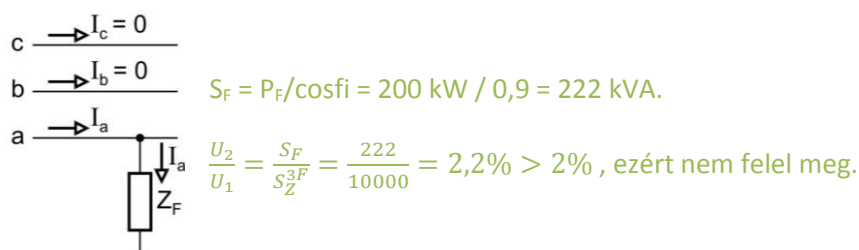


Ellenőrző kérdések (egy részhalmaza) a Váltakozó áramú rendszerek c. tárgy VM anyagrészéhez

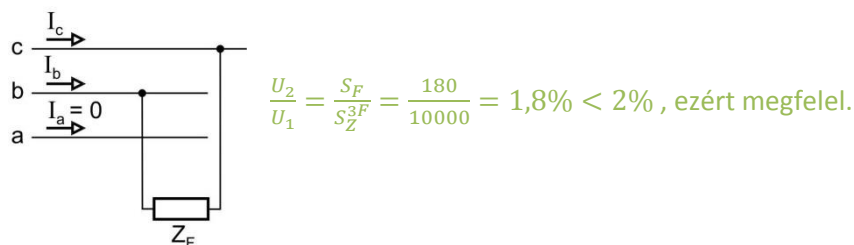
Dr. Raisz Dávid, 2016. március 7.

Aszimmetria

1. Mi az aszimmetria definíciója? Mely szabvány definiálja ennek határértékét, és mekkora ez a határérték?
2. Hogyan történik az aszimmetria szabványos mérése és kiértékelése? (A mérés milyen nehézségekbe ütközik?)
3. Milyen okai lehetnek aszimmetria kialakulásának?
4. Az alábbi egyfázisú fogyasztó csatlakozási pontján a hálózat háromfázisú rövidzárlati teljesítménye 10 MVA. A fogyasztó névleges teljesítménye 200 kW, $\cos\phi = 0,9$. Mekkora a fogyasztó által a csatlakozási pontján okozott negatív sorrendű aszimmetria értéke? Megfelel ez a szabványban előírt határértéknek?



5. Az alábbi egyfázisú fogyasztó csatlakozási pontján a hálózat háromfázisú rövidzárlati teljesítménye 10 MVA. A fogyasztó névleges teljesítménye 180 kVA. Mekkora a fogyasztó által a csatlakozási pontján okozott negatív sorrendű aszimmetria értéke? Megfelel ez a szabványban előírt határértéknek?



6. Adottak az alábbi fázisáramok: $I_a = 18ej0 \text{ A}$, $I_b = 15 ej120 \text{ A}$, $I_c = 15 e-j120 \text{ A}$. Határozza meg a negatív sorrendű összetevőt!

$$I_2 = \frac{1}{3} (I_a + a^2 I_b + a I_c) = \frac{18 + (15,00 - 0,00j) + (15,00 + 0,00j)}{3} = 16,00 \text{ A}$$

7. Egy 20/0,4 kV-os, Dy5 transzformátor kisebb feszültségű oldalán a szimmetrikus összetevő áramok: $I_0 = 5 \text{ A}$, $I_1 = 360 \text{ A}$, $I_2 = 8 \text{ A}$. Határozza meg a nagyobb feszültségű oldalon mérhető áramok zérus és pozitív sorrendű összetevőit!

Zérus sorrendű összetevő nem megy át a delta oldalra:

$$I_0^N = 0 \text{ A}$$

Pozitív sorrendű összetevő áttétele és forgatása:

$$I_1^N = I_1^K \cdot \frac{0,4 \text{ kV}}{20 \text{ kV}} \cdot e^{+j \cdot 5 \cdot 30^\circ} = -6,24 + 3,60j \text{ A} = 7,20 \exp(+j150^\circ) \text{ A}$$

8. Adott egy vezeték alábbi fázis impedancia mátrixa. Határozza meg a vezeték szimmetrikus impedancia mátrixának értékeit!

$$\begin{bmatrix} Z_{\text{ön}} & Z_k & Z_k \\ Z_k & Z_{\text{ön}} & Z_k \\ Z_k & Z_k & Z_{\text{ön}} \end{bmatrix}$$

$$Z_{\text{ön}} = 0,9 + 2,2j \Omega, \quad Z_k = 0,35 + 0,9j \Omega$$

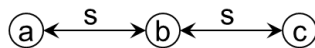
Mivel Z_{ff} ciklikus és szimmetrikus, ezért az impedancia mátrix:

$$\begin{bmatrix} Z_0 & 0 & 0 \\ 0 & Z_1 & 0 \\ 0 & 0 & Z_1 \end{bmatrix}$$

$$Z_0 = Z_{\text{ön}} + 2Z_k = 0,9 + 2,2j\Omega + 2 \cdot 0,35 + 0,9j\Omega = 1,6 + 4j\Omega$$

$$Z_1 = Z_{\text{ön}} - Z_k = 0,9 + 2,2j\Omega - 0,35 + 0,9j\Omega = 0,55 + 1,3j\Omega$$

9. Adott a következő sík vezeték elrendezés:



A földvisszavezetétes önimpedanciák értéke: $Z_{aa} = Z_{bb} = Z_{cc} = 0.1745 + j 0.7138$, a földvisszavezetétes kölcsönös impedanciák pedig: $Z_{ab} = Z_{ba} = Z_{bc} = Z_{cb} = 0.0495 + j 0.2952$, illetve $Z_{ac} = Z_{ca} = 0.0495 + j 0.2517$.

- a) Milyen transzformációval kapható meg a fenti adatokból a szimmetrikus összetevő feszültségek és áramok közötti összefüggést megadó Z_{ss} sorrendi impedancia mátrix?

Legyen $Z_{ss} =$

$$\begin{bmatrix} 0.2735 + j 1.2752 & \mathbf{0.0126 - j 0.0073} & -0.0126 - j 0.0073 \\ -0.0126 - j 0.0073 & 0.1250 + j 0.4331 & -0.0251 + j 0.0145 \\ 0.0126 - j 0.0073 & \mathbf{0.0251 + j 0.0145} & 0.1250 + j 0.4331 \end{bmatrix}$$

A fázisvezetőkben az alábbi áramok folynak: $I_a = 100 \text{ A}$, $I_b = (-50 - j86,6) \text{ A}$, $I_c = (-50 + j86,6) \text{ A}$

- b) Mekkora a vezetéken keletkező negatív és zérus sorrendű feszültségesést?

Az áramok tisztán pozitív sorrendűek, a pozitív sorrendű összetevő értéke $I_1 = 100 \text{ A}$.

$$\Delta U_2 \approx Z_{21} \cdot I_1, \text{ ezért } \Delta U_2 \approx (0.0251 + 0.0145j) \cdot I_1 = 2,51 + j 1,45 \text{ V}$$

$$\Delta U_0 \approx Z_{01} \cdot I_1, \text{ ezért } \Delta U_0 \approx (0.0126 - j 0.0073) \cdot I_1 = 1,26 - j 0,73 \text{ V}$$

10. Egy hálózati elem (pl. távvezeték vagy forgógép) fázisimpedancia mátrixának (Z_{ff}) speciális tulajdonságai meghatározzák a sorrendi impedancia mátrix (Z_{ss}) jellegét.

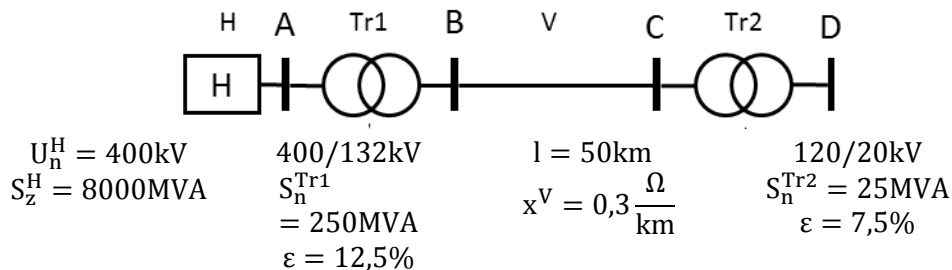
- Válaszoljon az alábbi táblázat kérdéseire!
- Az előkészített Z_{ss} mátrixokban tüntesse fel – jellegre – a mátrixok elemeit, saját bevezetett jelöléseivel (a „...” jelű helyeken)! Jelölje a Z_{ss} mátrix nulla értékű elemeit!

A ciklikus és szimmetrikus fázisimpedancia mátrix értékei legyenek:

$$Z_{\text{ön}} = 0,4 + j2 \ \Omega \text{ és } Z_k = 0,15 + j0,9 \ \Omega!$$

A fázisimpedancia mátrix (Z_{ff})			A sorrendi impedancia mátrix (Z_{ss})		
$\begin{bmatrix} Z_{\text{ön}} & Z_k & Z_k \\ Z_k & Z_{\text{ön}} & Z_k \\ Z_k & Z_k & Z_{\text{ön}} \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} Z_{00} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{11} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{22} \end{bmatrix}$		
ciklikus?	IGAZ	HAMIS	Határozza meg a mátrix elemeit és, ahol tudja, értékeit!		
szimmetrikus?	IGAZ	HAMIS	$Z_{00} = Z_{\text{ön}} + 2Z_k = 0,7 + 3,8j \ \Omega$ $Z_{11} = Z_{\text{ön}} - Z_k = 0,25 + 1,1j \ \Omega$ $Z_{22} = Z_{11} = 0,25 + 1,1j \ \Omega$		
$\begin{bmatrix} Z_{\text{ön}} & Z_m & Z_n \\ Z_n & Z_{\text{ön}} & Z_m \\ Z_m & Z_n & Z_{\text{ön}} \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} Z_{00} & 0 & 0 \\ 0 & Z_{11} & 0 \\ 0 & 0 & Z_{22} \end{bmatrix}$		
ciklikus?	IGAZ	HAMIS	$Z_{11} = Z_{22}$?	IGAZ	HAMIS
szimmetrikus?	IGAZ	HAMIS	Z_{ss} diagonális?	IGAZ	HAMIS
			Z_{ss} szimmetrikus?	IGAZ	HAMIS
$\begin{bmatrix} Z_{\text{ön}} & Z_m & Z_n \\ Z_m & Z_{\text{ön}} & Z_p \\ Z_n & Z_p & Z_{\text{ön}} \end{bmatrix}$			$\begin{bmatrix} Z_{00} & Z_{01} & Z_{02} \\ Z_{10} & Z_{11} & Z_{12} \\ Z_{20} & Z_{21} & Z_{22} \end{bmatrix}$		
ciklikus?	IGAZ	HAMIS	$Z_{11} = Z_{22}$?	IGAZ	HAMIS
szimmetrikus?	IGAZ	HAMIS	Z_{ss} diagonális?	IGAZ	HAMIS
			Z_{ss} szimmetrikus?	IGAZ	HAMIS

11. Egy adott távvezeték negatív sorrendű aszimmetria tényezője 10%. Tisztán pozitív sorrendű terhelő áram esetén a távvezetéken keletkező feszültségesés a névleges feszültség 8%-a. Mekkora lesz a fogyasztónál mérhető negatív sorrendű feszültség?
12. Az alábbi hálózat D pontjára aszimmetrikus fogyasztó csatlakozik, emiatt ezen a ponton a negatív sorrendű aszimmetria értéke 2%. Mekkora a B ponton az aszimmetria mértéke?



A reaktanciákat a 132 kV-os szintre számolva:

$$X^H = \frac{U_n^H{}^2}{S_z^H} = \frac{(132 \text{ kV})^2}{8000 \text{ MVA}} = 2,2 \Omega$$

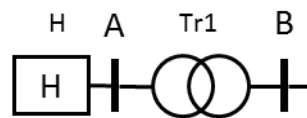
$$X^{\text{Tr1}} = \frac{\varepsilon^{\text{Tr1}} U_{nk}^{\text{Tr1}2}}{100 S_n^{\text{Tr1}}} = \frac{12,5 (132 \text{ kV})^2}{100 \cdot 250 \text{ MVA}} = 8,7 \Omega$$

$$X^V = l \cdot x^V = 50 \cdot 0,3 = 15,0 \Omega$$

$$X^{\text{Tr2}} = \frac{\varepsilon^{\text{Tr2}} U_{nN}^{\text{Tr2}2}}{100 S_n^{\text{Tr2}}} = \frac{7,5 (132 \text{ kV})^2}{100 \cdot 25 \text{ MVA}} = 52,3 \Omega$$

$$U_2^B = U_2^D \frac{X_2^{\text{MB}}}{X_2^{\text{DB}}} = 2\% \frac{2,2 + 8,7}{2,2 + 8,7 + 15 + 52,3} = 2\% \cdot 0,14 = 0,28\%$$

13. Az alábbi hálózat "B" gyűjtősínéről szimmetrikus fogyasztókat látunk el. Az "A" gyűjtősínen a negatív sorrendű aszimmetria értéke 2%. Mekkora a "B" ponton az aszimmetria mértéke?



$$\begin{array}{ll}
 U_n^H = 400\text{kV} & 400/132\text{kV} \\
 S_z^H = 8000\text{MVA} & S_n^{\text{Tr1}} = 250\text{MVA} \\
 & \varepsilon = 12,5\%
 \end{array}$$

$$U_2^B \approx U_2^A$$

14. Mekkora többletvesztéséget okoz a fogyasztói aszimmetria a fázisvezetőkben és a nullavezetőben ahhoz képest, mint ha az adott fogyasztó szimmetrikus lenne (és feltételezzük, hogy szimmetrikus és aszimmetrikus esetben ugyanakkora teljesítményt vesz fel)?
15. Az alábbi háromfázisú fogyasztó kapcsain tisztán pozitív sorrendű feszültséget feltételezünk. A fogyasztó által felvett áramok: $I_a = 13 \text{ A}$, $I_b = 8,54 \text{ A} / -125,8^\circ$, $I_c = 8,54 \text{ A} / 125,8^\circ$. A fogyasztót ellátó fázisvezetők és nullavezető ellenállása 1Ω . Mekkora többletvesztéséget okoz ez a

fogyasztó ahhoz képest, mintha ugyanekkora teljesítményt szimmetrikus áramok mellett venné fel?

A fogyasztó fázisáramainak szimmetrikus összetevői: $I_1 = 10 \text{ A}$, $I_2 = 2 \text{ A}$, $I_0 = 1 \text{ A}$.

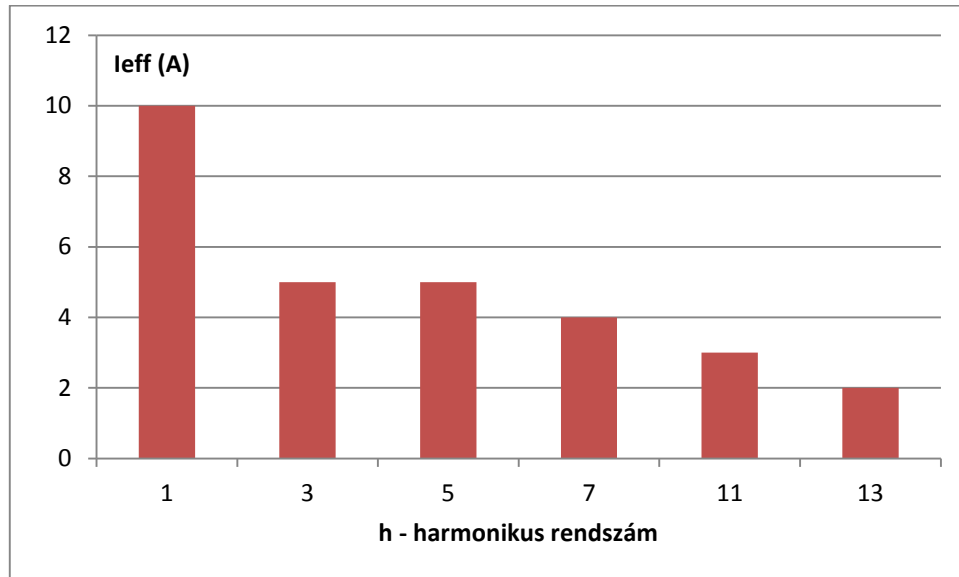
Ha ugyanekkora teljesítményt szimmetrikus áramok mellett venne fel, akkor a fázisáramainak szimmetrikus összetevői az alábbiak lennének: $I_1 = 10 \text{ A}$, $I_2 = 0 \text{ A}$, $I_0 = 0 \text{ A}$.

Az okozott veszteség $3 \cdot R \cdot I_1^2 + 3 \cdot R \cdot I_2^2 + 3 \cdot 4 \cdot R \cdot I_0^2$, amely az első esetben 324 W , a második esetben csak 300 W . Tehát az okozott többlet veszteség 24 W .

16. Milyen módszerekkel lehet csökkenteni a hálózat egy adott pontján az aszimmetriát?

Harmonikusok

1. Mi a THD?
2. Egy fogyasztó áramának spektruma az alábbi ábrán látható. Mekkora e fogyasztó áramának THD-je? Mekkora a D_5 és D_7 egyedi harmonikus torzítás?

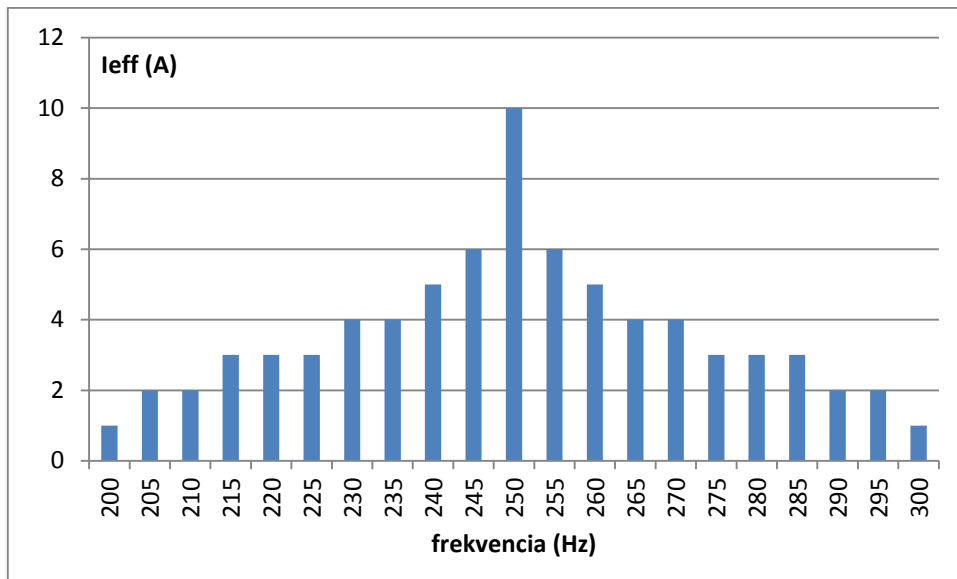


$$D_5 = 5/10 = 0,5$$

$$D_7 = 4/10 = 0,4$$

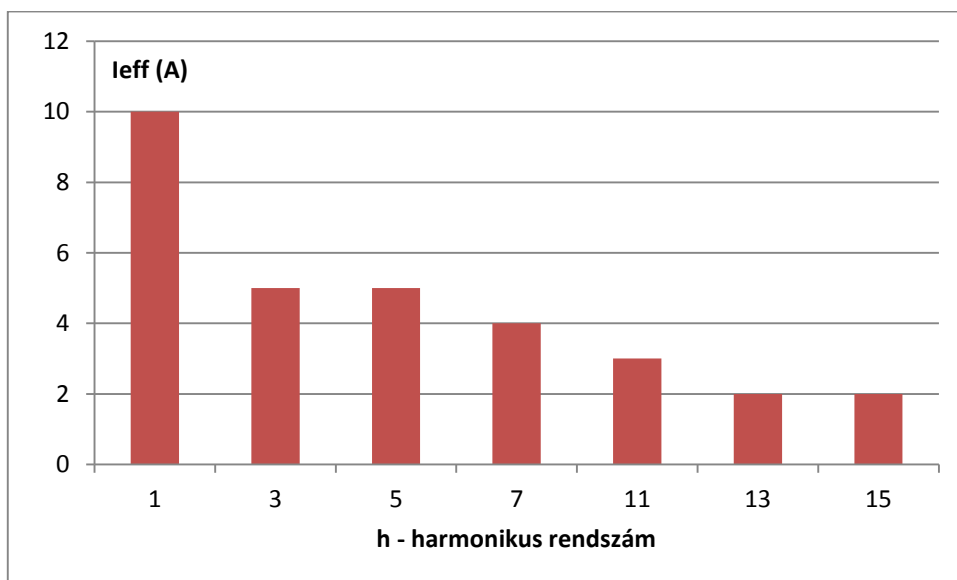
$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{5^2+5^2+4^2+3^2+2^2}}{10} \cdot 100\% = 89\%$$

3. Mely szabvány definiálja a kis- és középfeszültségű hálózatok feszültségében kimutatható harmonikusok nagyságának határértékét? Legfeljebb mekkora egyedi harmonikus torzítást enged meg e szabvány? A frekvencia növekedésével a megengedett egyedi harmonikus torzítás nő vagy csökken?
4. Hogyan történik a hálózati feszültség harmonikustartalmának szabványos mérése és kiértékelése?
5. Mit jelentenek az alábbi fogalmak:
 - harmonikus csoport
 - harmonikus alcsoport
 - közbenső harmonikus csoport
 - közbenső harmonikus alcsoport?
6. Egy fogyasztó áram-spektrumának részlete az alábbi ábrán látható. Adja meg
 - a) az 5. harmonikus csoport effektív értékét,
 - b) az 5. harmonikus alcsoport effektív értékét,
 - c) az 5. közbenső harmonikus csoport effektív értékét,
 - d) az 5. közbenső harmonikus alcsoport effektív értékét!



- a) $G_{g,5}^2 = \frac{C_{250-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{250+i}^2 + \frac{C_{250+5}^2}{2} = 3^2/2 + (4^2+4^2+5^2+6^2+10^2+6^2+5^2+4^2+4^2)+3^2/2 = 295$, ennek négyzetgyöke 17,18 A
- b) $G_{s,g,5}^2 = \sum_{i=-1}^1 C_{250+i}^2 = (6^2+10^2+6^2) = 172$, ennek gyöke 13,11 A
- c) $C_{ig,5}^2 = \sum_{i=1}^9 C_{250+i}^2 = (6^2+5^2+4^2+4^2+3^2+3^2+3^2+2^2+2^2) = 128$, ennek gyöke 11,31 A
- d) $C_{isg,5}^2 = \sum_{i=2}^8 C_{250+i}^2 = (5^2+4^2+4^2+3^2+3^2+3^2+2^2) = 88$, ennek gyöke 9,38 A

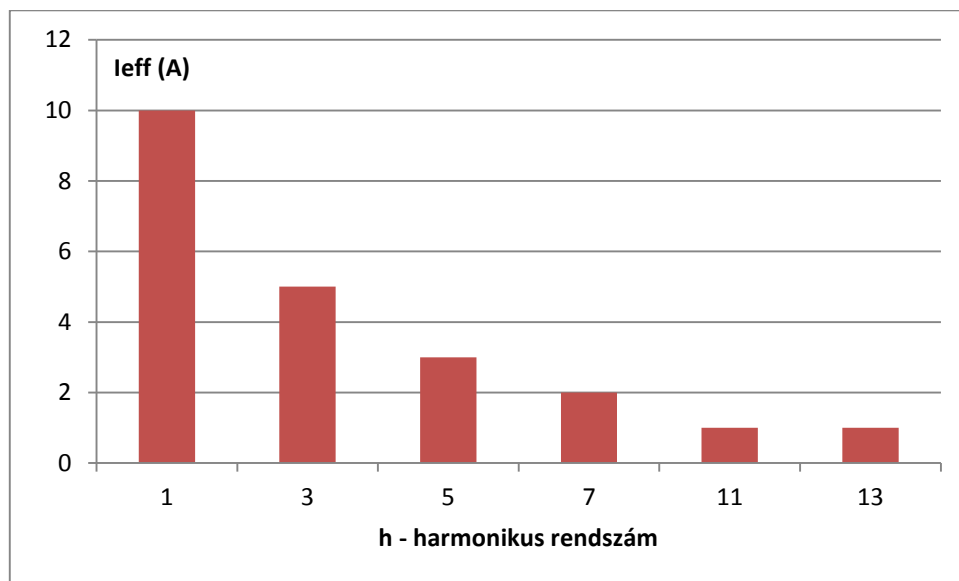
7. Definiálja a mérésponti és a transzfer impedancia fogalmakat!
8. Egy kisfeszültségen ellátott háromfázisú szimmetrikus fogyasztó fázisáramainak spektruma az alábbi ábrán látható:



Mekkora lesz a nullavezetőben folyó áram effektív értéke?

Mivel a fogyasztó szimmetrikus, és mivel csak a 3-mal osztható rendszámú harmonikusok zérus sorrendűek, ezért a nullavezetőben a 3. és a 15. harmonikus áramok fognak összegződni. Ez összegáram effektív értéke $\text{Gyök}(3^2 \cdot 5^2 + 3^2 \cdot 2^2) = 16,16 \text{ A}$.

9. Egy egyfázisú fogyasztó áramának spektruma az alábbi ábrán látható. Mekkora többletvesztést okoz ez a fogyasztó a hálózaton ahhoz képest, mint ha csak az alapharmonikus áramát venné fel?



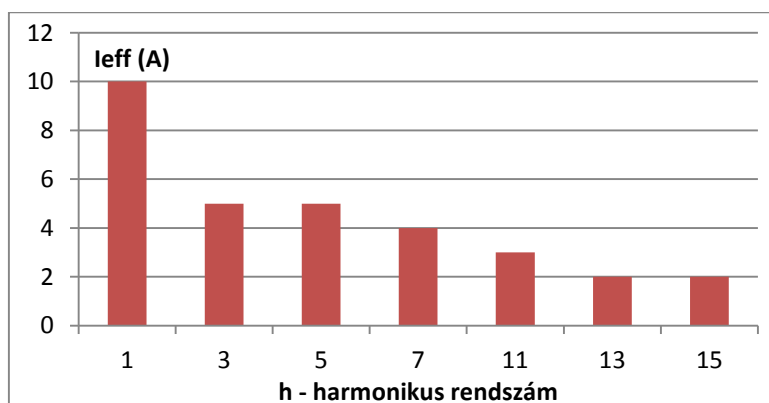
$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{5^2 + 3^2 + 2^2 + 1^2 + 1^2}}{10} \cdot 100\% = 63\%$$

Ezért az általa okozott többletvesztés $1+THD_I^2 = 1+0,63^2 = 1,4$, tehát kb. 40%-kal nagyobb veszteséget okoz.

10. Milyen problémákat, zavarokat okozhatnak a harmonikusok?
 11. Hogyan lehet védekezni harmonikusokkal szemben?

További feladatok

12. Egy kisfeszültségen ellátott háromfázisú szimmetrikus fogyasztó fázisáramainak spektruma az alábbi ábrán látható:



- a) Mekkora lesz a nullavezetőben folyó áram effektív értéke?
 b) Hányszoros veszteséget okoz ez a fogyasztó a hálózaton ahhoz képest, mint ha csak az alapharmonikus áramát venné fel? (A nullavezető és a fázisvezetők ellenállása egyforma.)

- a) Mivel a fogyasztó szimmetrikus, és mivel csak a 3-mal osztható rendszámú harmonikusok zérus sorrendűek, ezért a nullavezetőben a 3. és a 15. harmonikus áramok fognak összegződni. Az összégáram effektív értéke $\sqrt{(3 \cdot 5)^2 + (3 \cdot 2)^2} = 16,16 \text{ A}$.

b)

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \cdot 100\% = \frac{\sqrt{5^2 + 5^2 + 4^2 + 3^2 + 2^2 + 2^2}}{10} \cdot 100\% = 91\%$$

Ha csak a (szimmetrikus) alapharmonikust venné fel a fogyasztó, akkor az általa okozott veszteség $3RI_1^2$. Felharmonikusokkal együtt ezen felül keletkezik még $3R\Sigma I_h^2$ veszteség, és a nullavezetőben RI_N^2 . Tehát a két veszteség hányadosa:

$$(3RI_1^2 + 3R\Sigma I_h^2 + RI_N^2) / 3RI_1^2 = 1 + THD_I^2 + 1/3 \cdot 16,16^2 / 10^2 = 1 + 0,91^2 + 0,87 = 2,7$$

13. Ld. https://vet.bme.hu/sites/default/files/tantargyi_fajlok/tananyag_feladatgyujtemeny.pdf, a 9, 14, 15, 16, 19. feladatokat (a 19. feladatban a trafó névleges teljesítménye helyesen **160 kVA!**)