

Villamos energetika (viveab01)

Több feszültség szintű hálózatok számítása

Dr. Ladányi József, docens
VM csoportvezető

ladanyi.jozsef@vet.bme.hu, (1) 463-3242, V1.411



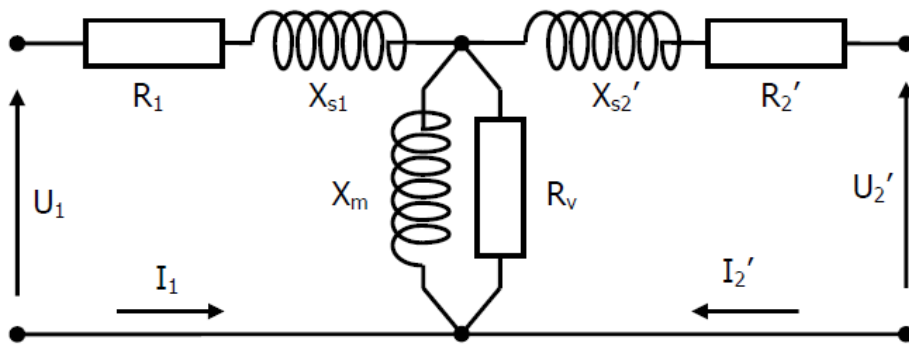
Villamos Energetika Tanszék
Villamos Művek és Környezet Csoport

Több transzformátor a hálózaton

(Közös feszültségszintre redukálás)

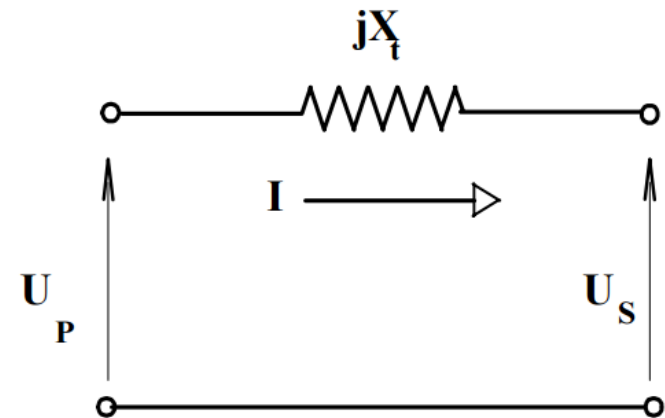
Transzformátor modell

- *Összefüggő villamos modellhez redukálás szükséges!*



$R'_2 - X'_2$ a
primer
oldalra
redukálva

$$X_t = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U_n}{\sqrt{3} I_n} = \frac{\varepsilon}{100} \frac{U_n^2}{S_n} \quad (\Omega)$$



Pozitív sorrendű helyettesítő kép

Redukálás

Szekunder oldali mennyiségek primer oldalra történő redukálása:

A primer és szekunder kör akkor kapcsolható össze a helyettesítő kapcsolás szerinti módon, ha

$$u'_{i2} = u_{i1}$$

$$\frac{u'_{i2}}{u_{i2}} = \frac{u_{i1}}{u_{i2}} = \frac{N_1}{N_2}$$

ebből kifejezve

$$u'_{i2} = u_{i2} \frac{N_1}{N_2}$$

A szekunder áramerősség redukálása:

$$u_{i2} \cdot i'_2 = u_{i2} \cdot i_2$$

$$i'_2 = \frac{u_{i2}}{u'_{i2}} \cdot i_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot i_2$$

A szekunder ellenállás és reaktancia redukálása:

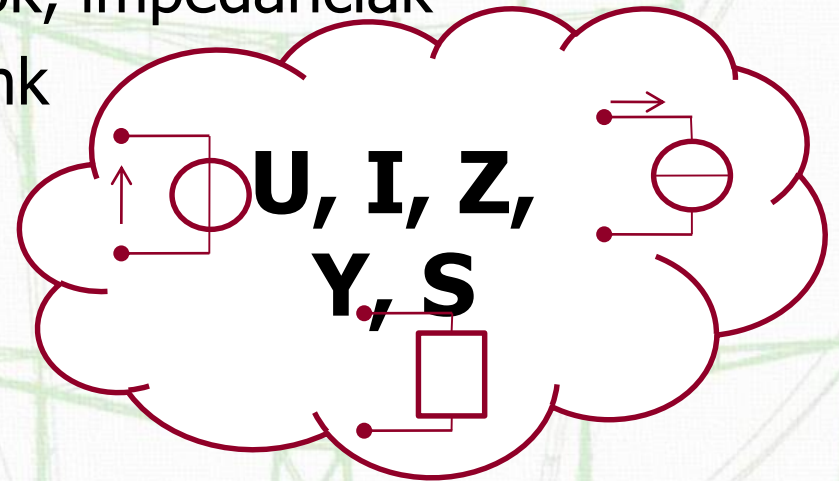
$$R'_2 = \frac{u'_{i2}}{i'_2} = \frac{N_1^2}{N_2^2} \cdot R_2$$

$$X'_2 = \frac{N_1^2}{N_2^2} \cdot X_2$$

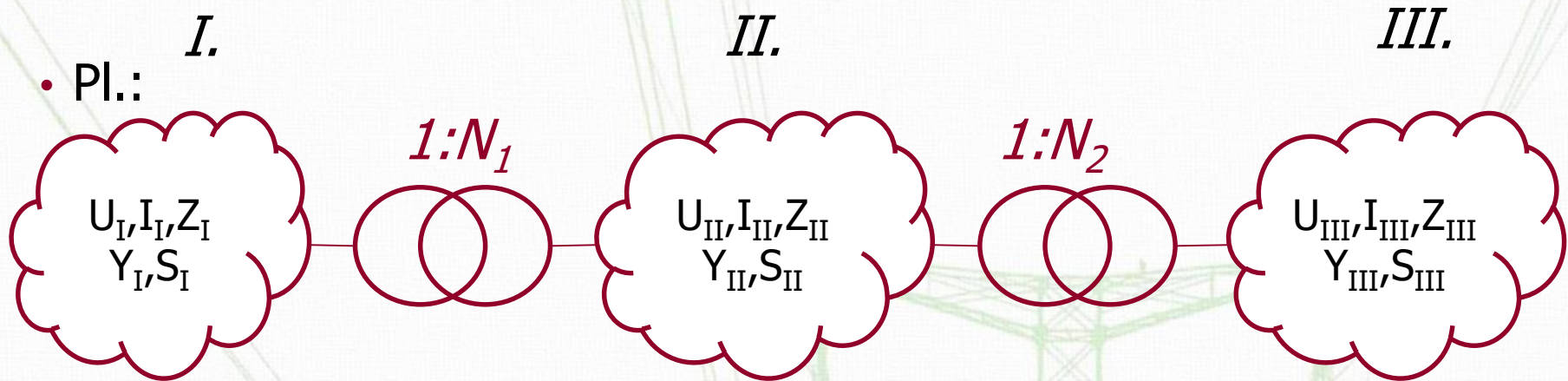
FONTOS: $S' = U'I'^* = UI^* = S$ (A teljesítmény azonos marad!)

Több transzformátor esetén mi a teendő?

- Egy azonos feszültség szintű hálózatrészt így fogunk jelölni
- Lehetnek benne: feszültséggenerátorok, áramgenerátorok, impedanciák
- Különböző helyeken mérhetünk feszültségeket, áramokat, ezekből impedanciákat, teljesítményeket, admittanciákat...
- **Minden elemet először saját feszültség szintjére számolunk, majd közös feszültség szintre hozzuk azokat!**

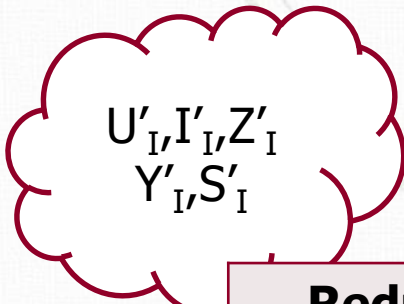
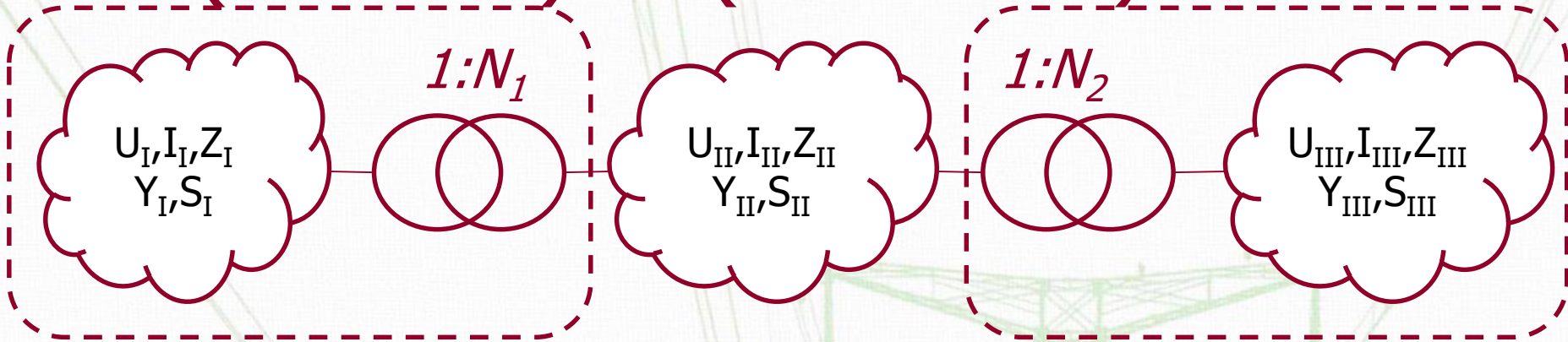


Több transzformátor esetén mi a teendő?

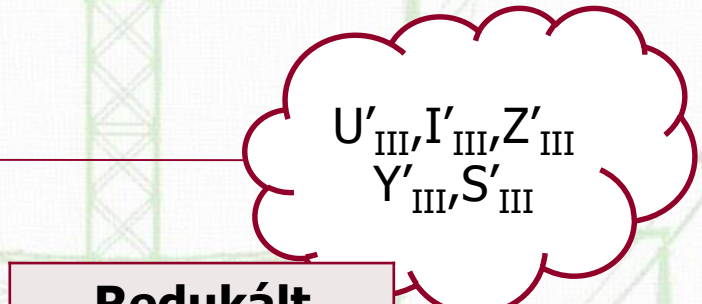
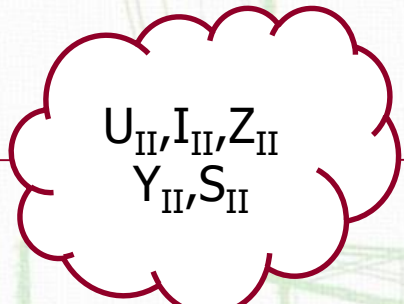


- 1. lehetőség: **mindent** a II. körzet **(közös) feszültség szintjére** redukálni
- 2. lehetőség: a III. körzet mennyiségeit redukálni a II. körzet feszültség szintjére, majd mindent az I. körzet feszültség szintjére
- 3. lehetőség: az I. körzet mennyiségeit redukálni a II. körzet feszültség szintjére, majd mindent a III. körzet feszültség szintjére

1.: (I. \rightarrow II.) és (III. \rightarrow II.)

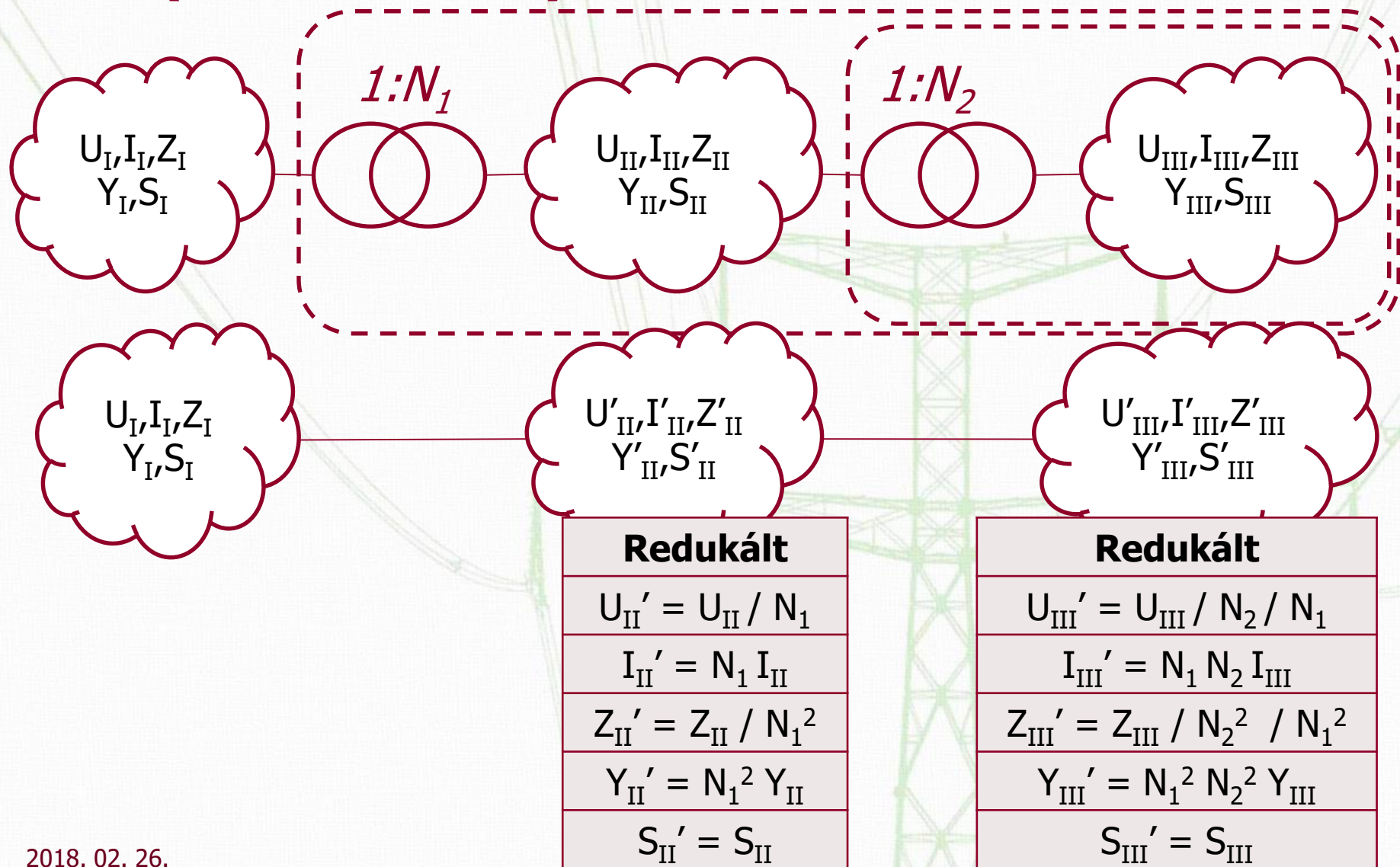


Redukált
$U'_I = N_1 U_I$
$I'_I = I_I / N_1$
$Z'_I = N_1^2 Z_I$
$Y'_I = Y_I / N_1^2$
$S'_I = S_I$

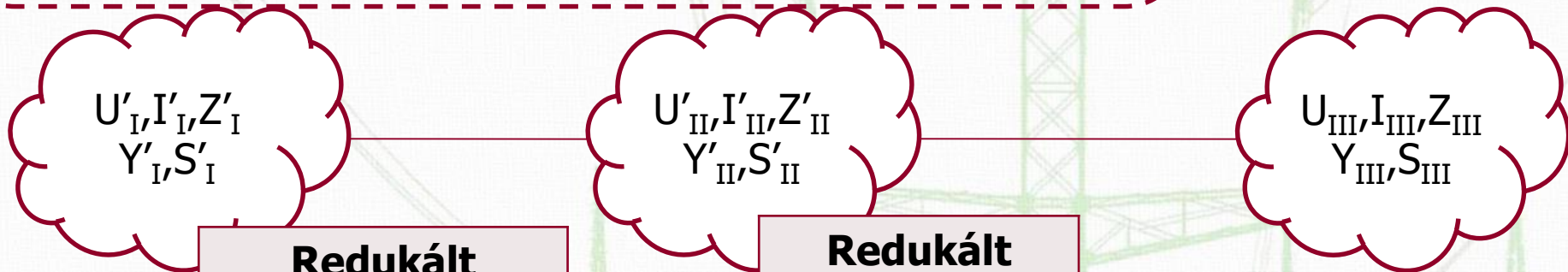
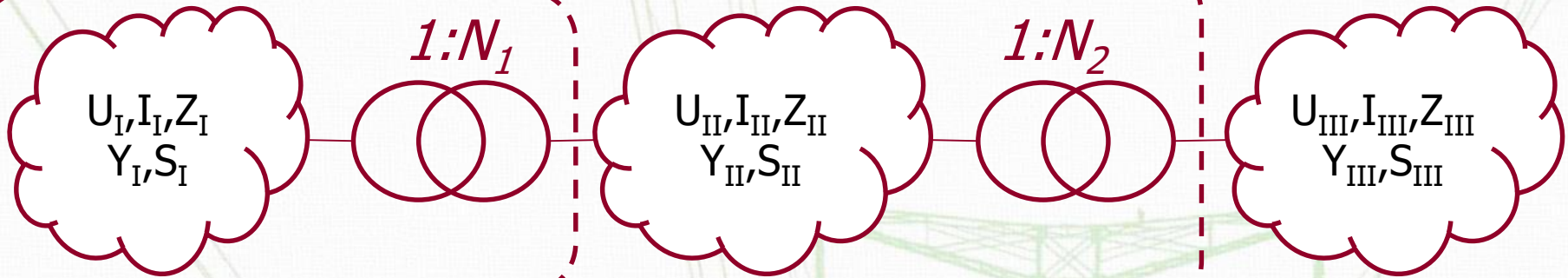


Redukált
$U'_{III} = U_{III} / N_2$
$I'_{III} = N_2 I_{III}$
$Z'_{III} = Z_{III} / N_2^2$
$Y'_{III} = N_2^2 Y_{III}$
$S'_{III} = S_{III}$

2.: (III. \rightarrow II.) \rightarrow I.



3.: (I. \rightarrow II.) \rightarrow III.



Redukált
$U'_I = N_2 N_1 U_I$
$I'_I = I_I / N_1 / N_2$
$Z'_I = N_2^2 N_1^2 Z_I$
$Y'_I = Y_I / N_1^2 / N_2^2$
$S'_I = S_I$

Redukált
$U'_{II} = N_2 U_{II}$
$I'_{II} = I_{II} / N_2$
$Z'_{II} = N_2^2 Z_{II}$
$Y'_{II} = Y_{II} / N_2^2$
$S'_{II} = S_{II}$

Példa

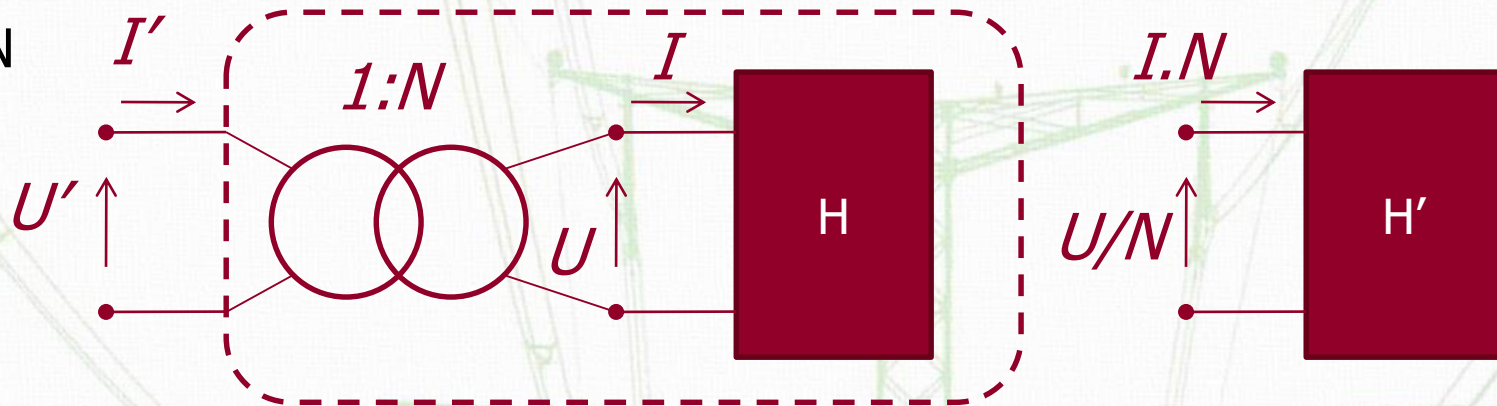
(Közös feszültségszintre redukálás)

Redukálás közös feszültség szintre 1.

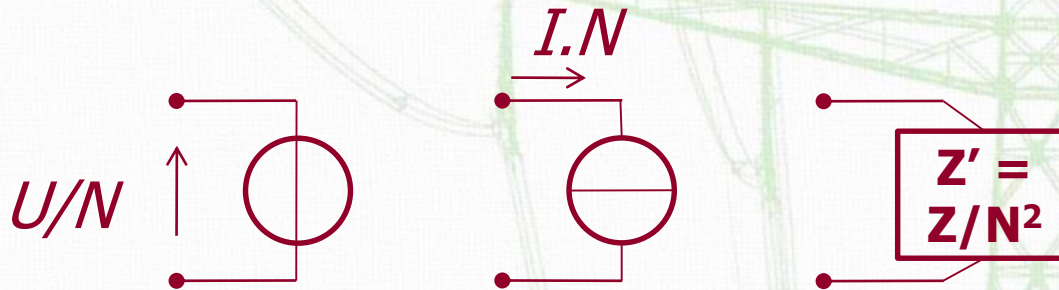
- Egy ideális transzformátoron keresztül mit „látunk” belőle?

- $U' = U/N$

- $I' = I N$



- Pl.:

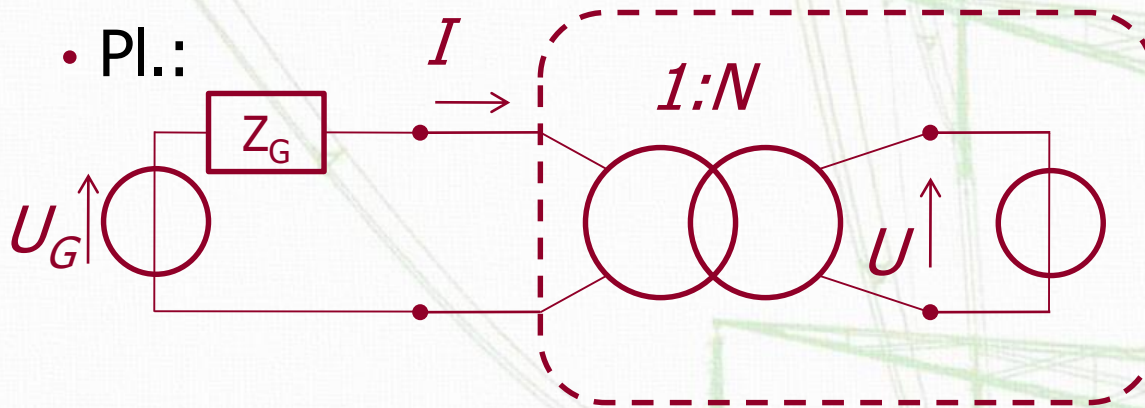


$$Z' = U'/I' = U/N / (I.N) = (U/I)/N^2 = Z/N^2$$

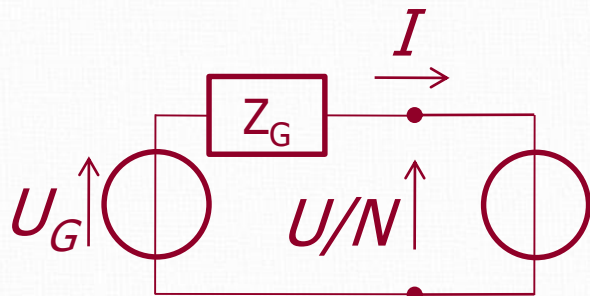
Redukálás közös feszültség szintre 1.

- Tehát számításakor a transzformátoron és a mögötte lévő hálózatrész „átalakítható” egy másik, transzformátort nem tartalmazó hálózatrésszé

• Pl.:



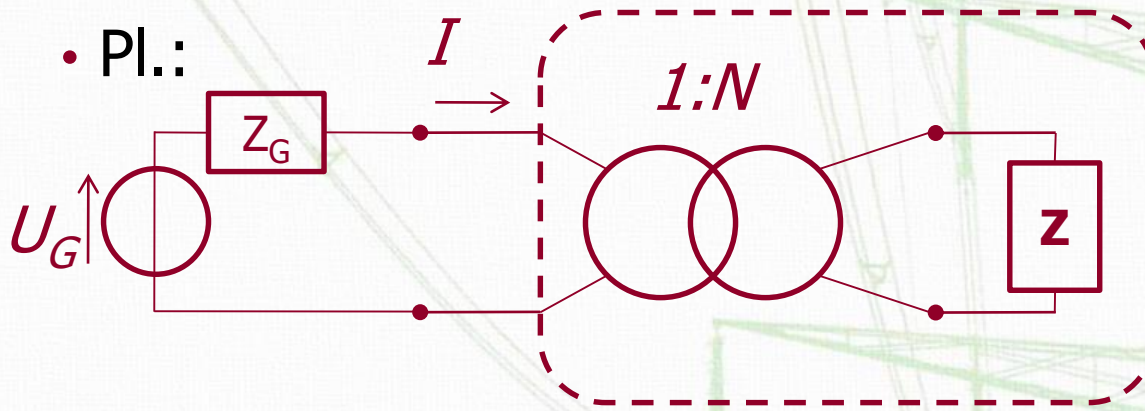
Ismert: U_G , Z_G , U és N
Keressük: I



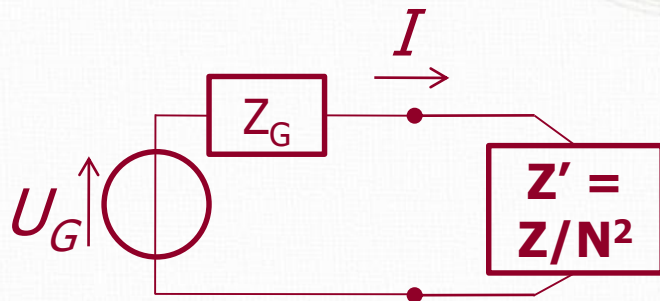
Redukálás közös feszültség szintre 1.

- Tehát számításakor a transzformátoron és a mögötte lévő hálózatrész „átalakítható” egy másik, transzformátort nem tartalmazó hálózatrésszé

• Pl.:

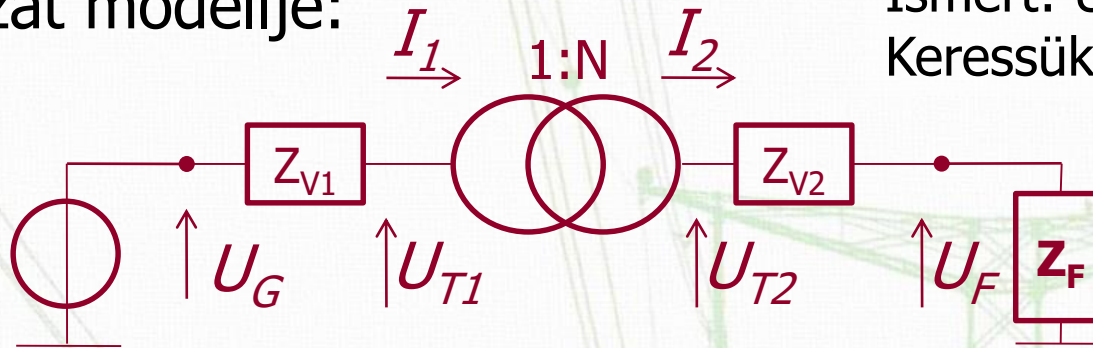


Ismert: U_G , Z_G , Z és N
Keressük: I



Redukálás közös feszültség szintre 2.

- Hálózat modellje:



Ismert: U_G , Z_{V1} , Z_{V2} , Z_F és N
 Keressük: I_2 , U_F

$$(1) \quad U_{T1} = U_G - Z_{V1} I_1$$

$$(2) \quad U_{T2} = N U_{T1}$$

$$(3) \quad I_2 = I_1 / N$$

$$(4) \quad U_F = U_{T2} - Z_{V2} I_2$$

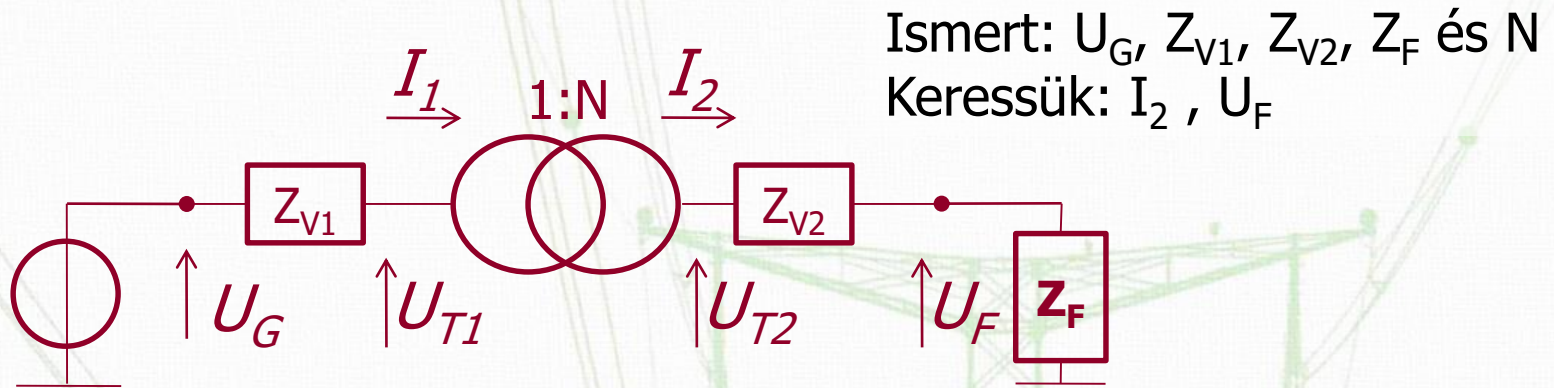
$$(5) \quad U_F = Z_F I_2$$

Helyettesítsük be:

$(3) \rightarrow (1) \rightarrow (2) \rightarrow (4) \rightarrow (5)$

Majd rendezzük...

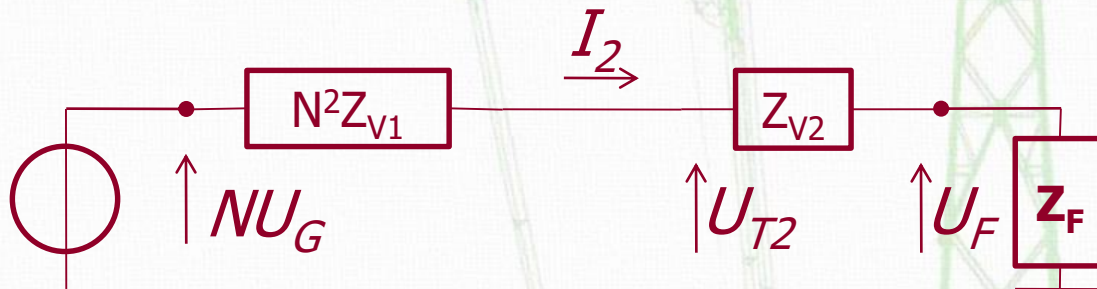
Redukálás közös feszültség szintre 2.



$$(U_G - Z_{V1} N I_2) \cdot N - Z_{V2} I_2 - Z_F I_2 = 0$$

Ebből

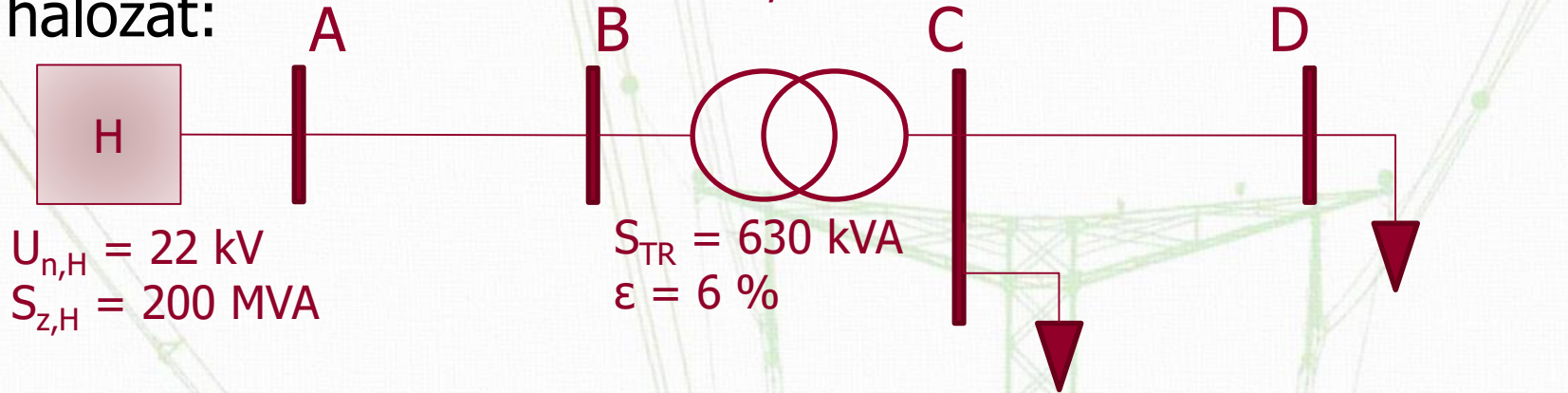
$$N U_G - (Z_{V1} N^2) I_2 - Z_{V2} I_2 - Z_F I_2 = 0$$



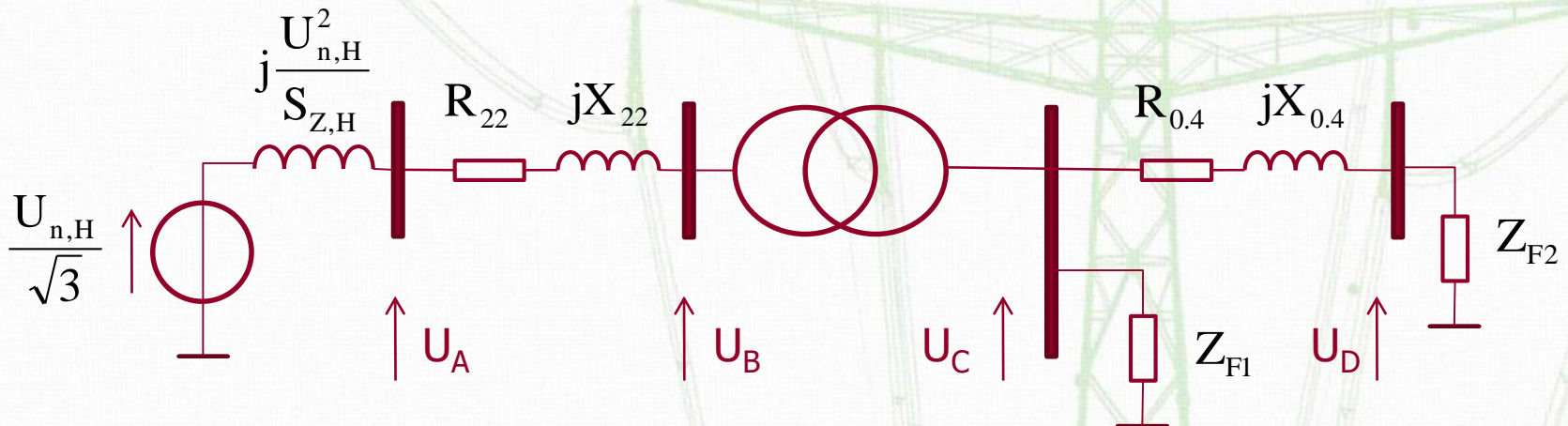
Innen I_2 , majd U_F könnyen számítható

Feladat

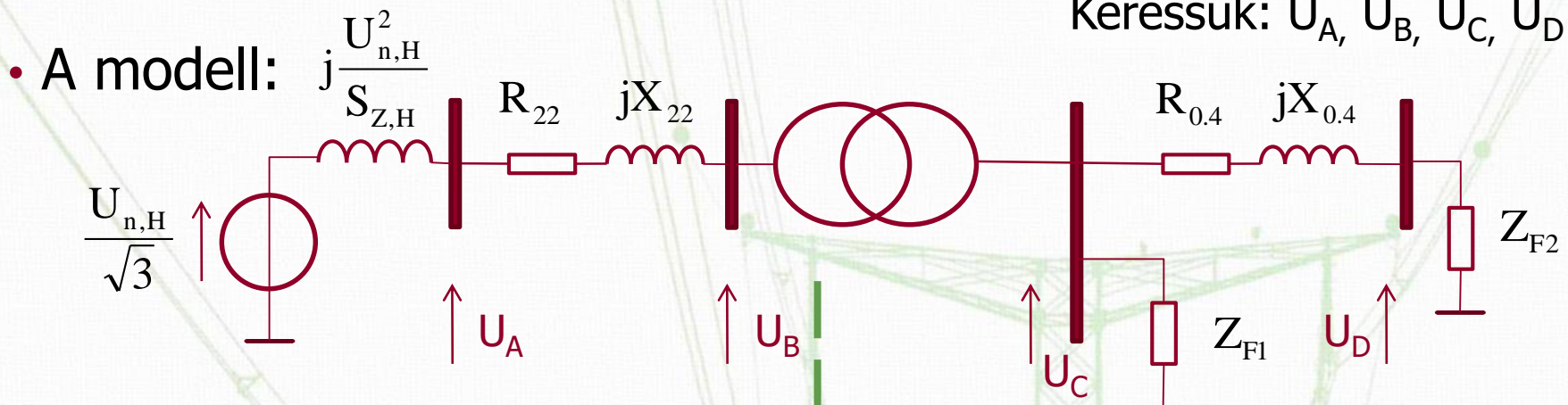
- A hálózat:



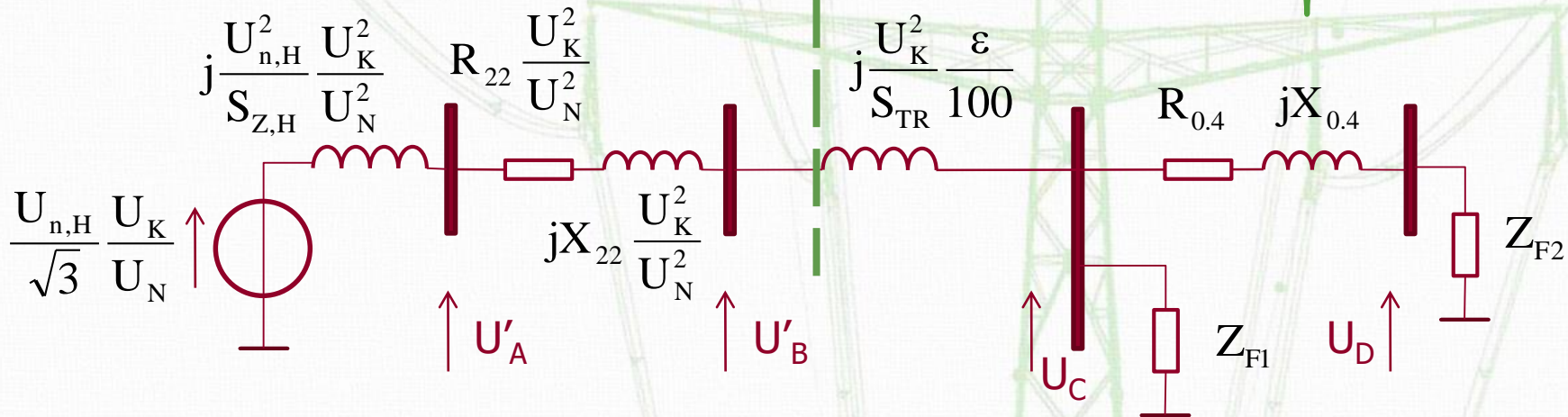
- És a modellje (itt minden feszültség fázisfeszültség!):



Redukálás a kisebb feszültségszintre



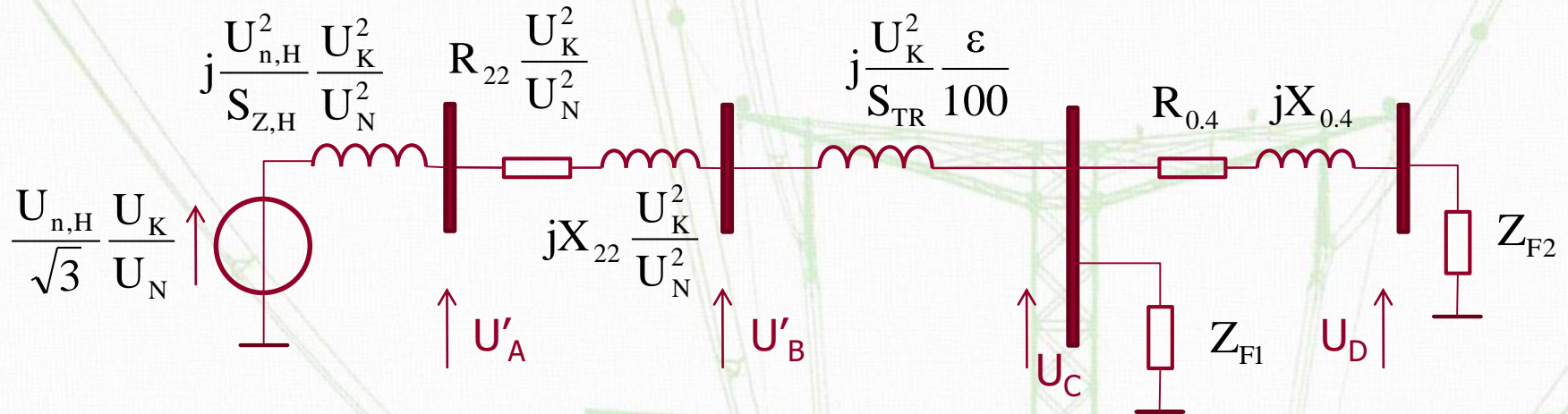
• Redukálva 0.4 kV-ra:



Redukálás a kisebb feszültség szintre

Keressük: U_A, U_B, U_C, U_D

- Eredmények:



- Fázisfeszültségek:

$$U'_A = \quad U'_B = \quad U_C = \quad U_D =$$

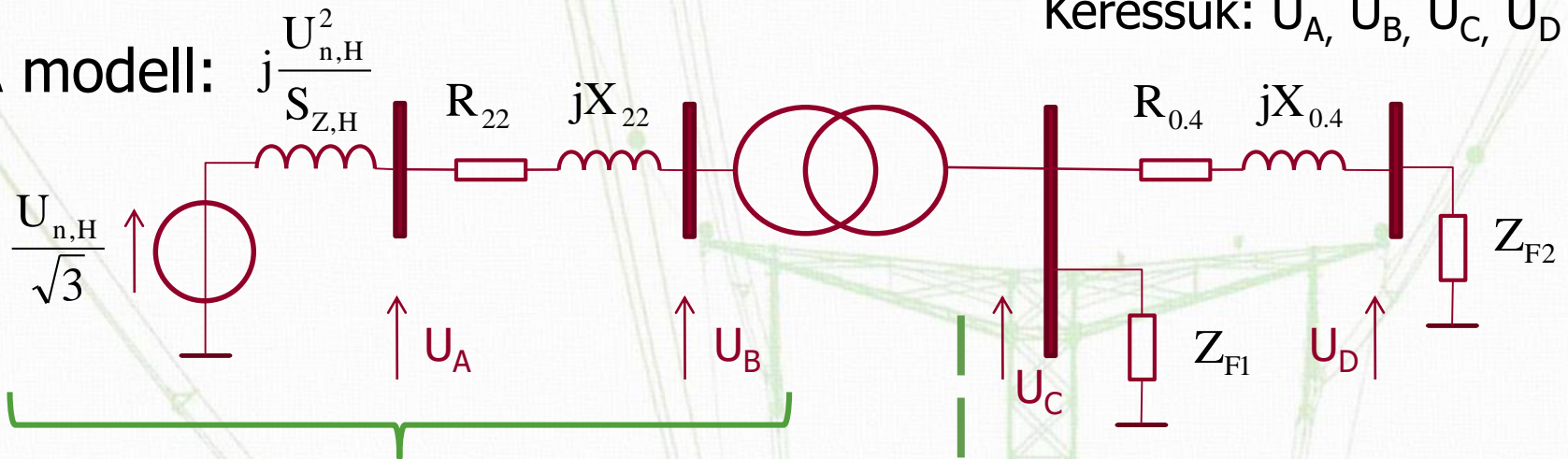
$$U_A = \quad U_B =$$

A vonali feszültségek a fázisfeszültségek $\sqrt{3}$ –szorosai.

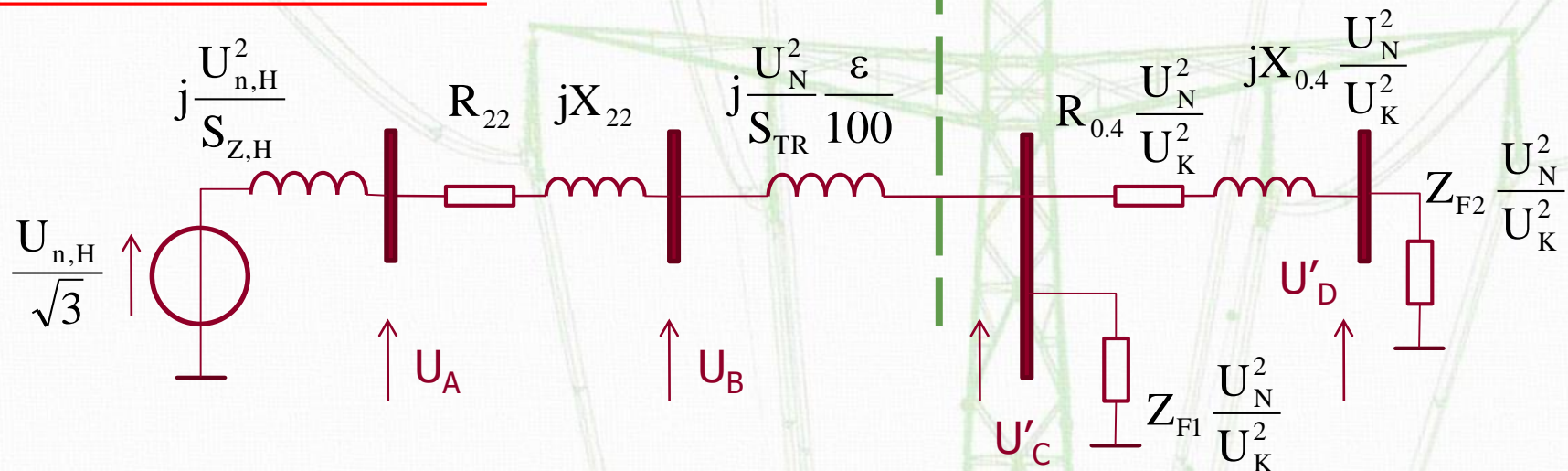
Redukálás a nagyobb feszültségszintre

- A modell: $j \frac{U_{n,H}^2}{S_{Z,H}}$

Keressük: U_A, U_B, U_C, U_D



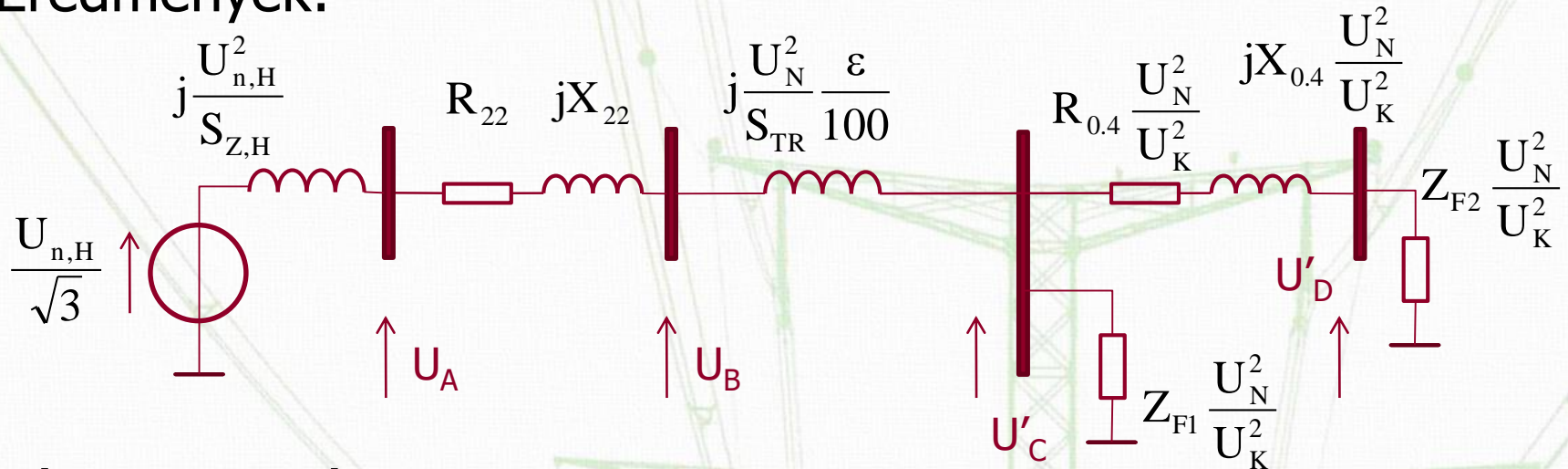
- Redukálva 22 kV-ra:



Redukálás a nagyobb feszültségszintre

Keressük: U_A, U_B, U_C, U_D

- Eredmények:



- Fázisfeszültségek:

$$\begin{array}{cccc}
 U_A = & U_B = & U'_C = & U'_D = \\
 & & U_C = & U_D =
 \end{array}$$

A vonali feszültségek a fázisfeszültségek $\sqrt{3}$ –szorosai.

The background features a faint, green-tinted image of high-voltage power lines and towers stretching across the landscape. A thin green line runs horizontally across the top of the slide, starting with a small wave-like graphic on the left.

Viszonylagos egységek alkalmazása

Miért jó?

- A hálózat egy pontján a fázisfeszültség 260 V.
 - Ez „nagy vagy kicsi”?
 - Attól függ, hogy mekkora az elvárt ill. a megengedett feszültség! 230 V névleges fázisfeszültségű hálózaton „nagy”, 12 kV névleges fázisfeszültségű hálózaton „kicsi”.
 - A KIF hálózat névleges feszültségének 1.126-szorosa (112.6%-a), holott a megengedett maximum a névleges +7.5%, azaz 107.5%.
 - Érdeemes valamihez viszonyítani, jelen esetben a névleges fázisfeszültséghez.
- A transzformátor 2 óráig a névleges áramának 1.2-szeresével túlterhelhető (károsodás nélkül).
 - Emiatt érdemes az áramát nem A-ben, hanem a névleges áramához viszonyítva megadni.

Miért jó?

- ...tehát valamihez viszonyítunk, olyasmi, mint a %
- Számítások egy részében elkerülhető a $\sqrt{3}$ használata
- Ideális transzformátor elhagyható (mindkét oldalán a v.e-ben kifejezett feszültség és áram egyforma)
- Mértékegységek elhagyhatók (mértékegység rendszertől függetlenné válnak a számértékek)
- A hálózatszámító szoftverek ezt alkalmazzák általában

Alapok

- Ahhoz, hogy egy mennyiséget v.e. –ben kifejezzünk, meg kell adni a **viszonyítási alapot**.
- Áramot áramhoz, fázisfeszültséget fázisfeszültséghez, vonalit vonalhoz, 1f teljesítményt (voltampert) 1f teljesítményhez, 3f-et háromfázisúhoz viszonyítunk!
- Alapmennyiségnek (egy adott feszültség szinten) elvileg bármekkora érték választható.

Példa (v.e. értelmezése)

- Kisfeszültségű elosztóhálózat
 - 750 m egyfázisú vezeték (95 mm² Al, $\rho = 0.282 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m}$)
 - Vezetéknek csak ellenállása van
 - 75m-enként egy egyfázisú fogyasztó (10 A, $\cos\varphi = 1$)
 - Tápponton $U = 231 \text{ V}$
 - Feszültség alap: $U_a = 231 \text{ V}$
-
- $r = 0.282 \text{ } \Omega\text{mm}^2/\text{m} * 1000 \text{ m} / 95 \text{ mm}^2 = 0.297 \text{ } \Omega/\text{km}$
 - $r \approx 0.3 \text{ } \Omega/\text{km}$
 - $R = r * 75 \text{ m} = 0.022 \text{ } \Omega$

Példa (v.e. értelmezése)

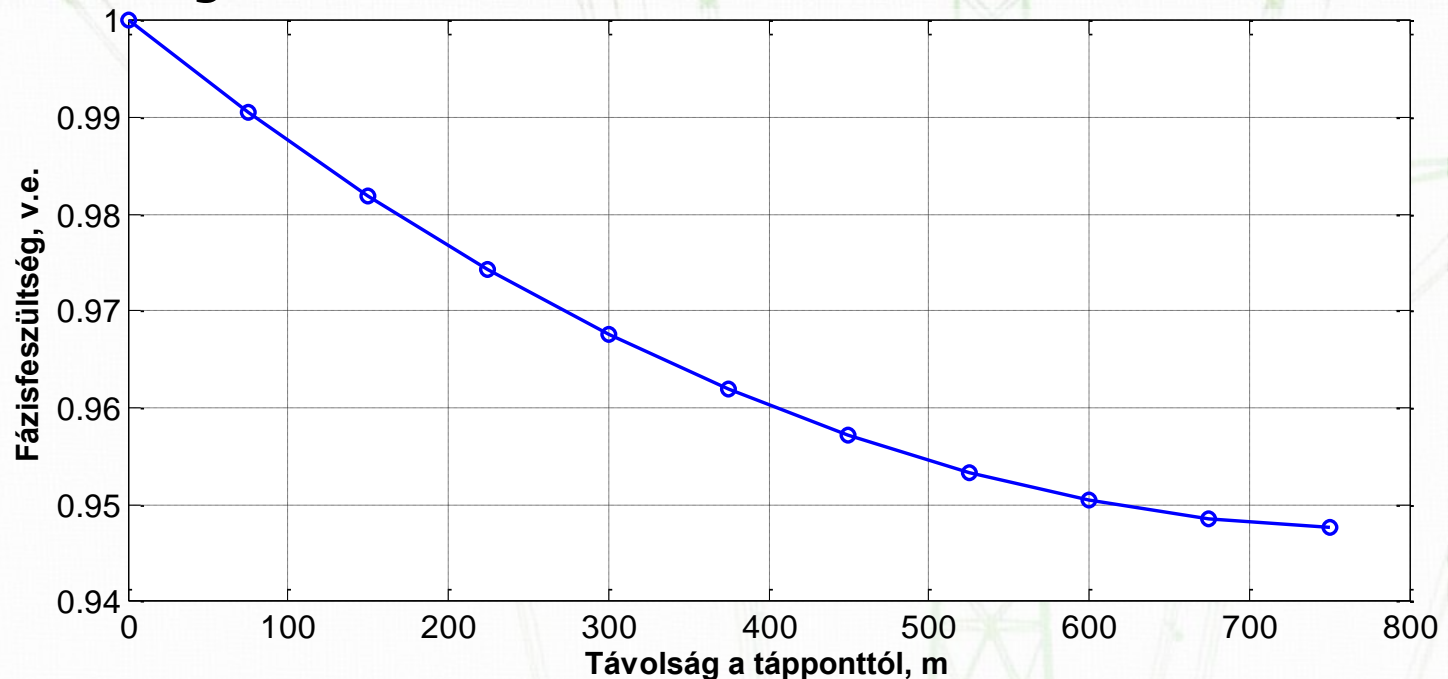
- Szakaszonkénti feszültségesek:

2.20	1.98	1.76	1.54	1.32	1.10	0.88	0.66	0.44	0.22	V
------	------	------	------	------	------	------	------	------	------	---

- Feszültségek a fogyasztóknál:

228.8	226.8	225.0	223.5	222.2	221.1	220.0	219.6	219.1	218.9	V
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	---

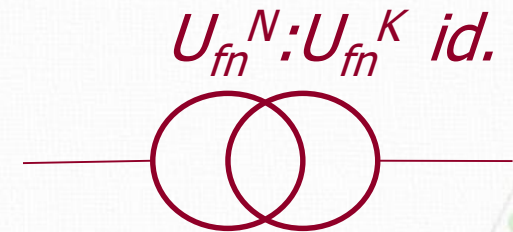
- Fázisfeszültségek v.e.-ben:



The background is a faded, light green image of high-voltage power lines and transmission towers. The lines are strung between the towers, and the towers are lattice-structured. The overall tone is light and technical.

Viszonylagos egységek használata több feszültség szintű hálózat esetén

Ideális transzformátor



- Ha az N oldalon a fázisfeszültség pl. $1.05 U_{fn}^N$, akkor a K oldalon $1.05 U_{fn}^K$ lesz.
- Legyen az N oldalon a feszültségalap $U_a^N = U_{fn}^N$
- Ekkor az N oldali feszültség 1.05 v.e.
- A transzformátor elhagyható (a számításokhoz rövidzárral helyettesíthető), ha a K oldali feszültség is 1.05 v.e.
- Ez akkor áll fenn, ha a K oldali feszültségalap $U_a^K = U_{fn}^K$
- **Általános szabály:** ha U_a^N adott, akkor $U_a^K = U_a^N U_{fn}^K / U_{fn}^N$
(ekkor a transzformátor elhagyható, hiszen mindkét oldalán a feszültség v.e.-ben kifejezve egyforma)

A v.e. számítás szabályai, menete

- Választunk egy **háromfázisú teljesítményalapot** (S_a). Ez minden „körzetben” azonos!
- Transzformátorok a hálózatot „fesz.körzetekre” osztják, valamely körzetben választunk egy **feszültség-alapot**.
- A transzformátorok feszültség-áttételei segítségével az **összes körzetben kiszámítjuk a feszültség-alapot**.
- Ha szükséges, kiszámítjuk az áram- és impedancia alapmennyiségeket is **körzetenként**:

$$I_a = \frac{S_a}{\sqrt{3}U_a} \quad Z_a = \frac{U_a^2}{S_a}$$

ahol U_a a vonali feszültség-alap, és S_a a háromfázisú teljesítményalap.

- **Minden mennyiséget átszámítunk v.e.-re, az ideális transzformátorokat elhagyjuk.**

A v.e. számítás szabályai, menete

- A szükséges számítások végén a kérdéses mennyiségek dimenzionális értékeit megkapjuk, ha v.e.-ben kifejezett értéküket megszorozzuk az adott körzetben érvényes alapmennyiséggel.

FONTOS:

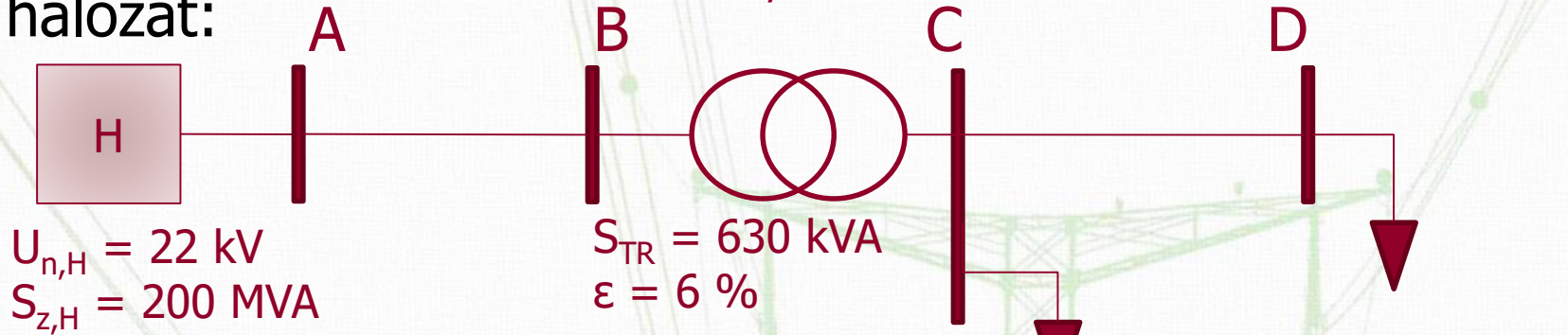
- Két alapmennyiséget tetszőlegesen megválaszthatunk, az összes többi ebből kiadódik.
- Ha U_a a vonali feszültségalap, akkor $\frac{U_a}{\sqrt{3}}$ a fázisfeszültségek viszonyítási alapja.
- Ha S_a a háromfázisú teljesítményalap, akkor $S_a/3$ az egyfázisú teljesítmények viszonyítási alapja.

Példa

Viszonylagos egységek használata több feszültség szintű hálózat esetén

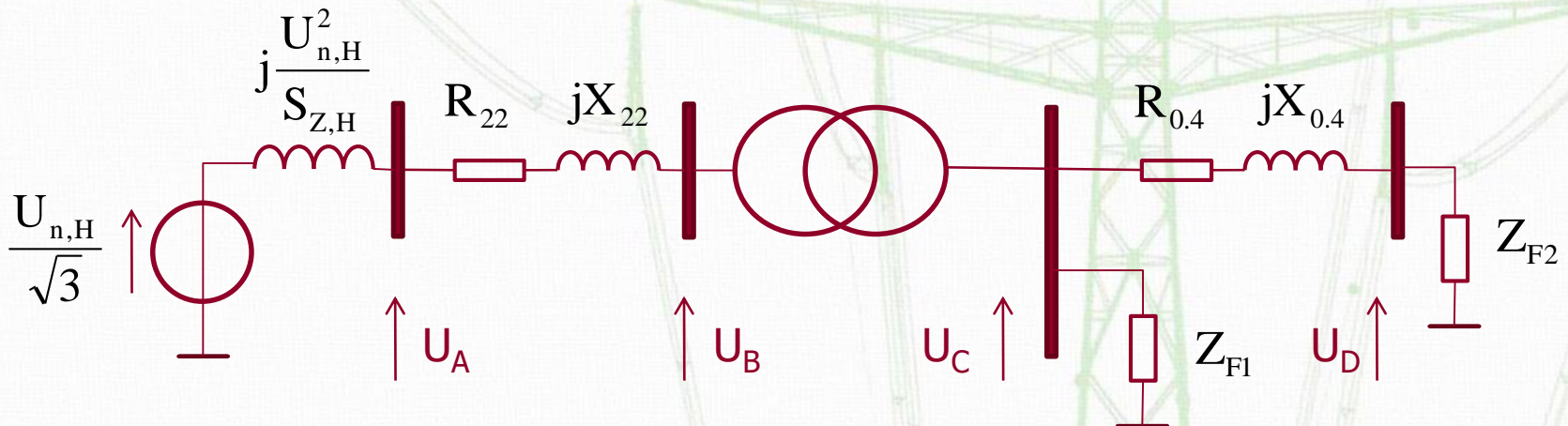
Feladat

- A hálózat:



$U_{n,H} = 22 \text{ kV}$
 $S_{z,H} = 200 \text{ MVA}$

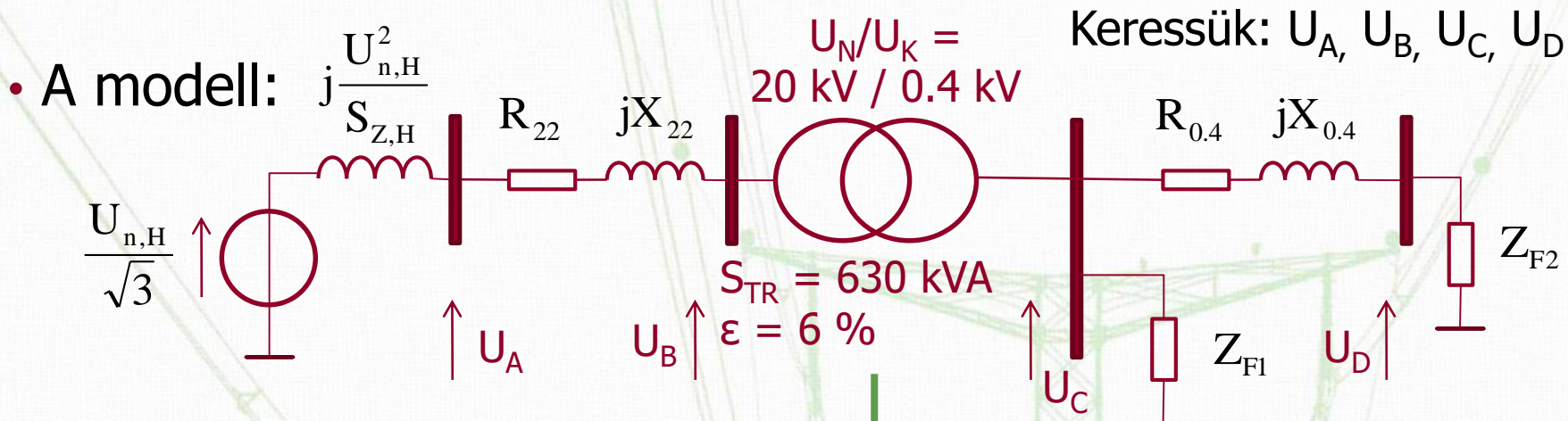
- És modellje (itt minden feszültség fázisfeszültség!):



The background features a faint, light green image of high-voltage power lines and towers, overlaid on a white grid pattern. A green waveform is visible in the top left corner.

Hogyan válasszunk alpmennyiségeket?

Alapmennyiségek felvétele (A változat)

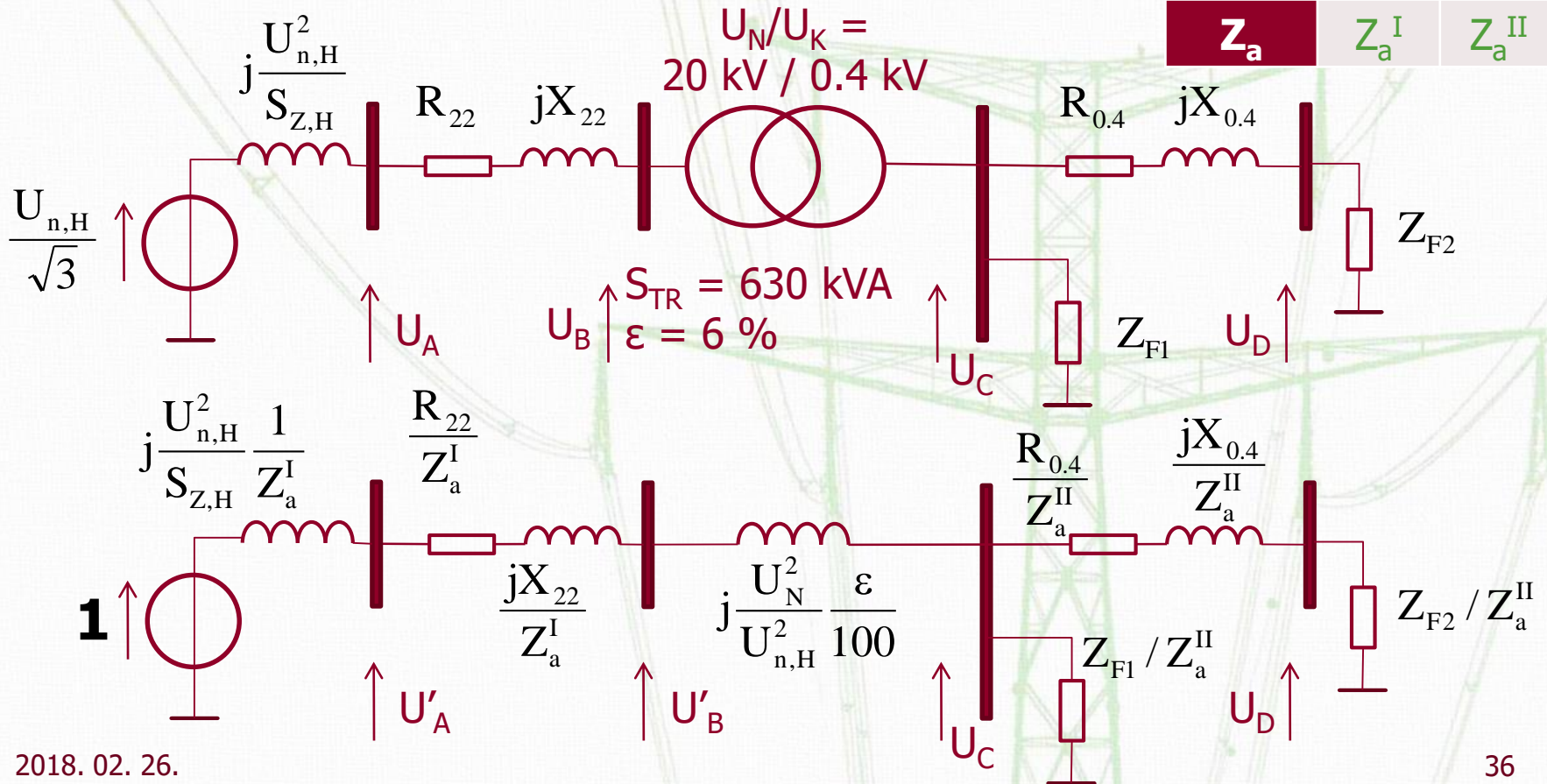


Alapmennyiségek	I. körzet (Köf)	II. körzet (Kif)
3f teljesítmény	$S_{a3f} = S_{TR}$	$S_{a3f} = S_{TR}$
Vonali feszültség	$U_{av}^I = U_{n,H}$	$U_{av}^{II} = U_{av}^I U_K / U_N$
Impedancia	$Z_a^I = (U_{av}^I)^2 / S_{a3f}$	$Z_a^{II} = (U_{av}^{II})^2 / S_{a3f}$

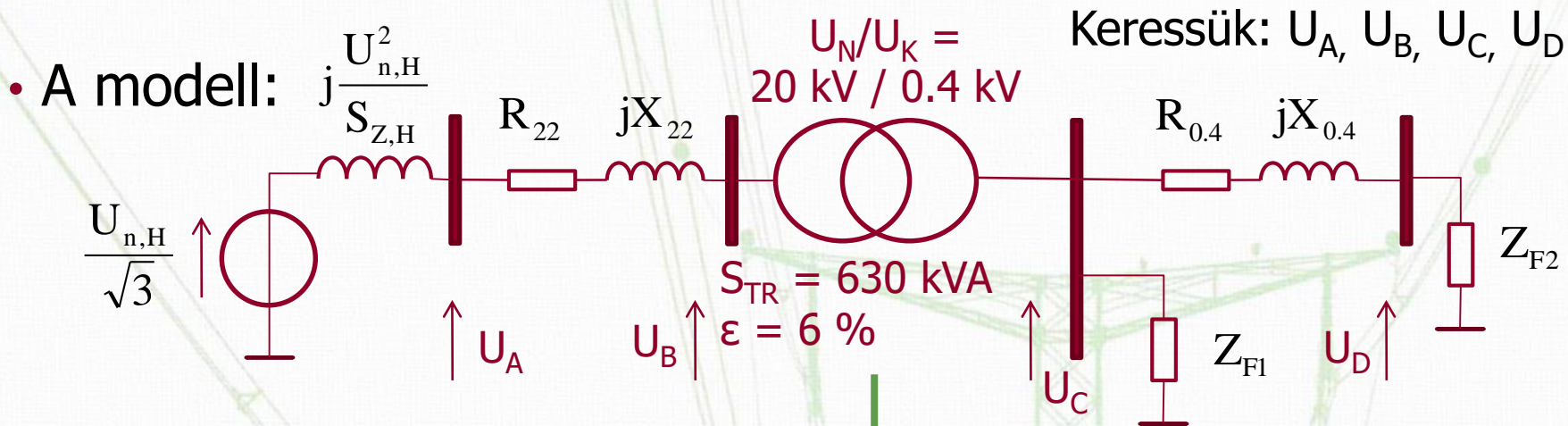
Alapmennyiségek felvétele (A változat)

- Következmény:

Alap	I.	II.
S_{a3f}	S_{TR}	S_{TR}
U_{av}	$U_{n,H}$	U_{av}^{II}
Z_a	Z_a^I	Z_a^{II}



Alapmennyiségek felvétele (B változat)

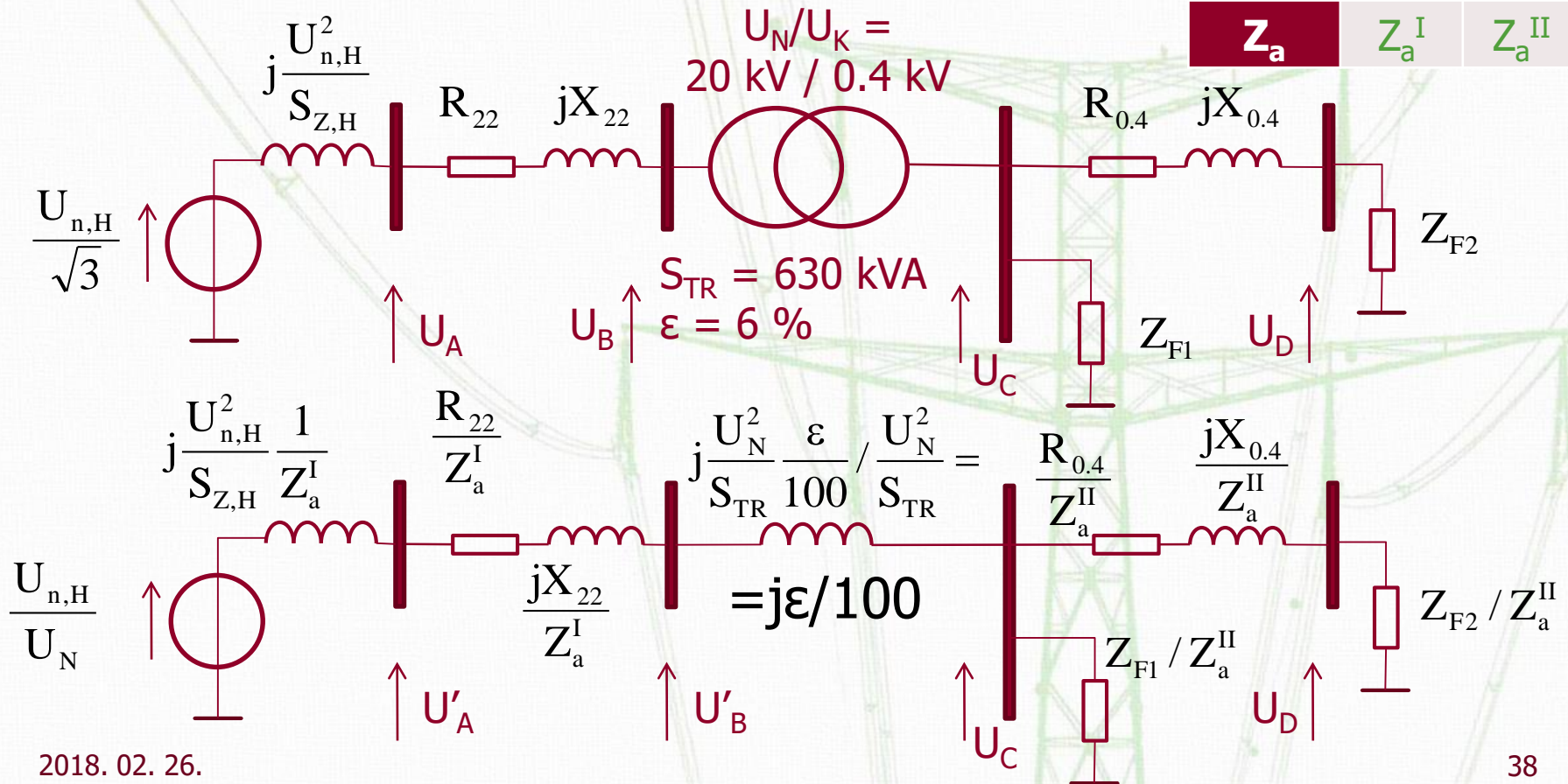


Alapmennyiségek	I. körzet (Köf)	II. körzet (Kif)
3f teljesítmény	$S_{a3f} = S_{TR}$	$S_{a3f} = S_{TR}$
Vonali feszültség	$U_{av}^I = U_N$	$U_{av}^{II} = U_{av}^I U_K / U_N = U_K$
Impedancia	$Z_a^I = (U_{av}^I)^2 / S_{a3f}$	$Z_a^{II} = (U_{av}^{II})^2 / S_{a3f}$

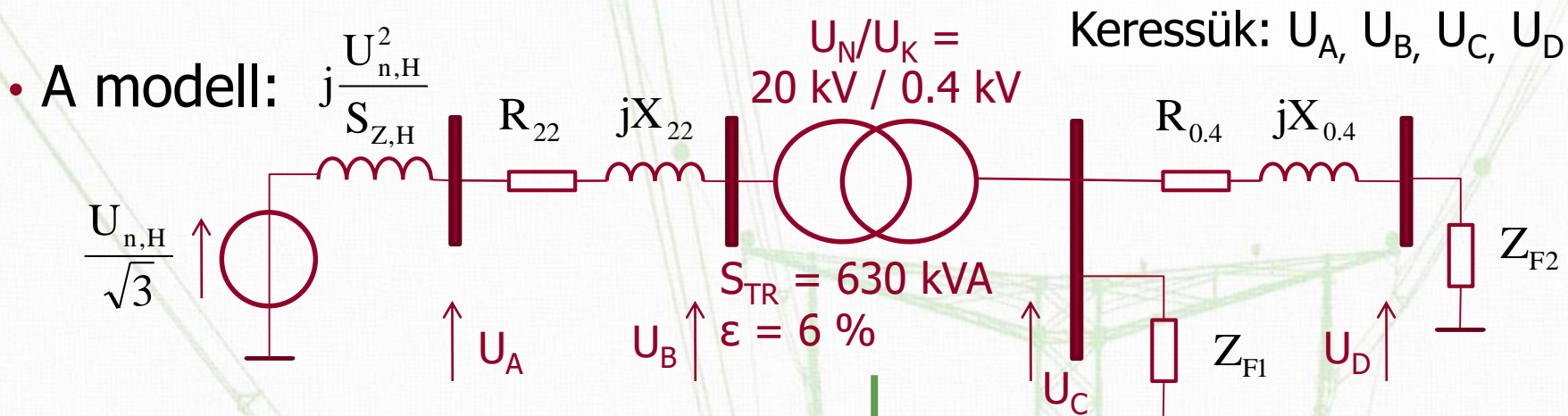
Alapmennyiségek felvétele (B változat)

- Következmény:

Alap	I.	II.
S_{a3f}	S_{TR}	S_{TR}
U_{av}	U_N	U_K
Z_a	Z_a^I	Z_a^{II}

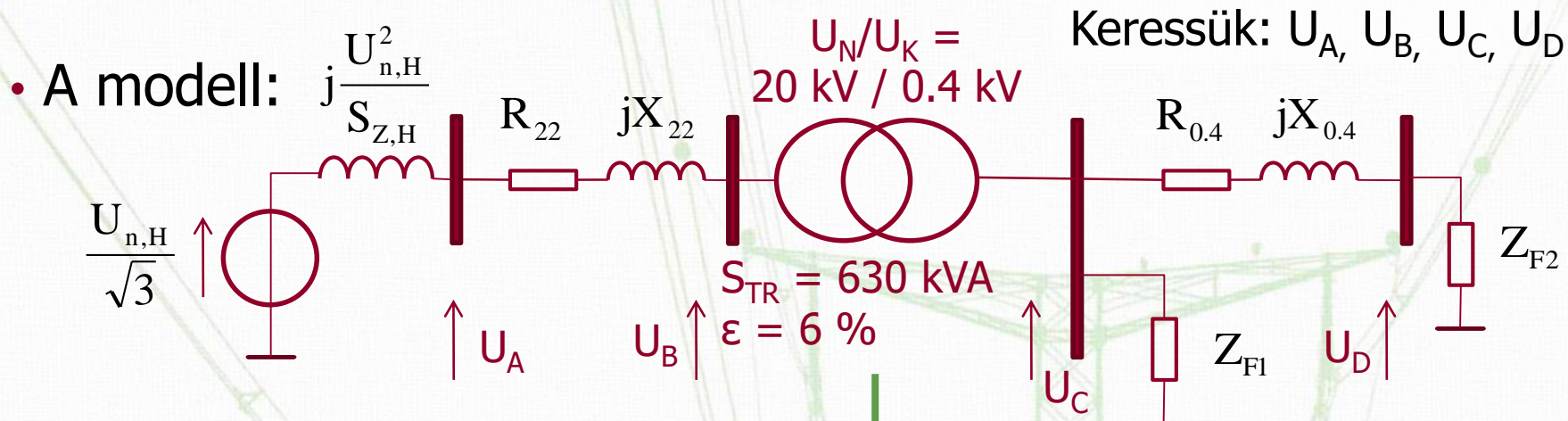


Most pl. maradunk az „A” változatnál:



Alapmennyiségek	I. körzet (Köf)	II. körzet (Kif)
3f teljesítmény	$S_{a3f} = S_{TR}$	$S_{a3f} = S_{TR}$
Vonali feszültség	$U_{av}^I = U_{n,H}$	$U_{av}^{II} = U_{av}^I U_K / U_N$
Impedancia	$Z_a^I = (U_{av}^I)^2 / S_{a3f}$	$Z_a^{II} = (U_{av}^{II})^2 / S_{a3f}$

Alapmennyiségek számszerűen

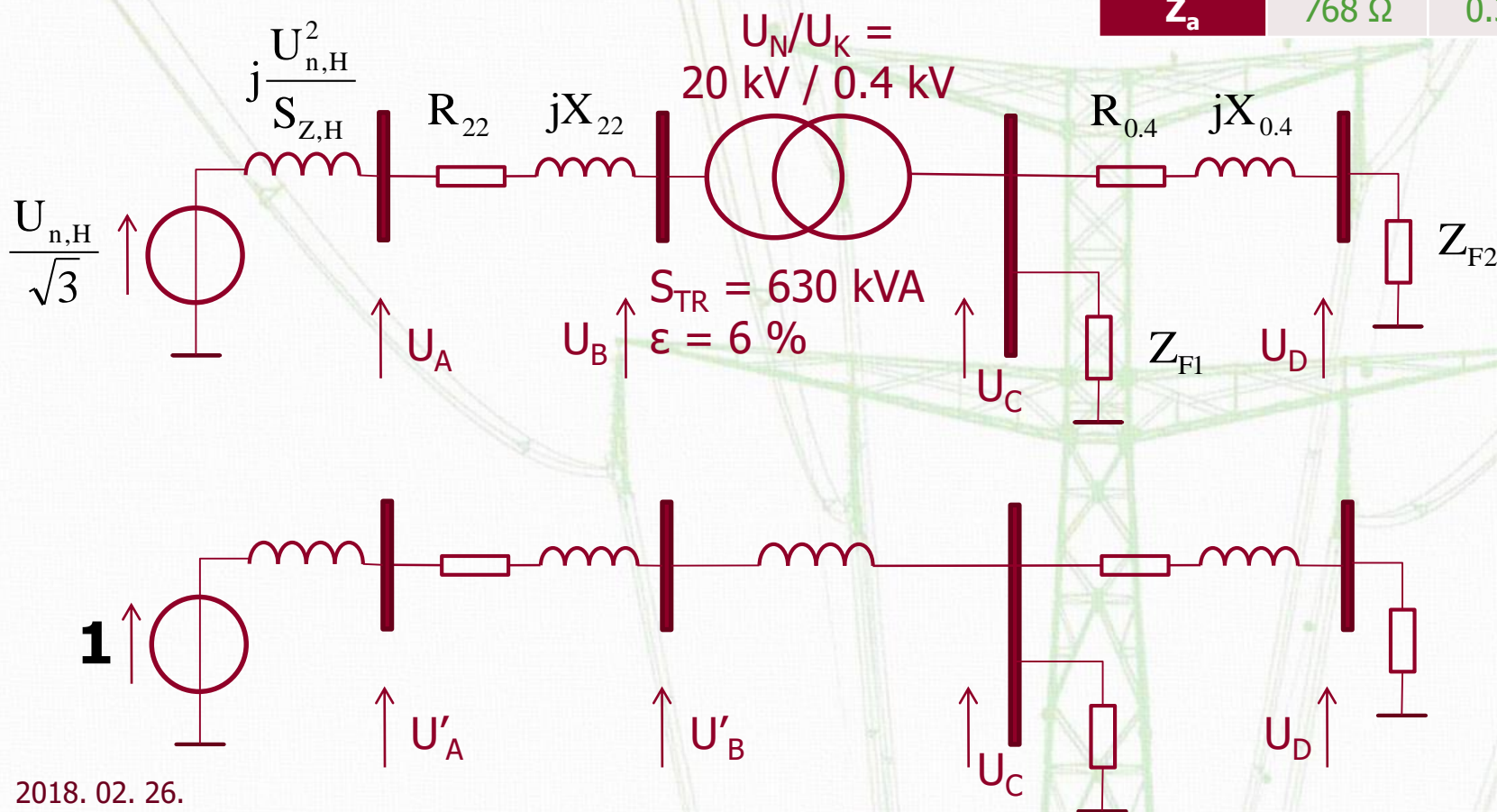


Alapmennyiségek	I. körzet (Köf)	II. körzet (Kif)
3f teljesítmény	630 kVA	630 kVA
Vonali feszültség	22 kV	$22 \cdot 0.4 / 20 = 0.44 \text{ kV}$
Impedancia	$22^2 / 0,63 = 768 \ \Omega$	$0.44^2 / 0,63 = 0.31 \ \Omega$

A modell paramétereit v.e.-ben:

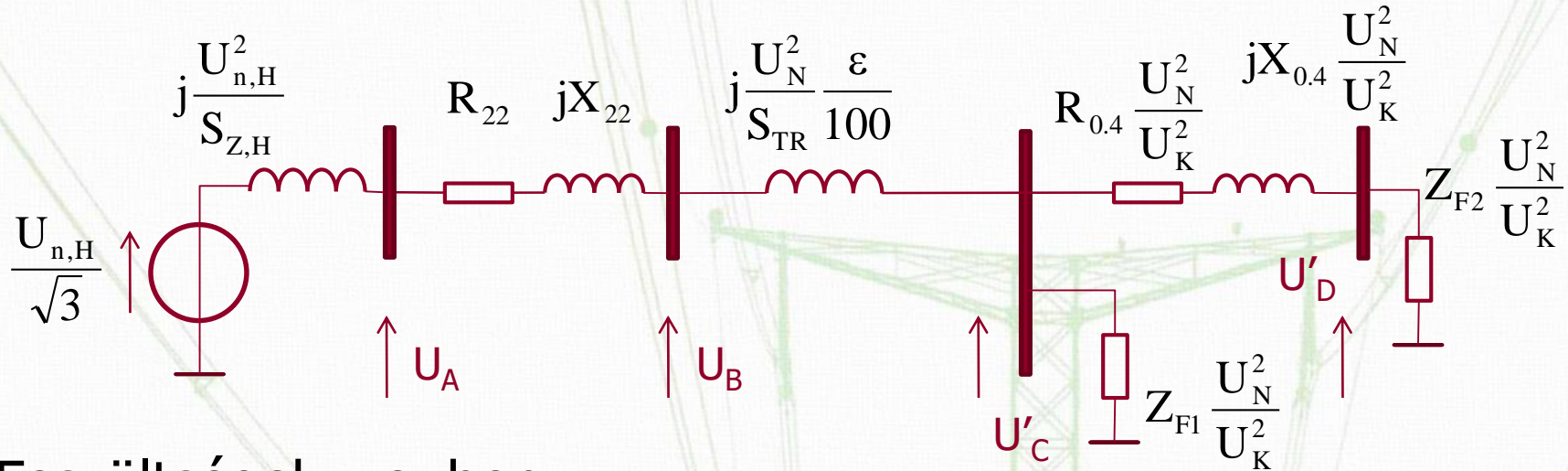
- Következmény:

Alap	I.	II.
S_{a3f}	630 kVA	630 kVA
U_{av}	22 kV	0.44 kV
Z_a	768 Ω	0.31 Ω



Eredmények

Keressük: U_A , U_B , U_C , U_D



- Feszültségek v.e.-ben:

$$u_A = \quad u_B = \quad u_C = \quad u_D =$$

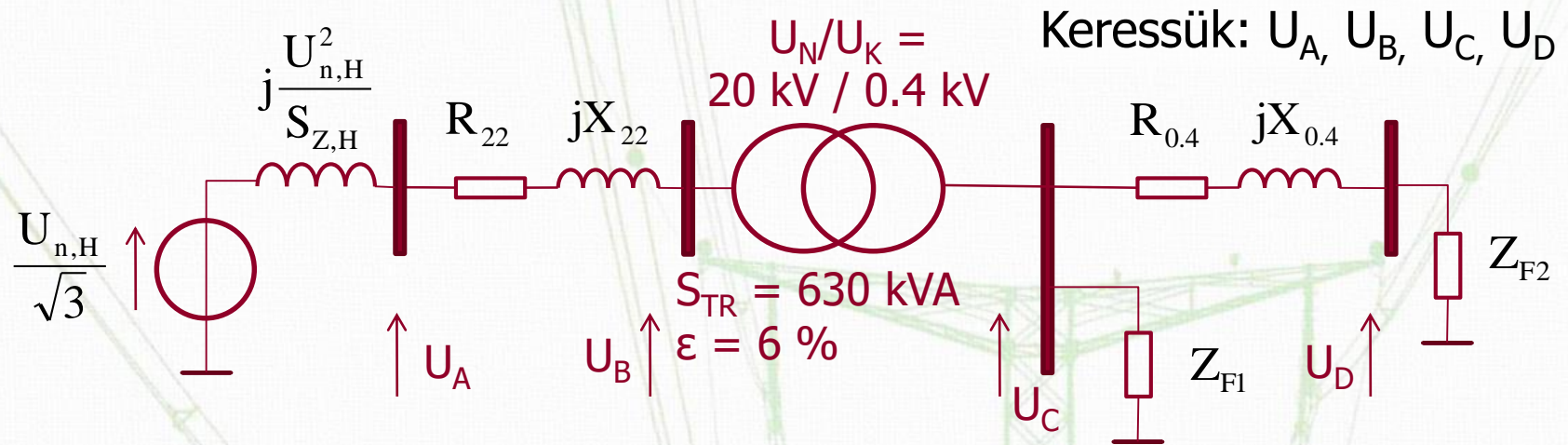
- Fázisfeszültségek:

$$U_A = \quad U_B = \quad U_C = \quad U_D =$$

A vonali feszültségek a fázisfeszültségek $\sqrt{3}$ –szorosai.

Transzformátor kapcsolási csoportjának figyelembe vétele

A pozitív sorrendű modell ismét:



- Legyen a transzformátor kapcsolási csoportja **Dy5**
 - Ennek jelentése (poz. sorr. feszültségekre, és áramokra hasonlóan):
- $$U_K = U_N \cdot e^{-j \cdot 5 \cdot 30^\circ}$$

Pozitív sorrendű eset

- Tehát ha kiszámoltuk (akármelyik módszerrel) a poz.sorr. feszültségeket (szimmetrikus esetben az „R” fázis feszültségeit):

$$U_A = \quad U_B = \quad U_C = \quad U_D =$$

- akkor az utolsó lépésben valamelyik oldalt a „helyére” kell forgatni, pl.:

$$U_A = \quad U_B = \quad U_{Cforg} = U_C e^{-j150^\circ} \quad U_D = U_D e^{-j150^\circ}$$

- VAGY (jelen esetben – egyelőre – mindegy, hogy melyik utat választjuk)

$$U_{Aforg} = U_A e^{+j150^\circ} \quad U_{Bforg} = U_B e^{+j150^\circ} \quad U_C = \quad U_D =$$

- És ugyanígy járunk el az áramok esetén.

Köszönöm a figyelmet!



Villamos Energetika Tanszék
Villamos Művek és Környezet Csoport