

Villamos hálózati zavarok

Dr. Tarnik István

Az utóbbi néhány évben az épülettechnika szakágazatban jelentős változások következtek be. Ebbe a szakágazatba soroljuk jelenleg az energiatechnikát, a világítás-technikát, a mérés-, vezérlés- és szabályozástechnikát, a biztonságtechnikát, a kommunikációtechnikát és a környezetvédelmet. Ezen szakágazatba tartozó területeken általánossá vált az elektronika és az informatika alkalmazása. Megjelentek az ún. intelligens épületek, melyek jellemzői, hogy a beavatkozások nagy energiaszinten valósulnak meg, míg az irányítás és a felügyelet kis energiaszintű. Ugyanez mondható el a mai korszerű felvonó vezérlési- és szabályozási rendszerekre is. Az irányítás- és a felügyelet ma már szinte kizárólag ún. buszrendszeren keresztül történik. Ezen buszrendszerek ill. ezek készülékei érzékenyek a villamos hálózati zavarokkal szemben, emiatt az intelligens épületek megkövetelik a minőségi villamos energia ellátást.

Napjainkban a villamos energia fogyasztói összetételében is jelentős változás van folyamatban. Ez a változás megfigyelhető az ipar-, a kommunális- és a világítástechnikai jellegű berendezéseknél is. Ez a változás az ún. információtechnológiai (IT) berendezések és az ún. energiatakarékos berendezések elterjedésére vezethető vissza. Ezen berendezések nagy része ún. *nemlineáris terhelésként* viselkedik, de ugyanez mondható el a korszerű frekvenciaváltós felvonó hajtásokról is.

Ugyanakkor a fogyasztói struktúra változása visszahat a villamos energia minőségi mutatóira, továbbá a villamos hálózatokra és befolyásolja azt. Ezen túlmenően kikényszerít egy szemlélet változást is, mivel a korábbi tervezési- és üzemeltetési gyakorlat a továbbiakban már nem tartható. Ez a gyakorlat a terheléseket főként lineáris terhelésként vette figyelembe, azaz feltételezte, hogy egy szinuszos feszültségre kapcsolt berendezés szinuszos áramot vesz fel.

2001 májusában megjelent az MSZ EN 50160 jelű szabvány, mely a villamos energia feszültségjellemzőit tartalmazza normál üzemi körülmények között, közcélú kiefeszültségű és középfeszültségű villamos elosztóhálózatok fogyasztói csatlakozási pontjaiban.

Leírja a tápfeszültség jellemzőit, köztük annak frekvenciáját, nagyságát, hullámformáját, a háromfázisú feszültség szimmetriáját stb.

A továbbiakban a szabvány (MSZ EN 50160) által felsorolt, a kiefeszültségű hálózatra jellemző minőségi mutatók közül csak azokkal foglalkozunk, melyet a fogyasztói készülékek befolyásolnak, - az intelligens épületeknél és a felvonók irányításánál működésbeli zavart okozhatnak - és amelyek javíthatók a fogyasztói hálózatok korszerűsítésével. Ezek :

- a tápfeszültség nagysága,
- a tápfeszültség változásai,
- a felharmonikus feszültség és
- a villogás (flicker).

A tápfeszültség nagysága és változásai.

A fogyasztók számára alapvető fontosságú a csatlakozási ponton rendelkezésre álló **feszültség nagysága**. A fogyasztói áram a tápláló vezetéken átfolyva a vezetéken feszültség esést hoz létre. Az időben változó nagyságú fogyasztói áram miatt a fogyasztói feszültség nemcsak a helytől, hanem az időtől is függő érték.

Az áramszolgáltatóknak a kisfeszültségű hálózaton az MSZ 1:1993 szabvány szerint, a mérőhely csatlakozási pontján a feszültséget

$$U_n = 230 \text{ V}^{+7,8\% \text{ } -7,4\%} \text{ kell tartani. (2008 január 1.-ig megengedett } U_n^{+5,2\% \text{ } -8,7\%})$$

Az MSZ 447:1998 szabvány a csatlakozóvezeték és a fővezeték együttes feszültségésére legfeljebb 2%-ot enged meg.

Ennek megfelelően, helyesen méretezett csatlakozó- és fővezeték esetében a fogyasztók feszültségének, a legrosszabb esetben is az

$$U_n = 230 \text{ V}^{+10\% \text{ } -10\%} \text{ feszültség tűrésmezőn belül kell lenni.}$$

Amennyiben a feszültség nagyobb a fogyasztóra megengedett $U_n +10\%$ értéknél, akkor a fogyasztónál gyorsított élettartam csökkenésre (szigetelés előregedésre), veszteségek növekedésére lehet számítani. A feszültség további növekedése (15% fölé) a berendezések gyors tönkremeneteléhez vezet.

A feszültség csökkenése egy ideig csak teljesítménycsökkenéshez vezet. (pl.: izzólámpák fényárama, felvonó motorok nyomatéka stb.). További feszültségcsökkenés az IT berendezésekben és a teljesítményelektronikát tartalmazó berendezéseknél hibás működéshez (pl. RESET kiváltása) illetve tönkremenetelhez vezethet.

A feszültség mérését az MSZ EN 61000-4-7:1995 és az MSZ EN 50160:2001 szabványok szerint valósidejű effektív érték (négyzetes középérték) mérése alapján kell elvégezni. Ez vonatkozik a gyors változások értékelésére is.

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T u^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} u^2(\omega t) d\omega t}$$

Digitális mintavételes rendszereknél :

$$U_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{M} \sum_{s=0}^{M-1} (U_s)^2}$$

értéket 10 ciklus alapján kell számolni.

M az egy ciklus alatti mintavételek száma ($M=256$)

U_s az s -edik mintavételi pontban a feszültség pillanatértéke.

Az áramszolgáltatói gyakorlatban a *lassú változások értékeléséhez*, 50Hz-en a 10 periódusnyi mért értékek valósidejű átlagát kell képezni *10 percenként*, és ezt a 10 perces átlagot kell tárolni.

Az MSZ EN 50160 szerint :

2.3. A tápfeszültség változásai

Normál üzemi körülmények között, a feszültségkimaradásokat figyelmen kívül hagyva

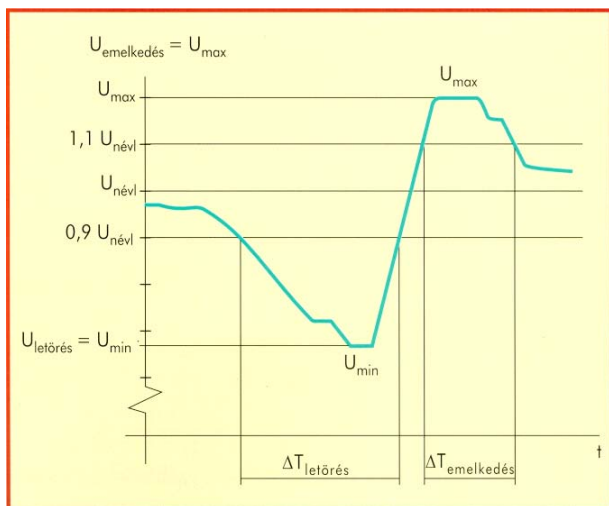
- a tápfeszültség 10 perces átlagos effektív értékei 95%-ának bármely egyhetes időszakban az $U_n \pm 10\%$ tartományban kell lennie.

2.4.1. A gyors feszültségváltozások nagysága

Normál üzemi körülmények között egy gyors feszültségváltozás általában nem haladja meg az U_n 5%-át, de bizonyos körülmények között a változás, naponta néhányszor, rövid időre U_n 10%-át is elérheti.

MEGJEGYZÉS: az U_n 90%-ánál kisebb feszültséget eredményező feszültségváltozást feszültségletörésnek kell tekinteni.

A feszültség effektív értékének a változása az MSZ EN 61000-3-3 szabvány szerint



Feszültség valós effektív érték mérése

Triggerelési feltétel :

$$U/U_n < 0,9 \text{ illetve } U/U_n > 1,1$$

A fogyasztói hálózatokon a feszültségletörés okai a következők lehetnek :

- laza vezetékkötés vagy rossz érintkezés

Következmény :

- feszültségletörés
- rádiófrekvenciás zavarás
- beégés, esetleg tűz
- elektronikus berendezések hibás működése illetve meghibásodása.

- nagy bekapcsolási áramlökéssel induló fogyasztók (pl. porszívó, számítógép tápegységek, frekvenciaváltós felvonó hajtások, mikrohullámú sütők, különböző világítótestek)

Következmény :

- feszültségletörés az áramlökés idejére,
- elektronikus berendezések hibás működése illetve meghibásodása,
- elektronikus felvonó vezérlések RESET-re futása,
- frekvenciaváltós felvonó hajtások hibás működése.

A felharmonikus feszültség.

A fogyasztói feszültséget a tápponti feszültség továbbá a táppont és a fogyasztói pont közötti feszültségesés szabja meg. A feszültségesés a vezeték impedancián átfolyó fogyasztói áram hatására jön létre. Ez a fogyasztói áram az un. nemlineáris terheléseknél periodikus, de nem szinuszos lefolyású. Ez a nem szinuszos áram, nem szinuszos feszültségesést eredményez. Ez a feszültség torzítja a fogyasztói feszültséget. Ezt hívjuk harmonikus torzításnak.

A periodikus függvények az un. Fourier sorba fejtéssel felírhatók szinuszos illetve koszinuszos tagok összegeként, melyek frekvenciája az un. alapharmonikus frekvencia (50Hz) egész számú többszöröse. Az egyes diszkrét felharmonikus frekvenciákhoz tartozó amplitudókat ábrázolva kapjuk az un. Fourier spektrumot.

A T illetve a 2π szerint periódikus függvények sorba fejthetők

$$f(t, T) = F_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (A_k \cos k\omega t + B_k \sin k\omega t) = F_0 + \sum_{k=1}^{\infty} (F_k \cos k\omega t + \rho_k)$$

ahol az együtthatók a következőképp határozhatók meg :

$$A_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \cos k\omega t dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \cos k\omega t d(\omega t)$$

$$B_k = \frac{2}{T} \int_0^T f(t) \sin k\omega t dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{2\pi} f(\omega t) \sin k\omega t d(\omega t)$$

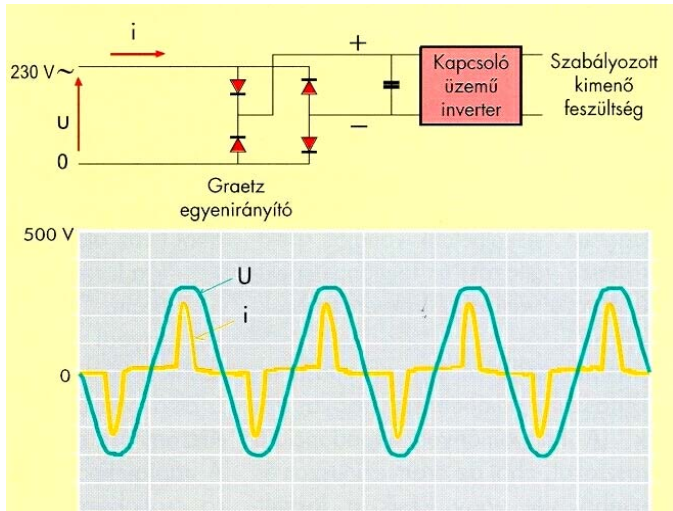
$$F_k = \sqrt{A_k^2 + B_k^2} \quad \operatorname{tg} \rho_k = -\frac{B_k}{A_k}$$

A hálózati felharmonikusok kialakulásában és a feszültség torzításában jelentős szerepet játszanak az információtechnológiai berendezések (pl. számítógépek, monitorkok, nyomtatók stb.), illetve a teljesítményelektronikai berendezések (pl. frekvenciaváltók).

Az információtechnológiai berendezések tápegységei szinte kivétel nélkül egyfázisú kapcsolóüzemű tápegységek, melyek hálózati transzformátort nem tartalmaznak. Ezek nemlineáris terhelésként viselkednek, szinuszos hálózati feszültség hatására az áramuk nem szinuszos. Egy épületen belül ezek nagy darabszáma komoly és nehezen behatárolható hálózati zavarok okozója lehet.

A mai korszerű irodaházakban több száz számítógép is működhet. Ugyanakkor ezen épületekbe ma már szinte kizárólag csak elektronikus vezérléssel és szabályozott hajtással ellátott felvonókat telepítenek. A felvonó hajtásszabályozók területén egyre inkább háttérbe szorúlnak az un. feszültség szabályozott hajtások és néha indokolatlanul is előtérbe kerülnek a frekvenciaváltós hajtások. Ezek lényegesen érzékenyebbek a hálózati zavarokra, ugyanakkor ezek is hálózati zavarokat keltenek.

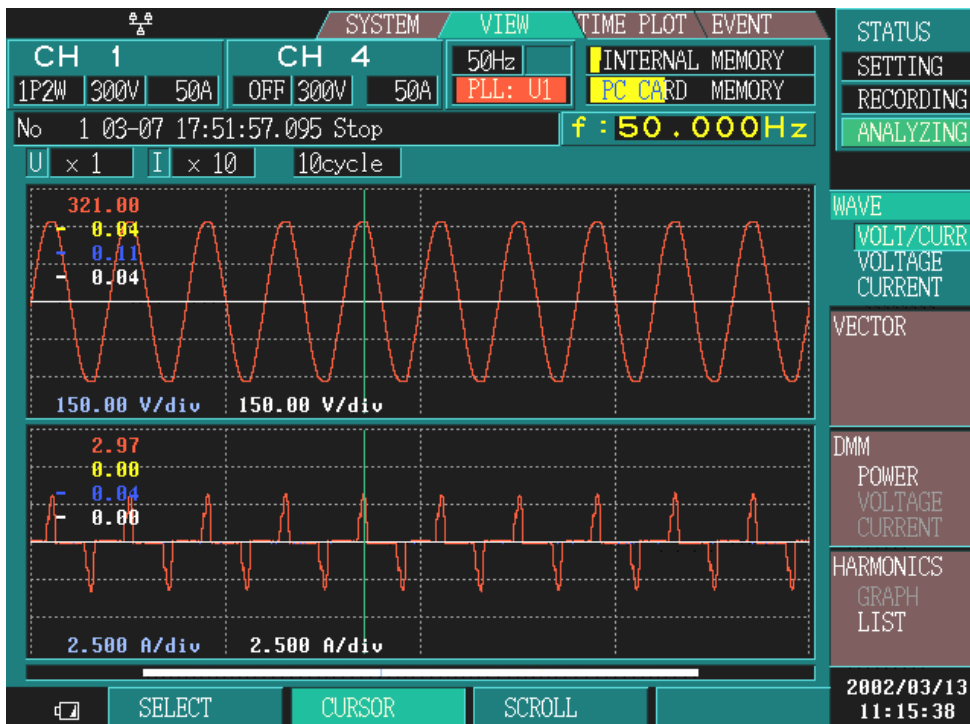
Az információtechnológiai berendezések és a frekvenciaváltók is un. csúcsegyenirányítót tartalmaznak és ez kapcsolódik a villamos hálózathoz.



Elvi kialakítás

Feszültség és áram függvény

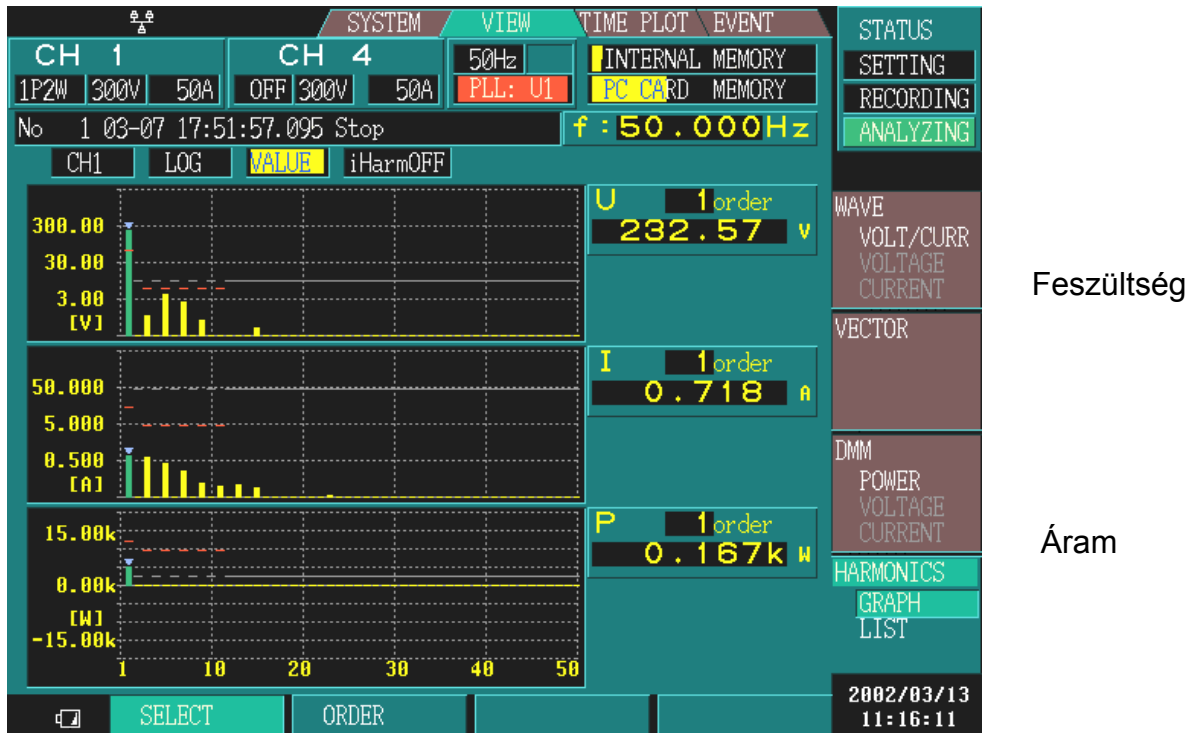
Az alábbiakban egy jó minőségű számítógép, egyfázisú csúcs-egyenirányítót tartalmazó kapcsolóüzemű tápegységének jelalakjai láthatóak, melyek HIOKI 3196 hálózati minőség analízátorral lettek rögzítve. Látható, hogy az áram periodikus, de nem szinuszos és lényeges nagyságú felharmonikusokat tartalmaz.



Feszültség

Áram

A Fourier spektrumból, - mely az egyes diszkrét felharmonikus frekvenciákhoz tartozó amplitudókat tartalmazza -, látható, hogy az 50Hz-es frekvenciához tartozó alapharmonikus áram ($I_1=0,718A$), közel azonos a 150Hz-es frekvenciához tartozó harmadik harmonikus árammal ($I_3=0,618A$),



A villamos hálózat vezetékkeit és készülékeit az áram effektív értéke alapján kell méretezni.

A periodikus áram effektív értéke.

Fizikailag azzal az egyenárammal egyenlő, mely egy periódus alatt valamely ellenálláson ugyanakkora hőenergiát termel. Ez matematikailag az egy periódusra vonatkozó négyzetes középérték.

$$= \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T i^2(t) dt} = \sqrt{\frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i^2(\omega t) d\omega t}$$

Az áram csúcstényező

Csúcstényező

$$I_{pk} = |i(t)|_{\max}$$

$$K_M = \frac{I_{pk}}{I} > 1$$

A periodikus áram Fourier sora

$$i(t) = I_0 + \sum_{k=1}^{\infty} I_k \cos(k\omega t + \rho_k); \quad \omega = 2\pi f$$

ahol az I_0 középérték megegyezik az állandó összetevővel. (Ez az un. egyenáramú komponens.)

$$I_0 = \frac{1}{T} \int_0^T i(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_0^{2\pi} i(\omega t) d\omega t$$

A periódikus áram effektív értékének a számításához az $i(t)$ függvényt négyzetre kell emelni és az integrálást elvégezni. Az eredmény :

$$I = \sqrt{\sum_{k=0}^{\infty} I_k^2} = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots}$$

A periódikus áram effektív értéke tehát az egyes harmonikusok effektív értékének a négyzetösszegéből vont négyzetgyök. (Geometriai összeg.)

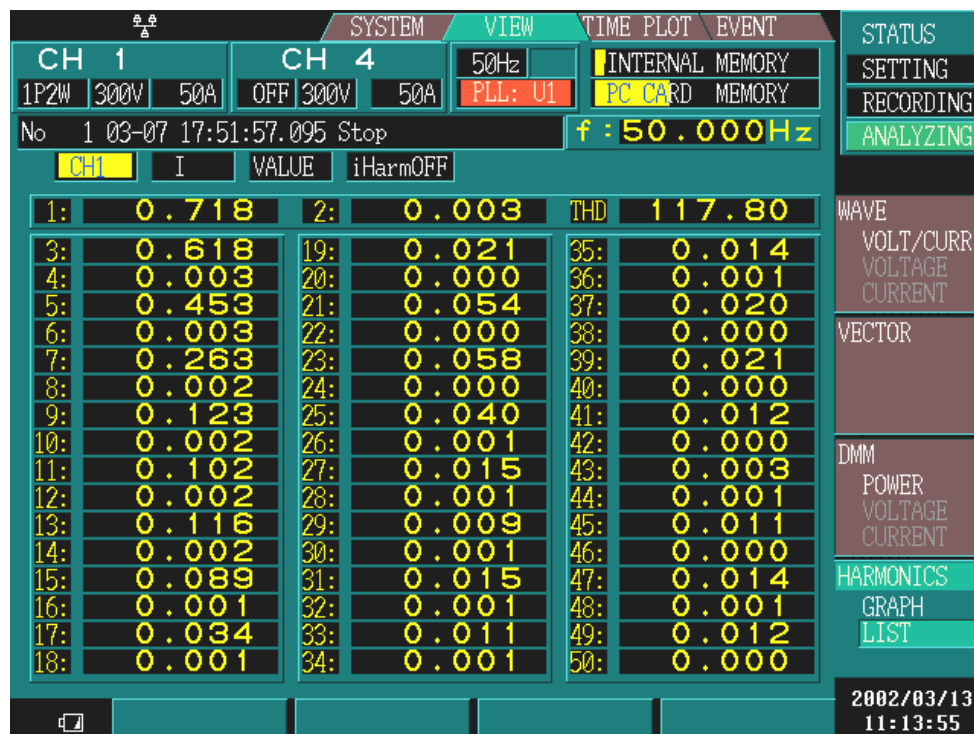
A hálózati minőség analizátorral mérve egy jó minőségű PC tápegység áramának effektív értéke $I=1,114A$, míg csúcserő $I_{pk}=3,15A$. A csúcstényező $K = 2,8276$.

Teljes harmonikus torzítás.

A harmonikus analízishez kapcsolódó alakjellemező az un. torzítási tényező (klirrfaktor), mely azt jellemzi, hogy a periódikus jel milyen mértékben tér el a tiszta szinuszos jeltől. Ezt teljes harmonikus torzításnak (THD_I) is hívjuk és jellemző a fogyasztó nemlinearitására. Általában százalékban adják meg.

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} = \frac{\sqrt{I_2^2 + I_3^2 + \dots}}{I_1}$$

A hálózati minőség analizátorral mérve egy jó minőségű PC tápegységnél az egyes harmonikus áramok effektív értékei és a harmonikus torzítás.



A hatásos teljesítmény és a vezetékvesztésének számítása periodikus jeleknél.

A hatásos teljesítményt általában a feszültség és az áram függvények szorzataként számíthatjuk.

$$p(t) = u(t)i(t)$$

A hatásos teljesítményt ennek a függvénynek az egy periódusra vonatkozó integrálja adja, melyből

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} U_k I_k \cos \varphi_k = U_0 I_0 + U_1 I_1 \cos \varphi_1 + U_2 I_2 \cos \varphi_2 + \dots = \sum_{k=0}^{\infty} P_k$$

azaz :

a periodikus feszültség- és áram hatásos teljesítménye egyenlő az egyes harmonikusok hatásos teljesítményének az összegével.

Ha a skin hatást elhanyagoljuk, akkor a hatásos teljesítmény felírható a következő formában is :

$$P = \sum_{k=0}^{\infty} R_k I_k^2 \cong R \sum_{k=0}^{\infty} I_k^2$$

Az egyes vezetékben az abban folyó áram hatására fellépő veszteség, ha a vezeték ellenállását R-el jelöljük :

$$P_{Vered} = R \sum_{k=0}^{\infty} I_k^2 = R I_0^2 + R I_1^2 + R \sum_{k=2}^{\infty} I_k^2 = P_{V0} + P_{V1} + R \sum_{k=2}^{\infty} I_k^2$$

Figyelembe véve, hogy az áramra vonatkozó teljes harmonikus torzítás :

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \quad \text{melyet behelyettesítve :}$$

A mért adatokkal :

$$\frac{P_{Veredo}}{P_{V1}} = 1 + \frac{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}{I_1^2} = 1 + THD_I^2 \quad 1 + 1,178^2 = 2,387$$

Ez adja a veszteség növekedést a tisztán alapharmonikus veszteséghez képest, ha a skin hatást elhanyagoljuk. Ez a nagymértékű veszteség növekedés feszültségeséshez és a vezeték túlterhelődéséhez vezet.

Harmonikusok a háromfázisú rendszerben.

A modern irodaépületekben az információtechnológiai berendezések három fázisra szét vannak osztva, a felvonók is a háromfázisú hálózatra kapcsolódnak . Ideális esetben szimmetrikusan, azaz minden fázisvezető és a nullavezető között azonos a terhelés. Lineáris fogyasztók esetén ekkor a nulla vezetőkön nem folyik áram. A nem-

lineáris fogyasztók (pl. PC tápegységek és frekvenciaváltók) esetén nem ez a helyzet, emiatt a korábban alkalmazott méretezési gyakorlat sem tartható.

Helytelenül kialakított hálózat esetén ezen berendezések komoly hálózati zavarok forrásai és pl. az intelligens épületeknél nehezen behatárolható hibák okozói lehetnek.

A hálózatokon a gyakorlatban csak a páratlan rendszámú felharmonikusok fordulnak elő. Ekkor az „a” fázis feszültsége :

$$u_a(t) = U_1 \cos \omega t + U_3 \cos 3\omega t + U_5 \cos 5\omega t + \dots$$

Szimmetrikus rendszereknél a „b” fázis feszültsége 120° -ot késik :

$$u_b(t) = U_1 \cos(\omega t - 120^\circ) + U_3 \cos 3(\omega t - 120^\circ) + U_5 \cos 5(\omega t - 120^\circ) + \dots$$

A „c” fázis feszültsége az „a” fázishoz képest 240° -ot késik, azaz 120° -ot siet :

$$u_c(t) = U_1 \cos(\omega t + 120^\circ) + U_3 \cos 3(\omega t + 120^\circ) + U_5 \cos 5(\omega t + 120^\circ) + \dots$$

A beszorzást elvégezve és 180° -nál kisebb szögeket írva az egyes fázisok feszültség-idő függvényei :

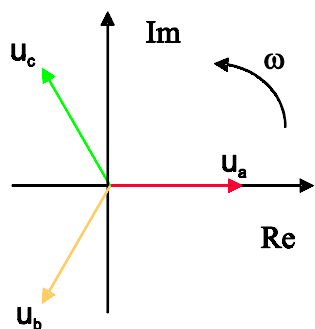
$$u_a(t) = U_1 \cos \omega t + U_3 \cos 3\omega t + U_5 \cos 5\omega t + \dots$$

$$u_b(t) = U_1 \cos(\omega t - 120^\circ) + U_3 \cos 3\omega t + U_5 \cos(5\omega t + 120^\circ) + \dots$$

$$u_c(t) = U_1 \cos(\omega t + 120^\circ) + U_3 \cos 3\omega t + U_5 \cos(5\omega t - 120^\circ) + \dots$$

Az egyszerűbb számítás érdekében bevezethetők a komplex forgó vektorok. Ezek valós tengelyre vetített vetülete adja a feszültség-idő függvényeket.

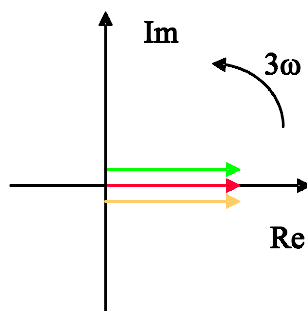
Ábrázolva a forgó vektorokat



Pozitív sorrend

$$v = 1 + 6k$$

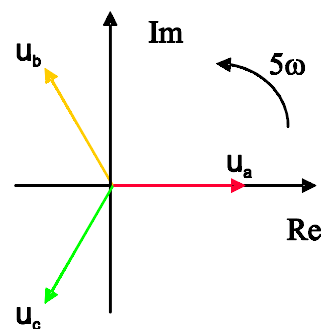
1, 7, 13, 19, stb.



Zérus sorrend

$$v = 3 + 6k$$

3, 9, 15, 21, stb.



Negatív sorrend

$$v = 5 + 6k \quad k = 0, 1, 2, \dots$$

5, 11, 17, 23, stb.

A korszerű épületeket ellátó villamosenergia elosztó hálózatok általában TN rendszerek. Ezek jellemzője, hogy a transzformátor szekunder tekercse csillag kapcsolású és a csillagpontja földelt. Ezen csillagponthoz csatlakozik a nulla vezető.

Ennél a kapcsolásnál a vonali feszültségek pillanatértékeit az egyes fázisfeszültségek különbségként kapjuk :

$$u_{AB}(t) = u_b(t) - u_a(t)$$

$$u_{BC}(t) = u_c(t) - u_b(t)$$

$$u_{CA}(t) = u_a(t) - u_c(t)$$

Mivel a fázisfeszültségekben az összes felharmonikus megtalálható – így a fázis-áramokban és az ezekkel azonos vonali áramokban is megjelenik a teljes felharmonikus tartomány.

A nullavezető áramát a fázisáramok összege adja :

$$i_0(t) = i_a(t) + i_b(t) + i_c(t)$$

Ha teljesen szimmetrikus terhelést tételezünk fel, azaz az egyes fázisok és a nullavezető közé azonos nagyságú terhelések vannak kapcsolva, akkor az összegzésnél az alapharmonikus, a pozitív sorrendű- és a negatív sorrendű harmonikusok kiesnek, míg a zérus sorrendűek algebrailag összegződnek. Emiatt a nullavezető árama még szimmetrikus terhelés esetén sem zérus, hanem a három fázisvezetőben folyó zérus sorrendű áramok összege folyik a nullavezetőben.

A nullavezető árama szimmetrikus terhelésnél :

$$i_0(t) = 3I_{3m} \sin(3\omega t + \varphi_3) + 3I_{9m} \sin(9\omega t + \varphi_9) + \dots$$

A nullavezető áramának az effektív értéke a zérus sorrendű áramok effektív értékének a négyzetösszege alapján számítható :

$$I_0 = 3\sqrt{I_3^2 + I_9^2 + I_{15}^2 + I_{21}^2 + I_{27}^2 + I_{33}^2 + I_{39}^2 + I_{45}^2 + \dots}$$

Ez szimmetrikusan kapcsolt nemlineáris terhelések esetén a nulla vezetőkben lényeges többlet terhelést eredményez. (Olyan helyeken, ahol a terhelések zöme nemlineáris pl. irodaházak a fázisvezető áramának a 2-3 szorosa is folyhat a nullavezetőben!)

Példaként nézzük meg, hogy szimmetrikusan az egyes fázisok és a nulla közé bekötött 3 db. PC esetén milyen viszonyok alakulnak ki.

Ekkor a nullavezetőben folyó áram effektív értéke :

$$I_0 = 3\sqrt{0,618^2 + 0,123^2 + 0,089^2 + 0,054^2 + 0,015^2 + 0,011^2 + 0,021^2 + 0,011^2 + \dots}$$

$$I_0 = 3\sqrt{0,408798} = 3 * 0,6394 = 1,9181[A]$$

Mely jól közelíthető ha csak a 3. harmonikus árammal számolunk, ekkor :

$$I_0 \approx 3\sqrt{0,618^2} = 3 * 0,618 = 1,854[A]$$

Az egyes fázisvezetőben folyó fázisáramok effektív értéke a mérés szerint $I_f = 1,114$ [A], míg az alapharmonikus (50Hz-es összetevő) effektív értéke $I_1 = 0,718$ [A].

Irodaházaknál, oktatási intézményeknél, középületeknél, ahol sok információtechnológiai berendezés üzemel, ott a hagyományos szemlélet alapján tervezett villamos hálózat nem felel meg.

Példaként nézzünk meg egy hatemeletes irodaházat, ahol a betáplálás 250A-re méretezett fázis- és nulla vezetőkkel készült.

Tételezzük fel, hogy emeletenként 20 iroda van és irodánként 10 db. számítógép. Ez 1200 db. PC, melyből 50% üzemel egyidejűleg és ezek teljesen szimmetrikusan vannak elosztva az egyes fázisok között. Ekkor fázisonként 200 db. PC-vel számolhatunk.

Ekkor a nullavezetőben folyó áram effektív értéke :

$$I_0 = 200 * 1,918 \cong 384 [A]$$

Ez a nullavezetőt túlterheli, melegeedés illetve tűz okozója lehet, továbbá a nullavezető egyes szakaszain létrejövő feszültségesés miatt potenciál-eltolódások jönnek létre, melyek az elektronikus berendezések működésében – a felvonók vezérlésében - komoly zavarokat okoznak. Megjegyezzük, hogy a hagyományos tervezői szemlélet szerint – mely nem számol a felharmonikusokkal – a fenti példában a nullavezetőben $I_0 = 0 [A]$ nagyságú áram folyna!

Feszültség torzítás.

A felharmonikus áramok a vezetékeken feszültségesést hoznak létre. Ez torzítja a feszültség jelalakot. Pl.: ha az alapharmonikus szinuszos jelhez a 3. harmonikus jel azonos fázisban adódik hozzá, akkor egy szinusz félhullámon belül két feszültség csúcs lesz, ha ellenfázisban, akkor egy csúcs lesz, de ez lényegesen nagyobb, mint az alapharmonikus csúcsértéke.

A feszültség alak torzulása a THD_U torzítási tényezővel jellemezhető :

$$u = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} U_k^2}}{U_1} = \frac{\sqrt{U_2^2 + U_3^2 + \dots}}{U_1} \quad \text{Ezt általában \% -ban adják meg.}$$

Az MSZ EN 50160 szerint :

2.11. Felharmonikus feszültség

A tápfeszültség THD értéke (beleértve az összes felharmonikust a 40-es rendszámig) nem lehet 8%-nál nagyobb.

Harmonikusok által okozott problémák

- A vezetékveszteségek erőteljes növekedése.
- Hálózati rezonancia egyes harmonikus rendszámokon. (Feszültség- és áram többlet-igénybevétel).
- Hálózati elemek túlterhelése, túlmelegezése.
- Téves védelmi működések.
- Adatátviteli vonalak zavarása. (Harmonikus áramok átindukálódása miatt.)
- Teljesítményelektronikai berendezések hibás vezérlése.

Fogyasztói beavatkozási lehetőségek

- Saját belső hálózat átrendezése és megerősítése. (Külön hálózatot célszerű az információtechnológiai berendezéseknek kiépíteni.)
- Zérus sorrendű harmonikusok kiszűrése földelt csillag/delta transzformátorral. Ekkor a zérus sorrendű áramok nem jutnak ki a táphálózatra, de a zárt Δ körben folyó zérus sorrendű áramok a veszteségeket növelik.
- Passzív harmonikus szűrés. Ez söntöli a táphálózatot a harmonikus áramra nézve.

- Aktív harmonikus szűrés. A fogyasztói áram szinuszosítása elektronikus úton impulzusszélesség modulált (PWM) inverterrel.

Az új tervezői gyakorlat legfontosabb szempontjai

- A nagy bekapcsolási áramlökések által okozott feszültségletöréseket csökkenteni kell a vezeték keresztmetszet növelésével.
- A nemlineáris fogyasztói összetétel és a hálózat ismeretében ellenőrizni kell a rendszert a várható harmonikus problémákra. Ezekre megoldást kell találni (hálózat szétválasztás, szűrés, elválasztás).
- Nagy gondot kell fordítani a nullavezető keresztmetszetének a megválasztására.
Dr. Dán András docens (BMGE Villamos Művek Tanszék) számításai alapján, a hagyományos tervezési gyakorlathoz képest, mely nem számol a harmonikus áramokkal :
 - A fázisvezetők keresztmetszetét kb. 50%-al meg kell növelni.
 - A nullavezető keresztmetszetét 100%-al meg kell növelni, azaz általában a fázisvezető keresztmetszetének a kétszerese a megfelelő.
- A kész rendszert célszerű mérésekkel ellenőrizni a várható üzemállapotokban.
- Gondosan meg kell tervezni és kivitelezni a földelőrendszert.

A fentiek szerint kialakított villamos hálózatok esetén általában megszűnnek az intelligens épületek és a felvonók irányító és adatátviteli rendszerénél fellépő ún. „rejtélyes hibák”, melyek okát a hagyományos hibakeresési módszereket alkalmazva általában nem szoktunk megtalálni.

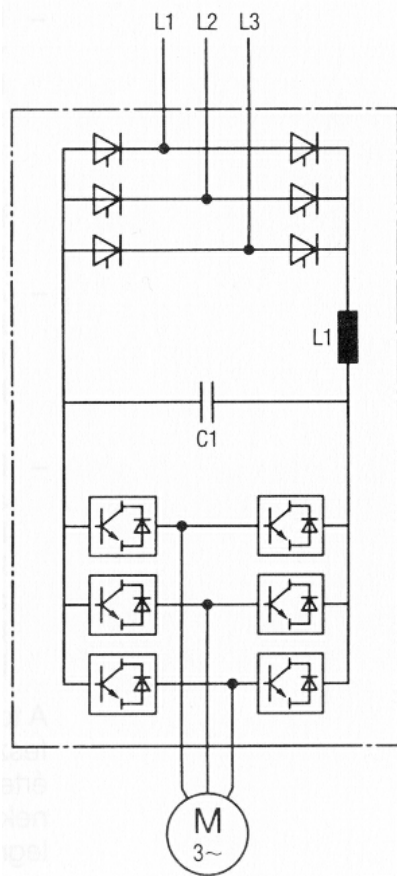
Hálózati zavarok és a felvonó irányítási rendszerek kölcsönhatása.

A korszerű felvonó vezérlési- és hajtási rendszerek ma már szinte kizárólag mikroszámítógépes kialakításúak. Ezekre jellemző, hogy az irányítás kis-, míg a beavatkozás nagy energiaszintű. Továbbá egyre inkább terjednek az ún. elosztott intelligenciájú rendszerek (pl. a tablók és a hajtás RS 485 interfacén keresztül csatlakoznak a vezérléshez) és ezek között egy kis energiaszintű soros kommunikáció folyik. Ezek érzékenyek a hálózati zavarokra. A harmonikus áramok átindukálódása adatátviteli zavarokat okozhat. A frekvenciaváltós hajtási rendszerek igen érzékenyek a hálózati feszültség nagyságára. A készülékek helyes működését csak a

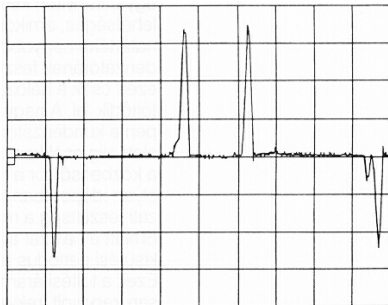
400 V ^{+10%} . 10% feszültség tűrésmezőn belül garantálják.

Ugyanekkor ezen berendezések nagy bekapcsolási áramokkal indulnak, emiatt igen lényeges, hogy az indítási áramlökések és az áram felharmonikusokat is figyelembe véve méretezett fővezeték álljon rendelkezésre a felvonó táplálására. Továbbá azt sem szabad elfelejteni, hogy a frekvenciaváltós hajtások is komoly hálózati zavarok forrásai, emiatt alacsony- és nagyfrekvenciájú zavarszűrőket kell beépíteni.

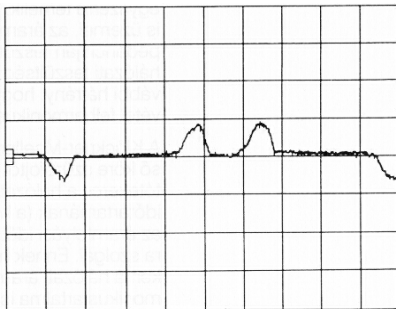
A frekvenciaváltók is ún. háromfázisú csúcsegyenirányítót tartalmaznak és ezen keresztül kapcsolódnak a villamos hálózathoz.



Frekvenciaváltó elvi felépítése



A hálózatról felvett áram az L1 fojtó nélkül



A hálózatról felvett áram az L1 fojtóval

A feszültség inverteres frekvenciaváltó teljesítmény köre a hálózati egyenirányítóból, a közbenső körből és a váltóirányítóból (inverter) áll.

A villamos hálózathoz egy vezérelhető 3F2U6Ü áramirányító csatlakozik, mely a közbenső körű kondenzátort táplálja. A kondenzátor akkor töltődik, ha az egyenirányító feszültségének pillanatértéke nagyobb lesz mint a kondenzátor feszültségének pillanatértéke. A frekvenciaváltó bekapcsolásakor a híd gyújtáskésleltetési szöge fokozatosan csökken, így a kezdeti nagy áramlökések elkerülhetők. Normál üzemben nincs gyújtáskésleltetés, emiatt ez további felharmonikusokat nem hoz létre.

A közbenső kör a merev táphálózat és a frekvenciaváltó változtatható kimenetének a szétválasztására szolgál. A közbenső körű C1 – nagy kapacitású – kondenzátor energiátárolást végez. A kondenzátor a motornak az energiát egy perióduson belül akkor adja le, amikor a hálózati feszültség pillanatértéke kisebb, mint a közbenső kör feszültsége. A nagy kapacitás miatt a közbenső kör feszültsége egy periódus alatt alig csökken. Ebből következik, hogy a kondenzátor a hálózatról energiát csak olyan időpontban tud felvenni, amikor a hálózati feszültség a maximum közelében van. A hálózat áramcsúcsokkal pótolja a felhasznált energiát. Ennek felharmonikus tartalma nagy. A jó minőségű (drága) frekvenciaváltók közbenső köre szűrőfojtót (L1) is tartalmaz. Ez a fojtótekerecs a hálózati oldalon az áramvezetés időtartamának a meghosszabbítására szolgál. Ennek hatására jelentősen csökken a hálózati áram csúcsértéke és a felharmonikus tartalma is kedvezőbb lesz.

A váltóirányító (inverter) a közbenső körű egyenfeszültséget változtatható nagyságú és frekvenciájú háromfázisú váltakozó feszültséggé alakítja. A korszerű eszközök IGBT félvezetőt alkalmaznak. Ez a FET és a bipoláris tranzisztorok előnyeit egyesíti. A feszültség és a frekvencia változtatása általában impulzus-szélesség modulációval (PWM) történik. Az egyes gyártók közt, az ezt vezérlő szoftverben lényeges eltérések vannak. Ettől nagymértékben függ a motor nyugodt járása.

Főként a nagyobb teljesítményű felvonók hajtásánál gondot jelent a nagy indítási áram és az ennek hatására bekövetkező feszültség esés. *Jól méretezett fővezeték* esetén a hajtás betáplálási pontján a feszültség nem csökkenhet a 400V -10% alá. (A fázisfeszültség nem csökkenhet 207V alá.) Ha a feszültség esés a megengedett mértéknél nagyobb, az komoly gondot okoz a frekvenciaváltós hajtások működésében. A gyártók a helyes működést általában csak a 400V ± 10%-on belül garantálják.

Egy 2500kg teherbírású, 1,6m/s sebességű, 22kW-os motorral hajtott felvonó fogyasztói pontjának a feszültség függvényén látható, hogy – teljes terhelés esetén –, az indítások hatására bekövetkező feszültség esés, a mérés ideje alatt, a szabvány által megkövetelt sávon belül volt.

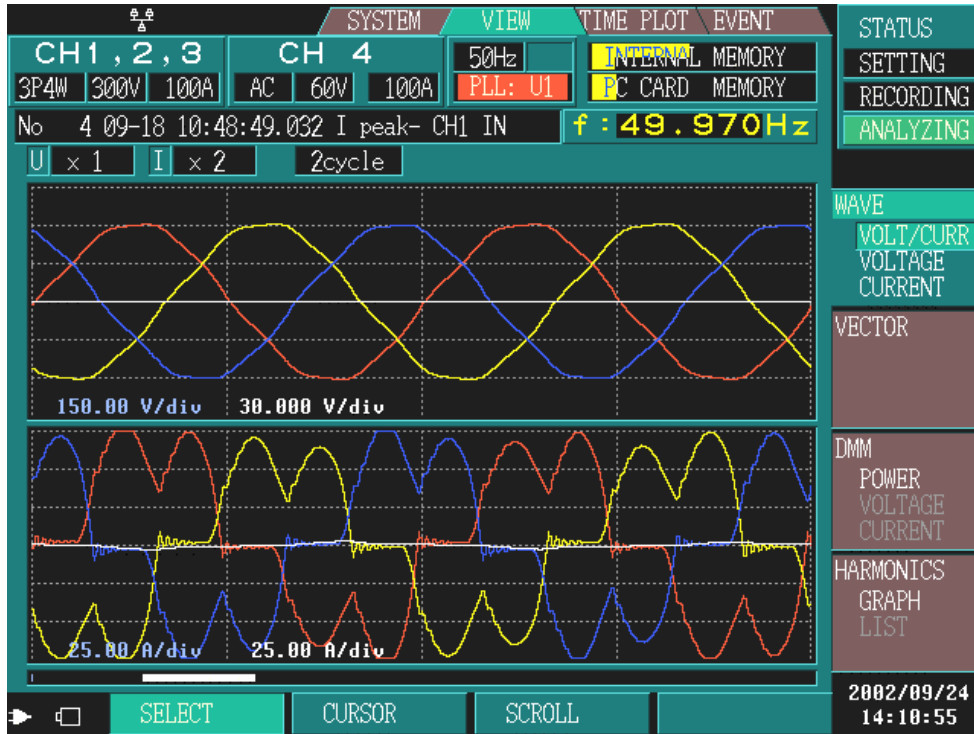


Fázisfeszültségek effektív értékei.

Felvonók hajtásánál igen lényeges, hogy a berendezés ne keltsen a megengedettnél nagyobb hálózati zavarokat. Emiatt a hajtásokat megfelelő szűrőkörökkel kell ellátni. Ezt sok esetben elhagyják, mert ez komoly beruházási költséget jelent.

Az alábbiakban egy jó minőségű, - felvonók hajtására kifejlesztett és megfelelő szűrőkörökkel ellátott -, frekvenciaváltó villamos jellemzői láthatóak.

A hálózatról felvett áram periodikus, de nem szinuszos és felharmonikusokat tartalmaz. Az áram felharmonikusok hatására létrejövő tápfeszültség torzítás THD értéke (beleértve az összes felharmonikusot a 40-es rendszámig) nem lehet 8%-nál nagyobb. A felvett teljesítmény táblájából látszik, hogy ezeknél a hajtásoknál probléma nélkül elérhető a $\cos\phi = 0,9$, vagy az annál jobb érték is. A hálózatot felesleges meddő teljesítménnyel nem terheli a hajtás.



Hálózati
feszültség

Hálózatból
felvett áram



Hálózatból
felvett teljesítmény.



A hálózati feszültség- és áram Fourier spektruma.

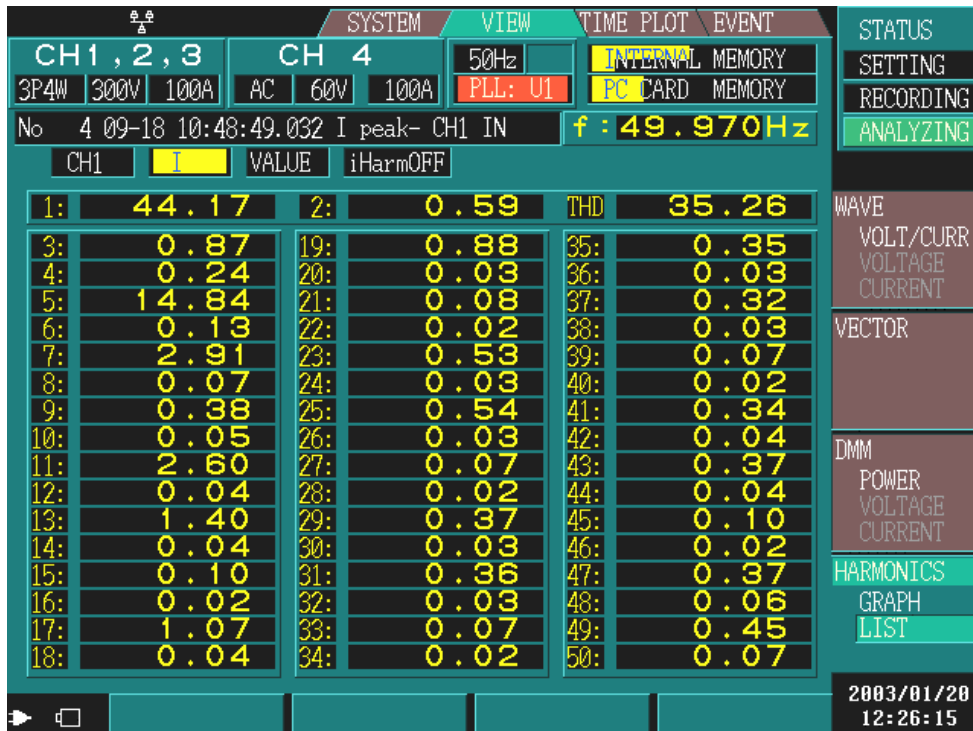
CH1 U VALUE iHarmOFF

1:	219.20	2:	0.10	THD	3.21
3:	2.78	19:	0.16	35:	0.13
4:	0.07	20:	0.00	36:	0.00
5:	2.77	21:	0.03	37:	0.16
6:	0.06	22:	0.00	38:	0.01
7:	5.75	23:	0.14	39:	0.02
8:	0.03	24:	0.00	40:	0.00
9:	0.71	25:	0.17	41:	0.07
10:	0.03	26:	0.01	42:	0.01
11:	0.31	27:	0.03	43:	0.10
12:	0.02	28:	0.00	44:	0.02
13:	0.21	29:	0.20	45:	0.03
14:	0.00	30:	0.01	46:	0.00
15:	0.17	31:	0.17	47:	0.15
16:	0.00	32:	0.01	48:	0.02
17:	0.19	33:	0.03	49:	0.16
18:	0.01	34:	0.00	50:	0.02

2002/09/24 14:11:17

Hálózati feszültség (L1) felharmonikusainak nagysága az 50.-ik rendszámig.

A felharmonikus áramok hatására létrejövő feszültség torzítás a megengedett határon belül van. Értéke az L1 fázisban $THD_U = 3,21\%$.



Hálózati áram (L1) felharmonikusainak nagysága az 50.-ik rendszámig.

A felharmonikus áramoknál a zérus sorrendűek kis értékűek, emiatt a nulla vezetőt nem terheli. A negatív sorrendű (5, 11, 17, 23) harmonikus értéke nagyobb, de ezek járulékos többlet terhelést a nulla vezetőben nem okoznak. Ezek a viszonyok csak oly módon érhetőek el, ha a betáplálási oldalon alacsony és nagyfrekvenciás szűrőt építünk be.

A felvonó hajtások beépítésének legfontosabb gyakorlati szempontjai

- A nagy bekapcsolási áramlökések és a felharmonikusok által okozott feszültségletöréseket csökkenteni kell *a vezeték keresztmetszet növelésével*.
 - A fázisvezetők és a nullavezető keresztmetszetét kb. 50%-al meg kell növelni a lineáris terhelésre helyesen méretezett értékhez képest. (A méretezésnél figyelembe kell venni az AC3 illetve AC4 üzemmódban kialakuló áramokat.)
- A nemlineáris fogyasztói összetétel és a hálózat ismeretében ellenőrizni kell a rendszert a várható harmonikus problémákra. Ezekre megoldást kell találni (alacsony és nagyfrekvenciás szűrő beépítése).
- A kész rendszert célszerű mérésekkel ellenőrizni a várható üzemállapotokban.
- Gondosan meg kell tervezni és kivitelezni a földelőrendszert.
- A sugárzott zavarok csökkentése érdekében árnyékolt motorkábeleket kell használni.

A fentiek szerint kialakított villamos hálózatok esetén általában helyesen működnek a felvonók irányító és adatátviteli rendszerei.