

### 1. Mi az aszimmetria definíciója? Mely szabvány definiálja ennek határértékét, és mekkora ez a határérték?

Amint említettük, hagyományosan az aszimmetria az alapharmonikus feszültség illetve áram negatív sorrendű összetevője a pozitív sorrendű összetevőre viszonyítva:

ahol:  $X$  a szóban forgó mért mennyiség (feszültség vagy áram).  $A_x$  lehet viszonylagos egységben vagy százalékban megadva.

Az MSZ EN 50160 szabvány a negatív sorrendű feszültség megengedett értékét az egy hetes mérés egymást folytonosan követő 10 perces átlagaiból képzett eloszlás függvény 95%-os értékéhez rendeli. Ezt az értéket  $P_{(95)}$ -el jelöli és nagyságát kis és középfeszültségű hálózatokon 2%-ban korlátozza. A mérés és kiértékelés folyamatát a 7-1. ábra ismerteti.

A 7-1. ábra példaképpen feltüntetettük a szabványnak megfelelő egy hetes mérés végeredményeképpen kapott 10 perces  $A_u$  értékek eloszlásfüggvényét. Az eloszlás függvény  $P_{(95)}$  értéke 2%-nál kisebb, ez megfelel a szabvány előírásainak. Ha azonban a  $P_{(95)}$  értékhez tartozó aszimmetria 2%-nál nagyobb, akkor a mérés alapján az adott helyen az aszimmetria nagyobb, mint a megengedett érték. Ugyanakkor a megfelelőnek minősülő mérésnél sem zárható ki, hogy a  $P_{(95)}$  és  $P_{(100)}$  közötti 50 db (0,005·1008) mérési eredmény olyan 10 perces átlagértéket adott, amelyeknél akár 5% is lehet az aszimmetria.

### 2. Hogyan történik az aszimmetria szabványos mérése és kiértékelése? (A mérés milyen nehézségekbe ütközik?)

Nehézségek: A feszültség aszimmetria mérése nem egyszerű feladat. Anélkül, hogy a részletekbe mennénk, felvetjük a mérési pontosságot befolyásoló körülményeket:

1. a mérőberendezés pontossági osztálya
2. a feszültségváltók pontossági osztálya (nem KIF mérés esetén)

A negatív sorrendű aszimmetria mérési és kiértékelési algoritmusát tekintve megegyezik az alapharmonikus feszültség mérési algoritmusával. A negatív és zérus sorrendű alapharmonikus aszimmetria meghatározása a mért fázismennyiségekből a transzformációs mátrix alapján történik. A transzformációs mátrix szerint 10 periódusonként átlagolva a mért áramokat, illetve feszültségeket az összetartozó háromfázisú fázor mennyiségekből számítjuk a pozitív negatív és zérus sorrendű fázorokat. Ugyancsak 10 periódusonként számoljuk az „A” aszimmetria tényezőket, majd képezzük a szabvány szerinti 3 s és 10 perces átlagokat.

### 3. Milyen okai lehetnek aszimmetria kialakulásának?

Az aszimmetriát a rendszer szimmetriáját megzavaró körülmények okozzák, amelyek időtartamukat tekintve lehetnek:

1. átmenetiek (pl. zárlatok, szakadások a hálózatban)
2. kvázi stacionerek (pl. vonali feszültségre csatlakozó vagy egyfázisú fogyasztó)
3. helyileg állandóak (pl. adott geometriájú távvezeték)

### **Fogyasztók által okozott aszimmetria**

A feszültségesések nagyságát és fázisát illetően az alábbiak mondhatók:

1. Az aszimmetrikus, egyfázisú, vonali fogyasztók hatására időben, helyben változó negatív sorrendű áram folyik a negatív sorrendű hálózatban, amelynek hatására negatív sorrendű feszültség esés keletkezik. A negatív sorrendű áram a pozitív sorrendű árammal azonos nagyságú, azzal ellenfázisú. A csatlakozási ponton a negatív sorrendű feszültségesés ennek következtében passzív hálózat esetén azonos nagyságú és ellenkező fázisú mint a pozitív sorrendű.
2. A fázis-nulla közé kötött egyfázisú fogyasztók hatására időben, helyben változó negatív sorrendű áram folyik a negatív sorrendű hálózatban, és zérus sorrendű a zérus sorrendű hálózatban, amelynek hatására negatív és zérus sorrendű feszültség esés keletkezik. A negatív és zérus sorrendű áram a pozitív sorrendű árammal azonos nagyságú és fázisú. A csatlakozási ponton a negatív sorrendű feszültségesés passzív hálózat esetén azonos nagyságú és fázisú mint a pozitív sorrendű, a zérus sorrendű feszültségesés fázisa velük azonos, nagysága azonban eltérhet, mivel a zérus sorrendű impedancia általában nem azonos a pozitív /negatív sorrendű impedanciával.
3. Háromfázisú fogyasztó is okozhat aszimmetriát, ha a fázis impedanciák eltérőek. Ilyen pl. a váltakozó áramú villamos ívkemence. Ha nagy teljesítményű, akkor villogást (flickert) okozó hatása miatt kompenzálni kell, ez egyben a negatív sorrend hatását is csökkenti.

### **Nem szimmetrikus geometriájú távvezetékek által okozott negatív sorrendű aszimmetria**

Az erősáramú távvezetékek háromfázisúak, esetenként védővezetőségek. Nem hozható létre olyan elrendezés amely a kölcsönös impedanciák teljes szimmetriája biztosítaná, csak ha teljes hosszára biztosított a fáziscsere. Hazánkban csak a 750 kV-os távvezeték fáziscserélt.

**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)?**

The screenshot shows a PowerPoint slide with the following content:

**Aszimmetrikus terhelés – levezetés...!**

- Negatív sorrendű áram:  
csak a fázisvezetőkben okoz **többlet** veszteséget  

$$P_{V1-2}/P_{V(id.)} = 1 + I_2^2 / I_1^2$$
- Zérus sorrendű áram:  
fázisvezetőkben és nullavezetőben is többlet veszteséget okoz  
(Nullavezetőben  $3I_0$  áram,  $9I_0^2$ -tel arányos veszteség)  

$$P_{V,1-0}/P_{V(id.)} = 1 + 4 I_0^2 / I_1^2$$
- Mérésink alapján  $I_0/I_1$ : 0,08..0,4

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

A terhelések által okozott aszimmetria csökkentésére több lehetőség is kínálkozik:

- fogyasztói terhelések szimmetrikus elosztása
- zárlati teljesítmény növelése a fogyasztó csatlakozási pontján
- kompenzálás a fogyasztónál
- zeg-zug fojtó alkalmazása zérus sorrendű áram szűrésére (ennek zérus sorrendű impedanciája csekély, míg pozitív sorrendű impedanciája nagy, így söntelemként alkalmazva szűrőként viselkedik).

## Harmonikusok

### 1. Mi a THD?

Teljes harmonikus torzulás:

- feszültségre:  $THD_U = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} U_h^2}}{U_1} \cdot 100\%$
- áramra:  $THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{h=2}^{\infty} I_h^2}}{I_1} \cdot 100\%$

Az előbbi összefüggésekben az 1 index az alapharmonikust jelenti, a h index a harmonikus rendszámot. A THD értéke a feszültség esetén egyértelmű és a százalékban kifejezett mérőszámok összehasonlíthatók a különböző feszültségszinteken. Ugyanakkor az áram esetében a százalékos érték sokszor félrevezető lehet az alapharmonikus tényleges értéke nélkül. Ezért itt jobb a THDI dimenzionális értékét használni, vagy valamilyen adott áramra végezni a vonatkoztatást (pl. a transzformátor névleges áramára)

### 3. Mely szabvány definiálja a kis- és közepfeszültségű 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?

A harmonikusok mérése az MSZ EN 61000-4-7 -2002 szabvány által meghatározott módon történik. A 200 ms-os értékekből 15 db négyzetes átlagát kell képezni, az a 3 s-os effektív érték átlag, majd ezekből kell képezni a 10perces átlagokat, egymást követő 10 percenként. A 10 perces átlagok egy hétig mért statisztikájából készül a P(95) érték a korábban már mondottak szerint. Amennyiben ez az érték megfelel az előírásnak, akkor a harmonikus feszültségtorzulás nem lépte túl a szabványban megadott irány értéket, tehát megfelelő.

Odd harmonics				Even harmonics	
Not multiples of 3		Multiples of 3			
Order h	Relative amplitude $u_h$	Order h	Relative amplitude $u_h$	Order h	Relative amplitude $u_h$
5	6,0 %	3	5,0 %	2	2,0 %
7	5,0 %	9	1,5 %	4	1,0 %
11	3,5 %	15	0,5 %	6 ... 24	0,5 %
13	3,0 %	21	0,5 %		
17	2,0 %				
19	1,5 %				
23	1,5 %				
25	1,5 %				

NOTE No values are given for harmonics of order higher than 25, as they are usually small, but largely unpredictable due to resonance effects.

#### 4. Hogyan történik a hálózati feszültség harmonikus tartalmának szabványos mérése és kiértékelése?

A szabvány a két főnyaláb közötti frekvenciát 10 egyenlő részre osztja, ami megfelel 5 Hz-es felbontásnak. A harmonikusra és a közbenső harmonikusra egyaránt két adatot kell képezni.

A mérés kiértékelése több részből állhat. Először is ki kell számolni a feszültségtorzulásra a szabvány szerinti P(95) értéket a csoport vagy alcsoport effektív értékekkel, harmonikusonként és a THD-re. Ha ez nem elegendő az esetleges problémák feltárása érdekében a mért időfüggvények kiértékelésére van szükség.

## 5. Mit jelentenek az alábbi fogalmak:

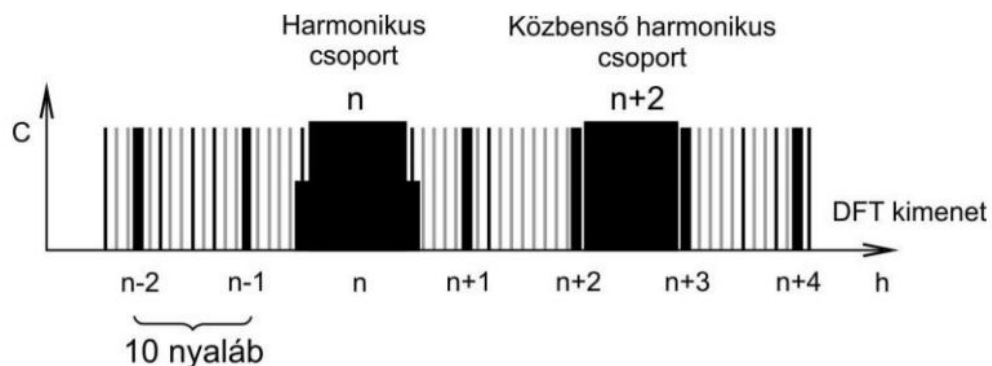
- harmonikus csoport
- harmonikus alcsoport
- közbenső harmonikus csoport
- közbenső harmonikus alcsoport?

A  $h=n$  harmonikus rendszámhoz tartozó **harmonikus csoport** effektív érték négyzete:

$$G_{g,n}^2 = \frac{C_{k-5}^2}{2} + \sum_{i=-4}^4 C_{k+i}^2 + \frac{C_{k+5}^2}{2}$$

A  $h=n$  harmonikus rendszámhoz tartozó **közbenső harmonikus csoport** amplitúdó effektív értéke:

$$C_{ig,n}^2 = \sum_{i=1}^9 C_{k+i}^2$$



### 5-3. ábra: a harmonikus és közbenső harmonikus csoportképzés szabálya

A  $h=n$  harmonikus rendszámhoz tartozó **harmonikus alcsoport** effektív érték négyzete:

$$G_{sg,n}^2 = \sum_{i=-1}^1 C_{k+i}^2$$

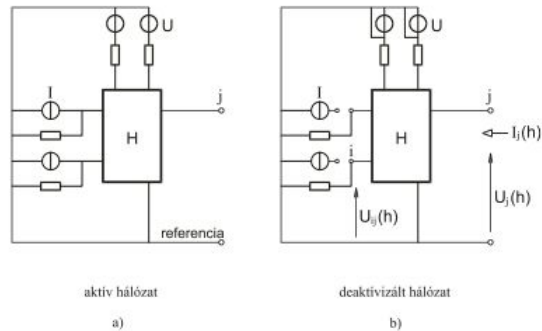
A  $h=n$  harmonikus rendszámhoz tartozó **közbenső harmonikus alcsoport** effektív érték négyzete:

$$C_{isg,n}^2 = \sum_{i=2}^8 C_{k+i}^2$$

## 7. Definiálja a mérési ponti és a transzfer impedancia fogalmakat!

es/default/files/tantargyi\_tajlok/h%2C%202016/02/29%20-%2014%3A00/ValtakozoAramuRendszerek\_VM.pdf

A hálózat felharmonikus mérési ponti impedanciája meghatározásához először definiálni kell a felharmonikus mérési ponti impedancia fogalmát.



5-12. ábra: a harmonikus mérési ponti impedancia definíciója

Vizsgáljuk a 5-12. ábra szerinti hálózatot, ahol a H-val jelzett elem a passzív lineáris hálózat, amely tartalmazza a passzív, lineáris fogyasztókat is. A nemlineáris terheléseket a felharmonikus tartományban a 5-11. ábra szerint áramgenerátorként, a szinkrongenerátorokat és motorikus fogyasztókat elektromotoros erejük és belső impedanciájuk figyelembevételével feszültséggenerátorként kezelve a hálózat többi részétől elkülönítjük, majd a j csomópontba  $I_j(h)$  h-adik rendszámú felharmonikus áramot injektálva, a j pont h-adik rendszámra mutatott mérési ponti impedanciáját a feszültséggenerátorok, illetve az áramgenerátorok passzívra tételével nyerjük (5-12. ábra):

$$Z_{jj}(h) = \frac{U_j(h)}{I_j(h)}$$

Ugyancsak a j csomópontba injektálva az  $I_j(h)$  áramot, definiálható a transzfer impedancia, az előzőkkel megegyező lezárási feltételekkel. A  $Z_{ij}$  transzfer impedancia alatt azt az impedanciát értjük, amely a j csomópontba történő egységnyi áraminjektálás esetén számértékre megegyezik az i csomópontban ezen áram hatására fellépő feszültséggel ( $U_{ij}(h)$ ).

$$Z_{ij}(h) = \frac{U_{ij}(h)}{I_j(h)}$$



## 12. Milyen problémákat, zavarokat okozhatnak a harmonikusok?

- Többszörös veszteség:  $P_{\text{ver}}/P_{v1} = 1 + \text{THD}_I^2$ 
  - Nullavezetőben:  $P_{\text{vn},3h} = R_n I_1^2 \vartheta (\text{THD}'_I)^2$ , ahol  $\text{THD}'_I = \sqrt{\sum_{h=3n} I_h^2} / I_1$
- Kábelek, vezeték túlmelegedése
  - Megoldás:
    - harmonikus szűrés
    - visszaminősítés (keresztmetszet növelése)
- Transzformátorok túlmelegedése
  - feszültségtorzulás miatt a vas
  - áramtorzulás miatt a tekercs
  - Megoldás mint fent
- Védelmek hibás működése
  - (kisautomata "téves oldás", diffvédelem bekapcsolási áramlökésre)
- Szinkronizálásra érzékeny berendezéseknél hiba a nullátmenet bizonytalansága miatt
- HKV berendezések zavarása
- Fázisjavító kondenzátorok túlmelegedése
- KÖF hálózat hibahelyi maradékáram növelése
- Postai vonalak zúgászavara
- Energiamérők pontatlansága
  - Hibás mérési algoritmus:  $Q = \sqrt{S^2 - P^2}$      $S = U_{\text{eff}} \times I_{\text{eff}}$
  - Torzítatlan feszültség és torzított áram esetén:  $S = U_{\text{eff}} I_{\text{eff}} = U_1 I_{\text{eff}} = U_1 \sqrt{I_1^2 + \sum_h I_h^2}$ , ekkor
$$\frac{Q}{Q_1} = \sqrt{1 + \frac{\text{THD}_I^2}{\sin^2 \varphi}}$$



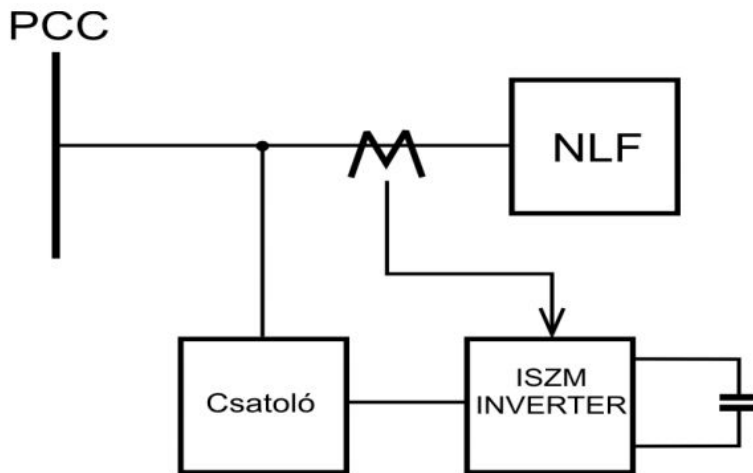
### 13. Hogyan lehet védekezni harmonikusokkal szemben?

-Passzív harmonikus szűrés:

A passzív harmonikus szűrés azt jelenti, hogy a nemlineáris fogyasztó által termelt harmonikus áramnak a hálózat felé záródó értékét passzív (tehát nem áramgenerátor jellegű) elemek célszerű kapcsolásával adott mértékben lecsökkentjük.

-Aktív harmonikus szűrés

Az aktív harmonikus szűrés definíciója, hogy valamilyen berendezéssel előállítunk a szűrendő (csökkentendő) harmonikus árammal ellenfázisú, vele azonos frekvenciájú áramot, amely áramot összegzünk az eredeti árammal a fogyasztó kapcsainál, a hálózati csatlakozási pont előtt (a fogyasztói oldalon). Így a hálózat felé a csökkentett harmonikus áram folyik.



5-33. ábra: az aktív szűrő csatlakozása a hálózatra

## +kérdés

5-2. táblázat: a passzív és aktív szűrés összehasonlítása

Folyamat	Passzív szűrés	Aktív szűrés
Hálózati rezonancia	A szűrt harmonikusok között és a legkisebb szűrt rendszám alatti frekvencián mindig van párhuzamos rezonancia	Nem okoz
Túlterhelés	Nem akadályozható meg, csak körültekintő tervezéssel	Nem lehetséges
Kiválasztott rendszám szűrése	Lehetséges, de csak, ha az a legkisebb szűrendő rendszám	Lehetséges
Nagyobb frekvenciákon szűrés	Szélessávú szűrővel	Egyelőre nem alkalmazzák, csak max. 650Hz-ig
Bővítés	Lehetséges, de azonos frekvenciára hangolt szűrők párhuzamos üzeme nagy körültekintést igényel	Lehetséges
Alapharmonikus meddőkompenzálás	Lehetséges, de csak lépcsőkben változtatható	Lehetséges, folyamatosan szabályozható
Karbantartás	Nem igényel karbantartást	Rendszeres karbantartást igényel
veszteség	Hatásfok 99-99.5%	Hatásfok 96-97%
rendelkezésre állás	nagy	változó
Beruházási költség	5	1