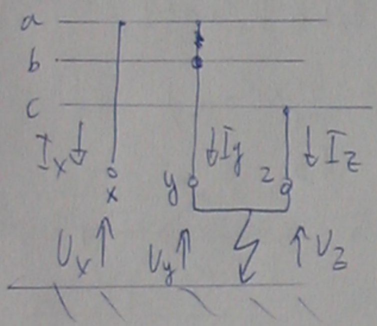
$$\begin{bmatrix} U_0 \\ U_1 \\ U_2 \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a & a^2 \\ 1 & a^2 & a \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 0 \\ U_y \\ U_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{U_y + U_z}{3} \\ \frac{aU_y + a^2 U_z}{3} \\ \frac{a^2 U_y + a U_z}{3} \end{bmatrix} \qquad U_0 + U_1 + U_2 = \emptyset$$

$U_x = \emptyset$

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

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

Hibahely: 2 FN (b, c)



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

$U_y = \emptyset = U_z$

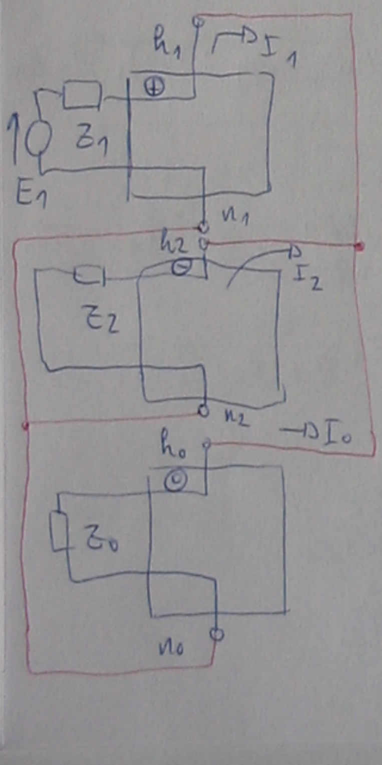
$\cancel{U_0} + a^2 U_1 + a U_2 = \cancel{U_0} + a U_1 + a^2 U_2$

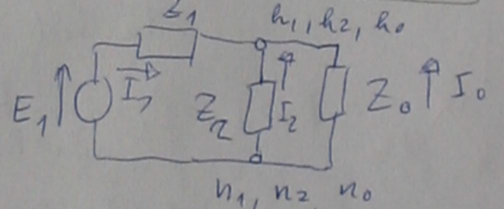
$U_1 (a^2 - a) = U_2 (a^2 - a)$

$U_1 = U_2$

$U_y = 0 = U_0 + a^2 U_1 + a U_1 = U_0 + U_1 \underbrace{(a^2 + a)}_{-1} = 0$

$\boxed{U_0 = U_1 = U_2}$





$U_1 = U_2 = U_0$

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

$$I_2 = -I_1 \frac{Z_0}{Z_2 + Z_0} = -\frac{E_1 Z_0}{N}$$

$$I_0 = -I_1 \frac{Z_2}{Z_2 + Z_0} = -\frac{E_1 Z_2}{N}$$

→

III. 14. p.
5. h

$$U_1 = E_1 - I_1 Z_1 = E_1 - \frac{E_1 Z_1 (Z_2+Z_0)}{N}$$

$$U_2 = -I_2 Z_2 = \frac{E_1 Z_2 (\cancel{Z_2}+Z_0)}{N} = \frac{E_1 Z_2 \cdot Z_0}{N}$$

$$U_0 = -I_0 Z_0 = \frac{E_1 Z_2 Z_0}{N}$$

$$\to U_1 = \frac{E_1(\cancel{Z_1 Z_2} + \cancel{Z_1 Z_0} + Z_0 Z_2) - E_1(\cancel{Z_1 Z_2} + \cancel{Z_1 Z_0})}{N} = \frac{E_1 Z_0 Z_2}{N}$$

$I_f = I_y + I_z$ (Földbe folyó áram)

$$I_f = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 + I_0 + a I_1 + a^2 I_2 = 2I_0 + (a^2+a) I_1 + (a+a^2) I_2$$

$$\to = 2I_0 + (\underbrace{a^2+a}_{-1})(I_1+I_2)$$

$$\begin{array}{c} I_a \leftarrow \\ I_b \leftarrow \\ I_c \leftarrow \end{array} \begin{bmatrix} I_x \\ I_y \\ I_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_0 \\ I_1 \\ I_2 \end{bmatrix}$$

$$\underline{I}_F = \underline{\underline{A}} \quad \underline{I}_S$$

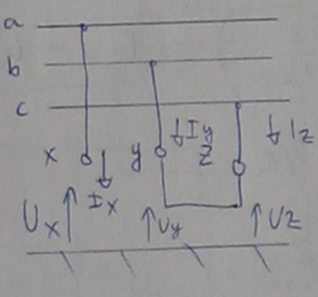
$$I_0 + I_1 + I_2 = 0$$

$$I_1 + I_2 = -I_0$$

$$\boxed{I_f = 3I_0}$$

Földéintés nélküli 2F

2F (b, c)



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

$$U_y = U_z$$

$$I_y + I_z = \emptyset$$

$$I_0 = \frac{1}{3}(I_x + I_y + I_z) = \emptyset$$

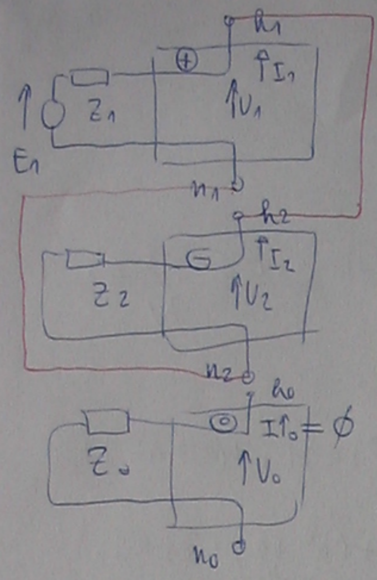
$$U_0 + a^2 U_1 + a U_2 = U_0 + a U_1 + a^2 U_2$$

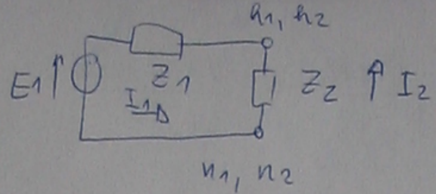
$$U_1 = U_2$$

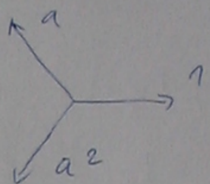
$$U_0 = 0 - I_0 \cdot Z_0 = \emptyset$$

$$I_x = 0 = I_1 + I_2$$

mert $I_0 = 0$.







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

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

$$I_y = \emptyset + a^2 I_1 + a I_2 = I_1 \underbrace{(a^2-a)}_{-j\sqrt{3}}$$

$$I_y = -j\sqrt{3}\,\frac{E_1}{Z_1+Z_2}$$

$$I_z = \emptyset + a I_1 + a^2 I_2 = I_1 \underbrace{(a-a^2)}_{j\sqrt{3}} = +j\sqrt{3}\,\frac{E_1}{Z_1+Z_2}$$

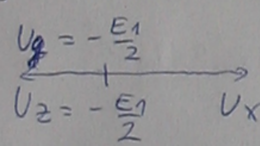
$\left|I_z^{2F}\right| = \frac{\sqrt{3}}{2}\cdot\frac{E_1}{Z_1}$, mert $Z_2 \approx Z_1$.

$$\left.\begin{aligned} U_1 &= E_1 - I_1 Z_1 = E_1 - \frac{E_1 Z_1}{Z_1+Z_2} \\ U_2 &= 0 - I_2 Z_2 = I_1 \cdot Z_2 = \frac{E_1 Z_2}{Z_1+Z_2} \end{aligned}\right\}$$ Ha $Z_1 = Z_2 \Rightarrow$ $U_1 = \frac{E_1}{2} = U_2$.

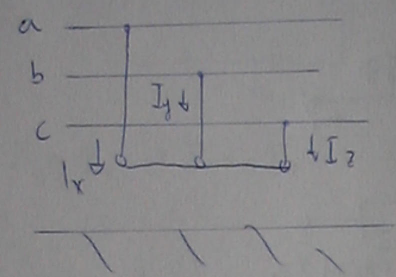
$$U_x = U_0 + U_1 + U_2 = U_1 + U_2 = E_1\left(\frac{Z_1}{Z_1+Z_2} + \frac{Z_2}{Z_1+Z_2}\right) = \underline{E_1 = U_x}$$

$$U_y = 0 + a^2 U_1 + a U_2 = U_1(a^2+a) = -U_1 = -E_1/2$$

$$U_z = 0 + a U_1 + a^2 U_2 = U_1(a+a^2) = -U_1 = -\frac{E_1}{2}$$



3F, 3FN



3F: $I_x + I_y + I_z = \emptyset$

$U_x = U_y = U_z$

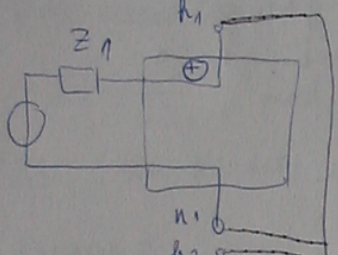
$I_0 = \frac{1}{3}(I_x + I_y + I_z) = \emptyset$

3FN: $U_x = U_y = U_z = \emptyset$

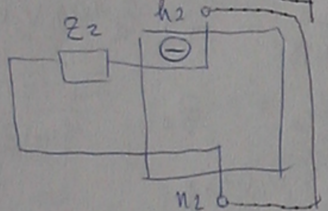
$U_0 = \emptyset$

$U_2 = \frac{1}{3}(U_x + a U_y + a^2 U_z) = \emptyset$

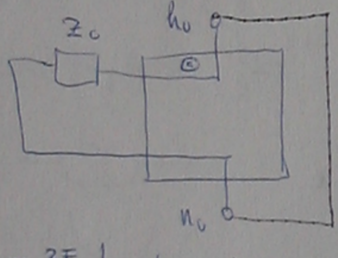
$U_1 = \frac{1}{3}(U_x + a^2 U_y + a U_z) = \emptyset$



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



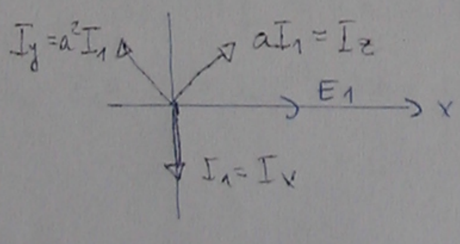
3FN $I_2 = \emptyset$



3FN

$\left|I_z^{3F}\right| = |I_{za}| = I_0 + I_1 + I_2 = |I_1| = \left|\frac{E_1}{Z_1}\right|$

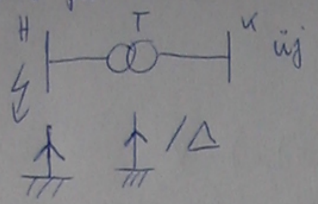
ha $\boxed{Z_1 = jX_1}$

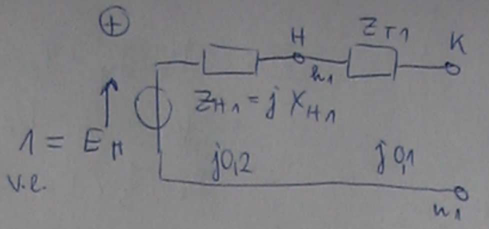


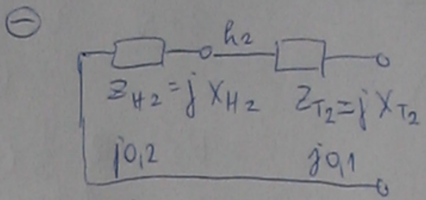
$I_y = I_0 + I_1 a^2 + a I_2$

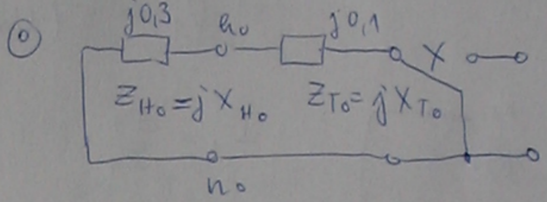
III. 18. k
6. h

Bemutató példa:

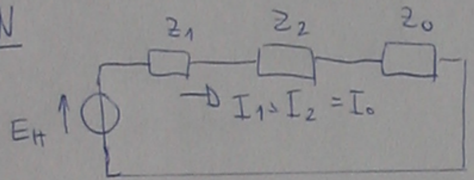








1FN



E_H valós.

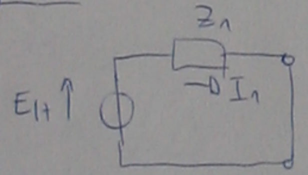
$$I_1 = I_2 = I_0 = \frac{E_H}{Z_1 + Z_2 + Z_0} = \frac{1}{j0{,}2 + j0{,}2 + j0{,}075} = \frac{1}{j0{,}475} = -j\,2{,}105 \text{ v.e.}$$

($Z_{T_{1,2}}$ - k nem játszanak) csak Z_{T_0} $\Rightarrow$ $Z_0 = \frac{Z_{H0} \cdot Z_{T0}}{Z_{H0} + Z_{T0}}$

$$Z_0 = \frac{0{,}3 \cdot 0{,}1}{0{,}4} = 0{,}075j$$

$$I_{Z(a)}^{FN} = I_0 + I_1 + I_2 = 3I_1 = \underline{-j6{,}316 \text{ v.e.}}$$

3F, 3FN



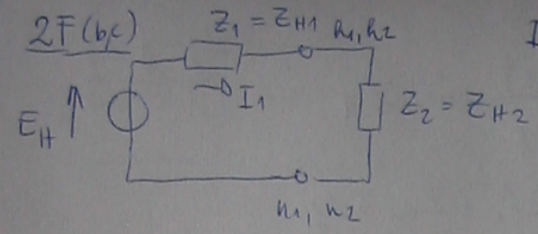
$$I_1 = \frac{E_H}{Z_1} = \frac{1}{j0{,}2} = -j5 \text{ v.e.}$$

$$I_{Z(a)}^{3F} = I_0 + I_1 + I_2 = I_1 = \underline{-j5 \text{ v.e.}}$$

$I_2, I_0 = \emptyset$

Tehát: $\left| I_Z^{FN} \right| > \left| I_Z^{3F} \right|$

2F (b,c)

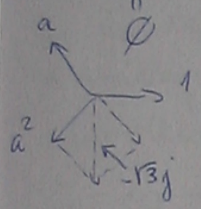


$I_2 = -I_1$

$I_0 = \phi$

$$I_1 = \frac{E_H}{Z_1 + Z_2} = \frac{1}{j0{,}2 + j0{,}2} = -j\,2{,}5 \text{ v.e.}$$

$$I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_2 = I_1 (a^2 - a)$$



$$I_{Z(b)}^{2F} = -j\,2{,}5 \cdot -j\sqrt{3} = -4{,}33 \text{ v.e.}$$

$$I_{Z(c)}^{2F} = +4{,}33 \text{ v.e.}$$

Tehát: $|I_Z^{FN}| > |I_Z^{3F}| > |I_Z^{2F}|$

Most, speciálisan: $|I_Z^{(2F)}| = \frac{\sqrt{3}}{2} |I_Z^{(3F)}|$

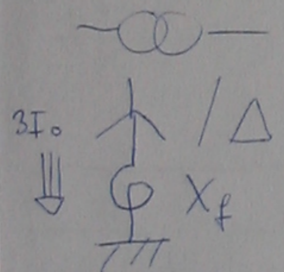
$I_1 = \frac{E_H}{2Z_1}$, mert $Z_1 = Z_2$. $\Rightarrow$ $|I_Z^{2F}| = \sqrt{3} \cdot I_1 = \frac{\sqrt{3}}{2} \frac{E_H}{Z_1}$

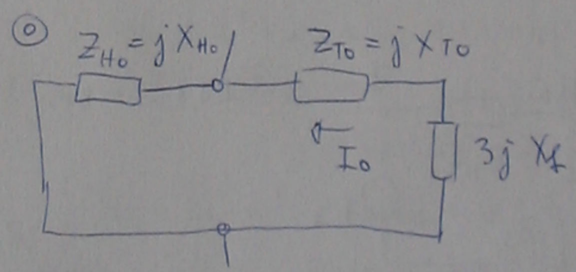
2FN (Házi feladat)

$|I_Z^{(FN)}| > |I_Z^{2FN}| > |I_Z^{3F}|$ vagy $\underbrace{|I_Z^{3F}| > |I_Z^{2FN}| > |I_Z^{FN}|}_{\text{Ha } |I_Z^{FN}| < |I_Z^{3F}|}$

Tehát $|I_Z^{2FN}|$ mindig $|I_Z^{FN}|$ és $|I_Z^{3F}|$ közé esik.

Nem jó, hogy $|I_Z^{FN}| > |I_Z^{3F}|$! Megoldás:





$$3I_0 \cdot X_f \equiv I_0 \cdot 3X_f$$

Ha $Z_1 = Z_2 = Z_0$, akkor: $I_1^{FN} = \frac{E_H}{3Z_1}$

$$|I_Z^{FN}| = 3 \cdot \frac{E_H}{3Z_1} = \frac{E_H}{Z_1}$$

$\rightarrow$

Tehát Z_0 legyen $= Z_1 = Z_2$.

$\underline{Z_f = jX_f}$

$$Z_0 = \frac{Z_{H0} \cdot (Z_{T0} + 3Z_f)}{Z_{H0} + Z_{T0} + 3Z_f} = Z_1$$

$$Z_1 (Z_{H0} + Z_{T0} + 3Z_f) = Z_{H0} Z_{T0} + Z_{H0} 3Z_f$$

$$Z_1 Z_{H0} + Z_1 Z_{T0} - Z_{H0} Z_{T0} = 3Z_{H0} \cdot Z_f - 3Z_1 \cdot Z_f$$

$$Z_f = \frac{Z_1 Z_{H0} + Z_1 Z_{T0} - Z_{H0} Z_{T0}}{3Z_{H0} - 3Z_1}$$

$$3Z_f = j\frac{0{,}2 \cdot 0{,}3 + 0{,}2 \cdot 0{,}1 - 0{,}3 \cdot 0{,}1}{0{,}3 - 0{,}2} = j0{,}5 \text{ v. e.}$$

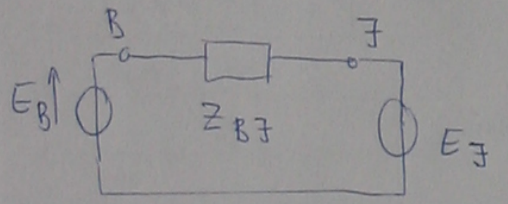
Ellenőrzés:

$$Z_1 = Z_0 = \frac{Z_{H0}(Z_{T0} + 3Z_f)}{Z_{H0} + Z_{T0} + 3Z_f} = j\frac{0{,}3(0{,}1 + 0{,}5)}{0{,}3 + 0{,}1 + 0{,}5} = j\frac{0{,}3 \cdot 0{,}6}{0{,}9} = j0{,}2$$

Tehát: $X_f = \frac{0{,}5}{3}$ v.e. esetén az FN és a 3F zárlati áram azonos lesz.

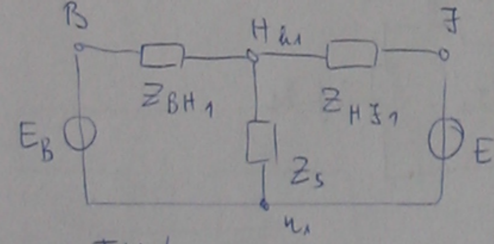
Ez a módszer csak akkor jó, ha: $Z_{H0} > Z_{H2}$!

<u>Söntihibák hatása az átvivő képességre</u>



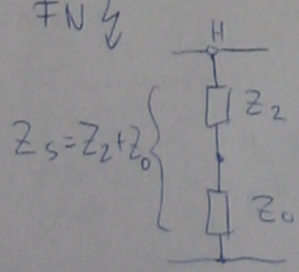
$$P_{B \to F} = \frac{|E_B||E_F|}{|Z_{BF}|} \sin \Theta_{BF}$$

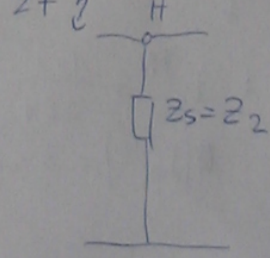
$|Z_{BF}|$ → átviteli (transfer) impedancia

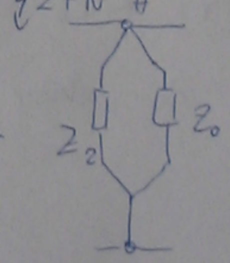


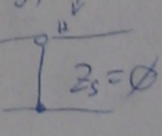
$$Z_{BF1} = Z_{BH1} + Z_{HF1}$$

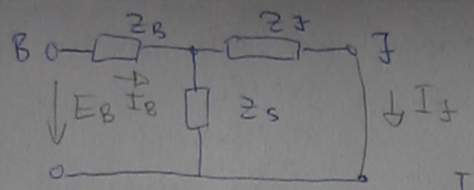
$$Z_s = \frac{Z_2 Z_0}{Z_2 + Z_0}$$











$$Z_{BJ} = \left.\frac{E_B}{I_J}\right|_{E_J=\emptyset}$$

$$I_B = \frac{E_B}{Z_B + \frac{Z_J Z_s}{Z_J+Z_s}} = \frac{E_B\,(Z_J+Z_s)}{Z_B Z_s + Z_B Z_J + Z_J Z_s}$$

$$I_J = I_B \cdot \frac{Z_s}{Z_s+Z_J} = \frac{E_B Z_s}{Z_B Z_J + Z_B Z_s + Z_J Z_s}$$

Ha Z_s végtelen, akkor visszakapjuk az alapállapotot.

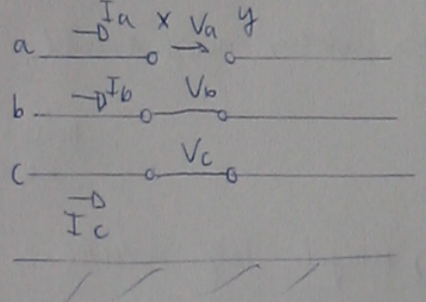
$Z_s = \infty \rightarrow Z_{BJ}^{ép}$

$$Z_{BJ} = \frac{Z_B Z_s + Z_B Z_J + Z_J Z_s}{Z_s} = Z_B + Z_J + \frac{Z_B Z_J}{Z_s}$$

$Z_{BJ}^{3F} \rightarrow Z_s = \emptyset$, $Z_{BJ} \rightarrow \infty$ Nulla az átvihető teljesítmény.

$$\begin{array}{ccccccccc} Z_{BJ}^{ép} & < & Z_{BJ}^{FN} & < & Z_{BJ}^{2F} & < & Z_{BJ}^{2FN} & < & Z_{BJ}^{3F} \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & & \downarrow \\ Z_s \to \infty & & Z_s = Z_2 + Z_0 & & Z_s = Z_2 & & Z_s = \frac{Z_2 Z_0}{Z_2+Z_0} & & Z_s = \emptyset,\ Z_{BJ} \to \infty \end{array}$$

Soros aszimmetriák



1F KI (a)

$$I_a = \emptyset = I_0 + I_1 + I_2$$

$$V_b = V_c = \emptyset$$

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

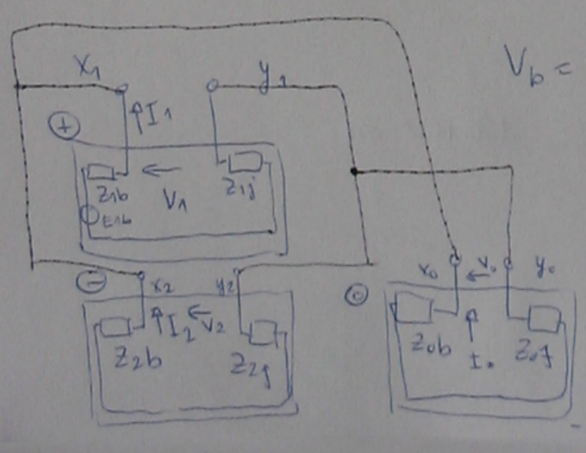
$$V_1 (a^2 - a) = V_2 (a^2 - a)$$

$$V_1 = V_2$$

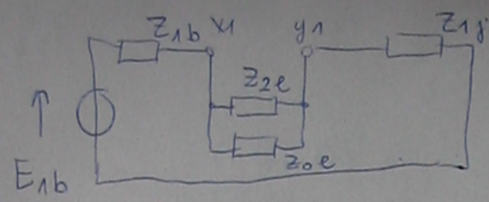
$$V_b = V_0 + a^2 V_1 + a V_1 = \emptyset$$

$$V_0 + \underbrace{(a^2 + a)}_{-1} V_1 = \emptyset$$

$$\boxed{V_0 = V_1 = V_2}$$



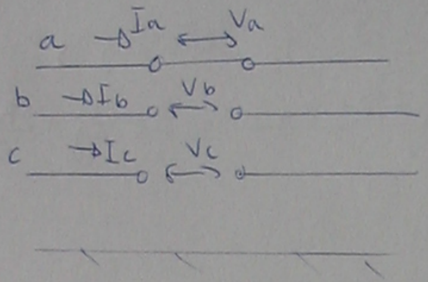
$\longrightarrow$



Nincs túláram soros hiba esetén!

$$Z_{BJ} = Z_{1b} + Z_{1j} + \underbrace{\frac{Z_{2e} \cdot Z_{0e}}{Z_{2e} + Z_{0e}}}_{\text{soros többlet, nem sönt}}$$

2FKI (b,c)



$I_b = I_c = 0$

$V_a = \boxed{0 = V_0 + V_1 + V_2}$

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

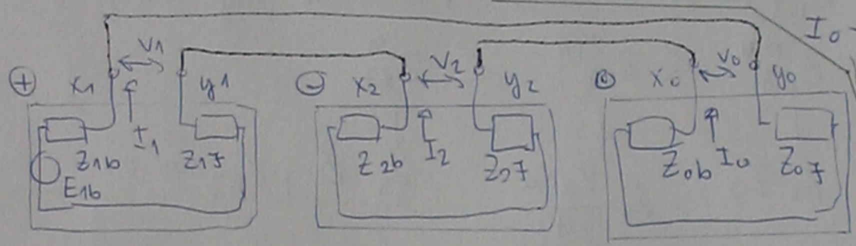
$I_1 (a^2 - a) = I_2 (a^2 - a)$

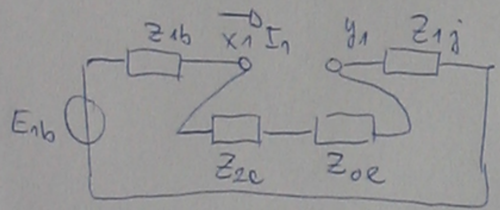
$I_1 = I_2$

$0 = I_b = I_0 + a^2 I_1 + a I_1 = I_0 + I_1 \underbrace{(a^2 + a)}_{-1}$

$I_0 - I_1 = 0$

$\boxed{I_0 = I_1 = I_2}$





$Z_{BJ} = Z_{1b} + Z_{1J} + (Z_{2e} + Z_{0e})$

$Z_{0e} \to \infty$, akkor nincs átvitel.

11.es témakör

III. 21. p
6. h

Szabó L.

Feszültség letörés vagy fáziskimaradás, majd telj. átvitel.

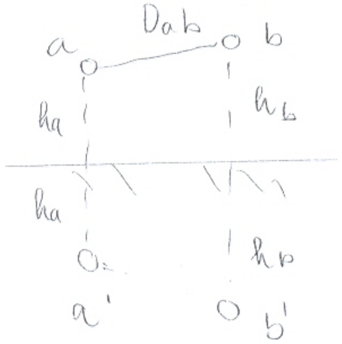
120 kV – Kf – 0,4 kV hálózati struktúra és transzformátorok

pt – páratlan óraállás

p – páros

Hibák: 1 Fázisú földérintéses z. 120 kV-on

13. Téma : Háromfázisú szabadvezeték kapacitásai, négyvezetős modell



$Y = j\omega C$

$C = P^{-1}$ = potenciál tényező

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

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

$U = Z' \cdot I \quad \xleftrightarrow[\text{inverz}]{} \quad J = Y \cdot U$

I - kapacitív töltő áram

$Z' = -jX'$

- Egy vezető: $J_a = j\omega C_{aa} U_a$
- Két vezető: $J_a = j\omega (C_{aa} U_a - C_{ab} U_b)$ $\qquad C_{ab} = C_{ba} > \emptyset$

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

Ön kapacitás:

$C_{aa} = \underset{\text{Föld}}{C_{aF}} + \underset{\text{kölcsönös}}{C_{ab}}$

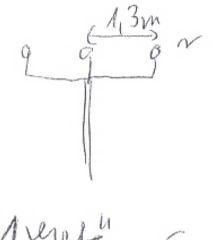
$C_{bb} = C_{bF} + C_{ba}$

- 3 vezető: $\qquad J_a = j\omega (C_{aa} U_a - C_{ab} U_b - C_{ac} U_c)$

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

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

Szám pl.:



$U_n = 20\,kV$

$h = 9\,m$

vezeték: $95\,mm^2$ Al

$r = 0{,}65\,cm$

- 1 vezető $C_{aa} = C_{aF} = 7{,}02 \frac{nF}{km}$
- 2 vezető ....

C szimmetrikus összetevői

$J_{fázis} = j\omega C_{fázis} \cdot U_{fázis}$

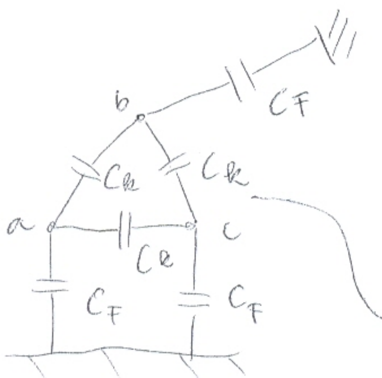
$J_{0,1,2} = j\omega C_{0,1,2} \cdot U_{0,1,2}$

$J_1 = j\omega C_{11} E_1$

$J_2 = j\omega \overline{C_{21}} E_1$

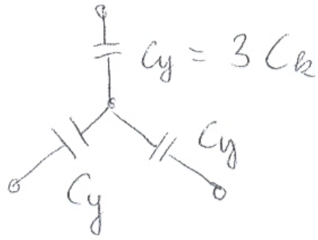
$J_0 = j\omega \overline{C_{01}} E_1$

$\boxed{\begin{aligned} C_{11} &= C_{ön} + C_k \\ C_{00} &= C_{ön} - 2C_k \end{aligned}}$ $\quad \begin{aligned} &\leftarrow \text{pozitív sor.} \\ &\leftarrow \text{zérus sor.} \end{aligned}$



$$C_{\bar{o}n} = C_F + 2C_k$$

$$\begin{cases} C_{11} = C_F + 3C_k = C_{1(1)} \\ C_{00} = C_F = C_{0(0)} \end{cases}$$



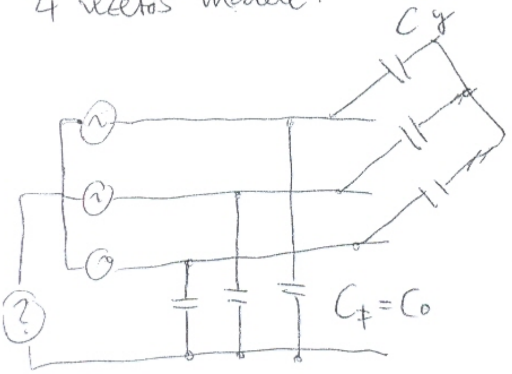
$C_1 = C_F + C_y$

$C_0 = C_F$

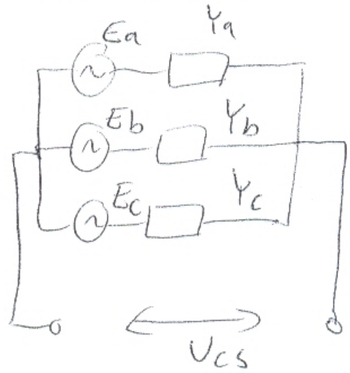
$C_y = C_1 - C_0$

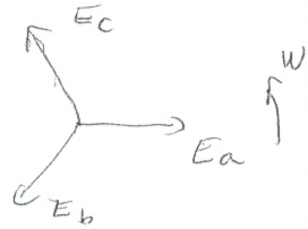
$C_F = C_0$

4 vezetős modell:



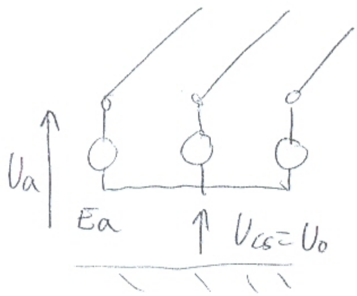
Geometriai asszimmetria





Ha $Y_a = Y_b = Y_c$

$V_{cs} = 0$



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

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

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

⋮

Példa: $C_{aF} = C_{cF} = 4{,}57 \frac{nF}{km}$

$C_{bF} = 3{,}98\ nF/km$

$$\left|\frac{\bar{U}_0}{\bar{E}_1}\right| = \left|\frac{C_{aF} + a^2 C_{bF} + a\, C_{cF}}{C_{aF} + C_{bF} + C_{cF}}\right|$$

$C_{bF} = C_{aF} - \Delta C_F$

$C_{aF} = C_F$

$C_{bF} = C_F - \Delta C_F$

$C_{cF} = C_F$

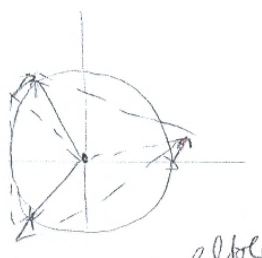
$$\left|\frac{\bar{U}_0}{\bar{E}_1}\right| = \left|\frac{-a^2\,\Delta C_F}{3C_F - \Delta C_F}\right|$$

$U_n = 20kV$

$U_{nf} = 11{,}547kV$

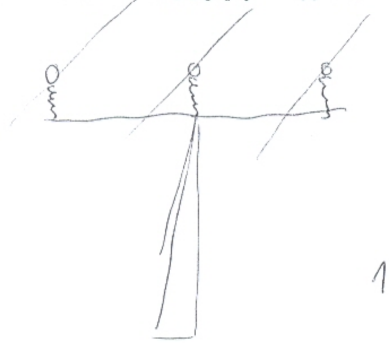
$$\left|\frac{\bar{U}_0}{\bar{E}_1}\right| = 0{,}044 \rightarrow \underline{510V}$$

4,4%



Villamos csillagpont eltolódás

20kV-os rendszer töltő árama



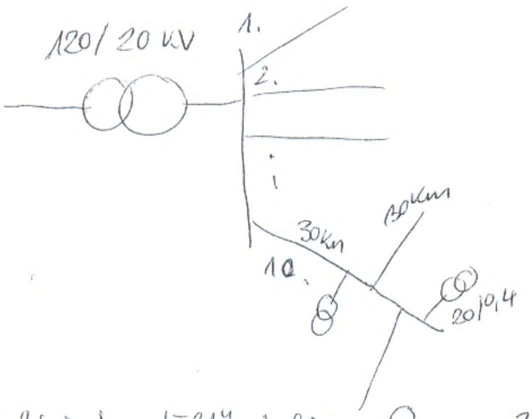
$U_n = 20kV$

$U_{nf} = U_n/\sqrt{3} = 11,547 kV$

$C_1 = 10,14 nF/km$

1km vezetéknél: $I_1^{1km} = j\omega C_1 E_1 = j\,2\pi 50 \cdot 10,14 nF \cdot 11,547 kV$

$I_1^{1km} = 0,0367 A/km$



1 leágazás 60km $\Rightarrow$ $\Sigma = 600 km$

$I_1 = 3,67 A \cdot 6 = \underline{22 A} = I_f$

3 fázisú töltő telj: $Q_{3f} = 3 U_f \cdot I_f = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_f = \underline{763 kVar}$

Távvezeték villamos paraméterek

Soros < R; L, $X = \omega L$

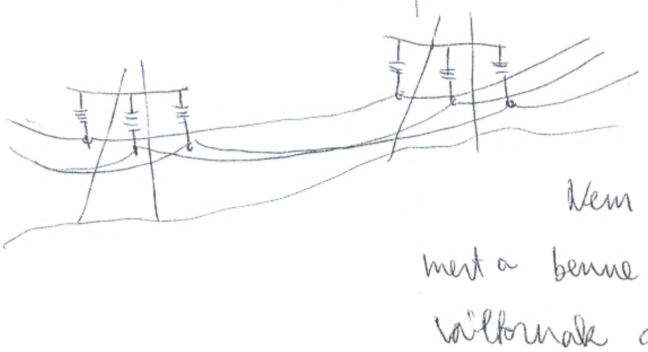
Sönt < R'; $X' = \frac{1}{\omega C}$

$R = \frac{\rho \cdot l}{q}$

$1+6+12+18+24$

ACSR (AcAl)

Lehet üveg-szál: kommunikációhoz.



Nem alkalmazható, mert a benne lévő paraméterek változnak a környezet függésében.

20kV Aludur-ötvözett Al : $0,3 \ldots 0,6\ \Omega/km$, nincs acél

120kV } ACSR $0,15 \ldots 0,2\ \Omega/km$

220kV $0,09 \ldots 0,1\ \Omega/km$

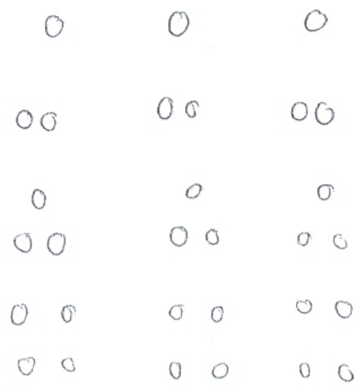
400kV $0,03\ \Omega/km$

300/40 mm^2
400/53

↗ 1 fázisban az Al: 500 mm^2 az acélból: 66 mm^2

Sönt R': $M\Omega$ nagyságrendű $\rightarrow$ $R' \rightarrow \infty$ elhagyható

Oszlopon a vezetékek:



120 és 200 és 400 kV

400 kV kötegelt

750 kV

Fázisvezető: – tömör, homogén, hengeres

– sűrűbben fut

– áram végigfolyik

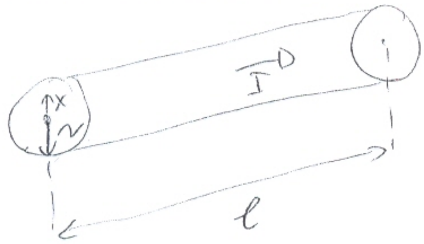
$\downarrow$

sönt imp $\rightarrow \infty$

– vezeték véggel nem foglalkozunk

– skinhatás nincs

Induktivitás számítása



$$\oint_l H dl = i \cdot N$$

$$N = 1$$

Belső induktivitás: $x \leq r$

$$\boxed{L_b} \qquad i_x = I \frac{x^2 \pi}{r^2 \pi} \quad (\sigma = \text{áll.})$$

$$H_x \cdot 2\pi x = i_x$$

$$W = \frac{1}{2} I^2 L_b = \frac{1}{2} \mu \int_V H_x^2 dV$$

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

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

$$W = \frac{1}{2} \mu \frac{I^2 \cdot 2\pi l}{4\pi^2 r^4} \underbrace{\int_0^r x^3 dx}_{r^4/4} = \frac{1}{2} \mu \frac{I^2 \cdot 2\pi l}{4\pi^2 r^4} \cdot \frac{r^4}{4} = \frac{1}{2} I^2 L_b$$

mágneses permeabilitás:

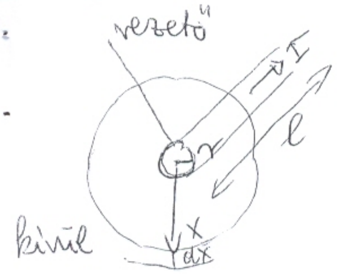
$$\mu = \mu_0 \cdot \mu_r$$

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

$$L_b = \frac{\mu 2\pi l}{16\pi^2} = \frac{\mu l}{8\pi}$$

$$L_b = \frac{4\pi 10^{-7} \mu_r \cdot l}{8\pi}$$

$$L_b / l = \frac{\mu_r}{2} \cdot 10^{-7} \left[H/m \right] \qquad L_b = \frac{\mu_r \cdot l}{2} \cdot 10^{-7} [H]$$



$$\Psi_K = I \cdot L_K$$

$$\Psi_K = \int_r^{D_x} d\Phi_x \qquad B_x = \mu_0 \cdot H_x$$

$$H_x = \frac{I}{2\pi x}$$

$$d\Phi = \cancel{\mu_0 H}\; B \cdot A_x = B_x \cdot l \cdot dx\,;$$

$$d\Phi = \mu_0 I \cdot l \cdot \frac{1}{2\pi} \frac{dx}{x}$$

$$\Psi_K = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \int_r^{D_x} \frac{dx}{x} = \frac{\mu_0 I l}{2\pi} \ln \frac{D_x}{r} = I \cdot L_K \quad ; \mu_0 = 4\pi 10^{-7}$$

$$\underline{L_K = 2 \cdot 10^{-7} \cdot l \cdot \ln \frac{D_x}{r} \ [H]}$$

$$\frac{L_K}{l} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_x}{r} \ \left[\frac{H}{m}\right]$$

Hosszegységre eső: $L = L_b + L_K = 2 \cdot 10^{-7} \left(\frac{\mu_r}{4} + \ln \frac{D_x}{r} \right) \ \boxed{\frac{H}{m}}$

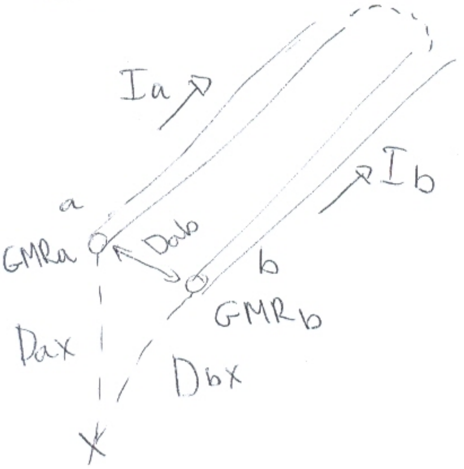
$$\frac{\mu_r}{4} = \ln e^{\mu_r/4} \qquad \underline{\underline{L}} = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_x}{r \cdot e^{-\frac{\mu_r}{4}}} \ \left[\frac{H}{m}\right]$$

GMR

geometria sugár

Ha $\mu_r = 1 \Rightarrow e^{-\frac{1}{4}} = 0{,}7788$

$$\boxed{L = 2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_x}{GMR}} \qquad GMR \sim 0{,}8r$$



$$-I_a = I_b$$

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

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

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

→

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

Ha $x \to \infty$; ~~Ha~~ $D_{ax} = D_{bx}$

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

$$\Psi_b = 2\cdot 10^{-7} I_b \ln\frac{D_{ab}}{GMR_b}$$

$$\Psi_a = 2\cdot 10^{-7}\left(I_a\cdot \ln\frac{1}{GMR_a} + I_b\cdot \ln\frac{1}{D_{ab}}\right) \qquad \left[\frac{Vs}{m}\right]$$

↳ hossz dimenzió

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

$$\begin{bmatrix}\Psi_a\\ \Psi_b\end{bmatrix} = 2\cdot 10^{-7}\underbrace{\begin{bmatrix}L_{aa} & L_{ab}\\ L_{ba} & L_{bb}\end{bmatrix}}_{\underline{\underline{L}}}\begin{bmatrix}I_a\\ I_b\end{bmatrix}$$

$$L_{aa} = 2\cdot 10^{-7}\ln\frac{1}{GMR_a}$$

$$L_{bb} = 2\cdot 10^{-7}\ln\frac{1}{GMR_b}$$

$$L_{ab} = L_{ba} = 2\cdot 10^{-7}\ln\frac{1}{D_{ab}}$$

$$\underline{V} = \begin{bmatrix}V_a\\ V_b\end{bmatrix} = \underbrace{j\omega \underline{\underline{L}}}\cdot \underline{I} \quad \longrightarrow j\cdot \underline{\underline{X}}$$

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

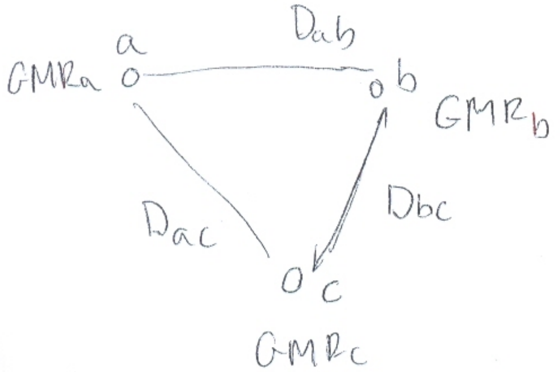
$$\overline{\Psi} = \Psi\cdot e^{j\omega t}$$

$$\begin{bmatrix}V_a\\ V_b\end{bmatrix} = \begin{bmatrix}jX_{aa} & jX_{ab}\\ jX_{ba} & jX_{bb}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}I_a\\ I_b\end{bmatrix}$$

$$\underline{V} = \left[\frac{Volt}{m}\right]$$

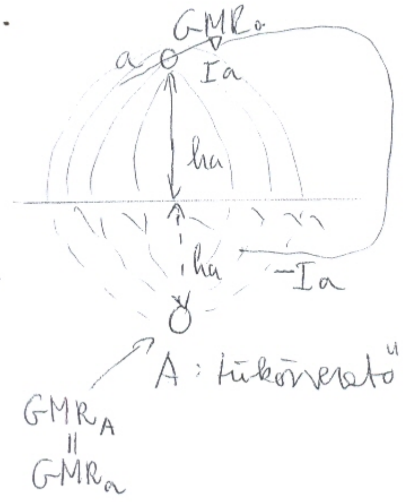
3 fázis:

$$\begin{bmatrix}V_a\\ V_b\\ V_c\end{bmatrix} = j\omega\, 2\cdot 10^{-7}\begin{bmatrix}\ln\frac{1}{GMR_a} & \ln\frac{1}{D_{ab}} & \ln\frac{1}{D_{ac}}\\ \ln\frac{1}{D_{ba}} & \ln\frac{1}{GMR_b} & \ln\frac{1}{D_{bc}}\\ \ln\frac{1}{D_{ca}} & \ln\frac{1}{D_{cb}} & \ln\frac{1}{GMR_c}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}I_a\\ I_b\\ I_c\end{bmatrix}$$



$GMR_a = GMR_b = GMR_c$ ← Megoldható

Föld hatásának figyelembe vétele



1 Fázis és föld esete

Vannak bajok: $\varrho_{föld} \neq 0$!

$\varrho_f = 10\,\Omega m \ldots 100\,\Omega m \ldots 10^3\,\Omega m$

$\boxed{100\,\Omega m}$

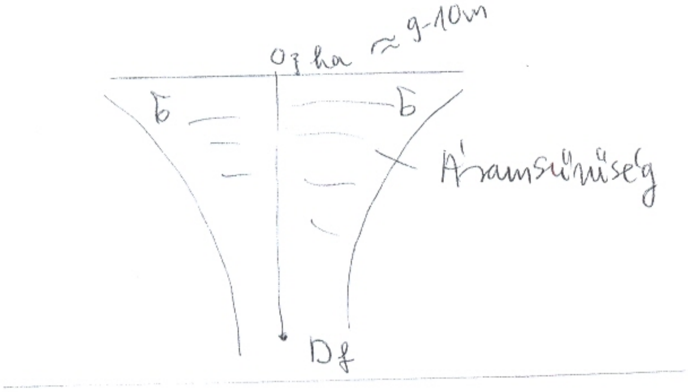
Ezzel számolunk

$D_f = 659 \cdot \sqrt{\frac{\varrho_f}{f}}$ [m]; f – frekvencia

Carson – Clem

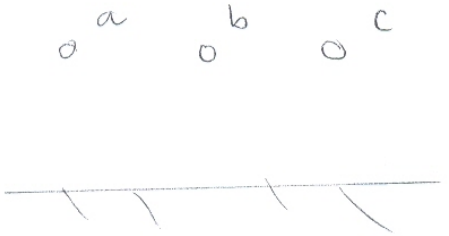
$f = 50\,Hz$

$D_f = \sqrt{2} \cdot 659 = 932\,m$



Földvisszavezetés mélysége

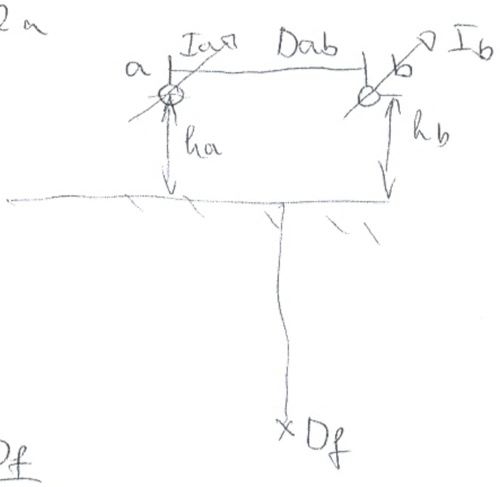
$D_f + h_a \approx D_f$



$$\begin{bmatrix} Z_{aaf} & Z_{abf} & Z_{acf} \\ Z_{baf} & Z_{bbf} & Z_{bcf} \\ Z_{caf} & Z_{cbf} & Z_{ccf} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix}$$

IV. ö.R.
9. h

$$Z_{aaf} = R_a + R_f + j\omega\, 2\cdot 10^{-7} \ln \frac{D_f}{GMR_a}$$



$D_f >> h_a$

$D_f = 659 \sqrt{\frac{\rho_f}{f}} \sim 932\,m$

$$Z_{abf} = R_f + j\omega\, 2\cdot 10^{-7} \ln \frac{D_f}{D_{ab}}$$

$R_f = k \cdot f \approx 0{,}05 \frac{\Omega}{km}$

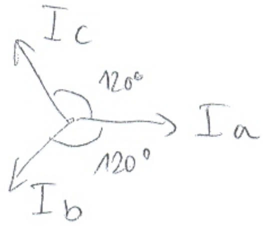
konstans, 50 Hz

$k = 10^{-3}$

Zon

A többi Z kölcs.

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} Z_{aaf} & Z_{abf} & Z_{acf} \\ Z_{baf} & Z_{bbf} & Z_{bcf} \\ Z_{caf} & Z_{cbf} & Z_{ccf} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \begin{matrix} \overset{+}{\leftarrow} I_a \\ \leftarrow a^2 I_a \\ \leftarrow a I_a \end{matrix}$$



Legyen I_a, $I_b = a^2 I_a$, $I_c = a I_a$

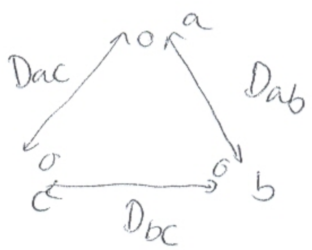
$$V_a = I_a (Z_{aaf} + a^2 Z_{abf} + a Z_{acf})$$

ha $Z_{abf} = Z_{acf}$

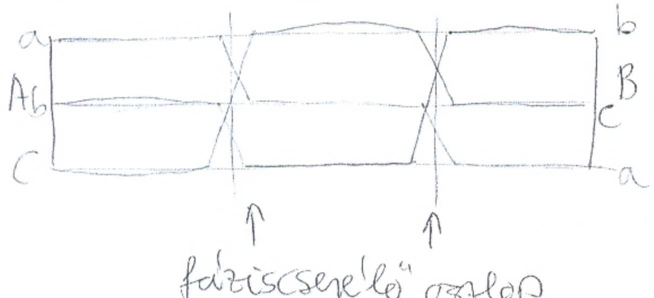
$$V_a = I_a (\underbrace{Z_{aaf} - Z_{abf}}_{Z_1})$$

$V_b = a^2 V_a$, $V_c = a V_a$

Ha szimmetrikus az elrendezés



Szimmetrizálás:



← MO-on ezzel nem törődnek. Kicsit aszimm. az impedancia mátrix.

Megoldás: 8 fáziscserélő oszlop kell és akkor a végponton a, b, c sorrendben érkezik a 3 fázis.

: Szimmetrizálás után: $GMD = \sqrt[3]{D_{ab} \cdot D_{bc} \cdot D_{ca}}$

· $Z_{abf} = R_f + jw\,2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{D_f}{GMD}$; $GMR_a = GMR_b = GMR_c = GM$

$$Z_1 = Z_{ön} - Z_{kö} = R_a + jw\,2 \cdot 10^{-7} \left(\ln \frac{D_f}{GMR} - \ln \frac{D_f}{GMD} \right)$$

$$\underline{\underline{Z_1}} = R_a + jw\,2 \cdot 10^{-7} \ln \frac{GMD}{GMR}$$

⊖

Ha: $\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \leftarrow \begin{bmatrix} I_a \\ aI_a \\ a^2 I_a \end{bmatrix}$

$$V_a = I_a \left(Z_{ön} + a Z_{kö} + a^2 Z_{kö} \right) = I_a \underbrace{\left(Z_{ön} - Z_{kö} \right)}_{Z_2 = Z_1}$$

Ha: zérus sorrend: ⊙

$\begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \leftarrow \begin{bmatrix} I_a \\ I_a \\ I_a \end{bmatrix}$

$$V_{a0} = I_a \left(\underbrace{Z_{ön} + Z_{kö} + Z_{kö}}_{} \right)$$

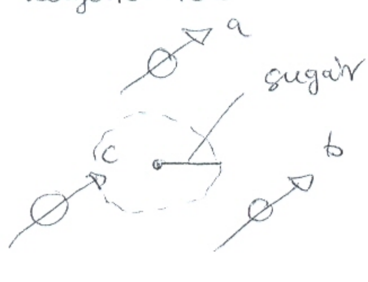
$$Z_0 = Z_{ön} + 2Z_{kö} = R_v + 3R_f + jw\,2 \cdot 10^{-7} \underbrace{\left(\ln \frac{D_f}{GMR} + 2 \ln \frac{D_f}{GMD} \right)}_{}$$

$$Z_0 = \underbrace{R_v + 3R_f}_{R_0} + jw\,2 \cdot 10^{-7} \cdot 3 \ln \frac{D_f}{GMR_{csoport}} \qquad \ln \frac{D_f^3}{GMR \cdot GMD^2}$$

$$GMR_{csoport} = \sqrt[3]{GMR \cdot GMD^2}$$

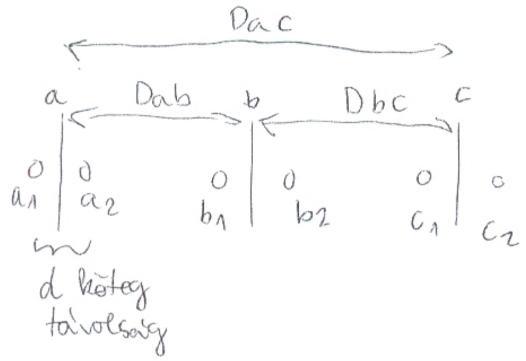
$$\underline{\underline{Z_0}} = R_v + 3R_f + jw\,2 \cdot 10^{-7}\, 3 \cdot \ln \frac{D_f}{GMR_{csop}}$$

3 vezető helyettesítése:

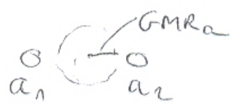


sugár: $GMR_{csop.}$

Mintha egy cső lenne $GMR_{csop.}$ sugárral.

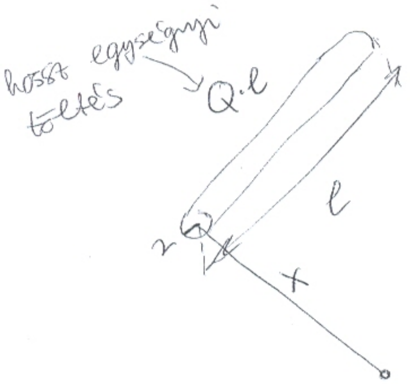


$GMR_a = \sqrt{GMR_{a1} \cdot d}$



Távvezeték sönt impedanciája

Valós része végtelen nagy → nem foglalkozunk vele.



$I' = Y \cdot U$ $\qquad Q = CU$

Villamos eltolás:

$$\Delta_x = \frac{Q l}{2\pi x l} \qquad \varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$$

$$E_x = \frac{\Delta_x}{\varepsilon} = \frac{Q}{2\pi x \varepsilon_0 \varepsilon_r}$$

x távolságban a villamos térerősség

$$V = \int_r^{D_x} E_x \, dx = \int_r^{D_x} \frac{4\pi \; 9\cdot 10^9 \cdot Q}{2\pi \; x \; \varepsilon_r} = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r} Q \cdot \ln\frac{D_x}{r}$$

→ P – potenciál tényező

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi \, 9\cdot 10^9}$$

$$\Sigma Q = \emptyset \qquad P = \frac{1}{C}$$

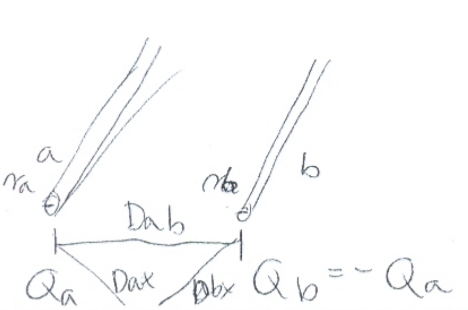
A vezető:

- hengeresnek vesszük
- ekvipotenciális ($\Delta U = \emptyset$), soros imp. nincs
- szigetelő anyag homogén
- síkban fut

$$U_{ax} = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r}\left(Q_a \cdot \ln\frac{D_{ax}}{r_a} + Q_b \cdot \ln\frac{D_{bx}}{D_{ab}}\right)$$

$$Q_b = -Q_a$$

$$U_{ax} = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r} Q_a \ln \frac{D_{ax}}{r_a}\frac{D_{ab}}{D_{bx}} \searrow$$



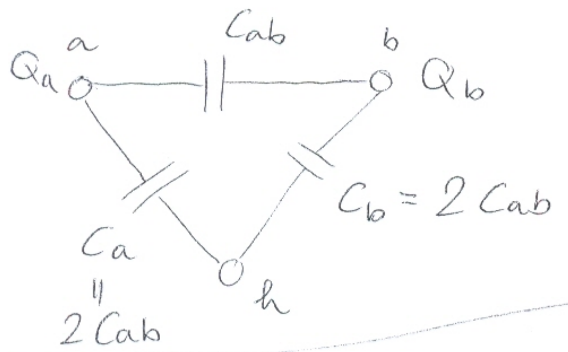
Ha x középen van, vagy nagyon messze:

$$V_a = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r} Q_a \ln \frac{D_{ab}}{r_a}$$

$$V_b = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r} Q_b \ln \frac{D_{ab}}{r_b} \qquad r_a = r_b = r$$

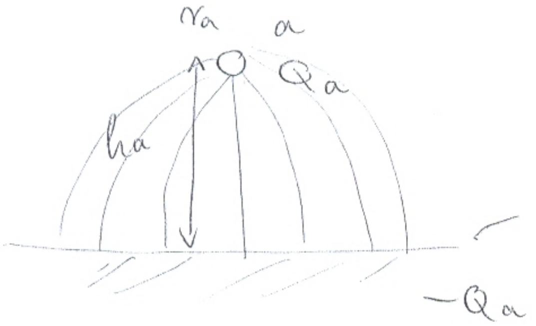
$$V_{ab} = V_a - V_b = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r} Q_a \left(\ln \frac{D_{ab}}{r} + \ln \frac{D_{ab}}{r} \right) = \frac{36\cdot 10^9}{\varepsilon_r} Q_a \ln \frac{D_{ab}}{r}$$

$Q_b = -Q_a$

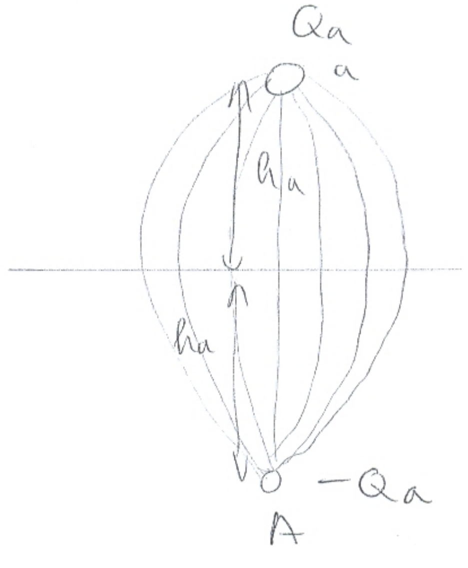


$$C_{ab} = \frac{\varepsilon_r}{36\cdot 10^9 \ln \frac{D_{ab}}{r}}$$

$$C_a = C_b = \frac{\varepsilon_r}{18\cdot 10^9 \ln \frac{D_{ab}}{r}}$$



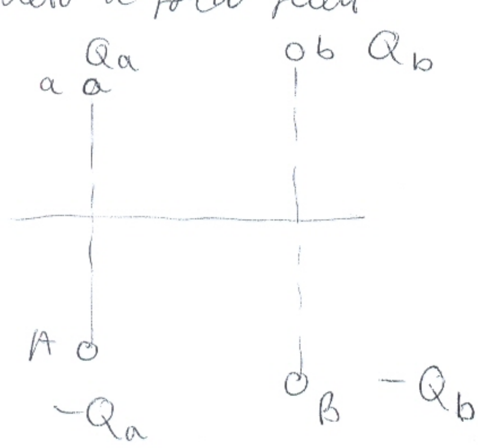
$\Longrightarrow$



$$V_{aA} = V_a - V_A = \frac{36\cdot 10^9}{\varepsilon_r} Q_a \ln \frac{2h_a}{r}$$

$$V_a = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r} Q_a \ln \frac{2h_a}{r}$$ ← D_{aA}

2 vezető a föld felett



$$V_{ax} = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r} \left(Q_a \ln \frac{D_{ax}}{r} - Q_a \ln \frac{D_{Ax}}{D_{aA}} + Q_b \ln \frac{D_{bx}}{D_{ab}} - Q_b \ln \frac{D_{Bx}}{D_{aB}} \right)$$

$x \to \infty$

$$V_a = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r} \left(Q_a \ln \frac{D_{aA}}{r} + Q_b \ln \frac{D_{aB}}{D_{ab}} \right)$$

$$V_b = \frac{18\cdot 10^9}{\varepsilon_r} \left(Q_b \ln \frac{D_{bB}}{r} + Q_a \ln \frac{D_{bA}}{D_{ab}} \right)$$

$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \end{bmatrix} = \overbrace{\begin{bmatrix} p_{aa} & p_{ab} \\ p_{ba} & p_{bb} \end{bmatrix}}^{\underline{\underline{P}}} \begin{bmatrix} Q_a \\ Q_b \end{bmatrix}$$

$\underline{\underline{P}}$ – potenciál tényezők

$$[P] = \frac{1}{\text{Farad}}$$

$$p_{aa} = \frac{18 \cdot 10^9}{\varepsilon_r} \ln \frac{D_{aA}}{r}$$

$$p_{ab} = \frac{18 \cdot 10^9}{\varepsilon_r} \ln \frac{D_{aB}}{D_{ab}}$$

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

Maxwell 1. számú kapacitás egyenlet

$$\underline{Q} = \underline{\underline{P}}^{-1}\underline{U} = \underline{\underline{C}} \cdot \underline{U} \quad 2. \text{ sz.}$$

$$\frac{d\underline{U}}{dt} = j\omega \underline{U} = \underline{\underline{P}} \cdot \frac{d\underline{Q}}{dt} = \underline{\underline{P}} \cdot \underline{I}'$$

$$\underline{U} = \underbrace{\frac{1}{j\omega}\underline{\underline{P}}}_{\underline{\underline{Z}}'} \cdot \underline{I}'$$

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

$$I' = \frac{dQ}{dt} = j\omega Q$$

$$Q = |Q| \cdot e^{j\omega t}$$

3 fázis és a föld

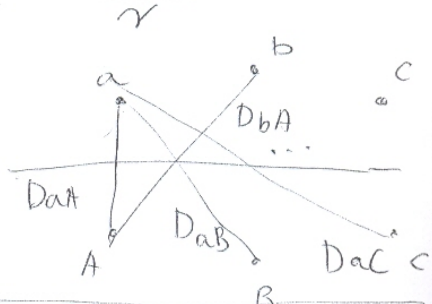
$$\begin{bmatrix} V_a \\ V_b \\ V_c \end{bmatrix} = \frac{1}{j\omega} \begin{bmatrix} p_{ön} & p_{kö} & p_{kö} \\ p_{kö} & p_{ön} & p_{kö} \\ p_{kö} & p_{kö} & p_{ön} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I'_a \\ I'_b \\ I'_c \end{bmatrix}$$

Szimmetrikus eset:

$$p_{ön} = p_{aa} = p_{bb} = p_{cc} = \frac{18 \cdot 10^9}{\varepsilon_r} \ln \frac{GMD_{f-T}}{r}$$

fázis – tükörkép

$$p_{kö} = p_{ab} = p_{bc} = p_{ca} = \frac{18 \cdot 10^9}{\varepsilon_r} \ln \frac{GMD_{f-T}}{GMD}$$



$$GMD_{f-T} = \sqrt[9]{D_{cA} \cdot D_{cB} \cdot D_{cC} \cdot D_{aA} \cdot D_{aB} \cdot D_{aC} \cdot D_{bA} \cdot D_{bB} \cdot D_{bC}}$$

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

$$\underline{Z}'_1 = \frac{1}{j\omega}(p_{ön} - p_{kö}) = \underline{Z}'_2$$

$$\underline{Z}'_0 = \frac{1}{j\omega}(p_{ön} + 2p_{kö})$$

Söntimpedancia

$$Z_1' = Z_2' = \frac{1}{j\omega}(P_{ön} - P_{kö}) \qquad \text{Dimenzió: } \boxed{\Omega m}$$

$$P_{ön} = \frac{18}{\varepsilon_r} 10^9 \ln \frac{GMD_{F-T}}{r}$$ ← 2-es köteg esetén: $GMR = \sqrt{r \cdot d}$

$$P_{kö} = \frac{18}{\varepsilon_r} 10^9 \ln \frac{GMD_{F-T}}{GMD}$$

$$Z_2' = Z_1' = \frac{18 \cdot 10^9}{j\omega \cdot \varepsilon_r} \ln \frac{GMD}{GMR} \leftarrow r \text{ Geometriai} \qquad [\Omega m]$$

$$\Rightarrow \quad = -j \frac{18}{\omega \varepsilon_r} \ln \frac{GMD}{GMR} \quad [M\Omega \cdot km]$$

$$Z_0' = \frac{18 \cdot 10^9}{j \varepsilon_r \omega} \ln \frac{GMD_{F-T}^3}{GMR \cdot GMD^2} \,[\Omega m] = -j \frac{18}{\omega \varepsilon_r} \cdot 3 \ln \frac{GMD_{F-T}}{\sqrt[3]{GMR \cdot GMD^2}}$$

$[M\Omega \cdot km]$

Nevező: GMR csoport

$$Z_1' = \frac{1}{j\omega C_1}$$

$$C_1 = C_2 = \frac{1}{j\omega Z_1'} \quad ; \quad C_0 = \frac{1}{j\omega Z_0'} \qquad \left.\begin{matrix} F/m \\ \mu F/km \end{matrix}\right\} \text{Dimenzió}$$

Soros:

$$Z_1 = Z_2 = R + j\omega\, 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{GMD}{GMR} \quad \left[\frac{\Omega}{km}\right]$$

↖ a vékonyfalú cső sugara, ezt nem geometriai sugár

fázisvezető
↓

$$Z_0 = \underbrace{R + 3R_f}_{R_0} + j\omega\, 3 \cdot 2 \cdot 10^{-4} \ln \frac{D_f}{\sqrt[3]{GMR \cdot GMD^2}} \quad [\Omega/km]$$

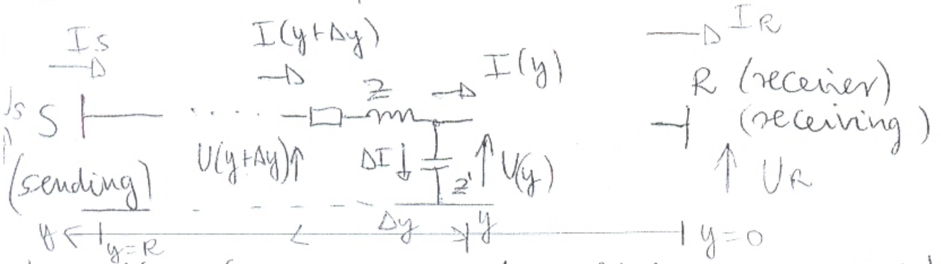
↖ Ez is GMR csop.

$$\left(\lg x = 2{,}3 \cdot \ln x \quad ; \quad \frac{18}{314 \cdot 1} \cdot 2{,}3 = 0{,}132 \right)$$

$$\left(\omega \cdot 2 \cdot 10^{-4} \cdot 2{,}3 = 0{,}145 \right)$$

$$\Rightarrow Z_1 = R + j\, 0{,}145 \lg \frac{GMD}{GMR}$$

TV elosztott paraméterekkel



$Z = Z \cdot \Delta y \quad [\Omega]$

$Z' = \dfrac{Z'}{\Delta y} \quad [\Omega]$

Levezetés: (pozitív sorrend, fázismennyiségek)

$$\underbrace{U(y+\Delta y)}_{} = (I(y) + \Delta I)\, Z \Delta y + U(y)$$

$$U(y) + \Delta U = U(y) + Z \Delta y (I(y) + \Delta I)$$

$$\Delta I = \frac{U(y)}{Z'} = \frac{U(y)}{Z'} \cdot \Delta y$$

hosszegységre vett

$$\left.\begin{aligned} \frac{\Delta U}{\Delta y} &= Z \cdot (I(y) + \Delta I) \\ \frac{\Delta I}{\Delta y} &= \frac{1}{Z'} \cdot U(y) \end{aligned}\right\}$$

$\Delta y \to dy, \quad \Delta I \to \emptyset$

$$\frac{dU}{dy} = Z \cdot I$$

$$\frac{dI}{dy} = \frac{U}{Z'}$$

$$\left.\begin{aligned} \frac{d^2U}{dy^2} &= Z \cdot \frac{dI}{dy} = U \cdot \frac{Z}{Z'} \\ \frac{d^2I}{dy^2} &= \frac{1}{Z'} \frac{dU}{dy} = I \cdot \frac{Z}{Z'} \end{aligned}\right\}$$

$$\frac{d^2U}{dy^2} = U \gamma^2$$

$$\frac{d^2I}{dy^2} = I \gamma^2$$

Távíró egyenlet

$U(y) = ?$

$I(y) = ?$

$$\frac{Z}{Z'} = \gamma^2$$

$$U(y) = a_1 e^{\gamma y} + a_2 e^{-\gamma y}$$

$$I(y) = a_3 e^{\gamma y} + a_4 e^{-\gamma y}$$

$y = 0$: $\left.\begin{aligned} U(0) &= U_R \\ I(0) &= I_R \end{aligned}\right\}$ Ismert

$U_R = a_1 + a_2$

$I_R = a_3 + a_4$

$\longrightarrow$

$$\frac{dU}{dy} = a_1\gamma \cdot e^{\gamma y} - a_2\gamma e^{-\gamma y} = Z \cdot I$$

$$Z \cdot I(0) = a_1\gamma - a_2\gamma$$

$$* \; I_R = a_1\frac{\gamma}{Z} - a_2\frac{\gamma}{Z} = \frac{a_1}{Z_0} - \frac{a_2}{Z_0}$$

γ – terjedési együttható

$$\gamma = \sqrt{\frac{Z}{Z'}} \quad [1/km]$$

$$\frac{\gamma}{Z} = \frac{1}{Z}\sqrt{\frac{Z}{Z'}} = \frac{1}{\sqrt{ZZ'}} = \frac{1}{Z_0}$$

Z [Ω / km]

Z' [Ω · km]

γ [1 / km]

$$Z_0 = \sqrt{Z \cdot Z'} = [\Omega]$$

Hullám impedancia

$$\gamma = \kappa + j\eta$$

$$Z_0 = R_0 + jX_0$$

Veszteségmentes: $Z = 0 + jX = j\omega L$

$$Z' = 0 - jX' = \frac{1}{j\omega C}$$

$$\gamma = j\eta = \sqrt{\frac{j\omega L}{\frac{1}{j\omega C}}} = \sqrt{(j\omega)^2 LC} = j\omega\sqrt{LC}$$

$$Z_0 = R_0 = \sqrt{j\omega L \cdot \frac{1}{j\omega C}} = \sqrt{\frac{L}{C}}$$ ← Hullám ellenállás

*

$$I_R \cdot Z_0 = a_1 - a_2$$

$$U_R = a_1 + a_2$$

$$a_1 = \frac{U_R + I_R Z_0}{2}$$

$$a_2 = \frac{U_R - I_R Z_0}{2}$$

$$a_3 = \frac{a_1}{Z_0} = \frac{U_R}{2Z_0} + \frac{I_R}{2}$$

$$a_4 = -\frac{a_2}{Z_0} = -\frac{U_R}{2Z_0} + \frac{I_R}{2}$$

$$U(y) = \frac{U_R}{2}e^{\gamma y} + \frac{I_R}{2}Z_0 e^{\gamma y} + \frac{U_R}{2}e^{-\gamma y} - \frac{I_R Z_0}{2}e^{-\gamma y}$$

$$= U_R \underbrace{\frac{e^{\gamma y} + e^{-\gamma y}}{2}}_{\cosh(\gamma y)} + I_R Z_0 \underbrace{\frac{e^{\gamma y} - e^{-\gamma y}}{2}}_{\sinh(\gamma y)}$$

$$I(y) = \frac{U_R}{2Z_0}e^{\gamma y} + \frac{I_R}{2}e^{\gamma y} - \frac{U_R}{2Z_0}e^{-\gamma y} + \frac{I_R}{2}e^{-\gamma y}$$

$$= \frac{U_R}{Z_0}\underbrace{\frac{e^{\gamma y} - e^{-\gamma y}}{2}}_{\sinh(\gamma y)} + I_R \underbrace{\frac{e^{\gamma y} + e^{-\gamma y}}{2}}_{\cosh(\gamma y)}$$

$$U(y) = U_R \cdot \cosh(\gamma y) + I_R \cdot Z_0 \sinh(\gamma y)$$

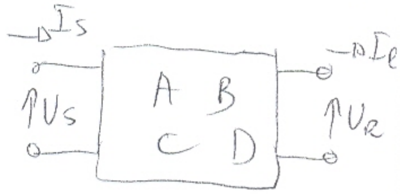
$$I(y) = U_R/Z_0 \sinh(\gamma y) + I_R \cdot \cosh(\gamma y)$$

$y = \ell$; $U(\ell) = U_s$

$I(\ell) = I_s$

$U_s = U_R \cdot \cosh(\gamma \ell) + I_R \cdot Z_0 \sinh(\gamma \ell)$ — A, B

$I_s = \frac{U_R}{Z_0} \sinh(\gamma \ell) + I_R \cdot \cosh(\gamma \ell)$ — C, $D = A$



$U_s = A \cdot U_R + B \cdot I_R$

$I_s = C \cdot U_R + D I_R$

$$\begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

TV láncparaméteres egyenlete

1) $A = \frac{U_s}{U_R}$, ha $I_R = \emptyset$.

$A = \cosh(\gamma \ell)$

$\gamma = \emptyset + j \eta$, $A = \cos(\eta \ell)$

$U_s = A \cdot U_R$

$\ell > 0$: $|A| < 1$

$U_s < U_R$

Ferranti jelenség

2) $B = \frac{U_s}{I_R}$, ha $U_R = \emptyset$. $[\Omega]$

Átviteli vagy transzfer impedancia

$B = Z_0 \sinh(\gamma \ell)$, ha $\gamma = j \eta \rightarrow \sinh(j \eta \ell) = j \sin(\eta \ell)$

$B = j X_{\acute{a}tv.} = j Z_0 \sin \eta \ell = j \cdot R_0 \cdot \sin(\eta \ell)$

3) $C = \frac{I_s}{U_R}\Big|_{I_R = 0}$ $\left[\frac{1}{\Omega}\right]$

Kapacitív szuszceptancia

$C = \frac{\sinh(\gamma \ell)}{Z_0}$; $\gamma = j \eta$; $C = j \frac{\sin(\eta \ell)}{R_0}$; $Z_0 = R_0$

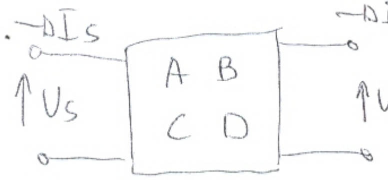
4) $D = \frac{I_s}{I_R}\Big|_{U_R = \emptyset}$; $D = \cosh(\gamma \ell)$

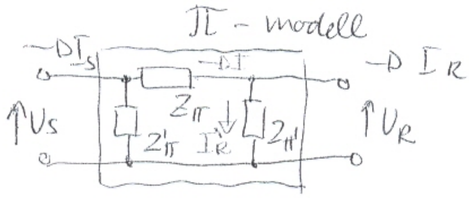
Ha $\gamma = j \eta$: $D = \cos(\eta \ell)$, $|D| < 1$

$I_s = D \cdot I_R$

$I_R > I_s$ ... Áramerősítési

Koncentrált paraméterű helyettesítés





$$U_S = A \cdot U_R + B \cdot I_R$$
$$I_S = C \cdot U_R + D \cdot I_R$$

$$I = I_R + I_R'$$
$$I_R' = \frac{U_R}{Z_{\pi'}}$$
$$U_S = U_R + Z_\pi \cdot I = U_R + Z_\pi \cdot (I_R + I_R')$$
$$U_S = U_R + Z_\pi \left(I_R + \frac{U_R}{Z_{\pi'}} \right)$$
$$U_S = U_R \left(1 + \frac{Z_\pi}{Z_{\pi'}} \right) + I_R Z_\pi$$

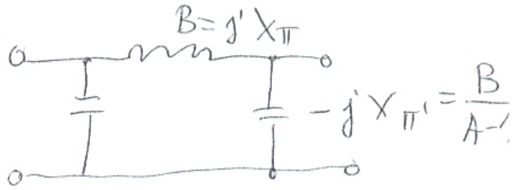
$$\boxed{Z_\pi = B}$$

$$1 + \frac{Z_\pi}{Z_{\pi'}} = A = 1 + \frac{B}{Z_{\pi'}}$$

Kapacitás

$$\frac{B}{Z_{\pi'}} = A - 1 \longrightarrow \boxed{Z_{\pi'} = \frac{B}{A-1}} \quad (-j \cdot X_{\pi'})$$

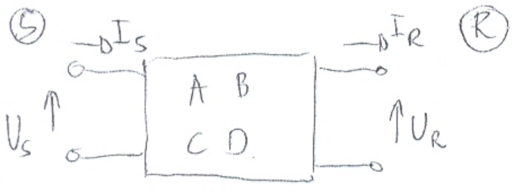
Veszteség mentes:



"Névleges" π modell:

$$Z_\pi^n = z \cdot \ell$$
$$\left[\frac{\Omega}{km}\right] \cdot [km] = [\Omega]$$
$$Z_{\pi'}^n = \frac{z' \, [\Omega \cdot km]}{\frac{\ell}{2} \, [km]} = \frac{2z'}{\ell} \, [\Omega]$$

IV. 15. K.
10. h



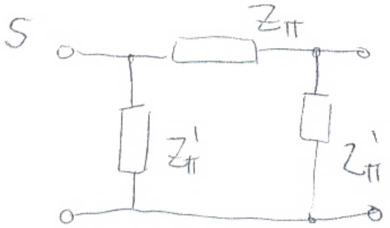
$$V_S = A U_R + B I_R$$
$$I_S = C U_R + D I_R$$

$$A = D = \cosh \gamma l$$

Terjedési eh.: $\gamma = j\omega \sqrt{LC} = j\omega \sqrt{\frac{Z'}{Z'}}$

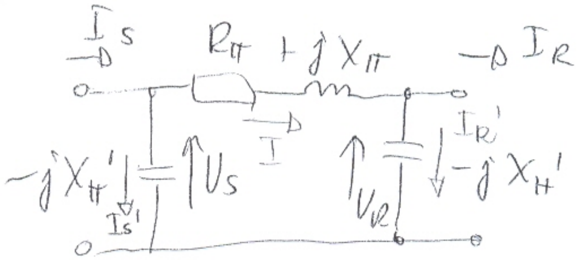
$B = Z_0 \cdot \sinh \gamma l$; $Z_0 = \sqrt{Z \cdot Z'}$ ← hullám impedancia

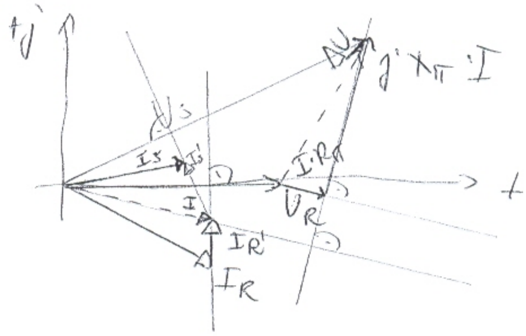
$$C = \frac{\sinh \gamma l}{Z_0}$$



$$Z_\Pi = B$$
$$Z_\Pi' = \frac{B}{A-1}$$

$$Z_{\Pi n} = Z \cdot l$$
$$Z_{\Pi n}' = \frac{Z'}{l/2} = \frac{2Z'}{l}$$





$$I = I_R + I_R'$$

$$I_R' = \frac{U_R}{-jX_\Pi'} = j\frac{U_R}{X_\Pi'}$$

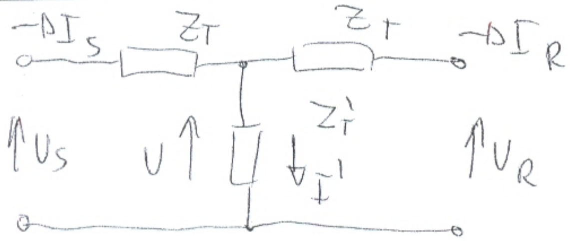
$$V_S = U_R + \underbrace{I(R_\Pi + jX_\Pi)}_{\Delta U}$$

$R_\Pi << X_\Pi$

$$I_S = I + I_S'$$

$$I_S' = \frac{U_S}{-jX_\Pi'} = j\frac{U_S}{X_\Pi}$$

T – vázlat:



$$V = V_R + I_R Z_T$$

$$I_s = I_R + I', \quad I' = \frac{V}{Z'_T}$$

$$I_s = I_R + \frac{V_R + I_R Z_T}{Z'_T} =$$

$$I_s = V_R \underbrace{\frac{1}{Z'_T}}_{C} + I_R \Big(1 + \underbrace{\frac{Z_T}{Z'_T}}_{D}\Big)$$

$$Z'_T = \frac{1}{C} = \frac{1}{jY} = -jX_C$$

$$D = 1 + C \cdot Z_T$$

$$Z_T = \frac{D-1}{C} = -\frac{1-D}{jY} = jX_T$$

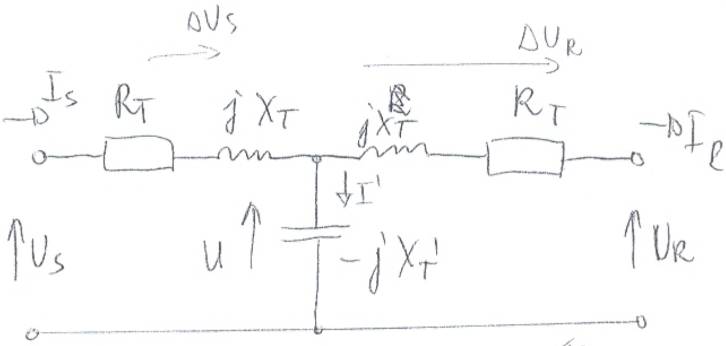
$$\sinh(j\eta l) = j\sin(\eta l)$$

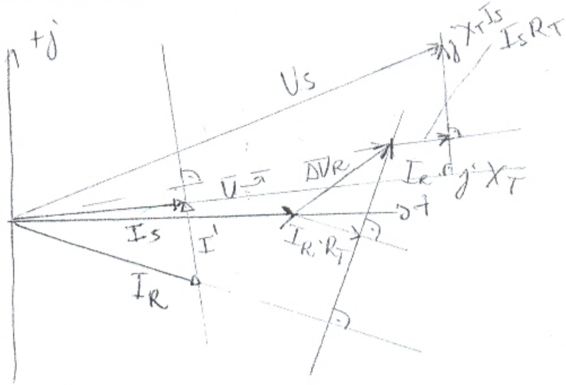
$$\cosh(j\eta l) = \cos(\eta l)$$

Névleges T:

$$Z'_T = \frac{Z'}{l} \approx -jX'_T$$

$$Z_T = z \cdot \frac{l}{2}$$





Ha $Z_T = Z_0$

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

$$U_s = A \cdot U_R + B \cdot \frac{U_R}{Z_0}$$

$$= V_R \cdot \cosh(\gamma l) + V_R \frac{Z_0 \sinh(\gamma l)}{Z_0}$$

$$U_s = V_R \big[\underbrace{\cosh(\gamma l) + \sinh(\gamma l)}_{e^{\gamma l}}\big]$$

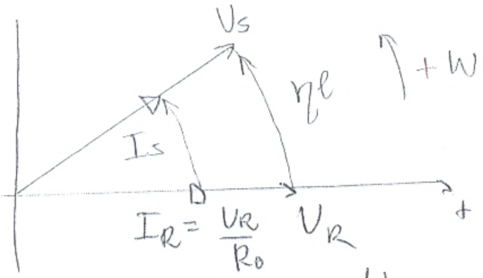
$$I_s = C \cdot V_R + D \frac{V_R}{Z_0}$$

$$I_s = V_R \frac{\sinh(\gamma l)}{Z_0} + V_R \frac{\cosh(\gamma l)}{Z_0} \quad ; \quad I_s = I_R \big[\underbrace{\sinh(\gamma l) + \cosh(\gamma l)}_{e^{\gamma l}}\big]$$

Veszteségmentes állapot:

$$\gamma l = j\eta l \; ; \quad Z_0 = R_0$$

$$U_S = U_R\, e^{j\eta l} \; ; \quad I_S = \underbrace{I_R}_{U_R / R_0} e^{j\eta l}$$



$$|U_R| = |U_S|$$

$$S = U_R \cdot I_R^* = U_R \cdot \frac{U_R}{R_0} = P_R$$

$$S_S = U_S \cdot I_S^* = U_S \cdot e^{j\eta l} \cdot \underset{\uparrow\; I_R = \frac{U_R}{Z_0}}{I_S} \cdot e^{-j\eta l} = \frac{U_R^2}{R_0} = P_S$$

$P_R = P_S \rightarrow$ nincs veszteség

$Q_R = Q_S = \emptyset$

$U_R = I_R \cdot Z_0$

Veszteség mentes:

$$U_R = I_R \cdot \sqrt{\frac{L}{C}}$$

$$U_R^2 = I_R^2 \cdot \frac{wL}{wC}$$

$$\underbrace{U_R^2\, wC} = \underbrace{I_R^2\, wL}$$

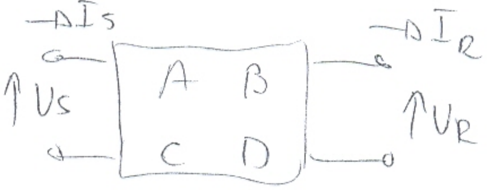
$$Q_C = \frac{U_R^2}{X_C} = Q_L = I_R^2 X_L$$

Természetes teljesítmény:

$$\boxed{P_{term} = \frac{U_R^2}{R_0}}$$

<u>Távvezeték teljesítmény viszonyai</u>

$$U_S = A\, U_R + B\, I_R$$
$$I_S = C\, U_R + D\, I_R$$



$\vec{S}_S(U_S, U_R)$ $\quad$ $\vec{S}_R(U_S, U_R)$

1VIT5. K
10. h

$V_R = |V_R| \angle \emptyset$

$V_S = |V_S| \angle \Theta$

$A = |A| \angle \alpha$

$B = |B| \angle \beta$

$C = |C| \angle \gamma$

$D = |D| \angle \delta$

$$\underline{I_R} = \frac{V_S - A V_R}{B}$$

$$I_S = C \cdot V_R + D \frac{V_S - A V_R}{B} =$$

$$= V_S \frac{D}{B} + V_R \underbrace{\left(C - \frac{AD}{B} \right)}_{\frac{BC - AD}{B}}$$

$$\underline{I_S} = V_S \frac{D}{B} - V_R \frac{1}{B}$$

$$\frac{\sinh^2(\gamma l) - \cosh^2(\gamma l)}{B} = 1$$

$$S_S = U_S \cdot I_S^* = U_S \cdot U_S^* \frac{D^*}{B^*} - V_S U_R^* \frac{1}{B^*}$$

$$S_R = U_R I_R^* = \frac{U_R U_S^*}{B^*} - \frac{U_R \cdot A^* \cdot U_R^*}{B^*}$$

Abszolút értékre:

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

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

$$P_S = \mathrm{Re}\{S_S\} = - \frac{U_S U_R}{B} \cos(\beta + \Theta) + \frac{U_S^2 D}{B} \cos(\beta - \delta)$$

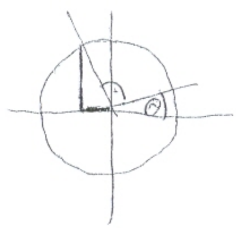
$$Q_S = \mathrm{Im}\{S_S\} = - \frac{U_S U_R}{B} \sin(\beta + \Theta) + \frac{U_S^2 D}{B} \sin(\beta - \delta)$$

$$P_R = \mathrm{Re}\{S_R\} = \frac{U_R U_S}{B} \cos(\beta - \Theta) - \frac{U_R^2 A}{B} \cos(\beta - \alpha)$$

$$Q_R = \mathrm{Im}\{S_R\} = \frac{U_R U_S}{B} \sin(\beta - \Theta) - \frac{U_R^2 A}{B} \sin(\beta - \alpha)$$

Veszteség mentes: $B \angle 90^\circ$ $A \angle 0^\circ$ $D \angle \emptyset$

$\beta = 90^\circ$ $\alpha = 0^\circ$ $\delta = \emptyset$



$$\cos(90^\circ + \Theta) = -\sin \Theta$$

$$\sin(90^\circ + \Theta) = \cos \Theta$$

$$\cos 90^\circ = \emptyset$$

$$P_S = \frac{U_S U_R}{B} \sin \Theta$$

$$Q_S = - \frac{U_S U_R}{B} \cos \Theta + \frac{U_S^2 D}{B}$$

$$P_R = \frac{U_R U_S}{B} \sin \Theta$$

$$Q_R = \frac{U_R U_S}{B} \cos \Theta - \frac{U_R^2 A}{B}$$

$P_V = \emptyset$:

$$P_R = P_S = \frac{U_R \cdot U_S}{B} \cdot \sin \Theta$$

B ← transzfer impedancia abszolútértéke

Legyen $|U_R| = |U_S| = U$

$$Q_S = -\frac{U^2}{B}\cos\Theta = \frac{U^2 D}{B}$$

éta

$Q_S = \emptyset$, ha: $\cos\Theta = D = \cos\eta l \rightarrow \Theta = \eta l$

$$Q_R = \frac{U^2}{B}\cos\Theta - \frac{U^2 A}{B}$$

$Q_R = \emptyset$, ha: $\cos\Theta = A = \cos\eta l \rightarrow \Theta = \eta l$

$\Theta = \eta l$

$$P_R = P_S = \frac{U_R \cdot U_S}{B} \cdot \sin(\eta l)$$

$$B = Z_0 \cdot \sinh(\gamma l) \xrightarrow{\text{most}} R_0 \cdot \sin(\eta l)$$

$P_R = P_S = U^2 / R_0 = P_{term.}$

$S \rightarrow P_s + jQ_s$ $\qquad$ $R \rightarrow P_R + jQ_R$

$P_R = \mathrm{Re}\{S_R\}$

$$P_R = \frac{U_R U_s}{B}\cos(\beta - \Theta) - \frac{U_R^2 A}{B}\cos(\beta - \alpha)$$

$$Q_R = \frac{U_R U_s}{B}\sin(\beta - \Theta) - \frac{U_R^2 A}{B}\sin(\beta - \alpha)$$

$$P_s = -\frac{U_R U_s}{B}\cos(\beta + \Theta) + \frac{U_s^2 D}{B}\cos(\beta - \delta)$$

$$Q_s = -\frac{U_R U_s}{B}\sin(\beta + \Theta) + \frac{U_s^2 D}{B}\sin(\beta - \delta)$$

$Z = r + jx \quad (\Omega/km)$

$r/x < 0{,}1$

$r \approx 0,$ veszteség mentes vezetékre:

$Z = 0 + jX \quad (\Omega/km)$

$Z' = -jX' \quad (\Omega\, km)$

$Z_0 = R_0 = \sqrt{X \cdot X'}$ $\qquad$ $A = \cos(\eta l) = D$ $\qquad$ $\alpha = \phi = \delta$

$\gamma = 0 + j\eta$ $\qquad$ $B = jR_0 \sin(\eta l)$ $\qquad$ $\beta = 90°$

$$P_R = P_s = \frac{U_R U_s}{B}\sin\Theta$$

$$Q_R = \frac{U_R U_s}{B}\cos\Theta - \frac{U_R^2 A}{B}$$

$$Q_s = -\frac{U_R U_s}{B}\cos\Theta + \frac{U_s^2 D}{B}$$

Feltéve, hogy: U_R, U_s = áll.

$U_R = U_s = U$

Maximális átvihető telj: $\frac{U_R U_s}{B}$

$$Q_R = \frac{U^2}{R_0 \cdot \sin\eta l}\cdot\cos\Theta - \frac{U^2 \cdot A}{B}$$

A: $\cos\eta l$

$$Q_s = \frac{U^2}{R_0 \sin\eta l}\cdot\cos\Theta + \frac{U^2 D}{B}$$

B: $R_0 \sin\eta l$

Q_R, Q_s lehet pozitív, negatív és ϕ

$Q_R = Q_s = \phi$, ha: $\cos\Theta = \cos\eta l$

$$P = \frac{U^2}{R \sin\eta l}\cdot\sin\eta l = \frac{U^2}{R_0} = P_{\text{természetes}}$$

$(\Theta = \eta l)$

$P=0, \quad \Theta=0$

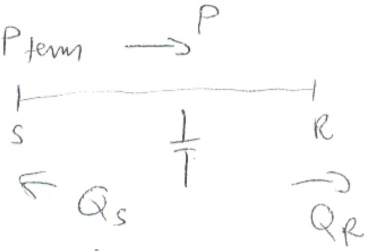
$$Q_R = \frac{U^2}{B} - \frac{U^2 A}{B} \quad \cos \eta l \quad ; \quad Q_R > \emptyset$$

$$Q_S = \frac{-U^2}{B} + \frac{U^2 D}{B} \quad ; \quad Q_S < \emptyset$$

$P=0$ vagy $P < P_{term} \Rightarrow \Theta < \eta l$

$P=\emptyset$

$P < P_{term} \longrightarrow P$



Olyan, mint egy sönt kondi.

Feltétel: $U_S = U_R = U = \text{áll.}$

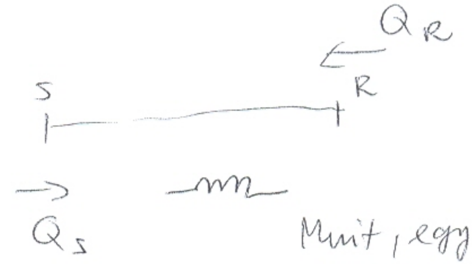
Ha $P = P_{term} \Rightarrow Q_S = \emptyset$, $Q_R = \emptyset$

Ha $P > P_{term}$. (valóságban ilyen nincs)

pl.: $P = P_{max} = \frac{U^2}{B}$; $\Theta = 90°$

$$Q_R = -\frac{U^2 A}{B}$$

$$Q_S = \frac{U^2 D}{B}$$



Mint, egy soros induktivitás.

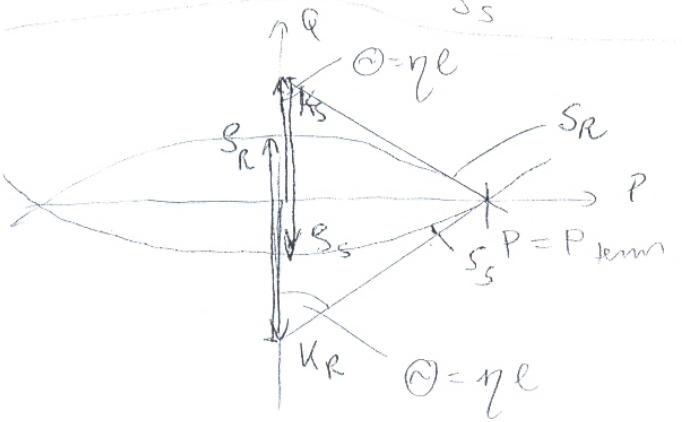
$$S_R = \frac{U_R U_S}{B} \angle \beta - \Theta - \frac{U_R^2 A}{B} \angle \beta - \alpha$$

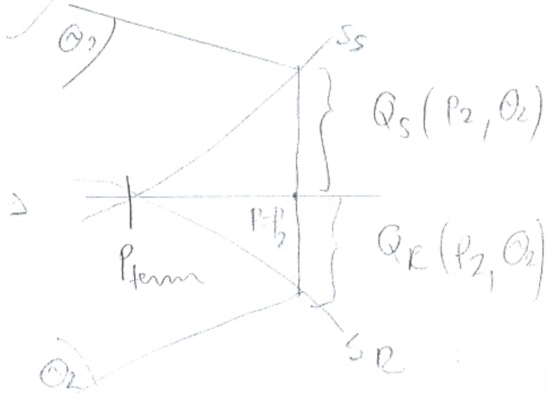
$$S_S = -\frac{U_R U_S}{B} \angle \beta + \Theta + \frac{U_S^2 D}{B} \angle \beta - \delta$$

Ha: $\beta = 90°$, $\alpha = 0°$, $U_R = U_S = U$

$$S_R = \underbrace{\frac{U^2}{B} \angle 90° - \Theta}_{S_R} - \underbrace{\frac{U^2 A}{B} \angle 90°}_{K_R}$$

$$S_S = -\underbrace{\frac{U^2}{B} \angle 90° + \Theta}_{S_S} + \underbrace{\frac{U^2}{B} D \angle 90°}_{K_S}$$





· $r/X < 0{,}1$ $\rightarrow$ veszteség mentes

pozitív sorrend

11. h.

· $Z_1 = jX_1$, $X_1 = 2 \cdot 10^{-4}\ \omega\ \ln \frac{GMD}{GMR}$ Ω/km

$Z_1' = -jX_1'$, $X_1' = \frac{18}{\omega} \cdot 10^6 \ln \frac{GMD}{GMR}$

$$X' = k \cdot X \cdot 10^6 \qquad k = 0{,}88 \ldots 0{,}97$$

$$R_0 = \sqrt{Z \cdot Z'} \longrightarrow \sqrt{X \cdot X'} = \sqrt{X \cdot k \cdot X \cdot 10^6} = X \cdot 10^3 \underbrace{\sqrt{k}}_{0{,}94-0{,}98}$$

400 kV, $X \cong 0{,}3\ \frac{\Omega}{km}$

$R_0 \cong 300\,\Omega$

$$P_{term} = \frac{U^2}{R_0} = \frac{400^2}{300} = 533\ MW$$

220 kV, $R_0 \cong 300\,\Omega$, $P_{term} = \frac{220^2}{300} = 161\,MW$

120 kV $P_{term} = 48\ MW$

$$P = \frac{U^2}{B} \cdot \sin \vartheta \qquad B \approx X \cdot l$$

$$P = \frac{U^2}{Xl} \cdot \sin \vartheta \qquad \text{Ha } \vartheta < 30^\circ : \quad \sin \vartheta = \vartheta^{rad}$$

$$0{,}5 \cong 0{,}5236$$

$\hookrightarrow$ $\vartheta^{rad} = \dfrac{P}{\frac{U^2}{Xl}} =$

$$P_{term} = \frac{U^2}{X\ 10^3 \sqrt{k}}$$

$$\frac{U^2}{X} = P_{term} \cdot 10^3 \sqrt{k}$$

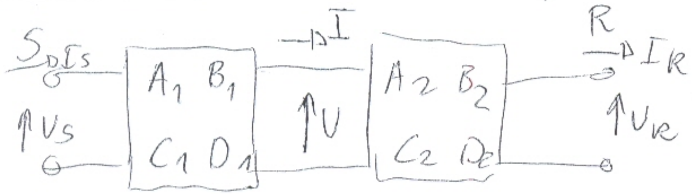
$$\hookrightarrow \frac{Pl}{P_{term} \cdot 10^3 \cdot \underbrace{\sqrt{k}}_{1}} = \frac{l}{1000} \cdot \frac{P}{P_{term}}$$

Ha $l = 100\,km$, $P = P_{term}$

$$\vartheta^{rad} = 0{,}1 \rightarrow 6^\circ$$

$$Q_C = \frac{U^2}{\frac{X'}{\ell}} = \frac{U^2 \ell}{X \cdot 10^6 k} = \frac{P_{term} \cdot 10^3 \sqrt{k} \cdot \ell}{10^6 \cdot k} = \frac{P_{term} \cdot \ell}{\underbrace{\sqrt{k}}_{\approx 1} \cdot 1000} = 0{,}1\, P_{term} / 100\,\text{km}$$

TV átvivőképességének manipulálása



$$\begin{bmatrix} U_s \\ I_s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & ? & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$\left.\begin{aligned} U &= A_2 \cdot U_R + B_2 \cdot I_R \\ I &= C_2 \cdot U_R + D_2 I_R \end{aligned}\right\}$$

$$U_s = A_1 \cdot U + B_1 \cdot I = A_1 \cdot A_2 U_R + A_1 B_2 I_R + B_1 C_2 U_R + B_1 D_2 I_R$$

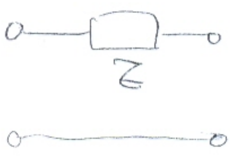
$$I_s = C_1 \cdot U + D_1 \cdot I = C_1 A_2 U_R + C_1 \cdot B_2 I_R + D_1 C_2 U_R + D_1 D_2 I_R$$

$$U_s = \overbrace{(A_1 A_2 + B_1 C_2)}^{A} U_R + \overbrace{(A_1 B_2 + B_1 D_2)}^{B} I_R$$

$$I_s = \underbrace{(C_1 A_2 + D_1 C_2)}_{C} U_R + \underbrace{(C_1 B_2 + D_1 D_2)}_{D} I_R$$

Mátrix szorzás

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



$$A = \left.\frac{U_s}{U_R}\right|_{I_R = 0} = 1$$

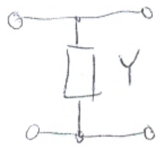
$$B = \left.\frac{U_s}{I_R}\right|_{U_R = 0} = Z$$

$$C = \left.\frac{U_s}{U_R}\right|_{I_R = 0} = 0$$

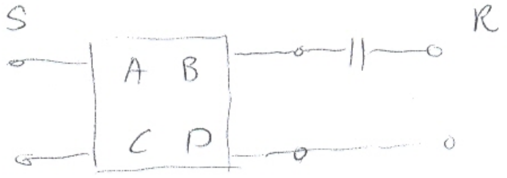
$$D = \left.\frac{I_s}{I_R}\right|_{U_R = 0} = 1$$

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

Sönt admittancia



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



Vezeték végén soros kondi:

$Z = -jX_c$

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

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

$AZ + B = A(-jX_c) + jX_\pi$

$B_{új} \cong j(X_\pi - X_c)$

Transzfer impedancia csökkentés

Végére sönt admittancia, induktivitás:

$Y = -jB$

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

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

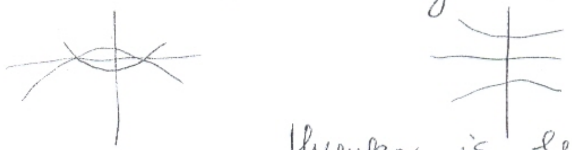
$C_{új} \cong j(C - B)$

Kapacitás lecsökken

$A_{új} \cong A + |B| \cdot |Y|$

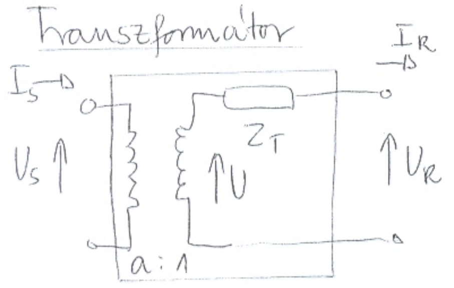
$\Uparrow$ megnő

$A < 1$, most $A_{új} > 1$



Ilyenkor is lehet természetesen teljesítményt szállítani csak többlet meddőkkel

Transzformátor



$$V_S = aV \qquad a = |a| e^{j\varphi}$$

$$V = V_R + I_R Z_T$$

$$V_S = a V_R + a Z_T I_R \rightarrow \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & aZ_T \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

$$I_S = \frac{1}{a} I_R$$

$$V_S = a(V_R + I_R Z_T)$$

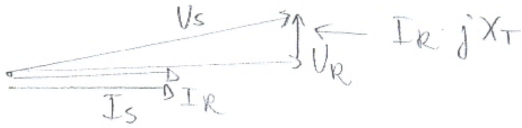
$$I_S = \frac{1}{a} I_R$$

Legyen: V_R valós

I_R valós

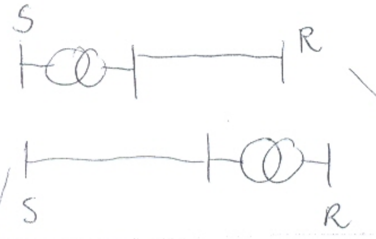
$Z_T = jX_T$

$a = 1(\pm 10\%)$



$$S_R = V_R \cdot I_R^* = V_R \cdot I_R = P_R + j0$$

$$S_S = V_S \cdot I_S^* = (V_R + j I_R X_T) \cdot \underset{I_R}{I_S} = \underset{P_R}{P_S} + \underbrace{j I_R^2 X_T}_{Q_{tr}}$$



$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \qquad Z_T = jX_T$$

$$\begin{bmatrix} a & aZ_T \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} aA + aZ_T C & aB + aZ_T D \\ \frac{C}{a} & \frac{D}{a} \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} a(1+0) & a(jX_v + jX_T) \\ 0 & \frac{1}{a} \end{bmatrix}$$

Feltételezve:

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & jX_v \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

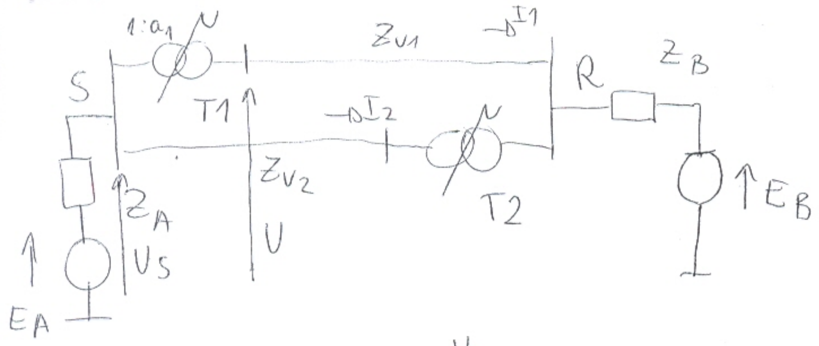
$$\begin{bmatrix} a & aZ_T \\ \emptyset & \frac{1}{a} \end{bmatrix}$$

egyszerűsítéssel

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} aA & aZ_T A + \frac{B}{a} \\ aC & aZ_T \cancel{D}\,C + \frac{D}{a} \end{bmatrix} \qquad \begin{bmatrix} V_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a & a jX_T + \frac{jX_v}{a} \\ \emptyset & \frac{1}{a} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

. Transzformátor szabályozás: üzemközben, terhelés alatt

. Távvezeték hurokban:



T1 : $a_1 = 1$ (közép) $\pm 15\%$

T2 : $a_2 = 1$ (közép) $\pm 15\%$

középállás

$\boxed{a_2 = 1}$

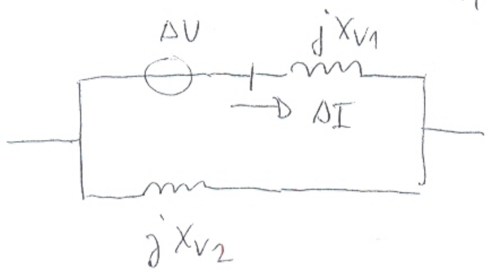
$a_1 = 1{,}15$ valós

$U = U_S \cdot a_1$

Feltételek: $Z_{v1} = j(X_{v1} + X_{T1})$

$Z_{v2} = j(X_{v2} + X_{T2})$

$Z_A, Z_B > Z_{v1}, Z_{v2}$



$$\Delta I = \frac{\Delta U}{j(X_{v1} + X_{v2})} = -j \frac{\pm \Delta U}{X_{v1} + X_{v2}}$$

$I_1' = I_1 + \Delta I$

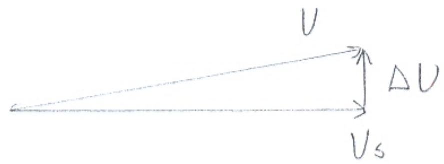
$I_2' = I_2 + -\Delta I$

$I_1 = I_{1P} - j I_{1Q}$, $I_1' = I_{1P} - j(I_{1Q} + \Delta I)$

$I_2 = I_{2P} - j I_{2Q}$, $I_2' = I_{2P} - j(I_{2Q} - \Delta I)$

Meddő áram és telj. átrendeződése a 2 vezeték között:

Hossz-szabályozás → Q átrendeződés



$$\Delta I = -j \frac{j \cdot \pm \Delta U}{X_{v1} + X_{v2}} = -\frac{\pm \Delta U}{X_{v1} + X_{v2}}$$

$I_1' = I_{1P} + \Delta I_1 - j I_{1Q}$

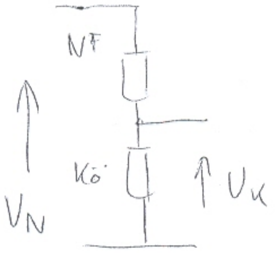
$I_2' = I_{2P} - \Delta I_1 - j I_{2Q}$

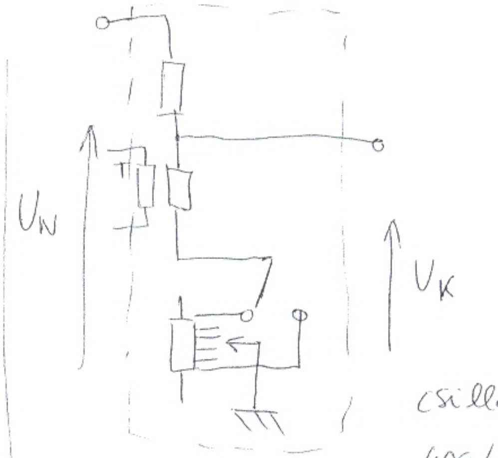
Kereszt szabályozás → P átrendeződés (wattos telj)

(MO-on nincs.)

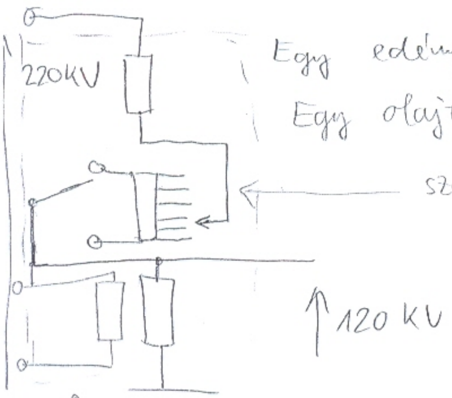
Megoldások:

NF / NF
420 / 132
220 / 126
400 / 231





csillagponti
400/132 kV
nem állandó fluxusú szabályozó
aszimmetrikus +10,2 −11,3
19 fokozat: fel 9, 1 közép, le 9.

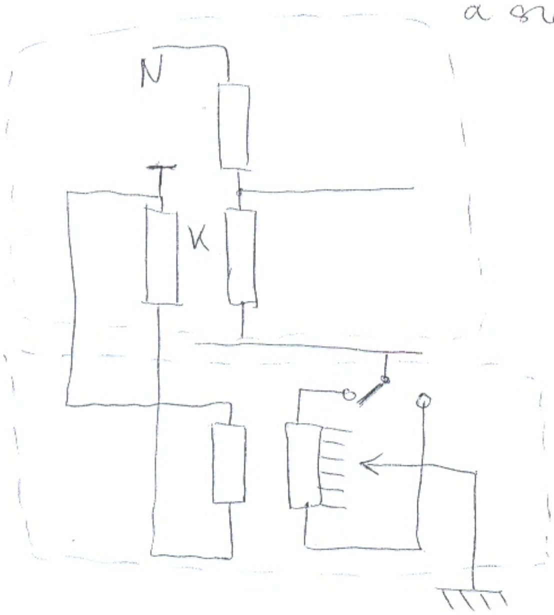


Egy edényben van.
Egy olajtérben van.

szabályozó

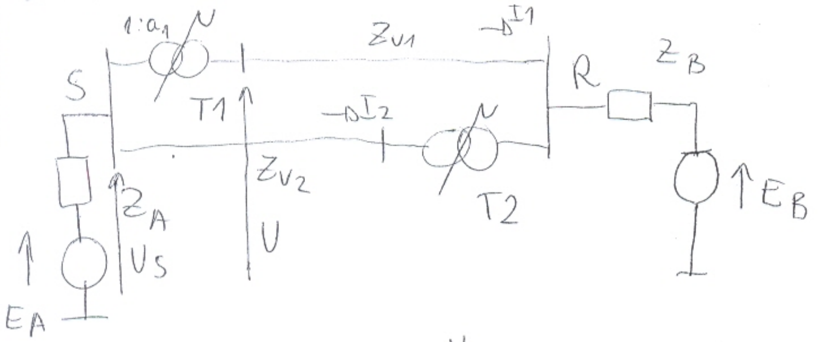
Tercier tekercs

A szabályozó szikrázik az olajban, így változik az olaj összetétele, ami nem jó!
Ezért van, hogy külön egységben van a szabályozó.



Ha elromlana a szabályozó, akkor könnyen cserélhető, nem úgy, mint a fenti esetekben, mikor közös olajtérben vannak.

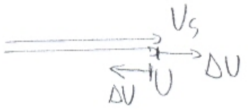
- Transzformátor szabályozás: üzemközben, terhelés alatt
- Távvezeték hurokban:



T1 : $a_1 = 1$ (közép) $\pm 15\%$

T2 : $a_2 = 1$ (közép) $\pm 15\%$

középállás



$\boxed{a_2 = 1}$

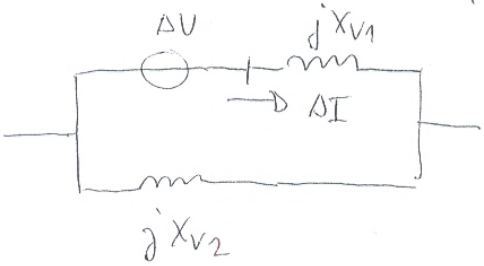
$a_1 = 1{,}15$ valós

$U = U_S \cdot a_1$

Feltételek: $Z_{v1} = j(X_{v1} + X_{T1})$

$Z_{v2} = j(X_{v2} + X_{T2})$

$Z_A, Z_B > Z_{v1}, Z_{v2}$



$$\Delta I = \frac{\Delta U}{j(X_{v1} + X_{v2})} = -j \frac{\pm \Delta U}{X_{v1} + X_{v2}}$$

$I_1' = I_1 + \Delta I$

$I_2' = I_2 + -\Delta I$

$I_1 = I_{1P} - j I_{1Q}$, $I_1' = I_{1P} - j(I_{1Q} + \Delta I)$

$I_2 = I_{2P} - j I_{2Q}$, $I_2' = I_{2P} - j(I_{2Q} - \Delta I)$

Meddő áram és telj. átrendeződése a 2 vezeték között:

Hossz-szabályozás $\rightarrow$ Q átrendeződés

$$\Delta I = -j \frac{j \cdot \pm \Delta U}{X_{v1} + X_{v2}} = -\frac{\pm \Delta U}{X_{v1} + X_{v2}}$$

$I_1' = I_{1P} + \Delta I_1 - j I_{1Q}$

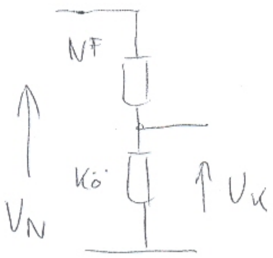
$I_2' = I_{2P} - \Delta I_1 - j I_{2Q}$

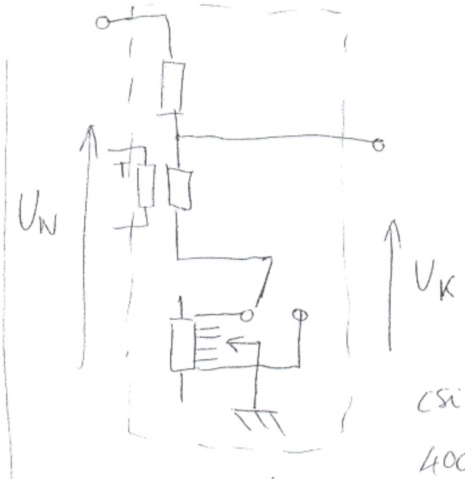
Kereszt szabályozás $\rightarrow$ P átrendeződés (valós telj)

(MO-on nincs.)

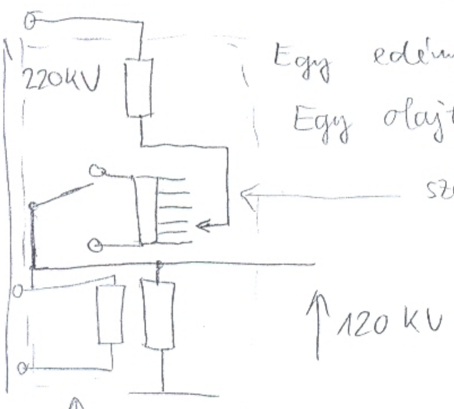
Megoldások:

NF / NF
420 / 132
220 / 126
400 / 231





csillagponti
400 / 132 kV
nem állandó fluxusú szabályzó
aszimmetrikus +10,2
−11,3
19 fokozat: fel 9, 1 közép, le 9.

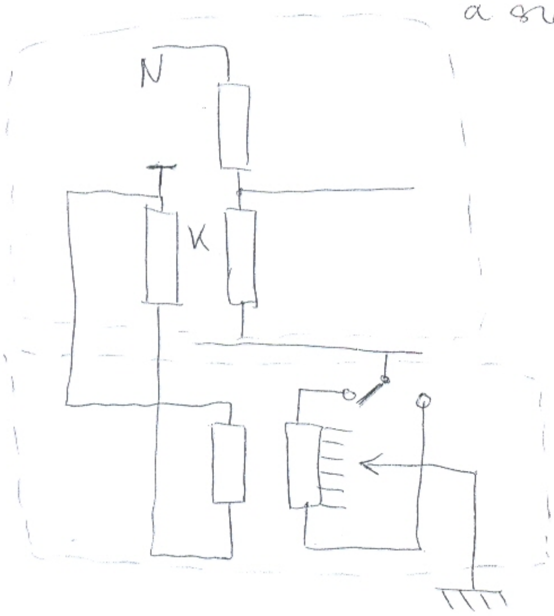


Egy edényben van.
Egy olajtérben van.

szabályozó

Tercier tekercs

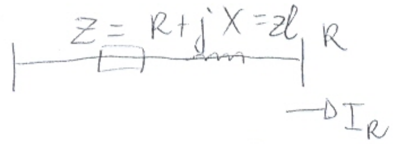
A szabályozó szikrázik az olajban, így változik az olaj összetétele, ami nem jó! Ezért van, hogy külön egységben van a szabályozó.



Ha elromlana a szabályozó, akkor könnyen cserélhető, nem úgy, mint a fenti esetekben, mikor közös olajtérben vannak.

- Közép feszültségű, sugaras vezetékek

- S — $Z = R + jX = zl$ — R



$U_S = U_R + \underbrace{I_R \cdot Z}$

$I_S = I_R$

$\downarrow$

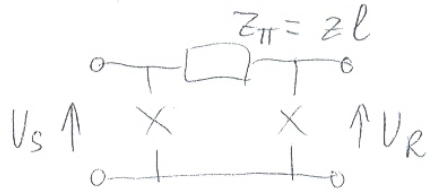
$\Delta U = I_R \cdot Z$

KF, sugaras

Néhány 10 km-esek, MO-on max: 40k

20kV-os általában

$Z_\pi = zl$



$$\begin{bmatrix} U_S \\ I_S \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & Z_\pi \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} U_R \\ I_R \end{bmatrix}$$

Wattos veszteség ?

I_R: fogyasztó határozza meg

$$I_R = \frac{S_R^*}{\sqrt{3} \cdot U_R}$$

$S_f \to S_F = P_F + jQ_F$; $I_F = \dfrac{S_F^*}{\sqrt{3}\, U_{Fn}}$

„állandó áramú"

U_F: valós

$\left.\begin{matrix} P_F \\ U_{Fn} \\ \cos\varphi_n \end{matrix}\right\} I_F$

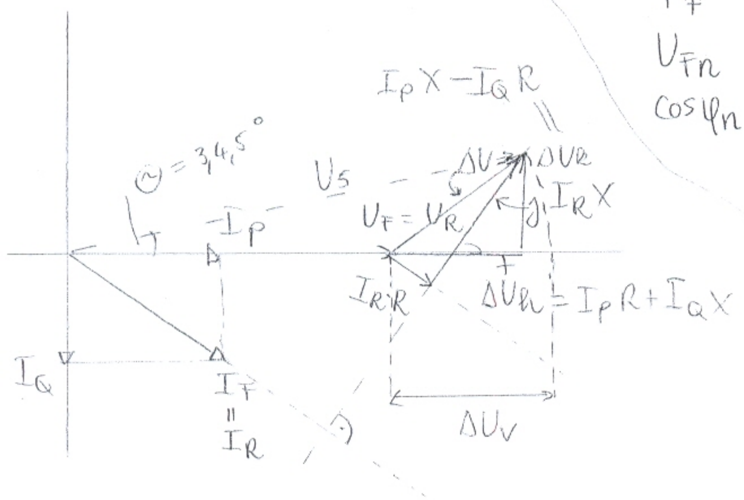
$\downarrow$

$$\frac{P_F}{\cos\varphi_n \sqrt{3}\, U_{Fn}} (\cos\varphi_n - j\sin\varphi_n)$$

$I_F = I_P - jI_Q$

$$I_P = \frac{P_F}{\sqrt{3} U_{Fn}}$$

$$I_Q = \frac{P_F}{\sqrt{3}\, U_{Fn}} \cdot tg\,\varphi_n$$



$$U_{S_f} = U_{R_f} + \underbrace{(R + jX)(I_P - jI_Q)}_{\Delta U}$$

$$\Delta U = \underbrace{I_P \cdot R + I_Q \cdot X}_{\Delta U_h} + j\underbrace{(I_P X - I_Q R)}_{\Delta U_k}$$

$$\Delta U = I_R \cdot Z = I_R (R + jX) = I_R \cdot R + jI_R \cdot X$$

$\Delta U_V = |U_S| - |U_R| \approx \Delta U_h$, mert ϑ kicsi

$||$

$I_P \cdot R + I_Q X$ ← Ezt kell csökkenteni!

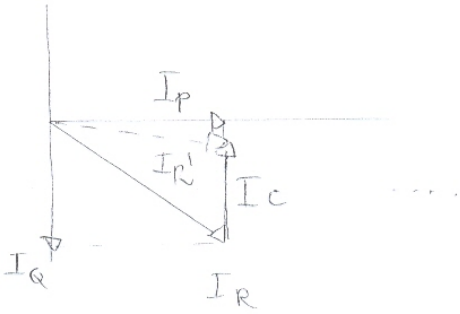
$X \downarrow$: soros —||—

$I_Q \downarrow$: sönt $\frac{\perp}{\top}$ $I_R = I_F + I_C$ $I_C = \dfrac{S_C^*}{\sqrt{3} U_0}$, $S_C = 0 - jQ_C$

$$I_C = \frac{S_C^*}{\sqrt{3}U_R} = j\frac{Q_C}{\sqrt{3}U_R}$$

$$I_R = I_F + I_C = I_F + jI_C$$

$$I_R' = I_P - j(\underbrace{I_Q - I_C}_{I_Q'})$$



$$I_Q' << I_Q$$

Veszteség számítása:

$$S_{V1f} = \Delta U \cdot I_R^*$$

$$[I_P R + I_Q X + j(I_P X - I_Q R)][I_P + jI_Q] =$$

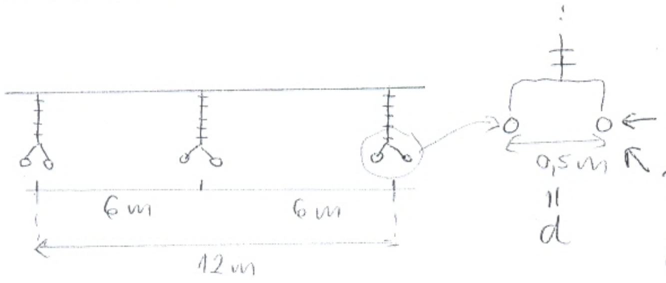
$$= I_P^2 R + \cancel{I_P I_Q X} + jI_P^2 X - j\cancel{I_P I_Q R} + j\cancel{I_Q I_P R} + jI_Q^2 X - \cancel{I_Q I_P X} + I_Q^2 R$$

$$S_{V1f} = R(\underbrace{I_P^2 + I_Q^2}_{|I|^2}) + jX(\underbrace{I_P^2 + I_Q^2}_{|I|^2})$$

11.h

Félmaradó, példa megoldás

1. Hosszú TV



GMR = 0,0082 m

r = 0,011 m

⓪ sorrendhez kell:

h = 10 m (átlagos)

$S_{föld}$ = 100 Ωm

f = 50 Hz

$$Z_1 = R_1 + j\overbrace{\omega\, 2\cdot 10^{-4} \ln \frac{GMD}{GMR_{köteg}}}^{X_1}$$

$R_1 = 0{,}02\ \Omega/km$ (köteg = 2 sodrony)

$$GMD = \sqrt[6]{D_{ab}\cdot D_{bc}\cdot D_{ca}} = \sqrt[3]{6\cdot 6\cdot 12} = 7{,}56\ m$$

$$GMR_{köteg} = \sqrt{GMR\cdot d} = \sqrt{0{,}5\cdot 0{,}0082} = 0{,}064 m$$

$$\ln\frac{7{,}56}{0{,}064} = 4{,}772 \rightarrow X_1 = 2\pi\cdot 50 Hz\cdot 2\cdot 10^{-4}\cdot 4{,}772 = 0{,}3 \frac{\Omega}{km}$$

$Z_1 = 0{,}02 + j\,0{,}3\ \frac{\Omega}{km}$ (Ez 400 kV-os táv-vezeték átlagos értéke.)

pl.: Kaposvár – az egyetlen 2-es köteg.

A 3-as köteg MO-on mindig 400 kV.

A 2-es köteg MO-on : 120 – 400 kV.

$$Z_1' = \frac{18}{\omega}\cdot 10^6 \ln\frac{GMD}{GMR_{\substack{geometriai\\ köteg}}} = \frac{18}{314{,}16}\cdot 10^6\cdot 4{,}624 = 264{,}927\ \Omega\, km$$

$$GMR_{köt.}^{geom.} = \sqrt{0{,}011\cdot 0{,}5} = 0{,}0742\ m$$

$$\ln\frac{7{,}56}{0{,}0742} = 4{,}624$$

$Z_1'^{*} = 0{,}265\ M\Omega\, km$

$$\frac{r}{X} = \frac{0{,}02}{0{,}3} = 0{,}06667 < 0{,}1$$

Vehető tisztán induktívnak

$x' = X\cdot 10^6\cdot k$ ← 1 körüli kell legyen

$$k = \frac{X'}{X\cdot 10^6} = \frac{0{,}265}{0{,}3} = 0{,}883$$

$$C_1 = \frac{1}{\omega X_1'} = \frac{10^{-6}}{314{,}16 \cdot 0{,}265} = 0{,}012 \ \frac{\mu F}{km} = 12 \ \frac{nF}{km}$$

$$L_1 = \frac{X_1}{\omega} = \frac{0{,}3}{314{,}16} = 0{,}95 \ \frac{mH}{km}$$

$$Z_0 \cong R_0 = \sqrt{X_1 \cdot X_1'} = \sqrt{\frac{L_1}{C_1}} = \sqrt{X_1 \cdot X_1 \cdot 10^6 \cdot k} = X_1 \cdot 10^3 \underset{\substack{\uparrow \\ 0{,}93}}{\sqrt{k}} =$$

$$= 0{,}3 \cdot 0{,}93 \cdot 10^3 = \underline{281{,}9 \ \Omega = R_0}$$

$\underline{U_n = 400 \text{ kV}}$

$$P_{term} = \frac{U_n^2}{R_0} = \frac{(400 \text{ kV})^2}{281{,}9 \Omega} = 567{,}6 \text{ MW} \leftarrow$$ Ekkor van meddő egyensúly. Ez alatti teljes átvitelkor meddőt termel.

$l = 200$ km

$$\gamma = j\eta l = j\sqrt{\frac{X_1}{X_1'}} \cdot l = j\sqrt{\frac{0{,}3}{264\,927}} \cdot l = j0{,}001064 \cdot l = j0{,}21283 \text{ rad}$$

Ha $P = P_{term}$, akkor $\Theta = \eta l = 0{,}21283$ rad $= 12{,}19°$

Elmélet: Θ, 100 km-enként 6° kell legyen.

$P = \emptyset$; $U_S = U_R = 400$ kV , veszteség mentes $\qquad B \approx X_1 \cdot l = 60 \Omega$

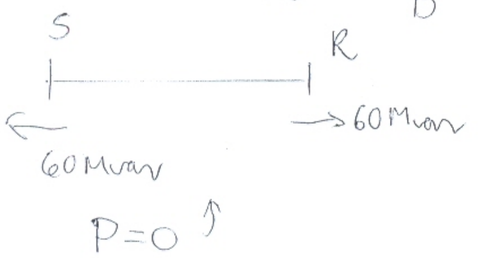
$$P = \frac{U^2}{B} \cdot \sin\Theta , \quad Q_S = \frac{-U_R U_S}{B} \cdot \cos\Theta + \frac{U_S^2}{B} D$$

$\Theta = \emptyset$

$$D = A = ch(j\eta l) = \cos \eta l = \cos 12{,}19° = 0{,}9775$$

$$Q_S = \frac{U^2}{B}(-1 + 0{,}9775) = -\frac{400^2}{60} \cdot 0{,}0225 = -60 \text{ Mvar}$$

$$Q_R = \frac{U_R U_S}{B} \cos 0° - \frac{U_R^2}{B} \cdot A = +60 \text{ Mvar}$$



$$Q_C \text{ vezeték}: \frac{0{,}1 \ P_t}{100 \text{ km}} = 56{,}7 \text{ Mvar} \underset{60 \text{ Mvar}}{\lesssim}$$

$\cdot P_R = P_S = 1000 \text{ MW} \qquad \Theta = ?$

$$P = \frac{U_R U_S}{B} \cdot \sin\Theta$$

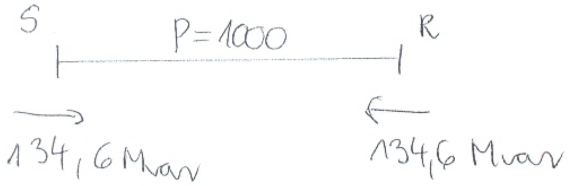
$$\Theta = \arcsin \frac{P}{U^2/B} = \arcsin \frac{1000}{\frac{400^2}{60}} = \arcsin 0{,}375$$

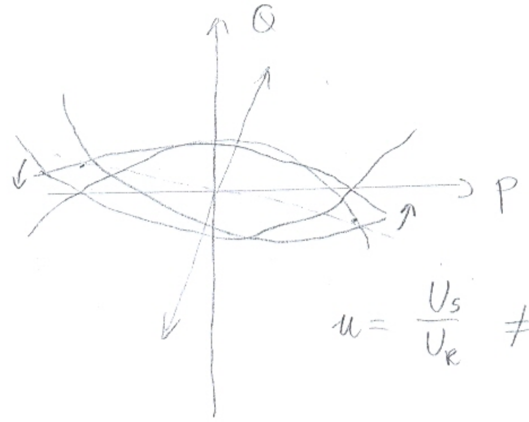
$$\Theta = 22{,}02°$$

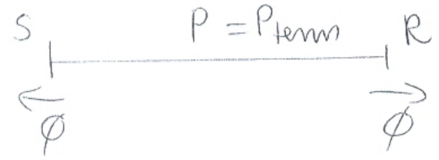
$$Q_S = -\frac{400^2}{60} \cdot \underbrace{\cos(22{,}02)}_{0{,}927} + \frac{400^2}{60} \cdot 0{,}9775 =$$

$$Q_S = \frac{400^2}{60}(0{,}9775 - 0{,}927) = 134{,}6 \text{ Mvar}$$

$$Q_R = \frac{400^2}{60} \cdot 0{,}927 - \frac{400^2}{60} \cdot 0{,}9775 = -134{,}6 \text{ Mvar}$$

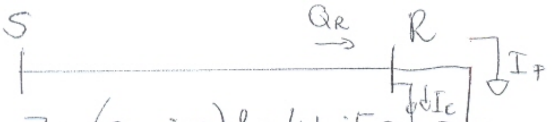






$$u = \frac{U_S}{U_R} \neq 1$$

KÖF sugaras átvitel



$$Z = (r + jx)\ell = 4 + j5\,\Omega$$

$U_n = 21 \text{ kV}$

$P_n = 4 \text{ MW}$

$\cos\varphi_n = 0{,}9 \rightarrow \varphi = 25{,}84°$ — induktív

Feltéve: $U_R = U_n$, valós

Fogyasztó áramtartó

$$I_F = \frac{S^*}{\sqrt{3} \cdot U^*} = \frac{\overbrace{\frac{P_n}{\cos\varphi_n}}^{|S_n|}}{\sqrt{3}\,U_n}(\cos\varphi_n - j\sin\varphi_n) = \frac{4000}{0{,}9 \cdot \sqrt{3} \cdot 21}(0{,}9 - j\,0{,}4359)$$

$$I_F = \underbrace{122{,}19}_{|I_F|}(0{,}9 - j\,0{,}436) = 109{,}97 - j\,53{,}26 \text{ A}$$

$$\Delta U = \underbrace{I_P \cdot R + I_Q \cdot X}_{} + j(I_P X - I_Q R)$$

$$\Delta U_{R_{\text{fázis}}} = 109{,}97 \cdot 4 + 53{,}26 \cdot 5 = 706{,}2 \text{ V} \rightarrow \frac{1{,}223}{\sqrt{3}} \text{ kV}$$

$|U_S| \cong U_R + \Delta U_h = \frac{22,223}{\sqrt{3}}$ kV

$P_V = 3 \cdot |I|^2 \cdot R = 3 \cdot 122,19^2 \cdot 4 = 179\,200\,W = 179,2\,kW$ ← 1 év alatt, 42 Ft
65 MFt !

3 fázis miatt

$Q_h = P_h \cdot tg\,\varphi_h = 1,937$ Mvar

Ha $\cos\varphi = 0,96 \ldots 0,98 \Rightarrow$

$tg\,\varphi = 0,2917 \ldots 0,2$

Vegyünk $Q_c = 1,4$ Mvar -os kondi telepet.

$S_c = 0 - jQ_c$

$$I_c = \frac{S_c^*}{\sqrt{3}\,U^*} = j\frac{Q_c}{\sqrt{3}\cdot 21} = j\frac{1400}{\sqrt{3}\cdot 21} = j\,38,49A$$

Söntkompenzálással:

$$I_R = I_F + I_c = 109,97 - j\underbrace{(53,26 - 38,49)}_{I_Q' = 14,77A}$$

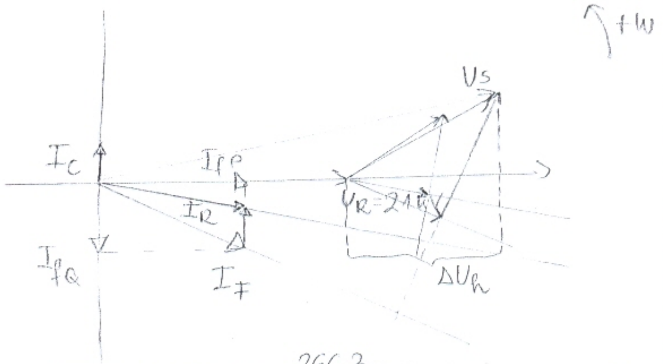
$\Delta U_h' = 109,97 \cdot 4 + 14,77 \cdot 5 = 513,75V$

$\| $

$0,89/\sqrt{3}$ kV

$|U_S|' = 21,89\,kV$

Az ábra eltúlzott !



$P_V' = 3 \cdot |I_R|^2 \cdot R = 3 \cdot 110,96^2 \cdot 4$

$I_p^2 + I_Q'^2$

$P_V' = 147,7\,kW$

Csak a meddő csökkenthető !

$\Delta P_v = 179,2 - 147,7\,kW$

11 MFt nyereség :)

$\Delta U_h = I_p \cdot R + \overbrace{I_Q \cdot X}^{266,3}$ soros kondi

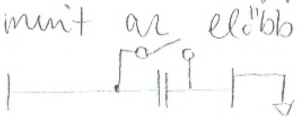
$\Delta U_h' = \underbrace{I_p \cdot R}_{439,9} + \underbrace{I_Q(X - X_c)}_{73,85} = 513,75$

$I_Q = 53,26$ A

$X - X_c = \frac{73,85}{53,26} = 1,387$

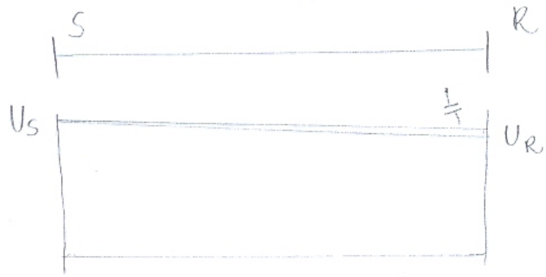
$-jX_c = -j3,61\,\Omega$

Ez adná ugyanazt a hatást mint az előbb a másik kondi.



$P_V' = P_V$ eredeti

Vezeték menti fesz. profil:



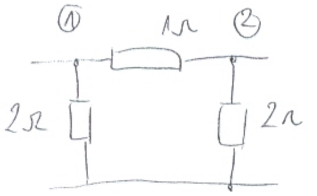
Szabó L.

19. Hálózat számítási modellek

20.

21.

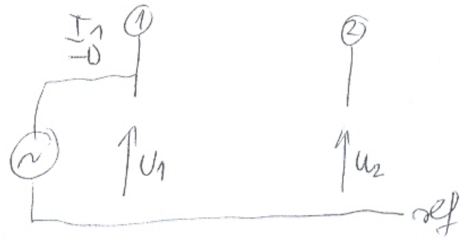
Csomóponti potenciálok módszere



$1\Omega \to 1$ mho (S)

$2\Omega \to 0{,}5$ mho

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



$U_1 = Z_{11} I_1$

$U_2 = Z_{21} I_1$

$I_2 = 0$

$I_1 \to U_1$

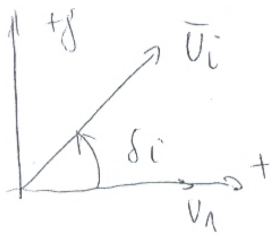
$\searrow U_2$

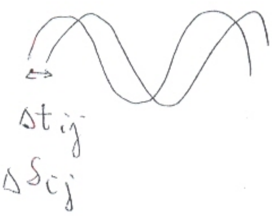
$Z_{11} = \dfrac{U_1}{I_1}$ $\quad Z_{21} = \dfrac{U_2}{I_1}$ $\quad Z_{i1} = \dfrac{U_i}{I_1}$

Nagy fesz-ü hurkolt hálózatok

2 feladat: - telj. áramlás

- sz. analízis





szög referencia

Transzformátor számolása

...

$\underline{\underline{Z}}$ $\quad ii$ csomóponti önzsgázási meghajtópunti impedancia

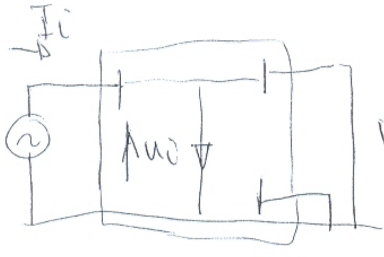
ij - átviteli transzfer

$Y_{1i} = \dfrac{I_1}{U_i}$

$Y_{2i} = \dfrac{I_2}{U_i}$

$Y_{ii} = \dfrac{I_i}{U_i}$

$Y_{1i} = -y_{1-i}$



$V_j = 0$

$j \neq i$

$\underline{\underline{Y}}$ - csomóponti rövidzárási meghajtópunti ii, transzfer ij admittancia

Szabó L.

V.16.
13.

Aláírás: Házi feladat kell hozzá → javítható

beadás: május 16. dél

május 20. kedd tanszéken kiírva eredmény HF-ről

jövő kedden Albertfalva látogatás

május 22. csüt. ← 5öveseknek csak

9-től van a vizsga mindig

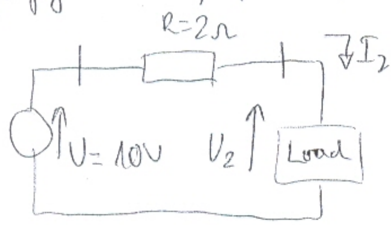
Albertfalva: 8^{45} Forgalmi utca 18, 41, 56 vagy 7-es busz

Látogatás: 9-12-ig. 12^{30}-ra érkezés az egyetemre.

21., Teljesítmény áramlás ...

fogyasztók / felhasználók

pl.:



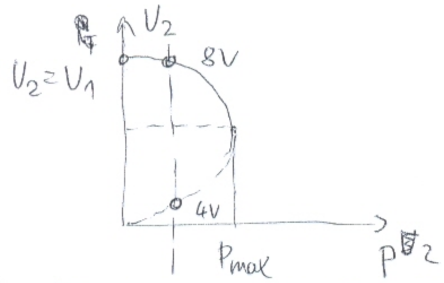
$P_2 = 8V$

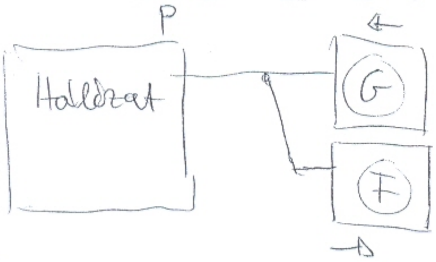
$P_2 = I_2 \cdot V_2 =$ állandó

I., $I_2 = 1A$ $P_2 = 8V$

II., $I_2 = 4A$ $P_2 = 24V$

Nem lineáris a feladat.





1. fesz: $|U_i|$
2. szöge: δ_i
3. $P_i = P_{Gi} = P_{Fi}$
4. $Q_i = Q_{Gi} = Q_{Fi}$
5. f frekvencia (névleges, nem számoljuk)

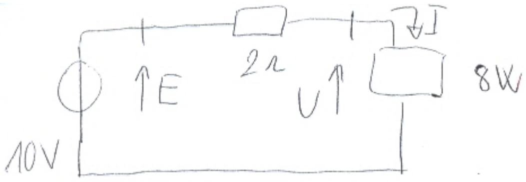
(103-as fólia) A vezeték leképezése

A betáplálások -||-

Számítási módszerek

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

V. P. K.
13. h



U = ?

I. Arányos, lineáris közelítés
$U = 8\,V$

II. Gauss módszer:
1, Kezdőérték beállítás
2, Iterációs ciklus ← gyorsító tényező
3, $\max(H_i) < \varepsilon$
↳ 4,

III. Newton alapú módszerek:
dP/dU érzékenységi fv. segítségével
4-5 lépés és meg van a mo. nagy hálózat esetén is.
$U = 8V$
J - Jakobi

Erősáramú kábelek FA

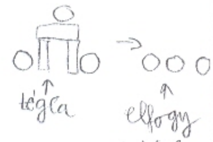
V. G. P
13. h

Részei: - kábel ér: - Al
- Cu
Lehet: - tömör
- sodrott

- ér szigetelés: - papír & olaj
- PVC ← kis fesz.
- PE (polyetilén) ← közép fesz.
- térhálós PE (XLPE) ← nagy fesz.

nagy fesz: - védőburkolat: - kábel köpeny: - olaj kifolyást megakadályoz
- nedvesség taszítása
- érintésvédelem
- EMC

- köpenyszigetelés
- páncél
- külső burkolat

	3 erű	(3db) 1erű	
gyártási hossza (kábeldob mérete)	kisebb	nagyobb	Toldás: bonyolult és drága
– hajlítási sugár	nagyobb	kisebb	
– fektetési geometria:	kötött (∴)	gondos munka	
– melegedés:			
↕			
– terhelhetőség:			

Természetes hűtés: | Felületi hűtés:

I. 120kV / 2000 mm^2/fázis — 150 – 170 MVA — 500 MVA

II. 400kV / 1000 mm^2 — 350 MVA — 1500MVA

Budapesten: 120kV-os kábelek
Párizs: 400kV-os kábelek

Tengeralatt: Nagy fesz.
egyen kábel
Meddő csökkentés miatt

Érhűtéssel (pl.: olajáramoltatás)
I. 1000 MVA
II. 5000 MVA

– Mélyhűtés (lefagyasztás)
– Szupravezető ér
– SF6 szigetelés (sodrony gázban)

<u>Állandósult állapot</u>

Hőáramlás – modell

$H \leftrightarrow I$

$\sim \leftrightarrow U$

$G \leftrightarrow R$

Hő: $H_{ér} = n \cdot I_{ér}^2 \cdot R_{ér}$ (n: fázis szám)

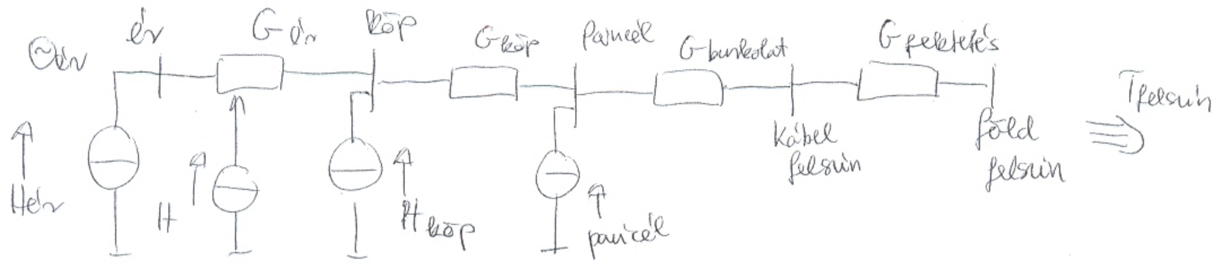
$H_{diel.} = f(U, f, \varepsilon_r, \operatorname{tg}\delta)$
dielektrikum

$H_{köp.} = \lambda_{köp} \cdot H_{ér}$
köpeny

$H_{[illegible]} = \lambda_p \cdot H_{ér}$

Feltételek:

- Minden keletkezett hő a föld felszínen távozik el.
- fém részek: izoterm (azonos hőmérsékletűek)



$\Theta_{ér} = T_{ér} - T_{felszín}$

$T_{érmax} \longrightarrow I_{érmax}$

Zárlati áram miatti hirtelen tranziens hőfokváltozás

- Minden keletkező hő az eret melegíti

$$I_z^2 \cdot R(\Theta) \cdot t_z = c \cdot m \cdot \Theta$$

zárlati idő

$I_{z\,(1sec)} = I_s$

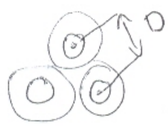
$I_{zmax} = \dfrac{I_s}{\sqrt{t_z}}$

Villamos paraméterek

Szabadvezeték		Kábel
R_{szv}	$\approx$	$R_{kábel}$
X_{szv} (L_{szv})	$>$	$X_{kábel}$
C_{szv}	$<$	$C_{kábel}$
(X'_{szv})	$>$	($X'_{kábel}$)
$Q_{C\,szv}$	$<$	$Q_{C\,kábel}$
$Z_{0\,szv}$	$\gg$	$Z_{0\,kábel}$

$P_{term\,szv} = \dfrac{U_n^2}{Z_0} \ll P_{term\,kábel}$

$2 \cdot 10^{-4} \omega \ln \dfrac{GMD}{GMR}$



$$C = \frac{\varepsilon_r \cdot 10^{-9}}{18 \cdot \ln \frac{GMD}{r}} \left(\frac{F}{km}\right)$$

$$X' = \frac{1}{\omega C}$$

$$Q_c = U^2 \omega C = \frac{U^2}{X'}$$

$$Z_0 = \sqrt{L/C}$$

pl.: 120 kV

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

$R_0 \approx x \cdot 10^3 \cdot \ell = 300\,\Omega$

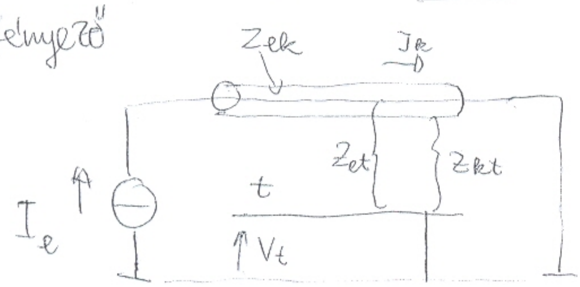
$P_t^{(120)} = \frac{120^2}{300} = 48\ MW$

Kábel: $r/x = 1$;

$P_{t\ kábel}^{(120)} \simeq 300\ MW$, de max. csak 150MW mehet rajta, így meddőt termel.

Köpeny hatása a környezetre: EMC

Védőtényező



t – távvezeték, telefon

$V_t = I_e \cdot Z_{et} + I_k \cdot Z_{kt}$

$V_k = I_e \cdot Z_{ek} + I_k \cdot Z_{kk}$

Szigetelt köpeny: $I_k = \emptyset$

$V_t = I_e \cdot Z_{et}$

Földelt köpeny: $V_k = \emptyset$
(legalább 2 helyen)

$I_k = -I_e \cdot \frac{Z_{ek}}{Z_{kk}}$

$$V_t' = I_e \cdot Z_{et} - I_e \frac{Z_{ek} \cdot Z_{kt}}{Z_{kk}} = I_e \left(Z_{et} - \frac{Z_{ek} \cdot Z_{kt}}{Z_{kk}} \right)$$

$$\frac{V_t'}{V_t} = K_v = \frac{Z_{et}}{Z_{et}} - \frac{Z_{ek} \cdot Z_{kt}}{Z_{et}\, Z_{kk}} \cong 1 - \frac{Z_{ek}}{Z_{kk}}$$

$$Z_{kt} \approx Z_{et}$$

$$K_v = \frac{Z_{kk} - Z_{ek}}{Z_{kk}}$$

$Z_{kk} = R_k + R_{föld} + j\omega 2 \cdot 10^{-4} \frac{D_f}{GMR} \leftarrow r_k$

$Z_{ek} = R_{föld} + j\omega 2 \cdot 10^{-4} \frac{D_f}{D_{ek}}$

Védőtényező: $\underline{K_v \approx \frac{R_k}{Z_{kk}}}$ ← jó, ha pici → ha R_k kicsi
⇓
rézből van.