

Villamos energetika gyakorlat

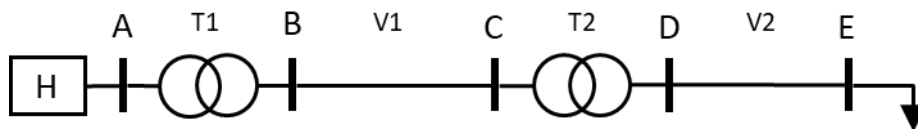
Hálózatszámítási módszerek,
zárlati áramok, zárlati teljesítmények
áram és impedanciatartó fogyasztó

Tartalom

Hálózat.....	1
Hálózati elemek pozitív sorrendű modelljei.....	2
3F zárlat a C sínen (közös feszültség)	3
B és C sín zárlati teljesítménye	6
3F zárlat a kiefeszültségű E sínen (viszonylagos egység)	8
E sín zárlati teljesítménye (viszonylagos egység)	10
Szimmetrikus áramtartó fogyasztó	11
Szimmetrikus impedanciatartó fogyasztó.....	13
Szimmetrikus fogyasztó felvett teljesítménye	14

Hálózat

Adott az alábbi hálózat és paraméterei:



Mögöttes hálózati táppont (H)	T ₁ transzformátor	20 kV szabadvezeték (V1)	T ₂ transzformátor	0,4 kV szabadvezeték (V2)
$U_n^H = 120 \text{ kV}$ $S_z^H = 1200 \text{ MVA}$ (R/X≈0)	$U_N^{T1}/U_K^{T1} = 132/22 \text{ kV}$ $S_n^{T1} = 25 \text{ MVA}$ $\varepsilon^{T1} = 10\%$	$\ell^{V1} = 10 \text{ km}$ $r^{V1} = 0,3 \Omega/\text{km}$ $x^{V1} = 0,3 \Omega/\text{km}$	$U_N^{T2}/U_K^{T2} = 20/0,4 \text{ kV}$ $S_n^{T2} = 160 \text{ kVA}$ $\varepsilon^{T2} = 5\%$	$\ell^{V2} = 1 \text{ km}$ $r^{V2} = 0,4 \Omega/\text{km}$
Nagyfeszültség	Középfeszültség		Kiefeszültség	

Teljesen szimmetrikus hálózat és szimmetrikus terhelés helyettesíthető egyetlen fázisra felírt modellel, ezt nevezük pozitív sorrendű modellnek. Emlékezzünk vissza az első gyakorlat háromfázisú sütőjére, és a szükséges vezeték méretezésére! Az alkalmazott hálózati modell egy pozitív sorrendű modell volt: a (végtelen) hálózati táppontot egy 231 V-ot (fázis) feszültségforrással képeztük le, a fázisvezetőt egyetlen vezető ellenállásával, a fogyasztót pedig egy fázis fogyasztásával.

Hálózati elemek pozitív sorrendű modelljei

Számítsuk ki a H, T1 és V1 elemek pozitív sorrendű modelljét!

TÁPPONT

A mögöttes hálózat modellje egy Thevenin-generátor. A táppont névleges feszültségéből és zárlati teljesítményéből tudjuk számolni a helyettesítőkép impedanciáját, amely jelen esetben ($R/X \approx 0$) megegyezik a mögöttes hálózat reaktanciájával:

$$X^H = \frac{(U_n^H)^2}{S_z^H} = \frac{(120 \text{ kV})^2}{1200 \text{ MVA}} = 12 \Omega$$

A Thevenin modell feszültségforrásának feszültsége az aktuális hálózati állapottól függ. A legtöbb feladatban, így most is, a hálózat névleges feszültségen üzemel, ebből következően a névleges feszültség fázis értéke:

$$U^H = \frac{120 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 69,28 \text{ kV}$$

TRANSZFORMÁTOR

A kéttekercselésű transzformátorok pozitív sorrendű helyettesítő képe egyetlen reaktancia, amely értéke attól függ, hogy a transzformátor kisebb vagy nagyobb feszültségű oldalára számítjuk ki. A T1 transzformátor reaktanciája a nagyobb és kisebb feszültségű oldalon:

$$X^{T1N} = \frac{\varepsilon^{T1} (U_N^{T1})^2}{100 S_n^{TR}} = \frac{10 (132 \text{ kV})^2}{100 \cdot 25 \text{ MVA}} = 69,7 \Omega$$
$$X^{T1K} = \frac{\varepsilon^{T1} (U_K^{T1})^2}{100 S_n^{TR}} = \frac{10 (22 \text{ kV})^2}{100 \cdot 25 \text{ MVA}} = 1,94 \Omega$$

Most mind a két értéket kiszámoltuk, de a feladattól függően csak az egyiket kell alkalmazni.

TÁVVEZETÉK

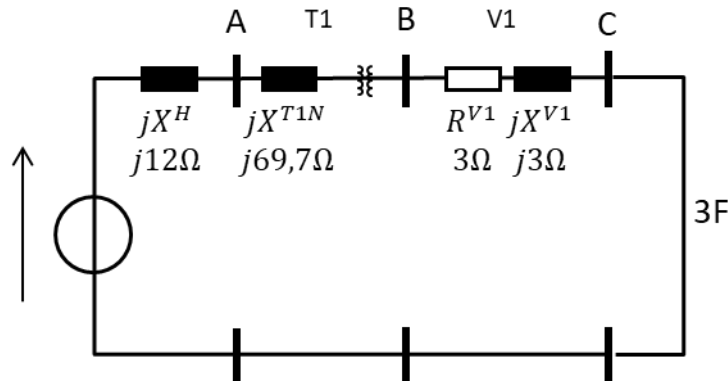
Végül a távvezeték pozitív sorrendű impedanciája:

$$Z^{V1} = (0,3 + j0,3 \Omega/\text{km}) \cdot 10 \text{ km} = 3 + j3 \Omega$$

3F zárlat a C sínen (közös feszültség)

Határozzuk meg, mekkora a zárlati áram, ha a középfeszültségű C sínen háromfázisú zárlat következik be! Számítsuk ki ekkor az A és B sínek feszültségének értékét is!

Mivel a 3F zárlat és a hálózat szimmetrikus, ezért a pozitív sorrendű modellen végezhetjük a számításokat. A hálózati elemek értékét az előző feladatban kiszámoltuk, így a helyettesítő áramkört felrajzolhatjuk. A C sínre a modellben rövidzárát tettük, ez jelképezi a 3F zárlatot.



Közös feszültségszintre redukálás - REDUKÁLÁS KÖZÉPFESZÜLTÉSRE

Bármilyen számítást (akár zárlati, akár terhelési) akarunk végezni a hálózaton, a transzformátor áttételeket figyelembe kell venni. Most a középfeszültségű körzetben bekövetkező zárlat árama a kérdés, célszerű ezért egy olyan modellt használni, amikor a számítási eredmények közvetlenül erre a feszültségszintre értelmezhetők. Ezért redukáljuk a hálózati elemeket a középfeszültségű oldalra!

Minden elemet át kell számolni, ami a NAF/KÖF transzformátortól (T1) balra van. A feszültségforrás értékének átszámításhoz az áttételek arányát használjuk fel:

$$U^{H(köf)} = U^{H(naf)} \cdot \frac{U_K^{T1}}{U_N^{T1}} = \frac{120 \text{ kV}}{\sqrt{3}} \cdot \frac{22}{132} = \frac{20 \text{ kV}}{\sqrt{3}} = 11,54 \text{ kV}$$

Gyakran a fázisfeszültségeket a vonali feszültségérték gyökharmadaként tüntetjük fel, ezzel is hangsúlyozva, hogy fázisfeszültségről van szó.

Az impedanciák értékének átszámításához a transzformátor-áttétel arányának négyzetét használjuk fel:

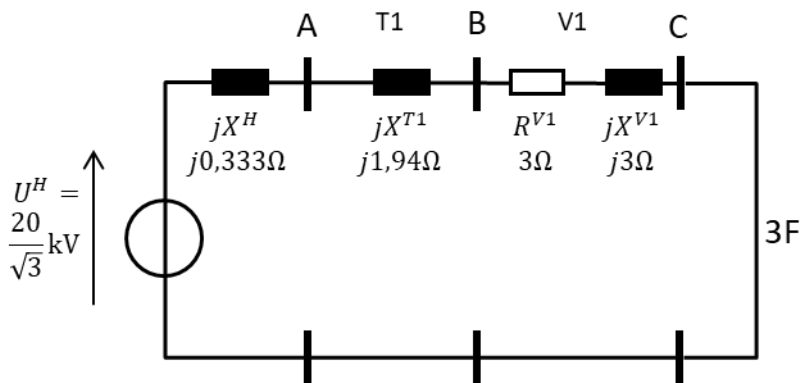
$$X^{H(köf)} = X^{H(naf)} \cdot \left(\frac{U_K^{T1}}{U_N^{T1}} \right)^2 = 12 \Omega \cdot \left(\frac{22}{132} \right)^2 = 0,333 \Omega$$

$$X^{T1(köf)} = X^{T1(naf)} \cdot \left(\frac{U_K^{T1}}{U_N^{T1}} \right)^2 = 69,7 \Omega \cdot \left(\frac{22}{132} \right)^2 = 1,94 \Omega$$

Célszerű a transzformátor impedanciák kiszámításánál előre gondolkodni, hogy a redukálás során kevesebbet kelljen számolni. Ebben a feladatban az X^{T1N} kiszámítása igazából felesleges.

A V1 vezeték impedanciáját eleve középfeszültségen határoztuk meg, annak átszámítása nem szükséges.

Így a mögöttes hálózattól a C sínig terjedő hálózat-rész modelljét középfeszültségre redukáltuk, amelyet az alábbi ábra szemléltet:



Vegyük észre, hogy a transzformátor indexéből eltűnt a N és K betű, mert most minden középfeszültségre van számítva. Az indexek halmozásának elkerülése végett a felsőindexekből a (köf) jelzőket elhagyjuk. **Jelen gyakorlaton a transzformátor fázisforgató hatásától eltekintünk!**

ZÁRLATI ÁRAM SZÁMÍTÁSA

A feladat háromfázisú zárlati áram számítása. A 3F zárlat szimmetrikus zárlat (analóg a szimmetrikus háromfázisú terheléssel, ahol a terhelő impedancia értéke nulla), ezért úgy modellezzük, hogy a pozitív sorrendű modellben a C sínél zárjuk a kört. Ekkor (zárlati) áram folyik az áramkörben:

$$I_z = \frac{U^H}{jX^H + jX^{T1N} + R^{V1} + jX^{V1}} = \frac{11,54 \text{ kV}}{(3 + j5,273)\Omega} = 941 - j1654 \text{ A}$$

$$I_z = 1903 \text{ A} \angle -60,36^\circ$$

Tekintve, hogy a hálózatrész középfeszültségre lett redukálva, az így kiszámított 1903 A zárlati áram megegyezik a valóságban a középfeszültségű hálózatrészen folyó zárlati árammal. Ez mind a három fázisban szimmetrikusan folyik, mert a zárlat háromfázisú. Ennek szöge $-60,4^\circ$ a hálózati táppont középfeszültségű oldalra redukált feszültségéhez képest. Ennek a zárlati áram nagyságának szempontjából gyakorlati jelentősége nincs, sosem fogjuk a KÖF oldali zárlati áram és a nagyon távoli NAF oldali feszültség időfüggvényét, egymáshoz képesti fázisszögét egymáshoz hasonlítani.

A nagyfeszültségű hálózatrész áramának számításához figyelembe kell venni a T1 transzformátor áttételét, így a nagyfeszültségű körzetben a zárlat hatására folyó áram kisebb lesz:

$$|I_z^{(\text{naf})}| = \frac{22}{132} |I_z^{(\text{köf})}| = \frac{22}{132} \cdot 1903 \text{ A} = 317 \text{ A}$$

A GYÚJTÓSÍNFESZÜLTSEGEK SZÁMÍTÁSA

A második kérdés az A és B sínél feszültségére vonatkozott. Számoljuk ki először az B sín feszültségét a fenti hálózati modellen! Abból indulunk ki, hogy a zárlat helyén a feszültség nulla. Fontos, hogy itt nem hanyagolhatjuk el az áram szögét:

$$U^B = (R^{V1} + jX^{V1})I_z = (3 + j3)\Omega \cdot 1903e^{-j60,36^\circ} \text{ A}$$

$$= 8,07e^{-j15,36^\circ} \text{ kV} = \frac{13,49}{\sqrt{3}}e^{-j15,36^\circ} \text{ kV}$$

Az A sín feszültségét számítsuk a feszültségforrástól, a feszültségésés figyelembevételével:

$$U^A(\text{köf}) = U^H - jX^H I_z = 11,54 \text{ kV} - j0,333\Omega \cdot 1903e^{-j60,36^\circ} \text{ A}$$

$$= 11e^{-j1,63^\circ} \text{ kV} = \frac{19,5}{\sqrt{3}}e^{-j1,63^\circ} \text{ kV}$$

Az A sín a nagyfeszültségű körzetben van, ezért át kell számolni a T1 transzformátor áttétellel:

$$U^{A(\text{naf})} = \frac{132}{22} \cdot 11e^{-j1,63^\circ} = 66 e^{-j1,63^\circ} \text{ kV} = \frac{114,3}{\sqrt{3}} e^{-j1,63^\circ} \text{ kV}$$

FESZÜLTSEGEK ÖSSZEHASONLÍTÁSA

A B sín névleges feszültségére vonatkoztatva a zárlat ideje alatt a B sín feszültségét:

$$\frac{|U^B|}{U_n^{\text{köf}}} = \frac{13,49 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} = 69,93\%$$

Ugyanígy az A sín feszültségének relatív értéke (bár ehhez nem szükséges átszámolni a nagyobb feszültség szintre):

$$\frac{|U^{A(\text{köf})}|}{U_n^{\text{köf}}} = \frac{|U^{A(\text{naf})}|}{U_n^{\text{naf}}} = \frac{19,5 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} = \frac{114,3 \text{ kV}}{120 \text{ kV}} = 95,27\%$$

B és C sín zárlati teljesítménye

Határozza meg a B és C sín háromfázisú zárlati teljesítményét!

A C SÍN ZÁRLATI TELJESÍTMÉNYE

Egy sín háromfázisú zárlati teljesítménye megadja, hogy a sínen képzett háromfázisú zárlat mekkora zárlati áramot eredményez. Az előző példában ezt számoltuk ki, így a válasz:

$$S_z^C = \sqrt{3} U_n^{C(\text{köf})} |I_z^{C(\text{köf})}| = \sqrt{3} \cdot 20 \text{ kV} \cdot 1903 \text{ A} = 65,93 \text{ MVA}$$

(Ebben a feladatrészben fontos megkülönböztetni, hogy hol képezzük a zárlatot, ezért jelöljük felső indexben a zárlat helyét!)

A B sín esetén két lehetőségünk van:

- Kiszámoljuk a B sínen bekövetkező zárlati áramot, s ebből számítjuk a zárlati teljesítményt!
- A T1 transzformátor saját zárlati teljesítményével határozzuk meg! (IMSc)

A B SÍN ZÁRLATI TELJESÍTMÉNYE ZÁRLATI ÁRAMBÓL

Az a) eset számítása egyszerűbb, mint a C esetében, mivel az áramkörben csak reaktanciák vannak, így az osztás könnyebben elvégezhető. A zárlati áram a B sínen bekövetkező 3F zárlat esetén, saját feszültség szinten (NAF):

$$I_z^{B(\text{naf})} = \frac{\frac{U^{H(\text{naf})}}{\sqrt{3}}}{(jX^H + jX^{T1N})\Omega} = \frac{\frac{120 \text{ kV}}{\sqrt{3}}}{(j12 + j69,7)\Omega} = -j848 \text{ A} = 848e^{-j90^\circ} \text{ A}$$

Ez a nagyfeszültségű körzetre számolt áram nagyobb, mint az előző esetben (317 A), hiszen a zárlat közelebb van a betáplálási ponthoz. Vagyis itt a hálózat „erősebb”, így azt várjuk, hogy a zárlati teljesítmény is nagyobb legyen:

$$S_z^B = \sqrt{3} U_n^{B(\text{naf})} |I_z^{B(\text{naf})}| = \sqrt{3} \cdot 120 \text{ kV} \cdot 848 \text{ A} = 176,25 \text{ MVA}$$

Elsőre zavaró lehet, hogy a B sín valójában középfeszültségű körzetben van. Azonban a nagyfeszültségű modellben kiszámolt értékek a transzformátor áttétellel átszámoljuk a kisfeszültségű oldalra, akkor az áttétellel éppen kiesik.

A B SÍN ZÁRLATI TELJESÍTMÉNYE TRANSZFORMÁTOR ZÁRLATI TELJESÍTMÉNYBŐL (IMSC)

A transzformátor saját zárlati teljesítményét az alábbi képlettel határozhatjuk meg:

$$S_z^{T1} = \frac{S_n^{T1}}{\varepsilon^{T1}} = \frac{25 \text{ MVA}}{10\%} = 250 \text{ MVA}$$

A hálózat zárlati teljesítmény a transzformátor szekunder oldalán ennél nem lehet nagyobb. Ha a transzformátor primer oldalán adott a zárlati teljesítmény, akkor a szekunder oldalán a zárlati teljesítmény értéke:

$$S_z^B = \frac{1}{\frac{1}{S_z^A} + \frac{1}{S_z^{T1}}} = \frac{1}{\frac{1}{1200 \text{ MVA}} + \frac{1}{250 \text{ MVA}}} = 207 \text{ MVA}$$

Azonban ez a módszer csak akkor működik, ha a transzformátor névleges feszültségei konzisztensek a hálózat feszültségével! Ezt bizonyítandó tegyük fel, hogy a transzformátor névleges feszültsége 120/20 kV, s a zárlati áram kiszámításával határozzuk meg a B sín zárlati teljesítményét! Ekkor a reaktancia értéke:

$$X^{T1'} = \frac{10 (120 \text{ kV})^2}{100 \cdot 25 \text{ MVA}} = 57,6 \Omega$$

Tehát a zárlati áram az előző módszerrel:

$$I_z^{B(\text{naf})'} = \frac{120 \text{ kV}}{\sqrt{3} (j12 + j57,6)\Omega} = 995 \text{ A}$$

Ebből a zárlati teljesítmény már megegyezik az előbb számított módszerrel:

$$S_z^B = \sqrt{3} \cdot 120 \text{ kV} \cdot 995 \text{ A} = 207 \text{ MVA}$$

3F zárlat a kisfeszültségű E sínen (viszonylagos egység)

Határozzuk meg, mekkora a zárlati áram, ha az E sínen háromfázisú zárlat következik be!

Számítsuk ki ekkor a D sín feszültségének relatív értékét!

Határozzuk meg az E sín zárlati teljesítményét!

Ebben a feladatban viszonylagos egységekkel számolunk, mert három feszültség szint esetén ez már célszerűbb módszer a közös feszültség szintre redukálás módszerénél.

ALAPMENNYISÉGEK FELVÉTELE

Jelen esetben a KÖF/KIF transzformátor névleges értékeit válasszuk alapmennyiségeknek! Ekkor a feszültség és teljesítmény alapok az egyes körzetekben:

	Feszültég körzetek		
	I. (NAF)	II. (KÖF)	III. (KIF)
U_{alap}	120 kV	20 kV	0,4 kV
S_{alap}	160 kVA	160 kVA	160 kVA
I_{alap}	0,77 A	4,62 A	230,9 A
Z_{alap}	90 kΩ	2,5 kΩ	1 Ω

Az áram és impedancia alapokat nem mindig szükséges minden körzetre kiszámolni, de most ezeket is megadtuk. Számításának módjára két példa:

$$I_{alap}^{(kif)} = \frac{S_{alap}}{\sqrt{3}U_{alap}^{(kif)}} = \frac{160 \text{ kVA}}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 230,9 \text{ A}$$

$$Z_{alap}^{(kif)} = \frac{(U_{alap}^{(kif)})^2}{S_{alap}} = \frac{0,4 \text{ kV}}{160 \text{ kVA}} = 1 \text{ Ω}$$

ÜRESEN JÁRÓ RENDSZER POZITÍV SORRENDJŰ MODELLJE

A korábban kiszámított hálózati elemek impedanciáját elosztjuk a vonatkozó körzet impedancia alapjával, s így megkapjuk az adott impedancia viszonylag egységben kifejezett értékét:

$$x^H = \frac{X^H}{Z_{alap}^{(naf)}} = \frac{12 \text{ Ω}}{90 \text{ kΩ}} = 0,133 \cdot 10^{-3}$$

$$x^{T1} = \frac{X^{T1K}}{Z_{alap}^{(köf)}} = \frac{1,94 \text{ Ω}}{2,5 \text{ kΩ}} = 0,774 \cdot 10^{-3}$$

$$z^{V1} = \frac{Z^{V1}}{Z_{alap}^{(köf)}} = \frac{(3 + j3)\text{Ω}}{2,5 \text{ kΩ}} = (1,2 + j1,2) \cdot 10^{-3}$$

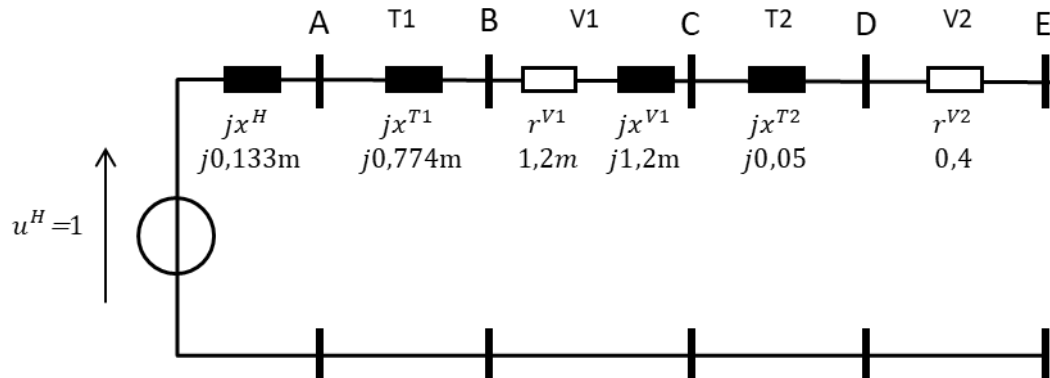
A T2 transzformátor esetén használhatunk egy „trükköt”. Ha az alapmennyiségeket a transzformátor névleges értékei adják, akkor a reaktancia viszonylagos értékben éppen a drop értékének felel meg:

$$x^{T2} = \frac{X^{T2}}{Z_{alap}^{(k\ddot{o}f)}} = \frac{\varepsilon^{T2} \cdot \frac{(U_n^{T2})^2}{S_n^{T2}}}{\frac{(U_{alap}^{(k\ddot{o}f)})^2}{S_{alap}}} = \frac{\varepsilon^{T2}}{100} = 0,05$$

Végül a V2 vezeték esetén az impedancia alap éppen egységnyi, így a távvezeték ellenállása viszonylag egységben:

$$r^{V2} = 0,4$$

Így a pozitív sorrendű modell, viszonylagos egységekkel az E sínig:



ZÁRLATI ÁRAM SZÁMÍTÁSA

A hálózatszámítás során ugyanúgy járunk el, mint a közös feszültségszintre redukálás módszerénél, azonban most minden mennyiség dimenziótlan (viszonylagos egységben adott). A zárlati áram értéke az E sínen bekövetkező 3F zárlat esetén:

$$i_z^E = \frac{1}{jx^H + jx^{T1N} + r^{V1} + jx^{V1} + jx^{T2} + r^{V2}} = \frac{1}{(401,2 + j52,1) \cdot 10^{-3}} = 2,451 - j0,318$$

$$i_z^E = 2,472e^{-j7,4^\circ}$$

A zárlati áramot átszámítva dimenzionális értékre:

$$|I_z^E| = |i_z^E| \cdot I_{alap}^{kif} = 2,472 \cdot 230,9 \text{ A} = 570,7 \text{ A}$$

A többi körzet áramának számítása (láthatóan egyszerűbb, mint a közös feszültségszintre redukálás módszerénél):

$$|I_z^{E(k\ddot{o}f)}| = |i_z^E| \cdot I_{alap}^{k\ddot{o}f} = 2,472 \cdot 4,62 \text{ A} = 11,42 \text{ A}$$

$$|I_z^{E(naf)}| = |i_z^E| \cdot I_{alap}^{naf} = 2,472 \cdot 0,77 \text{ A} = 1,90 \text{ A}$$

Érdeemes összevetni a zárlat hatására nagyfeszültségen folyó áramot a korábbi C, illetve B sínen képzett zárlat eredményével. A kisfeszültségű zárlatot a nagyobb feszültségen nem lehet „érezni”.

D SÍN FESZÜLTÉGÉNEK SZÁMÍTÁSA

A D sín feszültsége viszonylagos egységekkel:

$$u^D = r^{V2} i_z^E = 0,4 \cdot 2,472e^{-j7,4^\circ} = 0,989e^{-j7,4^\circ}$$

E sín zárlati teljesítménye (viszonylagos egység)

Az E sínen bekövetkező háromfázisú zárlat árama viszonylagos egységben adott az előzőekben ismertett számításból. A zárlati teljesítmény képlete eltér a dimenziós, illetve dimenziótlan esetben. Viszonylagos egységek alkalmazása esetén a látszólagos teljesítmény képletében nincs gyökhármas szorzó az alábbiak miatt:

$$\begin{aligned}S_z &= \sqrt{3}U_n I_z \\s_z S_{alap} &= \sqrt{3}u_n U_{alap} i_z I_{alap} \\s_z S_{alap} &= \sqrt{3}u_n i_z U_{alap} \frac{S_{alap}}{\sqrt{3}U_{alap}} \\s_z &= u_n i_z\end{aligned}$$

Mivel a névleges feszültség viszonylagos egységben 1, ezért a zárlati teljesítmény viszonylagos egységben kifejezett értéke megegyezik a zárlati áram értékével:

$$s_z^E = u_n^E |i_z^E| = 1 \cdot 2,472 = 2,472$$

Dimenzionálisan:

$$S_z^E = s_z^E \cdot S_{alap} = 2,472 \cdot 160 \text{ kVA} = 395,5 \text{ kVA}$$

Szimmetrikus áramtartó fogyasztó

Tegyük egy fogyasztót a kiefeszültségű vezeték végére!

Határozzuk meg a hálózat veszteségét és a fogyasztó feszültségét áramtartó fogyasztó esetén!

A fogyasztó paraméterei:

$$P_n^F = 24 \text{ kW}, \cos \varphi = 0,96 \text{ (ind.)}$$

FOGYASZTÓ MODELLJE

A számítást áramtartó esetre közös feszültségre redukálással végezzük el! A közös feszültség szintnek a kiefeszültséget választjuk. Ekkor a fogyasztó névleges árama:

$$|I_n^F| = \frac{S_n^F}{\sqrt{3}U_n^F} = \frac{P_n^F / \cos \varphi}{\sqrt{3}U_n^F} = \frac{24 \text{ kW} / 0,96}{\sqrt{3} \cdot 0,4 \text{ kV}} = 36,1 \text{ A}$$

Mivel a fogyasztó induktív jellegű, ezért a fenti effektív értékű áram a fogyasztó feszültségéhez képest késik:

$$\begin{aligned} \cos \varphi &= 0,96 \text{ (ind)} \\ \varphi &= -16,26^\circ \end{aligned}$$

Az áramtartó fogyasztót egy áramgenerátorral helyettesítjük. Ebben az esetben azonban felmerül a kérdés: mit kezdünk két forrással a modellben? A fenti áram az E sín feszültségéhez, U^E -hez képest késik, azonban az eddigiekben a forrás feszültségét, U^G -t tekintettük referenciának. A számítások során is kiderült, de egyébként is várható, hogy a feszültség fazora a fogyasztó felé haladva nem csak csökken, de fokozatosan el is fordul. Tehát a fogyasztó áramának szöge a hálózat feszültségéhez képest nem $-16,26^\circ$, hanem attól eltérhet. Ha továbbra is fenntartjuk, hogy a forrásfeszültség névleges, akkor a feszültségek meghatározása nem egyszerű.

VESZTESÉG

Meg kell azonban jegyezni, hogy a feladatban most a veszteség volt a kérdés, melyhez nem szükséges sem az áram iránya, sem feszültségek kiszámítása. A megadott áramot az áramtartó fogyasztó mindenképpen felveszi a hálózatból. A veszteség egyszerűen számítható az ellenállások alapján:

$$P_v = 3(R^{V1} + R^{V2})|I_n^F|^2 = 3 \cdot (1,2 \text{ m}\Omega + 0,4 \Omega)(36,1 \text{ A})^2 = 1567 \text{ W}$$

Megjegyezzük, hogy külön számolhatnánk a két vezeték (V1 és V2) veszteségét, amiből látszik, hogy valójában szinte a teljes veszteség a kiefeszültségű hálózaton képződik.

$$\begin{aligned} P_v^{V1} &= 3 \cdot 1,2 \text{ m}\Omega \cdot (144,4 \text{ A})^2 \\ &= 3 \cdot 3 \Omega \cdot (144,4 \text{ A} / (20 / 0,4))^2 = 5 \text{ W} \end{aligned}$$

$$P_v^{V2} = 3 \cdot 0,4 \Omega \cdot (144,4 \text{ A})^2 = 1562 \text{ W}$$

(A megállapítás nem kis mértékben ferdtítés, mert ezzel azt feltételezzük, hogy a nagy- és középfeszültségű hálózat ezt az egyetlen fogyasztót látja el. Nyilvánvalóan a gyújtósínekről több KÖF/KIF leágazás indul, tehát jóval nagyobb a fogyasztás. Az azonban igaz, hogy a veszteség jelentős része a kiefeszültségű hálózatokon disszipálódik.)

FESZÜLTÉS A FOGYASZTÓNÁL

A feszültségek kiszámítása bonyolultabb. Egyszerűsítő megközelítésként feltehetjük, hogy a szögkésés elhanyagolható, ezért egyszerűen a $-16,3^\circ$ késéssel számolunk már a hálózatnál is:

$$I_n^F = |I_n^F| \cdot (\cos \varphi - j \sin \varphi) = 36,1 \cdot (0,96 - j0,28) \text{ A} = (34,6 - j10,1) \text{ A}$$

Ekkor a fogyasztónál a feszültség értéke:

$$\begin{aligned} U^E &\cong U^G - \Sigma Z I_n^F = 231 \text{ V} - (401,2 + j52,1) \text{ m}\Omega \cdot (34,6 - j10,1) \text{ A} \\ &= (216,57 + j2,25) \text{ V} = 216,58 e^{j0,59^\circ} \text{ V} \end{aligned}$$

Látható, hogy most a fogyasztó szöge előrébb van a tápponténál. Ha ennek megfelelően módosítunk az áramon, akkor a fogyasztó teljesítménytényezőjéből meghatározott áramkésését az U^E -hez kellene viszonyítani. Számíthatunk egy újabb iterációt az alábbi árammal:

$$I_n^{F(2)} = 36,1 e^{j(0,59-16,26)^\circ} = 36,1 e^{-j15,67^\circ}$$

Újfent kiszámolhatjuk a feszültséget, majd újabb és újabb iterációkat végezhetünk.

IMSC:

Kis gondolkodással azonban megtalálhatjuk a tényleges megoldást, iterációk nélkül is. Tegyük fel, hogy a feszültség szögét a fogyasztónál rögzítjük, de továbbra is azt szeretnénk, hogy a hálózaton legyen az effektív érték adott (viszont a szög nem!). Tehát ebben az esetben a feszültség effektív értékét és szögét a hálózat két különböző pontján rögzítjük! Az áramot a rögzített fogyasztói feszültséghez késleltetjük, s így meghatározzuk a hálózaton a feszültségesést:

$$\Delta U = \Sigma Z I_n^F = (401,2 + j52,1) \text{ m}\Omega \cdot (34,6 - j10,1) \text{ A} = (14,42 - j2,25) \text{ V}$$

A fogyasztó feszültségének abszolút értéke nem ismert, de tudjuk, hogy tisztán valós. Így:

$$\begin{aligned} U^G &= U^F + \Delta U \\ &= U^F + (14,42 - j2,25) \text{ V} \end{aligned}$$

Ha lerajzoljuk fázorábrán, akkor az $U^F + \text{Re}\{\Delta U\}$, az $\text{Im}\{\Delta U\}$ és az U^G szakaszok derékszögű háromszöget alkotnak. Ebből:

$$\sin \delta = \frac{\text{Im}\{\Delta U\}}{U^G} = \frac{2,25}{231} = 0,0097 \rightarrow \delta = 0,56^\circ$$

Ebből következik, hogy a fogyasztónál lévő feszültség:

$$U^F = U^G - \Delta U = 231 e^{-j0,56^\circ} - 14,42 + j2,25 = 216,57 \text{ V}$$

Az eredményből jól látszik, hogy gyakorlatilag elenyésző a két végeredmény között a különbség.

Szimmetrikus impedanciatartó fogyasztó

Tegyük egy fogyasztót a kifestésű vezeték végére!

Határozzuk meg a hálózat veszteségét és a fogyasztó feszültségét impedanciatartó fogyasztó esetén!

FOGYASZTÓ MODELLJE

Az impedanciatartó fogyasztót viszonylagos egységekkel fogjuk kiszámolni. Az induktív fogyasztó **névleges impedanciája:**

$$Z_n^F = \frac{U_n^{F2}}{S_n^F} (\cos \varphi + j \sin \varphi) = 6,67(0,96 + j0,28) = (6,40 + j1,87) \Omega$$

Átváltva viszonylagos egységekre:

$$z_n^F = \frac{Z_n^F}{Z_{alap}^{kif}} = \frac{(6,4 + j1,87) \Omega}{1 \Omega} = 6,4 + j1,87$$

VESZTESÉG

Így számoljuk ki az áramot:

$$i = \frac{u^G}{\Sigma Z} = \frac{1}{(0,4012 + j0,0521) + (6,40 + j1,87)} = 0,1362 - j0,0384 = 0,1415e^{-j15,75^\circ}$$

Dimenzionálisan kifestésűen:

$$I = i \cdot I_{alap}^{kif} = 0,1415e^{-j15,75^\circ} \cdot 231 \text{ A} = 32,69e^{-j15,75^\circ} \text{ A}$$

Így a veszteség viszonylag egységben (ekkor nem kell sem hármas, sem gyök három!)

$$p_v = (r^{V1} + r^{V2})i^2 = (0,0012 + 0,4000) \cdot (0,1415)^2 = 0,0080$$

Dimenzionálisan:

$$P_v = p_v \cdot S_{alap} = 0,0080 \cdot 160 \text{ kVA} = 1285 \text{ W}$$

FESZÜLTÉS

Feszültség a fogyasztónál:

$$u^F = z_n^F i = (6,4 + j1,87)(0,1362 - j0,0384) = 0,9434 + j0,0083 = 0,9434e^{j0,51^\circ}$$

Szimmetrikus fogyasztó felvett teljesítménye

Látható, hogy az áramtartó és impedanciatartó fogyasztó másként terheli a hálózatot. Az áramtartó valójában nagyobb felvett teljesítményt eredményez. Érdeemes kiszámolni a teljesítményértékeket, hiszen nyilvánvalóan nem a névleges értékeket veszik fel (az a teljesítménytartó lenne).

Áramtartó fogyasztói modell esetén:

$$S^{constI} = 3U_f^F I_n^{F*} = 3 \cdot 216,57 \text{ V} \cdot 36,1 e^{j16,26^\circ} \text{ A} = 22,51 \text{ kW} + j6,56 \text{ kvar}$$

(Itt azért számolunk hármas szorzóval, mert a feszültségnek fázisértékét helyettesítettük be.)

Impedanciatartó fogyasztói modell esetén:

$$S^{constZ} = (u^F \cdot i^*) \cdot S_{alap} = (0,9434 e^{j0,51^\circ} \cdot 0,1415 e^{j15,75^\circ}) \cdot 160 \text{ kVA} = 20,51 \text{ kW} + j5,98 \text{ kvar}$$

(Itt azért nincs sem hármas, sem gyökhármas szorzó, mert viszonylagos egységben nem kell.)

A meddő és hatásos teljesítmények aránya a rögzített teljesítménytényező miatt megegyezik. A fogyasztó névleges hatásos teljesítmény 24 kW volt, ehhez képest mind az áramtartó, mind az impedanciatartó kevesebbet vesz fel.