

MISKOLCI EGYETEM
GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



**A SZOLGÁLTATOTT VILLAMOS ENERGIA MINŐSÉGÉNEK
ÉS A FELHASZNÁLÁS HATÉKONYSÁGÁNAK ON-LINE
VIZSGÁLATA**

PHD ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

Készítette:

BÁTORFI RICHÁRD

okleveles mérnök informatikus

HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Tudományos vezető:

VÁRADINÉ SZARKA ANGÉLA, PhD, dr. habil.

egyetemi docens

MISKOLC
2013

MISKOLCI EGYETEM DOKTORI (PHD) TÉZISFÜZETE

HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

**A SZOLGÁLTATOTT VILLAMOS ENERGIA
MINŐSÉGÉNEK ÉS A FELHASZNÁLÁS
HATÉKONYSÁGÁNAK ON-LINE
VIZSGÁLATA**

Készítette:

BÁTORFI RICHÁRD

okleveles mérnök informatikus

AKI DOKTORI (PHD) FOKOZAT ELNYERÉSÉRE PÁLYÁZIK

**MISKOLC
2013**

A BÍRÁLÓ BIZOTTSÁG TAGJAI

ELNÖK:

Tóth Tibor DSc, professor emeritus
(Miskolci Egyetem, Alkalmazott Informatikai Tanszék)

TARTALÉK ELNÖK:

Szigeti Jenő CSc, dr. habil., tanszékvezető, egyetemi tanár
(Miskolci Egyetem, Analízis Tanszék)

TITKÁR:

Kovács László PhD, dr. habil., tanszékvezető, egyetemi docens
(Miskolci Egyetem, Általános Informatikai Tanszék)

TARTALÉK TITKÁR:

Kovács Szilveszter PhD, dr. habil., egyetemi docens
(Miskolci Egyetem, Általános Informatikai Tanszék)

TAGOK:

Csáki Tibor CSc, egyetemi docens
(Miskolci Egyetem, Szerszámgépek Tanszék)

Dán András DSc, professor emeritus
(Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Villamos Energetika Tanszék)

Szabó István PhD, tanszékvezető, egyetemi docens
(Debreceni Egyetem, Szilárdtest Fizikai Tanszék)

TARTALÉK TAGOK:

Kovács Szilveszter PhD, dr. habil., egyetemi docens
(Miskolci Egyetem, Általános Informatikai Tanszék)

Czap László PhD, tanszékvezető, egyetemi docens
(Miskolci Egyetem, Automatizálási és Kommunikáció- Technológiai Tanszék)

Jónap Károly PhD, tudományos osztályvezető
(Miskolci Egyetem, Alkalmazott Földtudományi Kutatóintézet)

HIVATALOS BÍRÁLÓK:

Szabó Loránd PhD, egyetemi tanár
(Kolozsvári Műszaki Egyetem, Románia)

Szentirmai László CSc, professor emeritus
(Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszék)

1. A VILLAMOS ENERGIA ÉS MÉRÉSE

A villamos energia napjainkban ipari, kereskedelmi és fogyasztási szempontból is egy kiemelkedően fontos termék. A jelenlegi életformánkhoz szükséges villamos berendezések, motorok, számítógépek, távközlési- és egyéb berendezések nem tudnak villamos energia nélkül üzemelni. A társadalom működtetéséhez, a gazdaság növekedéséhez, az életszínvonal javításához [1] nélkülözhetetlen a folyamatosan rendelkezésre álló villamos energia. Egy esetleges tartósabb áramkimaradás súlyos gazdasági, társadalmi, sőt egészségügyi problémákat is okozhat, ezért a folyamatos rendelkezésre állásának szükségessége megkérdőjelezhetetlen.

A villamos energia jelentősen különbözik más termékektől, mivel megfoghatatlan, láthatatlan, különlegessége továbbá abban is rejlik, hogy nincs lehetőség a tárolására (gazdaságosan nagy mennyiségben nem tárolható). A villamos energiát jellemzően a felhasználás helyétől távol a felhasználás pillanatában állítják elő, sok hasonló generátorral együtt táplálják a hálózatba, és több transzformátoron, hosszú kilométernyi szabadvezetéken, és alkalmanként földkábeleken keresztül továbbítják a felhasználás helyére. A felhasználási helyen vételezett energia minőségének biztosítása nem egyszerű, a fogyasztónak nincs lehetősége arra, hogy csak a minőségileg megfelelő villamos energiát vegye igénybe a hálózatból, vagy hogy a rossz minőség miatt, ha berendezéseit működtetni akarja, a vételezést megtagadja [2].

A villamos energiaszolgáltatás egyedi jellemzője, hogy sok millió fogyasztó a villamos hálózaton keresztül össze van kapcsolva, köztük számos olyan fogyasztó is, melyek hibás működésük során károsan befolyásolhatják az így, mások által is vételezett villamos energia minőségét. A hálózati zavarokat, így például a hullámalak torzulás okozta harmonikusokat, feszültségletöréseket, zárlatokat a fogyasztók berendezései keltik. Ezek a káros zavarok a hálózaton keresztül továbbterjedve eljutnak más véetlen fogyasztókhoz is, súlyos károkat, költségnövekedést okozva. Ezért a káros visszahatásokat okozó fogyasztók feltárása és a működési hibák kijavítása az egyik lehetőség, és a legfontosabb feladat a villamos energia minőségének javítására, mivel a rossz minőség többletköltséggel jár mind a vétkes, mind a véetlen fogyasztónak.

A villamos energia mérésével, a villamos energia minőségével kapcsolatos kutatások az elmúlt évtizedekben jelentősen megnöttek. Ennek az oka, hogy napjaink villamos berendezései kevésbé viselik el a hálózati zavarokat, a fogyasztók egyre jobban szeretnék tudni, hogy milyen villamos

energiát vásárolnak, a megújuló energiaforrások alkalmazása pedig számos minőségi problémát okozhat. Továbbá a környezetvédelem és az energiatudatosság is oda vezetett, hogy egyre többen kezdtek mélyebben foglalkozni a villamos energia mérésével, tanulmányozásával. [3]

A villamos energia minőségének vizsgálata kulcsfontosságú. Ezt az energiát azért merem az egyik legfontosabb energiának nevezni, mert egyrészt bármely energiahordozó helyettesíthető villamos energiával, ami fordítva nem igaz, másrészt bármilyen energiahordozóból villamos energia nyerhető, illetve az összes többi energiatípus villamos energiává alakítható, legyen az atomenergia, szélenergia, vízenergia vagy napenergia. A fosszilis energiahordozók árának növekedésével, idővel a villamos energia lehet az egyszemélyes, könnyen hozzáférhető energiaforrás.

A villamos energia minősége mellett az energia felhasználásának hatékonysága is nagy jelentőséggel bír. A villamos energiát a szolgáltató egy adott minőségben nyújtja a fogyasztónak, a fogyasztó ugyanakkor valamilyen hatékonysággal azt felhasználja. A mai versenyorientált világban a legfontosabb kérdés a költséghatékony termelés. Kis- és középvállalatoknál az tapasztalható, hogy miközben folyamatosan próbálnak termelési költséget csökkenteni, a villamos energiára fordított költséggel vagy egyáltalán nem foglalkoznak, vagy legfeljebb a meddődíjat próbálják csökkenteni.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Doktori tanulmányaim kezdetén megvizsgáltam, hogy pontosan milyen irányba folynak a kutatások, melyik az a kutatási terület, ami felé érdemes haladnom. A munkámat természetesen megkönnyítette az, hogy a Miskolci Egyetem Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszéke már évtizedek óta foglalkozik a villamos energia vizsgálatával, mérésével, így gyakorlati oldalról is számos ötletem született, hogy milyen irányba folytassak kutatásokat.

A szakirodalomban folyamatosan jelennek meg cikkek, amelyek a villamos energia minőségét és annak mérési módszereit általánosan tárgyalják [4], illetve amelyek egyes villamos hálózatok minőségének kiértékelését reprezentálják. Az elmúlt években a villamos energia mérésének területén a gyorsabb, pontosabb és hatékonyabb mérési módszerek fejlesztési irányába haladtak a kutatások. Leginkább olyan publikációk jelentek meg, amelyek a villamos hálózati zavarok felismerésével foglalkoztak, és a legtöbbször a mesterséges intelligencia

egyres eszközeit, vagy matematikai algoritmusokat vettek segítségül [5], pl.: neurális hálózatok, fuzzy rendszerek, szakértő rendszerek, genetikus algoritmusok. Olyan megoldások publikálására került sor, amelyek a zavarokat nem csak detektálni, de elég jó sikerrel csoportokba sorolni és azonosítani képesek. A mért értékek különböző matematikai transzformációkkal (Fourier transzformáció, Wavelet-transzformáció, S-transzformáció) időtartományból frekvenciatartományba vagy idő-frekvencia tartományba való átalakításával nyertek olyan információkat, amelyekkel hatékonyabban lehetséges felismerni az egyes zavarokat.

A számos különböző villamos minőségi zavar miatt gyakran az egyes cikkek kifejezetten csak egy típusú zavar detektálásával, illetve kimutatásával foglalkoznak. A manapság egyik legjellemzőbb minőségi problémával, a harmonikusok mérésével és felismerésével nagyszámú cikk foglalkozik, és a feszültségletörés és -növekedés detektálási módszereinek kutatásával kapcsolatban is jelentős számú publikáció jelent meg.

A villamos energia nagysebességen történő mérése során több száz GByte mennyiségű adat keletkezik, amelyek feldolgozása hosszadalmas, így valamilyen módon a feldolgozási idő lerövidítését kellett megoldani a terület szakembereinek. Gyakran igény van a hatalmas adatmennyiség mérés közben való feldolgozására, azaz real-time kiértékelésére, így a gyors feldolgozás még fontosabbá válik. A kiértékelés gyorsítása érdekében fejlett hardvereszközöket, pl. DSP (Digital Signal Processor), FPGA (Field Programmable Gate Array) áramköröket használtak fel [6] több esetben a számítások on-line módon történő végrehajthatása érdekében.

A villamos energia mérése során keletkező hatalmas adatmennyiség méretének csökkentési módszereivel is foglalkozik néhány publikáció, ahol szintén matematikai átalakítások segítségével próbálják redukálni a mentéshez szükséges adatmennyiséget.

A kommunikációs rendszerek fejlődésével és az internet elterjedésével egyre inkább előtérbe került az olyan mérőrendszerek építése, amelyek képesek a táv-adatmérésre, azaz a mért információk a méréstől eltérő helyen való megjelenítésére. Ismert néhány olyan publikáció, amely a villamos energia mérése során kapott legfrissebb eredményeket telefonon, PDA-n, illetve web-es felületen képes megjeleníteni.

Az előbb felsorolt kutatási területeket illetően vannak olyan cikkek is, amelyek olyan mérőrendszerek tervezésével, megépítésével foglalkoznak, amelyek az előbb felsorolt publikációban bemutatott mérési módszerekből, eszközökből merítenek. A mérőrendszer kiépítése során gyakran előtérbe

került a költséghatékony megvalósítás [7]. Néhányan személyi számítógépre épülő mérőrendszer fejlesztésével is foglalkoztak, ahol szintén az olcsó megvalósítás került a középpontba.

Kutatásaim során arra a következtetésre jutottam, hogy a villamos energia mérése során kiemelten fontos a mérést szinkronizálni az aktuális hálózat frekvenciához, ezért mélyebben tanulmányoztam azon cikkeket, amelyek különböző szinkronizálási algoritmusokat tárgyaltak és valósítottak meg [8]. A hálózati frekvencia meghatározása kutatásom során így előtérbe került, ezért olyan cikkek keresésével és tanulmányozásával is foglalkoztam, amelyek a pontos hálózati frekvencia meghatározására mutattak megoldásokat [9].

Egy látszólag régen kidolgozott és jól ismert méréstechnikai probléma a hálózati feszültség és áram mérése, valamint az ezekből számolt teljesítmény, mégis a digitális mérések számos kérdést vetnek fel ezen a területen is, ha nagy pontosságú mérést kívánunk végezni. A mért adatok jelfeldolgozó algoritmusokkal való továbbalakítása is még egy nem teljesen kiforrott terület, ezért is választottam egyik kutatási területemnek.

3. AZ ÉRTEKEZÉS CÉLKITŰZÉSE

A PhD munkám során olyan új mérési és jelfeldolgozási módszerek kidolgozása volt a céloim, amelyek alkalmazásával hatékonyabban, pontosabban és gyorsabban lehet kiértékelni a villamos hálózat minőségét és a villamos energia felhasználásának hatékonyságát, mint az eddig, és jelenleg alkalmazott módszerekkel. A kidolgozott új módszerek alkalmazásához egy új mérőberendezés kifejlesztésére került sor a Miskolci Egyetem Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszékén, amely lehetőséget teremtett az új módszerek gyakorlati tesztelésére is. A cél, hogy a berendezéssel végzett hosszúidejű, folyamatos mérések eredményei alapján lehetőség nyíljon arra, hogy a vételezett energia kiértékelése elvégezhető, az esetleges költségcsökkentési lehetőségek feltárhatóak legyenek, valamint lehetőség legyen annak megállapítására is, hogy a felhasználó a szabványnak megfelelő villamos energiát vételezi-e.

Kutatásaim során különös figyelmet szántam az on-line, mérés közben való adatfeldolgozásra, új mérési eljárások kidolgozására, ami gyorsabbá és hatékonyabbá teszi egy mérőrendszer működését. A különböző villamosenergia-minőség és felhasználás hatékonyságát leíró paraméterek kiszámítása magas mintavételezési frekvencián nagy műveletigényű feladat. A paraméterek mérés után történő kiszámítása hosszadalmas, a mérés

időtartamától, a mért csatornák számától és a mintavételezési sebesség nagyságától függően akár napokat is igénybe vehet. Megfelelő módszerek kidolgozásával azonban megteremthető a lehetősége annak, hogy a mérés alatt az előbb említett paraméterek kiszámítása megtörténjen. A nagy műveletigényű feladatokat a nagyszámú kiszámítandó paraméter miatt egy egyprocesszoros számítógép nem képes elvégezni, ezért a szakirodalomban olyan speciális hardvereket alkalmaztak, mint DSP vagy FPGA. A célom az volt, hogy a mai, olcsón rendelkezésre álló személyi számítógépek többmagos processzorait alkalmazzam a számítások on-line végrehajtására, mivel nem találtam a szakirodalomban hasonló megoldást és az ilyen fajta megvalósítás kivitelezése kisebb költséggel jár, mint egy DSP vagy FPGA használatával megvalósított rendszer esetén.

Az új mérőrendszerben számos olyan módszer, megoldás használatát tűztem ki célul, ami nem csak tudományos szempontból új, de segítségével egy hatékonyabb és gyorsabb villamos hálózatok analizálására alkalmas mérőrendszer hozható létre azoknál, mint amelyek a kereskedelmi forgalomba kaphatóak. A villamos energia paramétereinek mérését tárgyaló, jelenleg érvényes szabványok [10, 11] szigorú követelményeket támasztanak egy villamos energia minőségét mérő rendszertől, így a szabvány előírásainak betartása új módszerek kifejlesztését és alkalmazását kívánja meg.

4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

4.1. *Mintaszámmal történő szinkronizálás a hálózati frekvenciához*

Mind a pontos, mind a szabvány [10, 11] szerinti villamos hálózati vizsgálat megköveteli, hogy az egyes, a villamos hálózat minőségét leíró paraméterek, így elsősorban az effektív érték (RMS), vagy a teljes harmonikus torzítás (THD), minden egész 10 hálózati periódusra legyenek meghatározva. Amennyiben a vizsgált regisztrátum nem egész számú hálózati periódust tartalmaz, azaz a vizsgált szinuszos hullám kezdő és vég fázisa nem egyezik meg, akkor az amplitúdó-frekvencia spektrumon az 50 Hz-es összetevő mellett nem kívánt összetevők is megjelennek, amelyek a keresett harmonikus mellett jelennek meg, ún. sátras spektrumkép formájában.

A villamos energia mérése során a vizsgált regisztrátum ideje (T_{reg}) kiszámítható, ha a 10 periódusra vett minták számát (N_{10p}) elosztjuk a mintavételezési frekvenciával (f_{mv}):

$$T_{\text{reg}} = \frac{N_{10p}}{f_{mv}} \quad (1.)$$

A regisztrátum idejének meg kell egyeznie 10 hálózati periódus idejével, ahol f_h a hálózati frekvencia:

$$T_{\text{reg}} = \frac{10}{f_h} \quad (2.)$$

A két egyenletből kifejezhető a hálózati frekvencia:

$$f_h = \frac{10f_{mv}}{N_{10p}} \quad (3.)$$

Az új egyenletből az állapítható meg, hogy ha a hálózati frekvencia változik, akkor vagy a mintavételezési frekvenciának vagy a minták számának is változnia kell, annak érdekében, hogy a regisztrátum pontosan 10 periódust tartalmazzon. A sátras spektrum elkerülésének tehát két fő módja van:

- mintavételezési frekvencia változtatása,
- mintaszám változtatása.

Az itt felsorolt két paraméter bármelyikének változtatását annak érdekében, hogy biztosítsuk az egész számú periódust tartalmazó regisztrátumot, a továbbiakban *szinkronizálásnak* nevezzük. A sátras spektrumkép elkerülése miatt tehát a mérést szinkronizálni kell a hálózati frekvenciához, különben az egyes villamos hálózati paraméterek meghatározása pontatlan lesz.

A szinkronizálást gyakran egy PLL (Phase Lock Loop) áramkör beépítésével oldják meg [12], ami a kimenetén egy olyan órajelet állít elő, aminek frekvenciája egész számú többszöröse a hálózati frekvenciának. A mintavételezés sebességét a PLL kimeneti órajele határozza meg, ami így biztosítja azt, hogy a 10 periódusokból mindig egy meghatározott számú mintavétel legyen annak a rovására, hogy a minták között eltelt idő nem azonos, azaz a mintavételezési frekvencia változik. A PLL hátrányai közé sorolható, hogy csak olyan mintavételezési frekvencia alkalmazható, ami egész számú többszöröse a hálózati frekvenciának.

A szinkronizálás megoldásának egy új módszere, ha nem a minták közötti idő változtatásával áll rá a mérőberendezés a 10 periódusra, hanem a *minták számának a módosításával*. Ezen megoldás használatához nem szükséges speciális hardvereszköz (pl. PLL), hanem megvalósítható szoftveroldalról. Mivel a minták száma csak egész szám lehet, ezért

alacsony mintavételezési frekvencia esetén ez a módszer kevésbé pontos, viszont kellően magas mintavételezési frekvencia használatával a számítási hibák csökkenthetők. Amennyiben tehát ismerjük a hálózati frekvencia (f_h) pontos értékét és a mintavételezési frekvenciát (f_{mv}), akkor pontosan meghatározható az egész, 10 periódus analíziséhez szükséges mintaszám (N_{10p}).

$$N_{10p} = \left\lceil \frac{10f_{mv}}{f_h} + 0.5 \right\rceil \quad (4.)$$

Tanulmányoztam a szakirodalomban előforduló szinkronizálási módszereket [8], de sehol nem találtam olyat, ami a 4.-es képlet alapján oldotta volna meg a hálózati frekvencia ingadozása okozta problémát.

Kutatásom során bebizonyítottam, hogy a mintaszámmal történő szinkronizálás alkalmazása során legalább 10 kHz mintavételezést kell alkalmazni annak érdekében, hogy a mintaszámmal történő szinkronizálás a szabvány által előírt pontosságot biztosítson, illetve mérésekkel alátámasztottam, hogy a hálózati frekvenciát a szabványtól gyakrabban, legalább 1-2 másodpercenként kell kiszámítani, hogy az abból meghatározott mintaszámmal pontosan lehessen szinkronizálni 10 egész periódusra.

A mintaszámmal történő szinkronizálás előnye, hogy 10 kHz felett bármilyen értékű mintavételezési frekvenciával történhet a mérés, szemben a PLL-lel, ahol csak a hardveresen beállított mintavételezési frekvenciák alkalmazhatóak. Mivel a PLL a hálózati frekvenciának valamilyen egész számú többszörösét állítja elő, ezért a mintavételezési frekvencia minden esetben csak előre meghatározott egész számú többszöröse lehet a hálózati frekvenciának, amely viszont jelentős mértékben korlátozza a mérőrendszer flexibilitását. Ezzel szemben a mintaszámmal történő szinkronizálás szoftver úton megvalósítható, egyéb speciális hardvereszköz nélkül. A szoftveres megvalósítás talán legnagyobb előnyét adja, hogy a minták között eltelt idő állandósága miatt nem szükséges külön órajelet alkalmazni az időméréshez.

1. TÉZIS: *Kidolgoztam egy új, a villamos hálózatok diagnosztikájánál alkalmazható digitális méréstechnikai eljárást a hálózati frekvencia mintaszámmal történő szinkronizálásának alkalmazására, amely kiegészítő hardver alkalmazása nélkül, kizárólag szoftver úton történő megvalósítással képes biztosítani a vizsgált időintervallum villamos hálózati frekvenciához történő szinkronizálását.*

Mérésekkel igazoltam, hogy a mintaszámmal történő szinkronizálás használatához legalább másodpercenként kell új hálózati frekvenciaértéket meghatározni annak érdekében, hogy a villamos hálózatokra jellemző frekvenciaingadozás ne befolyásolja az eljárás pontosságát. Igazoltam, hogy a mintaszámmal történő szinkronizálás alkalmazásához legalább 10 kHz-es mintavételezési frekvenciával kell mintavételezni a vizsgálandó villamos hálózat feszültségjeleit és áramjeleit, illetve azt, hogy a mintavételezési frekvencia növelése, csökkenti a szinkronizálás hibáját. Az új eljárás biztosítja, hogy 10 kHz felett szabadon, megkötés nélkül megválasztható legyen a mintavételezési frekvencia értéke, ellentétben az eddig használt módszerekkel, amelyek bizonyos korlátozásokkal alkalmazhatóak.

4.2. A hálózati frekvencia meghatározása

A villamos energia minőségének vizsgálata során a hálózati frekvencia meghatározására is szükség van, mivel ez szintén a villamos energia minőségét jellemző paraméter. A hálózati frekvencia a vizsgálatok során kulcsfontosságú, mivel értékétől függ a 10 periódus hossza, ami a többi villamos paraméter kiszámításához az alapintervallum. Kiepített mérőrendszerrel a mintaszámmal történő szinkronizálás biztosítja, hogy mindig 10 periódus legyen analizálva, azonban ehhez szükség van a pontos hálózati frekvenciára.

A szakirodalom szerint számos módszer létezik a hálózati frekvencia mérésére. Nulla-átmenetek keresésével, fáziszárt-hurok vagy fejlett jelfeldolgozó eljárások használatával határozzák meg sok esetben a hálózati frekvencia értékét [9]. Szakirodalomban többen használnak Kalman-szűrőt, vagy neurális hálózatokat azért, hogy nagyobb pontossággal legyen meghatározva a frekvencia, mint amire az egyszerűbb, hagyományos módszerek képesek. Ennek ellenére mégis, alapvetően az egyszerűsége miatt, az egyik legelterjedtebb módszer a nulla-átmenetes frekvenciabecslés, aminek pontossága természetesen megkérdőjelezhető, mivel a harmonikusok, tranziensek, illetve az amplitúdó-változások jelentősen ronthatják a becslés pontosságát. Bizonyos eljárásokkal, szűrésekkel azonban a nulla-átmenetes módszer pontossága is jelentősen javítható. A célkitűzésem az volt, hogy olyan nulla-átmenetes frekvenciabecslő eljárást fejlesszek ki, aminek pontossága 0,2%-os relatív hiba alatt tartható, mivel 10 mHz abszolút hiba már jelentős hibát okozhat a THD számítás során [13].

A szabvány szerint a hálózati alappfrekvencia-kimenet a 10 másodperces intervallum alatt a teljes periódusok száma osztva a teljes periódusok összes

idejével. A nulla-átmenetes számítási módszer szerint meghatározandó az adott intervallumban található azonos típusú (felfutó élű vagy lefutó élű) nulla-átmenetek száma, és az ehhez tartozó idő, amit korrigálni kell a két szélső átmenet pontos nulla-átmenetének meghatározásával.

A feszültség jelalakját a nulla-átmenetek keresése előtt szűrni kell, hogy így minimalizálva legyenek a harmonikusok, közbenső harmonikusok, valamint tranziensek okozta nem-valós nulla-átmenetek hatása. A szűrőknek azonban van egy beállási idejük, amelyek a fokszám növelésével egyre nagyobbak. A beállási időhöz tartozó szűrt minták használhatatlanok a frekvencia-meghatározása során. A fő problémát az okozza, hogy a villamos hálózat amplitúdó-változása során előforduló szűrő beállítások is okoznak jelentős hibákat a nulla-átmenetek számításánál.

Megfigyeltem, hogy a nulla-átmenet eltolódási probléma általában egy-két nulla-átmenetnél okoz számítási hibát a nem túl magas fokszámú szűrők esetén. Abban az esetben, ha a vizsgált tartomány első és utolsó nulla-átmeneténél nem fordul elő az amplitúdó változása miatti szűrőbeállási jelenség, akkor nem okoz számítási hibát a digitális szűrő alkalmazása. Az első és utolsó átmenetnél a pontos időtartam meghatározás miatt szükséges, hogy a szűrés ne tolja el ezeket az átmeneteket. A köztes nulla-átmenetek szűrő miatti elcsúszása a számítás eredményét egyáltalán nem befolyásolja, mivel a tartományon belüli átmeneteknél csak azok száma érdekes, pontos helyük nem.

Olyan méréseket végeztem, ahol egy feszültséggenerátor segítségével egy állandó ismert frekvenciájú jelben feszültségugrásokat generáltam. Ennek során azt tapasztaltam, hogy amikor kisebb tartományokra határoztam meg a frekvenciaértéket, gyakrabban fordult elő hibás frekvenciaérték, ami annak a következménye, hogy kisebb tartománynál több nulla-átmenetet kell arra használni, hogy pontosítva legyen a tartomány ideje, így nagyobb valószínűséggel lettek felhasználva azok a nulla-átmenetek, amelyek a szűrő beállási része miatt elcsúsztak a valós átmenettől. Ezeknél a hibás értékeknél kiugróan eltérő, akár 1% relatív hibás frekvenciaértékeket mértem.

Abban az esetben, ha több egymás melletti nulla-átmenet van felhasználva a frekvencia meghatározására és van köztük kiugróan eltérő frekvenciaérték, akkor valószínű, hogy azt a szűrő beállása szakaszára eső nulla-átmenet okozza. Abban az esetben, ha minden nulla-átmenet fel van arra használva, hogy a nulla-átmenet pontos helye meg legyen határozva, és az ezekből számolt frekvenciaértékek között van kiugró, akkor azt el kell vetni.

A szűrők által okozott nulla-átmenet eltolás problémáját a valós mérések során a következőképpen oldottam meg. A vizsgált jelen egy periódusos eltolásokkal újra és újra kiszámítottam a frekvenciaértéket. A periódusokkal való eltolást a kijelölt számítási tartomány nagyságáig végeztem, amikor is például 10 másodperces számítási tartomány esetén 50Hz-es hálózathoz 500 frekvenciaértéket (f_i) kapok. A frekvenciaértékek legnagyobb egyharmad és legkisebb egyharmad részének elhagyásával kiesnek azok a frekvenciaértékek, amelyek hibásak a szűrő beállási része miatt. A maradék értékeknek veszem az átlagát, és azt fogadom el a tartományra vonatkozó hálózati frekvenciának (f_c) az 5. egyenlet szerint.

$$f_c = \frac{\sum_{i=n/3}^{i=2n/3} f_i}{n/3} \quad (5.)$$

Mivel nem jellemző folyamatos periódusonkénti jelentős amplitúdó-változás a villamos hálózaton, ezért ezen számítási módszernek közel valós hálózati frekvenciát ad. Az algoritmus hátránya, hogy az eltolások miatt két egymás melletti frekvenciaérték számításánál ugyanazon szakaszok is fel vannak használva, de cserébe pontosabb frekvenciaértéket kapunk. Az új frekvenciaszámítási algoritmusra is szimuláltam az amplitúdó ugrásokat és azt tapasztaltam, hogy 0,4 másodperc feletti tartományokra meghatározott frekvenciaértékeknel 3-ad fokú Butterworth-szűrőt használva nem fordult elő semmiféle frekvenciaugrás, folyamatosan a beállított értéket tartotta a mérőprogram. Ugyanakkor 0,4 másodperc alatt már megjelentek hibás frekvenciaértékek, mivel ebben az esetben a vizsgálható nulla-átmenetek száma 20 alatti lesz, és ha ezekből 4-5 beleesik a szűrő beállási részébe, akkor a legkisebb és legnagyobb frekvenciaértékek elvétele már nem elég a hibás frekvenciaértékek kiszűréséhez.

2. TÉZIS: *Kidolgoztam egy új digitális méréstechnikai eljárást, amely nagy pontossággal és megbízhatósággal alkalmas a hálózati frekvencia meghatározására felharmonikus összetevőkkel, tranzienzsekkkel és amplitúdó ugrásokkal terhelt hullámformák esetén.*

A kidolgozott eljárás a nulla-átmenetes frekvenciabecslő módszer továbbfejlesztése, ami így a mintaszámmal történő szinkronizálás alkalmazásához pontos hálózati frekvenciaértéket biztosít. A szűrés és az amplitúdó ugrások okozta nulla-átmenet elcsúszások hatásait az eljárás kiküszöböli.

4.3. Villamos paraméterek on-line feldolgozása többprocesszoros rendszerek alkalmazásával

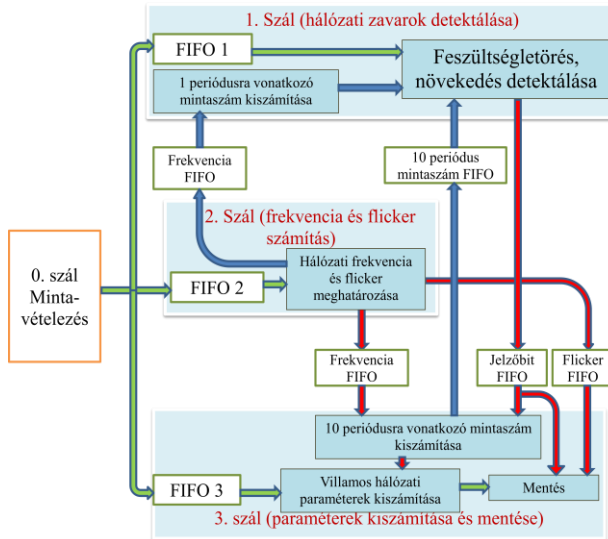
A Miskolci Egyetem Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszékén dolgozva számos villamos energetikai mérésben, vizsgálatban vettem részt. Ezek során azt tapasztaltam, hogy jelentős időköltéssel jár az, hogy a mérési adatok feldolgozását a mérés után kell elvégezni, ami több hétig tartó mérés esetén több napot is igénybe vesz. Ennek hatására, olyan új adatfeldolgozási módszert dolgoztam ki, amely segítségével már a mérés közben lehetőség nyílik arra, hogy a kívánt paraméterek kiszámításra kerüljenek, és a mérés után a feldolgozási idő a töredékére csökkenjen.

A villamos energia minőségének és a felhasználásának hatékonyságát leíró paraméterek real-time meghatározása magas mintavételezési frekvencián jelentős műveletigényű feladat. A cél egy olyan rendszer kidolgozása volt, ahol mindenezek ellenére a rendszer valós időben, a mérés közben képes kiszámítani magas mintavételezési frekvencia mellett akár 15 mérési csatorna adatait. Egyértelművé vált a számomra, hogy valamilyen új módszert kell alkalmaznom, amelyet a villamos energia mérésének a területén még nem alkalmaztak. DSP és FPGA áramköröket már felhasználtak a gyors, on-line feldolgozás érdekében [6], de ezen hardveregységeket a magas ár jellemzi. A real-time kiértékelést én többszörös adatfeldolgozással oldottam meg, ami kihasználja az asztali többmagos processzorok teljesítményét. Manapság az asztali számítógépekbe szánt többmagos processzorok ára alacsony, így a rendszer kifejlesztése kis költséggel jár.

A többprocesszoros adatfeldolgozás nem egy mai ötlet. A 70-es évek óta léteznek olyan többmagos munkaállomások, szerverek, illetve szuperszámítógépek, amelyek több processzorral rendelkeznek és így gyorsabb adatfeldolgozásra képesek [14]. A többprocesszoros személyi számítógépek megjelenésével azonban a többprocesszoros feldolgozás a reneszánszát éli, mivel olyan területeken is lehet alkalmazni ezt a módszert, ahol korábban az lehetetlen volt.

A többmagos processzorok teljesítményét csak abban az esetben lehet kihasználni, ha a megvalósítás során a programban több szálon való futás valósul meg. Csak többszálú programozás esetében lehet kihasználni a többmagos processzorok számítási teljesítményét. A többszörös programozás lényege, hogy az elvégzendő feladathalmazt több, egymástól függetlenül végrehajtásra kerülő kisebb részre (szálra) bontsunk fel úgy, hogy ezek a programrészek párhuzamosan (közel egy időben) futhassanak.

Az általam fejlesztett szál-menedzselés során, az elvégzendő számításokat funkció alapján bontottam szét a szálak között. A különböző típusú számítások különböző szálakban kerülnek végrehajtásra úgy, hogy azok megfeleljen a mintaszámmal történő szinkronizálás módszerének.



1. ábra: Többszálú végrehajtás felépítése

A fő szálak funkciója és köztük levő kommunikáció a 1. ábrán látható. A számítások szétosztásának lényege, hogy külön kezeltem azokat a számításokat, amelyekhez mintaszámmal történő szinkronizálást nem kell alkalmazni (hálózati frekvencia, flicker), illetve azokat, amelyekhez feltétlenül szükséges szinkronizálni és 10 periódusonként meghatározni az értéküket (RMS, THD, teljesítményparaméterek, aszimmetria). Külön szálat kapott a feszültségletörést, -növekedést detektáló számítás, amely szinkronizált periódusokból félperiódusos eltolásokkal számít RMS értéket és dönti el, hogy az érték a megfelelő feszültségtartományon belül található-e. A mérés folyamata külön szálat kapott, így biztosítva, hogy az egyes számítások nem hátráltatják magát a mintavételezést. Kiemelném, hogy a frekvencia és flicker értékeket meghatározó szál amellett, hogy frekvencia és flicker értékeket határoz meg, folyamatosan küldi a frekvencia értékeket a másik két feldolgozó szálnak. Erre azért van szükség, hogy a két szál ki tudja számolni az aktuális 1 vagy 10 periódusra vett minták számát, ami a mintaszám szerinti szinkronizáláshoz szükséges.

A kifejlesztett többszálú rendszerem bővíthetőség jól mutatja, hogy egy korábbi PHD értekezésében [15] bemutatott HFKV (Hangfrekvenciás

Központi Vezérlés) jeldetektáló és teljesítményugrásokat kereső módszere is bekerült a rendszerbe.

Tesztfuttatásokat végeztem el annak érdekében, hogy megvizsgálható legyen, mekkora teljesítménytöbbletet eredményez az, hogy az egyes részfeladatok külön szálon futnak. A vizsgálathoz egy négymagos processzort használtam fel, amely magjainak egy részét több tesztnél letiltottam. Abban az esetben mikor csak egy mag volt aktív, a processzor terhelése 100% körül volt, ami az jelenti, hogy a rendszer nem képes valós időben feldolgozni az adatokat. A kétmagos teszt alatt a program futása egyenletesebbé, stabilabbá válik, a processzor terhelése 33%-ra csökkent, míg a 4 magos teszt során a processzor terhelése 19% körül volt.

3. TÉZIS: *Kidolgoztam a villamos hálózati paraméterek meghatározására alkalmas eljárást, ami többprocesszoros rendszerek alkalmazásával, nagy mintavételezési sebesség mellett, on-line módon képes meghatározni az A osztályos műszerekre előírt villamos paramétereket, valamint jelalakokat, 10 periódusos felbontásban.*

A kifejlesztett eljárással a fejlett jelfeldolgozó processzorokkal rendelkező eszközökhöz képest lényegesen költségkímélőbbben alakítható ki a villamos hálózati paraméterek on-line kiértékelésére alkalmas rendszer. Az eljárás a logikailag különböző, eltérő időtartományra vonatkozó paraméterszámításokat külön végrehajtási egységben kezeli, így biztosítva a rendszer hatékony működését és a bővíthetőséget.

4.4. Harmonikusokkal terhelt villamos hálózatok teljesítményparamétereinek vizsgálata

A villamosenergia-rendszerről táplált fogyasztók egy része nem-lineáris fogyasztó. Jellemzőjük, hogy szinuszos feszültségről felvett áramuk nem csak a hálózati frekvenciájú komponenst tartalmaz, hanem annak egész- vagy nem egészszámú többszörösét is ” [1], így gyakorlatilag a nem-lineáris fogyasztók felharmonikus áramokkal szennyezik a hálózatot. A harmonikus áramot egy másik fogyasztó közvetlenül nem érzékeli. A hálózat impedanciáján a harmonikus áram által létrehozott torz feszültség okoz problémát, ami nagy értékű harmonikus áramot okozhat az elektronikus berendezések hálózat oldali bemenő fokozatában.

A villamos hálózaton tehát megjelennek mind feszültség felharmonikusok és mind áram felharmonikusok, ezért a továbbiakban nem-sinuszos hálózatoknak kell ezeket a villamos rendszereket tekinteni. A szinuszos és nem-sinuszos hálózatok teljesítmény összetevőinek

vizsgálatával az IEEE 1459-2000 szabvány [17] foglalkozik, illetve a szakirodalomban is fellelhetők publikációk, amik a nem-szinuszos hálózatok teljesítményparamétereit, különösképpen a meddőteljesítményt vizsgálják. Ezen publikációk közül a legtöbbet a 80-as 90-es években publikálták, amikor még nem voltak a napjainkhoz hasonló magas mintavételezési frekvenciájú mérőrendszerek, így a teljesítményparaméterek vizsgálata, mérése nem-szinuszos hálózatok esetén mérés technikailag korszerűbb oldalról közelíthető meg.

Értekezésemben megvizsgáltam és összehasonlítottam a szinuszos és nem-szinuszos hálózatok teljesítmény összetevőit. Nem-szinuszos hálózatok esetén a harmonikustartalom miatt olyan teljesítmények jelennek meg a szinuszos hálózatok esetén ismert hatásos (P), meddő (Q) és látszólagos teljesítmény (S) mellett, mint hatásos harmonikus teljesítmény (P_H), valamint feszültség, áram és harmonikus torzítási teljesítmények (D_U , D_I , D_H). Szinuszos hálózatokhoz képest új teljesítményparaméternek tekinthetők a nem-alapharmonikusra vonatkozó látszólagos teljesítmény (S_N), harmonikusokra vonatkozó látszólagos teljesítmény (S_H), illetve nem-aktív teljesítmény (N). Az alapharmonikusra vonatkozó látszólagos (S_1), hatásos (P_1), és meddőteljesítmény (Q_1) a hálózati frekvenciájú szinuszos áram és feszültség által keltett teljesítményparaméterek. A nem-szinuszos hálózat esetén definiálható teljesítményparaméterek összefoglaló táblázata látható a 2. ábrán.

	Kombinált	Alapharmonikus teljesítmény	Harmonikus teljesítmény
Látszólagos	S	S_1	S_N S_H
Hatásos	P	P_1	P_H
Meddő	N	Q_1	D_I D_U D_H
Vezeték kihasználás	$\cos\varphi = P/S$	$\cos\varphi_1 = P_1/S_1$	
Harmonikus szennyezés			S_N/S_1

2. ábra: Nem-szinuszos hálózat esetén definiálható teljesítményparaméterek [91]

Sok esetben elhanyagolják a feszültség teljes harmonikus torzítását, azaz harmonikustartamát, mivel kis- és középfeszültségű hálózatok esetében kevesebb mint 8%-os THD van megengedve. Ebben az esetben a torzítási teljesítményt teljes mértékben az áram felharmonikusai okozzák csak, és nem is ébredhet felharmonikus teljesítmény. Én ezt a megkötést nem fogadtam el, mivel tapasztalatom szerint előfordul olyan hálózat, ahol a feszültség THD értéke megközelíti vagy meghaladja a határértéket, és

ebben az esetben látni kívánom az egyes teljesítményparaméterek időbeli, 10 periódusonkénti változását.

Szimulációs programot készítettem annak érdekében, hogy tanulmányozhassam a nem-szinuszos hálózatok teljesítményparamétereinek számítási módszereit, majd később a számítási algoritmusokat beépítettem a Miskolci Egyetem Elektrotechnika- Elektronikai Tanszékén fejlesztett hálózatanalizáló mérőrendszerbe. A teljesítmény-összetevők aprólékosabb vizsgálatával a villamos energia felhasználásának hatékonysága a korábbitól sokkal behatóbban vizsgálható. Nem találtam a kereskedelemben kapható berendezések (LEM Memobox 808, TRANSANAL-16, Fluke 434/435, UMG 511) között olyat, ami ilyen szinten képes lenne felbontani a teljesítményt, és ilyen gyakorisággal és pontossággal meghatározni azokat.

Vizsgálataim során nagy figyelmet fordítottam a nem-aktív teljesítmény és az alapharmonikus meddőteljesítmény közötti összefüggés tanulmányozására. Azt tapasztaltam, hogy bizonyos harmonikustartalom esetén a nem-aktív teljesítmény nulla volt, miközben a rendszerben áram és feszültség torzítási teljesítmények léptek fel. Egyenletek segítségével sikerült levezetnem, hogy abban az esetben, ha D_U és D_I egyenlő, valamint D_H és Q_I nulla, akkor a nem-aktív teljesítmény nulla lesz a $-2P_1P_H$ tag miatt.

$$N^2 = D_I^2 + D_U^2 + D_H^2 + Q_I^2 - 2P_1P_H \quad (6.)$$

4. TÉZIS: *Kidolgoztam egy olyan számítógépes mérés technikai- és adatfeldolgozási eljárást, amellyel vizsgálhatóak a harmonikus feszültségek és áramok hatására kialakuló különböző teljesítmény-paraméterek 10 periódusonkénti változásai. Az eljárást beépítve egy villamos paramétereket meghatározó mérőrendszerbe, egy olyan fejlett villamos hálózatanalizáló rendszert fejlesztettem ki, ami nagy felbontással képes kiértékelni egy nem-szinuszos hálózaton fellépő harmonikus feszültség és/vagy áram által keltett harmonikus, illetve torzítási teljesítményeket.*

Bebizonyítottam, hogy a harmonikusokkal terhelt villamos hálózatok esetén a teljesítmény összetevőinek pontos számításával meghatározható a felharmonikus teljesítmények értéke és áramlásának iránya, valamint a feszültség és áram által keltett torzítási teljesítmények. Igazoltam, hogy harmonikusokkal terhelt rendszerek esetén a nem-aktív teljesítmény értéke lehet nulla bizonyos körülmények között, aminek az oka, hogy a

nem-aktív teljesítménybe beépül egy $-2P_1P_H$ összetevő, ami az alapharmonikus hatásos teljesítmény és a harmonikusok hatásos teljesítmény szorzatának kétszerese.

4.5. Aszinkron mérőrendszer kifejlesztése multiplexelt mérésadatgyűjtővel

A villamos energetikai kutatásaim tudományos szempontból általános érvényű módszertani eredmények elérését biztosították, ezért ezek az eredmények a *méréstechnikai alkalmazások szélesebb körében* is lehetőséget nyújtottak a továbbfejlesztésre és az alkalmazásra.

A disszertációm mellékágának tekinthetőek a következőkben bemutatott tudományos eredmények, valamint az elektromos kéziszerszámok tesztelésére kidolgozott vezérlési és jelfeldolgozó mérőrendszer. Ipari megrendelés hatására célszerű volt kutatásokat végezni a rendszer kifejlesztése érdekében, mivel speciális megoldásokat kellett kidolgozni annak érdekében, hogy az ipari megrendelés igényeit sikerüljön kielégíteni. A fejlesztés témája nem állt távol a kutatási területtől, mivel itt is főleg villamos-paraméterek folyamatos mérését kellett biztosítani, de emellett egyéb, nem villamos paraméterek mérését is meg kellett oldanom, úgymint fordulatszám és hőmérséklet.

A szakirodalomban fellelhető számos publikáció, ami kéziszerszámok számítógépes mérőrendszerrel történő tesztelését tárgyalja [18], amely mutatja, hogy ez a terület a tudományt is foglalkoztatja.

Egy, a forgó mozgást végző kéziszerszámok paramétereinek regisztrálása működés közben hasznos információkat szolgáltathat a fejlesztő mérnöknek a fejlesztés fázisában, ezért kellett a Miskolci Egyetem Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszékének a Bosch miskolci telephelyének felkérésére kifejleszteni egy olyan univerzális tesztberendezést, amely párhuzamosan 3 villamos gép egyenként 7 paraméterének mérésére és analizálására alkalmas. Legfőbb szempont volt a fejlesztés során a költségek minimalizálása, ami miatt olyan hardver- és szoftvermegoldásokat kellett kifejlesztenem, amely a Bosch miskolci telephelyén folytatott tesztelés speciális igényeit maximális mértékben kielégíti.

A költségek jelentős csökkentése miatt kettő multiplexelt mérésadatgyűjtő kártyákat kellett alkalmazni, amelyek közül az egyik feszültség, áram és fordulatszám mérésére, a másik pedig hőmérséklet mérésére szolgál. A fejlesztés során a legnehezebb feladatot az jelentette, hogy a multiplexelt kártyákkal olyan szinkronizálási és időzítési feladatokat kellett megoldani, amire ezek a kártyák alapvetően nem alkalmasak, például

párhuzamos, mégis egymástól független tesztelési folyamatok futtatásának biztosítása. Olyan új szoftvermegoldásokat kellett kifejlesztenem, amelyek segítségével a három különálló tesztelési folyamatot egymástól teljesen függetlenül lehet vezérelni és végrehajtani ezekkel a multiplexelt kártyákkal. A feladatot megbonyolította, hogy a két mérésadatgyűjtő kártya szinkron működését is biztosítani kellett valahogy, mivel azok nem képesek azonos sebességgel mintavételezni. A feszültség, áram és frekvencia méréséhez magasabb, MHz-ben mérhető mintavételezési frekvenciára van szükség, a hőmérséklet-mérő kártya pedig csak néhány Hz-es, vagy akár kevesebb, mint 1 Hz-es mintavételezésre képes.

A probléma megoldására olyan szoftvermegoldást fejlesztettem ki, amit felhasználva a mérés leállítására akkor sem kerül sor, ha az egyik berendezés tesztelése befejeződik. Az adott tesztelés befejezése után csak az adatok mentését, kiértékelését és megjelenítését kell leállítani, magát a mintavételezést nem, így nem zavarható meg a másik tesztelési folyamat. A módszer hátrányának tekinthető, hogy új tesztelési feladat indítására nincs lehetőség, ha ahhoz tartozó csatornákon nem folyik a mintavételezés, ezért előre definiálni, milyen csatornákon várható, hogy mérés fog történni. Annak érdekében viszont, hogy a felhasználó minél nagyobb szabadságot kapjon a mintavételezési frekvencia beállításában, indításkor kell előre meghatározni a tesztelési folyamatok számát, és a mérendő mennyiségeket. Ezt azért célszerű ilyenkor megtenni, mivel multiplexelt mérésadatgyűjtő esetén a mintavételezési frekvencia megoszlik a mérendő csatornák között. Azaz minél kevesebb csatornán mér a felhasználó, annál nagyobb mintavételezési frekvenciát lehet alkalmazni. Mindezek miatt a tesztfolyamatok megkezdése előtt egy inicializáló fázisban meg kell jelölni azokat a csatornákat, amelyekre szükség van az elvégezendő tesztelési feladatok végrehajtása érdekében. Az inicializáló fázis után fizikailag elindul a kártyákon a mintavételezés, de az adatok mentése és feldolgozása csak akkor indul el, ha az egyes tesztelési folyamatok elindítása megtörténik. Az egyes tesztelések leállítása, cseréje esetén tehát csak az adatok lementése és kijelzése szakad meg.

A tesztelő rendszer megvalósítása során szintén többszörös feldolgozást alkalmaztam. A többszálú megoldás használatával egyszerűen megoldható a két kártya eltérő mintavételezési sebessége okozta szinkronizálási probléma is. A két kártya mintavételezése külön szálon történik, amik folyamatosan küldik az egyes tesztelési szálaknak a mintákat. Minden tesztelési szál a két kártyától csak azon mintákat kapja meg, amik az adott tesztelési folyamathoz tartoznak, így már szál szinten megoldottam a mérési és

tesztelési feladatok függetlenítését. A tesztelő rendszer kifejlesztésekor a villamosenergia-minőség vizsgálatánál megkövetelt 10 periódus helyett egy másodpercekre kellett az egyes villamos paramétereket meghatározni, illetve ehhez az egy másodperchez kellett szinkronizálni a hőmérséklet-értékeket. Mivel a hőmérséklet-változás egy lassú folyamat, és a hőmérsékletmérő kártya csatornára vonatkozó mintavételezési sebessége az adott mérés függvényében 60 Hz és 0,2 Hz között változhat, ezért úgy döntöttem, hogy egy adott memóriaterületen mindig frissítem az aktuális hőmérséklet értékét, és másodpercenként mindig a legfrissebbet olvasom ki. Abban az esetben, ha 1 Hz-nél nagyobb sebességgel történik a hőmérséklet mintavételezési, lesznek olyan minták, amik elvesznek. Abban az esetben viszont, ha 1 Hz-nél lassabb mintavételezés történik, egy minta többször is letárolásra kerül. Ezt az egyszerűsítést azért lehet megtenni, mivel hőmérséklet-változás egy lassú folyamat, viszont ezzel megoldható a két kártya közötti szinkronizálási probléma.

5. TÉZIS: *Kidolgoztam egy olyan, alacsony költségű multiplexelt mérésadatgyűjtő kártyával megvalósítható mérés technikai- és adatfeldolgozási módszert, amivel aszinkron módon, egymással párhuzamosan és egymástól függetlenül lehet multiszenzoros mérési feladatokat ütemezett módon indítani és leállítani, működtetni, folyamat-monitorozni valamint online analizálni és naplózni.*

A módszer segítségével költséghatékonyan lehet megvalósítani olyan mérőrendszereket, ahol egymástól független mérési és vezérlési feladatok végrehajtása a cél. A módszert 3 tesztfolyamat vezérlésére alkalmas rendszeren teszteltem, amely egyenként 7-7 mért és 12-12 számolt paraméter online kiértékelésére és állapotfelügyeletére képes. Elkészült a rendszer ipari kivitelű változata is, amelyet a Robert Bosch Power Tool Teszt csoportja több éve megelégedéssel alkalmaz.

5. AZ ÚJ EREDMÉNYEK HASZNOSÍTÁSA

A disszertációmban bemutatott új tudományos eredmények gyakorlati szempontból is jelentős értéket képviselnek. A tudományos eredményeim gyakorlati megvalósítása a Miskolci Egyetem Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszékén épített mérőrendszerekben történt meg. Kiemelném a villamos hálózat analizálására alkalmas mérőszoftvert, ami alkalmazza a mintaszámmal történő *szinkronizálási algoritmust* és a *nulla-átmenetes frekvenciabecslő eljárás* általam továbbfejlesztett változatát. A mérőprogram a mérés közben valós időben kiszámolja a *többszörös on-line*

modulom segítségével az összes villamos hálózati paramétert, köztük a teljesítmény-paramétereket a legrészletesebb formában, ami a harmonikusokkal terhelt villamos hálózatok esetén kulcsfontosságú lehet a kiértékelés során.

A mérőrendszerrel – a laboratóriumi tesztmérések és a Miskolci Egyetem hálózatán történő mérés után – sikeresen végeztünk transzformátorállomásoknál és nagyobb fogyasztóknál is villamos energetikai vizsgálatot. Az ÉMÁSZ és az ELMŰ több transzformátorállomásán, illetve a következő nagyobb fogyasztóknál valósultak meg a vizsgálatok az új rendszer segítségével:

- Debreceni Egyetem Orvos- és Egészségtudományi Centrum;
- Salgótarján, Szent Lázár Megyei Kórház;
- Creaton Hungary Kft, Lenti.

6. FELHASZNÁLT LEGFONTOSABB FORRÁSMUNKÁK

- [1] Dán András, Tersztyánszky Tibor, Varjú György: Villamosenergia minőség, ISBN 963 22 9619 2, 2006.
- [2] Driesen J, Creanenbroeck T: Villamosenergia-minőség – Alkalmazási segédlet, Magyar Rézpiaci Központ, <http://www.rezinfo.hu/>
- [3] Math H.J. Bollen, Irene Y.H. Gu: Signal Processing of Power Quality Disturbances, ISBN-13 978-0-471-73168-9, 2006.
- [4] A. Ferrero, Measuring electric power quality: Problems and perspectives, Measurement 41 (2008) 121-129
- [5] W. R. Anis Ibrahim, M. M. Morcos, Artificial Intelligence and Advanced Mathematical Tools for Power Quality Applications: A survey, IEEE T. Power Deliver., vol. 17, no. 2, April 2002, 668-672
- [6] L. Ferrigno, C. Landi, M. Laracca, FPGA-based Measurement Instrument for Power Quality Monitoring according to IEC Standards, FMTC 2008 – IEEE International Instrumentation and Measurement Technology Conference, Victoria, Vancouver Island, Canada, May 12-15, 2008
- [7] José Batista, Júlio S. Martins, João L. Afonso, Low-Cost Digital System for Power Quality Monitoring, ICREPQ'03 – International Conference on Renewable Energies and Power Quality, Vigo, Spain, 9th April 2003, ISBN: 84 607 6768 x, paper 385
- [8] M. Aiello, A. Cataliotti, V. Cosentino, S. Nuccio, Synchronization Techniques for Power Quality Instruments, IEEE T. Instrum. Meas., vol. 56, no. 5, October 2007, 1511-1519
- [9] P. M. Ramos, A. C. Serra, Comparison of frequency estimation algorithms for power quality assessment, Measurement 42 (2009) 1312-1317
- [10] IEC 61000-4-30: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques –Section 30 Testing and measurement techniques – Power quality measurement methods. 2008

- [11] IEC 61000-4-7: Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques –Section 7: General guide on harmonics and inter-harmonics measurements and instrumentation, for power supply systems and equipment connected thereto. 2002.
- [12] A. Cataliotti, V. Cosentino, S. Nuccio, A new Phase Locked Loop Strategy for Power Quality Instruments Synchronisation, Proc. IMTC 2005 – Instrumentation and Measurement Technology Conference, Ottawa, Canada, 941-946
- [13] A. V. Szarka, Measuring harmonic distortion in electrical power networks – New approach, Measurement 43 (2010) 1628-1635
- [14] Kacsuk Péter, A szuperszámítógép technológiai trendje, MTA SZTAKI, <http://nws.iif.hu/ncd2001/docs/eloadas/121/index.htm>
- [15] Unhauzer Attila, Villamos hálózati fogyasztók zavarhatásainak és teljesítményprofiljainak vizsgálata új mérési és modellezési módszerekkel – PhD értekezés (Miskolci Egyetem, 2012)
- [16] MSZ EN 50160: A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői. 2010.
- [17] IEEE Std. 1459-2000: Standard Definitions for Measurement of Electric Power Quantities Under Sinusoidal, NonSinusoidal, Balanced, or Unbalanced Conditions
- [18] Faleh A. Al-Sulaiman, M. Abdul Baseer, Anwar K. Sheikh, Use of electrical power for online monitoring of tool condition, Journal of Materials Processing Technology 166 (2005) 364–371

7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ LEGFONTOSABB SAJÁT PUBLIKÁCIÓK

Idegen nyelvű lektorált folyóiratcikk:

1. **Richárd Bátorfi**, Angéla Váradiné Szarka: Parameter identification of electrical power quality by a new synchronisation method and an innovative measuring instrument, Measurement, Volume 46, Issue 1, January 2013, ISSN 0263-2241, pp. 697–709, Impact Factor: 0,836

Magyar nyelvű lektorált folyóiratcikk:

2. **Bátorfi Richárd**, Váradiné Angéla Szarka: Nagy pontosságú villamos hálózati minőségvizsgálat új szinkronizáló eljáráson alapuló mérőberendezéssel, Elektrotechnika: A Magyar Elektrotechnikai Egyesület Hivatalos Lapja, 2012. április, Vol.105(03). pp.5-9.

Idegen nyelvű konferencia kiadványában megjelent konferencia-előadások:

3. **Richárd Bátorfi**: PLL and Number of Sample Synchronisation Techniques for Electrical Power Quality Measurement, XX IMEKO World Congress, September 9-14, 2012, Busan, Republic of Korea, ISBN:978-89-950000-5-2-95400
4. **Richárd Bátorfi**, Angéla Váradiné Szarka: Analysing Power Parameters of Single Phase Nonsinusoidal Power Network, MicoCAD 2012., 29-30 March 2012., University of Miskolc, ISBN 978-963-661-773-8. CD appendix.

5. **Richárd Bátorfi:** Measurement of network frequency for standard diagnostics of electrical power networks, MicroCAD 2010, 2010. március 08-20, University of Miskolc, ISBN 978-963-661-925-2, pp. 1-6
6. **Richárd Bátorfi,** Electrical Power Quality and Efficiency Diagnostic System, XIX IMEKO World Congress, September 6-11, 2009, Lisbon, Portugal, ISBN 978-963-88410-0-1, pp. 749-752
7. **Richárd Bátorfi,** Software solutions for effective and reliable on-line diagnostics, MicoCAD 2009. március 19-20, University of Miskolc, ISBN 978-963-661-875-9, pp. 1-5
8. **Richárd Bátorfi,** Angéla Szarka Váradi: Development of New Measurement and Data Analyzing System Flexible Adaptable to Energy Quality Standard Changes, MicroCAD, 2008. március 20-21, University of Miskolc, ISBN 978-963-661-821-6, pp. 13-18
9. **Richárd Bátorfi:** Multichannel Online Quality and Efficiency Power Network Diagnostic according to IEC Standards, International Conference On Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ), 2008. március 12-14, Santander – Spain, ISBN 978-84-611-611-9289-2, DVD kiadványban megjelent
10. Attila Unhauzer, **Richárd Bátorfi:** Flicker Determination of Electrical Networks, Forces in Engineering Education Towards Excellence, SEFI and IGIP Joint Annual Conference 2007, Miskolc, 2007. július 1-4, ISBN 978-963-661-772-1, pp. 411-412
11. **Richárd Bátorfi,** Attila Unhauzer: Academia-Industry Cooperation for Energy Saving in North-East Hungary, Joining Forces in Engineering Education Towards Excellence, SEFI and IGIP Joint Annual Conference 2007, Miskolc, 2007. július 1-4, ISBN 978-963-661-772-1, pp. 199-201
12. Angéla Váradiné Szarka, **Richárd Bátorfi:** Development of Computing Method for Reactive Power Analysis, MicroCAD 2007. március 22-23, University of Miskolc, ISBN:978-963-661-751-6, pp. 73 – 78

Magyar nyelvű konferencia kiadványában megjelent konferencia-előadások:

13. **Bátorfi Richárd,** Hálózati frekvencia ingadozásának vizsgálata mintaszámmal történő szinkronizálás alkalmazásához, XII. ENELKO – XXI. SzámOkt konferencia, Kolozsvár, 2011. október 6-9., ISSN 1842-4546, pp. 8-14
14. Bencs Róbert, **Bátorfi Richárd,** Komplex mérésfeldolgozó alkalmazás fejlesztése Measurement Studio-ban villamos hálózatok elemzéséhez, XII. ENELKO – XXI. SzámOkt konferencia, Kolozsvár, 2011. október 6-9., ISSN 1842-4546, pp. 15-21
15. **Bátorfi Richárd,** Univerzális teszterendezés vezérlőszoftverének fejlesztése, IX: ENELKO – XVII. SzámOkt konferencia, Csíksomlyó, 2008. október 9-12., ISSN 1842-4546, pp. 10-14
16. **Bátorfi Richárd:** Az informatika fejlődésének hatása a villamos-energetikai vizsgálatokra, XVII. SzámOkt – VIII. ENELKO, Nagyvárad, 2007, ISSN 1842-4546, pp. 12-15

17. **Bátorfi Richárd:** Villamos hálózatok mérő- és elemző alkalmazásának továbbfejlesztési lehetőségei, Innováció és Tudás Konferencia, MLR-RET kiadványa, Miskolc, 2007. június, pp. 199-204
18. **Bátorfi Richárd:** Háromfázisú villamos hálózatok paramétereinek kiértékelésére alkalmas szoftver fejlesztése, Tudományos Diákfórum, Innováció és Tudás, MLR-RET kiadványa, Miskolc, 2006. június 8., ISBN 963-661-723-6, pp. 137-144
19. Váradiné Szarka Angéla, **Bátorfi Richárd:** Kis- és középvállalatok villamos energia hálózatának vizsgálata, VII. ENELKO, Nemzetközi Energetika - Elektrotechnika Konferencia, Kolozsvár, 2006, ISSN 1842-4546, pp. 149 – 154

Írásban meg nem jelent idegen nyelvű előadások:

20. **Richárd Bátorfi,** Test and Diagnostics of Electrical Power Network Disturbances, NI Week 2009 (Worldwide Graphical System Design Conference and Exhibition), Poster Section, USA, Texas, Austin, 2009. aug. 3-6.

Írásban meg nem jelent magyar nyelvű előadások:

21. **Bátorfi Richárd:** Villamos hálózati frekvenciához mintaszámmal történő szinkronizálás gyakorlati megvalósítása, I. Mechward András Ifjúsági Találkozó, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2011. április 13.
22. **Bátorfi Richárd:** Univerzális on-line regisztráló teszter fejlesztése, Erősáram a Fialatok Szemével 2010, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 2010. április 7.
23. **Bátorfi Richárd,** Unhauzer Attila: Az észak-kelet magyarországi régió hálózati zavardiagnosztikáinak tapasztalatai, Ifjú Szakemberek Fóruma 2008, Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest, 2008. nov. 26

Oktatási jegyzet:

24. Váradiné Szarka Angéla, Hegedűs János, **Bátorfi Richárd,** Unhauzer Attila: Méréstechnika jegyzet, HEFOP – jegyzet (Nemzeti fejlesztési terv), 2007