VILLAMOS HÁLÓZATOK ANALÍZISE IPARI LÉTESÍTMÉNYEKBEN

Kovács Attila[1], Somogyiné Molnár Judit[2], Jármai Károly[3]
[1]PhD hallgató, [2]egyetemi docens, [3]egyetemi tanár
[1,2]Elektrotechnikai és Elektronikai Intézet,
Gépészmérnöki és Informatikai Kar
[3]Energetikai és Vegyipari Gépészeti Intézet, Gépészmérnöki és Informatikai Kar
[1]attila.kovacs@zf.com, [2]judit.somogyine@uni-miskolc.hu,
[3]karoly.jarmai@uni-miskolc.hu

ABSZTRAKT

A villamos energia műszaki minősége, azon belül is a felharmonikusok rend-száma és amplitúdójának nagysága egyre nagyobb figyelmet kap napjainkban. Gyakorlatilag már minden modern elektromos és elektronikus berendezés rendelkezik kapcsolóüzemű elektronikával, szabályozza a felhasznált villamosenergiát és ezáltal nemlineáris terhelést eredményez a hálózaton. Ennek következménye a szinuszos jelalak torzulása miatti harmonikusok megjelenése. A harmonikusok a modern elektronika melléktermékei. Különösen ott jelentős a jelenlétük, ahol nagy-számú számítástechnikai és elektronikus teljesítmény szabályozó eszközök vannak használatban. A harmonikusok detektálása, majd szűrése nagy jelentőséggel bír. Harmonikusok jelenlétének következményei, túlmelegedések, túlterhelések, meghibásodások, adatvesztések.

1. BEVEZETÉS

Ideális az a villamos hálózat, amely a feszültségével és frekvenciájával a szabványban rögzített határokon belül van és tökéletesen szinuszos feszültséggörbével rendelkezik. Ez azonban a gyakorlatban ritkán fordul elő. Az iparban és a lakossági ellátásban résztvevő hálózatokban sincsenek olyan csatlakozási pontok, melyeken a szinusz hullámforma nem szenvedett volna valamilyen torzulást. Ezeknek a torzulásoknak egyik lehetséges oka a nem lineáris villamos berendezések miatti harmonikusok jelenlétére vezethető vissza. A harmonikusok a modern elektronika melléktermékei [1]. Különösen ott vannak elterjedve, ahol nagyszámú számítástechnikai és elektronikus teljesítmény szabályozó eszköz van. A villamos energia műszaki minősége, azon belül is a felharmonikusok értéke egyre nagyobb figyelmet kap napjainkban [2]. Az iparban ehhez első lépésként, a belső hálózaton meg kell határozni azokat a csatlakozási pontokat, ahol a harmonikusok jelenléte meghaladja a szabványban megengedett értékeket. Ennek érdekében hálózat analíziseket kell végezni.

2. A KUTATÁS CÉLJA

A kutatás egyik célja, hogy gyakorlati megközelítéssel, elsősorban nagyméretű ipari létesítményben, a kritikus erősáramú villamos hálózati szekciókban, elvégzésre kerüljön egy átfogó villamos hálózat analízis, mely során feltárásra kerül a jelenlegi állapot. Ezáltal meg tudjuk állapítani mely és milyen típusú eszközök, berendezések a fő felharmonikus források. A mérések kielemzését követően pedig a kritikus helyekre beszerelésre kerülhetnek, aktív szűrővel ellátott, torlófolytós fázisjavító berendezések, melyek segítségével további olyan kutatások lesznek elvégezhetőek, hogy milyen hangolásokkal, milyen felharmonikusokat tudunk csökkenteni, vagy megszüntetni.

A kutatás másik célja, hogy megvizsgáljuk, hogyan befolyásolja rövid és hosszú távon a felharmonikusok jelenléte az egyes elektronikai berendezések, konverterek működését és milyen, konkrét meghibásodásokat okozhatnak. Melyek a gyakorlatban is működő megelőző lehetőségek és újakat is ki lehet majd dolgozni. Szintén fontos egy olyan detektálási módszert találni, melynek segítségével berendezés specifikusan megállapíthatóak a különböző rendű, káros felharmonikusok amplitúdóinak határértékei. A jövőben a kapcsolatfelvétel elengedhetetlen lesz az áramszolgáltatóval és más cégekkel is mind detektálás, mind szűrési aspektusból és a kutatással kapcsolatos tapasztalatok megosztása céljából. Természetesen a kutatási eredmények általánosításra kerülnek majd minden villamos és elektronikus eszközre, berendezésre is.

3. HÁLÓZAT ANALÍZIS, MÉRÉSI MÓDSZER

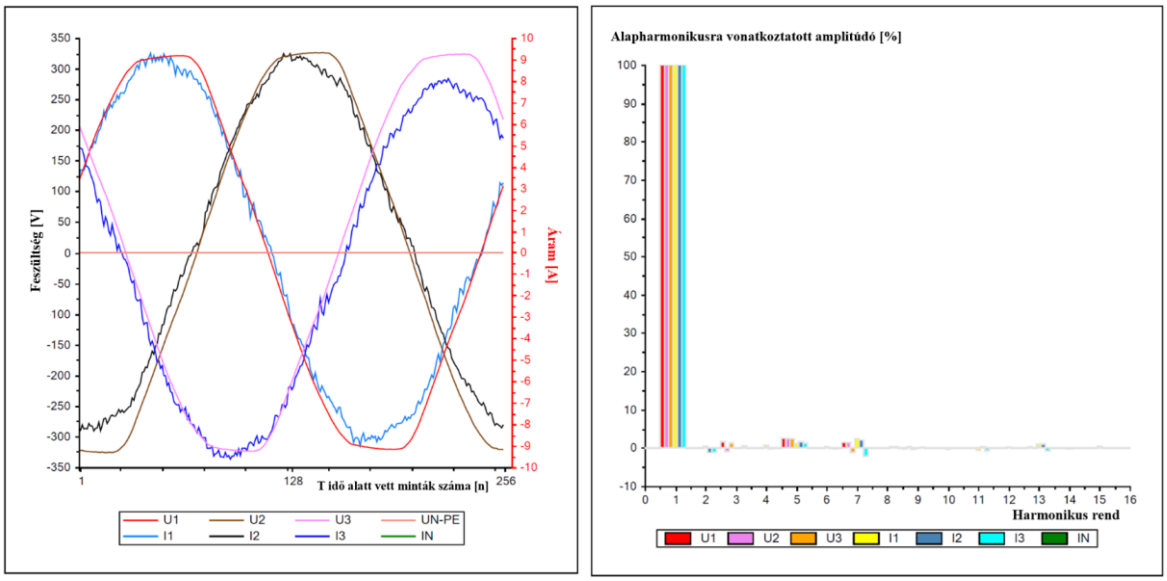
A mérések során a vélhetően nagy harmonikus torzításokat okozó fogyasztókon kívül a villamos hálózatot is megvizsgáltuk a berendezések, eszközök kikapcsolt és bekapcsolt állapotában is, így pontosabb képet kaptunk az egyes berendezéseknek a villamos energia minőségére gyakorolt konkrét hatásáról. A mérést a HT PQA824 típusú hálózat analizátorral végeztük [3]. Az analizátor főbb jellemzői: regisztrálás MIN/MAX/AVG, feszültség anomáliák észlelése, felharmonikus analízis, patch elemzés, villogás analízis, nagysebességű feszültség tranziensek rögzítése 5,5 µs-tól, bekapcsolási áramok rögzítése. A műszer paraméterezése a magyarországi forgalmazó által készített használati útmutató [4] alapján, míg a rögzített adatok kiolvasás a HT Italia Topview 2.2.2.3 verziójú szoftverével történt [5]. A későbbiekben látni fogjuk, hogy a mérési eredmények táblázatokban és grafikusan is megjelenítésre kerülnek.

3.1 Napelemmel kapcsolatos hálózat analízisek

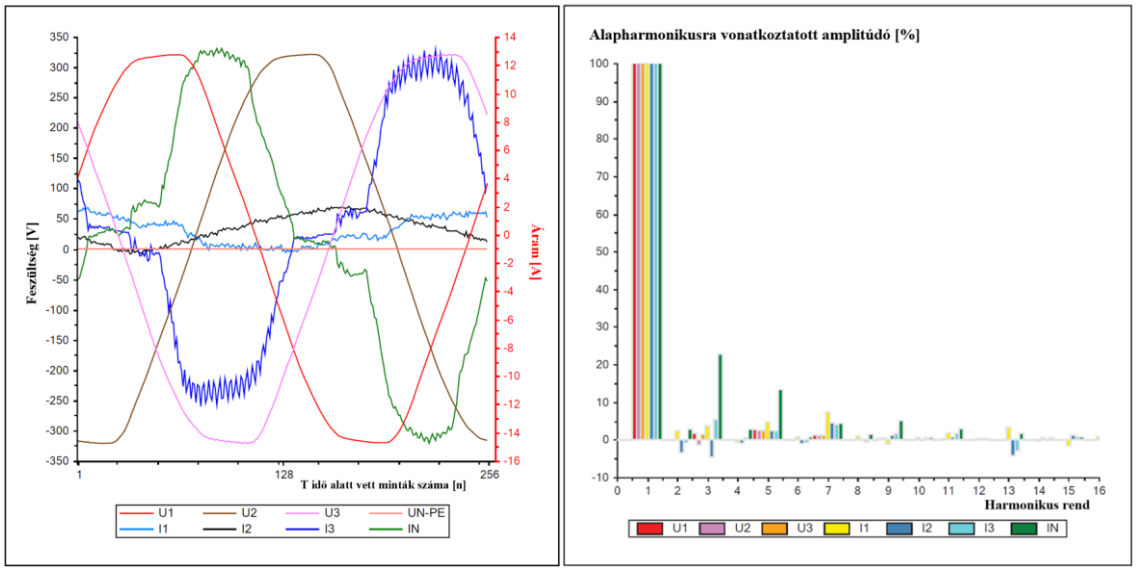
A napelem inverterének vizsgálatakor, a napelem kimeneti áramát vizsgálva, a mérési eredmények alapján az áram felharmonikus összetevőit jellemző teljes harmonikus torzítás (THD) 3,2% volt, ami megfelel a szabványban rögzített maximum 3,5%-nak. Az 1. ábra (bal oldal) mutatja a mérés során egy T periódus idő alatt vett, 256 minta feszültség és áram értékeit. Megfigyelhető, hogy a hullámformák csak enyhén torzultak, ezért az áram szinusza is csekély mértékben tartalmaz felharmonikusokat. Az áram spektruma az 1. ábra jobb oldalán látható, az 1. alap (50 Hz) harmonikus amplitúdója 100%, de tartalmaz kevesebb, mint 5% mértékben 3. (150 Hz), 5. (250 Hz) és 7. (350 Hz) felharmonikusokat is. hálózat szinusz jelalakját. Az analízisből megállapítható, hogy ez egy szabványnak megfelelő, jó minőségű inverter, vélhetően a hálózati jelalak torzító visszahatása jelentéktelen.

A bejövő, lakossági villamos hálózat analíziséhez, a napelemet lekapcsoltuk és 1 kW-os villamos teljesítményfelvétel esetén vizsgáltuk. Ekkor a teljes harmonikus torzítás 15-21% között volt, fázistól függően. A nullavezető árama a fázisáramokhoz képest pedig közel 100% nagyságú (1,6 A). Elmondható, hogy a lakossági villamos hálózat is nagymértékben szennyezett harmonikusokkal. A mérés során a T periódusidő alatt vett minták feszültség és áram értékeit a 2. ábra bal oldala mutatja. Az áram hullámformák igen nagy mértékben módosultak, ezért az áram szinusz hullámformájának a harmonikus tartalma is kiemelkedő. Az áram spektruma a 2.

ábrán (jobb oldal) látható, az 1. alap (50 Hz) harmonikus amplitúdója 100%, de még a 15. (750 Hz) is több mint 10% a nullavezető áramának tekintetében.



1. ábra
Balra: az inverter kimeneti feszültség és áram hullámformái. Jobbra: az inverter kimeneti áramharmonikus összetevői a frekvencia tartományban

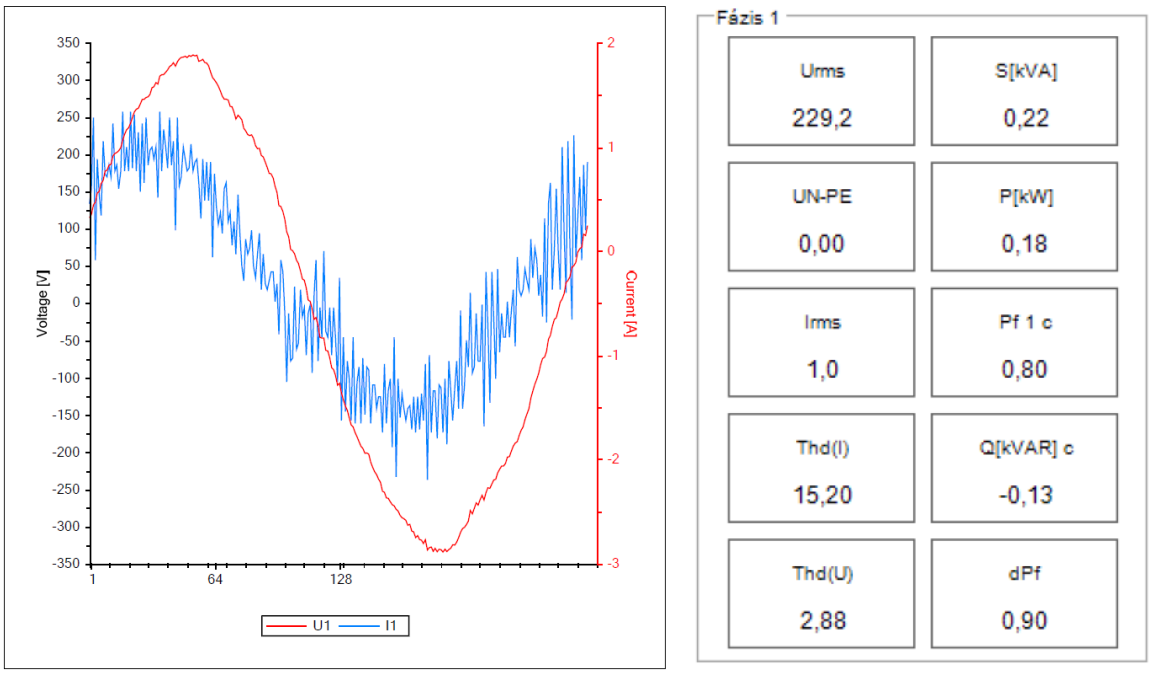


2. ábra
Balra: a villamos hálózat feszültség és áram hullámformái lekapcsolt inverter és bekapcsolt mikrohullámú sütő esetén. Jobbra: a villamos hálózat áramharmonikus összetevői a frekvencia tartományban lekapcsolt inverter és bekapcsolt mikrohullámú sütő esetén

3.2 LED lámpatestek vizsgálata

Napjainkban már szinte nincs is olyan ipari létesítmény, ahol nem használnak LED világítást. Sajnos a beruházások során, mivel nagy világítótest teljesítmények-

ről és darabszámokról beszélünk, legtöbb esetben a költség dominál. Sokszor megfeledkeznek a lámpatestek zavarszűréséről, ugyanis célszerű lenne a LED lámpatesteket beépített harmonikus és meddő energia szűrőkkel megvásárolni [6-7]. De egyszerűen azért, mert ezek drágábbak, sokszor a szűrő nélkül szerelt változatokat preferálják. Egy olyan csarnok, egy darab lámpatestét vizsgáltuk, ahol 400 darab 140 Wattos villamos teljesítményű lámpatest lett felszerelve, összesen 56 kW maximális, hatásos villamosteljesítmény felvétellel, tehát a harmonikus torzítás hatása igen jelentős lehet a villamos hálózatra. Az áram szinusz alakja a mért esetben szinte felismerhetetlen, amit a 3. ábra mutat. A grafikonból megállapíthatjuk, hogy az áramnak több nullátmenete is van egy perióduson belül, ami áram nullátmenetre vezérelt tápegységek esetében igen komoly zavarokat okozhat azok működésében. A lámpatestben is van egy kapcsolóüzemű tápegység, ami biztosítja a lámpák fényerejének változtatását és a kommunikációs Wi-Fi egység tápfeszültség ellátását. A mérési eredményeket 3. ábra jobb oldala tartalmazza, a THD 15,2%, ami közel ötszöröse a megengedett értéknek.

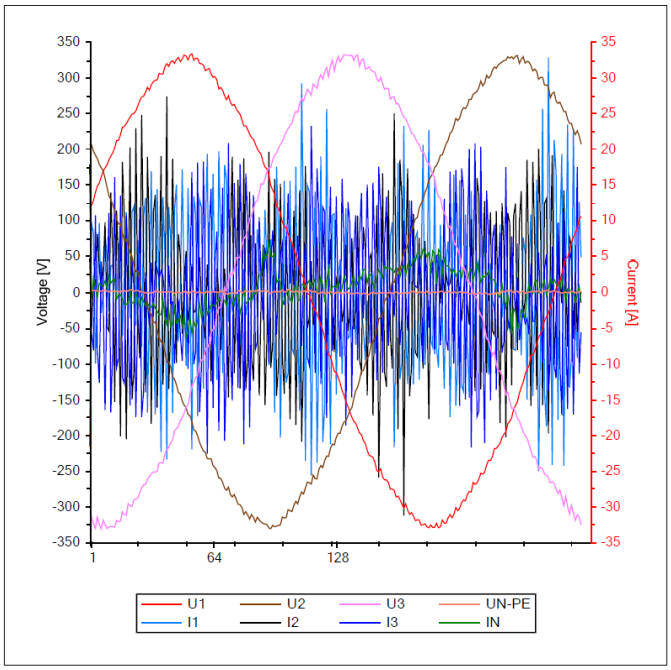


3. ábra
Torzított áram és feszültség hullámformák és a mért adatok 1 LED lámpatest esetén

3.3 Inverteres hajtás vizsgálata

A harmonikus források feltérképezéséhez elengedhetetlen a villamos motorok hajtásainak vizsgálata. A vizsgált berendezés annak ellenére, hogy gyári harmonikus szűrővel van ellátva, terheletlen állapota esetén a szinuszhullám mégis jelentős torzulást szenvedett. A torzulás mértéke meghaladja a 100%-ot, tehát már egyáltalán nem tekinthető áramszinusznak, ez a 4. ábrán látható. Mivel az áramerősség mértéke nem magas, csak 10 A, ezért remélhetőleg még nincs befolyással az ezen a hálózaton lévő más villamos berendezések működésére. De, ezt a problémát vizsgálni kell és lehetőség szerint meg kell szüntetni. A mérési eredményeket az 1. táb-

lázat tartalmazza. Ha meddő teljesítményfelvétel szempontjából is vizsgáljuk az invertert, akkor láthatjuk, hogy a Q_{tot} meddőteljesítmény felvétel 2,09 kVAr meghaladja a P_{tot} valódi teljesítmény 0,93 kW értékét. Tehát a meddőteljesítmény felvétel is jelentős mértékben megnövekedett az inverter terheletlen állapotú használata esetén, tovább rontva a hálózat villamos energia minőségét.



4. ábra
A villamos hálózat feszültség és áram hullámformái inverteres hajtás esetén, terheletlen állapotban

1. táblázat
Mért adatok inverteres hajtás esetén

Fázis 1		Fázis 2		Fázis 3	
Urms	228,3	Urms	226,7	Urms	228,6
U12	394,23	U23	394,69	U13	395,06
Irms	11,7	Irms	10,8	Irms	10,4
Thd(I)	206,39	Thd(I)	139,21	Thd(I)	104,54
Thd(U)	1,62	Thd(U)	1,81	Thd(U)	1,68

Teljes

Stot [kVA]	Qtot [kVAR]	Ptot [kW]	Pftot	dPftot	Inull	UN-PE	Frek.
2,29	**2,09**	**0,93**	**0,41**	**0,99**	**2,66**	**1,5**	**49,96**

4. EREDMÉNYEK

Az analízisek alapján egyértelműen elmondható, hogy a vizsgált villamos hálózaton mindenhol jelen vannak a felharmonikusok. Sőt ki kell hangsúlyozni, hogy szinte mindenhol a megengedettnél, 3,5%-nál magasabb értékű az alapharmonikusra (50 Hz) vonatkoztatott amplitúdójuk nagysága. Ezért kiemelkedő fontosságú, hogy foglalkozzunk a harmonikusokkal a lehetőségekhez mérten és törekedjünk azok csökkentésére. Például célszerű olyan LED-es lámpatesteket, frekvencia váltókat, villamos motorhajtásokat beszerezni, melyek már gyárilag tartalmaznak harmonikus szűrőket. Természetesen nem árt arról is meggyőződnünk egy mintadarab analízisével, hogy ez a gyakorlatban is így van-e.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

A cikkben bemutatott mérések célja az volt, hogy különböző berendezések és eszközök csatlakoztatása esetén megvizsgáljuk a villamos csatlakozási pontokon a villamos energia minőségét és meghatározzuk a harmonikus zavarok nagyságát és a villamos energia minőség szempontjából lehetséges kritikus hálózatcsatlakozási pontokat. A mérési eredmények bekerültek egy adatbázisba és a későbbiek során felhasználásra kerülnek az új szűrési metódusok kidolgozásához, illetve azok validálásához.

A kutatási jövőbeli céljai között szerepel egy ipari létesítményben minden kritikus erősáramú villamos hálózati szekcióban elvégzett hálózat analízis, a mérések alapján egy aktív szűrővel ellátott, torlófolytós fázisjavító berendezés típusra történő javaslattétel, valamint egy új, hatékonyabbat eszköz tervezésre is [8-9].

IRODALOMJEGYZÉK

[1] TARNIK, I.: **Villamos hálózati zavarok**. Jegyzet, 2008. https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/tarmikcikk.pdf

[2] CHAPMAN, D.: **Villamosenergia-minőség - Harmonikusok források és hatások**. Alkalmazási segédlet, European Copper Institute, 2001. https://www.muszeroldal.hu/measurenotes/harmonikusok.pdf

[3] RAPAS KFT.: **Hálózat analizátorok PQA400-PQA823-824**. Budapest, 2023. https://rapas.hu/analizator/analizator-pdfs/pqa823-824.pdf

[4] RAPAS KFT.: **Használati útmutató PQA400-PQA823-824**. Budapest, 2007.

[5] HT ITALIA: **Management software Topview**. 2012. https://www.ht-instruments.com/en/accessories/topview/

[6] VLED.HU:. **Mit jelent a THD a LED tápegységeken?** 2019.04.01. https://www.vled.hu/blog/mit-jelent-a-thd-a-led-tapegysegeken

[7] UDDIN, S., SHAREEF, H. and MOHAMED, A.: **Power quality performance of energy-efficient low-wattage LED lamps**. Measurement, 2013, 46(10), 3783-3795. https://doi.org/10.1016/j.measurement

[8] KISS, J.: **Aktív felharmonikus szűrők alkalmazásának lehetőségei**. 2020. https://www.muszaki-magazin.hu/2020/01/29/aktiv-felharmonikus-szurok-alkalmazasanak-lehetosegei/

[9] GRADY, W.M., SAMOTYJ, M.J. and NOYOLA, A. H.: **Minimizing network harmonic voltage distortion with an active power line**

conditioner. IEEE Transactions on Power Delivery, 1991, 6(4), 1690-1697. https://doi.org/10.1109/61.97708. https://ieeexplore.ieee.org/document/97708