



VILLAMOS HÁLÓZATI FOGYASZTÓK ZAVARHATÁSAINAK ÉS TELJESÍTMÉNYPROFILJAINAK VIZSGÁLATA ÚJ MÉRÉSI ÉS MODELLEZÉSI MÓDSZEREKKEL

PhD ÉRTEKEZÉS

Készítette:

UNHAUZER ATTILA

OKLEVELES MÉRNÖK INFORMATIKUS, BSC VILLAMOSMÉRNÖK

HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

A doktori iskola vezetője:

TÓTH TIBOR, DSc

egyetemi tanár

Tudományos vezető:

VÁRADINÉ SZARKA ANGÉLA, PhD, dr. habil.

egyetemi docens

Tudományos társ-témavezető:

KOVÁCS ERNŐ, PhD

egyetemi docens

MISKOLC

2012

TARTALOMJEGYZÉK

A TÉMAVEZETŐ AJÁNLÁSA	4
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS	5
RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE	6
VILLAMOS HÁLÓZATI FOGYASZTÓK ZAVARHATÁSAINAK ÉS TELJESÍTMÉNYPROFILJAINAK VIZSGÁLATA ÚJ MÉRÉSI ÉS MODELLEZÉSI MÓDSZEREKKEL	7
<i>Elősző</i>	7
NEW MEASURING AND MODELLING METHODS FOR DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL CONSUMERS' DISTURBANCES AND POWER PROFILES	8
<i>Abstract</i>	8
1. BEVEZETÉS	9
1.1. Az értekezés felépítésének rövid áttekintése	10
1.2. Az értekezés célkitűzése	11
2. A HAZAI ÉS NEMZETKÖZI SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE	15
2.1. Szakirodalmi áttekintés a flicker-analizálás témakörében	15
2.2. Szakirodalmi áttekintés a hangfrekvenciás központi vezérlés témakörében	24
2.3. A szakirodalmi kutatások kiértékelése	32
3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	35
4. A LEGFONTOSABB FLICKER-ELŐÍRÁSOK ÁTTEKINTÉSE	37
4.1. A villogás közvetlen hatásai és mérésének jelentősége	37
4.2. A villogás zavaró hatása: flicker-érzékelési görbe [14]	38
4.3. Az analóg villogásmérő felépítése	39
4.4. A villogásmérő funkcionális felépítése	40
4.5. Digitális villogásmérő-modul létrehozására tett javaslatok [17] szerint	44
5. DIGITÁLIS VILLOGÁSMÉRŐ-MODUL TERVEZÉSE	46
5.1. Komplex átviteli függvény közelítése IIR szűrőkaszkád segítségével	46
5.2. Komplex átviteli függvény közelítése z-transzformációval	47
5.3. Az kidolgozott digitális szűrő tesztelése	50
5.4. A digitális villogásmérési módszer gyakorlati megvalósítása	53
6. ONLINE VILLOGÁSMÉRÉSI MÓDSZER GYAKORLATI MEGVALÓSÍTÁSA	55
6.1. Az online mérési módszer kommunikációs interfészei	55
6.2. A mintavételi frekvencia rugalmas beállítására alkalmas módszer gyakorlati megvalósítása	56
6.3. Az online mérőmodul illesztése komplex hálózat-analizátor szoftverrendszerhez	60
6.4. Új tudományos eredmények	63
7. KALIBRÁLÁSI MÓDSZER (RENDSZER) VILLOGÁSMÉRŐK TESZTELÉSÉHEZ	64
7.1. Kalibrálási módszer villogásmérők összehasonlítására	64
7.2. A szabványban előírt követelményrendszer rövid ismertetése	65
7.3. A kalibrálási módszeren alapuló komplex szimulációs rendszer bemutatása	68
7.4. A kalibrálási módszeren alapuló komplex mérőstruktúra bemutatása	74
7.5. A legfontosabb mérési eredmények bemutatása	78
7.6. Új tudományos eredmények	83
8. A HANGFREKVENCIÁS KÖZPONTI VEZÉRLŐ RENDSZER FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSE	84
8.1. A hangfrekvenciás központi vezérlőrendszer moduláris felépítése	84
8.2. A hangfrekvenciás központi vezérlőrendszer működésének összefoglalása	88

9. A HANGFREKVENCIÁS KÖZPONTI VEZÉRLŐRENDSZER ANALIZÁLÁSHOZ SZÜKSÉGES ÚJ MÉRÉSI MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK.....	91
9.1. Az elvégzett mérések.....	91
9.2. A EET saját fejlesztésű áram- és feszültségváltói.....	92
9.3. A számítógépes mérőrendszer részei.....	93
9.4. A mérések során felhasznált, saját fejlesztésű mérőszoftverek.....	93
9.5. A mérés-adatgyűjtés során alkalmazott specifikus beállítások.....	95
9.6. További mérések az észak-magyarországi régióban.....	97
10. UNIVERZÁLIS DEKÓDOLÓ MÓDSZEREK KIDOLGOZÁSA.....	98
10.1. A hangfrekvenciás üzenetek felismerésének legfontosabb elméleti alapjai.....	98
10.2. Univerzális módszer kidolgozása a hangfrekvenciás impulzusok detektálására.....	102
10.3. Univerzális teljesítménydetektálási módszer kidolgozása.....	110
10.4. Automatizált adatfeldolgozást támogató zavarfelismerő módszerek kidolgozása.....	118
10.5. A tömegvezérlés okozta teljesítményugrások detektálása online mérőmodul segítségével.....	121
10.6. Új tudományos eredmények.....	125
11. ÚJ ANALIZÁLÁSI MÓDSZEREK KIDOLGOZÁSA A TÖMEGVEZÉRLÉS OKOZTA HŐTÁROLÓS PROFILOK MEGHATÁROZÁSÁRA.....	126
11.1. Hálózatdiagnosztikai szoftver fejlesztése a mérési adatok hangfrekvenciás analizálásához.....	126
11.2. Automatikus módszer a teljesítményprofilok generálására.....	136
11.3. Automatizált normálási módszer eltérő teljesítményű transzformátorok hőtárolós profiljainak összehasonlítására.....	142
11.4. Fogyasztási szokások kategorizálása gyakorlati megközelítés alapján.....	146
11.5. A hőtárolós profilok jelentősége.....	151
11.6. Új tudományos eredmények.....	153
ÖSSZEFOGLALÁS.....	154
TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK.....	155
AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÍTETT PUBLIKÁCIÓK.....	157
IRODALOMJEGYZÉK, FELHASZNÁLT ÉS TANULMÁNYOZOTT REFERENCIÁK.....	161
FÜGGELÉK.....	172

A TÉMAVEZETŐ AJÁNLÁSA

Unhauzer Attila doktorjelölt „Villamos hálózati fogyasztók zavarhatásainak és teljesítményprofiljainak vizsgálata új mérési és modellezési módszerekkel” című PhD értekezéséhez

A doktori értekezés témája a hálózatanalizálás témaköréhez kapcsolódó, két, napjainkban is központi jelentőségű témát tárgyal, újonnan kidolgozott modellek, módszerek és algoritmusok bemutatásán keresztül.

A jelölt, a villamos hálózat - szabványban is definiált - egyik legnehezebben mérhető és meghatározható paraméterével, a **flicker (villogás)** jellemző mérésével és egy olyan újfajta online, digitális módszer kidolgozásával foglalkozik, amely kielégíti a legmodernebb IEC 61000-4-15:2010 szabványt is, alkalmazkodva az abban definiált flicker-mérő osztályok követelményrendszeréhez. Újonnan kidolgozott analízis algoritmusainak, módszereinek és azok gyakorlati megvalósításainak eredményeit nemcsak a villogás-mérés területén, hanem a hálózatanalízis más területeinek kutatásában is sikeresen alkalmazza, ilyen a **hangfrekvenciás központi vezérlés (HFKV)** elemzése. Új analízis, kiértékelési és összehasonlítási módszereinek és a gyakorlatban is megvalósított modern informatikai megoldásainak köszönhetően, a HFKV-val kapcsolt villamosenergia-hálózat hőtárolós vezérlésének elemzése és optimalizálása vált lehetővé. Mindkét témakör jelentősen túlmutat a dolgozaton.

Az értekezés jól felépített egységet alkot, magába foglalja a jelölt elmúlt 6 év alatt elért legfontosabb kutatási eredményeit. A jelölt doktori tevékenységének ideje alatt, 2 db folyóiratcikket, 9 db rangos nemzetközi és 14 db magyar nyelvű konferencia-kiadványban jelentetett meg publikációt, valamint 2 db idegen- és 4 db magyar nyelvű előadást tartott. Folyamatos tudományos munkában való részvétele, szorgalma, példamutató magatartása és az itt feltüntetett eredmények együtt igazolják a jelölt magas színvonalú tudományos ismeretét és az önálló kutatómunkára való alkalmasságát. A jelölt doktori értekezésben foglalt új tudományos eredményei szakmai meggyőződése szerint nagymértékben hozzájárulnak a villamos hálózat minőségi és hatékonysági vizsgálatainak és vezérlésének a fejlődéséhez.

Kijelentem, hogy az értekezés hiteles adatokat tartalmaz, az abban foglalt eredmények a jelölt saját eredményei, így a dolgozat minden vonatkozásban megfelel a Hatvan József Informatikai Tudományok Doktori Iskola által megkövetelt tartalmi és formai követelményeknek. Fentiek alapján a PhD cím odaítélését támogatom és javaslom.

Miskolc, 2012. november 28.



Váradiné Szarka Angéla, PhD. dr. habil.

témavezető

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretnék köszönetet mondani mindazoknak, akik munkájukkal, segítségükkel hozzájárultak értekezésem létrejöttéhez.

Külön köszönetet mondok **Váradiné Dr. Szarka Angéla** docens asszonynak (ME, EET), tudományos témavezetőmnek, aki támogatásával, szakmai irányításával, segítőkész tanácsaival és folyamatos odafigyelésével járult hozzá dolgozatom elkészültéhez. Kiemelt köszönetemet fejezem ki **Dr. Szarka Tivadar** professzor emeritus úrnak (ME, EET), aki kutatásaim kezdetekor különös figyelmet fordított rám, majd folyamatos tudományos szakmai irányításával és személyes támogatásával segítette kutatásaimat. Továbbá köszönöm **Dr. Kovács Ernő** tanszékvezető úrnak (ME, EET), aki tudományos társ-témavezetőként biztosította munkám sikeres előmenetelét. Szintén köszönettel tartozom **Dr. Tóth Tibor** professzor úrnak (ME, AIT), a Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola vezetőjének, aki folyamatos szakmai és személyes odafigyelésével segítette kutatásaim előrehaladását. Köszönetet mondok **Borsody Zoltán** egyetemi adjunktus úrnak (ME, EET), aki HFKV kutatásaim egyik meghatározó konzulenseként segítette munkám előrehaladását.

Köszönöm **Bátorfi Richárd** kollégámnak, akivel együtt több éven keresztül végzett oktatói-kutatói tevékenység, egymás kölcsönös támogatása nagyban hozzájárult tudományos előrehaladásunk és színvonalas eredményeink elérésében.

További külön köszönetemet fejezem ki:

- a **Miskolci Egyetem Elektrotechnikai és Elektronikai Tanszék** munkatársainak;
- **Orlay Imrének**, aki az ÉMÁSZ Hálózati Kft. Hálózat Optimalizálási Osztályának, műszaki szakértőjeként, szakmai tanácsaival támogatta munkám;
- **Dr. Gyurkó Istvánnak**, az ÉMÁSZ Rt. nyugalmazott osztályvezetőjének, aki szakmai tanácsaival segítette munkám;
- **Dr. Ladányi József** egyetemi adjunktus (BME, VET) és **Dr. Raisz Dávid** egyetemi docens (BME, VET) kollégáimnak, akik szakmai együttműködésükkel és megjegyzéseikkel segítették kutatásaim előrehaladását;
- **Bencs Róbert** MSc informatikus kollégámnak;
- a **National Instruments Hungary Kft**-nek az általuk biztosított hardver- (PXI-mérőrendszer) és szoftvertámogatásért (*LabWindows CVI 2010*).

Végül, szeretném megköszönni **szüleimnek** és **testvéremnek**, akik tanulmányaim támogatásával és rendületlenül kitartó biztatásaikkal álltak mögöttem; továbbá **Dr. Lubóczki Katalinnak**, aki számos publikációm angol nyelvű fordításában és korrektúrázásában segített, mindemellett pedig biztató társamként állt mellettem mindvégig, mialatt munkámat végeztem.

Az értekezés a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 jelű projekt részeként – az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

RÖVIDÍTÉSEK JEGYZÉKE

ME	Miskolci Egyetem
EET	Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszék (Miskolci Egyetem)
BME	Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
VET	Villamos Energetikai Tanszék
AIT	Alkalmazott Informatikai Tanszék (Miskolci Egyetem)
P _{st}	rövid idejű flicker (short term)
P _{lt}	hosszú idejű flicker (long term)
HF	hangfrekvencia, hangfrekvenciás
KÖF, köf	középfeszültség
HFKV	HangFrekvenciás Központi Vezérlés
RFKV	RádióFrekvenciás Központi Vezérlés
CRC	Centralized Ripple Control (tömegvezérlés; központi vezérlés)
AFC, RFC	Audio-, Radio Frequency Control (hangfrekvenciás és rádiófrekvenciás vezérlés)
PC	Personal Computer (személyi számítógép)
NIM	National Institute of Metrology – Nemzeti Metrológiai Intézet
SMART	Specific Measurable Achievable Result orientated Time bounded („okos” eszközök)
FFT	Fast Fourier Transform (gyors Fourier-transzformáció)
DFT	Discrete Fourier Transform (diszkrét Fourier-transzformáció)
DSP	Digital Signal Processing Device (komplex jelfeldolgozó eszköz)
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition (rendszervezérlés és mérés-adatgyűjtés)
IIR	Infinite Impulse Response (végtelen impulzus válaszu szűrő)
PLL	Phase Locked Loop (fáziszárt hurok)
LED	Light Emitting Diode (fénykibocsátó dióda)
DAQ	Data Acquisition Card (mérésadatgyűjtő kártya)
PXI	PCI eXtensions for Instrumentation
NI	National Instruments
FIFO	First Input First Output
MSE	Mean Square Error (átlagos négyzetes hiba)
AAD	Absolute Averaged Deviation (átlagos abszolút eltérés)
THREAD	végrehajtási fonál, végrehajtási szál

VILLAMOS HÁLÓZATI FOGYASZTÓK ZAVARHATÁSAINAK ÉS TELJESÍTMÉNYPROFILJAINAK VIZSGÁLATA ÚJ MÉRÉSI ÉS MODELLEZÉSI MÓDSZEREKKEL

Elősző

Napjainkban, az optimális villamos energiagazdálkodás mind szolgáltatói, mind felhasználói oldalról kulcsfontosságú jelentőségű. A villamos energetikának és az informatikának számos határterülete ismert, azonban a *villamos energia minőségével* és *szabályozásával* kapcsolatos kutatások nemzetközi viszonylatban is egyre kiemeltebb szerephez jutnak. Az áramszolgáltatók, az ipari fogyasztók és lakossági felhasználók számára egyaránt fontosak a villamos hálózati paraméterek mérésével és kiértékelésével kapcsolatos kutatások, hiszen a *megfelelő minőségű*, energetikai szempontból „*tiszta*” *energia* egyaránt fogyasztói és szolgáltatói érdek. Gyakran olyan villamos energetikai problémák jelentkeznek a hálózaton, amelyek felderítéséhez nemcsak a mindenkor hatályos szabványi előírások betartása szükséges, hanem azokon túlmutató, villamos paraméterek vizsgálatát is megkövetelik. Értekezésem két részre osztható, ahol két különböző, bár sok szempontból mégis hasonló témát dolgozok fel.

Kutatásaim során, a szabvány egyik legnehezebben mérhető és meghatározható paraméterével, a ***flicker* (villogás)** jellemző mérésével foglalkoztam. Az értekezés jól körüljárja azokat a kapcsolódó előírásokat, amelyek elengedhetetlenül szükségesek voltak a villogásmérésekhez. Disszertáciomban bemutatásra kerül, egy újfajta online (digitális) módszer, amely lehetővé teszi a paraméter megbízható mérését és kiértékelését. Továbbá, bemutatok egy új villogásmérők kalibrálására alkalmas módszert, amely tetszőlegesen csatlakoztatott villogásmérő objektív ellenőrzésére. Kutatómunkám során olyan új jelfeldolgozási módszereket, modelleket és algoritmusokat fejlesztettem ki, amelyek segítségével (a hálózati feszültségjelből), speciális jellemzőkkel rendelkező összetevők azonosítása és analizálása válik lehetővé. Az itt kidolgozott megoldásokat a hálózatanalízis más területein, így a ***hangfrekvenciás központi vezérlés*** területén is, sikeresen használtam fel. A hangfrekvenciás központi vezérlés Magyarországon egy megbízható, jól bevált terhelésszabályozási módszer, amely mind szabályozási, mind jelfeldolgozási oldalról nézve igen összetett területnek tekinthető. A hálózatüzemeltető minden pillanatban aktuális információkkal szeretne rendelkezni a hálózaton vezérelt fogyasztók (hőtárolók) aktuális állapotáról, amelyre azonban igen korlátozott lehetőségei vannak. Ezért olyan analízis- (teljesítménydekódolás és detektálás) és kiértékelési (hőtárolós profilok generálása) módszereket dolgoztam ki, amelyekkel a szolgáltató közvetlen információkat szerezhet a hálózaton vezérelt fogyasztókról, valamint azok viselkedéséről.

Az értekezésem témakörei így jól látható egységet alkotnak, és magukban foglalják az elmúlt több mint hat év legfontosabb kutatási eredményeit. Az értekezésben kidolgozott módszerek, modellek és algoritmusok ráadásul csaknem minden esetben önálló műszaki alkotásokat (pl.: szoftvereket) is felvonultatnak, amelyek részletes bemutatására külön figyelmet fordítottam. A dolgozat így olyan két olyan jelentős, és kulcsfontosságú szerepet betöltő téma köré összpontosul, amelyek meghatározó szereppel rendelkeznek mindennapi életünkben is.

NEW MEASURING AND MODELLING METHODS FOR DIAGNOSTICS OF ELECTRICAL CONSUMERS' DISTURBANCES AND POWER PROFILES

Abstract

The optimal use of electrical energy is of utmost importance both from the suppliers' and customers' point of view. There are several common areas of electrical energy and information technology disciplines, however, research output concerning the quality and control of electrical energy have an increasingly significant role in the scientific world as well. Research projects dealing with the measurement and analysis of electrical network parameters bear importance for electricity suppliers, industrial and household consumers as well, since the high quality of energy is in the interest of both parties. In most cases, several quality problems occur on the electrical network. In order to detect and rectify these problems, not only the compliance with the standards is required, but new methods are also needed for the analysis. My thesis is split into two parts, incorporating two different, although similar topics such as flicker and centralized ripple control.

This paper deals with the measurement of flicker, a characteristic standard parameter of electrical network, the most difficult to measure and define. The dissertation examines thoroughly the relevant regulations, being essential for flicker-metering. A newly developed online (digital) method enables the reliable measurement and analysis of the short-term and long-time flicker severity index. Furthermore, I created a new method, suitable for the calibration of new flicker-meters, suitable for the objective analysis of various flicker-meters. On the course of my research also new signal processing methods, models and algorithms, ensure the identification and analysis of components having special features (from voltage-signal). The solutions worked out and presented hereby have successfully been applied in other fields of network analysis as well, such as in the area of centralized ripple control (CRC). In Hungary CRC is a reliable and widely applied method of power control, being regarded as a complex field both from the points of controlling and signal-processing. Although the supplier is keen to have up-to-date information in every minute about the current status of consumers (heating units) controlled on the network, it has limited chances to gain these information. Therefore, I developed analyzing (power-decoding and detection) and evaluating (generation of heat-storage profiles) methods, which help the supplier to obtain direct information about consumers' profile controlled on the network and about their operation.

Consequently, my dissertation encompasses the most important research results of the previous six years. Moreover, the methods, models and algorithms presented in this paper also deploy individual technical works (e.g. software) in almost every case. I want into the details of these achievements. With the focus on two themes of key importance, which play a vital role in our everyday lives.

1. BEVEZETÉS

A megfelelő minőségű, energetikai szempontból „tiszta” energia, egyaránt fogyasztói és szolgáltatói érdek. Az előírt, szabványokban rögzített [19] minőségi követelmények betartásához, a villamos hálózat folyamatos ellenőrzésére és felügyeletére van szükség, amellyel mindenkor meg lehet győződni a vizsgált hálózat aktuális állapotáról. A hiteles ellenőrzésekhez, olyan megbízható mérési- és analízis módszerek szükségesek, amelyek ismételve, megbízható módon, nagy pontossággal tudják megállapítani és felmérni a hálózat aktuális állapotát. A villamoshálózati-paraméterek határértékeinek betartása napjainkban egyre nagyobb szerephez jut, hiszen nemcsak a megfelelő, rendeltetésszerű és gazdaságos működés nélkülözhetetlen összetevője ez, hanem –egyes esetekben– az emberi terhelésben is döntő szerepet játszik (pl.: flicker). Gyakran olyan villamos energetikai problémák jelentkeznek a hálózaton, amelyek felderítéséhez nemcsak a mindenkori hatályos szabványi előírásokat kell betartani, hanem azokon túlmutatóan szükséges a hálózat vizsgálatát elvégezni.

Kutatásaim során, a szabványban definiált [19], egyik legnehezebben mérhető és meghatározható villamoshálózati-paraméterrel, a *flicker* (villogás) jellemző mérésével és ezen méréshez szükséges újfajta univerzális, online, digitális módszerek kidolgozásával foglalkoztam. A legnagyobb problémát az jelenti, hogy a flicker zavarhatásokra vonatkozó előírások [17] –bár meglehetősen részletesen– de kizárólag egy *analóg mérőrendszerre* és *analóg mérési módszerre* tesznek javaslatot (az új 2010-es előírásokban is néhány utalást található a mintavételezésre). Ráadásul ezen említett szabványok között, *nem található digitális eljárásra vonatkozó követelményrendszer* (a szabvány csak a mérőrendszer központi elemének helyettesítésére tesz javaslatot, egy komplex átviteli függvény segítségével), amely szükségessé tette új digitális módszerek kidolgozását.

Munkám során, olyan jelfeldolgozási módszereket fejlesztettem ki, amelyek segítségével a hálózati feszültségjelből, speciális jellemzőkkel rendelkező összetevők azonosítása válik lehetővé. A kutatás ezen eredményei nemcsak a villogásmérés területén hasznosíthatóak, hanem a hálózatanalízis más területein is alkalmazhatóak; így további tanulmányokat végeztem a *hangfrekvenciás központi vezérlés (HFKV)* vizsgálatára, amelynek eredményeként a hálózatüzemeltető által eddig nehezen analizálható és kezelhető hálózati jelenségek jól felderíthetőekké váltak, új irányvonalat mutatva a jövőbeli hálózattervezésben.

A kutatások ezen iránya ugyancsak központi jelentőségű. Napjainkban ugyanis a villamos energia fogyasztás mértékét (pillanatnyi teljesítményfelvételt) a fogyasztók határozzák meg, így a szolgáltatók ki vannak téve a fogyasztás véletlenszerű változásainak. A fogyasztás befolyásolására a szolgáltató kezében kétféle lehetőség van: A villamosenergia-díjszabás alkalmazásával, a hálózatüzemeltető közvetett módon képes ösztönözni a fogyasztót, hogy a számára kedvezőbb időszakban terhelje a villamosenergia-rendszert. Ezzel szemben a HFKV egy direkt, megbízható vezérlési eszköz a szolgáltató kezében, amellyel bizonyos törvényi előírások (fogyasztói jogvédelem pl.: a komfortérzet biztosítása érdekében történő napi minimális bekapcsolási idő előírása a hőtárolós berendezésekre) betartása mellett befolyásolhatja az ún. *napi terhelési görbe* kialakítását.

Számos elméleti (a gyakorlatban kevésbé vagy nehezen megvalósítható) projekt foglalkozik az ún. „*energiafogyasztási völgyfeltöltésekkel*”, azonban az általam végzett kutatások olyan gyakorlatban is jól felhasználható megoldásokkal foglalkoznak, amelyekkel a szolgáltató, teoretikus alapokkal alátámasztható, de mégis kézzel fogható segítséget kap a hálózatán működő, elsősorban hőtárolós fogyasztók (vízmelegítők, hőtároló kályhák) vezérlésére. A megfelelő energiafogyasztási-menetrend tartására irányuló törekvések, a hálózattervezés jelenleg legtöbbször előforduló kérdésköre.

Mivel a hőtároló berendezések napi vezérlési ciklusának alkalmazásával a fogyasztói- és szolgáltatói oldalon is (!) jelentős költségmegtakarítás érhető el, ráadásul a hálózat völgy- és csúcsidőszaki terheléseinek szélsőséges állapotait, igazolhatóan csillapítani lehet, nagyságrendileg kiegyensúlyozottabb működést érve el a hálózati terheléelosztásban. Jelenleg úgy tűnik, hogy a szolgáltatók által használt hőtárolós tömegvezérlés nélkül nem lehet hatékonyan üzemeltetni a hálózatot. Tapasztalatok szerint, ezen évtizedek óta használt hőtárolós tömegvezérlésben még számos olyan tartalék van, amelyek felderítéséhez munkám nagyban hozzásegítette (és jelenleg is segíti) a szolgáltatót. A hőtároló berendezések vezérlésével kapcsolatban, napjaink központi, villamos energetikai kérdései így hangzanak: „*Milyen jövőbeli vezérlési struktúrát (HFKV, RFKV, SMART) szükséges választani az optimális hőtárolós vezérlés kialakítására? Célszerű-e (tekintettel a költséghatékonysági okokra is) a megbízható tömegvezérlési struktúrákat cserélni, egy finomabban szabályozható, de jelenleg még csak kísérleti stádiumában tartó lokális vezérlésre?*”

Természetesen az értekezés figyelembe veszi a szolgáltató számára fontos kérdésköröket is, amely egyúttal kritériuma a gyakorlati megoldások kivitelezésének, azonban dolgozatomban, az elsősorban hálózatellenőrzést és optimalizálást elősegítő modellek, algoritmusok és módszerek kidolgozása történik.

1.1. Az értekezés felépítésének rövid áttekintése

Értekezésemet *három fő szerkezeti egységre* osztottam. Az itt tárgyalt tématerületek (*flicker* és *HFKV*) bár egymással jelfeldolgozási- és analízis szempontból kapcsolódóak, ám különböző elméleti hátterük miatt, mégis teljesen más megközelítéseket igényelnek. A központi jelentőségű témák tárgyalásának szerkezeti felépítése és struktúrája viszont közel azonos, ezzel biztosítva az olvasó számára egyszerű eligazodást.

Dolgozatom *első része (1-3. fejezet)*, rövid bevezető, a téma elhelyezése és célkitűzéseim ismertetése után, az irodalmi áttekintésről szól, amelyekben feltárom a vonatkozó magyar és nemzetközi szakirodalom kapcsolódó részeit. Röviden áttekintem (a két választott téma szerint elkülönített módon) témám kutatási területeinek legfőbb vonatkozásait, a legfontosabb publikációk és előadásanyagok bemutatásával, hivatkozásaival. Ezen tömör bemutatások célja témám elhelyezése, majd annak igazolása, hogy az általam kidolgozott eredmények újdonságnak számítanak akár nemzetközi viszonylatban is. Az értekezés első részének végén, részletes módon, strukturáltan ismertetem a téziseimet és legfontosabb tudományos eredményemet, amelyet a következő fejezetek leírásai részleteznek majd.

Értekezésem *második része (4-11. fejezet: a flicker- és a hangfrekvenciás vezérlés problematikája)* központi szereppel rendelkezik, ugyanis ezen fejezetek részletezik legfontosabb kutatási eredményeimet. A dolgozat két fő szerkezeti egységét figyelembe véve, itt külön részek tárgyalják a *villogásmérés (4-7. fejezet)* és a *HFKV (8-11. fejezet)* tanulmányokat. Az egyszerűbb áttekintés érdekében, mindkét téma ugyanazt a struktúrát követi, amelyekben a szükséges elméleti összefoglaló ismertetése után kerülnek részletezésre az elvégzett kutatások, végül a szimulációs eredmények igazolására szolgáló gyakorlati mérések tapasztalatai és számszerű vonatkozásai. A HFKV téma esetén, az elért eredmények részletezését megelőzően mutatom be a gyakorlati méréseket, ugyanis a kidolgozott módszerek és megvalósítások a mérésekből származó eredményekre épülnek. Mindkét téma végén összefoglalom legfontosabb eredményeimet, az adott témához kapcsolódó *téziseket* és megállapításokat is, kiértékelve azok jelentőségét.

Az értekezés *harmadik részében (12. fejezet)* rövid *összefoglalását* adom tudományos munkámnak, végül pedig munkámon túlmutatva, a *dolgozat gyakorlati jelentőségét, továbbfejlesztési lehetőségeit*, tartalékait és a napjaink néhány új kutatási irányába is betekintést adok.

1.2. Az értekezés célkitűzése

Értekezésemben olyan új *algoritmusok, modellek, módszerek és elvek kidolgozásával* foglalkoztam, amelyek igazodnak napjaink fejlett villamosenergetikai-követelményeire. A dolgozat középpontjában két téma áll: a flicker, mint villamoshálózati-paraméter mérésének, egy új típusú villogásmérő-modul tervezésének és a különböző villogásmérő-berendezések összehasonlító tesztelésének problémaköre; valamint az egyirányú, közvetlen, hőtárolós „tömegvezérléssel” (HFKV) kapcsolatos újonnan fejlesztett analízis- és kiértékelési-eljárások kidolgozásával kapcsolatos problémakör.

Az értekezés flicker-kutatásának célja

A villogás mérését és határértékeinek betartását szabványok írják elő [12-19]. A villogás-paraméter mérését szabványok rögzítik, és bár ezen előírások meglehetősen részletesen definiálják egy mérőrendszer hitelesítésének körülményeit (pl.: teljesítmény teszt), azonban a mérési eljárás definiálását nem teljes részletességgel írják elő (kizárólag a meghatározó elemeket definiálva részletesen), amely egyben rugalmas megvalósítást enged a flicker-mérőt építőknek. Az előírások legfontosabb problémája, a digitális úton történő jelfeldolgozás hiányos megadására irányul, ugyanis egyedül a mérőrendszer központi moduljára adnak a szabványok utalást (komplex átviteli függvény) [17], a flicker-mérőrendszer további moduljaira csak néhány megjegyzés van.

Mindezen okok miatt, célom egy olyan (*univerzális*) *online, digitális eljáráson alapuló villogásmérő-modul* (mérőrendszer) kidolgozása, amelynek hatékonysága, rugalmassága vetekszik, sőt egyes esetekben felülmúlja napjaink professzionálisnak mondott szoftveres és hardveres megoldásait. Az általam kidolgozott mérőrendszert minden kétséget kizáróan lehet kalibrálásra és a csatlakoztatott villogásmérők teljes körű tesztelésre is használni, ugyanis

létrehozott elemeinek szimulációs vizsgálata és gyakorlati mérési eredményei egyaránt visszaigazolták megbízható alkalmazhatóságát.

A villogásmérő-modul tervezésének folyamata természetesen több, jól nyomon követhető fázison keresztül történt, ahol a tervezés és megvalósítás folyamatában, minden ide vonatkozó előírás igyekeztem betartani. A legfontosabb fázisok így a következők voltak:

- tanulmányoztam a kereskedelmi forgalomban kapható hardveres (*Fluke 434* [42], *TR-16 Multirec* [41]) és szoftveres (*MATLAB*, *LabView*) villogásmérő megoldásokat;
- a villogásmérő központi, komplex átviteli függvénye alapján IIR alapú digitális szűrőt terveztem a feladathoz;
- *online mérőmodul tervezése*, amelynél újfajta, több végrehajtási szálon történő adatkommunikációs módszereket dolgoztam ki multiprocesszoros rendszerekhez; az elméleti módszerek alapján egy komplex analízátor szoftverbe építettem modulomat tesztelés céljából;
- *optimális mintavételi frekvencia meghatározása* F_1 és F_3 osztályos villogásmérésekhez, amellyel a mintavételi frekvenciát a lehető legkisebbre lehetett beállítani, a flicker-hiba minimalizálása mellett; valamint
- *kalibráló módszer kidolgozása*, amellyel az elkészült mérőmodul kalibrálása és további rendszerek mérőmoduljainak objektív módon történő összehasonlítása (tesztelése) is lehetővé vált.

Összefoglalásként, kidolgoztam egy olyan *online, digitális, nagy pontosságú eljárást*, amely nemcsak eleget tesz a jelenlegi előírásoknak, hanem messzemenően túlteljesíti a követelményeket, ráadásul nagyobb rugalmassággal és hatékonysággal használható, mint a kereskedelmi forgalomban kapható mérőberendezések. Mindemellett, az új elméleti-gyakorlati alapokra helyezett digitális villogásmérő *egyidejűleg biztosít stabil, gyors, hiteles és nagy pontosságú eredményt*, amely kulcsfontosságú szerepet tölt be a berendezések működtetésében és élettartam menedzselésében. Az elkészített modul egyedi tulajdonsága a tervezésekor figyelembe vett legmagasabb informatikai követelmények betartása, amely lehetővé teszi a modul későbbi továbbfejleszthetőségét akár új követelményrendszerekhez is. A napjainkban igen gyorsan változó követelmények (világítástechnika rohamos fejlődése; mérési követelményrendszerek szigorodása) indokolták ezen szigorú fejlesztési törekvéseket.

Az értekezés hangfrekvenciás központi vezérléssel kapcsolatos kutatásának célja

A kutatási munkám azzal a céllal indult, hogy tanulmányozza a HF-vezérléssel kapcsolt villamos energiahálózat működését és feltárja azokat a problematikus kérdéseket, amelyeket az áramszolgáltatók eddig szinte kizárólag csak tapasztalati eszközökkel tudtak kezelni. A HFKV *egyirányú jelátvitelt* biztosít, amelynek következtében semmiféle visszajelzés nem áll a szolgáltató részére a hőtárolós csoportokhoz rendelt hőtéljesítmény-fogyasztásról (azaz a melegvíz-fogyasztásról), fogyasztó oldali berendezések hőmennyiség-tárolásáról, vagy a berendezések hiszterézis-viselkedéséről sem (azaz a be- és kikapcsolási hiszterézis állapotáról).

Az áramszolgáltatásban résztvevő kereskedő, vagy hálózat üzemeltető részére az energiagazdálkodás, hálózatvesztés és meghibásodás (pl.: transzformátor-túlterhelés)

szempontjából is nagyon fontos annak ismerete, hogy egy-egy HF-vezérlő jel, mekkora teljesítménymozgást (növekedést vagy csökkenést) eredményez a hálózaton, amelyről eddig csak becsült teljesítményadatai voltak. A villamos hálózatokon (esetenként) stratégiákat alkalmaznak az egyidőben bekövetkező nagy teljesítményugrások megjelenése ellen is. Pl.: Az észak-magyarországi régió hálózatán a transzformátorállomások vezérlő hangfrekvenciás üzenetei egymáshoz képest eltoltan vezérlik a hőtárolós csoportokat, hogy megakadályozzák az egyidejű kapcsolást.

A takarékos villamos energiagazdálkodás egyik kulcsfontosságú feltétele a vezérelt teljesítmény ismerete, hiszen az optimális HF-vezérlés kialakítása, a hálózat működéséről nyert aktuális információk mellett lehetséges („kétirányú kommunikáció”). Emiatt, az értekezés témája aktuálisnak tekinthető, hiszen a mérési adatok tanulmányozásából kiinduló, többségében gyakorlati (empirikus) és alkalmazott matematikai alapokra fektetett újfajta megközelítések, a jelenleg használt módszereknél nagyságrendekkel pontosabb információkat adtak a szolgáltató részére, segítve ezzel az optimális hálózatüzemeltetést.

Az általam alkalmazott új elméleti és gyakorlati módszerek eredményeként a szolgáltatásban résztvevő üzemeltető részére –az eddig egyirányúnak ismert HF-vezérlésről és a szinte kizárólag becsült és empirikusan módszerekkel megállapított pillanatnyi hőtárolós teljesítményről– pontos, számszerű információkat lehetett adni. Értekezésemben egyedi felismerő, dekódoló, viselkedést-leíró módszerek kidolgozását tűztem ki célul, amelyek középpontjában a hőtárolós szempontból *fekete dobozként* kezelt elektromos hálózat transzformátorain végzett mérések állnak. Tudományos kutatásaim eredményeként:

- *nagypontosságú, univerzális analizáló módszereket* dolgoztam ki, amelynek segítségével az áramszolgáltatásban résztvevő hálózatüzemeltető, az általános fogyasztási adatokból (pillanatnyi teljesítményből) hatékonyan képes következtetéseket levonni, a vizsgálat középpontjában álló elektromos hálózat HF vezérlés okozta teljesítményváltozásaira: *univerzális dekódoló módszer a HF impulzusok azonosítására; nagypontosságú teljesítménydetektálási módszer a hőtárolós teljesítmény számítására; automatizált zavar detektálási módszer; nagy teljesítményű offline adatkezelő-megjelenítő eljárások kidolgozása;*
- *online, univerzális, nagypontosságú analizáló modul* kidolgozása, amellyel a hálózatüzemeltető aktuális információkat kaphat a hálózatán üzemeltetett HF-vezérlés okozta teljesítményváltozásokról;
- új módszer kidolgozása a HF vezérlés okozta hőtárolós teljesítményprofilok felvételére, amelynek segítségével a hálózatüzemeltető részére tisztán fogyasztási (pillanatnyi teljesítményfelvételi) adatokból következtetni lehet a fogyasztók szokásaira (új módszer kidolgozása az ún. hőtárolós teljesítményprofilok felvételére; hatékony matematikai eljárások kidolgozása a különböző transzformátorok teljesítményprofiljainak összehasonlítására; fogyasztói szokások felvétele, amellyel általános teljesítményprofilok vehetők fel);

Az értekezésemben nem részletezem a mai trendnek megfelelő ún. RFKV-rendszereket és a kétirányú kommunikáción alapuló hálózatüzemeltetési megoldásokat (pl.: SMART), hiszen kutatásaim középpontjában éppen az erősen korlátozott lehetőségeket tartalmazó HF-

megoldások kiterjesztésének gyakorlati megvalósításával foglalkozom. A HFKV egyirányú vezérlési struktúrája, legjobban a mai fejlettebb RFKV-hez hasonlít, amelynek egyik előnyös tulajdonságaként, a hálózat végpontjain lévő fogyasztók egyedi címzésére is van lehetőség, lehetőséget adva ezzel a hálózat terhelésének finomhangolására.

2. A HAZAI ÉS NEMZETKÖZI SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE

Kutatásaim során, részletesen tanulmányoztam a korábbi időszakban (1970-2000) és a közelmúltban (2000-2012) megjelent *hazai és nemzetközi szakirodalmat*, beleértve *szabványokat, könyveket, rangos publikációkat és konferencia-előadásokat*, amelyek segítségével munkámat sikerült elhelyeznem nemzetközi vonatkozásban is.

2.1. Szakirodalmi áttekintés a flicker-analizálás témakörében

Ezen alfejezet, értekezésem flicker-analizáláshoz kapcsolódó legfontosabb tématerületek szakirodalmi hátterét járja körül, különös tekintettel a *villogásmérés digitális- és néhány különleges elven történő eljárására, a villogás hálózaton való tovaterjedésének problémakörére*, valamint a *világítótestekkel kapcsolatos kutatások* legfontosabb mai eredményeire.

Standard, szabványok

A hálózati feszültség amplitúdóját és hullámalakját közvetlenül befolyásolhatják az elektromos - különösen a nemlineáris jellegű eszközök. Az említett eszközök áramot vesznek fel, és működésük során eltorzítják annak hullámalakját és a gyorsan változó terhelések okozta zavarokkal együtt, károsodást okozó hálózati visszahatásokat eredményeznek. A feszültségváltozások eredményeként, a legtöbb világítótesten villogási jelenség figyelhető meg, amely jelentős hatással van az emberi szervezet működésére, folyamatos terhelést jelentve számára.

A flicker, mint villogási jelenség mérését szabványok írják elő [12-19], amely minden mérőeszközre egyaránt vonatkozik. A villogási jelenséget analizáló eszközök leggyakrabban komplex mérési módszereket használnak a flicker mérésére, amelyek helyes működését szigorú szabványok ellenőrzik; így minden villogásmérő berendezésre külön szabályozás vonatkozik [14]. Mindemellett, szabályozás van a mérőberendezések hitelesítésére és a hitelesítés határértékeire is. Az eszközök kalibrálása, megfelelőségi és hitelesítési vizsgálata elsősorban érzékenységi vizsgálatokból és különböző harmonikusok mérésével kapcsolatos mérésekből áll [16-17].

A harmonikusokra vonatkozó határértékeket a [13] szabvány tartalmazza, amely az eszközöket négy különböző osztályba sorolja (pl.: class B: hordozható eszközök; class D: számítógépek, televíziók), egyben definiálja a harmonikus előírásokat az áram- és feszültség maximum 40. harmonikusáig előírt határértékekkel. Ezen előírás kulcsfontosságú, ugyanis a mai irodai és otthoni eszközök többségükben kapcsolóüzemű tápegységeket tartalmaznak, amelyek működésüknél fogva torzítják a hálózati feszültség hullámalakját [47]. Az ilyen eszközök bemeneti szűrőáramkörei bár nagyrészt megszüntetik a hullámalak-torzulás visszahatását, azonban teljes mértékben nem tudják azt megszüntetni. A villamosenergia-hálózat működését viszont jelentősen megnehezítik a „visszahatással” működő káros eszközök. Esetenként

előfordul, hogy ezek az eszközök felharmonikus áramot generálnak és így jelentős meddő teljesítmény is keletkezik, ezzel problémás működést okozva a hálózatra csatlakozó más eszközökön, valamint berendezéseken (pl.: motorokon, ahol jelentős hőmérsékleti és más mechanikai igénybevételt okoz, a felharmonikus áramok következtében megjelenő nyomatékingadozás).

A szabályosan (periódusosan) változó gyors feszültség- és áramváltozások (terhelésingadozások) tartoznak a flicker vizsgálati témakörébe [25-26]. A változások a világítóberendezéseken keresztül juthatnak el közvetlenül az emberhez, irritációt, jelentős mértékű terhelést és kockázati tényezőt jelentve számukra.

A [16-17] a 230 V/50 Hz és 120 V/60 Hz és hálózatokra ír elő követelményeket, amely azért is fontos, hiszen egyes ázsiai országokban az európaiktól eltérő feszültségszinteken is üzemeltetnek hálózatokat, amelyeken történő flicker-méréshez korrekciókat szükséges bevezetni. A [48] a Dél-Koreában működő villamosenergia-hálózat flicker-mérésére ír elő korrekciót (220 V/50 Hz), amelyet kiterjeszt mérőműszerek tesztjeire és a lámpa-szem-agy nemlineáris válaszáért felelős átviteli függvény korrekciójára is.

A villogásra vonatkozó előírások nemzetközi szinten is eltérhetnek egymástól; *Arlt, Stark és Eberlein* tanulmánya [49] a flicker-határértékek tárgyalásával és összehasonlításával foglalkozik, egyben átfogó, kritikus véleményt fogalmazva meg a jelenlegi helyzetről. A tanulmány középpontjában az áll, hogy az ipari körülmények között sajnos nem minden esetben lehetséges megkerülni a felharmonikusok előállítását (pl.: ívkemencék), hiszen helyettesítésük néha fizikai (költség) korlátokba ütközik. Az ipari létesítményekkel átszőtt városokban, a villogás mértéke messze meghaladja a szabványban előírt határértékeket, azonban a felhasználók többségét nem befolyásolja mindennapi életükben. Elmondásuk szerint, a flicker-szabványok esetenként indokolatlanul szigorúak, amellyel szabványkészítők valószínűleg gátat szerettek volna szabni a túlzott flicker-termelésnek.

A flicker- és harmonikus-mérések nemzetközi viszonylatban is fontos jelenlétét, *Ruiz Diaz* 2009-es tanulmánya [50] is igazolja; amely egy *Argentínában* lévő óriás-beruházásról számol be. A beruházás során, 1997-2008 között, 1830 db hálózat-analizátort alkalmaztak előre kijelölt mérési pontokon végezve egyhetes méréseket, ezzel vizsgálva a hálózatot.

Az *IEC 61000-4-15:2010* [17] szabvány a korábbi 2003-as verziójához [16] képest szigorú újításokat vezetett be. (*A disszertáció későbbi fejezeteiben, részletesen be fogom mutatni az említett szabvány által bevezetett új követelményrendszert.*) Jelenleg azonban még igen kisszámú publikáció hivatkozik az új szabványra, amely a korábbi flicker-mérési/hitelesítési/kalibrálási előírásokat jelentősen modernizálta, esetenként teljesen új követelményeket fogalmazva meg a mérésekre. *Gutierrez, Leturiondo, Ruiz, Lazkano, Saiz és Azkarate* közös tanulmánya [51] a fázisugrások okozta villogásmérésekkel foglalkozik, konkrét határértékeket adva meg a villogás mérésénél szükséges mintavételezési frekvenciára. Ezen tanulmány következtetése teljes összhangot mutat értekezésem későbbi fejezeteiben tárgyalt mérésekkel és prezentált eredményeivel, igazolva munkám eredményességét. Néhány korábbi tanulmány pl.: [52] azt mutatja, hogy a fázisugrás problémáival („leakage effektus”) már korábban is foglalkoztak, azonban korábban „lazább” szabványi előírások inkább elméleti, mint gyakorlati problémaként tárgyalták ezen jelenségeket.

Digitális eljárások

A flicker szabványok [16-17] kimondottan analóg eljárásra tesznek javaslatot; de alkalmazkodva napjaink követelményeihez, néhány utalást tesznek a lehetséges digitális módszerre is egy ún. *komplex átviteli függvény (érzékenységi görbén)* keresztül. Napjainkban azonban, szinte természetesnek vehető a mérés-adatgyűjtések eredményeként digitális formában rendelkezésre álló adatok, amelyeket már ilyen formában kell tovább analizálni, kiértékelni és tárolni, felvetve ezáltal új problémákat is.

A szakirodalomban több olyan digitális eljárás alapuló módszer is fellelhető, amelyek a flicker paraméter mérésével és kiértékelésével foglalkoznak, sok esetben egymástól eltérő pontosságú eredményeket szolgáltatva a kiértékeléskor. A megtalált publikációk nagy része is csak egy-egy villogásmérőt közvetlenül érintő problematikus kérdéssel foglalkozik (pl.: mintavételezés [55]; digitális szűrés [56], statisztikázás [57]), ezzel részleges leírást adva az analizálást végző részekre [58], jelezve ezzel a digitális megvalósítás lehetőségességét és a téma összetettségét.

Sousa Rocha és Deckmann tanulmánya [59] már 1994-ben felismerte az analóg eljárás lehetséges problémáit, beleértve a valós idejű mérés, analizálás és tárolás megakadályozását. A digitális eljárás számos előnyén túl, Chen elemzése [60] már 1997-ben felhívja a figyelmet a digitalizálás következményeként kialakuló „antialiasing” problémákra, így az itt alkalmazandó aluláteresztő szűrő és mintavételi frekvencia megválasztásának jelentőségére.

A digitális eljárások összehasonlításával több publikáció is foglalkozik, amelyek mindegyike más-más szempontból hasonlítja össze a vizsgálatra kijelölt módszereket és mérőműszereket. A digitális villogásmérők leggyakrabban valamilyen frekvenciaanalízisen, pl.: FFT-n [61-63], DFT-n [64], vagy feszültség-csúcsérzékelésen [65-66] és RMS-figyelésen alapuló [67-69] eljárásokat alkalmaznak, amelyek megfelelő finomhangolás mellett nagy pontosságú eredményeket szolgáltathatnak. A hagyományos flicker-számítási megoldások mellett előfordulnak különleges eljárások is, amelyek közül a legfontosabbak a következők: *wavelet-analízis* [54][70]; *Kalman-szűrés* [72]; *Hilbert-transzformáció* [73]; *Chirp-z transzformáció* [74]; *adaptív lineáris neuronhálók* [75]; *Hibrid megoldások*. Chen Ming-Tang és Sakis Metiopoulos elemzése egy új hibrid módszert mutat be a digitális villogásmérésre, amely ötvözi az FFT-n alapuló eljárások gyorsaságát, a wavelet-ek pontosságával. G. W. Chang és C. I. Chen közös tanulmánya [76] négy különböző flicker számítási módszert hasonlít össze: a hagyományos, de jól bevált digitális szűrési eljárást; a diszkrét wavelet transzformációs eljárást; az ADELINÉ, lineáris neuronhálót és egy fáziszárt hurok szimulációt. Végeredményben megállapítható, hogy az IIR digitális szűrési eljárás alapuló eljárást kizárólag csak az indulási feltétel befolyásolja, ahol a szűrők beállta után stabilis, pontos működés tapasztalható, függetlenül a hálózati frekvencia ingadozásától. A diszkrét wavelet-transzformációs eljárást már nem befolyásolja az indulási feltétele, azonban ez a módszer csak a hálózati frekvenciával történő szinkronizálási megoldással adhat csak helyes eredményt. Az ADELINÉ neuronhálót alkalmazó adaptív szűrési eljárás megbízhatóságát inicializálása és betanulása határozza meg. A PLL-el történő megoldás (ahol fontos szerepe van az amplitúdó-frekvencia-fázis korrekciónak) adja a legjobb megoldást ám ez hardveres megoldást kíván, ellenben az IIR megoldással, amely tisztán szoftveres úton lehetséges, a feszültségcsúcsokra jól reagál és működése is stabilis.

Az alkalmazott FFT-eljárások legnagyobb hátránya a rögzített mintavételi frekvencia, amely rugalmatlan beállítást jelent a *hálózati frekvencia ingadozása* esetén (ún. „leakage”, azaz fázisugrás problémához vezethet). A fázisugrások kiküszöbölését a szakirodalom külön része kezeli [51-52]. A frekvencia-változások („frequency-shifting”) az ilyen FFT-eljárások esetén okoznak különösen nagy problémát, ugyanis az analízáláskor az alapharmonikus nem egész számú többszöröse a mintavételi frekvenciának, amely interharmonikusokat, azaz sátras-spektrumképet okoz, ezzel megnehezítve a „szűrési” eljárás kiváltásához használt harmonikusok súlyozását (spektrum súlyozás). A frekvencia „csúszása” és a fázis eltolódása általános jelenségek az egyes szigetországokban (pl.: *Taiwan*), amely hatásokat kezelni kell. *Chang, Chen Cheng*, és *Huang Ya-Lun* elemzése [77], ezen előbbi hatások kiküszöbölésére egy új idő-frekvencia hibrid megoldásra ad példát, amely ötvözi a digitális szűrés gyorsaságát és az FFT hatékonyságát.

A tanulmányok között vizsgált digitális eljárások nagy része IIR- és FIR-alapú eljárásokat használ [56], amelyek a rendelkezésre álló hardveres adottságokat figyelembe véve választanak mintavételi frekvenciát. *Toivonen* és *Morsky* tanulmánya [78] ennek kapcsán, külön kiemeli a kifejlesztett mérési módszer rugalmas beállíthatóságát 50 és 60 Hz-es hálózatokra. A megvizsgált elemzések középpontjában, elsősorban azonban *MatLab* [79-81], *LabView* [66][82-83], *C++* [84] és néhány más programozási környezetben bemutatott, *jórészt tisztán szimulációs megoldás lelhető fel; csak néhány kitüntetett esetben találtam komplett flicker-mérőrendszer megvalósítást (!) és ezekkel kapcsolatos teszteket.*

A legtöbb ipari villogásmérő működéséről csak néhány felületes információ és paraméter áll rendelkezésre, ugyanis a gyártók a lehető legkevesebb információt közlik a felhasználókkal; gyakran így kizárólag a mérőberendezések viselkedéséből és mérési eredményeiből lehet következtetni a kiértékelés módszerére és a működési elvére. A mérőműszerek összehasonlításához, a szakirodalomban található mérési eredmények jelenthetnek csak kapaszkodót, amelyek egyúttal segíthetnek a módszerek beazonosításában. *Gallo, Landi* és *Pasquino* kutatásai [85-86] külön kiemelik az objektív vizsgálatok és összehasonlítási módszerek szükségességét, egyedi példákon keresztül bemutatva azt. A hitelesítés és pontossági vizsgálat kulcsfontosságú egy újonnan létrehozott módszer vizsgálatakor. A publikációk egy jelentős része foglalkozik a fellelhető hibák természetével is. A [65][87] publikációk az analóg és digitális villogásmérők hibáit hasonlítják össze. Megállapításuk szerint az analóg flicker-mérő utolsó moduljának integrátora oszcillál a 22 Hz-es modulációs frekvencia esetén, ezért ilyen esetekben a mérés hibája akár 42% is lehet; a digitális eljárás elhárítja ezen oszcillálás problémáját, így ebből a szempontból is előnyös. Mindezeket túlmutatva, a *flicker-mérők (automatikus/kézi) kalibrálása* [88-91], *hibakorrekciója* [92], *hibavizsgálata* [79][93], *érzékenysége* [94] is központi figyelmet kap a tanulmányokban. Az ún. *swarm-optimalizációs technika* [95] segítségével a kiszámított flicker-hibát egy előre definiált fitness-függvény segítségével csökkentik minimálisra. *Ruiz, Lazkano, Aramendi* és *Leturiondo* szerint [79], a szabvány túlzottan leegyszerűsített módon definiálja a digitális eljárás megvalósítását, így az alkalmazott mérési módszerek eredményei akár 30%-ban is eltérhetnek egymástól. *Matthews, Clarkson, Harris, Ihlenfeld* és *Wright* [96] villogásmérők pontossági ellenőrzésére alkalmazott Monte Carlo-módszer segítségével, a véletlenszerűen generált bemeneti hitelesítő jelalakok felhasználásával, a szokványos teszteken jelentősen túlmutató

információk kaphatók az eszköz működésének pontosságáról. *Gutierrez, J. Ruiz, Irusta és Gauna* elemzése [97] a villogásmérők nemlinearitását okozó bemeneti feszültségmodul megfelelő beállítására hívja fel a figyelmet.

A szabvány [17] definiálja az ún. *flicker-érzékenységi görbét*, azonban a különböző kutatások sokféle megfigyelésen és mérésen alapuló módszerrel pontosítják a súlyozó-görbét. Pl.: dél-koreai villamos hálózat 220 V-os feszültség szintjéhez illesztett korrigált érzékenységi görbe [48]; Japánban mért érzékenységi görbe és felvételével kapcsolatos új módszer kidolgozása [61]. A kutatások szerint, ezen *érzékenységi görbe validálása* [98] napjainkban is folyamatosan történik, amelyet az újonnan megjelenő világítótestek megjelenése is megkövetel. Mindez, új flicker-mérési elvek kialakításához is vezethet, ahogy a [98-99]-es tanulmányok egy már kamerás rendszeren alapuló újfajta, következő generációs mérési eljáráson és lehetséges érzékelési módszeren keresztül tárgyalja a villogás mérését. Ezen módszer már eliminálja a feszültségérzékelésből eredő bizonytalanságokat, mindinkább az emberi szervezetet ért behatásokra fókuszál. Természetesen ez az így bevezetett koncepció, új kérdéseket is felvet, a kalibrációra, hitelesítésre, amelyeket tisztázni kell mielőtt jól definiált szabványosítás lenne ezen új eszközök bevezetését illetően.

Az érzékenységi görbe finomításával kapcsolatos kutatásokat ráadásul az is bonyolítja, hogy ezen kulcsfontosságú görbét a hálózaton használt eszközök generálta *kisfrekvenciás interharmonikusok* is befolyásolhatják [100-101], (transzformátorok, AC-motorok, turbógenerátorok, különböző hibajelenségek). Ezen kisfrekvenciás változások a legveszélyesebbek, ugyanis az emberi érzékelés legfontosabb frekvenciaterületet érinti, amely a világítótesteken keresztül, direkt módon juthat el a felhasználóhoz. A *nagyfrekvenciás interharmonikusok*, ráadásul régebbi szabványokban nem definiált, de a felhasználók által látható és érzékelhető változásokról számolnak be [102-103]. A nagyfrekvenciás interharmonikusok méréssel történő érzékelése, megkívánja a mérések során használt mintavételi frekvencia növelését, amelyet az aktuális szabványok már figyelembe vesznek [17].

A hálózat diagnosztikájával kapcsolatos online analizátorok 1994-től egyre nagyobb számban jelennek meg a különböző kutatásokban. Már *Iuzzolino és Ihlenfeld* vizsgálata [104] is részletesen tárgyalja a hálózatdiagnosztikai információk folyamatos (online) megfigyelésének fontosságát. Az akkoriban egyre jobban elérhető DSP-k az online, valós idejű megoldások számos megvalósítását hozták létre [63][105]. Így a valós idejű (online) villogásmérés [59][84][105] is több publikáció középpontjában áll, amelyek külön hangsúlyozzák a digitalizálás fontosságát. A kutatások többségében konkrét ipari tanulmányok, professzionális megoldásait tárgyalják [106]) és mérésekkel alátámasztva mutatják be módszereik hitelességét.

Forrás meghatározás és terjedés

A publikációk széles palettája foglalkozik a *flicker forrásának meghatározásával*, a *villogás hálózaton való terjedésével* és a lehetségesen kialakuló („jósolt”) *flicker érzékenységi szinttel*. A villamosenergia-hálózaton (nagy-, közép- és kisfeszültségű részekben is egyaránt) egyre több „*flicker-termelő*” és a hálózati feszültség ingadozását előidéző készülék és berendezés van [107-108]. A középfeszültségű hálózaton egyre nagyobb számban fordulnak elő *szélerőművek, ivkemencék*, míg a végponti, azaz a kisfeszültségű oldalon a különböző *pont- és*

ívhegesztő berendezések okozhatnak villogási-jelenséget [109]. A klasszikus, egyszerűsített hálózatmodelleket és szimulációkat itt már nem lehet használni, mert azok nem adnak választ egy-egy lehetséges rendszereseményre. A nagyrészt sztochasztikus ingadozások modellezése, napjainkban is nagy kihívást jelent a szimulációs programok számára, amelyek általában jól körülhatárolt eseményleírások alapján történhetnek meg. Ilyenkor az előkészített hálózatmodell, és a hálózatot befolyásoló tényezők leírása után hozzávetőlegesen előre jósolhatóvá válik a kialakuló villogás-szint és jól tanulmányozhatóvá válik a hálózat viselkedése. A talált modellek nagy része azonban csak tisztán szimuláció [78][110-111], amelyeket esetenként (egyszerűsített, behatárolt) mérési eredményekkel is validálnak [113-114], ezáltal hihetőbbé téve a leírt majdnem teljesen elméleti módszereket.

Brauner tanulmánya [107] az ipari villamosenergia-hálózatokon elhelyezett, kezdetben ponthegeztő berendezésekkel tesztelt modellt ír le, amelyet 1997 után ipari hálózatok telepítésekor és új szélérőművek telepítésekor alkalmaztak eredményesen (gyakorlatban visszaigazolt módon) a hálózati működés, elsősorban flicker-szint meghatározásához. A [107] flicker-modelljében, a motorok, generátorok, terhelések, hegesztő-berendezések kapnak helyet külön definiálható aktív/passzív, szimmetrikus/aszimmetrikus terhelésre, továbbá a periodikus/sztochasztikus működésre is.

Ramos és *Parga* közös tanulmánya [108] egy PSCAD szimuláción [112] alapuló új módszert mutat be, amely a *UIE 868*-as szabványon alapuló [116] villogásmérőt használja a hálózati vizsgálatokhoz. A módszert egy dupla betáplálási ponttal rendelkező acélgyártó vállalatnál [117] tesztelték, ahol a mérési eredményeken keresztül igazolták a villogás terjedésére vonatkozó módszer eredményességét, felderítve ezzel az ellátó rendszer kritikus pontjait is.

A tanulmányok jelentős része vizsgálja a hálózati impedanciákon (azaz terheléseken) jelentkező *feszültség- és áramváltozásokat*, „jósolva” a villogás terjedését. Az ilyen vizsgálatokhoz azonban, a lehetséges flicker-generáló berendezést és a hatást elszenvedő fogyasztót (legtöbb esetben végponti felhasználót) egyidőben szükséges megvizsgálni. Ilyen esetben határozható csak meg egyértelmű flicker-terjedés [30]. Ez természetesen új, gyakran megfelelően szinkronizált méréseket kíván meg. Több tanulmány igazolja azt is, hogy nemcsak a hálózati feszültségjelből és terhelésből állapítható meg az esetleges flicker-szint várható értéke, hanem a *meddőenergia-felvétel ingadozásaiból* [118-119] is, amelyeket legtöbb esetben indukciós kemencéken [120-121] végzett mérésekkel ellenőriztek.

A hálózatokon természetesen nemcsak a flicker-termelők megtalálásával, hanem a *flicker-hatás kikompenzálásával* is szükséges foglalkozni. A kompenzálás többféle módon történhet, azonban az minél hatékonyabban történik, úgy annál kevésbé érvényesül a villogás zavaró tényezője a hálózaton, ezzel kevésbé terhelve a villamosenergia-rendszer eszközeit és a világítótesteken keresztüli felhasználókat. A felhasználói oldalon alkalmazott dinamikus *flicker-kompenzáció* (triac-os megoldás) [122-123] is mutatja, hogy a kompenzálás esetenként egyszerű eszközökkel is történhet, akár felhasználói szinten is. A [124] tanulmány *sztochasztikus terhelésanalízist* [125-127] alkalmaz, ahol a létrehozott matematikai szimulációs modell adaptív módon képes becsülni a szükségessé váló meddőenergia-kompenzáció [128-129] mértékét, ezzel csökkentve a flicker-generálás (helyi) hatását a gyorsan szabályozható meddőenergia

kompenzátor segítségével. Pl.: A *Taiwan Power Company* [124] dinamikus meddőkompenzációja kiemelten fontos szereppel rendelkezik és gyakorlati modellt ír le. *Taiwan-on* ugyanis több mint 20 különböző acélgyártó vállalat működik a hálózatokról (hengerüzemekkel, indukciós kemencékkel), így a drasztikus gyorsasággal megváltozó meddőenergiát mindenképpen kompenzálni szükséges: a veszteségek csökkentéséhez; az emberek számára megterhelést okozó flicker tompítására; valamint a zavartalan hálózatüzemeltetés fenntartása érdekében.

A *nagyméretű nemlineáris rendszerek* és villamos hálózatok modellezése, igen nagy körütekintést kíván, ugyanis ilyenkor számos paraméter egyidejű változásait és egymásra hatásait szüksége vizsgálni. Amennyiben egyszerre több potenciális flicker-termelő van a hálózaton, akkor terjedés meghatározása is bonyolultabb feladat, amelyet csak egyszerűsített valósághű modelleken keresztül, a termelők egymásra hatásának vizsgálatával érdemes vizsgálni [68][111].

Számos villamosenergia-rendszer jellemzője a *sugaras hálózati topológia*, így kulcsfontosságú tényező a flicker-terjedés leírása ezen a területen. A sugaras hálózati elrendezés a flicker terjedése szempontjából viszonylag egyszerűen vizsgálható és konkrét esettanulmányok [101][106][113][130-131] foglalkoznak ezzel. A legtöbb vizsgálat egységként tekint rá a nagy-, közép- és kisfeszültségű hálózatra [68][113][132-133], figyelembe véve a hálózatokra csatlakozó eszközöket [133] is. *Sankika, Lakshal, Duane és Sarath* közös tanulmánya [112] kulcsfontosságú ezen a területen, ugyanis a sugaras hálózati struktúrán keresztül fogalmaz meg néhány fontos következményt, megállapítva azt, hogy az ipari berendezések (motorok, ívkemencék) befolyásolják legjobban a hálózatot, míg a kisfeszültségű végponti felhasználók zavarhatásainak eredője kevésbé veszélyes.

Alcorn és Beattie közös tanulmányában az *Islay (Anglia)* szigeteken található *LIMPET* vízi-erőmű átfogó flicker átvilágítására kerül sor [134] (offline analízis). A tanulmány különlegessége, hogy a tárolókapacitás csökkentése érdekében offline méréseket végeznek a lehető legkisebb mintavételezési frekvenciát használva (az online mérések jóval nagyobb mintavételi frekvenciát kívánnának meg). A vizsgálat középpontjában a mintavételi frekvencia csökkentése áll, amely mellett folyamatosan vizsgálják a rövid idejű villogásértékekben jelentkező hibát. Így az erőműben zajló lassú változások és a 10 perces elemzési időintervallum választásával a mintavételi frekvencia minimálisra csökkenthető (2 Hz!), amely a minimális tárolókapacitás mellett biztosít hibahatáron belüli értékeket. (Ez mintavételi frekvencia a mai előírások kielégítése során nem állná meg a helyét.)

Egyes országok a villogás mérésére is más és más módszert javasolnak. *Mardani, Mazlumi és Jalilvand* közös publikációja [135] összehasonlítja egymással az akkori szabvány által javasolt mérési módszert, ráadásul külön kitér a brit- és a francia mérési módszerekre is; ahol a brit módszer elsősorban az ember számára káros 1-25 Hz-es feszültségkomponensek okozta hatásaira helyezi a hangsúlyt, addig a francia módszer az egyperces és negyedórás villogásértékek meghatározását tartja fontosnak. Hasonlóan ehhez a tanulmányhoz, a [136] a különböző országok határértékeit hasonlítja össze, mérésekkel alátámasztva az egymástól különböző világítótestekkel kapcsolatos flicker-érzékenységi görbéket.

A megújuló energiaforrások –elsősorban szélenergiák– új résztvevői a villamos hálózatoknak. Ezen berendezések a környezettudatos energiatermelés melletti előnyökön túl, mérési tapasztalatok szerint új hálózati problémákat [137-139] is okozhatnak a hálózaton, amely problémákkal pl.: a villogás mérésével és okozott hatásaival egy külön szakterület foglalkozik.

Világítótestekkel kapcsolatos kutatások

A különböző szabványok objektív módon rögzítik a villogás mérésével (mérési módszer) és a mérőberendezésekkel kapcsolatos követelményrendszert. Tapasztalatok szerint azonban, az egyes országok szubjektív jellegű finombeállításokat is előírhatnak, amelyek betartása ugyanolyan fontos. A világítótestekkel kapcsolatos tanulmányokban, több kérdésben jelentkezik megosztottság.

A jelenleg kapható világítótestek modern, előírásokban sokszor nehezen követhető (új) technológiákat alkalmaznak, amelyeket a szabvány nem tud követni, ezért célszerűnek tűnik a minél általánosabban definiált villogásmérési-módszer megadása. A villogásmérés magját az ún. *érzékenységi görbe* adja, amely egyfajta súlyozási javaslatot ad a különböző frekvenciákon előforduló villogások frekvenciakomponensei részére. *Az objektív súlyozás biztosítja a kapott flicker eredmények összehasonlíthatóságát.* Ebben a témakörben így három fontos irányba mutatnak a kutatások, amely területek egymástól is függenek és nem választhatóak el élesen:

- a flicker-érzékenységi görbe esetleges súlyozásának finomhangolásával kapcsolatos vizsgálatok [136];
- a jelenleg kapható világítótestek objektív összehasonlítása [141-142];
- a különböző világítótestek emberre gyakorolt hatásával kapcsolatos vizsgálatok;

A jelenleg hatályos flicker-előírás [17] már korrekciós tényezőket ír elő a hagyományostól eltérő új világítótestekre (pl.: kompakt fénycsövek, LED), amelyet a korábbi 2003-as szabvány még csak az izzószálas és normál fénycsöves megoldásokra javasolt. A mai előírások is megfogalmazzák a következő láthatatlanul feltett kérdést: *„Objektív, világítástól független villogásmérést szeretnénk-e végezni, és így a mérési eredményeket összehasonlítani?”* Több érv szól az objektívan elvégzendő mérések, több érv a világításokhoz kötött érzékenységi finomhangolások mellett is, amelyeket tanulmányokon keresztül vizsgáltam meg. *Önálló véleményt fogalmazva meg az elvégzett kutatások és korábbi tapasztalataim szerint: „A villamos hálózaton elvégzett méréseket, csak igen korlátozott módon szükséges függővé tenni az alkalmazott világítótestektől, hiszen ekkor a hálózati viselkedés áll a középpontban és objektív, összehasonlítható mérési eredményekre van szükség; a világítótestek vizsgálata esetén természetesen az emberi tényező, és annak érzékenységét szükséges a középpontba állítani. Mindezt a [17] megfelelően alkalmazza.”*

A [136] néhány, flicker szempontjából egyedi országot hasonlít össze (Norvégia, Svédország, Szlovénia, Ausztrália), ahol egymástól eltérő villogás-határértékek vannak. A [136] néhány olyan központi elemre mutat rá, amelyet a mai flicker szabványok beépítve alkalmaznak. Leírja azt, hogy a nagy-, közép- és kisfeszültségű oldalon nem alkalmaznak egyedi súlyozási tényezőket, amely szerinte nincs összhangban a tapasztalati mérési eredményekkel. A flicker szabványok bár objektív mérési módszert írnak elő a flicker-érzékenység megállapítására,

azonban a különböző világítótestek más és más érzékelési görbével rendelkeznek, amelyet ráadásul még a hálózati feszültség szintje és az alkalmazott hálózati frekvencia is befolyásolhat. (Az érzékenységi görbe világítótestekkel kapcsolatos korrekcióját a jelenlegi előírások részben elvégzik; a hálózati feszültségre/frekvenciára teljes értékű korrekció jelenik meg a mai előírásokban.) A [136] ráadásul minden világítótestre egyedi érzékelési görbét ír elő, amelyre javaslatot is tesz; ez azonban *átláthatatlanná tenné a jelenlegi előírásokat és mérési módszert, mivel az objektív alapokra helyezett méréseket nem tenné összehasonlíthatóvá.*

Peretto, Riva, Rovati, Salvatori és Tinarelli közös tanulmánya [143] is arra hívja fel a figyelmet, hogy a villogás mérését nem szabad függővé tenni a világítótestektől, hiszen ezzel az egyes villogásértékek nem adnak egymáshoz képesti összehasonlítási alapot. A [141] és [142] által alkalmazott újfajta flicker-érzékenységi görbék az emberi érzékelést veszik figyelembe, megfelelő becslést adva az emberre gyakorolt hatásokra, ezzel viszont feladva a flicker értékek összehasonlíthatóságát.

Chau-Shing Wang, Devaney és Shih-Wei Yang szabvány-centrikus, modern tanulmánya szerint [144], a flicker-érzékelési görbét valójában két különböző görbéből kellene megalkotni. Így a világítótest érzékelési görbéje és a szem-agy válaszából [140] együttesen létrehozott görbét kellene figyelembe venni az objektív összehasonlítási algoritmusokhoz. A tanulmány rávilágít arra is, hogy ez számos más problémát is felvetne, hiszen a világítórendszerek általában nem homogén felépítésűek, így ezen mérési módszert a világítótestek homogén vizsgálatakor lehetne csak alkalmazni, általános mérési esetben (pl.: a hálózat villogásának megállapításakor) nem alkalmazható (ekkor a világítótestek megkülönböztetett érzékenységi görbéjének alkalmazására nincs szükség). A [141] tanulmány, ezzel összhangban, teljesen új súlyozó szűrőkkel és súlyozásokkal vizsgálja a világítótesteket. Emanuel és Peretto közös tanulmánya [145] ugyancsak hangsúlyozza a különböző világítótesteket súlyozó (pl.: fénycsővek) érzékelési görbék komplikált kezelhetőségét, kiemelve a flicker-termelő iparvállalatok objektív flicker-számításának szükségességét.

A világítótestekkel kapcsolatos legkorábbi kutatási eredmény 1951-ből származik [146], ahol az izzókkal- és fénycsővekkel kapcsolatos érzékenységi görbék összefüggései, valamint a flicker, feszültségletörések kapcsolatai is tárgyalva vannak. Lee, Chung és Hui közös tanulmánya szerint [136], a mai modern világítástechnikai eszközök már kevésbé érzékenyek, így a hatások tompítottabban jelentkeznek, azonban a megfelelő minőségű ("tisza") villamos energia biztosítása ma is kiemelten fontos feladat. A [136] az izzók, fénycsővek, kompakt fénycsővek és energiatakarékos lámpák érzékenységi görbéit összehasonlítva jut arra a következtetésre, hogy az energiatakarékos izzók akár 4-6-szor kevésbé érzékenyek, mint hagyományos társaik. Wei-Nan Chang, Chi-Jui Wu és Shih-Shong Yen tanulmányukban [147], egy komplex jelgenerátor-fényérzékelő rendszeren keresztül vizsgálja a lakossági felhasználóknál használt izzószálas világítótestek, elektromágneses előtétell ellátott fénycsővek („*electronic balast*”) [148-149] és kompakt fénycsővek viselkedését [150]. A [147] mérési eredményei szerint, a kompakt fénycsővek (nagyfrekvenciás elektronikus előtétellel rendelkező fénycsővek) adják a legkisebb érzékenységet a hálózati zavarokra (ezért javasolják az ilyen típusú világítótesteket a flicker-rel szennyezett hálózatokra); azonban a nagyfrekvenciás viselkedés szempontjából harmonikus áramot termelnek, amely csillapítás nélkül kerülhet vissza a hálózatra, befolyásolva ezzel más eszközök működését (a hálózati minőség szempontjából tehát ez sem ad teljes megoldást).

Ouellette és *Arseneau* publikációjában [151] ezért vizsgálja az energiatakarékos kompakt fénycsövek meddő energia-, hatásfok- és harmonikus-termelését is, amely szerint meghatározó tényezőt jelenthet a világítóeszközök színhőmérséklete is.

A LED-es világítások alkalmazása napjainkban aktuális téma. Néhány éve kezdett csökkenni a LED-es fényforrások gyártási és eladási költsége, amely lehetőséget adott a fényforrások elterjedésének. Amíg a fénycsöves megoldásokat hatékonyságuknál, hosszú élettartamuknál és „flicker-elnyelő” képességükönél fogva kedveltek jelenleg is, addig a LED-es megoldások könnyen vezérelhető fényerejük, színük, továbbá energiatakarékosságuk miatt válnak egyre keresettebbé [152]. Az ilyen megoldásokban, a nem kívánt feszültség-ingadozással szembeni védelemről többféle elektronikai elem gondoskodik, amely lehetővé teszi a zajjal telített hálózattal szembeni jó viselkedését, manapság legtöbb esetben maga mögé szorítva a fénycsöves megoldásokat [152]. A nagyfrekvenciás harmonikusok generálása és hálózatra visszacsatolása ugyanúgy problémákat okoz itt is, amelyekre új elektronikai megoldásokat [153] alkalmaznak a hálózati zavarok elleni robosztusság és ellenállóság növeléséhez.

Chau-Shing Wang és *Devaney* 2004-ből származó tanulmányai [154-155], még a manapság eltűnően lévő normál izzókkal is foglalkozik, amelyben az izzók gyors válaszreakcióját egy online hálózatfigyelő (dinamikus fázisvezérlő) mikrokontrollerrel vezérlik, ezáltal drasztikusan csökkentve az izzóra jutó feszültség ingadozásának mértékét, robosztusabbá téve a flicker-rel terhelt hálózatra. *Montanari* és *Peretto* szerint [156], az előtéttel rendelkező világítótestek esetén megfigyelhető jelenség az is, hogy nemcsak a kisfrekvenciás zajjal terhelt hálózat okoz tapasztalható flicker-t, hanem a nagyobb frekvencia összetevők is okozhatnak olyan nem várt flicker-hatást, amelyet már az emberi szem észrevesz.

A mérési és viszonyítási módszerek széles palettája mellett, az emberre és az eszközökre gyakorolt hatásokkal is foglalkoznak tanulmányok. *Masi*, *Peretto*, *Tinarelli* és *Rovati* közös tanulmánya [157] az emberi látórendszert modellezi, figyelembe véve a pupilla működését. A villogás azonban nemcsak az emberi szervezetekre káros, hanem igazolhatóan az elektronikus eszközökre is negatív hatást gyakorol, rontva hatásfokukat, esetenként nagyságrendekkel megrövidítve élettartamukat.

2.2. Szakirodalmi áttekintés a hangfrekvenciás központi vezérlés témakörében

A szakirodalmi áttekintés ezen fejezetében HFKV kutatásaimmal összefüggő tématerületeket vizsgáltam meg, kiemelt figyelemmel a HFKV, RFKV és SMART rendszerek működésével és analizálásával kapcsolatos problematikus kérdésekre. Eközben megvizsgáltam néhány olyan kérdést is, amelyek ezen témákhoz szorosan, az én kutatási területemhez közvetett, de a továbbfejlesztéseket érintő kérdéseket tekintve közvetlenül kapcsolódnak.

Energetikai rendszerek modernizálása, továbbfejlesztése

A tömeg- és lokalizált vezérlések csak modernizált, rugalmas módon vezérelt villamos hálózatokon képzelhetők el. Így megvizsgáltam a mai villamosenergia-rendszerek fejlődéséhez

és modernizálásához szorosan kapcsolódó szakirodalmakat. Ez különösen fontos, hiszen a villamos hálózat strukturális felépítése (betáplálások elrendezése) a kialakítandó vezérlési módra közvetlen hatással lehet. A tömeg- és lokális-vezérlés kialakítása teljes rendszer-strukturális átgondolást kíván a fejlesztőktől.

A rendszerek átalakítása, modernizálása egyre nagyobb méreteket ölt, amelyben a szolgáltatók egymással is versenyeznek, hiszen a jó minőségű energiaszolgáltatás kulcstényezőnek számít, amely egyaránt szolgáltatói és fogyasztói érdek. *Heffner és Goldman* szerint [158], a rendszerfejlesztés egy lassú, költséges és bonyolult folyamat, amelyet a lehető legnagyobb körületekintéssel szükséges végezni, ugyanis a rendszer stabilitása gyorsan megváltozhat, így ez állandó finomhangolást kíván meg a megfelelő megbízhatóság érdekében. *Tokudome, Senju, Yona és Funabashi* [159] a rendszer megbízhatóságának növelésére, az új bevezetéseket megelőző, fejlett rendszer-szimulációk fontosságát hangsúlyozza, amely a hálózat sokparaméteres fizikai felépítését és teljesítményelosztását képes virtuálisan vizsgálni.

Online működés, dinamikus programozás és vezérelt teljesítményprofilok tanulmányozása

Az online HFKV modul kifejlesztése előtt, tanulmányoztam napjaink néhány valós idejű rendszerét [160-161], és azokból néhány alapvető rendszerelméleti- (felépítési-), működési- és adatmentési-stratégiát sajátítottam el. Természetesen az itt lévő szakirodalmak és alkalmazások modern nagyvállalatoknál fordulnak elő leginkább, egy-egy komplex rendszert megvalósítva, azonban a felépítésük és működésük sajátosságai nagyban hozzájárultak online modulom kifejlesztéséhez. Ezekben a főként ipari alkalmazásokban a valós idejű működés több rendszer összehangolt kommunikációját kívánja meg: adatgyűjtő-, és monitorozó folyamatok; adatmentési folyamatok (ideiglenesen eltárolt adatok transzformálása jól definiált adatstruktúrákba); beavatkozás az érintett folyamatokba (folyamatos visszacsatolás).

A *hőtároló berendezések termodinamikai viselkedésének* modellszerű kezelése [162] központi fontosságú egy naptári nap folyamán vezérelhető teljesítmény előrejelzése során [162-163]. Kutatásaim azt igazolják, hogy *Nagy Britannia és Svédország* [164-169] egyaránt élen jár a végfelhasználó-oldali előrejelzések és az épületek terhelés-tervezési előrejelzéseinek kutatásaiban.

Abdoo, Lokken, Bischke (1982, *Wisconsin*) [172], *Davis* [173] valamint *Kobe és Tsoi* kutatásai (1986, *Új-Zéland*) [174] már a 80-as évek elején felismerték, hogy a közvetlen vezérelhető teljesítménygörbék meghatározásának óriási jelentősége van az energiaszabályozási folyamatok során. *Mindhárom tanulmány arra keresi a választ, hogy milyen módon lehet a teljesítménygörbéket becsülni, illetve egy új terhelési szituációban már meglévő adatok segítségével, hogyan lehet azokat rekonstruálni.* A [174] cikk, 200 háztartás mérési adatainak feldolgozásából (a rendszer jellemzőinek ismerethiányában; a termosztátok állapotának ismerete nélkül; a hőtároló és légkondicionáló berendezések energia-állapotának ismerete nélkül), újfajta analitikus megközelítéssel veszi fel a vezérelt teljesítményprofil, az eszközök hűlési görbéit, amelyekkel a felvett profilok meghatározását pontosítani tudja.

Az vezérelt teljesítményprofilok meghatározása számos eszközzel lehetséges. Egyes tanulmányok a *hálózat összerhelés-vizsgálatán* alapuló módszerekkel következtetnek a vezérelhető teljesítményre, amely tapasztalat szerint igen pontatlan megoldást ad [175]. A kutatások másik része viszont a *hatások kölcsönhatását vizsgálja* [176-183], és a közvetlen vezérelhető eszközökhöz definiált időprogram segítségével, ismerve fizikai működésüket, próbálják a létrehozott hatást és a vezérelt eszközök teljesítményprofilját jósolni.

Néhány kellően bevált elméleti modell is található a tanulmányok között. *Orphelin* és *Adnot* vezérelt teljesítményprofilok meghatározására kidolgozott elméleti modelljét [176] *Olaszországban* és *Franciaországban* is sikeresen alkalmazták és eredményes megtakarításokat értek el vele. Az alkalmazások érdekessége az, hogy az gyakorlati megvalósítás mindkét országban eltérő eredményeket adott az előre jósolt elméleti profilokhoz képest, amely egyben jelzi a modell gyakorlati működőképességét és egyszerűsége által okozott bizonytalanságokat és pontatlan következtetéseket (hálózat adottságainak- és a környezeti- viszonyok figyelmen kívül hagyása). *Ucak* és *Caglar*, ezzel szemben a *Monte-Carlo analízis* [184] segítségével jósolja a vezérelt teljesítményprofilokat, az általa központi paraméternek feltételezett a termosztátok beállításait változtatva. *Rubing* [185] a vezérelt teljesítményprofilok megállapítása során már a környezeti hatásokat is megjelöli, mint fontos paramétert, így korrekciós tényezőt dolgoz ki a hőtárolós teljesítményprofilok pontosítására.

A *teljesítményprofilok változtatásával és optimalizálásával* [186-187] számos tanulmány foglalkozik. Ezek között legtöbbször szimulációs tanulmányok, valamint néhány pilot-program fordul elő [188], de előfordulnak a gyakorlatban sikeresen alkalmazott stratégiák és bevezetett módszerek is. A villamosenergia-hálózaton jelentkező *teljesítménycsúcsok megszüntetése*, az „*energy shifting*” módszerek (közvetlen vezérlésű energiatárolók időleges kikapcsolása csúcsterhelés esetén), *völgyfeltöltés* (bekapcsolás völgyidőszak esetén) és *profil-előrejelzésének* [189-191] kutatásokat tárgyalja legtöbbször a szakirodalom. A *MatLab* környezetben alkalmazott *swarm-optimalizációs módszer* [192] egyedinek számít a legjobb terhelési profil megtalálása során (csúcsterhelések minimalizálása; felhasználói komfortérzet maximalizálása). A kialakított szimulációk és modellek többsége intelligens módon kezeli a csúcsidezőszak teljesítménytúllépését, befolyásolva a vezérlést [193-194].

Weller [195] 1988-as tanulmánya a nagy kiterjedésű rendszerekre javasol intelligens vezérlési stratégiát, amely kisebb költséggel is eredményesen megvalósítható. A kutatás érdekessége az, hogy ezen cikk megírásakor még nem beszélhettünk SMART megoldásokról, azonban az ún. *telemetry* segítségével megvalósított adatküldés ebben az időszakban sem volt ismeretlen fogalom. Az adatcsomagok formájában érkező teljesítményértékek sorozatán keresztül a hálózatüzemeltető egyszerű információkat kaphatott a hálózatának pillanatnyi állapotáról. A tömegvezérlés megvalósítására már ekkor is szükség volt, amelyet a szolgáltatók sok esetben még nem elosztott intelligenciájú vezérlésekkel, hanem a végfelhasználói vevőkészülékekben elhelyezett, szimpla véletlenszám-generátoros sorsolással végeztek; így a szolgáltatók a vezérlés teljes hiányában (!) képesek voltak a hálózat csúcsterhelési időszakainak időleges tehermentesítését megoldani (hardveres megoldás) és megfelelően kezelni.

A termosztatikus viselkedés tanulmányozása, a közvetlen teljesítményvezérlés területén alkalmazott módszerek egyik legtöbbet kutatott területe, ahol a nagy kiterjedésű

(sokfelhasználós) hálózat sztochasztikus viselkedésének modellezése áll a kutatások középpontjában [196-198]. Ryan, Braithwait, Powers és Smith [199] a szokásosan alkalmazott hardveres megoldásokkal szemben (Weller [195]), a központi vezérlés speciális súlyozásokon alapuló módszerét alkalmazza az optimális vezérlés érdekében. A megoldás, a fogyasztói csoportokba osztott berendezések (hőtárolók; légkondicionálók) vezérlését egyszerű állapotátmeneti sorokon keresztül tartja nyilván, feljegyezve legutóbbi bekapcsolás időpontját, az aktuális időszak „költségét”. A hálózat terhelésének függvényében, a központban alkalmazott szoftver online döntést tud hozni a csoportok be- és kikapcsolásáról, megszüntetve az eszközök csúcsidezőszakokban történő működtetését, és völgyidőszakokban történő kihasználatlanságát. A [199] megközelítése újdonságnak számított 1989-ben, ugyanis online megfigyelést nem alkalmazott, azonban az optimalizáláshoz figyelembe vette a fogyasztók pillanatnyi állapotát. A tanulmány egy kisméretű piloton végzett finomhangolást a modellre és egyik első gyakorlati megoldását adva a tömegvezérlés optimális időprogramjának kialakítására. Salehfar és Patton elemzésében [200], az optimalizálási eljárások extrém károsító hatásaira hívja fel a figyelmet, amelyet a vezérelt eszközök szenvedhetnek el, amennyiben sűrű ki- és bekapcsolásokat kapnak; cél az eszközök károsításának minimalizálása (pl.: fél órán belül ne változzon meg vezérelt eszköz állapota).

Több tanulmányban a tömegvezérlés kiegészítéseként alkalmazható egyedi vezérlési módszerekről számolnak be, amelyeket a vevő oldal hálózatfejlesztésének köszönhetően alkalmaztak sikeresen [201-202]. A felhasználói elégedettség a következőt mutatta: „Az emberek többsége inkább meleg víz nélkül, mint áram nélkül.” Pienaar és Delpont [201] egy dél-afrikai kutatás sikeres alkalmazását ismerteti, ahol a vízmelegítőbe épített speciális két részből álló (kétcsatornás) termosztátot ültettek be, felváltva a korábbi egycsatornás megoldásokat, finomhangoltabb teljesítményszabályozást végezve a hálózaton. A kétlépcsős teljesítményszabályozás lényege az, hogy a tömegvezérlés a szokásos módon képes ezen eszközök be- és kikapcsolására (első lépcső); a vevő oldalon beépített intelligens szenzorok, a hálózati kapcsolattól függetlenül, a feszültség és frekvencia paraméterek változásainak megfigyelése közben (amennyiben mindkét paraméter együtt csökken; akkor ez a hálózat túlterheltségét jelzi) képes önálló vezérlési döntést hozni, így szükség esetén kikapcsolni az eszközt esetleg az eszközök egy csoportját. Elsősorban kórházak és nagyobb létesítmények esetén 7-14%-os megtakarítást realizáltak, azonban a megoldás kiterjeszthető más tömegvezérelt kisteljesítményű rendszerre is pl.: az otthoni háztartásokban található légkondicionálókra, hűtő-fűtő berendezésekre, medence szivattyúkra. Az ilyen jellegű „kétlépcsős” vezérlési megoldásokat, kisebb-nagyobb eltéréssel napjainkban is sikeresen alkalmazzák [203].

Az optimális megoldások keresésekor, az ún. *dinamikus programozási módszerek* [204-207], és *időprogramok optimalizálása* témakörök állnak a legtöbb tanulmány középpontjában, amelyek tulajdonképpen speciális keresési módszereket jelentenek. A dinamikus programozás során, egy adott teljesítményterhelési szituációban „legjobb következő vezérlési lépés” megtalálása a cél. A dinamikus programozás bonyolult terület, amely egyben előrevetíti az online, valós idejű döntések és vezérlési beavatkozások szükségességét. A *valós idejű monitoring* és a *valós idejű fizetési mód* („*real time pricing*”) [208-211] a 70-es években ismeretlen fogalmak voltak. Az utóbbi időszakban azonban számos valós idejű fizetési módszert

[209][212] alkalmaztak az energiamenedzsmentre. Több nagyvállalat számára (pl.: *Landis Rt., Svájc*) ezen felhasználói oldali menedzsment [213] ma is döntő fontosságú.

Neurális hálók, egyedi fuzzy-megoldások tanulmányozása

A nemlineáris rendszerek kezelésére, *fuzzy modellek* sikeres alkalmazása figyelhető meg az utóbbi időszakban [214]. Leggyakrabban az elektromos energiatárolók (vízmelegítők; hőtároló kályhák, jégtárolókkal üzemeltetett légkondicionálók) és különböző gáz-fűtőrendszerek állnak a középpontban.

Az „*energy shifting*” különleges modelleken keresztül (fuzzy; neuronhálók) történő alkalmazásával számos tanulmány foglalkozik. *Nehrir, LaMeres* és *Gerez* fuzzy alapú szimulációs modellje [215-216] referenciaértékű, ugyanis központi vezérlés (pl.: HFKV, RFKV) nélkül valósít meg felhasználói energiamenedzsmentet. A modell működésének alapja az energiatárolók (bojlerek és hőtároló kályhák) aktuális hőmérsékletének, aktuális teljesítményének online visszajelzése, amelyek segítségével a földrajzilag eltérő csoportokba osztott felhasználók elosztott menedzselését valósítják meg, korszerű, csoportok közötti elosztott kommunikációs megoldásokat, továbbá elosztott vezérlési módszereket felhasználva (hőmérséklet-teljesítmény-komfortérzetet biztosító tagfüggvények). Ezen SMART-rendszerek információigényéhez közel álló modellt, egy kisebb felhasználói csoport bevonásával tesztelték, amely sikeres eredményeket hozott a teljesítménycsúcsok kezelésében („*energy shifting*”-ben) is sikeresen alkalmazható volt, de nagy hálózatokra kiterjedő bevezetése, elsősorban költségigényei miatt egyelőre nem lehetséges.

Az elmúlt időszakban több olyan új modell jelent meg [218-220], amelyek a lokális vezérlés, fuzzy működtetés és központi vezérlés koncepcióját egyesítik újfajta vezérlési modelleket adva az eddigi tömegvezérlési stratégiákra. Ezen modellek, a több csoportba osztott felhasználókat fuzzy-tagfüggvényekkel segítségével vezérlik, amelynek során a komfortérzet és a hálózati csúcsterhelés egyidőben figyelembe vehető. Ezen modell alapú megközelítés nem igényel erős hálózati kommunikációt és speciális mérőegységek felszerelését sem. *Az amerikai hálózaton jelentős megtakarításokat értek el ezen elosztott felhasználó oldali fuzzy-vezérlési stratégiával.*

Yao és Lu egy újfajta fuzzy logikát alkalmazó módszert alkalmaz [221] egy sokdimenziós állapottéren, bemutatva a kétirányú hőtárolós vezérlés lehetőségeit. A hőtárolós eszközök kétirányú kommunikációja (mérés/vezérlés) esetén a feladat egy sokdimenziós lineáris programozási feladattá alakulna, amelynek valós időbeni kezelése nem egyszerű feladat. A modell erősen elméleti, hiszen a felhasználók online megfigyelését napjainkban is erősen tiltják (felhasználói jogok).

A neurális hálózatokkal történő optimalizálás több tanulmányban fellelhető [222]. A modern országokban (néhány *nyugat európai ország* mellett, *Kína, Japán, USA*) megfigyelhető a felhasználó oldali energiamenedzsment jelentős szerepe, amelynek érdekében kísérleti stratégiákat vezetnek be több-kevesebb sikerrel. Szinte minden esetben, a legfontosabb tényező a kézzel fogható megtakarítások elérése és a rendszerek stabilitásának fenntartása, amely célok

mellett a csúcsterhelés csökkentésére és a felhasználó komfortérzetének javítása is kulcsszerepet játszik.

A témakörben talált legfontosabb pilot-projektek bemutatása

A 90-es években több pilot program indult a teljesítményszabályozás tanulmányozására és a vezérlés döntő fontosságú paramétereinek felderítésére. Napjainkban már nem érdemes számolni az aktuális fejlesztések számát, hiszen nagyszámban folynak kutatások a jövő-hálózatképének kialakítására.

Ross Hawley [252] összehasonlító tanulmánya két olyan közvetlen vezérlésre alkalmazott pilot-rendszert (CELECT, GeMMS) mutat be, amelyeket Nagy Britanniában légkondicionáló-jégtároló berendezések vezérlésének optimalizálására alkalmaztak. A szigetországban ugyanis, már több éve alkalmaznak frizsider-szerű tárolási eljárást a nagyteljesítményű légkondicionáló berendezések energiatárolására, amellyel a hőtárolásnál használt eljáráshoz hasonlóan képesek energiát tárolni (megtakarítani), ezzel segítve a közvetlen vezérlést (csúcsterhelések megszüntetését, energia-völgyek feltöltését).

A hálózatoptimalizálás folyamatát szakértő rendszerek alkalmazásával is segítik. Harmelen és Delport dél-afrikai tanulmánya [223], a vízfogyasztáson alapuló (szakértő) pilot-rendszerrel segíti a hálózatüzemeltetést és a különböző közvetlen vezérlésű rendszerek vezérlését. A gyakorlati alapokra fektetett megoldás bevezetése mégis kétséges.

Ezen pilot-kutatások mindegyike külön kiemeli a légkondicionáló és hőtároló berendezések közvetlen teljesítményszabályozásban betöltött igen fontos szerepét, amelyek optimalizálása még számos tartalékot rejt magában. Gustafson, Baylor és Epstein [224] külön kiemeli azonban azt, hogy csakis folyamatos mérésekből származó, online információkkal lehetséges a pontos előrejelzések és vezérlési döntések meghozatala, ahol akár órára lebontott vezérlési stratégiákat kellene kialakítani és visszacsatolni, az optimális felhasználói komfortérzet maximalizálásának és a szolgáltatói veszteségek minimalizálásának eléréséhez.

Rádiófrekvenciás központi vezérléssel kapcsolatos tanulmányok

A 60-as évek végétől lehet a szakirodalomban megtalálni az RFKV-t [225-226]. Ekkor még gyakorlati megvalósításaik szinte kizárólag a tengerentúlon (pl.: USA) volt jellemző, ahol több olyan technológiát is használtak, amelyek Európában csak később kerültek bevezetésre.

Bzura 1989-es elemzése Rhode Island-ből származik [227], amely az állam akkori törekvő fejlesztési stratégiáiról, és a hagyományosnak mondott HFKV-s rendszert kiegészítő RFKV-s megoldásról számol be. A tanulmány leírja, hogy 200 felhasználónál hibrid HFKV-RFKV vezérlőegységet szereltek fel, hogy ezen felhasználókat tanulmányozni lehessen. Tapasztalatok szerint ugyanis a földrajzilag eltérő területeken lévő felhasználók, valamint a különböző hőmérsékleti változások (pl.: tél, nyár) egyaránt megkövetelik a vezérelt eszközök finomhangolását, amire a HFKV csak igen korlátozott lehetőségeket ad, szemben a RFKV-val, ahol akár egyedi felhasználói vezérlésre is lehetőség nyílik. A felhasználók egyedi vezérlésében nyújtott rugalmasság, az egyirányú tömegvezérlések területén akkoriban úttörő fontosságú volt.

A kutatások egy teljesen új irányát jelentik a *genetikus algoritmusokkal* [228-230] történő próbálkozások. Ezen eljárások nagy része inkább elméleti, mintsem gyakorlati jelentőségű, ám jó megoldást adhat napjaink bonyolult teljesítményvezérlési stratégiáinak finomhangolására. *Leehter Yao* és *Kai-Chin Hsieh* elemzése [217] egy *Taiwan*-on alkalmazott teljesítményszabályozási módszert ír le, amelyet a tömegvezérlési stratégiák finomítására alkalmaztak sikeresen. Az elemzés háttérében a szubtrópusi félszigeten lévő ország légkondicionáló berendezései állnak, ahol a berendezések teljesítményfelvétele több mint 30%-át adják a teljes terhelésnek; ezért a hálózatüzemeltető érdekében optimális vezérlési stratégia megtalálása a cél.

Eredményes magyarországi esettanulmányok is tanúskodnak, az RFKV sikeres alkalmazásáról. *Szabó Ervin* előadása [34] a *Prolan Zrt.* egyik új RFKV-s technológiájáról számol be, amellyel a közvilágítás vezérlése és kialakított menetrendjeik nagyságrendekkel rugalmasabban kezelhetők, mint korábban. Az előadás egy komplett rendszerről beszél, amellyel a tetszőleges mélységű vezérlés is elképzelhető, akár lámpatest szinten is. Az előadás áttörő eredményekről számol be itthon, amely megoldás egyszerűen kiterjeszthető akár más, eddig tömegvezérelt eszközre is, hatékonyabb energiagazdálkodást kialakítva az alkalmazott területen.

SMART-technológiával kapcsolatos tanulmányok

Az energiamenedzsment felhasználói és szolgáltatói oldalról is kulcsfontosságú érdek, amelynek eredményeként az energiaszabályozás sokkal kiegyensúlyozottabbá tehető; a fogyasztói oldalon, a legnagyobb hajtóerőt a megtakarítás jelenti, amely legjobban, a közvetlen vezérelhető eszközökön keresztül érezteti hatását számukra.

A *házaautomatizálási rendszerek (Home Automated System)* [231] manapság egyre nagyobb teret hódítanak, amelynek legnagyobb előnye a kétirányú (közvetlen hálózati) kapcsolat [232] az irányító számítógép és a végponti felhasználók között. A rétegesen kialakított vezérlési struktúra minden SMART rendszer meghatározó jellemzője [231], ahol a *vezérlési/irányítási réteg*, a *házaautomatizálási réteg* és a *fizikailag vezérelt eszközök rétege* különül el egymástól. A szolgáltatói oldalról, így rugalmasan kezelhetők az esetleges csúcs- és völgyidőszakok, egyben a felhasználó az energiavételezés időszakainak kijelölésével visszajelzést adhat a szolgáltatónak (pl.: otthonmaradás; otthonról távollét), amely a tervezhetőbbé váló hálózat miatt eredményes költségmegtakarítást eredményezhet [232]. A házaautomatizálási rendszerek forradalma egyben eddig ismeretlen technológiák bevezetését és megjelenését vonta mag után. *Suhara, Nakabe, Mine* és *Nishi* [233] egy teljesen új megoldást mutat be a *KNIVES (Keio University Network oriented Intelligent and Versatile Energy saving System)* rendszer alkalmazásával, amely már csomag-információ kommunikáción alapulva képes vezérelni és elosztott módon szabályozni a hálózati terhelését; a házon belüli eszközök szenzorainak mérés-adatgyűjtésén és távolról vezérelhető beavatkozó szervek működtetésével. A hálózatautomatizálás során elérhető költségcsökkentés, a tapasztalatok szerint nem minden esetben hoz azonnal jelentkező, jelentős megtakarításokat a felhasználók részére, azonban a hálózat megfelelő üzemeltetéséhez, a fogyasztók komfortérzetének kialakításához és az „*energiatudatos élethez*” mindenképpen szükséges technológiai előrelépéseket vezetnek be ezen rendszerek.

Kobe és Tsoi [174] publikációja egy kutatóközpontban alkalmazott, működő megoldást ad az online teljesítményszabályozásra, biztosítva a felhasználók megfelelő komfortérzetét. A tanulmány érdekessége, hogy SMART technológiához hasonló megoldásokat használ (1986!); abból a szempontból viszont megfontolandó általános bevezetése, hogy a valós idejű szabályozást az *információk teljes ismeretében hozza meg*, pl.: az adatgyűjtés kiterjed a valós idejű hőmérsékletmérésre, hőtároló-figyelésre, teljesítményfigyelésre, a termosztát figyelésére, amelyek háztartásonkénti óriás-beruházásokat (!) igényelne. *Egyelőre egyszerűbb, hatékonyabb megoldásokra van szükség, de a trend mindenképpen a teljes házautomatizálás és szenzorfigyelés felé irányul.*

Elgazzar, Li és Liuchen Chang kialakított modellje [217], RFKV-n keresztüli hőtárolós vezérlés, és SMART-mérőktől gyűjtött 15 min-es adatok segítségével próbál az aggregált hálózati terhelésből következtetéseket levonni a hálózati beépített hőtárolós teljesítményére. A modell legnagyobb problémája az, hogy a hőtárolós teljesítmény változása nem teljesen korrelál a hálózat és a fogyasztók terhelés változásaival, ezért a modell nem alkalmas a gyakorlati bevezetésre.

A fogyasztók valós idejű közvetlen vezérlésének időbeli tervezése egy nagy komplexitású, sokparaméteres feladat, amelynek során egyaránt figyelembe szükséges venni a hálózatüzemeltető (teljesítményvölgy-, csúcsok kezelését) [234-235] és a fogyasztó (komfortérzet; költségmegtakarítás) érdekeit [236-237] is, amely a gyakorlatban igen bonyolult megoldásokat igényel. Mohsenian-Rad, Wong, Jatskevich, Schober és Leon-Garcia [238] a játékelméleten alapuló, optimalizálási módszer sikeres megoldását mutatják be egyedi célfüggvények felállításával. A SMART technológia alkalmazásához, természetesen új irányítási-, mérési-, és elszámolási modellekre van szükség [239-241]. Heffner, Goldman és Moezzi tanulmánya [242] a SCADA és SMART rendszerek együttes alkalmazásának újfajta lehetőségeiről számol be, igazolva azok rugalmasságát, szükségességét és hatékony felhasználásának lehetőségét a hálózatokon; amely a számos előny mellett új kihívásokat is jelent a különböző kommunikációs interfészek kialakításában. Egy másik tanulmányukban [242] egy új pilot projekt eredményeit írják le, új hálózatvezérlési, adatgyűjtési és tökéletesített kommunikációs stratégiákkal. Természetesen számos más *SMART pilot-program* indult az utóbbi időben, amelyben a fejlett nyugat-európai országok mellett, az *USA*, *Japán* [243], *Kína* [244] és *Taiwan* [245] is a vezető SMART-kísérletek élvonalában van.

A SMART-technológia előretörése, az energiamenedzsment gyökeres átalakulását is megkívánja, új stratégiák létrejöttén keresztül [212]. Gellings [246] hat különböző kategóriába osztja a teljesítményprofilok szabályozásával kapcsolatos stratégiákat: *teljesítménycsúcs-megszüntetésére alkalmazott stratégia; teljesítményvölgy-feltöltésre alkalmazott stratégia; teljesítménycsúcs-eltolási stratégia; teljesítménytartási stratégia; teljesítménynövelési-stratégia; valamint a rugalmas teljesítmény profil stratégia*, azaz ilyen esetben nem szükséges beavatkozás.

2008-ban (Új-Zéland) már fejlett követelmények jelentek meg a mérőrendszerekre (*Advanced Metering Policy*) [247], amely rendelkezik a technológiák alkalmazásainak korlátairól, lehetőségéről. Új-Zéland különleges kutatási hely az energiaszabályozás szempontjából, hiszen új technológiák bevezetését is szorgalmazza [248], esetenként pedig

nemcsak szimulációs keretek és a kutatóközpontjuk határáig terjed a megvalósítás, hanem törekednek a gyakorlatban realizálható módszerek kidolgozására is [249-250].

A szakirodalmi kutatások eredményeként így nyilvánvaló az a tény, hogy a SMART megoldások, a *jövő irányítási-, mérési- és fizetési eszközét* jelentik [35-37], azonban a jelenleg számos megválaszolatlan kérdést rejtő megoldás (fogyasztói megfigyelésekkel kapcsolatos adatvédelem; számlázási-vezérlési kérdések; tarifák; rendszerstruktúra; kommunikációs lehetőségek, stb.), egyelőre késlelteti a teljes bevezetést. Európában egyelőre inkább pilot-ok és jelenleg is folyamatban lévő kutatások a jellemzőek, amelyek központi célja egy végleges, stabilis rendszerkonceptiók kialakítása.

A környező országokban (pl.: Cseh Köztársaság) a vizsgálat középpontjában áll a tömegvezérlés jelene és jövője [251]. *Neuberg* [251] a Csehországban alkalmazott megoldásokat mutatja be, központi figyelemmel a tömegvezérlésre (HFKV). Energiaszolgáltatás területén nagy hasonlóságot mutat az ország Magyarországgal, amit elsősorban a mindkét országban is jelenlévő hálózatüzemeltetőknek lehet betudni. Némely vélemény szerint, Magyarország igyekszik lépést tartani a SMART-technológia törekvéseivel, azonban az itthoni gazdasági háttér hiánya miatt, a teljes felhasználói szintű bevezetésére még várni kell. Egyes szakértők szerint [33], a hálózatoptimalizálás más útjának kialakítása, sokkal realizálhatóbbnak tűnik (pl.: RFKV), ugyanis Magyarország a SMART szempontjából „nem egyenlő” a nyugat-európai országokkal. Természetesen egyes területeken, pl.: az ipari nagyfogyasztóknál elengedhetetlenek a modern SMART-megoldások, ám ezeknél a fogyasztóknál jelenleg is jól működő, és folyamatosan fejlesztett mérő-irányító rendszerek vannak felszerelve.

2.3. A szakirodalmi kutatások kiértékelése

A flicker, valamint a HFKV (ill. közvetlen teljesítményvezérlés) tématerületeken végzett részletes vizsgálatok eredményeként megállapítottam, hogy kutatási tevékenységem jól illeszthető a jelenlegi trendek vonatkozásaihoz.

A villogásmérési tématerületen arra a megállapításra jutottam, hogy bár jelenleg is léteznek digitális, online mérési módszerek, azonban nem találtam az általam megvalósított mérési módszerrel és rendszerrel megegyező irodalmat. A talált módszerek és algoritmusok nagy része is csaknem teljesen tisztán szimuláció, esetenként természetesen konkrét gyakorlati méréseket is végeznek velük, ám robosztus, rugalmas mérőrendszerbe nem illesztik a létrehozott modulokat. Ráadásul a létrehozott rendszerek nem biztosítanak megfelelő rugalmasságot a mérés paramétereinek módosításában (pl.: a mintavételi frekvencia rugalmas állíthatósága; flicker-érzékenységi görbe módosíthatósága). A mai rendszerekben rugalmasan módosítható paraméterek kulcsfontosságára a legjobb példa, a 2010-ben megjelent új flicker-szabvány [17], amely sokkal szigorúbb követelményrendszert ír elő a vizsgálatokra, mint a korábbi 2003-as [16]. A villogás mérésével kapcsolatos kutatási munkám közel 70%-át még 2011-előtt dolgoztam ki, amíg 2011-2012 között az új szabványhoz szükséges módosításokat és a gyakorlati méréseket végeztem el. Ezt azért volt szükséges kiemelni, ugyanis a megjelent új szabványok miatt több részben volt szükséges módosítanom mérési algoritmusaimat. Ezeket a módosításokat a jól átgondolt univerzális módszerek miatt viszonylag egyszerű volt elvégezni, szemben a szakirodalomban tárgyalt és bemutatott módszerekkel, esetleg ipari kivitelben

megvásárolható berendezésekkel szemben, amelyeket konkrét szabványi követelményrendszerekhez fejlesztettek ki, ezzel szigorúan rögzítve adottságaikat. A szabványokban fellelhető viszonylag „nagyolt” leírási módnak köszönhetően, mára a mérési módszerek széles palettája alakult ki, amelyek többségében csak nehezen teljesítik a szabványban leírt kritériumokat. Az előírásokban ismertetett mérési módszereket tekintve, inkább a követelményrendszer és a hitelesítés kritériumaira tett javaslat szerepel a hibakorlátokkal és referenciaértékekkel; a mérés módját és elveit csak átfogóan jellemzik. A publikációk nagy része –a módszerek komplexitása és felvetett kérdéskörei miatt– csak egy-egy könnyen áttekinthető területtel foglalkozik (pl.: az egyes modulok létrehozásával; jól definiált problematikus kérdésekkel). A disszertációmban azonban átfogó képet kaphatunk a mérési módszerről, valamint a villogásmérés objektív kalibrációjáról is.

A közvetlen teljesítményszabályozással (HKFV) kapcsolatos tématerületen ugyancsak arra a következtetésre jutottam, hogy munkám jól illeszthető a napjainkban alkalmazott módszereihez, algoritmusaihoz. A magyarországi áramszolgáltatók korábban igen egyszerű módszerekkel tudtak csak a hőtárolós berendezések vezérlésén optimalizálást végezni. Az általam kidolgozott „hőtárolós-teljesítménydetektálás” a szakirodalomban ismeretlen fogalom. A szakirodalom ugyan hivatkozik a beépített hőtároló teljesítményekre, az ún. napi hőtárolós görbékre, azonban 99%-ukban csak becsült értékek álnak a tanulmányok középpontjában. A hőtároló eszközök beépített teljesítményszükséglete azért is kiemelten fontos, hiszen a meghatározott hőtárolós teljesítményprofil alapján, a hálózat viselkedéséről és mindenkor rendelkezésre álló tartalékairól lehet következtetéseket levonni.

A HFKV egy sokparaméteres vezérlési struktúrának tekinthető, ahol a kiinduló adatokat, így pl.: az eszközök fizikai viselkedését vagy a melegvíz-fogyasztás becsült pillanatnyi értékét, azonban a végső cél a vezérlő parancsokat követő teljesítményváltozások „jóslása”. Az említett adatok segítségével, szinte tisztán matematikai-statisztikai módszerekkel lehetséges következtetni a hálózat működésére. Ezen módszerek viszont már a kiinduláskor feltételezésekből indulnak ki, így a végkövetkeztetések bizonytalansága is nagyobb lehet.

Gyakorlati módszereim nem foglalkoznak ezzel a sokparaméteres, ráadásul sztochasztikus viselkedést mutató állapottérrel, hanem tisztán a mérési adatok feldolgozásából jutnak el a hálózat viselkedését meghatározó hőtárolós összefüggések megállapítására. A hőtárolós teljesítményprofilok kategorizálása és a vezérelhető fogyasztók szokásainak tanulmányozása, ugyancsak kulcstényező, hiszen napjaink modern villamos energetikai fejlődése, a különböző okos-vezérlések irányába halad, ahol fogyasztók viselkedésének naprakész ismerete elengedhetetlen az általános érvényű új, vezérlési stratégiák kialakításához.

Számos fórum foglalkozik a Magyarországi tömegvezérlés jelenével és lehetséges jövőjével [33]; ráadásul magyar szakirodalmi véleményeket is találni arra is, hogy a rugalmatlan, ráadásul napjainkban előregedett HFKV-t követő, rugalmas RFKV/SMART vezérlések, még számos optimalizálási tartalékot rejtenek magukban [27-29][34], amely új kutatási motivációt jelent ezen rendszerek tanulmányozása során.

Szakirodalmi kutatásaim összefoglalásaként megállapítottam, hogy bár számos megoldás létezik a közvetlen teljesítményszabályozással kapcsolatosan, de a gyakorlatban

közvetlenül bevezethető és ténylegesen alkalmazott megoldásokból egy viszonylag kisszámú megvalósításra van példa.

A gyakorlati alapokra helyezett értekezésem egyedinek számít, mind a villógásmérés, mind a hőtárolós-tömegvezérlés területein, amelyet hazai és nemzetközi publikációim, konferencia-előadásaim is eredményesen igazolnak.

3. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Legfontosabb új tudományos eredményeimet öt tézisben fogalmaztam meg, amelyek a következők:

1. TÉZIS: Kidolgoztam egy tisztán digitális elven alapuló online flicker-mérési módszert.

A mérési módszer, a modern többszálás („multitasking”) kommunikációs megoldást alkalmazva képes a csatlakoztatott feszültségjelek futásidőben történő analizálására, eleget téve a villogásra vonatkozó legszigorúbb követelményeknek. Kifejlesztett módszerem rugalmasságát a villogásmérés mintavételi frekvenciájának szabad megválasztása, univerzalitását a módszer egyszerű (későbbi) módosíthatósága és bővíthetősége, alkalmazhatóságát a hatékony kommunikációs megoldásai jellemzik.

2. TÉZIS: Kidolgoztam egy olyan kalibráló módszert, amellyel tetszőleges villogásmérő valós körülmények közötti objektív tesztelését és teljes körű ellenőrzését lehet elvégezni.

Kidolgozott módszerem átfogó képet ad a csatlakoztatott villogásmérő statikus és dinamikus működéséről. Kifejlesztett kalibráló módszerem alapján, olyan automatikus tesztelést támogató szimulációs módszert dolgoztam ki, amely az online flicker-mérési módszerem teljes körű ellenőrzését képes elvégezni, amely egyben visszacsatolást ad módszerem helyes működéséről, továbbá optimális mintavételi frekvenciákat határoz meg a szabványi előírásokban rögzített F_1 és F_3 osztályos villogásmérésekhez.

3. TÉZIS: Olyan, a hálózatüzemeltetőtől független, univerzális dekódoló- és teljesítménydetektáló módszereket dolgoztam ki, amelyek a villamosenergia-hálózat terhelésszabályozásában adnak új elméleti és gyakorlati megoldást.

A kidolgozott módszerek tetszőleges hálózaton alkalmazhatóak, ahol a transzformátorok primer oldali feszültség- és áramjeleiből képesek a hangfrekvenciás vezérlőüzenetek (táviratok) időbeli behatárolására és nagy megbízhatóságú dekódolására, valamint az általuk kapcsolt teljesítményugrások amplitúdójának meghatározására. Olyan online mérési módszert dolgoztam ki, amely képes a villamos hálózaton bekövetkezett teljesítményugrások folyamatos detektálására, napjaink egyedi multiprocesszoros rendszereit támogató modern adatkommunikációs megoldások felhasználásával.

4. TÉZIS: Új approximációs eljárást dolgoztam ki, amely a transzformátorok mérési adataiból származtatott (detektált) teljesítményértékekből, objektív, könnyen automatizálható módon képes meghatározni a hőtárolós tömegvezérlés teljesítményprofiljait.

Az objektív módon generált hőtárolós profilok összehasonlítására, új normalizálási eljárást hoztam létre, amellyel az egymástól különböző teljesítményű transzformátorok tömegvezérlés okozta (hőtárolós) teljesítményprofiljainak objektív összehasonlítására nyílik lehetőség, biztosítva a további elemzési- és kiértékelési módszerek alkalmazását.

5. TÉZIS: Új módszert dolgoztam ki a fogyasztók szokásainak kategorizálására, amely a mérési adatokból származtatott hőtárolós (normalizált) profilok segítségével, képes a felhasználói viselkedést különböző csoportokba sorolni.

Módszerem objektív hibaszámítással hasonlítja össze az előzetesen normált hőtárolós profilokat, így következtetve a kizárólag görbejelleg-eltérések okozta eltérésekre. A módszer segítségével létrehozott új fogyasztói csoportok általános érvényű hőtárolós profilokkal jellemezhetők, amelyek a teljesítményszükséglet-validálást követően, egyrészt új, általános érvényű következtetéseket eredményeznek a hőtárolós fogyasztókra, másrészt a hálózatüzemeltető menetrendi tervezését teszik közvetlenül kiszámíthatóbbá és mérhetően hatékonyabbá.

4. A LEGFONTOSABB FLICKER-ELŐÍRÁSOK ÁTTEKINTÉSE

Ebben a fejezetben a flicker-előírások (szabványok) azon legfontosabb részeit mutatom be, amelyek disszertációm megírása során közvetlen jelentőségűek voltak. Röviden bemutatom:

- a villogás definícióját, a közvetlen lehetséges hatásait és okozóit; a villogásmérésének jelentőségét;
- a villogásmérés elméleti alapjait, kiegészítve a digitalizálás központjában álló komplex átviteli függvénnyel; továbbá,
- a digitális villogásmérő-modul létrehozásához szükséges irányelveket.

4.1. A villogás közvetlen hatásai és mérésének jelentősége

A villamos energia minőségét számos mutatószámmal lehet mérni. Ezek közül az egyik legkörülményesebben mérhető a *villogás*, azaz *flicker*. A ciklikus gyors feszültségváltozás – más néven feszültségingadozás – következménye az ún. *villogás (flicker)* jelenség.

Flicker: A jelenség lényegében a feszültség gyors ingadozása által kiváltott időben ingadozó fényességű vagy színekpi eloszlású fényingerek által létrehozott látásérzet-ingadozás sorozataként jelentkezik, amely az emberre nézve közvetlen megterhelést jelent.

Megjegyzés: A fenti definíció napjainkban már nem általános érvényű, ugyanis jelenleg megjelenő korszerű világítótestek (energiatakarékos izzók; LED-es fényforrások) a villogásra vonatkozó előírások jelentős részének felülvizsgálatát igénylik. Az objektív flicker-meghatározás alapja természetesen az emberi érzékenység, amelyet a mai előírások is további korrekciókkal tesznek pontosabbá.

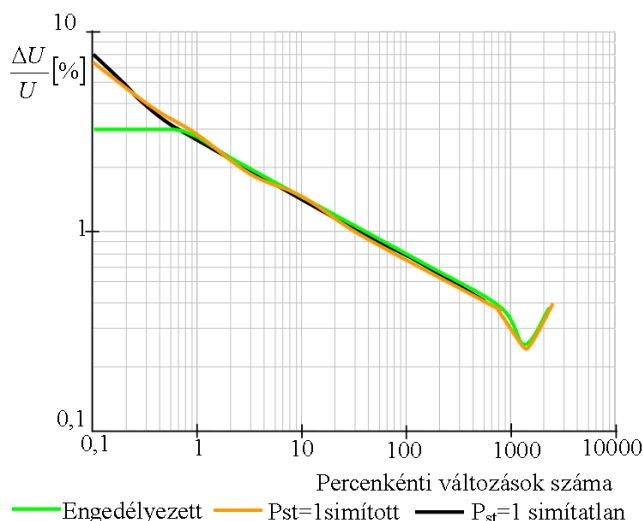
Az emberre gyakorolt hatások pl.: a látásérzet-ingadozása; a szem gyors kifáradása; fejfájás kialakulása; potencia problémák kialakulása; továbbá szélsőséges esetben epilepszia kiváltása is lehet. Az említett hatások természetesen zavarják az embereket munkájuk elvégzésében.

A villogás kialakulásában a *változó terhelésű nagyfogyasztók* döntő szerepet játszanak. A változó terhelés hatására a hálózati impedancián keresztül folyó ingadozó áram, változó feszültségessést hoz létre, mely szétterjed a hálózaton. A leggyakoribb villogást okozó hálózati folyamatok, illetve fogyasztók az alábbiak:

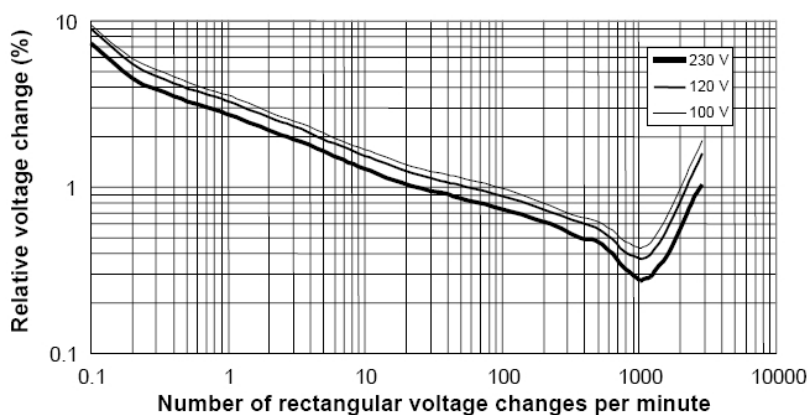
- nagy terhelések ki- és bekapcsolása,
- nagy teljesítményű motorok indítása (különösen, ha ciklikus),
- ingadozó terhelések (pl. szabályozott nagy teljesítményű fűtések),
- nemlineáris fogyasztók üzeme, különösen a
 - hegesztőkészülékek és
 - ívkemencék működtetése.

4.2. A villogás zavaró hatása: flicker-érzékelési görbe [14]

A villogás zavaró hatását nehéz objektíven mérni. Az CEI-IEC által kifejlesztett, villogásmérésre használt módszer szimulálja a feszültségváltozás-fényforrás-szem-emberi agyi érzékelési folyamatot, és megbízhatóan jelzi a megfigyelő bármilyen típusú villogásra adott reakcióját. A feszültségváltozásnak ugyanis két jellemzője van (amplitúdó, frekvencia), amelyek együtt befolyásolják a villogás zavaró hatását. Így az emberek nemcsak a feszültségváltozásra érzékenyek, hanem a feszültségváltozás frekvenciájára is, amelynek határértékeit előírások rögzítik (4.1. ábra; 4.2. ábra).



4.1. ábra: A CEI IEC 61000-3-3 szerint [14] jóváhagyott maximális feszültségváltozás mértéke 230 V/50 Hz-es hálózaton



4.2. ábra: CEI IEC 61000-3-3 (MSZ EN 61000-3-3) szerint [14] jóváhagyott maximális feszültségváltozás mértéke különböző feszültség-rendszerekben

Mérések alapján, az ember a 8,8 Hz-es feszültségváltozásokra a legérzékenyebb. Az érzékelési görbén azért lehet a frekvencia kétszeresét leolvasni (4.1. ábra), mert a feldolgozás statisztikai kiértékelése során szükséges egy négyzetre emelés, amely megkétszerezi ezt a fontosabb frekvenciaértéket.

Az 4.1. ábrán látható „engedélyezett”, „simított” és „simítatlan” kifejezéseket a CEI IEC szabványok a statisztikai kiértékelések során értelmezik. A simított értékek gyakorlatilag a kapott P_{st} eredmények átlagolásához kötődő fogalmat vezetik be. Elsősorban a hálózaton

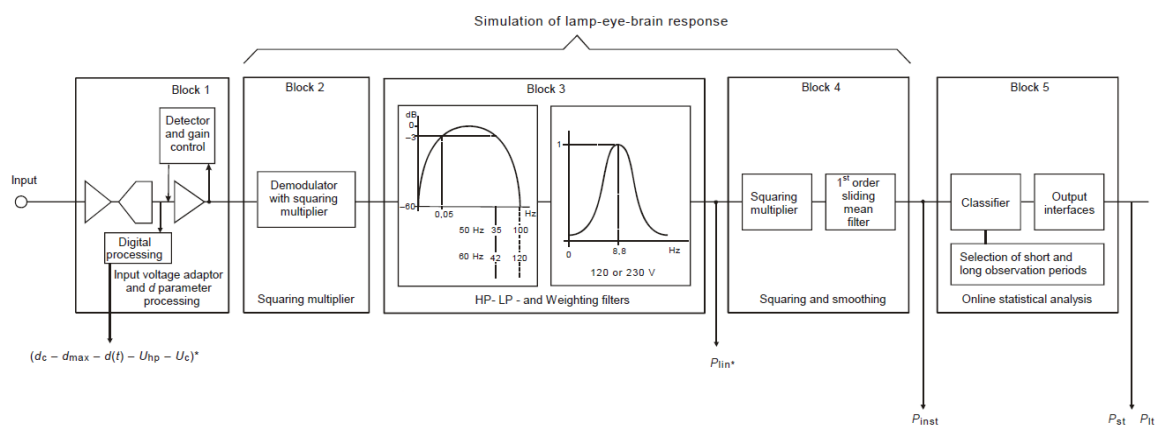
jelenlévő konstans terhelések miatt van rá szükség. (Ezek a zavart okozó terhelések problémát okoznak a flicker-kiértékelések során, így ez a pontosabb meghatározáshoz segít.) Könnyen belátható, hogy az amerikai rendszerben (120 V/60 Hz) sem változik a határértékek jellege, csupán az megjelenő görbe tolódik el enyhén függőleges irányban (felfelé).

A szabvány ezért az emberi szem érzékenységének megfelelően előírja, hogy a hálózati feszültség ne tartalmazza ezen frekvenciájú összetevőt ill. összetevőket (világítótestek használatától függetlenül)! Az emberi érzékenység tulajdonságai alapján, az előírások ezért követelnek meg egy speciális mérőműszer, a villogásmérő, ún. flicker-mérő (villogásmérő) használatát.

4.3. Az analóg villogásmérő felépítése

A villogás mérésének módszerét az MSZ EN 50160:2010 [19] és az IEC 61000-4-15:2010 szabvány [17] írja elő. Az említett szabványok ajánlást adnak a villogásmérő-berendezés elvi felépítésére vonatkozóan, azonban nem konkretizálják pontosan, hogy a mérési módszer analóg, vagy digitális elvekre épüljön.

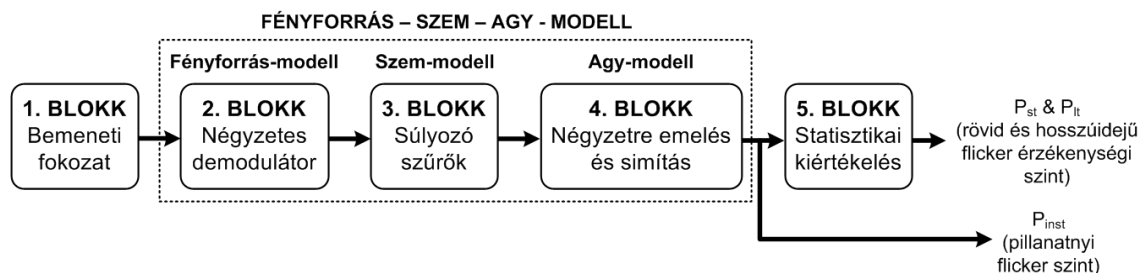
A szabvány, egyedül a villogásmérő központi blokkjának komplex átviteli függvényével, és 5. blokk folyamatos statisztikázást megkívánó követelményeivel utal csak digitális megvalósításra (néhány megjegyzésben és a flicker-mérő tesztek során is vannak fellelhető utalások). A modulok felépítésre viszont tipikusan analóg javaslatot tesz (4.3. ábra). Továbbá a bementi „digitális feldolgozás” (*digital processing*) felirat utal egyedül a mintavételezésre és digitalizálásra (egy mellékblokkban), amely a 2003-as korábbi [16] szabványban még nem volt fellelhető.



4.3. ábra: Villogásmérő műszer elvi felépítése CEI IEC 61000-4-15:2010 szerint

Az általam létrehozandó villogásmérő viszont minden moduljában *digitális* jellegű. A létrehozott berendezés (modul), a jelfeldolgozást (mintavételezést, szűrést és statisztikai kiértékelés együttesét) digitális úton hozza létre a feldolgozás eredményeként.

4.4. A villogásmérő funkcionális felépítése



4.4. ábra: A villogásmérő leegyszerűsített blokkvázlata

A villogásmérő architektúrája (4.4. ábra) két alapvető funkcionális egységre osztható, melyek az alábbi feladatokat valósítják meg a feltüntetett sorrendben:

- a 2-3-4. blokk kaszkádjának nemlineáris válasza szimulálja a „lámpa-szem-agy”-on keresztül jelentkező emberi villogás-érzékelést (*simulation of lamp-eye-brain response*); míg
- az 5. blokk az átalakított flicker-jelek *online statisztikai analizisét*, és az eredmények kiértékelését végzi el.

1. blokk (Bemeneti fokozat)

Tartalmaz egy jelgenerátort, amely a mérő helyszínen történő kalibrációját végzi. Központi szerepe azonban, a mérendő bemeneti feszültség fogadása és egy belső referenciaszint előállítása, amellyel a villogásmérések az aktuális hálózati (bemeneti) feszültségszinttől függetlenül hajthatóak végre.

2. blokk (Kvadratikus, négyzetes demodulátor)

A blokk a feszültségváltozás elkülönítését végzi a hálózati 50 Hz-es bemenő jeltől, amelyet a bemenő jel négyzetre emelésével ér el; azaz az amplitúdó modulált jel demodulációját végzi.

3. blokk (Súlyozó szűrők)

A blokk két különböző funkcióval rendelkezik. A 3. egység két szűrő és egy mérési határ beállító egymásutánja, amelyek megelőzhetik vagy követhetik a szelektív szűrő áramkört.

Az *első szűrő* (sáváteresztő, sávszűrő) eliminálja a kvadratikus demodulátor kimenetén megjelenő jel egyenkomponensét (DC) és a kétszeres hálózati frekvencián megjelenő komponensét. Így szűrve az alapharmonikus kétszeresét a függvény „fodrozottsága” jelentősen csökken, míg a nagyobb frekvenciakomponensek hatása, a mérés szempontjából elhanyagolható. A nem kívánt frekvenciakomponensek elnyomását két szűrő kaszkádja segítségével írja elő a szabvány:

- *elsőfokú Butterworth-felüláteresztő szűrő*, melynek vágási frekvenciája (3 dB-es csillapítás esetén): 0,05 Hz

- 6-od fokú Butterworth -aluláteresztő szűrő, melynek vágási frekvenciája:
 - 35 Hz (230 V/50 Hz-es rendszer esetén)
 - 42 Hz (120 V/60 Hz-es rendszer esetén)

A második szűrő (lyukszűrő) alakítja ki a villogásmérő moduláló ingadozásra adott átviteli függvényét és szimulálja egy izzószálas égő (230 V/60 W; 120 V/60 W) és az emberi látórendszer szinuszos feszültségváltozásokra adott frekvenciaválasztát. Szabvány szerint, a lyukszűrő sávközépi frekvenciája 8,8 Hz, amely összhangban van az emberi érzékenységgel.

Megjegyzés: A válaszfüggvény egyes frekvenciakomponenseinek súlyozását, a vizsgált személyek 50%-nál tapasztalt érzékelési küszöbértékek alapján adták meg. 100 V-os izzólámpák, és LED-es fényforrások további korrekciókat indokolnak. A korrekciókat a teljesítmény-teszteknél is alkalmazni szükséges [1.sz. FÜGGELÉK].

4. blokk (Négyzetre emelés és simítás)

Egy négyzetes szorzó és egy elsőfokú aluláteresztő szűrő kompozíciójából áll, amely kialakítja pillanatnyi villogás-érzékelést (P_{inst}) az egység kimenetén. A négyzetes szorzó a súlyozott flicker jelet emeli négyzetre, szimulálva ezzel a „szem-agy” nemlineáris érzékelését. Az elsőfokú mozgó középértékű szűrő (csúszó átlagoló szűrő, *sliding mean filter*) a jel csúszó (mozgóskálás) átlagolását végzi, szimulálva ezzel az agy raktározási képességét, vagy tároló hatását (*the storage effect in the brain*), amelyet egy $T = 300\text{ ms}$ -es időállandóval jellemezhető RC-filter segítségével valósít meg.

5. blokk (Statisztikai kiértékelés)

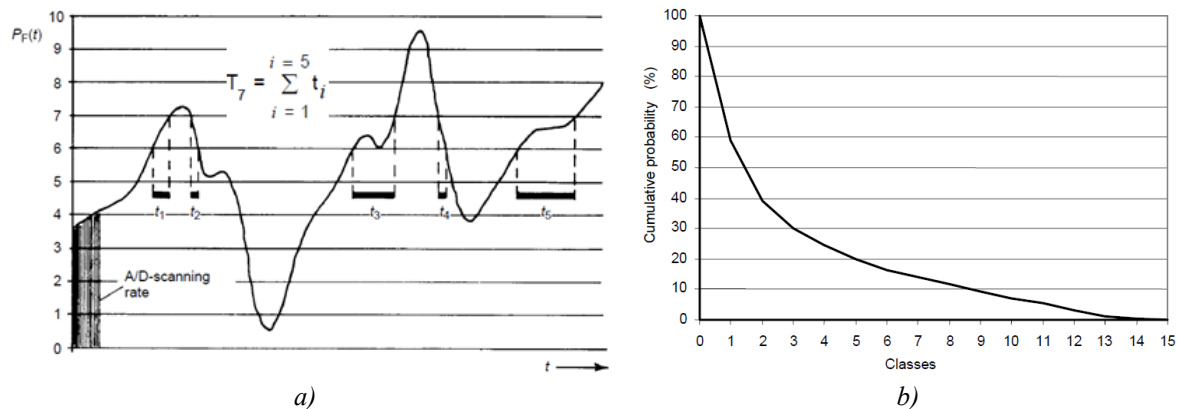
Ezen blokk végzi a mintavételezett jelek kiértékelését (*online* módon), továbbá a P_{st} (rövid idejű villogás) és P_{lt} (hosszú idejű villogás) értékek számítását, valamint automatikusan tárolja a kiszámított értékeket a későbbi kiértékeléshez, statisztikázáshoz és grafikus rajzoltatáshoz. Mivel követelmény az online feldolgozás, ezért minden egyes rövid intervallum kiértékelése után azonnal indul a következő intervallum statisztikai analízise, amely feltételezi a gyors feldolgozást.

A sztochasztikusan változó terhelések által okozott villogás-jelenség véletlenszerűsége miatt fel kell tételeznünk, hogy a megfigyelési időszak alatt, amelynek megfelelően reprezentatívnak kell lennie időben, pillanatnyi értéke széles intervallumban és előreláthatatlan módon változhat. Ezért fontos, hogy ne csak a legnagyobb értékeket vizsgáljuk meg, hanem azt is, hogy egy megfigyelési időszak hány százalékában lépett túl a villogás mértéke egy bizonyos szintet. Annak érdekében, hogy minden esetet kezelni tudjunk, statisztikus módszerre van szükség. A függvény létrehozásához a következő lépéseket kell megtenni: először a 4. egység kimenetén mért pillanatnyi villogásérzet-szinteket szükséges osztályozni értékük szerint, majd amikor letelik a megfigyelési időszak, az eloszlásfüggvény kiszámítása történik [30].

A 4. egység kimenetére alapozva (P_{inst}), megoldható az adatok offline elemzése is, ahol a P_{inst} jel fogja a statisztikai kiértékelések alapját képezni. A P_{inst} tulajdonképpen a villogásmérő berendezés szűrő és átalakító blokkjain keresztül áthaladt jel, vagyis egy olyan transzformált

mintasorozat, amely kizárólag a villogás méréséhez szükséges (normált; statisztikázott) információkat tartalmazza. A felhasználás szempontjából nem hasznos információk, korábban kiszűrésre, eliminálásra kerülnek. A kapott P_{inst} jel pontjait egy kiértékelési folyamaton kell átvezetni, és ennek eredményeként áll elő a rövid- és hosszúidejű (P_{st} , P_{lt}) villogásérzet. Az előállítás módját a szabvány ún. *idő-variációs eljárása* írja elő.

Az idő variációs eljárás lényege az, hogy az aktuális villogásérzet mintáit ($P_{inst}(t)$ jel) be kell sorolni egy-egy osztályba, ahol az osztályok számát a villogásmérő felbontása határozza meg; majd meg kell számolni az egy adott idő alatt bekövetkező villogásérzetek számát. Az osztályokhoz rendelt számlálók segítségével, gyakoriság-eloszlási függvényt (*probability density function*) hozható létre (4.5. ábra).



4.5. ábra: Idő-variációs eljárás bemutatása [17] szerint, 1,806%-os négyszög-moduláció és 0,325 Hz-es modulációs frekvencia alkalmazása mellett ($P_{st}=2,0$): a) Villogásérzet értékek osztályozása (a 7. flicker-szinthez tartozó összes idő megállapításával); b) A flicker-szintekhez tartozó valószínűségi eloszlásfüggvény (15 flicker-szint)

A [17] szabvány kétféle flicker-kiértékelést határoz meg, melyek időtartamait pontosan rögzíti:

- Rövid idejű kiértékelés esetén $T_{short} = 1 - 15$ min (leggyakoribb azonban az egyperces kiértékelés);
- Hosszú idejű kiértékelés esetén a T_{long} , amely a T_{short} egész számú többszöröse;

7 napra, azaz 1 hétre vonatkozóan:

$$T_{long(max)} = 7 \cdot 24 \cdot 6 = 1008 \cdot T_{short}, \text{ ha } T_{short} = 10 \text{ [min]} \quad (4.1)$$

Rövid idejű flicker-kiértékelés (P_{st})

A P_{st} értékek meghatározása a statisztikai kiértékelés során alkotott idő-szint (*time-at-level*) osztályokból származtatva történik:

$$P_{st} = \sqrt{0,0314 \cdot P_{0,1} + 0,0525 \cdot P_{1s} + 0,0657 \cdot P_{3s} + 0,28 \cdot P_{10s} + 0,08 \cdot P_{50s}} \quad (4.2)$$

A konstans zavart okozó terhelések jelenléte miatt szükséges a százalékok simítása. A formulában szereplő „s” index, erre a simításra utal. A villogásmérő (analóg) 300 msec-os elméleti időállandója biztosítja azt, hogy a $P_{0,1}$ nem változhat hirtelen, így ezt a százalékosztályt nem szükséges simítani.

$$\begin{aligned}
 P_{1s} &= \frac{P_{0,7} + P_1 + P_{1,5}}{3} \\
 P_{3s} &= \frac{P_{2,2} + P_3 + P_4}{3} \\
 P_{10s} &= \frac{P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17}}{5} \\
 P_{50s} &= \frac{P_{30} + P_{50} + P_{80}}{3}
 \end{aligned} \tag{4.3}$$

A $P_{0,1}$; P_1 , P_3 , P_{10} és P_{50} azok a villogásszintek, amelyeket a flicker-görbe (eloszlásfüggvény) a megfigyelési periódus 0,1%, 1%, 3%, 10%, 50%-ában meghalad.

Gyakorlati tesztek igazolták a fenti módszer eredményességét különböző hálózati zavarokra. A $P_{st} = 1$ határérték szintet az emberre gyakorolt káros hatások figyelembevételével állapították meg. A zavaró hatások (fejfájás, ingerültség, stb.) elsősorban a $P_{st} = 1$ kritikus érték fölött jelentkeznek.

Hosszú idejű flicker-kiértékelés (P_{lt})

Kombinált hálózati hatások megjelenésekor mindenképpen szükségessé válik a hosszú idejű villogásmérés. Kombinált zavarhatást jelent pl.: a hegesztő transzformátorok, villanymotorok együttes alkalmazása, vagy nagyteljesítményű változó munkaciklusú kemencék, kazánok jelenléte a rendszerben.

A hosszú idejű villogás kiértékelési módszer a 10 perces rövid idejű feldolgozásokon alapul, amely értékek számítása akár offline-módon is történhet. A [17] előírja, hogy a hosszú idejű villogásértékeket a megfigyelési időszak minden napjának minden 2 órájára ki kell számolni, 12 db egymást követő 10 perces P_{st} érték felhasználásával [STANDARD 12, STANDARD 24], a következő definíció szerint:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{\sum_{i=1}^{12} P_{st\ i}^3}{12}} \tag{4.4}$$

A szabvány szerint, az így számolt hosszúidejű értékeknek normál üzemi körülmények között, egy hét bármely szakaszában $P_{lt} \leq 1$ -nek kell lennie az idő 95%-ában. Ez egyenértékű azzal, hogy az eloszlásfüggvény 95%-os értékéhez tartozó érték $P_{lt} \leq 1$.

Egyes mérőműszerekben [41] másfajta kiértékelések is elérhetőek, amelyek jól mutatják a felhasználó igényeire irányuló törekvéseket. A rövid idejű villogás-értékeket (elsősorban egyperces vizsgálatok esetén) a kis ideig tartó hálózati zavarhatások is erősen befolyásolják, és bár ez a zavarok pontos behatárolására jól alkalmazható, azonban az emberre ártalmas hatásokat csak a hosszabb időtartam kiértékelési eredményeit figyelembe vevő átlagolások mutatják. Így kétféle átlagolás is eredményesen használható [41]:

- A P_{lt} érték számítása 120 egymást követő egyperces P_{st} adatból, percenkénti frissítéssel:

$$P_{lt_k} = \sqrt[3]{\frac{1}{120} \cdot \sum_{i=0}^{119} P_{st}^3[k-i]} \quad (4.5)$$

- A P_{lt} érték számítása 12 egymást követő tízperces adatból, percenkénti frissítéssel (hasonlóan a szabványhoz):

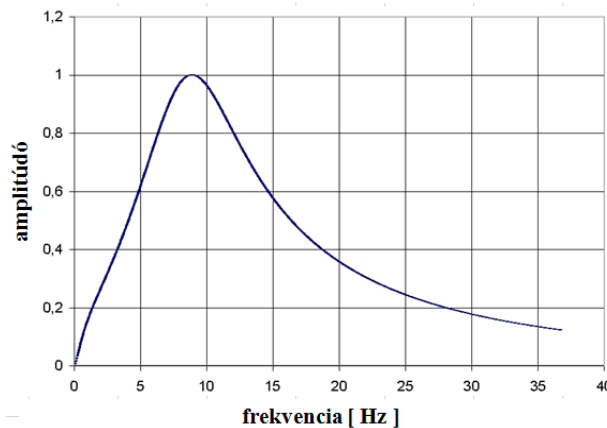
$$P_{lt_k} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \cdot \sum_{i=0}^{11} P_{st_{10}}^3[k-i \cdot 10]} \quad (4.6)$$

- ahol „k” végigfut a mérés minden percén, kivéve az első 119-et

4.5. Digitális villogásmérő-modul létrehozására tett javaslatok [17] szerint

A [17] az analóg megvalósítási javaslatok mellett, több helyen utal a digitális kidolgozás vonatkozásaira. A *digitális modul* központi eleme a 3. blokk. Az analóg modul leírása során, a 3. blokk egy összetett szűrőkaszkád segítségével, míg a digitális esetben egy speciális *komplex átviteli függvény* ($A(s)$) segítségével van jellemezve.

Ezen *komplex átviteli függvény* (4.6. ábra) definiálását mérnökök, orvosok és sok más szakterület hozzáértői kezdeményezték. Az így létrehozott átviteli függvény egyfajta súlyozást végez az emberi érzékelési görbének megfelelően. Az emberi idegrendszer érzékelésének megfelelően súlyozza a villogás mértékét, tekintettel a frekvenciaspektrumban megjelenő jelösszetevők eltérő hatásaira.



4.6. ábra: A komplex átviteli függvény ($A(s)$) amplitúdó-frekvencia karakterisztikája (a központi szűrőkaszkád blokk, eredő súlyfüggvénye)

Az átviteli függvény lehetőséget ad a nem szinuszos és sztochasztikus ingadozások helyes súlyozására, valamint az európai és amerikai villamos hálózat rendszereire történő egyszerűbb paraméter-beállításokra. Ennek következtében az analóg megvalósításna definiált szűrők csillapításait jobban figyelembe lehet venni:

$$A(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \cdot \frac{1 + \frac{s}{\omega_2}}{(1 + \frac{s}{\omega_3})(1 + \frac{s}{\omega_4})}, \text{ ahol } s: \text{ Laplace (komplex) operátor} \quad (4.7)$$

A κ , λ , ω_1 , ω_2 , ω_2 paraméterek javasolt értékeit (izzó lámpára) a szabvány [17] pontosan leírja [2.sz. FÜGGELÉK].

A [13-14][18] további előírásokat mond ki a különböző eszközök villogásmérésére, a hálózat flicker-kiértékelésére is, amelyek a villogásmérő-modul tervezése és kivitelezésében nem feltétlenül központi jelentőségűek, azért itt nem kerülnek bemutatásra.

5. DIGITÁLIS VILLOGÁSMÉRŐ-MODUL TERVEZÉSE

A digitális villogásmérési módszer kialakításának alapja az *emberi szem érzékenységét* leíró –korábban bemutatott– *komplex átviteli függvény* ($A(s)$), amelynek nagy pontosságú közelítése áll ennek a fejezetnek a középpontjában. Érintőlegesen bemutatásra kerül néhány korábbi (TDK-OTDK) eredményem is, amelyek elvezettek a helyes közelítés és módszer megtalálásához.

Továbbá megjegyzendő az is, hogy a digitális villogásmérő-modul realizálása során, kizárólag az emberi szem érzékenységét leíró blokk nagy pontosságú megvalósítása jelentett egyedül problémát, ezért szinte kizárólag csak ezen blokk modellezésével foglalkozom ebben a fejezetben. A többi blokk megvalósítása, felhasználva az analóg előírásokat, egyszerű matematikai jel-transzformációkkal és könnyen paramétereázható IIR Butterworth-szűrők alkalmazásával realizálható.

A központi kérdés az, hogy milyen módokon lehet a szabvány [17] által előírt komplex átviteli függvényt átalakítani, a diszkrét viselkedést leíró átviteli függvényre. A központi átviteli függvény a folytonos időtartománybeli viselkedést írja le (Laplace-operátorának segítségével), míg a transzformáció egy diszkrét időtartománybeli viselkedést leíró átviteli függvényre kell, hogy történjen. Természetesen, a legpontosabb közelítés kidolgozása mellett, olyan megoldás megtalálása is szükséges volt, amely az online kiértékelő rendszerre vonatkozó kritériumoknak is megfelel. Mindez azt jelenti, hogy a pontosság- és gyors kiértékelés kettős célt, együtt szükséges figyelembe venni a kidolgozásra irányuló törekvések során.

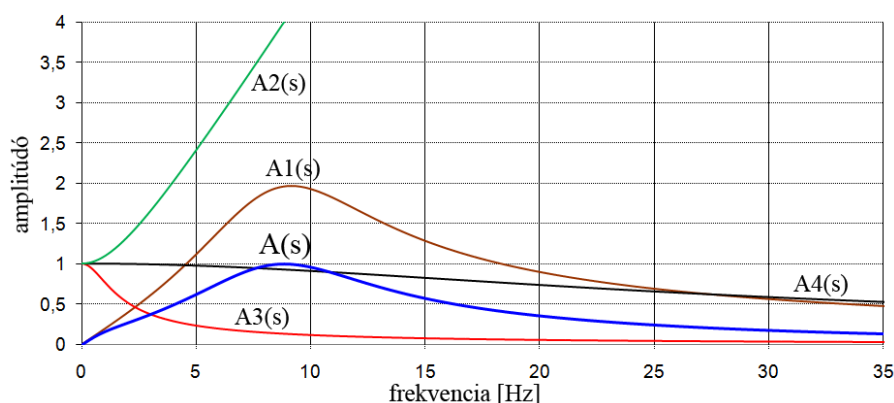
5.1. Komplex átviteli függvény közelítése IIR szűrőkaskád segítségével

Korábbi munkáim során, az analóg megvalósításhoz legközelebb álló IIR Butterworth-szűrők kaskádjával közelítettem az emberi szem érzékelését leíró blokkot. Az analóg javaslat szerint, egy sáváteresztő-lyukszűrő kaskádja jelenti a megoldást.

Az $A(s)$ komplex átviteli függvény, a felbontása során *négy egyszerű tagra* esik szét (**5.1. ábra; 5.1. formula**), amelyeket IIR szűrőkkel közelítettem. Az eredő átviteli függvény a rész átviteli függvények szorzatával, azaz az alkalmazott szűrők kaskádjával nyerhető vissza (**5.2. formula**), így a megfelelő megoldás megtalálásához, több szűrő kaskádjának kombinációjával foglalkoztam párhuzamosan.

$$A_1(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \quad A_2(s) = 1 + \frac{s}{\omega_2} \quad A_3(s) = \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_3}} \quad A_4(s) = \frac{1}{1 + \frac{s}{\omega_4}} \quad (5.1)$$

$$A(s) = A_1(s) \cdot A_2(s) \cdot A_3(s) \cdot A_4(s) \quad (5.2)$$



5.1. ábra: Az $A(s)$ komplex átviteli függvény (kék) és négy tagjának ábrázolása közös amplitúdó-frekvencia (Hz) diagramon

Az $A_1(s)$ átviteli függvény kétszeres erősítésével és jellegével jelentősen meghatározza az eredő átviteli függvényt. Az $A_3(s)$ és $A_4(s)$ átviteli függvények korrekciókat végeznek az eredő átviteli függvény előállításához. Az $A_3(s)$ jellegében exponenciálisan csökkenő súlyokat, míg az $A_4(s)$ egy közel lineáris csökkenés súlyait viszi be az eredő $A(s)$ meghatározásához. Az eddig említett $A_1(s)$, $A_3(s)$ és $A_4(s)$ átviteli függvényeket digitális *IIR Butterworth* típusú szűrők segítségével 1% alatti hibával, nagyon jól lehetett közelíteni. A rész-átviteli függvények ábrázolására és a szűrések pontosságának megállapítására korábban külön célszoftver is készült.

A problémát az $A_2(s)$ átviteli függvény okozta, amely jellegét tekintve egységnyi amplitúdóból indul és közel lineárisan növekszik. A súlyozás specialitását éppen ez az egységnyi amplitúdóval való konstans eltolás jelenti. A szűrő lineáris jellege egy *IIR Butterworth* szűrő segítségével is kiváltható, de ez a konstans eltolás egy *IIR* szűrő segítségével nem kezelhető. Bár *Fourier*-sorba fejtés segítségével egyszerűen kezelhetők a spektrum egyes komponensei, azonban ezen megvalósítási lehetőséget kizártam, a szakirodalomban tárgyal hátrányok miatt. *Fourier*-, inverz-*Fourier* transzformáció ugyanis transzparens módon, számos hibát vihet az átalakításba, amelyek miatt célszerűbb volt, valamilyen egyszerűbb megoldást keresnem.

A komplex átviteli függvény közelítését így célszerűbbnek tűnt *más stratégiával* kezelni, amelyre a legjobb közelítést egy *sáváteresztő-felüláteresztő-aluláteresztő IIR kaszkád* adta. Így komplett feldolgozószoftver készült az egymásután kapcsolt, tetszőlegesen konfigurálható szűrőre, ahol a lehető legpontosabb kaszkád-kombináció megtalálása volt a cél. A legjobb kaszkád-paraméter beállítása esetén sem volt azonban az alsó frekvenciatartomány közelíthető (1-4 Hz, 10-40% hiba), amely a kisfrekvenciás flicker szűrés miatt nem volt megengedhető, ezért ezt a megoldást is elvetettem!

5.2. Komplex átviteli függvény közelítése *z*-transzformációval

Az előző pontatlan közelítések miatt, egy teljesen új irányvonallal találtam meg a végleges megoldást. *Létrehoztam az emberi szem érzékelését leíró blokk nagypontosságú, digitális közelítését, bilineáris diszkrét z-transzformáció alkalmazásával*, amely együttesen teljesíti a pontosság és a gyors kiértékelés kritériumait. A bilineáris *z*-transzformáció egyik legfontosabb előnye a stabilis viselkedés, amennyiben egy stabilis analóg szűrő transzformálása történik. Ezen kritériumot az $A(s)$ komplex átviteli függvény maradéktalanul teljesíti. (Emiatt a

szűrő stabilitási kritériumainak vizsgálatától el lehet tekinteni.) Az átalakítás ilyenfajta, stabilis viselkedését, az „s” és „z” tartomány megfeleltetéséhez alkalmazott *Tustin-képlet* (5.4. formula) garantálja. Az ismert analóg-digitál átalakításhoz használt szűrők (pl.: Butterworth, elliptikus, Chebychev) mind egyszerűn képezhetők le ezen ismertetett transzformációval.

$$z = e^{sT_0} \quad s = \frac{1}{T_0} \cdot \ln z \approx \frac{2}{T_0} \cdot \frac{z-1}{z+1} \quad (5.3)$$

$$s = \frac{2}{T_0} \cdot \frac{z-1}{z+1} = \frac{2}{T_0} \cdot \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} \quad f_0 = \frac{1}{T_0} \quad (5.4)$$

ahol:

- s: Laplace-operátor (komplex frekvenciatartomány)
- z: a z-tartomány operátora (diszkrét időtartomány)
- z^{-1} : idővel való késleltetés jelentéssel bír; utal egy korábban kiszámított értékre;
- f_0 : mintavételi frekvencia
- T_0 : mintavételi idő (az egyszerűbb hivatkozás kedvéért a későbbiekben „T”)

Az említett $A(s)$ komplex átviteli függvényt –bonyolultsága miatt– kétféle módszerrel transzformáltam z-tartományba, amelyek végeredményképpen ugyanazt az eredményt szolgáltatottak; a kétféle közelítést önellenőrzésként használtam fel, amelyek közül –a könnyebb érthetőség érdekében– csak az egyiket mutatom be.

Az *egyik megoldás* során, az $A(s)$ komplex átviteli függvénybe azonnal történik a Tustin-képlet helyettesítése és rendezése, amely egy igen nagyméretű formulát eredményez; míg a *másik megoldás* esetében, először a komplex átviteli függvény számlálójának és nevezőjének egyszerűsítése történik, majd ezután következhet a Tustin-képlet behelyettesítése. Ez utóbbi levezetés fontosabb lépéseit ismertetem.

$$A(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \cdot \frac{1 + \frac{s}{\omega_2}}{\left(1 + \frac{s}{\omega_3}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_4}\right)} = \frac{A_{\text{számláló}}(s)}{A_{\text{nevező}}(s)} \quad (5.5)$$

Első lépésként a *számláló egyszerűsítése* történik:

$$A_{\text{számláló}}(s) = k\omega_1 s \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_2}\right) = k\omega_1 s + \frac{k\omega_1}{\omega_2} s^2 = a_1 s + a_2 s^2 \quad (5.6)$$

$$a_1 = k\omega_1 \quad a_2 = \frac{k\omega_1}{\omega_2} \quad (5.7)$$

Második lépésben *nevező egyszerűsítése* történik:

$$A_{\text{nevező}}(s) = (s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_3}\right) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_4}\right) \quad (5.8)$$

$$A_{\text{nevező}}(s) = (s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2) \cdot \left(1 + s \frac{\omega_3 + \omega_4}{\omega_3 \cdot \omega_4} + s^2 \frac{1}{\omega_3 \omega_4} \right) \quad (5.9)$$

Az $A_{\text{nevező}}(s)$ további egyszerűsítése után a következő adódik:

$$A_{\text{nevező}}(s) = b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3 + b_4 s^4 \quad (5.10)$$

ahol

$$b_1 = \omega_1^2 \quad b_2 = 2\lambda + \frac{\omega_1^2 \cdot (\omega_3 + \omega_4)}{\omega_3 \cdot \omega_4} \quad b_3 = 1 + \frac{2\lambda \cdot (\omega_3 + \omega_4) + \omega_1^2}{\omega_3 \cdot \omega_4} \quad (5.11)$$

$$b_3 = \frac{\omega_3 + \omega_4 + 2\lambda}{\omega_3 \cdot \omega_4} \quad b_4 = \frac{1}{\omega_3 \cdot \omega_4} \quad (5.12)$$

Ezután visszahelyettesítve az egyszerűsített átviteli függvénybe, amelybe beírva a Tustin-formulát történik –több lépésben– az egyszerűsítés [3.sz. FÜGGELÉK]. A legfontosabb lépések így a következők:

$$A(s) = \frac{A_{\text{számláló}}(s)}{A_{\text{nevező}}(s)} = \frac{a_1 s + a_2 s^2}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3 + b_4 s^4} = \frac{U_{\text{ki}}(s)}{U_{\text{be}}(s)} \quad (5.13)$$

$$A(z) = \frac{U_{\text{ki}}(z)}{U_{\text{be}}(z)} = \frac{a_{0x} + a_{1x} z^{-1} + a_{2x} z^{-2} + a_{3x} z^{-3} + a_{4x} z^{-4}}{b_{0x} + b_{1x} z^{-1} + b_{2x} z^{-2} + b_{3x} z^{-3} + b_{4x} z^{-4}} \quad (5.14)$$

ahol

$$a_{0x} = \frac{2a_1}{T} + \frac{4a_2}{T^2} \quad a_{1x} = \frac{4a_1}{T} \quad (5.15)$$

$$a_{2x} = \frac{-8a_2}{T^2} \quad a_{3x} = \frac{-4a_1}{T} \quad (5.16)$$

$$a_{4x} = \frac{4a_2}{T^2} - \frac{2a_1}{T} \quad (5.17)$$

$$b_{0x} = b_0 + \frac{2b_1}{T} + \frac{4b_2}{T^2} + \frac{8b_3}{T^3} + \frac{16b_4}{T^4} \quad b_{1x} = 4b_0 + \frac{4b_1}{T} - \frac{16b_3}{T^3} - \frac{64b_4}{T^4} \quad (5.18)$$

$$b_{2x} = 6b_0 - \frac{8b_2}{T^2} + \frac{96b_4}{T^4} \quad b_{3x} = 4b_0 - \frac{4b_1}{T} + \frac{16b_3}{T^3} - \frac{64b_4}{T^4} \quad (5.19)$$

$$b_{4x} = b_0 - \frac{2b_1}{T} + \frac{4b_2}{T^2} - \frac{8b_3}{T^3} + \frac{16b_4}{T^4} \quad (5.20)$$

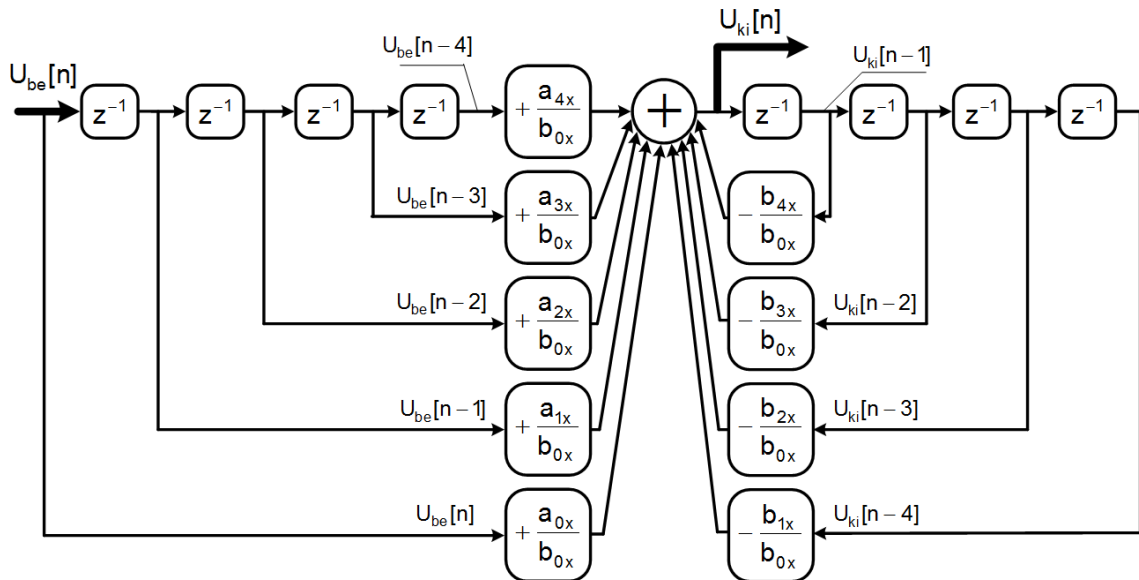
Átrendezés után a következő összetett formula határozható meg, amely jól mutatja a diszkrét időtartománybeli viselkedést:

$$\frac{U_{\text{ki}}(z)}{U_{\text{be}}(z)} = \frac{a_{0x} + a_{1x} z^{-1} + a_{2x} z^{-2} + a_{3x} z^{-3} + a_{4x} z^{-4}}{b_{0x} + b_{1x} z^{-1} + b_{2x} z^{-2} + b_{3x} z^{-3} + b_{4x} z^{-4}} \quad (5.21)$$

$$U_{\text{be}}[n-i] = z^{-i} U_{\text{be}}(z) \quad U_{\text{ki}}[n-i] = z^{-i} U_{\text{ki}}(z) \quad (5.22)$$

$$\text{Pl.:} \quad U_{be}[n-3] = z^{-3}U_{be}(z) \quad U_{ki}[n-1] = z^{-1}U_{be}(z) \quad (5.23)$$

$$\begin{aligned} U_{ki}[n] = & \frac{a_{0x}}{b_{0x}} U_{be}[n] + \frac{a_{1x}}{b_{0x}} U_{be}[n-1] + \frac{a_{2x}}{b_{0x}} U_{be}[n-2] + \frac{a_{3x}}{b_{0x}} U_{be}[n-3] + \\ & + \frac{a_{4x}}{b_{0x}} U_{be}[n-4] - \frac{b_{1x}}{b_{0x}} U_{ki}[n-1] - \frac{b_{2x}}{b_{0x}} U_{ki}[n-2] - \frac{b_{3x}}{b_{0x}} U_{ki}[n-3] + \\ & - \frac{b_{4x}}{b_{0x}} U_{ki}[n-4] \end{aligned} \quad (5.24)$$



5.2. ábra: A kidolgozott digitális szűrő transzverzális modellje, jelölve a legfontosabb koeficienseket

$U_{be}[n]$	$U_{ki}[n]$
$U_{be}[n-1]$	$U_{ki}[n-1]$
$U_{be}[n-2]$	$U_{ki}[n-2]$
$U_{be}[n-3]$	$U_{ki}[n-3]$
$U_{be}[n-4]$	$U_{ki}[n-4]$

5.3. ábra: A kidolgozott digitális szűrő működéséhez szükséges átmeneti puffer

A kidolgozás eredményeként, létrejött egy olyan digitális szűrő, amelynek minden paramétere ismert (számláló- és nevezőbeli koeficiensek), így szükség esetén rugalmasan finomhangolható egy kívánt feladathoz. Az összes koeficiens paraméter ismeretével, a mintavételi frekvencia beállítása egyszerűvé válik, továbbá a kívánt feladat előírt hálózati minőség vizsgálati kritériumaihoz hangolható. Így válik lehetségessé a létrehozott villogásmérő-modul rugalmas beállítása.

5.3. Az kidolgozott digitális szűrő tesztelése

Szimulációs eljárást fejlesztettem, az újonnan megvalósított digitális szűrő (5.4. ábra) pontosságának és működésének tesztelésére, amely kulcsfontosságú lépés volt a komplett digitális villogásmérési módszer kialakítása és komplett modulként történő megvalósítása előtt.

A szimulációs eljárás megvalósítása, *NI LabWindows CVI* szoftverkörnyezetben kialakított tesztprogrammal történt, előrevetítve a digitális szűrő villogásmérő-modulba történő beépítéséhez szükséges követelményeket. Az eljárás nagypontosságú változókat használ (10^{12} - 10^{16}), amely a digitális szűrő kis hibával történő működéséhez elengedhetetlen. A digitális szűrés tulajdonképpen egy adatmintákon (adatsorozaton) alapuló iterációs-matematikai transzformáció, amelynek során a fokszámtól függő számú bemeneti és kimeneti minta is részt vesz az átalakításban (**5.3. ábra**). A komplex átviteli függvény digitális megfelelője egy negyedrendű transzformáció, amely az alacsony foksám miatt, kis beállási idejével, valamint stabilis működésével jelent megfelelő megoldást, amelynek ellenőrzésére a kialakított tesztelési eljárásom segít objektív képet adni.

A digitális szűrő tesztelését az előírások szerint, ≤ 35 Hz-es frekvenciatartományon szükséges csak ellenőrizni (**5.4. ábra**), ugyanis a flicker-számításokhoz használt transzformációk egyszerűen kiszűrjük az ezen a frekvenciatartományon kívül eső frekvenciakomponenseket. Mindez jól követi az emberi szem-agy nemlineáris válaszából eredő fizikai-biológiai tulajdonságokat. Szimulációs eljárásomban, emiatt különleges bemeneti jelet választottam az új digitális szűrő ellenőrzéséhez, amely a következő:

$$u_{\text{generált}}(t) = \sum_{j=1}^{35} U_{\text{max}} \cdot \sin(\omega_j \cdot t), \text{ ahol } U_{\text{max}} = 1 [\text{V}] \quad (5.25)$$

ahol:

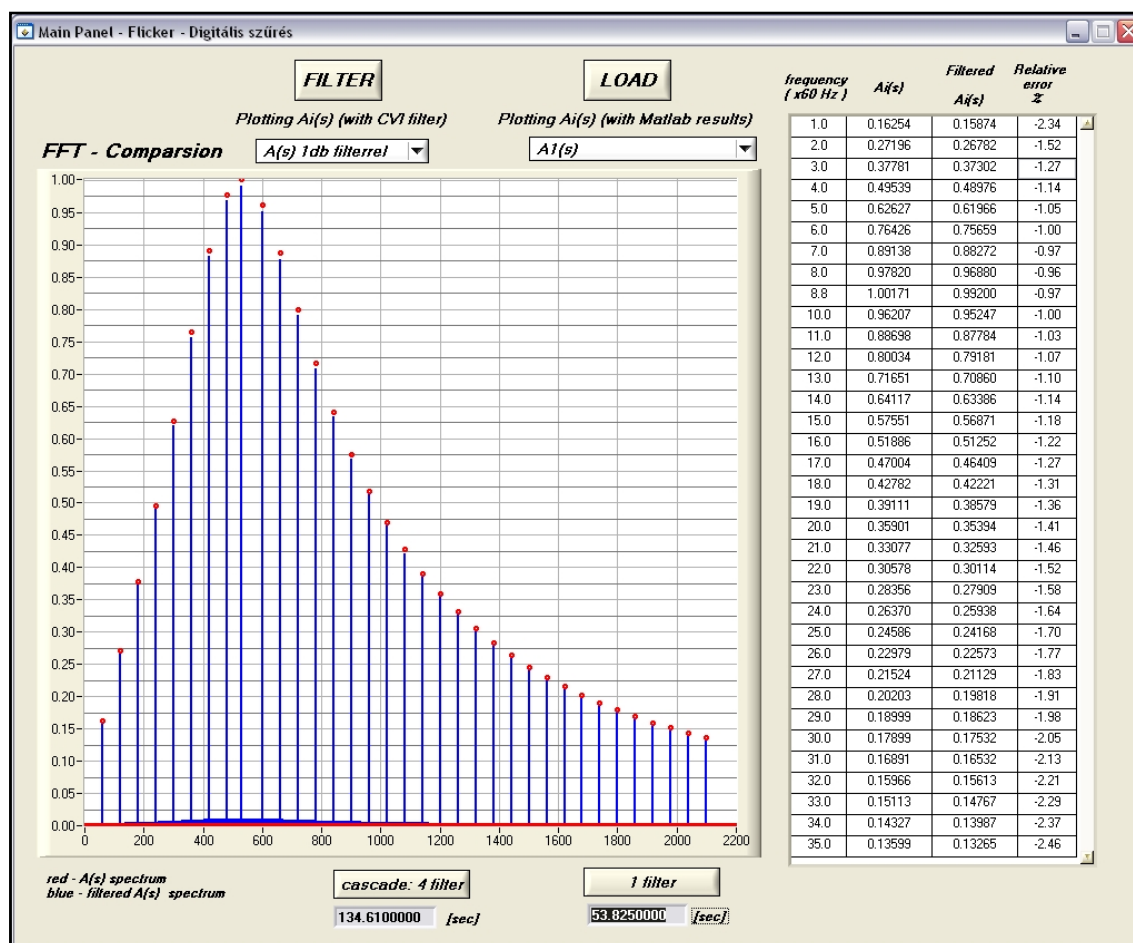
- $u_{\text{generált}}(t)$: a generált 60 sec hosszúságú jel
- U_{max} : a generált szinuszos harmonikusok egységnyi amplitúdója
- ω_j : a generált harmonikus jel körfrekvenciája

A digitális teszteléshez, egy több felharmonikust tartalmazó 60 sec hosszúságú jel szolgált (**5.25. formula**), amely a villogásszámítás szempontjából fontos frekvenciatartományon (≤ 35 Hz), egységnyi amplitúdójú harmonikusokat tartalmaz. A praktikus megválasztott frekvenciatartomány és harmonikus amplitúdók együttesen biztosítják azt, hogy a időtartományban generált jelet digitálisan szűrve, a kapott kimeneti (időtartománybeli) jel frekvenciaspektruma, azaz éppen a digitális szűrő átviteli függvénye adódik. A digitális szűrő pontosságának megállapításához, szimulációs eljárásom a szűrő átviteli függvényét, a szabványban definiált komplex átviteli függvény spektrumával hasonlítja össze. A spektrumbeli komponensek egymástól való eltéréséből definiálható a komponensek relatív hibája a következőképpen:

$$h_j = \frac{A_j^{\text{digitalis}} - A_j^{\text{referencia}}}{A_j^{\text{referencia}}} \cdot 100\% \quad (5.26)$$

ahol:

- h_j : a digitális szűrő j-edik komponensének relatív hibája (%);
- $A_j^{\text{digitalis}}$: a digitális szűrő j-edik harmonikus-amplitúdója a spektrumban;
- $A_j^{\text{referencia}}$: a komplex átviteli függvény j-edik harmonikus-amplitúdója a spektrumban;



5.4. ábra: Az újonnan létrehozott digitális szűrő átviteli függvényének összehasonlítása, a szabványban rögzített komplex átviteli függvényvel (piros: az eredeti átviteli függvény; kék: a saját módszerrel közelített digitális szűrő átviteli függvénye)

Az ellenőrzés során, kezdetben rögzítettem a mintavételi frekvenciát (800 Hz) és a tesztelés időtartamát (60sec; 48000 minta), és ilyen beállítások mellett teszteltem a szűrő működését, majd betartva a digitális szűrő spektrumára vonatkozó határfrekvenciát (Shannon-tétel), természetesen más (egész) mintavételi frekvenciákon is ellenőriztem a szűrő működését. Ez tapasztalataim szerint nem befolyásolta az eredményeket; a szűrő minden mintavételi frekvencián stabilis működésű volt (rugalmas beállíthatóság).

A tesztelés eredménye szerint (5.4. ábra), a szűrő legnagyobb hibája a frekvenciatartomány legkritikusabb pontjain (≤ 5 Hz) is kisebb 2,3%-nál, amely figyelembe véve a korábbi szűrőkaszkád és más közelítések közel egy nagyságrenddel nagyobb hibáját, kielégítőnek mondható. Így a tesztelés során, a létrehozott szűrő rövid beállási ideje és dinamikus, pontos működése is igazolást nyert. (A dinamikus viselkedésének és pontossági vizsgálatának ellenőrzése tovább is folytatódott, a további fejezetekben ismertetendő, önálló villogásmérő-modul létrehozásával és valós mérések megvalósításával.)

A villogásmérő-modul tesztelésére a legtöbb előírás az 5%-os (egyes esetekben 8%-os), hibahatárt írja elő és figyelembe véve a más modulkomponensek okozta eredő halmozó hibát is, egyszerűen teljesíthető a kritérium. Mivel a villogásmérő-modul további komponensei egyszerűbb szűrő algoritmusokat és matematikai transzformációkat igényelnek, ezért ezen központi szűrőkaszkád pontos közelítése jelenti a legfontosabb kritériumot. Az fent leírtak miatt

jelenthető így ki, hogy megfelelő pontosságú közelítését sikerült megtalálni a központi átviteli függvénynek.

5.4. A digitális villogásmérési módszer gyakorlati megvalósítása

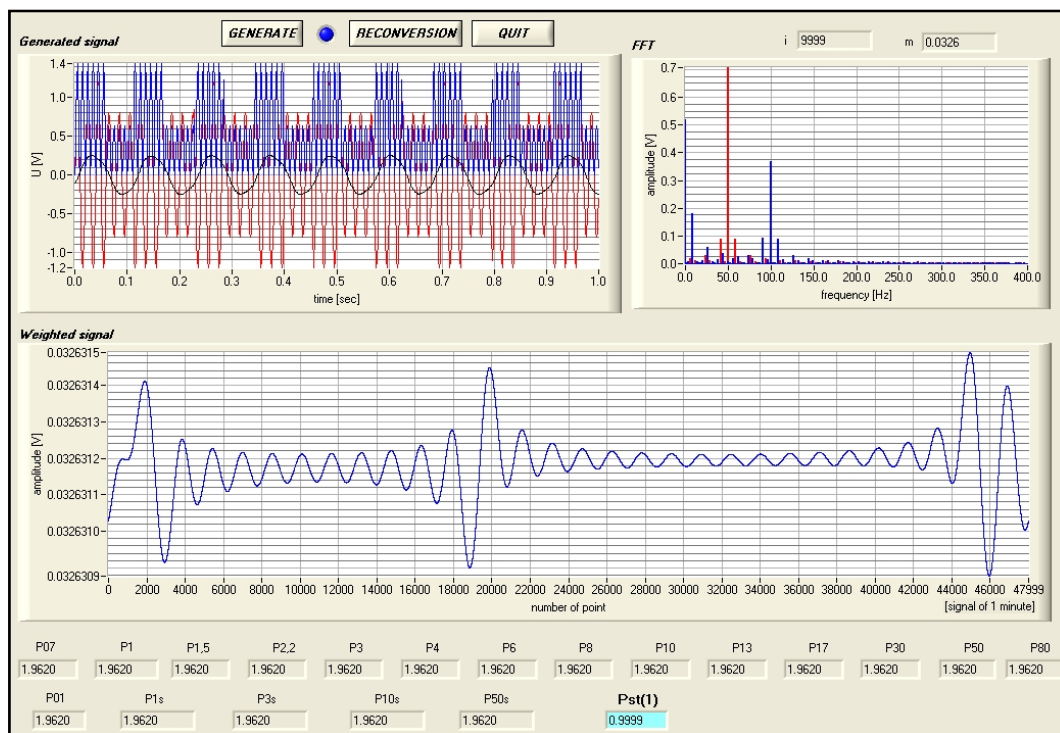
Szimulációs szoftvert fejlesztettem a digitális villogásmérési módszer gyakorlati megvalósítására, amelynek során a digitális modul minden szükséges eleme (transzformációs lépések) kialakításra került (4.3. ábra; 4.4. ábra). A megvalósításakor nagy odafigyelést igényelt a statisztikai modul kialakítása is, amely az előírásokban szereplő idő-variációs eljárás kidolgozását igényelte.

A végleges villogásmérési módszer gyakorlati megvalósítása két fázisban történt, amely fázisok jól tükrözik a központi szűrőkaszkád modul fejlesztésének kezdeti próbálkozásait, és a kialakult problémák megoldásának időbeli sorrendjét. Az itt említett villogásmérési módszerek különbözősége, egyedül az emberi szem-modelljét leíró központi súlyozó szűrők megvalósításánál jelentkezik; ahol az:

- *első fázisban* Fourier- és inverz Fourier-transzformációval történt, míg a
- *második fázisban* a (z-transzformációs eredményként kapott) nagy pontosságú *digitális szűrő* segítségével történt a realizálás.

Az *első fázisban* megvalósított Fourier- és inverz Fourier-transzformációs megoldás azért volt szükséges, ugyanis korábban nem állt még rendelkezésemre pontos megoldás a központi szűrőkaszkád modellezésére. Emiatt a lehető legpontosabb megoldást kellett alkalmaznom azért, hogy a villogásmérő-modul eddig nem kidolgozott részeit képező, kisméretű komponensek egységes működését tanulmányozhassam. A kialakított módszer lényege egy többlépéses idő- és frekvenciatartománybeli transzformáció, amellyel az akkor még nem ismert, digitális szűrés folyamatot váltja ki. A módszer, az emberi szem-modul bemenetén megjelenő időbeli jelsorozaton, Fourier-transzformációval határozza meg a jel spektrumát; majd az ismert komplex átviteli függvénynek megfelelően súlyozza a frekvenciakomponenseket; végül időtartománybeli visszaalakítást végez inverz Fourier-transzformációval, pontosan helyettesítve a központi szűrőkaszkádot. Az eredmény nagyon pontos megoldást ad, és bár a szakirodalomban több helyen alkalmaznak ilyen megoldást a központi szűrőkaszkád helyettesítésére, azonban hátrányai miatt [72] ezt a megoldást elvettem. (Az FFT-alapú módszer legnagyobb hátránya a mintavételi frekvencia rögzítése; de problémát jelent a harmonikusok frekvenciájának ingadozása, vagy az interharmonikusok problémaköre is, amelyeket éppen a spektrumsúlyozások rugalmatlan, sok esetben bonyolultabb korrekciós eljárásokat igénylő kezelése okoz.)

A kizárólag szimulációs körülmények között (erősen korlátozott bemeneti jelsorozatok) működő Fourier-transzformációs megoldás mégis jó lehetőséget adott, a villogásszámítási módszer tökéletes megvalósításához elengedhetetlen, modulkomponensek kidolgozására. Végeredményként, sikeresen gyakorlatba ültettem a digitális villogásszámítási módszer minden komponensét (5.5. ábra).



5.5. ábra: Szimulációs szoftver a digitális villogásmérő komponenseinek realizálására, megjelenítve a transzformáció leglátványosabb lépéseit; alsó grafikonon a pillanatnyi villogásértéket felelős, statisztikázás előtt álló P_{inst} időfüggvényt

A második fázisban a központi szűrőkaszkád helyére, az újonnan létrehozott digitális szűrő került beépítésre, amely eleget tett a pontos, rugalmas, ráadásul megbízható működési feltételeknek, kiküszöbölve a Fourier-eljárás több helyen (pl.: spektrumbeli súlyozás) bizonytalan működését.

Az digitális villogásmérő-modul ráadásul, eleget tesz az univerzalitás fogalmának is, ugyanis moduláris jellegű komponens-illesztése a szabványi követelményváltozásokból, vagy más okból származó módosításokat is lehetővé teszi, amelynek szükségességére napjaink gyorsan átalakuló energiamínőségi-követelményei jelentik a legfőbb indokot. A moduláris komponens-illesztéseknek köszönhetően lehetséges a kívánt rész finomhangolása, vagy kritikus esetben cseréje, amelyet a most bemutatott fázisokban ki is próbáltam.

6. ONLINE VILLOGÁSMÉRÉSI MÓDSZER GYAKORLATI MEGVALÓSÍTÁSA

Ezen fejezetben bemutatásra kerül egy általam kidolgozott online (folyamatos) mérési módszer, felhasználva a korábban bemutatott digitális mérési módszer (és megvalósított modul) adottságait. Továbbá ismertetetem az online módszeren alapuló megvalósítás konkrétumait, az így létrejött, beépíthető online villogásmérő-modult és annak gyakorlati alkalmazhatóságához szükséges követelményrendszert is. Az online modul egyszerű beépíthetőségének igazolására, a modult integráltam egy online hálózatdiagnosztikai szoftverbe is, amellyel ellenőrző mérések végzésére is sor került.

6.1. Az online mérési módszer kommunikációs interfészei

Az online mérési módszer a korábban bemutatott digitális mérőmodul alkalmazására épül, amelynek során a modul interfészeinek definiálása jelentette a legfontosabb feladatot (6.1. ábra). Az online mérési- és számítási módszer legfontosabb feladata a folyamatos eredménykalkuláció (elsősorban P_{st} értékek számítása), és az ezzel párhuzamosan történő adatmentés elvi megvalósítása. A létrehozott online modul kialakításához, így a lehető legegyszerűbb interfészeket definiáltam, amely az egyszerűbb további rendszerillesztésekhez járul hozzá. Az online villogásszámítási módszer így csak a következő kompakt interfészen keresztül kommunikál környezetével. Ez a következőket tartalmazza:

- a bemeneti oldalon:
- a flicker számításához szükséges mintavételezett feszültségmintákból álló adatsor (bemeneti minták) fogadására szolgáló bemenet; és
- a villogásmérő mintavételi frekvenciájának megadására szolgáló bemenet (előírás szerint [17] ez legalább 450 Hz-es mintavételi frekvenciát jelent);
- a kimeneti oldalon:
- a rövididejű villogásértékeket (P_{st}) előállító kimenet; végül
- az opcionálisan elhelyezett, pillanatnyi villogásérzetet szolgáltató transzformált időbeli jeleket (P_{inst}) kimenete, amely tulajdonképpen a statisztikai modul bemeneti jele a villogásszámítások előtt.



6.1. ábra: Az online villogásmérő-modul interfészei

A körülhatárolt interfész-paraméterek kimondottan fontosak az online számítási módszer alkalmazása esetén, ugyanis a modul ezeken keresztül kommunikálhat környezetével. Egy megfelelően kialakított modul, működési szempontból fekete-dobozként tekinthető, ahol használatukhoz elegendő ismerni azok funkcióját és interfész-paramétereit. Mindezen felül,

napjaink multiprocesszoros rendszereinek többtaszkos („*multitasking*”) eljárásai, továbbá párhuzamos művelet-végrehajtási képességük igénylik a feladatok szimultán végrehajtását, amely csakis ilyen jól körülhatárolt modulokon keresztül történhet meg. Az online villogásmérő-modul ennek megfelelően úgy lett kialakítva, hogy a lehető legegyszerűbb interfészekon keresztül kommunikáljon környezetével, azaz különálló műveletvégrehajtási-egység lehet bármely rendszerbeli megvalósítás esetén.

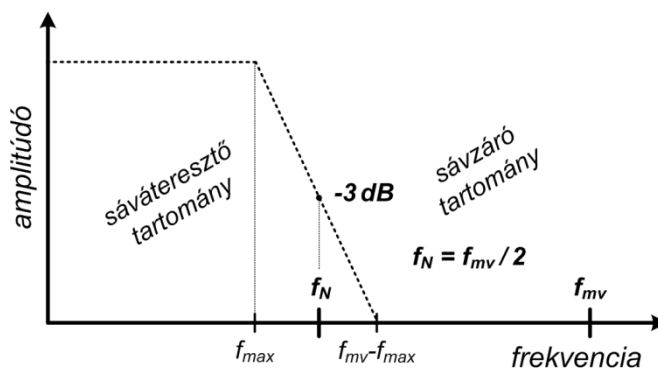
6.2. A mintavételi frekvencia rugalmas beállítására alkalmas módszer gyakorlati megvalósítása

Az online villogásmérő-modul rugalmas alkalmazhatóságát legfőképpen mintavételi frekvenciájának egyszerű változtatása teszi lehetővé. A mintavételi frekvencia beállítása természetesen bizonyos szabványi követelményeknek és más kötöttségeknek (pl.: *Shannon-tétel*) is eleget kell tennie. A legújabb szabványi előírások ráadásul új flicker-mérő osztályokat is definiálnak (lásd később), amelyeknél ezen kiemelt paraméter jelenti a legfontosabb szempontot.

Az online mérési módszer elveinek kidolgozása, továbbá gyakorlatba ültetése elsősorban a mérésadatgyűjtéssel történő (kellően összehangolt) működést kíván meg. A mai modern többmagos (többszálas) programozás során, egyetlen adatgyűjtő kártya ugyanazon bemeneteit sokszor azonos időben, többcélúan szükséges használni. Konkrét példát említve, pl.: ugyanazon analóg bemeneti csatornák segítségével egyszerre szükséges a hálózati frekvencia pontos meghatározása, a teljesítmény-, teljes harmonikus torzítás- és további paraméterek számítása, amely feladatok akár eltérő mintavételezési tulajdonságokat igényelhetnek. Ezen probléma feloldásához a mai fejlett szoftverek egyetlen nagy mintavételi frekvenciával működő adatgyűjtési taszkot definiálnak, amely kizárólag egy átmeneti FIFO memóriába történő adatgyűjtéssel foglalkozik, és amennyiben szükséges, más taszkok –a mintavételezéstől függetlenül– ezen átmeneti bufferben lévő digitális adatsorozatot használják fel a számításokhoz.

A folyamatos (online) számítások során ráadásul a számításigényt minimumra próbálják meg lecsökkenteni azért, hogy a lehető legkisebb mintavételi frekvenciával (így legkevesebb adatmintát felhasználva) történjenek a számítások. A mintavételi frekvencia és mintaszám csökkentéséhez általában az ún. „*anti-aliasing*” és „*downsampling*” eljárások kombinációját használják leggyakrabban [2]. Ezáltal érhető el könnyen az, hogy a nagyobb adatsorozatokat (mintavételi frekvenciát), kisebb méretű adatsorozatokra csökkentsék, természetesen figyelembe véve a redukált adatsorozat frekvenciaanalízisének követelményeit (pl.: utolsó analizálandó harmonikus). Azért, hogy elkerüljék a mintaszám-csökkentéskor megjelenő nem kívánatos frekvenciakomponenseket, ezért a minták egyszerű „leszámlálása” mellett használt magasabb fokszámú (nagymeredekségű) aluláteresztő szűrőt (ún. *anti-aliasing filtert*) használnak.

Az alkalmazott aluláteresztő szűrő legfontosabb követelménye az, hogy a szűrő 3 dB-es határfrekvenciáját a mintavételi frekvencia felére (vagy kevesebbre) tegyék, ugyanis ez garantálja a nem analizálható frekvenciákon ($f_{mv}/2 \leq$) előforduló harmonikusok teljes eliminálását (6.2. ábra). Az anti-aliasing szűrő gyakorlatba ültetése egyszerű volt, azonban a szűrés után alkalmazott mintaszám-csökkentési folyamat, a valóságos FIFO-műveletek miatt egyértelműen nagyobb odafigyelést kívánt meg a leszámolás során.



6.2. ábra: Az anti-aliasing szűrő határfrekvenciájának helyes beállítása



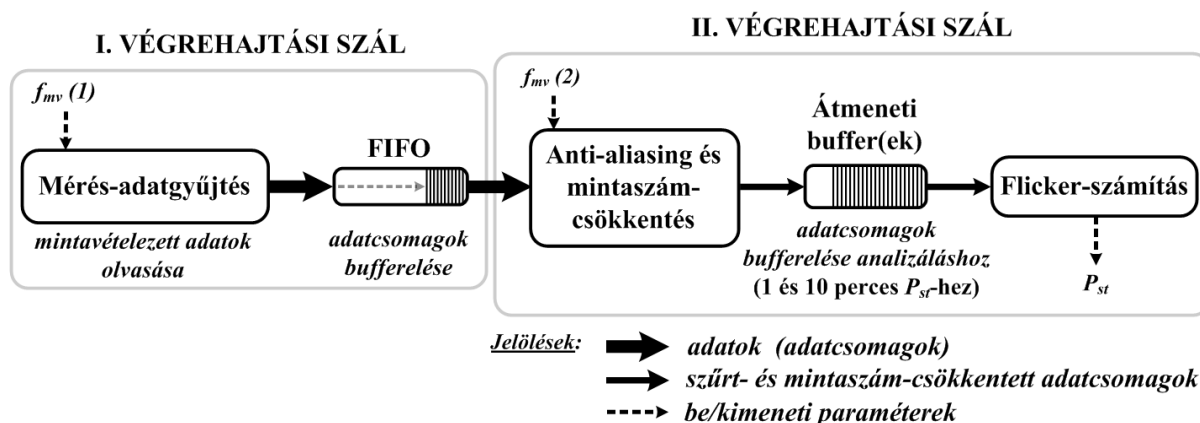
6.3. ábra: A megvalósított online villogásmérő-modul funkcionális (belső) felépítése

Az online működés modellezéséhez két alapvető feladatkör adódik: mérésadatgyűjtést kell végezni a kijelölt bemeneti csatornákon; valamint a mérésadatgyűjtéssel szinkronban szükséges végezni az antialiasing- és mintaszám-csökkentési eljárásokat, amennyiben pedig letelik a megfigyelési időszak (pl.: 1 min, 5 min, 10 min), el kell végezni a rövididejű flicker-számításokat. A két kellően elkülönített feladat egyes részei igényelnek csak közvetlenül összehangolt (szinkron) működést, azonban a villogásértékek számítása láthatóan aszinkron működést igényel. A szinkronizált működést igénylő műveletekhez, egy előre definiált FIFO memóriaterület szükséges, amelynek optimális mérete garantálja a különböző periodicitással dolgozó végrehajtási szálak írási- és olvasási műveleteinek összehangját; míg a villogásérték-számítás aszinkron működéséből eredő eltérések további bufferek segítségével kompenzálhatóak ki.

Amennyiben a flicker-számítások mellett más paraméterek online számítását is végzik, akkor indokolt lehet a mérésadatgyűjtés során használt nagyobb mintavételi frekvencia; ilyen esetben különös fontosságú a flicker-számítást megelőző anti-aliasing- és mintaszám-csökkentési eljárások megfelelő alkalmazása (6.3. ábra). (Amennyiben a központi adatgyűjtő szál mintavételi frekvenciája és a villogásmérő-modul frekvenciája megegyezik egymással, akkor a alias-mentesítés és mintaszám-csökkentési folyamat elmaradhat. Az F_1 osztályos nagyobb mintavételi frekvenciát igénylő működés alkalmával ilyen eset is előfordulhat.) Annak megállapítása, hogy milyen mintavételi frekvenciát alkalmazzon az online villogásmérő-modul, elsősorban a figyelembe veendő szabványi előírásoktól és a modul optimális működéséhez szükséges beállítási követelményektől függ, amelyekről a kalibrálási módszer leírása során esik majd szó a későbbi fejezetekben.

Az online flicker-számítási eljárás (modul), funkcionálisan három művelet integrációjának tekinthető: anti-aliasing, mintaszám-csökkentés, flicker-számítás (6.3. ábra); emiatt gyakorlati megvalósítását tekintve, önálló *feladatkezelő szálként* alkalmazható, amely nagyban egyszerűsíti beépíthetőségét (6.4. ábra).

A **6.4. ábra** ábrázolja azon gyakorlatban megvalósított felépítést, amely egy valóságos, nagy mintavételi frekvenciával működő mérésadatgyűjtő szálhoz történő illesztés részleteit mutatja be. Az elrendezés egyik legfontosabb része az alkalmazott FIFO, amely a két különböző végrehajtási szál közötti kommunikációt hajtja végre, adott méretű adatminta-csomagokon keresztül (szinkron jellegű működés az adatgyűjtés és mintaszám-csökkentés között); másrészt a flicker-buffer, amely a rövididejű villogásértékek számításához pufferele az „alias-mentesített”, mintaszám-csökkentett jelsorozatot.



6.4. ábra: A megvalósított online villogásmérő-modul adatkommunikációjának elvi felépítése

A flicker-számítás a *II. végrehajtási szál* bufferén keresztül történik (P_{inst} jelsorozat előállítása statisztikázásra; P_{st} -számítás), ahol az átmeneti adattárolás- és számítást vezérlő stratégia kialakítása nagyfokú körütekintést igényelt. A problémát a megfigyelési időszak után számítandó P_{st} értékek okozzák, ahol a kijelölt 1, 2, 5 vagy 10 perces periódusonként szükséges a P_{st} értékek előállítása. Az értékek átmeneti tárolása és megfigyelési időszak utáni azonnali feldolgozása, a mai megnövekedett tárolókapacitások (memória), illetve processzorkapacitás miatt rutinszerű feladatnak tűnik. A tapasztalat szerint azonban, a kisebb mintavételi frekvencián történő optimalizálatlan buffer használat a feldolgozáskor tényleg nem vezet problémához, azonban a nagyobb frekvencia esetén optimalizálatlan („kapacitásokat pazarló”) működés nem engedhető meg. A legnagyobb kérdés ugyanis az, hogy lehetséges-e a flicker-számítást valamilyen módon, részekre bontani úgy, hogy a számítás a lehető legkisebb műveletigény és legnagyobb gyorsaság mellett legyen végrehajtható (azaz a legkisebb adatfeldolgozási egységet kell meghatározni).

Részleteiben tekintve a feldolgozási folyamatot: a legrosszabb eset az, ha a nyers minták adatgyűjtése különálló 1, 2, 5 és 10 perces bufferek használatán keresztül történik, ahol a megfigyelési időszakok letelte után azonnal megtörténik a rövid idejű villogásértékek számítása. Ilyen esetben a nagymennyiségű nyers adatok feldolgozása indokolatlan és időben kiegyensúlyozatlan terhelésnövekedésekhez vezethet (az 1 és a többperces számítások több esetben egybeesnek!), amelyet természetesen meg kell akadályozni. Ezen számítási módszer a transzformációs lépéseket tulajdonképpen „brute force” alapokon végzi, amelynek a különböző időalapokon számított P_{st} -k feldolgozása, mindenféle elő-feldolgozást vagy részfeldolgozást nélkülöz, így teljes buffer méretű nyersadatokon kerülnek számításra, amely tapasztalatok szerint is nagyon megterhelő a feldolgozóegységnek. Ez a megoldás így felesleges processzor- és memóriaigény támaszt a feladatokra, amely természetesen rontja a hatékonyságot. A P_{st} értékek

számítása leggyakrabban egy- és tízperces időalapon működik, ahol a tízperces P_{st} értékek számítása, már kisebb mintavételi frekvencia esetén is gondot okozhat a processzornak, így ennél egy jóval hatékonyabb megoldást fejlesztettem. A fent említett megoldást egyszerű volt kidolgozni, így teszteredményekkel igazoltam működőképességét és hatékonyságában rejlő tartalékokat.

A hatékonyabb számítás érdekében új, átgondolt számítási módszert és ezen alapuló gyakorlati megoldást hoztam létre. Az online modul moduláris felépítésének, és ezen felépítés indikálta funkcionális szeparáltságnak köszönhetően, a kevésbé hatékony, szimpla „*bufferelés-számítás*” egységét, egy bonyolultabb többfázisú adatfeldolgozásra cseréltem, amellyel még hatékonyabbá tettem a flicker-számításokat. A *többlépcsős adat-transzformáció* kialakításához a legfontosabb döntés annak mérlegelése volt, hogy a nagyobb időalapú, többperces (pl.: $P_{st\ 10min}$) adatfeldolgozáshoz, a flicker-számítások bonyolult transzformációs folyamatát hol lehet részeire bontani. A flicker-számítás egyes transzformációs lépései bár jól elkülöníthetők egymástól, valamint egyszerűen illeszthetők; szükség szerint rugalmasan módosíthatók, vagy cserélhetők (univerzalitás), ám a számítási eljárás több egymással összefüggő, valamint egymásra épülő számítási transzformációt tartalmaz, amely a lehetséges elő-feldolgozások lehetőségét nehezíti meg. Ez azt jelenti, hogy az elviekben is összetartozó, viszonylag bonyolult transzformációs lépéseket (pl.: a „lámpa-szem-agy” nemlináris választ kialakító szűrő-súlyozást) nem érdemes szétválasztani hatékonyságnövelés érdekében. Így egyetlen hely marad a szétválasztásra: a *statisztikázást végző modul bemeneti jelsorozata* (P_{inst}), amely elő-feldolgozott jelen már csak az idő-variációs eljárás statisztikai számítását szükséges elvégezni a kívánt P_{st} értékek meghatározásához. Ez a megoldás elméleti szempontból is megállja a helyét, ugyanis a statisztikázásra kerülő adatsor minden esetben egy amplitúdótól független, tulajdonképpen normalizált jelsorozatot tartalmaz, ahol a modulációs változások normalizált amplitúdója és azok időbeli hosszúsága jelenti a meghatározó tényezőt.

Az újfajta online számítási módszer már *kétfajta funkcióval* rendelkező buffert alkalmaz a számítások menedzseléséhez, amely erősen eltér az előző, kizárólag a nyers adatok gyűjtésére használt buffer-tárolóktól. Az alkalmazott bufferek szerepét tekintve, a folyamatos adatgyűjtésből származó nyers adatok tárolása „egyperces” bufferben történik, míg a legnagyobb időalaphoz megfelelő (általában 10 min) méretű buffer szolgál az előzetesen statisztikázott (elő-feldolgozott) jelsorozatok időben inkrementális tárolásához. Ennek során, a nagyméretű buffer már nem szimpla, nyers adatsorozatot tartalmaz, hanem az (elő-feldolgozott) statisztikázásra váró adatokat. Az online számítás úgy működik, hogy az egyperces időintervallumokat követően azonnal kiszámításra és tárolásra kerülnek az $P_{st\ 1min}$ értékek, egyben az egyperces statisztikázásra szánt jelsorozat (P_{inst}) átmásolásra kerül, a funkcióját tekintve statisztikára szánt nagyméretű átmeneti tárolóba; a tárolóba másolt adatokon, a megfigyelési időszak letelte után, statisztikázással lehet határozni a P_{st} értékeket (pl.: $P_{st\ 2min}$, $P_{st\ 5min}$, $P_{st\ 10min}$).

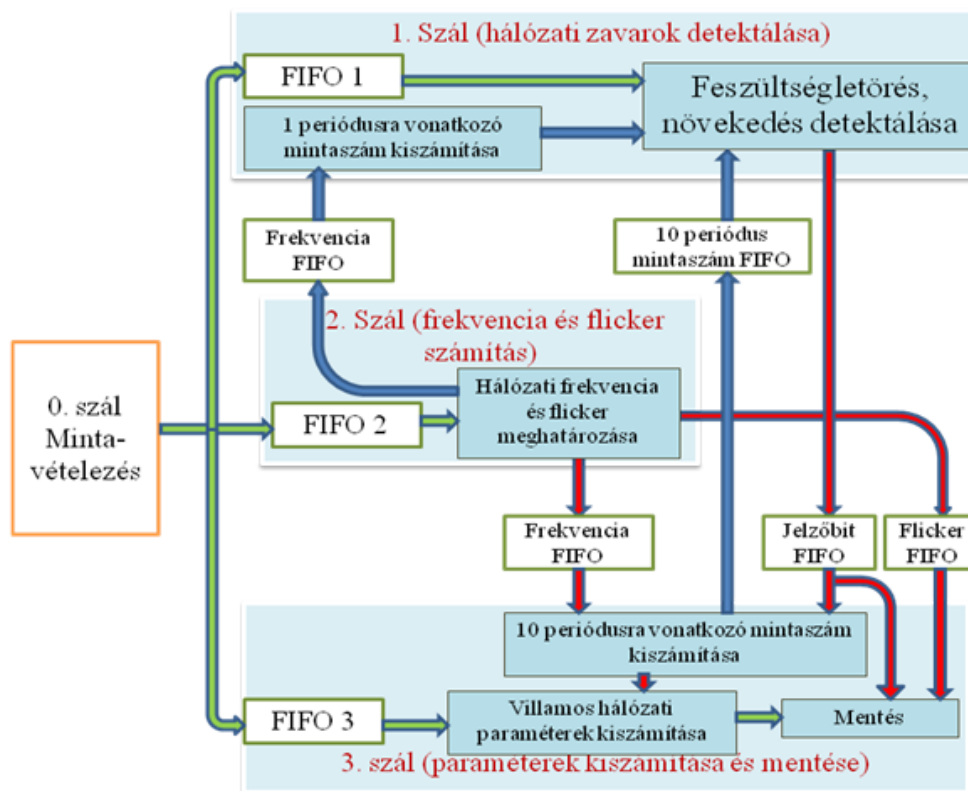
A kifejlesztett módszer nagyságrendekkel hatékonyabbá teszi az eljárást, hiszen ebben az esetben már nem a teljes adat-transzformáció végrehajtása szükséges a megfigyelési időszak(ok) letelte után végrehajtani, hanem az elő-feldolgozott adatokon végrehajtandó kevésbé műveletigényes statisztikázás kell az eredmények meghatározásához.

A gyakorlatban történő megvalósítás teljes mértékben igazolta ezen új számítási módszer eredményes alkalmazhatóságát a nagyobb időalapokon (2, 5, 10 min) rövid idejű villogásértékek meghatározására. Egyben az új módszeren alapuló megvalósítás lehetővé teszi azt is, hogy a korábban használt maximálisan néhány kHz-es mintavételi frekvenciát, tovább lehessen növelni. Így akár a csatornánkénti 40 kHz-es frekvencia sem okoz problémát a flicker-számítások során, amely kulcsfontosságú tényező a legújabb előírások szerinti F_1 osztályos mérők megvalósításához, ahol pontosan egy nagyságrenddel szükséges nagyobb frekvenciát használni, mint a korábbi F_3 osztályos mérőknél. (Ennek bemutatására a későbbi fejezetekben kerül sor.)

6.3. Az online mérőmodul illesztése komplex hálózat-analizátor szoftverrendszerhez

A megvalósított online villogásmérő-modult beépítettem az EET tanszéken készült hálózatdiagnosztikai berendezésbe, igazolva ezzel a kidolgozott online mérési módszer és gyakorlatban kidolgozott moduljának helyes működését. Az online hálózatdiagnosztikai berendezés egyik tanszéki kollégám fejlesztette, aki a többmagos processzorok számítási kapacitását kihasználó, több végrehajtási szálon futó szoftverrendszert hozott létre, az EET elsősorban ipari-kutatási tevékenységének támogatására [31][38].

Modern taszk-kommunikációs megoldások alkalmazása



6.5. ábra: Az EET online hálózatdiagnosztikai szoftvere: szálak közötti kommunikáció felépítése [31]

A kollégám által megvalósított és általam villogásmérő-modullal kiegészített szoftverrendszer, online-módon képes az MSZ EN 50160:2010-as szabvány [19] által előírt

minden hálózati paraméter, legszigorúbb követelményeinek megfelelő folyamatos analízisre és mentésre (későbbi vizsgálat céljából). Ennek eredményeként a funkcionálisan szétválasztható feladatok, egymástól független végrehajtásra kerülő kisebb részekre (végrehajtási szálakra) lettek szétválasztva, így ezzel lehetőséget adva a programrészek közel párhuzamos futására (**6.5. ábra**). Azon számítások, amelyekhez nem szükséges szinkronizálást alkalmazni (hálózati frekvencia, **flicker!**), és azok, amelyekhez feltétlenül szükséges a szinkronizálás és 10 periódusonkénti paraméter-meghatározás (RMS, THD, teljesítményparaméterek, aszimmetria), láthatóan funkcionálisan is elkülönített szálakba kerültek (**6.5. ábra**). Az általam létrehozott, többszálú kommunikációt használó, online villogásmérő-modul így szerves részeként épülhetett be az idáig kizárólag flicker-számítást nem végző hálózatdiagnosztikai szoftverrendszerbe.

A mérés folyamatát, a hálózatdiagnosztikai mérési módszer is külön végrehajtási egységként (szálként) kezeli, amely teljes összhangot mutat az új online modulom mérési módszerével és FIFO-alapú kommunikációjával is, amellyel nemcsak az új flicker-szál (hálózati frekvencia és flicker-szál), de a többi feladatvégző szál zavartalan működése is biztosítható.

Rugalmasan paraméterezhető hálózatdiagnosztikai szoftverrendszer

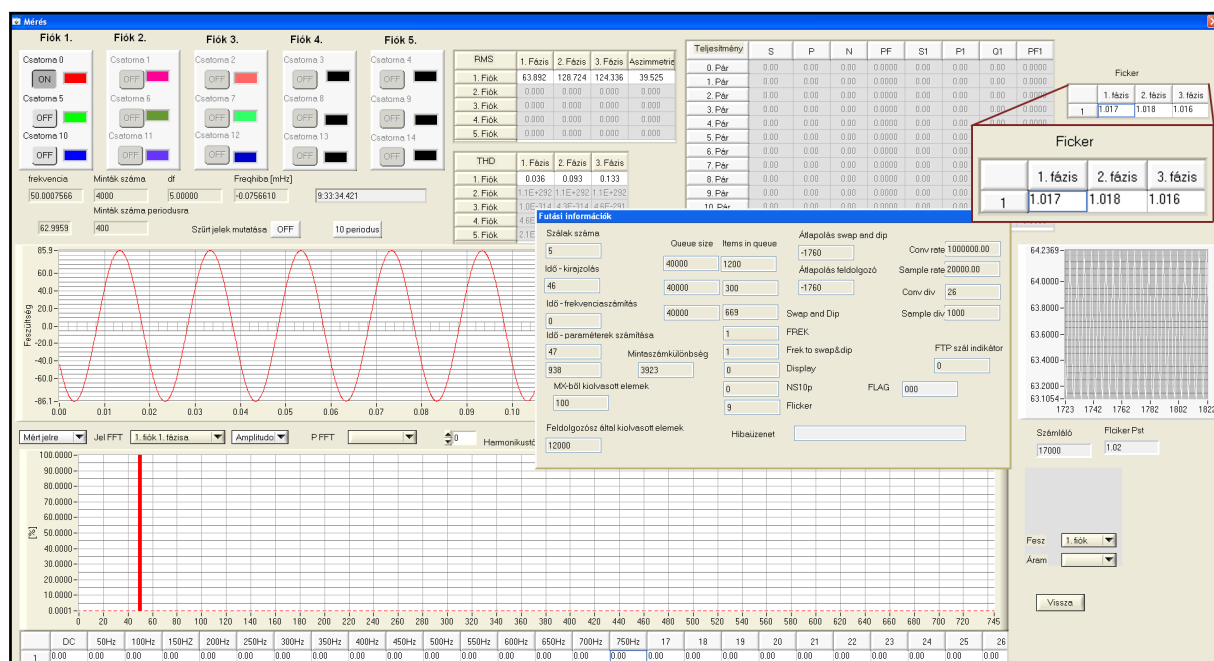
Végeredményként létrejött egy hálózatdiagnosztikai szoftverrendszer, amely néhány kiegészítő hardver alkalmazásával (áram- feszültségváltó áramkörök; mérőkártya-PC együttes) gyakorlatilag általános célú, online mérésadatgyűjtésre-, hálózatanalízisre- és az eredmények mentésére képes. A hálózatdiagnosztikai szoftver használatához első lépésben egy egyszerű inicializálási műveletet szükséges elvégezni, amely a legfontosabb mérésadatgyűjtésre jellemző paraméter megadását jelenti, beleértve néhány szoftveres jellemző (pl.: a mérési adatok mentésének helye, a mintavételi frekvencia, stb.) megadását, valamint a felhasznált hardveres környezet (pl.: áram- és feszültségváltók adatai; mérőkártya adatai) definiálását.

Az szoftver inicializálása során, a mintavételi frekvencia megadása az egyik legkritikusabb, egyben legfontosabb bemenő adat, ugyanis ennek alapján történik meg az összes energia-minőségi paraméter számítása. A mintavételi frekvencia rugalmas változtathatósága egyben lehetőséget ad az *MSZ EN 50160:2010* szabványon túlmutató, olykor egyedi mintavételezési paraméterek beállítására. Az online villogásmérő-modul mintavételi frekvenciája, a komplex szoftver –itt megadott– mérésadatgyűjtő szálának megadott frekvencia leosztásából származik. A beépített online villogásmérő-modul hálózati zavarok okozta érzékenységet, a szabványos villogásmérő osztályokkal összhangban lehet változtatni, amennyiben változik a belső flicker-szál mintavételi frekvenciája. A szabványos villogásmérő-osztályok ugyanis más és más mintavételi frekvenciát igényelnek [17] (ennek tárgyalása a következő fejezetben történik). Az online villogásmérő-modul így egyetlen kritériumot szab a komplex hálózatdiagnosztikai szoftver felé: a villogásmérő-modul számára megadandó mintavételi frekvencia, legyen egész számú osztója a központi mintavételező szál mintavételi frekvenciájának. A rövididejű flicker-számítása ugyanis akkor pontos, amennyiben az egyperces flicker jelsorozatok kezelésénél éppen egész számú mintát tartalmazó adatsorozat adódik; ebben az esetben küszöbölhető ki a bizonytalanság a rövid idejű flicker-számítás során. Olyan szoftverrészletet is építettem a programba, amely lehetővé teszi a villogásmérő-modul

mintavételi frekvenciájának közvetlen beállítását is (ez jelentős könnyebbséget adott, a mintavételi frekvencia változtatásának tesztjei során).

Konkrét példát említve, az F₃ osztályos villogásmérő alkalmazásakor, a modul optimális mintavételi frekvenciája éppen 500 Hz, így a mérésadatgyűjtő szál mintavételi frekvenciáját ennek egész számú többszörösére szükséges állítani (pl.: 10, 20, 25, 40 kHz). Ezáltal a szoftver mintavételi frekvenciája egyszerűen leosztható, a „downsampling-folyamat” során az adatminták egyszerűen „leszámolhatóak”, ráadásul az adott intervallumra (pl.: 1 min, 5 min, 10 min) így kizárólag csak egész számú minta adódik (amely természetesen megkönnyíti a számításokat).

A kezdeti paraméter-megadások után lehetséges elindítani a szoftvert, amely így azonnal elkezd az online mérésadatgyűjtést, a digitalizált minták analizálását, továbbá a mérési adatok mentését. A felhasználó, informatív interfész felületen keresztül (**6.6. ábra**) nyerhet információt a folyamatos mérésadatgyűjtésről (pl.: jelalakokról), az analizálás során online módon kiszámított és mentett adatokról is (pl.: harmonikusok, teljesítményértékek, P_{st} , stb.).

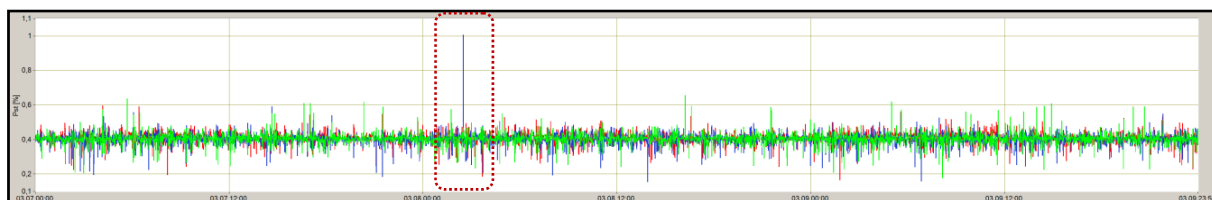


6.6. ábra: Az EET online hálózatdiagnosztikai szoftverének felhasználói felülete működés közben [31]

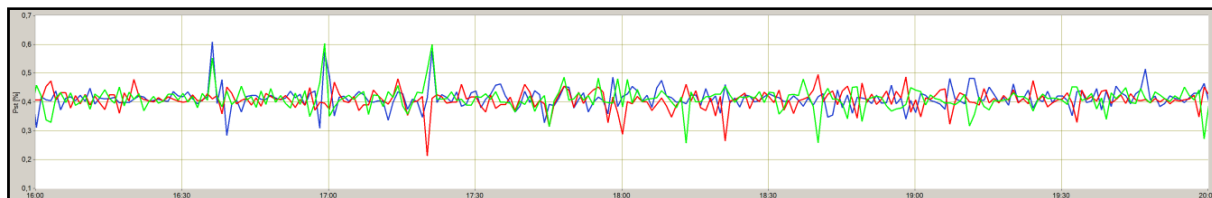
Az online hálózati diagnosztikai szoftver által mentett adatok utólagos elemzése

A mentett adatok feldolgozására offline szoftver is készült [32], amelynek segítségével az előbb körvonalakban bemutatott, számított paraméterek jeleníthetők meg, további elemzések céljából. A program kiemelt figyelemmel kezeli a tranziensek és a mérőprogram által detektált hibajelenségeket, amelyeket a felhasználó által rugalmasan kiválasztott időtartamon (2 óras, 10 perces, 3 másodperces, 10 periódusos) megjelenítés mellett.

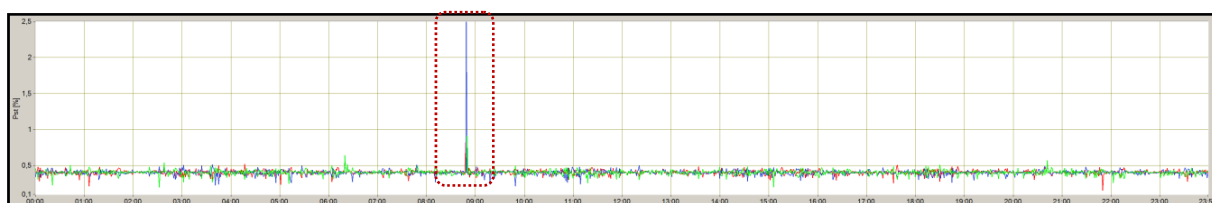
A **6.7-6.9. ábrák** az elmentett adatok offline analizálását mutatja, ahol több mérési helyszínen, több különböző időintervallumokon történő rövid idejű flicker-értékeinek tanulmányozását mutatja. A **6.7. és 6.9. ábrán** jelenlévő nagyobb kiugrások valamilyen hálózati rendellenességekre (tranziensekre) utalnak, amelyeket a rövid idejű flicker-értékek jól tükröznek.



6.7. ábra: 24 órás időtartam P_{st} értékeinek ábrázolása (0-24 h); $P_{st\ max} \approx 1$



6.8. ábra: 4 órás időtartam P_{st} értékeinek ábrázolása (16-20 h)



6.9. ábra: 24 órás időtartam P_{st} értékeinek ábrázolása (0-24 h); $P_{st\ max} \approx 2,5$

6.4. Új tudományos eredmények

1. TÉZIS: Kidolgoztam egy tisztán digitális elven alapuló online flicker-mérési módszert.

A mérési módszer, a modern többszálás („multitasking”) kommunikációs megoldást alkalmazva képes a csatlakoztatott feszültségjelek futásidőben történő analizálására, eleget téve a villogásra vonatkozó legszigorúbb követelményeknek. Kifejlesztett módszerem rugalmasságát a villogásmérés mintavételi frekvenciájának szabad megválasztása, univerzalitását a módszer egyszerű (későbbi) módosíthatósága és bővíthetősége, alkalmazhatóságát a hatékony kommunikációs megoldásai jellemzik.

7. KALIBRÁLÁSI MÓDSZER (RENDSZER) VILLOGÁSMÉRŐK TESZTELÉSÉHEZ

Egy létező villogásmérő esetén a legfontosabb kérdés az, hogy hogyan lehet meggyőződni az általa mutatott és rögzített értékek helyességéről és pontosságáról abban az esetben, amennyiben viszonylag szűk gyártói információk állnak rendelkezésre. A gyártóktól származó információk általában ugyanis kimerülnek a teljesített szabvány és pontosság fogalmaiban, amely esetenként kevés információt jelent egy nagy pontosságú mérés elvégzésekor. Ráadásul tapasztalataim szerint, egyes műszergyártók különféle képpen értelmezik a szabványi előírásokat, amelyekkel így több esetben épphogy vagy egyáltalán nem teljesítik a követelményeket, amelyet ebben a fejezetben konkrét példán, gyakorlati mérésekkel igazolható módon is tudtam igazolni. Az említett információk gyártó oldali megtartása azonban természetesen is vehető, hiszen azok folyamatos versenyben lévén egymással, inkább csak a tipikus információkat osztják meg a vásárlókkal is.

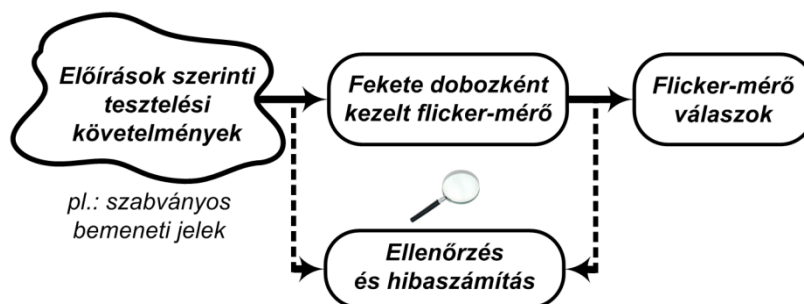
A tárgyalt probléma feloldására, ebben a fejezetben bemutatok egy általam kidolgozott kalibrálási (tesztelési) módszert, a hozzá kapcsolódó szabványi háttérrel együtt, amellyel lehetővé válik a villogásmérők objektív összehasonlítása, ellenőrzése. A kalibrálási módszer alapján, bemutatok egy általam tervezett és kidolgozott komplex tesztelő rendszert, amely gyakorlati méréseken keresztül igazolta munkám eredményességét, egyúttal az előző fejezetekben bemutatott online mérőmodul teljes körű ellenőrzését lehetett elvégezni.

A megvalósított kalibrálási módszer segítségével, ráadásul a szabványban definiált új villogásmérő-osztályokra vonatkozó követelményrendszert is kiegészítem (*optimális mintavételi frekvencia meghatározása F_1 és F_3 osztályra*), amelyek kulcsfontosságúak az online villogásmérő-modulom használatakor (*mintavételi frekvencia beállítása*).

7.1. Kalibrálási módszer villogásmérők összehasonlítására

A szabványi előírások [17] jól rögzítik a létrehozott villogásmérők hálózati zavarhatásokra adott válaszaikat. Az előírások egzakt módon definiálják a tesztek körülményeit, és a mérőeszközök válaszreakcióját is. Az általam létrehozott objektív kalibrálási módszer, a fekete dobozként vizsgált rendszer (villogásmérő) válaszreakcióit hasonlítja össze az előírásokban definiált referenciaértékekkel, amely validációs folyamattal egyértelműen eldönthető a vizsgált rendszer (villogásmérő) mért értékeinek hihetősége, azaz azok „jósa” (7.1. ábra).

Ezért itt bemutatott kalibrálási módszerből kiindulva, olyan komplex szimulációs eljárást fejlesztettem, amely (figyelembe véve a villogás mérésére vonatkozó előírásokat) különböző tesztelési módok szerinti ellenőrzését végzi el, a fekete dobozként kezelt általam létrehozott villogásmérő-modulnak. Ennek során, flicker-modul szabványos bemeneti tesztjelekre adott válaszreakciójának vizsgálata történik. A teszt sorozatok eredményeként a villogásmérő pontossági adatai, nagy részletességgel álltak rendelkezésemre.



7.1. ábra: A villogásmérések (villogásmérők) objektív kalibrálására (tesztelésére) kidolgozott módszer

A komplex kalibrálási folyamatot végző szimulációs eljárás természetesen offline módon fut, amellyel elsősorban az általam realizált villogásmérő-modul pontossági vizsgálatát lehetett elvégezni, de a modul dinamikai vizsgálata is megoldható volt. A kidolgozott szimulációs eljárás tesztelésére egyedi szimulációs szoftvert fejlesztettem, amely szigorúan követi a jelenlegi szabványi előírásokat, ráadásul új vizsgálati eredmények is bemutatásra kerülnek.

A kidolgozott szimulációs eljárásom rugalmas megoldásokat használ, így könnyen módosítható a későbbiekben módosuló előírásokhoz. Szoftveres megoldásaimat és a kalibrálási módszer alapjait, tetszőleges villogásmérő eszköz valós körülmények közötti kalibrálásához is kiegészítettem, hogy bármilyen villogásmérő is vizsgálható legyen valós körülmények között is (lásd következő fejezetek).

7.2. A szabványban előírt követelményrendszer rövid ismertetése

A 2010-ben megjelent [17] szabvány legfontosabb eltérése a korábbi előírásoktól az, hogy három különböző villogásmérő-osztályba sorolja napjaink villogásmérő műszereit. Az osztályokhoz tartozás szigorú követelményrendszerrel van előírva. A műszerek tesztelésére az előírások, bonyolult, egyedi (modulációs) jelalakokat írnak elő, ráadásul minden esetben rendelkeznek a mérők megengedett eltéréseinek felső határáról is. Így a három osztály a következő (a 4.sz. FÜGGELÉK a villogás-mérők teljes tesztspecifikációját tartalmazza):

- **F₁ osztály** (általános célú villogásmérők): Az ezen osztályba sorolt mérőeszközök a legmagasabb szintű villamosenergia-minőségi előírásokat (frekvenciaváltozásokkal és fázisugrásokkal kapcsolatos vizsgálatok) is kielégítik; az eszközök mindegyike megfelel a jelenleg hatályos MSZ EN 50160:2010 szabványnak [19] is. Az ide sorolt mérőeszközök mérési eredményeit referenciaként lehet elfogadni. Hitelesítésük és működésük tesztelése, emiatt kívánja meg a legnagyobb körültekintést, ahol nagy pontosságú periodikus és aperiodikus jelalakokkal is szükséges vizsgálni őket.
- **F₂ osztály** (hitelesítésre használt villogásmérők): Ezen villogásmérőket használják a [14] és [45]-nek megfelelő eszközök tesztelésére. Ezen mérők működéséhez is szigorú követelményrendszert írnak elő, amely referenciaeredmények összehasonlíthatósága miatt létfontosságú.
- **F₃ osztály** (hagyományos célú villogásmérők): Az ide sorolt mérők a [16] szabványnak felelnek meg, azaz a 2010 előtti villogásmérők előírásait szükséges csak teljesíteniük.

Ezek az eszközök pontatlanabb működésűek és leggyakrabban az *MSZ EN 50160* szabványban definiált S-osztályos mérőeszközökkel hasonlíthatók össze.

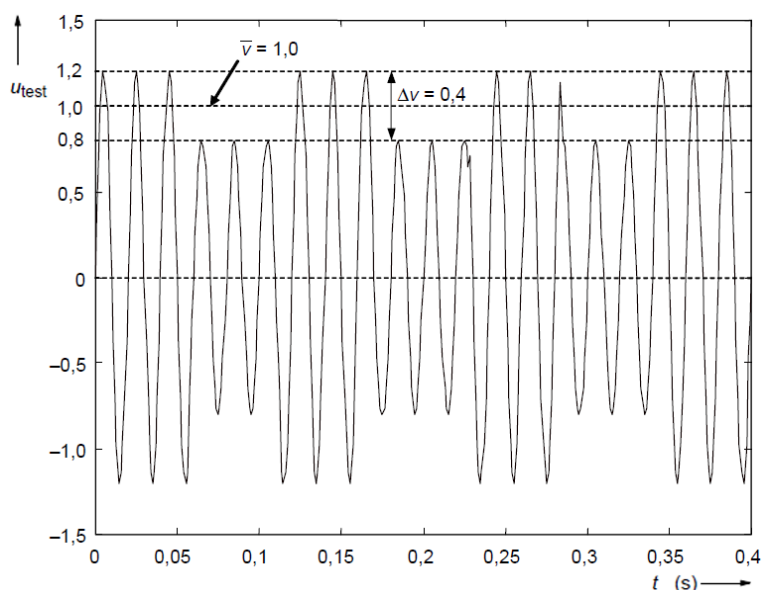
Színusz- és négyszög-modulációs teszt (teljes-válasz teszt)

A villogásmérők ún. teljes-válasz tesztje, előírt szinusz- és négyszög-modulált jelalakokkal (**7.2. ábra**) történik, ahol a mérőeszközök bizonytalanságának megállapítása, definiált referenciaértékeken keresztül történhet. A különböző hálózati feszültség-amplitúdókra (230 V, 120 V) és frekvenciákra (50 Hz, 60 Hz) a szabvány egyedi referenciaértékeket javasol. A függelékek között csak az európai hálózatra vonatkozó összehasonlítási értékeket ismertetem [**5-6.sz. FÜGGELÉK**].

A szabvány a következőképpen definiálja a négyszög-modulációt: Egy 50 Hz-es 1,0 V átlagfeszültségű szinuszos jel, 40 %-os $\Delta U/U$ relatív feszültség ingadozása, 8,8 Hz-es négyszög-modulációval:

$$u(t) = 1 \cdot \sin(2\pi \cdot 50 \cdot t) \cdot \left\{ 1 + \frac{40}{100} \cdot \frac{1}{2} \cdot \text{signum} [\sin(2\pi \cdot 8,8 \cdot t)] \right\} \quad (7.1)$$

ahol a periódusonkénti két változásból adódik a $2 \cdot 8,8 \text{ Hz} = 17,6 \text{ Hz}$ -es jelalak.



7.2. ábra: Szabványos négyszögjellel modulált szinuszjel [17] szerint (feszültség-idő diagram), ahol $\Delta V / V = 40\%$, 8,8 Hz-es moduláció; 17,6 változás/sec

Teljesítményteszt (négyszög-moduláció alkalmazásával)

Ez hasonló a teljes-választ teszthez, azonban ezt kizárólag négyszög-modulációra írják elő. A négyszög-modulációs változások ráadásul perces időtartamokra vonatkoztatva vannak megadva. Az előírások szerint, ezt a tesztet adott időközönként el szükséges végezni. A különböző osztályokban, a névleges feszültségre egyedi követelmények vonatkoznak: F_2 osztály esetén a nagyobb P_{st} érték esetén sem lépheti a tesztfeszültség-amplitúdó át a névleges feszültségértéket; F_1 - és F_3 -osztályoknál a modulációs változásoknak éppen a névleges érték körül kell lennie.

A rövididejű villogásértékek érzékelési tartományát egy ún. „ k ” határszám segítségével adják meg. Pl.: $0,25 \leq P_{st,k} \leq 5$. A teszt ráadásul előírja a villogásmérő szűrőinek megfelelő inicializálását, a teszt előtt. A [7.sz. FÜGGELÉK] tartalmazza a tesztspecifikációkat a mérők érzékenységének megállapítására, amely egyben előírja a mért P_{st} értékek maximum 5%-os toleranciáját.

Kombinált frekvencia és feszültségváltozás teszt

A teszt olyan jelalakot ír elő, ahol a hálózati frekvencia és a névleges feszültség-amplitúdó egyszerre ingadozik, a null-átmenetekenél 4 sec-os időintervallumonként; két különböző frekvencia-amplitúdó párosra [8.sz. FÜGGELÉK].

Eltorzult feszültség-jelalak teszt (F_1 osztály)

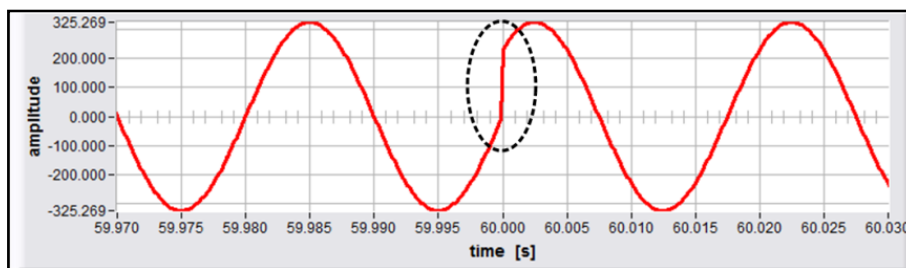
A teszt a mérőeszközök teszteléséhez, olyan eltorzult feszültség-jelalakot ír elő, hogy páratlan harmonikusai éppen 180° fázistolásban legyenek az alapharmonikushoz képest. A fázistolások garantálják azt, hogy a névleges feszültség pozitívba menő null-átmenetei éppen a páratlan harmonikusok negatívba menő null-átmeneteinél legyenek. A szabvány %-osan írja elő az alapharmonikus és az összes szükséges harmonikus névleges feszültséghez képesti amplitúdóját; továbbá az így előállított jelsorozaton 8,8 Hz-es szinuszos moduláció végrehajtását írja elő [9.sz. FÜGGELÉK].

Sávzsélesség teszt (harmonikus- és interharmonikus-moduláció alkalmazásával)

A sávzsélesség teszt során a mérőeszköz sávzsélességét ellenőrzik a hálózati feszültségjel alapharmonikusának és másik két másik harmonikusának befolyásolásával. A teszt előírja azt, hogy a villogásmérő sávzsélességét minimum 450 Hz-ig szükséges ellenőrizni, amely egyben egy „leíratlan” feltételt jelent ki a mérőeszköz mintavételi frekvenciájára. A Shannon-törvény szerint ugyanis ez minimum 900 Hz-es mintavételi frekvenciát követel meg az F_1 osztályos mérőeszköztől [10.sz. FÜGGELÉK].

Fázisugrás teszt (F_1 osztály)

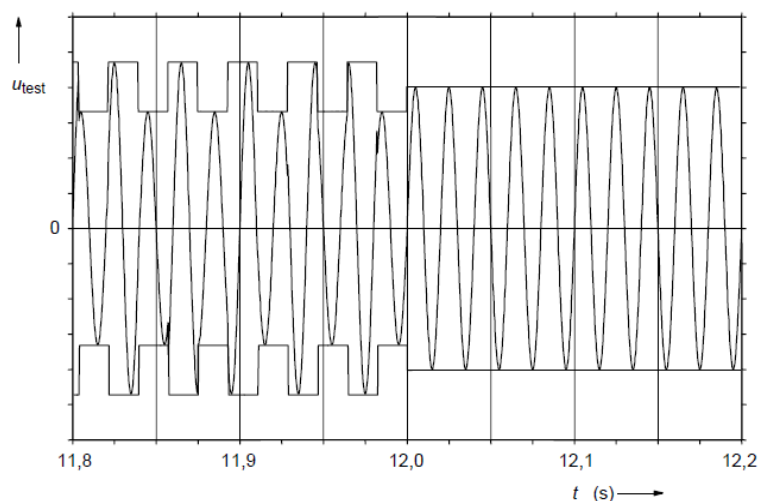
A teszt egy 10 perces jelalak előállítását követeli meg, amelyben öt különböző helyen (3 min, 5 min, 7 min, 9min) szükséges fázisugrásokat létrehozni. A tesztet csak egy 10 min-es megfigyelési időszak után lehetséges elvégezni, amely a mérőeszköz belső változóinak (szűrőinek) beállításához szükséges; így ezt követően szabad csak elkezdeni az ellenőrzést. Az előírások szerint, a tesztet több különböző fázistolás esetén (7.3. ábra) is meg kell ismételni ($\Delta\beta=+30^\circ$; $\Delta\beta=-30^\circ$; $\Delta\beta=+45^\circ$; $\Delta\beta=-45^\circ$), ahol a fázisugrások tranziensei nem tartathatnak tovább 0,5 msec-nél. Referenciaként a teszt előírja a fázisugrásokhoz tartozó P_{st} vonatkoztatási értékeket [11.sz. FÜGGELÉK], amely lehetőséget ad az összehasonlításukra.



7.3. ábra: +45° fokos fázistolás bemutatása a tesztelési jelsorozat első percét követően

20%-os kitöltési tényezőjű négyszög-modulációs teszt (F_1 osztály)

A teszt során egy hálózati jel egyedi négyszög-modulációval történő kombinációját írják elő, ahol előírják a modulációs mélységet, és a moduláció hosszát (7.4. ábra) is. A teszt, a névleges feszültség 28 Hz-es négyszög-modulációját írja elő 20%-os kitöltési tényezővel, 12 sec/60 sec-os hosszán. A modulált jel és a normál hálózati jel közötti tranziens, nem tarthat tovább 0,5 msec-nél [12.sz. FÜGGELÉK].



7.4. ábra: 35%-os modulációs mélységű, 20%-os kitöltési tényezőjű négyszög-moduláció [17] szerint

„d” paraméter tesztje (d_c , d_{max} , $d(t) > 3,3\%$ teszt)

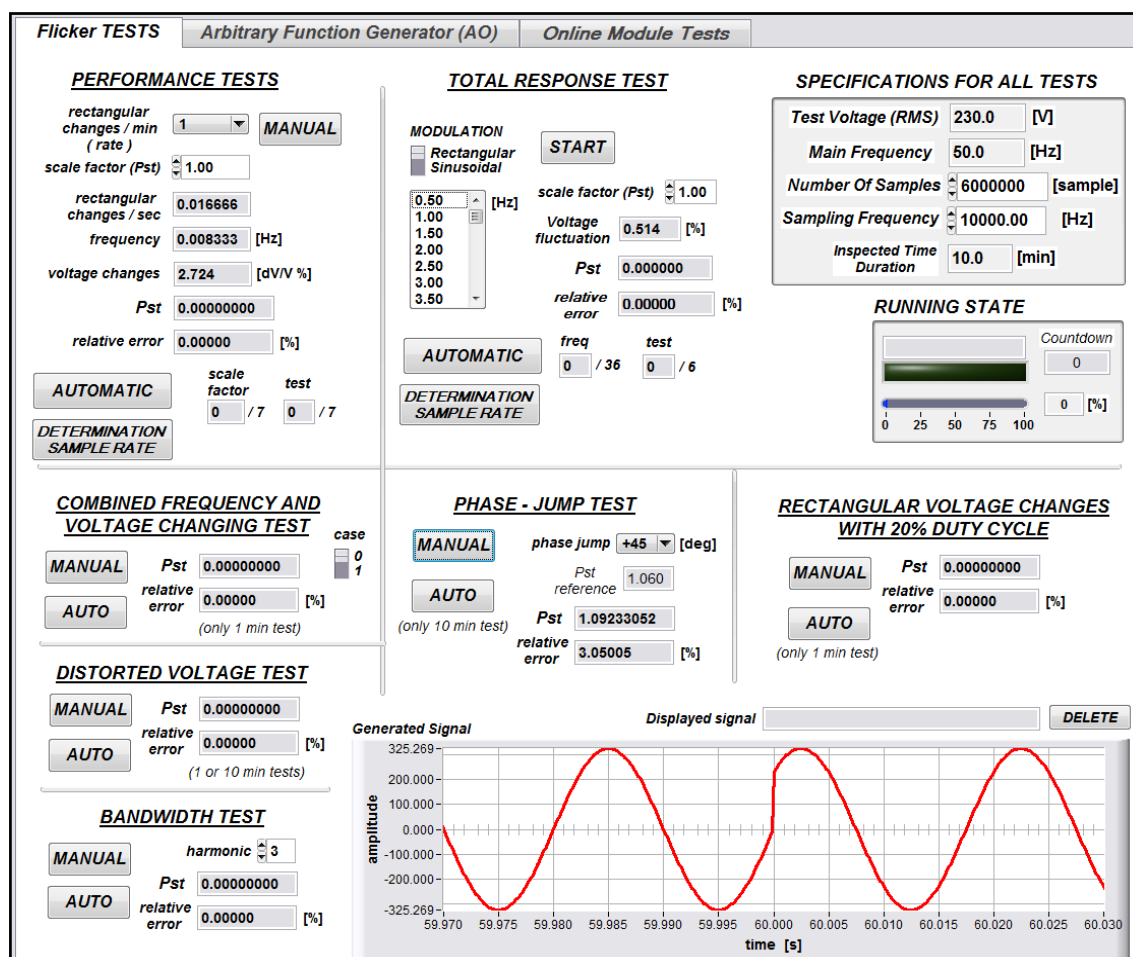
A teszt a helyes tranziens-vizsgálatot írja elő, speciális vizsgálójelekkel [13.sz. FÜGGELÉK]. A d_c tulajdonképpen a feszültségmintákból számított RMS érték. A mintavételezés helyes frekvenciájának megválasztása, garantálja a helyes tranziensvizsgálatot is.

7.3. A kalibrálási módszeren alapuló komplex szimulációs rendszer bemutatása

Komplex szimulációs rendszert (7.5. ábra) fejlesztettem, amellyel saját villogásmérő-modulom ellenőrzése és működőképességének vizsgálatát végeztem el. A szimulációs rendszer pontosan követi a szabványi előírásokat, azaz először a villogásmérő-modul bemenetére kerülő teszt-jelsorozatokot állít elő, majd a modul válaszait (P_{st} , P_{inst}) és a szabványban megadott referenciákat összevetve, pontosan állapítja meg a modul hibáját. A szimulációs rendszer

tartalmazza a villogásmérők teszteléséhez szükséges összes tesztet, amelyet a felhasználó manuális és az automatizált módon is kezelhet (7.5. ábra). Az automatizált kalibrálási módszeren alapuló szimuláció, mind az előírt flicker-tesztek paramétereinek, mind pedig a flicker-modul mintavételi frekvenciájának rugalmas változtatására is lehetőséget ad. A rugalmas paraméterváltoztatás segítségével gyakorlatilag az összes teszt-paraméter és mintavételi frekvencia kombináció előállítható, lehetőséget adva a villogásmérő-modul optimális mintavételi frekvenciájának meghatározására.

A szimulációs rendszer alapja egy szabványi követelmények szerint működő komplex jelalak-jelgenerátor. A szimulációkat követően, ezt felhasználva és kiegészítve a jelgeneráláshoz szükséges hardveres (analóg kimeneti modul) és szoftveres (analóg kimenetet kezelő programrészek) háttérrel, *valós jelgenerátor-rendszert* hoztam létre az online villogásmérő-modulom tesztelésére. Így míg a szimulátor rendszer csupán „virtuális” körülmények között teszteli a létrehozott online villogásmérő-modul működését, addig a jelgenerátor-rendszer segítségével a modul valós tesztelése válik lehetővé, ezzel fizikai mérési körülményeket hozva létre nemcsak saját, de más flicker-mérők tesztelésére is (7.20. ábra: jelgenerátor).



7.5. ábra: Gyakorlatban megvalósított szimulációs rendszer a létrehozott villogásmérő-modul ellenőrzésére

A szimulációs rendszer felhasználóbarát módon, betartva az előírásokban szereplő követelményeket (pl.: jelalak-típusok; jelgenerálás időalapjának beállítása: 1/10 min) az összes teszthez manuális és automatikus vizsgálati lehetőségeket biztosít. A manuális ellenőrzési lehetőség egy-egy konkrét beállítási mód tesztelését biztosítja, míg az automatikus futtatások a

villogásmérő-modul optimális mintavételi frekvenciájának meghatározását menedzselik. Az automatikus vizsgálatok során az online modul válaszreakciójának vizsgálata történik, tesztípustól függő bemeneti jelalakra, változtatva a modul mintavételi frekvenciáját. Megadva a vizsgálat középpontjában álló mintavételi frekvenciatartományt és a mintavételi frekvencialéptetés finomságát, folyamatosan vizsgálható a modul válasza; ezáltal teljes körű képet lehet kapni a modul működőképességéről, amellyel az egyben a modul szabványos tesztekre adott válaszáinak összehasonlíthatására van lehetőség. Az automatikus tesztek segítségével, optimális beállítások rendelhetők a villogásmérő-modulhoz (F_1 -, F_3 osztályos optimális mintavételi frekvencia-beállítás).

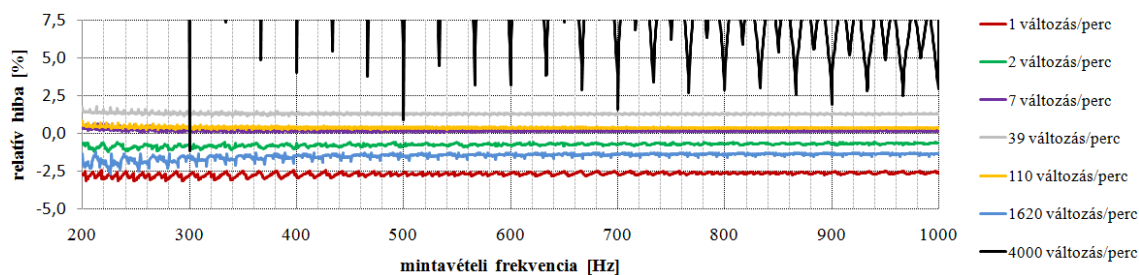
Optimális mintavételi frekvencia meghatározása szabványos villogásmérő-osztályokhoz

Ezen alfejezet célja, a szimulációs teszteredmények alapján történő optimális mintavételi frekvencia meghatározása két különböző (F_1 , F_3) villogásmérő-osztályhoz. A két különböző osztályhoz tartozó mérőberendezésekre eltérő tesztek és előírások vonatkoznak, így a **7.1. táblázat** áll ezen feladat középpontjában. A kifejlesztett villogásmérő-modul rugalmas működésének köszönhetően, a mintavételi frekvencia szabadon beállítható, amellyel egyszerűen finomhangolható a kijelölt villogásmérő-osztályhoz tartozó mérő beállításaihoz.

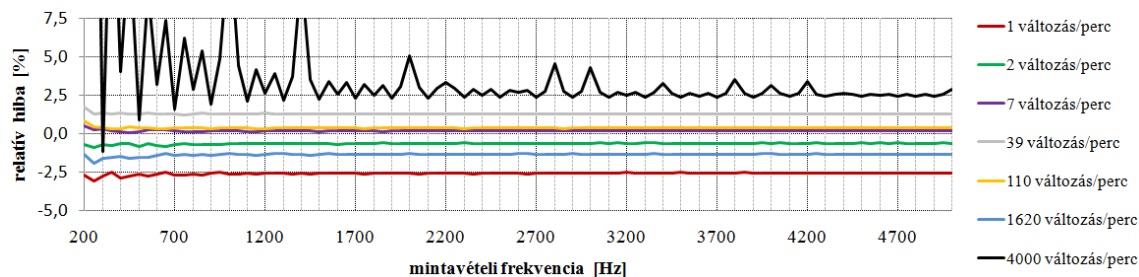
F_3 osztályos villogásmérőkre vonatkozó szimulációs teszteredmények

Az F_3 osztályos mérőberendezések *általános célra* készülnek, így egyszerű tesztekkel írják elő megfelelőségük ellenőrzését. Központi célként jelentkezik a minél kisebb hardverigény, így következésképpen mintavételi frekvencia, amely mellett stabilis módon szükséges biztosítani a mérőeszköz minimális hibáját. Két különböző teszt vizsgálatát írja elő a szabvány: teljesítményteszt; teljes-válasz teszt, amelyet négyszög- és szinusz-modulációval is meg kellett vizsgálni.

Elsőként a teljesítményteszt szimulációira került sor (**7.6-7.7. ábra**), amelynek során megállapítottam, hogy a legtöbb négyszög-moduláció nincs közvetlen hatással a mintavételi frekvencia megválasztására (pl.: 1-1620 változás/perc). A **7.6-7.7. ábrákon** jól látszik az, hogy az online modul mintavételi frekvenciájának függvényében, minimális mértékben változik a modul hibája. A teljesítményteszt során, egyedüli befolyásoló hatásként csak a 4000 változás/perc-es négyszög-moduláció jelent korlátozó tényező a választásra (**7.6. ábra**), ugyanis ezen speciális előírás erősen befolyásolja a mintavételi frekvencia választására vonatkozó kritériumot. (A 4000 változás/perc-es négyszög-moduláció és a mintavételi frekvencia alapján adódó egyperces mintaszám, amennyiben nem egész számú többszöröse egymásnak a tesztben látható ugrások jelennek meg, amely itt érezteti a legjobban hatását.) A legmegfelelőbb választás a 300, 500, 700, 800, 900 Hz-es mintavételi frekvencia, ahol minden esetben 2,5%-os hibán belüli eltérések adódnak a flicker-válaszokban. A **7.6. ábrából** az is látható, hogy az előbb felsorolt frekvenciák mellett más választások is lehetségesek lennének, azonban az online modul komplex mérőrendszerbe való beépülése, és mintavételi frekvenciájának korlátozott választhatósága miatt, elsősorban ezen frekvenciaértékek jöhetnek szóba (az online modul mintavételi frekvenciája, éppen egész számú osztója kell legyen a komplex mérőrendszer központi mintavételi frekvenciájának).

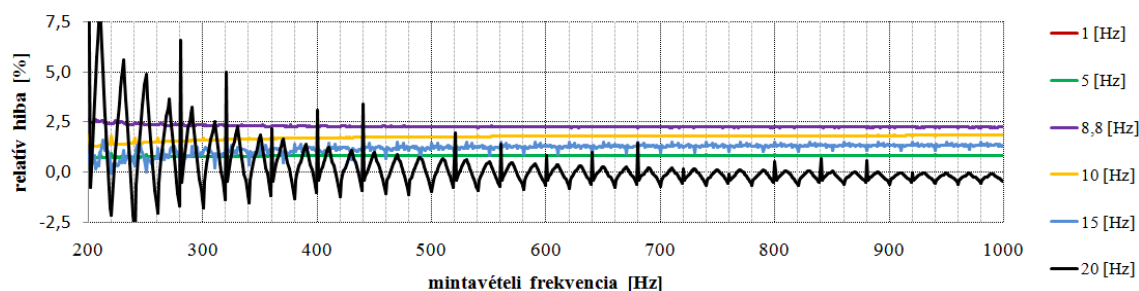


7.6. ábra: Teljesítményteszt szimulációs eredményei ($P_{st\ 10min}=1$; felbontás: 0,5 Hz)

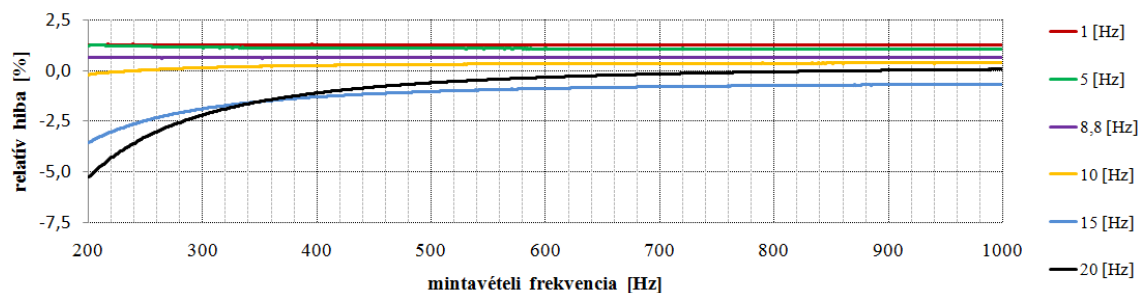


7.7. ábra: Teljesítményteszt szimulációs eredményei ($P_{st\ 10min}=1$; felbontás: 50 Hz)

A teljes-válasz teszt négyszög- és szinusz-modulációs teszteredményei (7.8-7.9. ábrák) azt mutatták, hogy az előbb felsorolt néhány frekvencia-választás jelöltjei bár teljesítik 2,5%-os hibahatárt, azonban legcélszerűbb választás mégis csak az 500, 700, 800 és 900 Hz-es mintavételi frekvenciára szűkül, ahol láthatóan a négyszög-moduláció okozta ingadozó teszteredmények (előzőekhez hasonló módon) jelentik a szűkítő kritériumot.



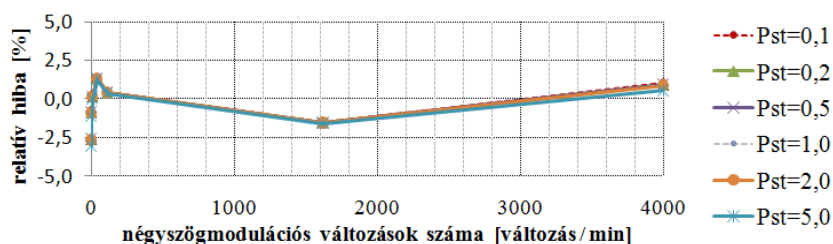
7.8. ábra: Teljes-válasz teszt szimulációs eredményei négyszög-moduláció alkalmazásával ($P_{st\ 1min}=1$; felbontás: 1 Hz)



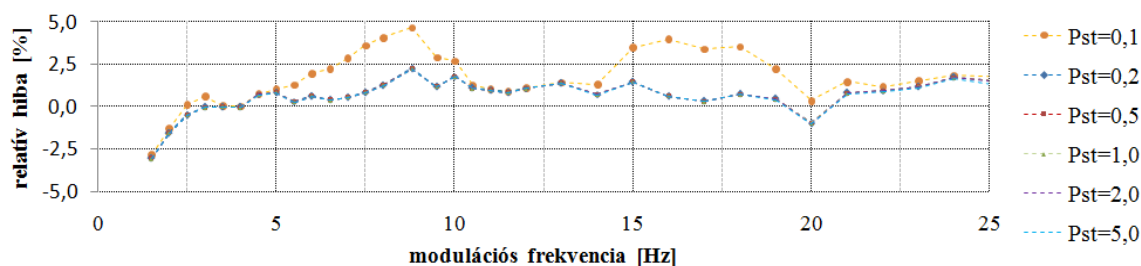
7.9. ábra: Teljes-válasz teszt szimulációs eredményei szinuszos-moduláció alkalmazásával ($P_{st\ 1min}=1$; felbontás: 1 Hz)

Az 500 Hz-es mintavételi frekvencia kijelölése tehát optimális választás a pontos működés, egyben minimális számításigény között, így választásom ezen frekvenciára esett. A kijelölt mintavételi frekvenciát felhasználva végrehajtottam a teszteredmények validációt a

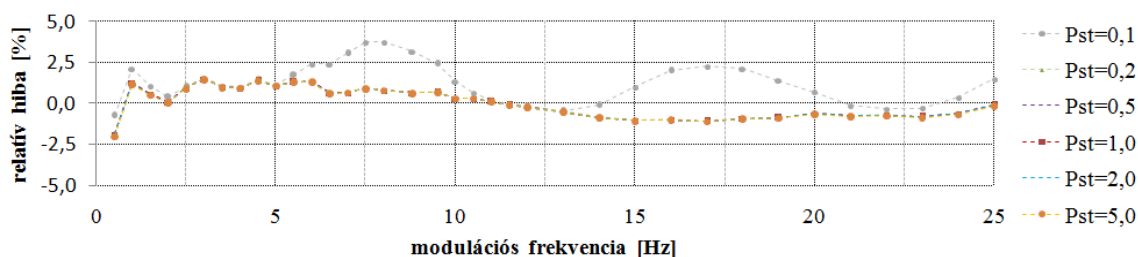
tesztek újbóli futtatásával, a szabványban előírt modulációkon és különböző P_{st} szintek esetén is (7.10-7.12. ábrák). A validációs teszteredmények megfeleltek a várakozásoknak, amelyet a különböző modulációk és P_{st} szintek vizsgálatok egymást átfedő, hibahatárnak megfelelő eredményei igazolnak.



7.10. ábra: Teljesítményteszt szimulációs eredményei 500 Hz-es rögzített mintavételi frekvencián ($P_{st\ 10min}=1$)



7.11. ábra: Teljes-válasz teszt szimulációs eredményei négyzög-moduláció alkalmazásával, 500 Hz-es rögzített mintavételi frekvencia esetén ($P_{st\ 1min}=1$)



7.12. ábra: Teljes-válasz teszt szimulációs eredményei szinuszos-moduláció alkalmazásával, 500 Hz-es rögzített mintavételi frekvencia esetén ($P_{st\ 1min}=1$)

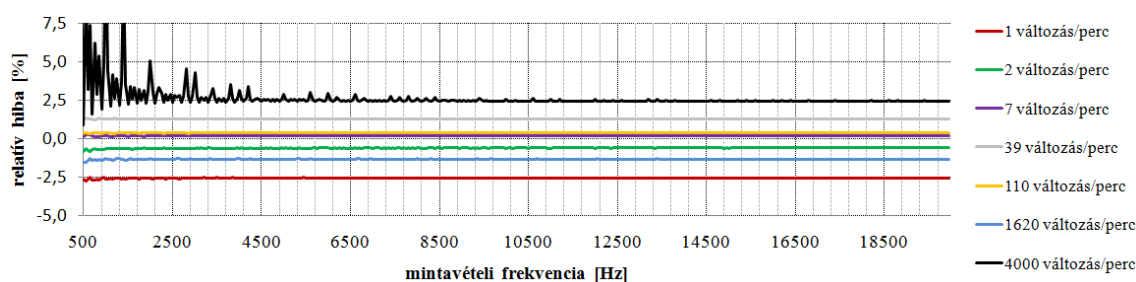
F_1 osztályos villogásmérőkre vonatkozó szimulációs teszteredmények

Az F_1 osztályos villogásmérő-eszközök speciális célúak, így erős követelményrendszernek kell megfelelniük. Az előírásoknak megfelelő tesztek, az F_3 osztályos mérőeszközökhöz képest tovább bővülnek a következőkkel: fázisugrás teszt; speciális négyzög-modulációs teszt (7.17. ábra); eltorzult feszültség teszt (7.18. ábra); sáv szélesség teszt; frekvencia-amplitúdóváltozásokkal szembeni tűrőképesség-vizsgálat; tranziens teszt. A különleges jelalakokat előíró vizsgálatok miatt, az optimális mintavételi frekvencia keresése F_1 osztályos mérőkhöz már nem a néhány száz Hz-es, hanem a több kHz-es tartományban keresendő, így egyes esetekben a 20-50 kHz-es mintavételi frekvencia beállításokkal is végeztem vizsgálatokat.

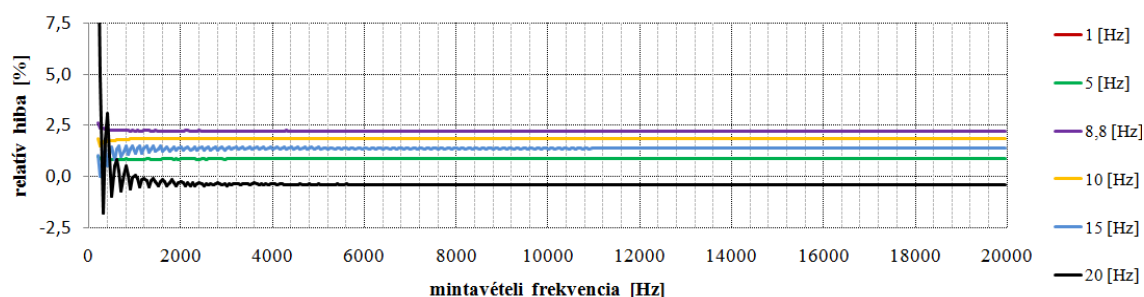
A szimulációs eredmények tapasztalatai azt mutatták, a fázisugrás-vizsgálat jelenti a legerősebb kritériumot a mintavételi frekvencia minimumára, így ezen szimulációkat és gyakorlati méréseket a legnagyobb körültekintéssel végeztem. A $\pm 30^\circ$ fázisugrások esetén a

7 kHz-es, míg a $\pm 45^\circ$ -os fázisugrásokkor a 12-13 kHz-es mintavételi frekvencia jelenti a minimális határt, amely választásakor a villogásmérő-modul hibája 2,5%-ot nem haladja meg (7.16. ábra).

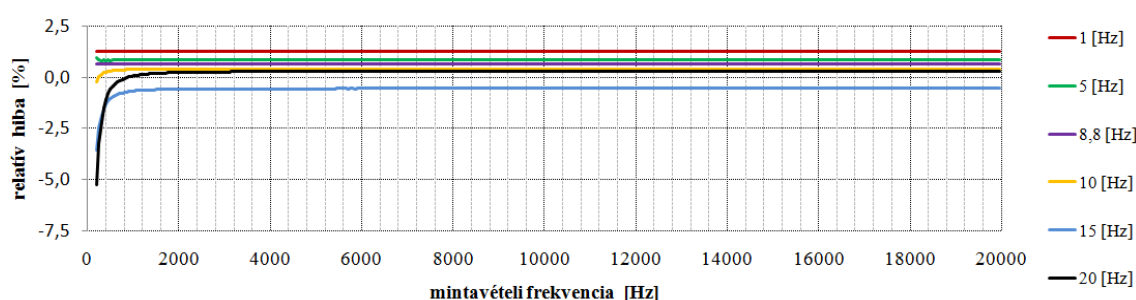
A teljesítményteszt, teljes-válasz teszt nem jelent újabb kritériumot a mintavételi frekvenciára vonatkozóan (7.13-15. ábra). A speciális négyszög-modulációs teszt (7.17. ábra), eltorzult feszültség teszt (7.18. ábra) esetén a mintavételi frekvencia értéke már az 500 Hz-es mintavételi frekvenciától megfelelő és 2,5% alatti hibát mutat. A villogásmérő-modul sávzsélessége, amplitúdó- és frekvenciaváltozásokkal és tranziensekkel kapcsolatos viselkedése is megfelelőnek bizonyult, így végeredményképpen a 12,5 kHz-es mintavételi frekvenciát állítottam be az F_1 osztályos viselkedés ellenőrzésére, mint optimális frekvenciát.



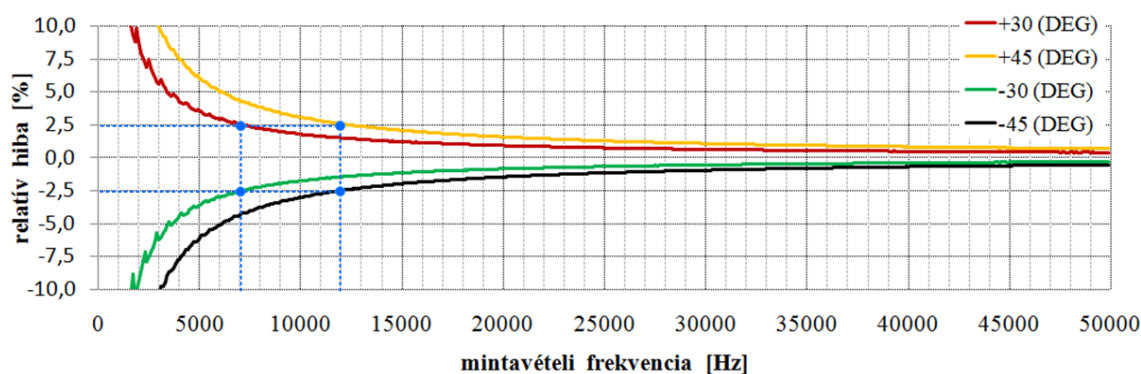
7.13. ábra: Teljesítményteszt szimulációs eredményei ($P_{st\ 10min}=1$; felbontás: 50 Hz)



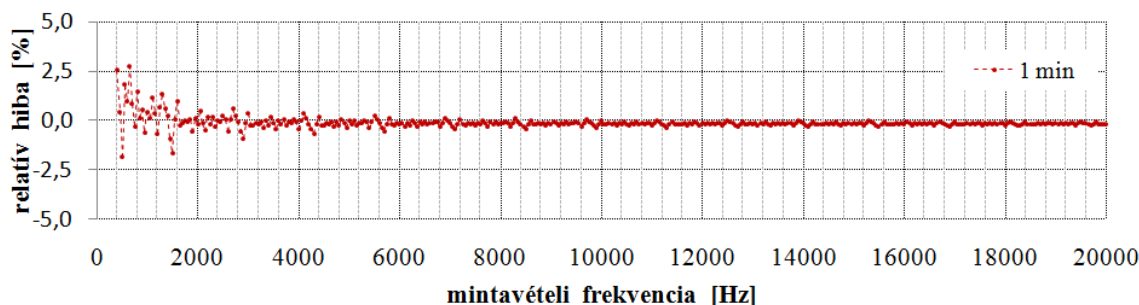
7.14. ábra: Teljes-válasz teszt szimulációs eredményei négyszög-moduláció esetén ($P_{st\ 1min}=1$; felbontás: 50 Hz)



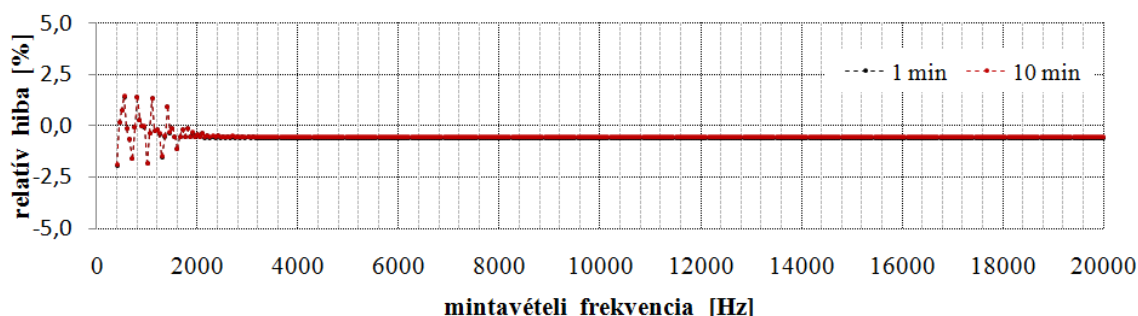
7.15. ábra: Teljes-válasz teszt szimulációs eredményei szinuszos-moduláció esetén ($P_{st\ 1min}=1$; felbontás: 50 Hz)



7.16. ábra: Fázisugrás teszt szimulációs eredményei (felbontás: 100 Hz)



7.17. ábra: Speciális négyszög-modulációs teszt szimulációs eredményei ($P_{st\ 1min}=1$; felbontás: 50 Hz)



7.18. ábra: Eltorzult feszültség teszt szimulációs eredményei ($P_{st\ 1min}=1$; felbontás: 50 Hz)

7.4. A kalibrálási módszeren alapuló komplex mérőstruktúra bemutatása

Kalibrálási módszerem működőképességének igazolására, olyan rendszert építettem, ahol három különböző online villogásmérő-rendszert hasonlítottam össze. A kidolgozott rendszer elvi alapjai természetesen lehetővé teszi más rendszerek ellenőrzését és összehasonlítását is, amennyiben megfelelő csatlakozási felületeken keresztül történik összekapcsolásuk. Mindez pedig biztosítja az általánosságot is. Az alkalmazott fekete dobozos kalibrálási módszer alapján kidolgozott tesztelést végző rendszer, garantálja a mindvégig valóságos körülmények között történő kijelölt eszközök objektív vizsgálatát, a mérési eredmények összehasonlíthatóságát.

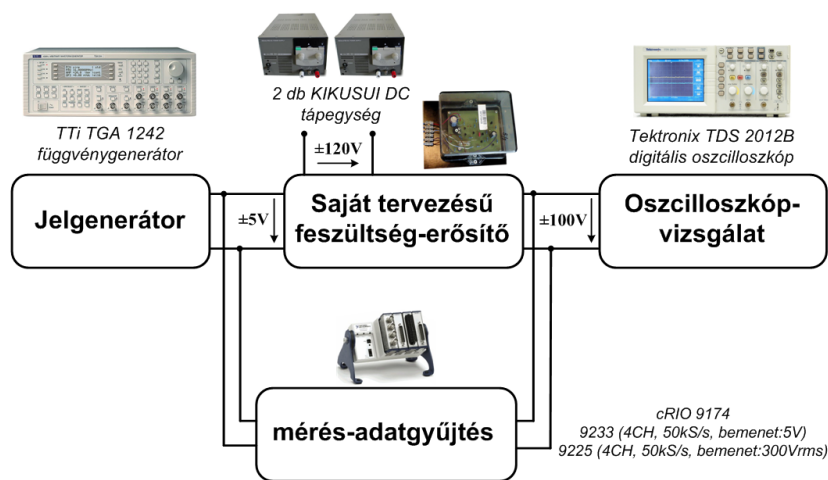
Saját erősítő ellenőrzése

A különböző méréstartománnyal rendelkező villogásmérők közel azonos körülmények közötti tesztelésének érdekében, önálló DC-feszültség-erősítő áramkört fejlesztettem, amelynek a

flicker-vizsgálat szempontjából szükséges kisfrekvenciás tartományon (0,5-40 Hz) szükséges erősítést végeznie [14.sz. FÜGGELÉK]. Az áramkör segítségével az 5 V-os feszültségtartományt sikerült felerősíteni 100 V-os tartományba, amelynek során az erősítő kisfrekvenciás átviteli tulajdonsága, torzításának minimalizálása kiemelten fontos szempont volt. A minimális hibával működő erősítő biztosíthatja csak az egymástól eltérő mérési tartományú eszközök megbízható összehasonlítását. Az erősítőn emiatt teljes körű paraméterellenőrzést hajtottam végre (DC-mérés; frekvenciatartományi elemzés; THD-vizsgálat; erősítés mérése) egy különálló mérésadatgyűjtő-rendszer segítségével (7.19. ábra).

Végeredményképpen megállapítottam, hogy az eszköz teljes mértékben megfelel a flicker-jelek erősítésére vonatkozó előírásoknak, amelyet a következő, tisztán valós mérési eredmények igazoltak:

- DC vizsgálat eredménye: 20-30 mV DC feszültség;
- Feszültségerősítés: $A_u \approx 18,58$ [15.sz. FÜGGELÉK];
- THD = 0,006 - 0,01% amely a mérési vizsgálatkor a hibatartományába esett;
- frekvencia-átvitel: DC-100 kHz; fázistolás: minimális [16.sz. FÜGGELÉK];



7.19. ábra: A DC feszültségerősítő ellenőrzésére kidolgozott mérésadatgyűjtő rendszer

Rendelkezésre álló villogásmérők tesztelésére szolgáló rendszerstruktúrák bemutatása

A kalibráló-rendszer megvalósítása során, három különböző villogásmérő összehasonlítását végeztem el a 7.1. ábra alapján bemutatott struktúra alapján. Ennek során, a villogásmérő-modulom által teljessé vált online hálózati diagnosztikai rendszert, továbbá két különböző gyártó eszközét teszteltem (FLUKE-434; TR-16 Multirec). A rendszer gyakorlatba ültetése során, a felhasznált eszközök különböző mérési tartományainak illesztése különös figyelmet kívánt, ahol fizikai (tanszéki eszközkészlet) lehetőségeimhez képest legjobb megoldást választottam ki annak érdekében, hogy minimalizáljam az illesztések okozta bizonytalanságokat.

A kalibráló-rendszer központi eleme az a rugalmas jelgenerátor komponens, amely egy USB-s mérőkártya analóg kimenetén (NI USB 6251) állítja elő azokat a szabványos jelalakokat (± 5 V), amelyeket az összehasonlítási folyamat során az eszközök mérni fognak. A jelgenerátor modul alapja a korábbi fejezetekben bemutatott szimuláció-alapú kalibrátor-eljárás során használt szoftver, amelyet kiegészítve egy új felhasználói felülettel (7.20. ábra) tudja kiszolgálni

a ellenőrzéshez szükséges legfontosabb tesztek (teljesítmény-, teljes-válasz teszt, stb.). A jelgenerálás 200 kHz-es frissítési frekvenciával történt, amely ismerve a generált jelsorozatok jellegét elégségesnek bizonyult.

Az összehasonlítás legegyszerűbb esete természetesen az lenne, ha a ± 5 V-os mérési tartományra lehetne az eszközöket beállítani, amelyre azonban fizikailag nem volt lehetőség; a minél homogénebb összehasonlítási környezet azonban kulcsfontosságú a mérések elvégzéséhez. A Fluke-434 legkisebb mérési tartománya 100 V-os, míg a TR-16 Multirec esetén is csak 100 V-os mérési tartományban lévő modulja volt tanszékünknek. A TR-16 Multirec esetén természetesen többféle, feszültséggel fogadására alkalmas modul is található a tanszéken, azonban 5 V-os nem található; kizárólag 1 V-nál kisebb mérési tartományú (VI-05), és 20-1000 V-os modulok (VT-01/02/03) találhatóak. A fenti eszközkészlet adottságai miatt, a legjobb választást a TR-16 Multirec és Fluke-434 (DC erősítőn keresztül) 100 V-os tartományhoz-, míg az online mérőrendszer 5 V-os tartományhoz hozzárendelése jelentette. Az saját fejlesztésű online rendszer hozzárendelése azért megfelelő ebben a formában, ugyanis a DC erősítő 100 V-os amplitúdójú jelének mérőkártyához (NI PCI 6251) csatlakoztatása csak újabb feszültségváltó (100 V/5 V) alkalmazásával lenne elérhető, amely így azonban újabb nem kívánatos mérési hibát vinne rendszerbe; így ezt a megoldást elvetve, a **7.21. ábrán** lévő elrendezésben végeztem a méréseket.

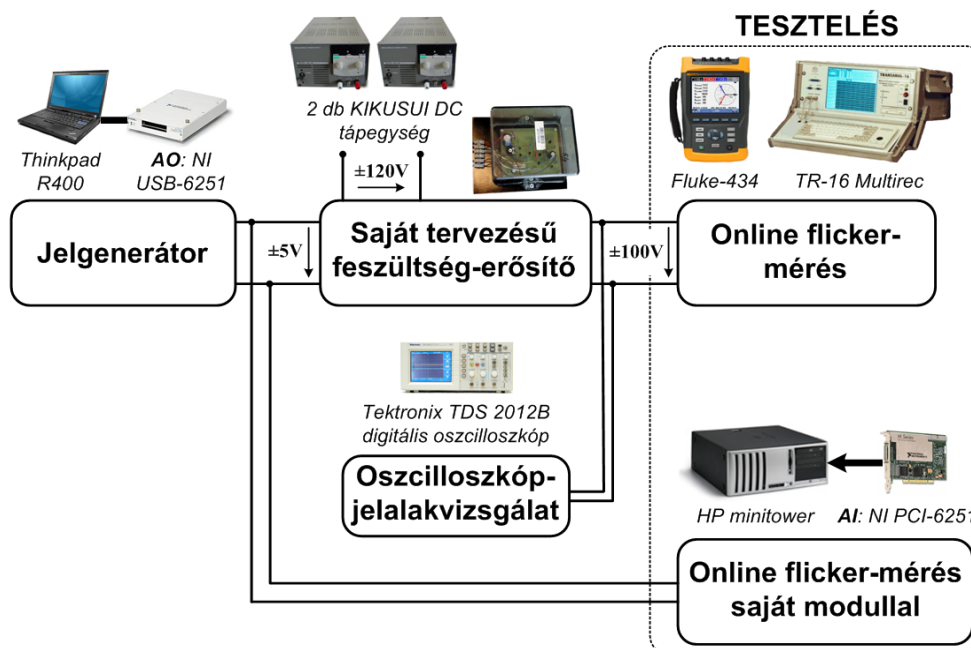
The screenshot displays the 'Arbitrary Function Generator (AO)' software interface. It features several tabs: 'Flicker TESTS', 'Arbitrary Function Generator (AO)', and 'Online Module Tests'. The main area is divided into several sections:

- TOTAL RESPONSE TEST**: Includes 'OUTPUT ("ON" / "OFF")' with a frequency list (0.50 to 3.50 Hz), 'TIME DURATION' (1 min, 10 min), 'MODULATION' (Rectangular, Sinusoidal), 'Scale Factor (Pst)' (1.00), and 'Voltage fluctuation' (0.514 %).
- PERFORMANCE TESTS**: Includes 'OUTPUT ("ON" / "OFF")' with a duration of 10 min, 'rectangular changes / min (rate)' (39), 'scale factor (Pst)' (1.00), 'rectangular changes / sec' (0.650000), 'frequency' (0.325000 Hz), and 'voltage changes' (0.906 dV/V %).
- FLICKER MODULE specifications**: Includes 'Sampling Frequency' (500.0 Hz), 'Test Results from Simulated Online Module' with 'Pst' (1.012944) and 'relative error' (1.29442 %).
- ANALOGUE OUTPUT specifications**: Includes 'Refresh Frequency' (200000.0 Hz) and a 'Performance Test -> OUTPUT ON' button.
- COMBINED FREQUENCY AND VOLTAGE CHANGING TEST**: Includes 'OUTPUT ("ON" / "OFF")' with a duration of 1 min.
- PHASE - JUMP TEST**: Includes 'OUTPUT ("ON" / "OFF")' with a duration of 10 min, 'phase jump' (+45 deg), and 'Pst reference' (0.000).
- DISTORTED VOLTAGE TEST**: Includes 'OUTPUT ("ON" / "OFF")' with a duration of 1 or 10 min.
- BANDWIDTH TEST**: Includes 'OUTPUT ("ON" / "OFF")' with a duration of 1 min and 'harmonic' (3).
- RECT. VOLTAGE CHANGES WITH 20% DUTY CYCLE TEST**: Includes 'OUTPUT ("ON" / "OFF")' with a duration of 1 min.

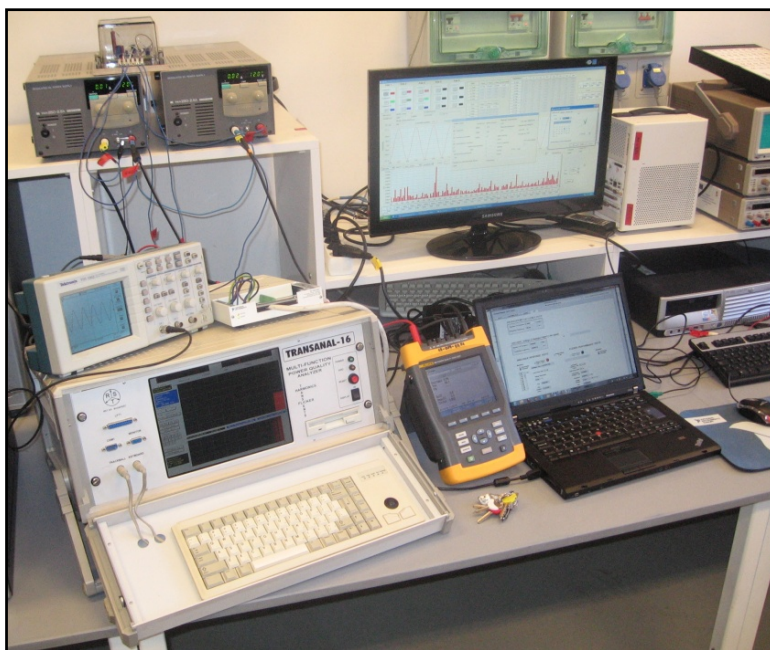
7.20. ábra: Rugalmas jelgenerátor modul a szabvány szerinti tesztek elvégzéséhez szükséges jelalakok előállításához

Kétféle rendszerstruktúrában vizsgáltam online modulom működésének helyességét: A **7.21. ábrán** látható elrendezésben az F_3 osztályos villogásmérőkkel együtt (**7.22. ábra**), majd ezután a **7.23. ábrán** látható önmagában is, ugyanis F_1 osztályos villogásmérő nem található a tanszéken. A 2010-es új előírásoknak megfelelő rendszer beszerzésére, elsősorban a jelenleg kapható eszközök korlátozott száma, és nagy költsége miatt nem került sor. Az online modulom kétfajta elrendezésben történő teszteléséhez természetesen egyedi mintavételi frekvencia beállítására került sor, amely igazoltan mutatja modulom rugalmas alkalmazhatóságát, és a különböző villogásmérő-osztályokhoz történő gyors alkalmazkodó képességet. A modul

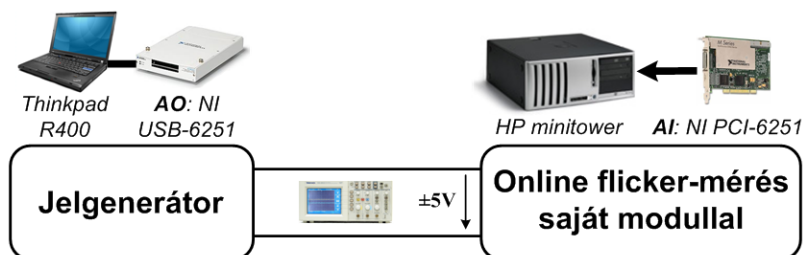
rugalmasságát, egyébként nemcsak szoftveres beállíthatóságának, hanem a kiegészítésül alkalmazott, hardveres mérésadatgyűjtőkkel történő méréseknek is köszönhető.



7.21. ábra: Kalibrációs rendszerstruktúra F_3 osztály ellenőrzésére



7.22. ábra: Kalibrálási rendszerstruktúra F_3 osztály ellenőrzésére az EET IV. sz. laboratóriumában



7.23. ábra: Kalibrálási rendszerstruktúra F_1 osztály ellenőrzésére

7.5. A legfontosabb mérési eredmények bemutatása

Villogásmérő ellenőrzésére a fenti elrendezések alapján méréseket végeztem, amellyel a kifejlesztett online-mérőmodul működését valós körülmények között vizsgáltam. A mérőműszerek kalibrálására és megfelelőségük ellenőrzésére, a vonatkozó előírások szigorú teszteket írnak elő, amelyekkel egy jól behatárolt keretrendszerrel teremtik meg az új mérőműszerekre vonatkozó követelményeket. A villogásmérő-osztályok szerint az előírások változhatnak (7.1. táblázat). Egyes esetekben indokolt lehet újfajta ellenőrzési módszerek alkalmazása is, amelyekkel az előírásokon túlmenően lehet igazolni a mérőműszerek vizsgálatát. Méréseimet két eltérő mérőosztályra vonatkoztattam (F_1 , F_3), valamint a kapott eredményeket a könnyebb értelmezhetőség miatt grafikusán is ábrázoltam.

Rugalmas jelgenerátor modulom, (7.20. ábra) a flicker-tesztekhez szükséges jelalakok előállításával egyszerűsíti a csatlakoztatott eszközök működési válaszainak ellenőrzését. A jelgenerálás manuális úton történt, ahol a kívánt teszt kijelölése és paramétereinek beállítása után következett a valós jel kiadása, majd a különböző eszközök összehasonlítása. A jelgenerálás tehát a megfelelő informatikai támogatás mellett ugyan, de tisztán manuális módon történik. Az automatikus mérésre is kiterjeszthető a rendszer, ebben az esetben azonban különféle triggerelési, és kétirányú kommunikációs megoldásokat is szükséges lett volna beépíteni a rendszerbe, így a távlati célok között szerepel egy ilyen rendszer megvalósítása.

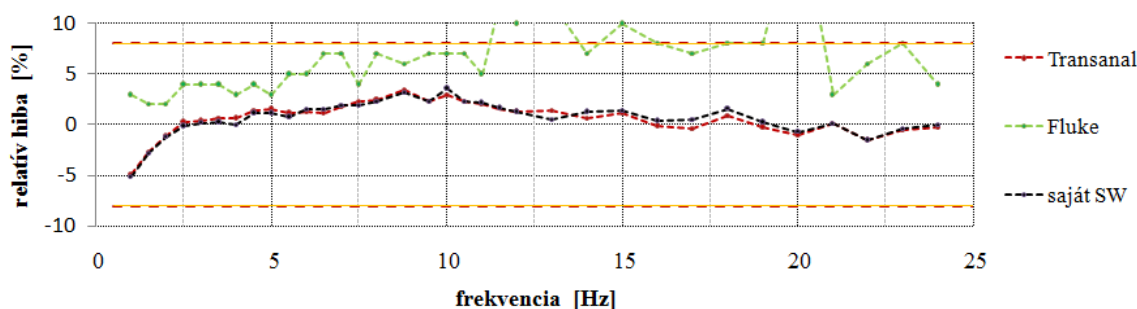
Egy kiválasztott tesztek elvégzése a következőképpen történnek: A flicker-mérőkre a tesztet közvetlen megelőző időben, egy hálózati zavarjelenséget szimuláló jel érkezik, majd ezt követően generálódik azon teszt-jelsorozat, amely a megfigyelés és összehasonlítás tárgyát képezi. A tesztelés előtt közvetlen generált, általában egy-két feszültség-kimaradást szimuláló jelsorozat a közel azonos vizsgálati körülményeket teremti, azaz minden úgy történik, mintha egy hálózati zavar történné a hálózaton. Természetesen az is hasonló körülményt jelentett, amennyiben null-jelsorozat generálása történt előzően (erre is sor került), ahol a mérőeszközök alaphelyzetbe állítása és ezt követő tesztelése történt. Mindkét esetben, hasonló eredményeket kaptam, de a célszerűség kedvéért az elsőt alkalmaztam többségében, amely inkább ad a valós körülményekhez hasonlót. Az említett tesztek segítségével, a villogásmérők beállítását, azaz *dinamikai viselkedését* is azonnal tudtam vizsgálni. A *statikus viselkedés*, és így a *stabilitás vizsgálata* céljából, több esetben több perces (több tízperces) folyamatos jelgenerálások is történtek, amelynek során folyamatosan jegyeztem fel a mért értékeket. A TR-16 esetén pl.: a méréseket követő offline módon, időponthoz rendeltén kerestem vissza az eredményeket. Az európai villamos hálózat jelentősége miatt, a teszteket 50 Hz-es feszültség-alapjelek generálásán keresztül végeztem el.

F₃ osztály mérési eredményei

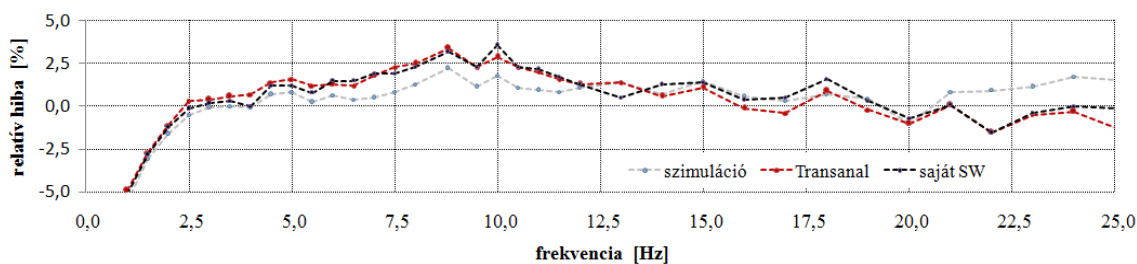
A 7.21 és 7.22. ábrákon mutatott elrendezésben végzett tesztek során három különböző villogásmérő tesztelése valósult meg, amelynek eredményeként online-modulom helyes működését tudtam igazolni. Előrevetítve és összefoglalva a mérőeszközök összehasonlításának eredményeit (teljesítményteszt; teljes-válasz teszt; egyéb statikus és dinamikus vizsgálat), a következő megállapítások tehetők:

- Az online villogásmérő-modulom működése teljes összhangot mutat a TR-16 Multirec, azonos flicker-osztálybeli, professzionális hálózat-analizátor berendezés mérési eredményeivel; ezzel szemben a Fluke-434 viselkedése teljes mértékben eltért a referenciaértékektől.
- Mind a TR-16 Multirec, mind online villogásmérő-modulom megfelelő dinamikával működik, azonnali reagálást mutat a hibajelenségekre, és a lehető leggyorsabb módon áll be a következő stabil állapotba; ezzel szemben a Fluke-434 dinamikus viselkedésre nem képes, 4-5 min szükséges a beállításához, azaz nagy késleltetéssel mutatja a hálózati jelenségeket, ezzel elveszítve a mért jel és az általa mutatott értékek megbízhatóságát. Így hibajelenségekkel terhelt hálózaton, vagy ott ahol dinamikus változó flicker-jelenségek fordulnak elő nem javasolt a használata. Az mérési eredményeket bemutató ábrákon az online modul és a TR-16 eredményei, a hibajelenséget követő egész vizsgálati időszak (perc-alapú vizsgálati időszak esetén, a vizsgálatot követő perc) utáni leolvasásokat mutatják; ezzel szemben a Fluke-434 eredményei ezen hibajelenséget követő több vizsgálati periódus (perc-alapú vizsgálati időszak esetén, a vizsgálatot követő 4-5. perc) utáni eredményeket mutatják, amelyre szükség volt, ugyanis a beállítás lassan történik ezen eszköznél.
- A Fluke-434 ellenőrzése más, kevésbé szokványos, a hibajelenségekkel megtörtént, de ebben az esetben is hasonló mérési eredményeket kaptam. Viszont a statikus vizsgálatok során (állandósulást hagyó vizsgálatok), esetenként a másik két eszköznel is kisebb hibát produkál, amellyel alkalmas lehet a kalibrálás referencia-értékeinek felállítására.
- Az ábrákból látható, hogy a TR-16 és a létrehozott online modul mérési eredményei erősen korrelálnak egymással. A minimális eltérés oka, minden bizonnyal a kalibrálási-rendszerstruktúra azon felépítésbeli sajátosságából ered, amelyet a villogásmérők eltérő mérési tartományai okoznak; ez okozza a kismértékű bizonytalanságot.
- Az F_3 osztályos villogásmérők megfelelőségét a teljesítmény és a teljes-választ teszt írja elő, amely a mérők érzékenységét, és az elemek pontosságát vizsgálja. A 2010-es követelmények szerint, a teljes válasz tesztek esetén a maximális hiba 8%, míg a teljesítménytesztek során az 5%-os hibaküszöböt nem léphetik át az eszközök, amelyeket a vizsgált eszközök is teljesítenek (a Fluke-434 esetén a beállítás hosszú idejű, de végeredményképpen teljesülnek az előírt követelmények).
- Mindhárom villogásmérő érzékelési tartománya megegyezett egymással: $0,2 \leq P_{st} \leq 5,0$.

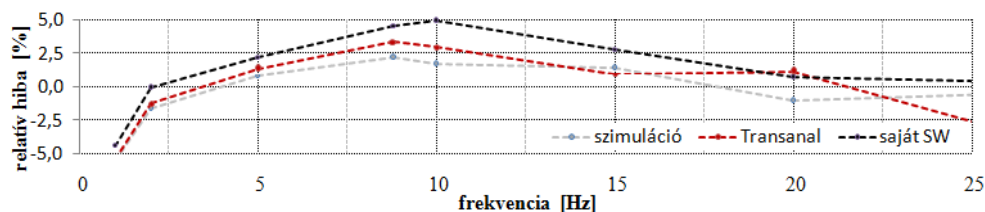
A négyszög-moduláció alapú teljes-válasz teszt mérési eredményei



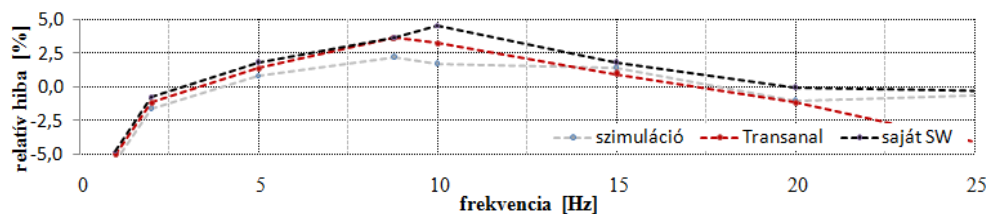
7.24. ábra: Négyszög-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=1,0$); alapeszt



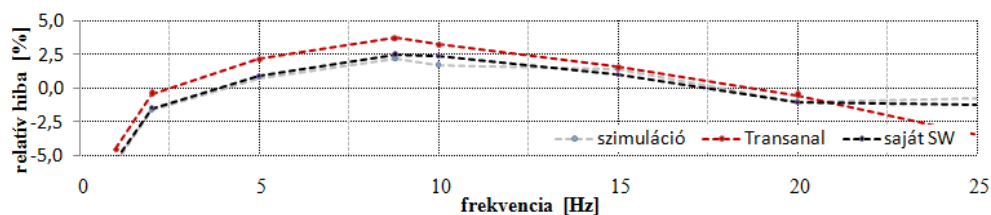
7.25. ábra: Négyszög-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=1,0$); alapteszt



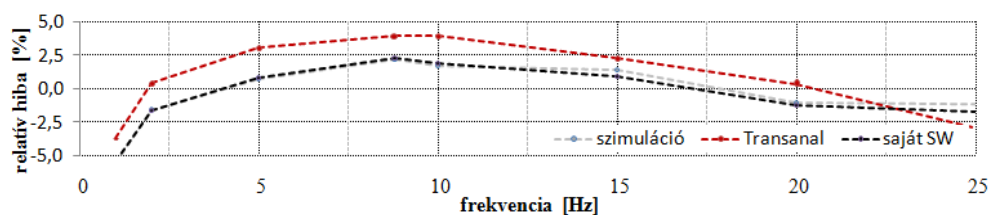
7.26. ábra: Négyszög-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=0,5$)



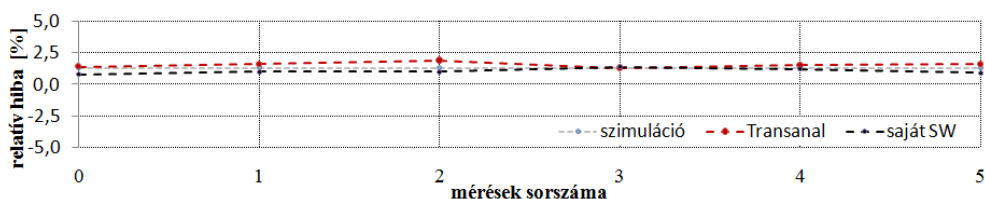
7.27. ábra: Négyszög-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=0,7$)



7.28. ábra: Négyszög-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=2,0$)

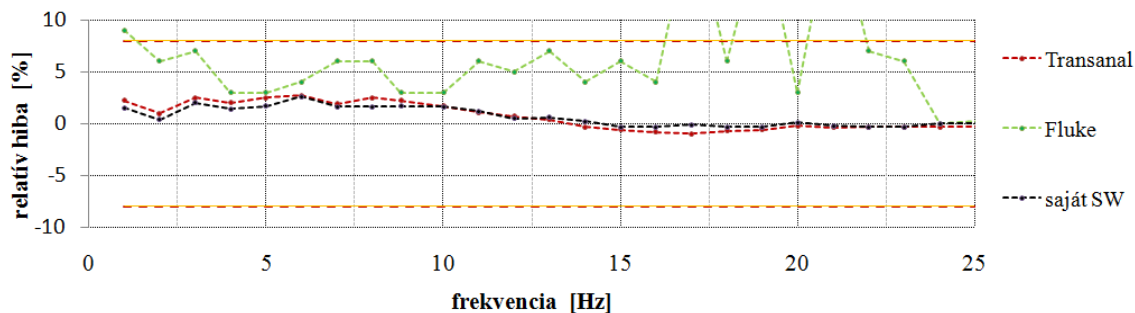


7.29. ábra: Négyszög-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=5,0$)

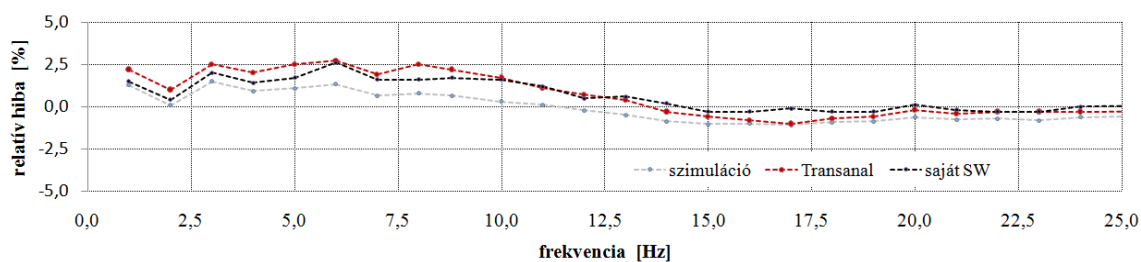


7.30. ábra: Négyszög-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st\ 10min}=1,0$); stabilitásvizsgálat

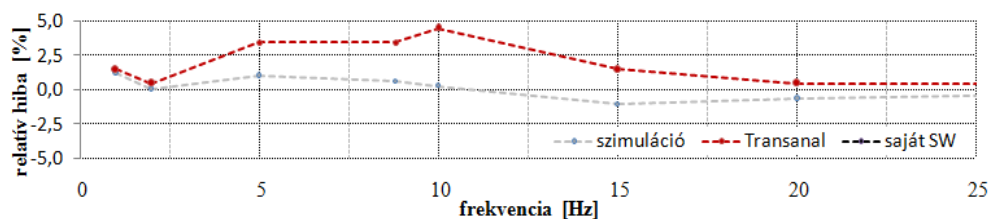
A szinusz-moduláció alapú teljes-válasz teszt mérési eredményei



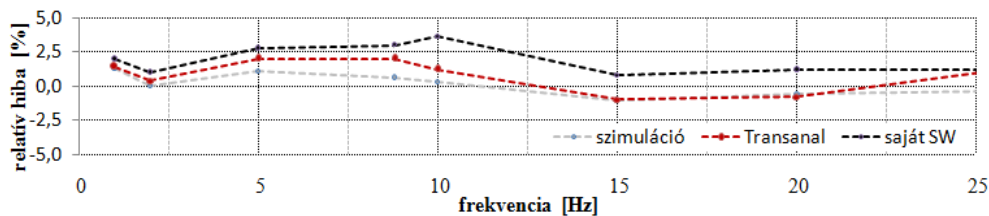
7.31. ábra: Szinusz-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=1,0$); alapteszt



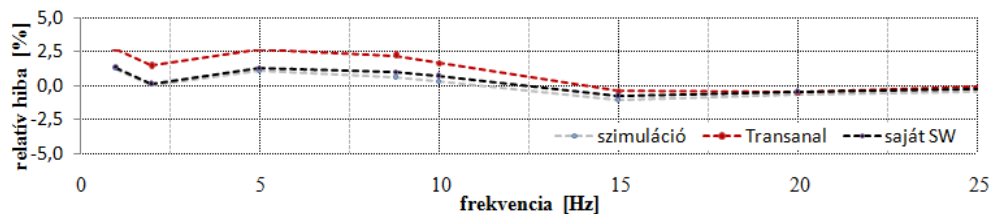
7.32. ábra: Szinusz-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=1,0$); alapteszt



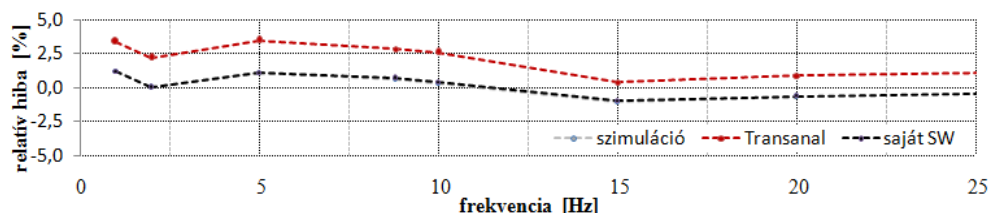
7.33. ábra: Szinusz-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=0,2$)



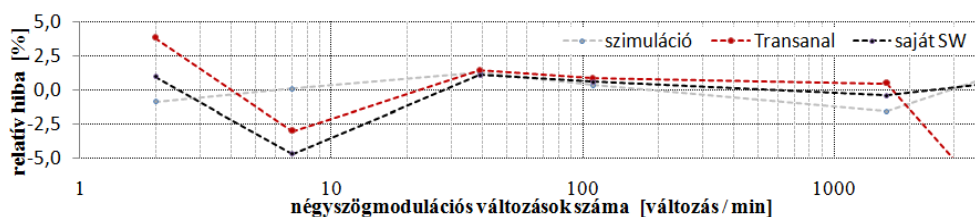
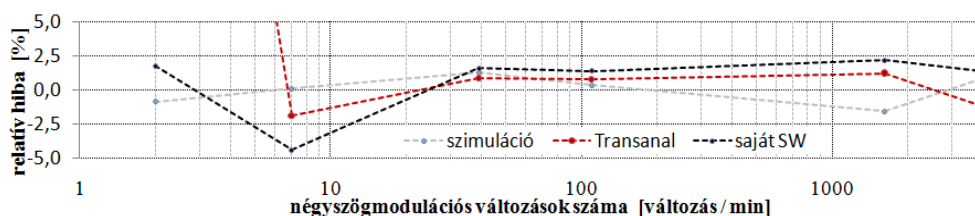
7.34. ábra: Szinusz-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=0,5$)



7.35. ábra: Szinusz-moduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=2,0$)

7.36. ábra: Szinuszmóduláció alapú teljes-válasz teszt ($P_{st}=5,0$)

A négyszögmoduláció alapú teljesítményteszt mérési eredményei

7.37. ábra: Teljesítményteszt ($P_{st\ 10min}=1,0$); alapeszt7.38. ábra: Teljesítményteszt ($P_{st\ 10min}=0,5$)

F₁ osztály mérési eredményei

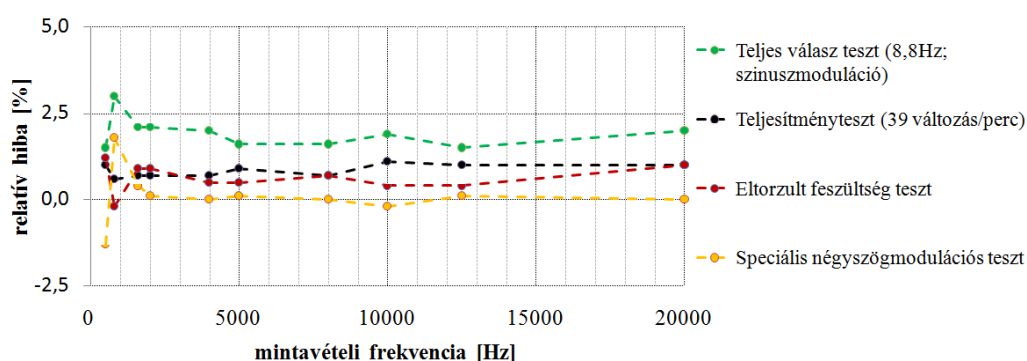
Az F₁ osztályos villogásmérők tesztelése részben megegyezik az F₃ osztályos mérőkével (7.1. táblázat). Ennek ellenére néhány teszt (pl.: teljes választ teszt; teljesítményteszt) megismétlését is elvégeztem a teljes körű tesztelés okán. A két flicker-osztály közötti legnagyobb eltérés, a teszt típusokon túlmenően, a mérőknél alkalmazott (kulcsfontosságúnak számító) mintavételi frekvencia beállításában van.

Az előírásokban foglaltak maradéktalanul teljesítéséhez, az F₃ osztálybeli mérőknél elégséges az 500 Hz-es mintavételi frekvencia alkalmazása, viszont az F₁-mérőknél ennél jóval nagyobb frekvencián szükséges az adatok analízist elvégezni. A kidolgozott online modul F₁ osztályos megfelelőségének ellenőrzéséhez nem állt rendelkezésemre referencia mérőeszköz (7.23. ábra), azonban az előírások pontosan rögzítik a tesztek vonatkoztatási értékeit és azok toleranciáit (7.1. táblázat) is, amelyek minden esetben megfelelő támpontot adtak a helyes működés vizsgálatához.

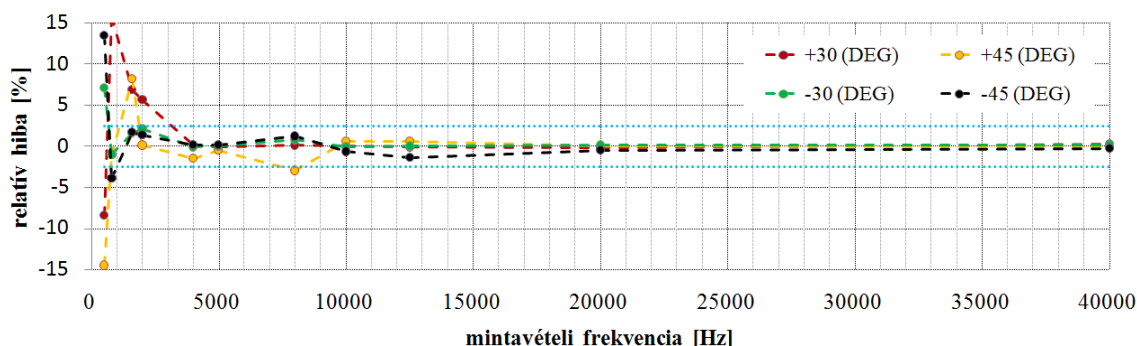
A méréseket, az ábrákon 500 Hz és 40 kHz között jelölt mérőpontjain végeztem el. Az elvégzett F₁ osztályos mérések teljes összhangot mutattak a szimulációs eredményekkel (7.39. ábra), és tükrözik az előírásokban rögzített értékeket is. Az F₃ osztályhoz képest új teszteknek számító pl.: speciális négyszögmoduláció és eltorzult feszültség mérési eredményei szerint, a mintavételi frekvencia drasztikus növelésére nincs szükség (az 1000 Hz-es mintavételi frekvencia esetén is $\pm 2,5\%$ hibahatár teljesül). A fázisugrás teszt azonban a mintavételezési

frekvencia növelését igényli. A tesztelés kiterjedt a hálózati frekvenciát és amplitúdót érintő ingadozások okozta ellenőrzésre, a villogásmérő sáv szélességét mérő ellenőrzésre és a különböző tranziensek okozta mérésekre is, ahol a kapott eredmények ugyancsak megfeleltek az előírásoknak.

A fázisugrás teszt valódi mérési eredményeiben enyhén ingadozó relatív hiba is tapasztalható, amelyeket a ± 10 sec-en belüli toleranciával működő manuális jelgenerálás okoz (a generált fázisugrásokat ± 10 sec toleranciával szükséges indítani). A teszt érdekessége (7.40. ábra) az, hogy szimulációkhoz képest, a valós mérések során némileg kisebb hibákat kaptam a mérés során, azonban a mért értékek bizonytalansága teljes mértékben összhangban áll szimulációkkal; pl.: 8 kHz-ig a fázisugrás okozta bizonytalanság minden fázisugrás ($\pm 30^\circ$, $\pm 45^\circ$) esetén egyaránt jelentkezik. A 10 kHz-es mintavételi frekvencia felett már nem jelentkezik ez a bizonytalanság.



7.39. ábra: F_1 osztályos tesztek különböző mintavételi frekvenciákon



7.40. ábra: F_1 osztályos fázisugrás teszt, jelölve a 2,5%-os előre kiválasztott hibahatárt

7.6. Új tudományos eredmények

2. TÉZIS: Kidolgoztam egy olyan kalibráló módszert, amellyel tetszőleges villogásmérő valós körülmények közötti objektív tesztelését és teljes körű ellenőrzését lehet elvégezni.

Kidolgozott módszerem átfogó képet ad a csatlakoztatott villogásmérő statikus és dinamikus működéséről. Kifejlesztett kalibráló módszerem alapján, olyan automatikus tesztelést támogató szimulációs módszert dolgoztam ki, amely az online flicker-mérési módszerem teljes körű ellenőrzését képes elvégezni, amely egyben visszacsatolást ad módszerem helyes működéséről, továbbá optimális mintavételi frekvenciákat határoz meg a szabványi előírásokban rögzített F_1 és F_3 osztályos villogásmérésekhez.

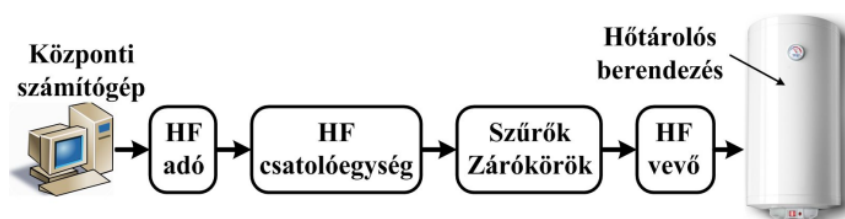
8. A HANGFREKVENCIÁS KÖZPONTI VEZÉRLŐ RENDSZER FELÉPÍTÉSE ÉS MŰKÖDÉSE

Disszertációm ezen fejezetében, általánosan mutatom a HFKV felépítését, működését, amely az egyszerűbb megértését és értelmezését szolgálja az általam kidolgozott dekódoló és analizáló módszereknek. A vizsgálataim középpontjában álló, elsősorban hőtároló berendezéseket kiemelő, valamint a HFKV-rendszer fizikai felépítését részletező bemutatás azért is szükséges, hogy könnyebben legyen a napjainkban egyre előkelőbb szerepet elfoglaló RFKV- és SMART-rendszerek, valamint kutatási témám középpontjában álló HFKV-vel kapcsolatos összefüggés megtalálása.

Napjainkban, a villamosenergia-rendszer használatának közvetlen befolyásolása, a fogyasztóknál alkalmazott vezérelhető berendezések (pl.: vízmelegítő berendezések, hőtároló kályhák, közvilágítás, vészjelző-rendszer, egyes országokban a légkondicionáló berendezések [321]) alkalmazásával biztosított, amelyeket az áramszolgáltató a számára legkedvezőbb időszakokban üzemeltethet. A direkt módon, egyszerűen alkalmazható *hőtárolós tömegvezérlés* emiatt jelent hatékony eszközt az áramszolgáltató (hálózatüzemeltető) kezében. A hálózatüzemeltető által megvásárolt villamos energia, fogyasztáshoz történő igazítása csak megfelelő *írott* [20-21] és *íratlan* (elsősorban a fogyasztók komfortérzetét szolgáló) követelmények betartása mellett történhet, amely egyúttal a szolgáltató/felhasználó napi szintű egyensúlyát tartja fent.

8.1. A hangfrekvenciás központi vezérlőrendszer moduláris felépítése

A nyugat-európai országokban jelenleg többféle típusú HFKV-rendszert alkalmaznak, amelyek elvi felépítését és gyakorlati megoldását tekintve nagyban hasonlítanak egymáshoz. A HFKV egy olyan jelátviteli rendszer, ahol a jelátviteli útként az erősáramú villamosenergia-hálózatot használják (8.1. ábra).



8.1. ábra: A HFKV-rendszer általános felépítése

Minden HF rendszer központi részei speciális teljesítményelektronikai berendezések, amelyek a transzformátorokon HF jeleket modulálnak és csatolnak rá a hálózati feszültségjelre. A generált HF jel formátumát elsősorban a felhasználói oldalon telepített vevőegységek határozzák meg. A HF formátumot betartva, a központi számítógép meghatározott időintervallumonként (általában negyedóránként) küldi és generáltatja az impulzussorozatokat (ún. HFKV táviratokat), vezérelve ezzel a felhasználó oldali berendezéseket, eszközöket.

Ez a folyamat természetesen megfelelően beállított, bonyolult teljesítményelektronikai berendezéseket igényel, amelyen kívül számos már elemre is szükség van (pl.: csatoló-, szűrő-elemek). A rendszerek közötti különbség elsősorban a nagyfeszültségű hálózatra csatolás formájában, valamint a vevő oldalon felszerelt gyártmányok műszaki megoldásában, így ebből következően a HF táviratok struktúrájában van.

A hangfrekvenciás adók

A HF adók nagy teljesítményű teljesítményelektronikai berendezések (generátorok), amelyek háromfázisú HF jelet állítanak elő. A HF jel teljesítménye általában 100 kW...1 MW nagyságrendben mozog és pontos nagyságát a „besugárzott” terület nagysága határozza meg. A HF vivőfrekvencia a hálózat fizikai jellemzőitől függően, az 50 Hz felharmonikusainak értékétől a lehető legtávolabb esik (az okozott zavarok csökkentése érdekében). A magyar villamosenergia-rendszerben, a földrajzilag eltérő helyen lévő áramszolgáltatók egymástól különböző, de célszerűen választott vezérlőfrekvenciákat használhatnak (pl.: ELMŰ: 216,66 Hz; ÉMÁSZ: 183,33 Hz). A HF jel nagysága a hálózati feszültség (50 Hz) 1-2%-a, amelynek biztosítása a vevők megbízható működése érdekében fontos.

A HF adók táviratokat (impulzussorozatokot) küldenek ki a hálózatra. Az egyszerűbb protokollok esetén a táviratokban az impulzusok pozíciója hordozza az információt. Egy távirat általában 1 perc hosszúságú. A táviratok szabványosítottak, meghatározott ideig kiadott HF feszültség (HF vivő jel) jelent egy impulzust. Az alkalmazott HF-táviratok felépítése és értelmezése erősen szolgáltató- és gyártó-függő (ÉMÁSZ: Pulsadis; ELMŰ: RicenticB/Vesacom), ahol a szóban forgó táviratok impulzusainak hossza, szünetei akár teljesen különbözhetnek egymástól, amely szolgáltatói szintű eltéréseket, különböző biztonsági okok is indokolják. A választott rendszertől és gyártótól függően, a legtöbb esetben az impulzusok hossza 110...1000 msec, míg az impulzusok közötti szünet 320...1500 msec tartományba esik [17-18.sz. FÜGGELÉK]. Általánosságban tehát, egy táviratban egy nagyobb időigényű start impulzust követően, a címzéshez szükséges impulzusok, majd az egyes fogyasztói csoportokra vonatkozó impulzusok generálódnak (start-címzés-fogyasztói csoportokra vonatkozó parancspárok sorrendjében). Rendszerint, a start impulzus mindig hosszabb, mint az információt hordozó impulzusok (egy normál impulzus hosszának 1,5...2-szerese). Az egy adott fogyasztói csoportra vonatkozó parancsokat a legtöbb protokollnál ún. „parancspárok” hordozzák, amelyen belül vagy kikapcsolási-, vagy bekapcsolási-parancs adható ki. Gyakori eset az, amikor KI-parancs impulzusa az első, a BE-parancs impulzusa a második pozíción van (pl.: ÉMÁSZ). Az ilyen típusú tulajdonképpen „kétbites” (redundáns) parancsátvitel a biztonságot szolgálja.

Mivel a későbbiekben a ÉMÁSZ hálózaton történt ipari méréseken keresztül mutatom be az általam kidolgozott módszereket és algoritmusokat, ezért célszerűségi okokból bemutatom a rendszerben alkalmazott (három részből álló) távirati struktúrát (**8.2. ábra**):

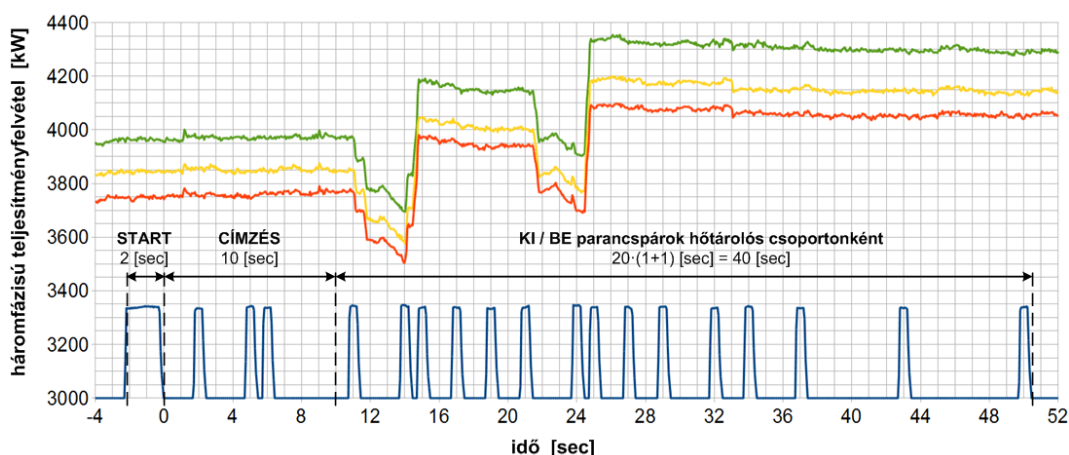
- 1. rész: *start jel* (1 db impulzus, kb. 2 sec hosszúságú, amelyet 1 sec szünet követ);
- 2. rész: *címrész* (10 db 1 sec-es impulzus), amely a távirat funkcióját és a fogyasztó berendezés típusát határozza meg (a vezérlés vonatkozhat pl.: bojlerre, hőtárolós kályhára, közvilágításra, polgári védelemre, stb.); továbbá a címrészt használják a földrajzilag akár eltérő helyen felszerelt vevői csoportokat azonosítására;

Megjegyzés: Az értekezés specializált vevői csoportok vezérlésével foglalkozik a későbbiekben (vízmelegítők, hőtároló kályhák).

- 3. rész: *parancs-párok* tartalmazó rész, ahol az impulzus helyéből (páros vagy páratlan) következtetni lehet arra, hogy ki- vagy be parancsról volt szó (20 db vevői csoport van; 40 db 1 sec-es impulzushely). Egy parancspárban egy impulzus fordulhat elő (ki- vagy be-parancs);

Megjegyzés: A parancspárokkal azonosított vevői csoportokat a későbbiekben, ún. „hőtároló csoportoknak”, ill. „bojler csoportokat” nevezem az értekezésben.

A címrész és a parancspárokat tartalmazó részek impulzusainak hossza 1 sec, 50%-os kitöltési tényezővel, azaz minden 1 sec-es impulzusban 0,5 sec maximális amplitúdójú HF modulációt, egy 0,5 sec-es szünet követ.



8.2. ábra: Az ÉMÁSZ rendszerben használt távirati struktúra

Az ÉMÁSZ rendszerében úgynevezett mestercímek kiadása is lehetséges, amivel különböző fogyasztó típusokra (HF vevőkre) egyszerre küldhető ki a parancs, amely során az impulzus-kimaradás esetén téves működés állhat fent. A vevők csoportokba vannak sorolva, amelyeket csak a rájuk vonatkozó parancspár tud vezérelni, így nem reagálva másik csoportra kiküldött parancsra. (Az ELMŰ területén ezzel szemben a RiconticB protokoll kódolt biteken keresztül biztosítja a vezérelt fogyasztói csoportok címzését.) Ugyanabba a csoportba tartozó vevők különböző földrajzi helyeken lehetnek felszerelve, azonban az adott csoportnak szóló parancs mindegyikükre egyaránt vonatkozik. Az értekezés további részeiben, az ugyanazon impulzus párral vezérelt hőtároló berendezések adott csoportját, ún. *hőtároló csoportnak* (vízmelegítők, hőtároló kályhák) nevezem.

A hangfrekvenciás csatolóegységek, szűrők, zárókörök

A rendszer legkritikusabb eleme a *HF csatolóegység*, amely rácsatolja a HF generátor jelét, az 50 Hz-es nagyfeszültségű villamos energiahálózatra. A csatolás különböző hálózati feszültségszinteken (120 kV; 10 kV, 20 kV, 35 kV) megy végbe, valamint a jelek csatolási módja is eltérhet (az ELMŰ 120 kV-os hálózatán párhuzamos csatolás; az ÉMÁSZ közép- és nagyfeszültségű hálózatán soros csatolás). A soros csatolón a terhelő áram teljes egészében átfolyik, így azt arra kell méretezni. A párhuzamos csatolás esetén a csatoló-berendezésre

120 kV kerül, így ezt szűrőkkel le kell leválasztani, hogy az ne juthasson vissza a HF generátorra (adóra).

Az alkalmazott *HF szűrők* biztosítják azt, hogy a HF jel minimális csillapítással jusson a hálózatra, ugyanakkor az 50 Hz-es alapharmonikusra a lehető legnagyobb legyen a csillapítása. Az adó kapcsolóelemeire visszajutott 50 Hz-es harmonikus ugyanis megzavarhatja a kommutációt, valamint további meghibásodásokat is okozhat. A fenti szűrők végzik el a HF adó jelének szűrését is, a lehető legnagyobb mértékben csillapítva a kibocsátott HF jel felharmonikusait.

A 120 kV-os hálózat hurkolt, emiatt a 120 kV-os vezetékeken különösen fontos a *zárókörök* alkalmazása annak érdekében, hogy az HF adók jelei ne jussanak át más adó körzetébe, ezzel hibás működést, interferenciát okozva. (A tapasztalatok szerint az ELMŰ hálózata nincs „körbe” szűrve, így idegen hálózatról jövő hangfrekvenciás jelek is mérhetők a hálózaton. Ezek a zavaró jelek vevőknél működési problémákat okozhatnak.)

A 10 és 20 kV-os elosztóhálózatok sugarasan üzemelnek, a csatolóegységek a 120 kV/köf transzformátorok középfeszültségű oldalán vannak felszerelve. Mivel a 120 kV-os hálózat felé a transzformátorok fojtótekercsként viselkednek a HF jel szempontjából, így azok megakadályozzák a HF jel visszajutását a 120 kV-os hálózatra. Emiatt itt külön zárókörök alkalmazására nincs szükség.

A hangfrekvenciás vevőegységek

A HF vevők a fogyasztóknál elhelyezett mérőberendezés részét képezik, amelyek a fogyasztói oldalon (230 V / 50 Hz) elhelyezett szűrőkkel, mechanikus vagy elektronikus relékkel és mikrokontrollerrel egybeépített egységet alkotnak. Ezek az eszközök a 230 V/50 Hz-es hálózatról választják le a kódolt hangfrekvenciás jelet és (megfelelő távirat érzékelése esetén) kimeneti relékkel kapcsolják a fogyasztói berendezéseket a hálózatra. A HF vevők a startjel hatására indulnak, felszerelésük előtt programozzák őket és csak egyedi (táviratokban közölt) cím- és a parancspár kombinációk aktivizálják őket.

A vezérlő számítógépes rendszer

A HF adók működését, a táviratok felépítését meghatározott időprogram alapján egy központi számítógép vezérli. Minden adó, számítógépes hálózaton (illetve más adatátviteli utakon keresztül is) össze van kötve a központi számítógéppel. A HFKV többszintes irányítási rendszert alkalmaz a vezérlés során, amely megbízható körülményeket ad a rendszer stabilis működéséhez. A megbízható működése érdekében, egy esetleges adatátviteli kapcsolat megszűnése esetén, a HF adó önálló, ún. „*tartalékolt üzemmódra*” áll át, ekkor a HF adó saját időprogram szerint (hálózati és adatkapcsolattól független módon) vezérli a táviratküldést az adat- és hálózati kapcsolat helyre nem állásáig. Egy adó meghibásodása esetén lehetőség van egy tartalékadó bekapcsolására is, amely szükség esetén képes a HF táviratok generálását átvenni.

A HFKV rendszer a telemechanikai rendszerrel is összekapcsolható, ami további lehetőségeket jelent a terhelés adaptív vezérlésre. Ezen két rendszer összekapcsolásával akár

zárthurkú teljesítményszabályozás is létrehozható, amelyre a korábbi években már voltak próbálkozások.

8.2. A hangfrekvenciás központi vezérlőrendszer működésének összefoglalása

HF vezérlési lehetőségek bemutatása két konkrét esettanulmányon keresztül

Az *ELMŰ* és az *ÉMÁSZ* rendszere közötti legnagyobb eltérés az adókörczetek áthallásából adódik:

- Az *ÉMÁSZ* rendszerében, a 120 kV/köf alállomásokra telepített 28 db HF adó van, amelyek a sugaras elosztóhálózatra csatlakoznak, önállóan látva el saját területüket, egymás működését nem zavarva. A rendszerstruktúra legfontosabb adottsága az, hogy az adók HF jelei nem jutnak át más adó területére, ezért egymástól függetlenül, különböző táviratokat kiküldve is vezérelhetők. Ezzel a táviratok által vezérelt teljesítményváltozások időben eloszthatók (szükség esetén széthúzhatók) és ez esetben nem okoznak egyidejű, nagy „teljesítmény-lökést” a hálózaton. Ezt az áramszolgáltató aktívan alkalmazza, ugyanis a mérési tapasztalatok azt mutatták, hogy nem egyszerre történnek a teljesítménykapcsolások; emiatt a teljesítményadatok összegzéséhez, egyedi szinkronizáló megoldásokat kellett kifejleszteni.
- Az *ELMŰ* rendszerében 5 db szinkronban járó HF adó van, amelyek a 120 kV-os hálózatra „párhuzamosan” kapcsolódnak. A HF adók háromfázisú jeleit egymáshoz képest szinkronizálni kell, amely az esetleges csillapítás és kioltás miatt elengedhetetlen; így HF adók csak szinkronizált módon (azonos időben), kizárólag azonos táviratokat küldhetnek ki a hálózaton.

Az előbbieket miatt, a vezérelt fogyasztók számát tekintve igen nagy lehet a különbség az ÉMÁSZ és az ELMŰ egy-egy adókörczete között, azaz az egyidejűleg kapcsolt („megmozgatott”) teljesítmények nagyságrendjében is jelentős eltérések lehetnek.

Ha szinkronban járnak az adók, akkor pusztán a hőtároló csoportok száma határozza meg, hogy az áramszolgáltató területén mekkora a legkisebb be- vagy kikapcsolt teljesítményváltozás. Ha a beépített (illetve üzemszerűen bekapcsolt) bojlerok összes teljesítménye 400 MW (mérési eredményekből származó adat), akkor 10 hőtároló csoport arányos elosztása esetén kb. 40 MW teljesítményváltozást okozhat maximálisan egy-egy hőtároló csoport be- vagy kikapcsolása.

Ez a nagyságrend áramszolgáltatói szinten jelentősen befolyásolhatja a terhelési görbét, ami a vásárolt villamos energia elszámolásánál többletköltséget és megtakarítást is egyaránt eredményezhet. Ha az adók egymástól függetlenül küldhetnek ki táviratokat, akkor az adók számával arányosan csökken a megmozgatott teljesítmény értéke. Az előbbi példánál maradva 25 db adó esetén az 40 MW teljesítménynek a 25-öd része jut egy-egy adókörczetre, azaz kb. 2 MW teljesítményváltozást okozhat bojlercsoportonként.

A magyarországi gyakorlatban (pl.: ÉMÁSZ) a hálózatüzemeltetők általában nem alkalmazzák a zárthurkú teljesítményszabályozást (HFKV és telemechanikai rendszer együttműködése mérési-terhelési adatokon keresztül), hanem inkább a fix időprogramon keresztül valósítják meg a vezérlést. A villamosenergia-rendszer HF vezérlése során, a fix időprogrammal történő vezérlés természetesen nem ad olyan rugalmasságot és finomhangolhatóságot (a terhelés ingadozás véletlen jellege miatt) mint az előbb említett szabályozás, azonban megfelelően optimalizált és beállított időprogram mellett, a gyakorlatban visszaigazolhatóan optimálishoz közeli állapot jöhet létre. A zárt szabályozási kör a telemechanikai rendszer távmérési adatainak (pl.: aktuális rendszerteljesítmény; teljesítményeltérések), és a HFKV-rendszer beavatkozási lehetőségeinek (üzemi szabályzat; felhasználók komfortérzete) együttes felhasználásával hozható csak létre. Ilyen módon adaptív –a környezeti feltételek változásához alkalmazkodó– szabályozási rendszer is megvalósítható lenne, amelyre a fejlett nyugat-európai országokban korábban már voltak eredményes kísérletek. Az elmondottak alapján azonban látható, hogy egy adaptív rendszer létrehozásához rengeteg megfontolás és fizikai átalakítás is szükséges lehet, ezért a jelenleg adott lehetőségeket kell a legjobban kihasználni (nagy pontosságú analízis módszerek kidolgozása szükséges, amellyel pontosabb beavatkozást és hálózati válaszreakciót lehet megjöszolni).

A HFKV néhány problematikus kérdése (központi problémafelvetés)

A HF-rendszer egyirányú jelátvitelt biztosít. A központban működő számítógép az időprogramnak megfelelően (szabályosan felépített jelsorozatok szerint, táviratok formájában) küldi a ki- és bekapcsolási parancsokat, amelyeket a fogyasztónál felszerelt HF vevőkészülékek fogadnak, így lehetővé téve a hőtároló berendezések vezérlését.

A legnagyobb problémát a HFKV esetén az jelenti, hogy a szolgáltató számára nincs visszajelzés az adott hőtárolós csoportokba tartozó felhasználó oldali berendezésekről. Emiatt nem ismertek a felhasználó oldali hőtároló berendezések (bojlerek, hőtároló kályhák) fizikai jellemzői (pl.: berendezések teljesítményszükséglete; hődisszipációs adatai az időben; termosztátok viselkedése), ráadásul az aktuális- és elhasznált hőmennyiségéről (azaz a melegvíz-felhasználásról) sem rendelkezik az áramszolgáltató adatokkal, így nem tud következtetni a bojlercsoportok jellemzőire sem. Emiatt azt sem tudja a szolgáltató, hogy hány darab berendezés fog a HFKV-t követően be- vagy kikapcsolódni, amely miatt viszont kijelenthető, hogy a HFKV „bizonytalan” teljesítményugrásokat okozhat a hálózaton. A bizonytalan teljesítményugrásokat kerülni kell, ugyanis ez kritikus esetben fizikai problémákat is okozhat, pl.: transzformátortúlterhelés. Az áramszolgáltatásban résztvevő kereskedő, vagy hálózat üzemeltető részére az energiagazdálkodás és hálózatveszteség szempontjából nagyon fontos annak ismerete, hogy egy-egy HF távirat (bojlercsoportonként is!), mekkora teljesítménynövekedést vagy csökkenést eredményez a hálózaton.

Általánosan tehát azt lehet mondani, hogy a HFKV okozta teljesítményváltozások –az egyirányú rendszerstruktúra miatt– nem ismertek az áramszolgáltató számára, így kizárólag mérésekkel, valamint a mérési adatok feldolgozásával lehet meghatározni azokat a paramétereket, amelyek a HF időprogramok optimalizálásához szükségesek. Jelenleg magyarországi áramszolgáltatók csak becslési adatokkal rendelkeznek a HFKV-val kapcsolt

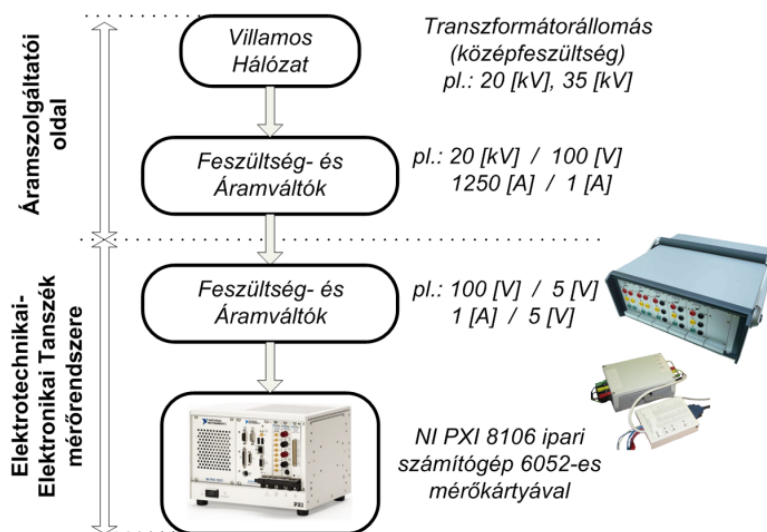
hőtárolós teljesítményről, azonban az általán végezett eredményes munkának köszönhetően a villamos hálózat HFKV szempontjából történő pontos analizálására van lehetőség.

9. A HANGFREKVENCIÁS KÖZPONTI VEZÉRLŐRENDSZER ANALIZÁLÁSHOZ SZÜKSÉGES ÚJ MÉRÉSI MÓDSZEREK ÉS ESZKÖZÖK

Ebben a fejezetben, röviden bemutatom az észak-magyarországi régióban végzett mérés-adatgyűjtést. Továbbá részletezem az elvégzett méréseket, fontos figyelmet fordítva azokra a paraméterekre, amelyek az analízisi eredmények bemutatásánál kiemelt fontossággal rendelkeznek. A mérési háttér és eredményeinek bemutatására azért van szükség még a kidolgozott analízisi módszerek leírását megelőzően, ugyanis több esetben valós mérési adatokat használtam fel módszereim tökéletesítéséhez. Mindezen felül, a hőtárolós profilok meghatározására irányuló módszerek és felhasználói szokásokra történő következtetések sem nélkülözhetik a mérési adatokat.

9.1. Az elvégzett mérések

Az EET kutatócsoportja, az észak-magyarországi régió összes transzformátorállomásán (35 állomás, 46 transzformátor) több mint két hónapon keresztül végzett mérés-adatgyűjtést kifejezetten a HFKV tanulmányozására. Ehhez olyan mérőrendszer alkalmazására volt szükség, amely képes nagymennyiségű adat mintavételezésére a későbbi analízis és feldolgozás céljából.



9.1. ábra: Az elvégzett mérések strukturális felépítése

A mérések során, egy *általánosan megtervezett rendszer* összeállítását kellett elvégezni. A szükséges mérőrendszer(ek) felszerelése –minden esetben– előkészített menetrend szerint történt, amelyre a transzformátorállomások eltérő fizikai adottságai és a rendelkezésre álló eszközök korlátozott száma miatt volt szükség. A legtöbb transzformátorállomáson, egyidejűleg több transzformátor mérését végeztük el kollégáimmal, állomásonként átlagosan 3-4 napon

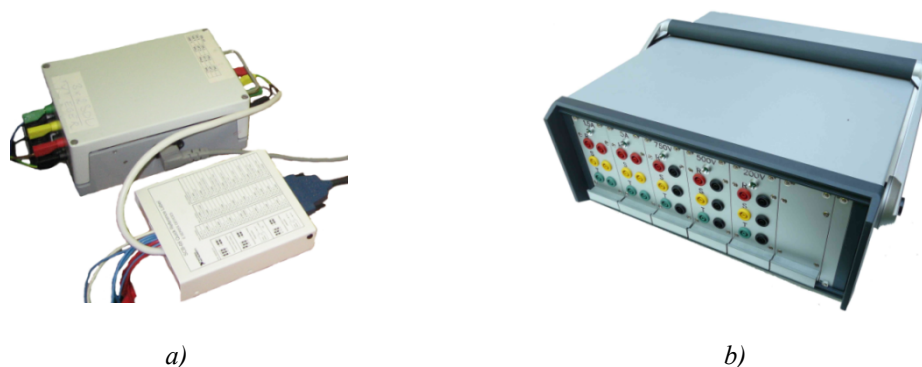
keresztül (de egyhetes mérés is több esetben előfordult). Ennek eredményeként, összesen mintegy 150 mérési nap információi álltak rendelkezésre.

A mérőállomások nagy száma miatt, a hálózati mérések azonos időpontban több helyen történtek, emiatt megfelelő számú áram- és feszültségváltó használatáról is gondoskodni kellett. Egyes szituációkat az is bonyolított, hogy egy számítógéppel két különböző transzformátor vizsgálatát is el kellett végezni. Ez a lehetőség már egyedi, általam tervezett szoftveres megoldásokat és mérési beállításokat igényelt.

A hálózatüzemeltető kollégák segítségével, a transzformátorok KÖF oldalán alkalmazott feszültség- (pl.: 10 kV/100 V; 20 kV/100 V) és áramváltókra (500 A/5 A; 800 A/1 A; 800 A/5 A; 1500 A/1 A; 1500 A/5 A; 2000 A/5 A) tanszéki fejlesztésű mérőváltókkal (átalakítókkal) történtek a csatlakoztatások (9.1. ábra). A kialakított mérőrendszert, ilyen (transzformátoronként eltérő) áram- és feszültségváltókra kellett csatlakoztatni, ahol a mérések során minden esetben fázismennyiségek (összetartozó fázisáramok és fázisfeszültségek) mérés-adatgyűjtésére került sor.

A következőkben, az általam tervezett és összeállított mérőrendszer legfontosabb hardveres- és szoftveres elemeit mutatom be.

9.2. A EET saját fejlesztésű áram- és feszültségváltói



9.2. ábra: Az EET-tanszék „hagyományos” (kisdobozos) kivitelű feszültségváltója (a); és egyedi fejlesztésű, (cserélhető fiókos) áram- és feszültségváltó berendezése (b)

A számítógépes mérésadatgyűjtők KÖF mérőköreinek csatlakoztatásához, tanszéki fejlesztésű, egyedi feszültség- és áramváltók alkalmazására volt szükség (9.2. ábra). A hálózatüzemeltető a KÖF oldal mérőváltóiról, legtöbb esetben 1 A-es és 5 A-es áramcsatlakoztási- és 100 V-os (névleges értékű) feszültségcsatlakozási pontokat biztosított. Az EET kétféle feszültség- és áramváltója lett a számítógépes illesztéshez felhasználva:

- saját fejlesztésű (cserélhető fiókos) mérődoboz (cserélhető áram- és feszültségfiókjaival), amely beépített sínrendszerének köszönhetően csak a DAQ-kártya csatlakozóját igényli a PC-hez történő csatlakoztatáshoz, valamint
- egyedi fejlesztésű áram- és feszültségváltó dobozok (amelyekhez kiegészítő csatlakozódobozt is kellett használni a váltók áram- és feszültségjeleinek DAQ-kártyához illesztéséhez).

Az alkalmazott (szekunder körű) váltóberendezések a mérendő csatornák méréshatárát, a DAQ kártyához illeszthető (± 5 V) feszültséggé alakították át (100 V/5 V; 1 A/5 V; 5 A/5 V). A saját fejlesztésű mérődoboz használatakor, csupán egy árnyékolt DAQ-csatlakozóra volt kizárólag szükség, ugyanis az eszköz a szükséges összeköttetéseket belül oldja meg, így nem volt szükség külön csatlakozódobozt használni a mérőjelek DAQ-kártyához illesztéséhez.

9.3. A számítógépes mérőrendszer részei

A mérésekhez a NI PXI-1031 chassis keretrendszerbe ágyazott, NI PXI-8106 típusú ipari számítógépet választottam, amely mellé az NI PXI-6052 multifunkcionális mérőkártyát helyeztem el (9.3. ábra). A nagysebességű PXI-8106-os vezérlőegység (2,16 GHz Dual-Core PXI Embedded Controller) és keretrendszere a nagyteljesítményű adatátviteli- és jelfeldolgozási megoldásokat, valamint a fejlett multiprocesszoros taszkkezelést biztosította. Választásom egy 16 bites, 16 db analóg bemenettel rendelkező PXI 6052-es DAQ-kártyára esett (maximális konverziós frekvenciája 333 kSample/sec), ugyanis legfeljebb 12 db csatorna mérését szükséges elvégezni (mérő-számítógépenként), amely maximálisan kielégíti a mintavételezésre és a későbbi analízisra szánt követelményeket.



9.3. ábra: Az NI PXI-8106 mérőszámítógép (a) és NI PXI-6052E típusú multifunkcionális DAQ kártya (b)

9.4. A mérések során felhasznált, saját fejlesztésű mérőszoftverek

A transzformátorállomásokon végzett méréseket két általam kifejlesztett mérőszoftverrel végezte megbízott kutatócsoportunk. Mindkét szoftver a *National Instruments LabWindows CVI* programcsomagjainak használatával készítettem:

- mérés-paraméter konfigurációt és próbamérést végző szoftver és
- folyamatos mérésadatgyűjtést végző szoftver.

A programok kifejlesztése során nemcsak egy specifikus cél elérésére törekedtem, hanem általános feladatokhoz terveztem a mérőszoftvereket. A hálózat HFKV szempontból történő analízisa egy igen specifikus téma, a rendszer későbbi újrafelhasználhatósága miatt, mind szoftveres, mind hardveres oldalról tekintve újfajta megoldásokat alkalmaztam. Ennek eredmények a létrehozott mérésadatgyűjtő rendszer későbbi újrafelhasználhatósága. Mindehhez viszont, az általános paraméterezésre és a hardveres adatgyűjtővel szembeni függetlenségre is fel kellett a rendszert készíteni. Ezáltal egy új mérési feladat sem szoftveres (pl.: új mintavételi

frekvencia, csatornaszám, csatorna-erősítések változtatása), sem pedig a hardveres változtatások (pl.: DAQ-kártya cseréje, új áram- és feszültségváltók csatlakoztatása) sem jelenthetnek problémát a rendszernek, amely igen nagy előny, ismervé napjaink néhány igen kötött és rugalmatlan mérésadatgyűjtő rendszerét. A legtöbb adatgyűjtő rendszer ugyanis kötött szoftveres és hardveres megoldásaival jelent erős korlátozást egy új feladatra. A mintavételi rendszer nyers, mintavételezett adatainak elérését csak korlátozott módon, vagy sehogyan sem teszi lehetővé, ezzel kizárva a későbbi jelanalizálás lehetőségét is. Ezeknél a rendszereknél ugyanis beépített hálózati minőség paraméterek mérésére nyílik lehetőség, ahol igen korlátozott módon lehet a mintavételezés közben, vagy a mérés után hozzáférni az adatokhoz. Pl.: az áram-, feszültség- és teljesítményadatok átlagolt formában állnak rendelkezésre, ahol az adatok átlagolásán sem lehet változtatni; mindez viszont gátat szab a későbbi elemzéseknek. Számomra viszont egy teljesen új kérdéskör (HFKV szempontból történő új analízis feladat!) elemzéséhez, ismerni kell a háromfázisú hálózatról gyűjtött áram- és feszültségadatokat is. Megjegyzendő, hogy az adatok átlagolására nálam is szükség van, azonban a feldolgozási folyamat jól paraméterezhető.

Az adatgyűjtések legfontosabb paraméterei (pl.: *mintavételezési frekvencia; felhasznált DAQ-kártya felbontása*) a mérések során rögzítettek, azonban a különböző fizikai jellemzőkkel rendelkező transzformátorok (pl.: szinte mindenhol egyedi KÖF szekunderkörü mérőváltók) megkövetelték, az egyes mérőhelyek egymástól eltérő paraméterezését és finombeállíthatóságát. Olyan *paraméterező szoftvert* fejlesztettem, amelynél lehetséges mérő-számítógépenként, azaz összeállított rendszerenként beállítani a mérési paramétereket.

Mérés paraméterezése

	1	2	3
1	3f áramjelek száma:		3
2	Mintavételi frekvencia:	330000.00	Hz
3	Scan rate	3200.00	Hz
4	A/D felbontása:	16	bit
5	Adat mappa:	c:\TEMP\Hatan	Mappa választás
6	Mérés azonosítója:	HATVA	
7	Mintaszaám/csatorna:	3200	

	1	2	3	4	5
1	Csatorna	Megevezés	Unit	Erősítés	FS
2	0	Urs	V	1	39.95
3	1	Irs1	A	1	2593.36
4	2	Irs2	A	1	39.84
5	3	Irs3	A	1	2593.36
6	4	Irs4	A	1	5.00
7	5	Ust	V	1	39.94
8	6	Ist1	A	1	2593.36
9	7	Ist2	A	1	39.82
10	8	Ist3	A	1	2593.36
11	9	Ist4	A	1	5.00
12	10	Utr	V	1	40.00
13	11	Itr1	A	1	2593.36
14	12	Itr2	A	1	39.84
15	13	Itr3	A	1	2593.36
16	14	Itr4	A	1	5.00

MENTÉS
BETÖLTÉS
KILÉPÉS

HK-01A : 3.968254
HK-03A : 2.0746888
HK-04A : 2.0746888
HK-05A : 16/48
HK-06A : 16/48
HK-07A : 2.0746888
HK-08A : 2.0746888
HK-09A : 6.6667
HK-10A : 6.6667
HK-11A : 6.6667
HK-12A : 6.6667
HK-01V : 200/500/1000
HK-02V : 200
HK-03V : 20/50/100
HK-04V : 199.75; 199.708; 200.01
500; 500.185; 499.9
1000; 100.2; 997.626
HK-05V : 200.02; 199.95; 200.32
499.85; 499.95; 501.208
997.758; 999.62; 1001.18
HK-06V : 199.5; 199.5; 199.1
499; 498; 498.5
994.6; 996.4; 995.0

9.4. ábra: Mérés paraméterek beállítása a konfigurációs szoftver segítségével

A mérés-konfigurációs szoftver (9.4. ábra) így lehetőséget ad, egyrészt a legfontosabb mérés-adatgyűjtésre vonatkozó paraméterek beállítására (*felső szoftverrész*), továbbá az adatgyűjtésre kijelölt bemeneti csatornák sorrendjének és a primer oldali mennyiségekre való számítás szorzószámainak (*alsó szoftverrész*) megadására. A programban alkalmazott

„csatornasorrend” a mért feszültség- és áramjelek egyszerű azonosíthatóságát, az ún. „primer oldalra vonatkoztatott szorzók” beállítása, a mért KÖF oldali (primer) feszültség szintek egyszerű visszaszámolhatóságára alkalmas. Így a keletkezett adatok már könnyen összehasonlíthatóak a hálózatüzemeltető telemechanikai rendszerének adataival. A szoftver a konfigurációt követően egy paraméterfájlt hoz létre, amely tartalmazza a fent említett legfontosabb mérési paramétereket, amelyek meglete elengedhetetlen a mért adatok későbbi értelmezéséhez. A mérés konfigurációja során beállítható legfontosabb paraméterek: mérendő háromfázisú rendszerek száma; mintavételezési frekvencia, A/D felbontás, csatornamegnevezés, erősítés megadása a primer oldali mennyiségek visszaszámításához, valamint az adatmentés helye és mérés azonosítója. A program a paraméterek beállítása után, egy szemléletes vizuális felületen próbamérési lehetőséget is biztosít, ezzel lehetővé téve a helyes beállítás visszaellenőrizhetőségét.

A másik általam fejlesztett szoftver a *folyamatos mérés-adatgyűjtést* vezérli, felhasználva az előzőekben készített paraméterfájlt. Az elkészített szoftver azért íródott, hogy akár többnapos folyamatos (adatvesztés nélküli) mintavételezést és adatmentést lehessen végezni a kijelölt analóg bemeneti csatornákon. A program extrém esetekben is működőképes (pl.: a hálózati feszültség kimaradása esetén, ekkor a feszültség visszatérése után azonnal folytatódhat a mérés), így a mérés akár több napon keresztül is folyhat anélkül, hogy valamilyen hozzáértő szakember ellenőrizné az adatgyűjtési folyamatot, valamint az adatok lementését (a nagy távolság miatt erre szükség is volt). Az esetlegesen előforduló hibákat a mérésvezérlő szoftver automatikusan rögzíti egy adathiba-fájlba, amelyből utólag könnyen kideríthető a hiba oka, amely egyben lehetőséget ad az utólagos analízisnél történő hibásan mintavételezett időintervallumok kizárására. A mérések alkalmával természetesen igyekezett mérőcsoportunk szünetmentes tápellátást biztosítani, így csökkentve az esetleges adatvesztési lehetőségeket.

A mérésvezérlő alkalmazás egy előre kijelölt mappába menti folyamatosan a hálózatról mintavételezett adatokat, minden percben új adatfájlt készítve a tároláshoz. Az egyperces adatfájlok neve (*azonosító, hónap, nap, óra, perc*; pl.: *SZERE_07-16-00-03.dat*) az adatok időbeli behatárolását, amíg a következő tárolási struktúra (összetartozó feszültség-áram csatornák tárolása, $U_R-I_R-U_S-I_S-U_T-I_T$ sorrendben) is a minták egyértelmű beazonosítását segíti.

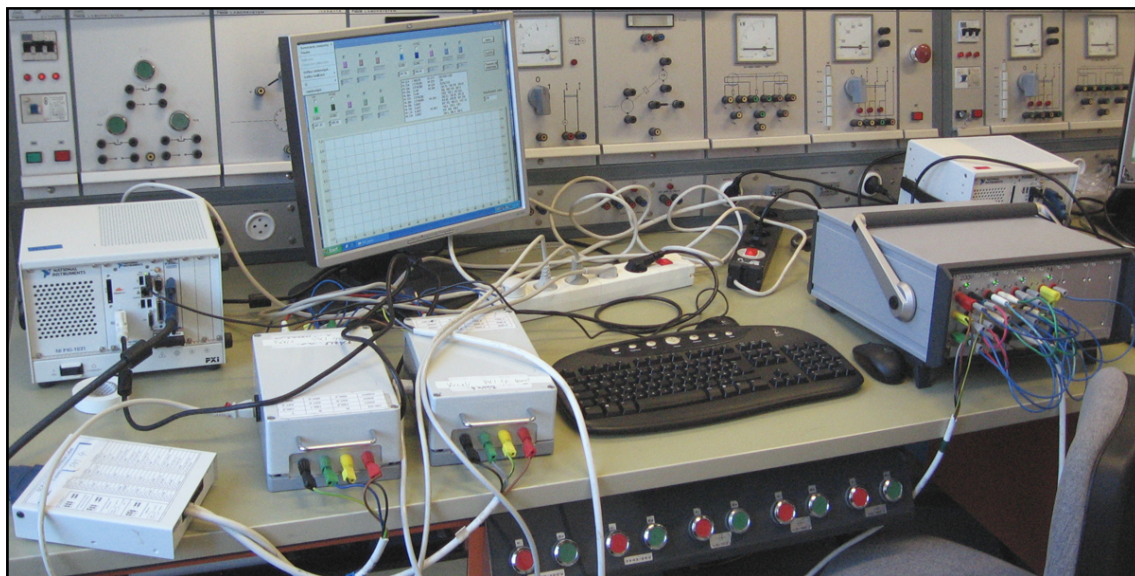
9.5. A mérés-adatgyűjtés során alkalmazott specifikus beállítások

A mérések során alkalmazott mintavételezési frekvencia megfelelő beállítása, kulcsfontosságú kérdés volt az analízisi műveletek elvégzéséhez, ezért át kellett tekintenem, a jövőben alkalmazandó adatfeldolgozási eljárásokat is. Az 50 Hz-es hálózati alapjel villamos energia minőségi vizsgálatához (pl.: felharmonikus-amplitúdók vizsgálata), viszonylag nagy mintavételi frekvencia választását javasolja (pl.: 20 kHz), azonban a kijelölt HF-analízisi feladat egy ennél szűkebb mintavételezési frekvenciát indokolt.

Az észak-magyarországi területek vizsgálatánál a HF jel frekvenciájához (183,33 Hz) választottam mintavételi frekvenciát. Az időbeli analízis elvégezhetőségéhez, a gyakorlati tapasztalatok egy kb. 1600-2000 Hz-es mintavételi frekvenciát javasolnak, azonban a kutatási feladat újdonsága, és az új analízisi megoldások kidolgozása miatt, egy magasabb mintavételi

frekvenciát választottam a mintavételezéshez; választásom így esett a 3200 Hz-es mintavételi frekvenciára.

A mintavételezett adatok *short integer* formátumban tárolódnak, így egy adatfájl mérete általánosan 2,2 MB (egy háromfázisú rendszer esetén), vagy ennek duplája (két háromfázisú rendszer) tárolódott el a háttértárolón. Naponként és transzformátoronként (1440 adatfájl) így változó kb. 3,2 GB vagy 6,4 GB keletkezett. Általánosságban egy transzformátoron kb. 12-24 GB adat keletkezett, amelyeket a PXI-ok belső háttértáiról biztonsági mentésekkel kellett duplikálni minden esetben.



9.5. ábra: Laboratóriumi kalibrálások az EET I. sz. laboratóriumában, a mérések megkezdése előtt (saját fejlesztésű áram- és feszültségváltók tesztelése)



9.6. ábra: Mérés-adatgyűjtés az észak-magyarországi régió egyik transzformátorállomásán

A 35 különböző mérőállomás (9.6. ábra), 46 transzformátorán (nem számítva a 2010-es téli mérések adatait) együttesen 650 GB mintavételezett adat halmozódott fel, amely összesen több mint 150 mérési nap információit jelenti. Az elmentett nagymennyiségű mérési adat miatt

vált számomra egyértelművé, hogy az adatfeldolgozás során csak a megfelelően intelligens, automatizált megoldások életképesek.

9.6. További mérések az észak-magyarországi régióban

A 2011-es év telén, több transzformátorállomáson történtek további mérések, amelyekkel a téli-nyári tömegvezérlés összehasonlítására is sor kerülhetett. A 2011-ben elvégzett mérések elvégzése teljes összhangot mutatott a korábbi mérésekkel, amely lehetőséget adott az egyértelmű következtetésekre.

Az újonnan elvégzett összehasonlítási elemzések természetesen további kérdéseket is felvetettek, amelyek megválaszolására a későbbi kutatások fognak választ adni, azonban a mért adatok a teljesítményprofilok tökéletes validációjára adtak lehetőséget.

10. UNIVERZÁLIS DEKÓDOLÓ MÓDSZEREK KIDOLGOZÁSA

Univerzális dekódoló módszereket hoztam létre, amelyekkel a HFKV-rendszerekben nehezen meghatározható teljesítményugrások pontosan kiszámíthatóak. Az univerzális módszerek kidolgozásának eredményeként, tetszőleges HFKV-rendszerben azonosíthatóak a hálózati jelre modulált HF impulzusok (táviratok). Az impulzusok azonosítása azért is különösen fontos, hiszen a HF jel időbeli helye egyben kijelöli a háromfázisú teljesítmény analízálási időpontjait is. Természetesen a hőtárolós teljesítmény ilyen módú meghatározása, megfelelő körütekintést kívánt meg, így a konkrétan megvalósított módszerek mellett, számos problematikus kérdést járok körbe, amely megfelelő részletességgel mutatja be a dekódoló-analízáló eljárások lényegét.

A dekódoló-analízáló eljárások, másik szempontból tekintve, azért is különösen fontosak, hiszen a SMART-rendszerek bár meglehetősen fejlett, intelligens megoldásokat kínálnak a piacon (amelyek bevezetése csak erősen korlátozottan történhet egyelőre a magyarországi tapasztalatokból kiindulva), ám napjainkban is csak becsült adatokkal lehetséges a hálózaton „beépített” hőtárolós teljesítmény meghatározása. A módszerek kidolgozása során, bemutatok egy hatékony online mérési módszert, és ezen alapuló modult is, amely valós mérési körülmények között igazolja a módszerek működőképességét és gyakorlati hatékonyságát. Mindemellett bemutatásra kerül egy olyan hálózatdiagnosztikai rendszer is, amelyet kimondottan a leért adatok feldolgozására és fejlett megjelenítésére fejlesztettem. A kidolgozott rendszer gyakorlati segítséget ad jelenleg is az áramszolgáltatónak, amellyel a hálózat viselkedését tudja tanulmányozni.

A tanulmány ezen és következő fejezeteiben, bár kimondottan a HFKV-ra vonatkoztatva mutatom be az újonnan megvalósított dekódoló eljárásaimat, de a kidolgozott módszerek egyértelműen előnyös megoldásokat kínálhatnak más közvetlen vezérlés-alapú teljesítményvezérlési struktúrára is (pl.: RFKV-ra). A más rendszerre való honosítás-finomhangolás, természetesen változtatja némiképp módszereim felépítését, de alapstruktúrájában az eljárások és algoritmusok érintetlenek maradnak, ezzel igazolva univerzalitásukat.

10.1. A hangfrekvenciás üzenetek felismerésének legfontosabb elméleti alapjai

A HF impulzusok keresésénél két fontos feladat adódott:

- Meg kellett ismernem az impulzusok amplitúdóbeli természetét: A HF impulzusok a szinuszos hálózati (50 Hz) feszültségre szuperponálódnak rá a névleges feszültség 1-2%-os amplitúdójával. Előrevetítve a későbbi mérések tapasztalatait, a kiértékelések azt mutatták, hogy az HF impulzusok amplitúdójának felismerésével nincs gond a

detektálási folyamat során; az igazi problematikus kérdéseket a szintdetektálás elvi módszerének helyes megválasztása okozta.

- Meg kellett ismernem a HF impulzusok frekvenciabeli tulajdonságait, és követelményeket fogalmaztam meg, a megfelelő mintavételi frekvencia kiválasztásához, amelynek tökéletes analízálási összhangot kell mutatnia, a kijelölt villamos hálózaton alkalmazott HF vivőfrekvenciával (pl.: 183,33 Hz; 216,66 Hz; 283,33 Hz; 383,33 Hz).

A HF impulzusok detektálásához, a háromfázisú hálózati feszültség analízálását kell végezni, ugyanis a központban működő HF adó szinkronizált módon modulálja mindhárom fázisra a HF jelet, azaz a táviratokat. Emiatt a későbbiekben elégséges volt csak az egyik hálózati fázist elemezni.

A HF impulzusok felismerését FFT-analízisen alapuló egyedi szintdetektálási módszerrel végeztem el, ahol a mintavételi frekvencia és HF vivőfrekvencia rögzítése után, döntenem kellett az FFT-analízis időablakának optimális méretéről (azaz hány mintát tartalmazzon az analízálást), továbbá arról, hogy ezt az időablakot milyen eltolással érdemes „csúsztatni” feszültségjelen (mintákon). Az impulzusok pontos helyének és időtartamának meghatározása kiemelten fontos szerepet tölt be a HFKV-rendszer kötött távirati struktúráját tekintve, hiszen ez garantálja a pontos hőtárolós teljesítményváltozások detektálását (*a következő lépésben*).

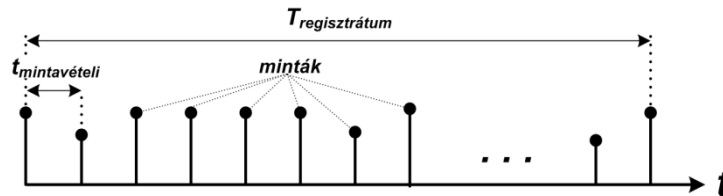
Ahhoz, hogy a hálózati feszültségben a lehető legkisebb torzulást okozzon a HF moduláció, a hálózati alapharmonikushoz (pl.: 50 Hz vagy 60 Hz) képest távol, annak nem egész számú többszöröseként szoktak HF vivőfrekvenciát választani. Általános törekvés, hogy a HFKV hatásának minimalizálására törekszenek, annak érdekében, hogy a HF jel harmonikusa a lehető legkisebb mértékben befolyásolja a hálózati jel harmonikusait.

Megfelelő körültekintést igényel ugyanakkor (FFT-analízis szempontjából) a *hálózati jel frekvenciájának*, valamint a *HF vivő frekvenciájának időbeli stabilitása* is. Az FFT-analízálást bár sok tényező befolyásolja, azonban az analízálendő jel természetének és frekvenciatartománybeli viselkedésének megállapítása még az analízálás előtt szükséges volt:

- A *hálózati frekvencia* néhány mHz-es (10-20 mHz) *változása* is már gyakorlati problémákat vethet fel az analízálás során. A HF impulzusok detektálásánál azonban ez nem tölt be kiemelt szerepet, ugyanis a hálózati jel frekvenciájának ingadozása, a kimondottan mintavételezéssel kapcsolatos problémákhoz tartozik (esetenként ez a hálózati jel amplitúdójának megállapításánál okozhat bizonytalanságot). A későbbiekben ezzel a kérdéssel csak korlátozottan foglalkozok, ugyanis a HFKV tanulmányozásához nem tartozik szorosan hozzá ez a kérdés. Természetesen azonban az elvégzett mérések során, ezt sem lehetett figyelmen kívül hagyni, így a hálózati jellel történő szinkronizálást (szoftveres mintaszámmal történő szinkronizálást) alkalmaztam az adatgyűjtésekhez, amellyel tulajdonképpen a problémát elimináltam ebből a kérdéskörből.
- Megvizsgáltam a transzformátorok HF adóberendezései által generált és hálózati jelre modulált *vivőjel frekvenciájának ingadozását* is. Az adóberendezések egyedi nagy pontosságú oszcillátorok segítségével biztosítják (frekvenciaszabályozás) az

állandó, stabilizált vivőfrekvenciát, így ennek változása sem jelenthet kritikus pontot az analízisaim során.

Az FFT-analízis pontossága és megbízhatósága nagyban függ a helyes analízis időtartam ($T_{\text{regisztrátum}}$) és mintavételi frekvencia ($f_{\text{mintavételi}}$) megválasztásától. Mivel a jel időtartománybeli vizsgálatát is el kell végezni (későbbi hőtárolós teljesítményszámítások!), ezért célszerű olyan mintavételi frekvenciát választani, amely a vizsgálandó HF jel frekvenciájánál legalább tízszer nagyobb. Pl.: egy 216,66 Hz-es HF jel esetén a 2,2-4,4 kHz-es mintavételi frekvencia garantálja a megfelelő időtartománybeli analízisíthatóságot.



10.1. ábra: A mintavételezési idő ($t_{\text{mintavételi}}$) és regisztrátum-idő ($T_{\text{regisztrátum}}$) értelmezése

A Fourier-frekvenciaspektrum alapharmonikusa (f_0) egyszerűen adódik a mintavételi frekvencia ($f_{\text{mintavételi}}$) és a vett minták számának (N) hányadosaként. Az FFT-analízis időablak-hosszának ($T_{\text{regisztrátum}}$) reciproka éppen az alapharmonikust adja. Az említett paraméterek megfelelő beállítása, kulcsfontosságú az optimális időablak-méret meghatározása előtt.

$$T_{\text{regisztrátum}} = N \cdot T_{\text{mintavételi}} = \frac{N}{f_{\text{mintavételi}}} \quad (10.1)$$

$$f_0 = \frac{f_{\text{mintavételi}}}{N} = \frac{1}{T_{\text{regisztrátum}}} = f_{\text{regisztrátum}} \quad (10.2)$$

A Fourier-analízis legjobban olyan esetben alkalmazható, amennyiben már az analízis előtt ki tudjuk jelölni, hogy mely frekvenciakomponenseket szeretnénk elemezni a spektrumból. Pl.: Egy hálózati minőségvizsgálat során, a páratlan sorszámú harmonikusok vizsgálatát szükséges elvégezni, így erre kell beállítani a Fourier-analízist.

Általánosságban, ha a spektrum alapharmonikusa nem egész számú többszöröse az elemzendő frekvencia-összetevőnek (**10.3. formula**), akkor a spektrumban nem létező oldal-harmonikusok („sátrak”) jelennek meg. Azaz egy jól beállított Fourier-analízis esetén az alábbiaknak is teljesülnie kell:

$$\frac{f_{\text{analizálandó-komponens}}}{f_0} \subseteq \mathbb{Z} \quad \text{azaz} \quad \frac{f_{\text{analizálandó-komponens}} \cdot N}{f_{\text{mintavételi}}} \subseteq \mathbb{Z} \quad (10.3)$$

Amennyiben az előbbi feltételek nem teljesülnek, akkor az FFT-analízis során hiba következik be (sátras-spektrumkép kialakulása), amely bizonytalan eredményt ad; ezt nem lehet megengedni egy pontos analízis során. A sátras spektrumkép kialakulásakor, az analízisből eredően „szétterülhet” egy-egy harmonikus amplitúdó-szintje a spektrum harmonikusain, így emiatt nem biztosított a korrekt szintdetektálás.

$$f_0 = \frac{f_{\min \text{ távétele}}}{N} \quad (10.4)$$

Az **(10.3. formula)** teljesítéséhez, az **(10.4. formula)** feltétel alapján csökkenteni kell a spektrum alapharmonikusának frekvenciáját, amit az regisztrátum-idő növelésével (analizálási idő), azaz a minták számának növelésével, továbbá a mintavételi frekvencia csökkentésével lehet elérni. A gyakorlatban a mintavételi frekvencia rögzített, ráadásul csökkentése a Shannon-törvény betartása miatt korlátokba is ütközik (amihez még hozzájön az időtartománybeli vizsgálatok szükségessége, amely egy újabb kritérium a mintavételi frekvencia minimumára), ezért az analízisi időtartam változtatása a járható út.

Az előbbieken részletes elméleti áttekintést adtam a Fourier-analízis alkalmazására, a következőkben pedig az általam tekintett példán keresztül mutatom be az eljárás lényegét. Mivel a hálózati jel amplitúdóját és a HF vivő amplitúdóját egyidőben szükséges analízálni, ezért olyan analízisi időtartamot (*a későbbiekben: időablak-méretet*) határoztam meg, amely kielégíti az előbbi feltételeket, azzal a kiegészítéssel, hogy egyidőben több komponens analízálhatóságát is biztosítottam a spektrum finomításával (hálózati frekvencia; HF komponens). A hibamentes Fourier-analízishez, a spektrum alapharmonikusának (f_0) egész számú többszöröseiként ($k_{\text{hálózati}}$, k_{HF}) kell adódnia a hálózati frekvencia ($f_{\text{hálózati}}$) és a HF vivő (f_{HF}) harmonikusainak; a következőképpen:

$$k_{\text{hálózati}} \cdot f_0 = f_{\text{hálózati}} \quad \text{és} \quad k_{\text{HF}} \cdot f_0 = f_{\text{HF}} \quad (10.5)$$

ahol $k_{\text{hálózati}}$ és k_{HF} egész számok.

Az optimális időablak-méret meghatározásához, áttekintettem a jelenleg alkalmazott HF vivőfrekvenciákat [46], majd létrehoztam a **10.1. táblázatot**, amelyben összerendeltem az összes analízáláshoz szükséges információt. A táblázat rendre tartalmazza az analízálásra szánt *időablak méretét*, a kiszámított *alapharmonikust*, továbbá azt, hogy a hálózati frekvencia és a HF jel frekvenciája az alapharmonikusnak hányadik összetevője. Amennyiben mindkét felharmonikus-sorszám egész számra adódik, akkor ez azt jelzi, hogy a hozzá tartozó időablak-méret alkalmas az analízálásra. Mivel kezdetben, több lehetséges választás is megfelelőnek bizonyult, ezért ezt követően szimulációkkal döntöttem el, hogy melyik lesz az analízáláshoz használt optimális időalap-méret.

A következő példák és kidolgozott módszereim ismertetéséhez is, egyaránt szükséges volt a hálózati frekvencia (50 Hz-es európai hálózat) és a mintavételezési frekvencia (3200 Hz) rögzítése is, amely egyszerűbbé teszi a magyarázatokat és módszerim működőképességének igazolását, egy-egy konkretizált példán keresztül. Természetesen a kidolgozott módszerek kivétel nélkül alkalmazhatóak más hálózati frekvenciájú (pl.: 60 Hz) hálózatokon is, és ha szükséges a mintavételezési frekvencia is megváltoztatható; ebben az esetben a hálózati jelhez tartozó periódusidő (50 Hz esetén 20 ms, míg 60 Hz esetén 16,67 ms) változik, ráadásul minden megállapítás egyszerűen igazolható ezekben az új esetekben is.

A **10.1. táblázatból** látható, hogy a *három periódus* (50 Hz esetén: 60 msec) egész számú többszöröseinél adódnak helyes időablak-méretetek az analízálásra; az ettől eltérő időablakok esetén minden esetben (kisebb vagy nagyobb mértékben) kialakul a sátras spektrumkép, amely nem teszi lehetővé a pontos szintdetektálást. A továbbiakban egy

szimulációs szoftver segítségével, a táblázatban elforduló időablak-hosszokat vizsgáltam meg, különös tekintettel, a táblázatból vastaggal kiemelt beállításokra, bemutatva, az időablak kiválasztásával kapcsolatos kritikus kérdéseket.

10.1. Táblázat: Az FFT-analizáláshoz választott időablakok áttekintése és optimális időablak választása

időablak mérete [msec]	50 Hz-es periódusok száma az időablakban [db]	spektrum alap- harmonikusa [Hz]	50 Hz-es harmonikus helyzete a spektrumban	183,33 Hz-es harmonikus helyzete a spektrumban (Magyarország)	213,66 Hz-es harmonikus helyzete a spektrumban (Magyarország, Németország)	283,33 Hz-es harmonikus helyzete a spektrumban (Ausztria)	383,33 Hz-es harmonikus helyzete a spektrumban (Ausztria, Németország)
20	1,0	50,000	1,0	3,667	4,333	5,667	7,667
30	1,5	33,333	1,5	5,500	6,500	8,500	11,500
40	2,0	25,000	2,0	7,333	8,667	11,333	15,333
50	2,5	20,000	2,5	9,167	10,833	14,167	19,167
60	3,0	16,667	3,0	11,000	13,000	17,000	23,000
70	3,5	14,286	3,5	12,833	15,167	19,833	26,833
80	4,0	12,500	4,0	14,667	17,333	22,667	30,667
90	4,5	11,111	4,5	16,500	19,500	25,500	34,500
100	5,0	10,000	5,0	18,333	21,667	28,333	38,333
110	5,5	9,091	5,5	20,167	23,833	31,167	42,167
120	6,0	8,333	6,0	22,000	26,000	34,000	46,000
130	6,5	7,692	6,5	23,833	28,167	36,833	49,833
140	7,0	7,143	7,0	25,667	30,333	39,667	53,667
150	7,5	6,667	7,5	27,500	32,500	42,500	57,500
160	8,0	6,250	8,0	29,333	34,667	45,333	61,333
170	8,5	5,882	8,5	31,167	36,833	48,167	65,167
180	9,0	5,556	9,0	33,000	39,000	51,000	69,000
190	9,5	5,263	9,5	34,833	41,167	53,833	72,833
200	10,0	5,000	10,0	36,667	43,333	56,667	76,667
210	10,5	4,762	10,5	38,500	45,500	59,500	80,500
220	11,0	4,545	11,0	40,333	47,667	62,333	84,333
230	11,5	4,348	11,5	42,167	49,833	65,167	88,167
240	12,0	4,167	12,0	44,000	52,000	68,000	92,000
250	12,5	4,000	12,5	45,833	54,167	70,833	95,833

Megjegyzés: A disszertáció ezt követő részeiben a „HF impulzus” szakkifejezést használom a „HF jel” helyett. A HF impulzus kifejezés használatát az indokolja, hogy a HF jel „impulzusszerűen” (távirati struktúrájának megfelelően) kerül rá a szinuszos hálózati feszültségre („van jel” és „nincs jel” formájában), így az „impulzus” elnevezés helytállónak tekinthető a HF moduláció ezen speciális formája esetén.

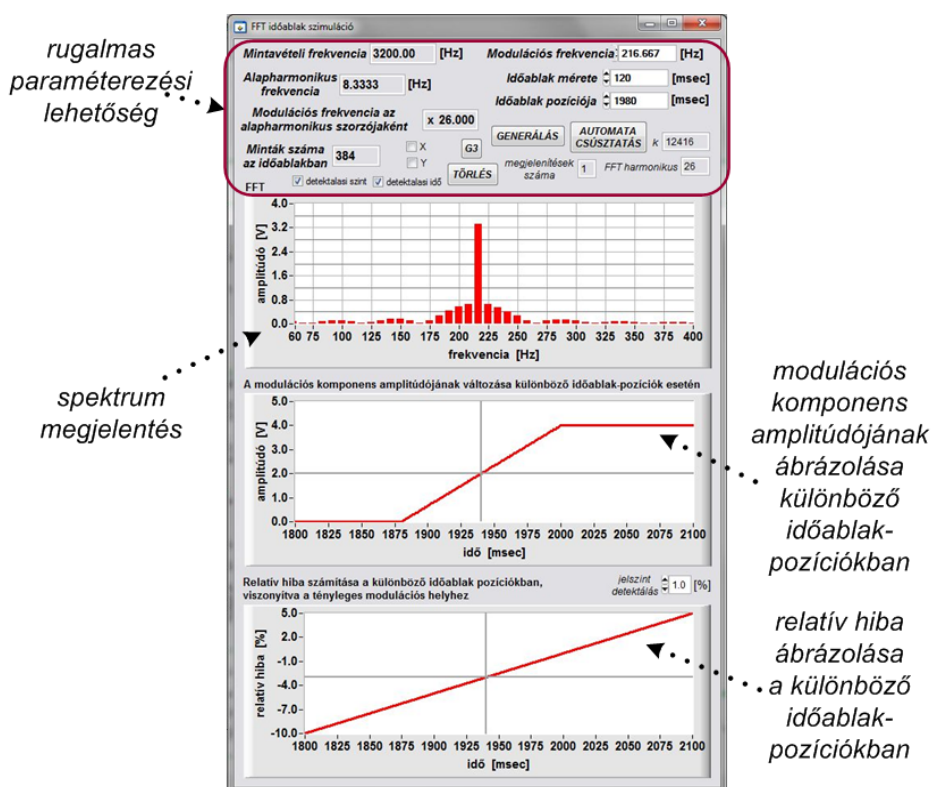
10.2. Univerzális módszer kidolgozása a hangfrekvenciás impulzusok detektálására

Az előző fejezetben, a HF impulzus-felismerés elméleti alapjai kerültek bemutatásra; ebben az alfejezetben azokat a gyakorlati megfontolásokat ismertetem, amelyek szükségesek HF impulzusok és táviratok felismeréséhez.

Szimulációs módszert dolgoztam ki, amely az általam generált (ismert jellemzőkkel rendelkező) jelsorozatok segítségével vizsgálja a lehetséges időablak-méreteket és az analizálásra felhasznált időablakkal történő szintdetektálást. A szimulációs módszert tesztelésére (10.2. ábra) rugalmasan paramétereázható szoftvert fejlesztettem, amelynek segítségével könnyen tanulmányozni lehetett a HF impulzusok természetét, ráadásul lehetőséget adott a legkülönbözőbb beállítások összehasonlítására is. A szimulációs alkalmazás kifejlesztése tehát többféle célt szolgált:

- a 10.1. táblázatban előforduló időablakok alkalmazása, és a spektrumkép analizálása;
- a HF impulzusok felismerésével kapcsolatos kérdések felderítése;
- az időablak méretéből adódó bizonytalanságok feltárása;
- analizálásra szánt időablak csúsztatásával kapcsolatos kérdések feltárása;

A végső cél természetesen az analizálásra szánt legmegfelelőbb analizálási időablak-méret kiválasztása és olyan eljárás gyakorlati alapjainak lefektetése, amely jól alkalmazható egy automatizált dekódoló eljárás során.



10.2. ábra: A szimulációs eljárások tesztelésére fejlesztett szoftver felhasználói felülete

A szimulációs szoftver rögzített mintavételi frekvenciával generál összetett periodikus jelet a következőképpen:

$$u_{\text{generált}}(t) = \begin{cases} U_{\text{max}} \cdot \sin(\omega_{50}t), & \text{ha } 0 \leq t < 2,0 [\text{sec}] \\ U_{\text{max}} \cdot \sin(\omega_{50}t) + U_{\text{HF}} \cdot \sin(\omega_{\text{HF}}t), & \text{ha } 2,0 \leq t < 2,5 [\text{sec}] \\ U_{\text{max}} \cdot \sin(\omega_{50}t), & \text{ha } 2,5 \leq t \leq 4 [\text{sec}] \end{cases} \quad (10.6)$$

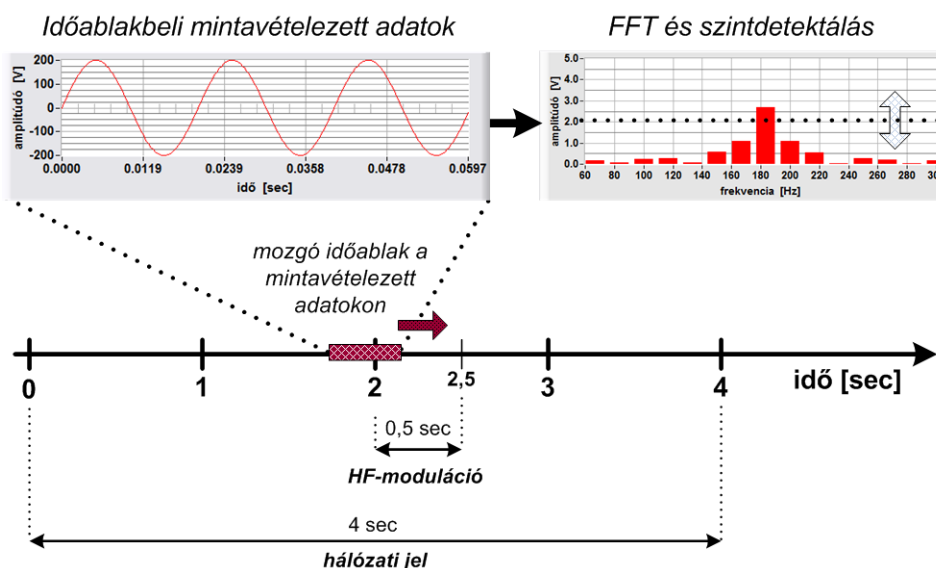
ahol:

- $u_{\text{generált}}(t)$: a generált 4 sec hosszúságú jel

- $U_{\max}$: a generált szinuszos jel amplitúdója ($U_{\max} = 200$ [V])
- U_{HF} : a generált HF jel amplitúdója ($U_{\text{HF}} = 0,2 U_{\max} = 4$ [V]; az $U_{\max}$ 2%-a)
- ω_{50} : a generált 50 Hz-es hálózati jel körfrekvenciája
- ω_{HF} : a generált HF jel körfrekvenciája

A generált jel mintavételi frekvenciája (3200 Hz), amplitúdója (200 V) és a modulációs mélysége (0,2%) egyaránt rögzített, azaz a generált jel konstans. A rögzített, 200 V-os amplitúdót az egyszerű áttekinthetőség, míg a beállított modulációs mélységet a HF adók által generált jel 1-2%-os modulációs mélysége indokolta. A generált jelen 0,5 sec hosszan végrehajtott HF moduláció, a hálózati jelre modulált HF impulzust szimulálja. Az analízis legfontosabb paraméterei szabadon állíthatóak; így manuálisan állítható a *modulációs frekvencia*, az analízisra szánt *időablak mérete* és annak *kezdő pozíciója* is. A beállítások után azonnal kiszámításra kerül néhány fontos paraméter (pl.: spektrum alapharmonikusa), amely már a **10.1. táblázatban** is bemutatásra került.

A paraméterezés elvégzése után, a szimuláció automatikusan kijelöli az analízisra szánt regisztrátumot, amelyet követően azonnal megjelenhet az időablakban analizált minták spektruma. Az FFT-időablak kezdő pozíciójának változtatásával a spektrum is folyamatosan változik, így msec-ben definiálható lépésenként lehetséges szemrevételezni a spektrum harmonikusait és a sátrasság megjelenését (**10.3. ábra**). A **10.3. ábra** bemutatja a felhasználó által beállítható és mozgatható időablak analízisének legfontosabb lényegi részeit.

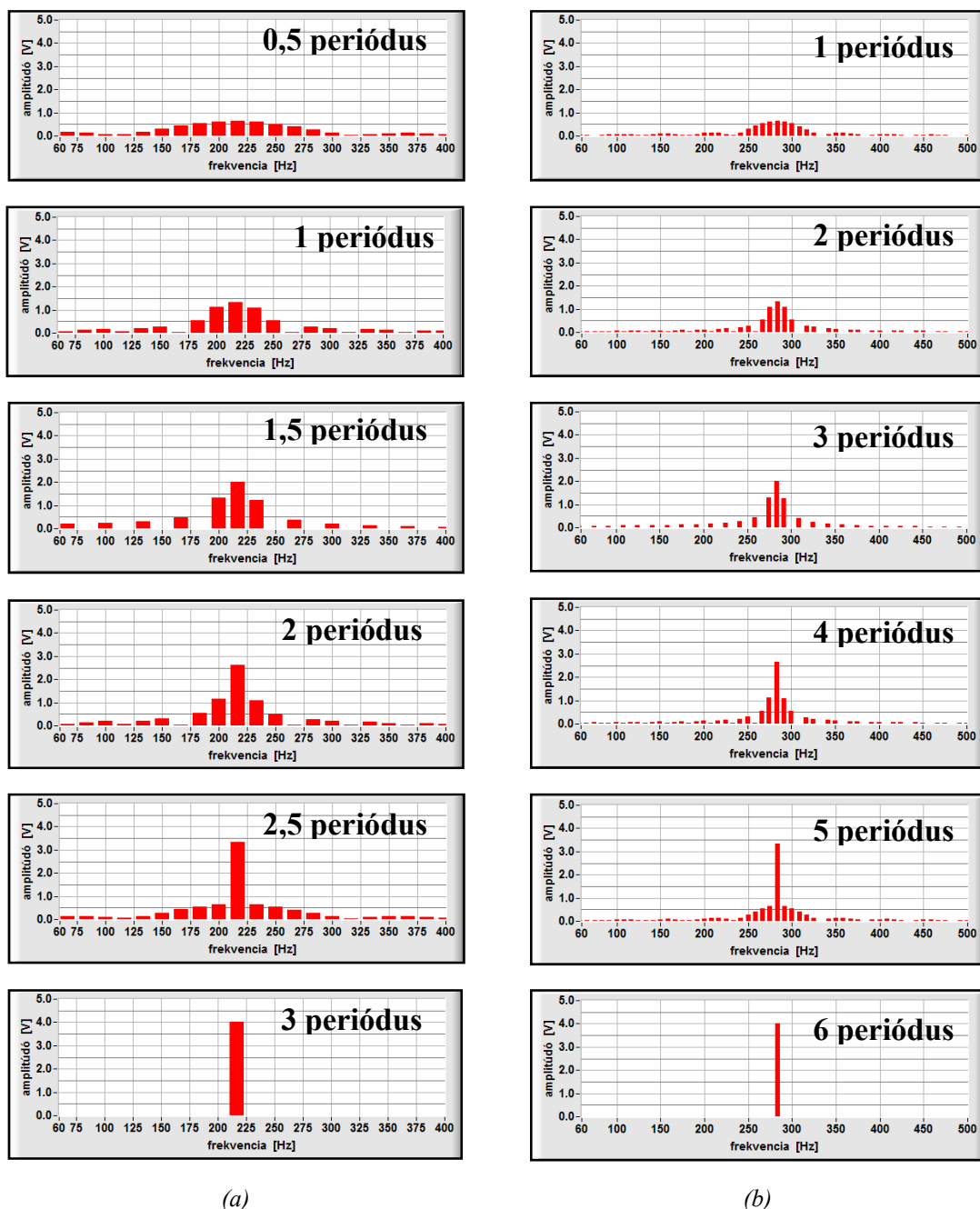


10.3. ábra: Az analízist végző FFT-időablak mozgatásának bemutatása

A manuális időablak-léptetés és FFT-analízis segítségével nyilvánvaló következtetések vonhatóak le a használt analízis időablak méretére, és a kijelölt regisztrátum mérete által okozott bizonytalanságra is.

A **10.4. ábra (a, b)** a közvetlen összehasonlításra konkrét szimulációs eredményeket tartalmaz, amelyben két különböző modulációs frekvencián és két különböző analízis időablak-mérettel végeztem el a kiértékeléseket. Ezenkívül, más modulációs frekvenciákat és nagyobb időablak-méreteket is teszteltem. A **10.4. ábrán** csak a legfontosabb időablak pozíciókat tüntettem fel, ugyanis ennél finomabb időablak-csúszás ábrázolása áttekinthetetlenné

tenné a szemrevételezés alapján történő összehasonlítást; ráadásul ezekből az eredményekből is nagyon jól tanulmányozható a spektrum viselkedése. Az ábra grafikonjain vastaggal feltüntetett szám (pl.: 1,5 periódus) azt jelzi, hogy az időablak első része, milyen mértékben csúszott rá a HF impulzusra. A szimuláció kezdetben úgy áll rá az időbeli adatsorra, hogy az FFT-időablak még éppen nem tartalmaz HF impulzusrészletet (pl.: 60 msec-el korábban a HF impulzus kezdetétől); ezután szakaszosan rácsúsztatva az időablakot a HF-impulzust is tartalmazó idősori adatokra, folyamatosan tanulmányozható a spektrum. A **10.4. ábrából** jól látható az is, hogy a kisebb méretű időablak a spektrum durvább felbontását eredményezi.



10.4. ábra: A HF impulzus felismerése különböző idejű regisztrátumok és időablak-pozíciók alkalmazásakor;
(a): 216,67 Hz-es impulzus felismerése 3 periódusos (60 msec) időablakkal; (b) 283,33 Hz-es impulzus felismerése 6
periódusos (120 msec) időablakkal

Általánosságban megállapítható, hogy ha az analízis időablak 50%-ánál nagyobb részben tartalmaz HF modulált jelet (azaz az időablak több mint félig csúszott rá a HF

modulációt tartalmazó idősori adatokra), akkor a HF felharmonikust közel 50%-os amplitúdóval lehet a spektrumban detektálni. A tesztek eredményeire vonatkoztatva ez azt jelenti, hogy:

- a 3 periódusos időablak esetén 1,5 periódushosszúságú,
- a 6 periódusos időablak esetén 3 periódushosszúságú,
- a 9 periódusos időablak esetén 4,5 periódushosszúságú és
- a 12 periódusos időablak alkalmazásakor 6 periódusnyi HF tartalom szükséges az 50%-nál nagyobb HF komponens detektálásához.

A HF komponens a spektrumban rendre 1 (3 periódusos időablak), 2 (6 periódusos időablak), 3 (9 periódusos időablak) és 4 (12 periódusos időablak) periódusnál nagyobb HF jeltartalomnál nő meg nagyságrendileg, amely a HF komponens amplitúdójának 30%-nál nagyobb jelszint megjelenését okozza a spektrumban. Az FFT-regisztrátumban kisebb, mint 50%-os HF jel tartalom esetén, ráadásul még erősen jelentkezik a sátrasság is, valamint a HF komponens körüli felharmonikusokon való szétterülés, így ez nem teszi lehetővé a HF jel megbízható detektálását.

A fenti tapasztalati eredményekből állapítható meg az, hogy az alkalmazott időablakok bizonytalanságot okoznak a HF jel kezdetének behatárolásában, amelyhez még ha hozzájön a beállítható detektálási szint is, akkor a kezdetben egyszerűnek tűnő HF detektálási probléma sokfajta kérdést vethet fel (helyes időablak-méret megválasztása az impulzusok pontos helyének behatárolására; helyes jelszint-detektálás; pontos HF impulzus-kezdet behatárolás a teljesítményanalízisekhez).

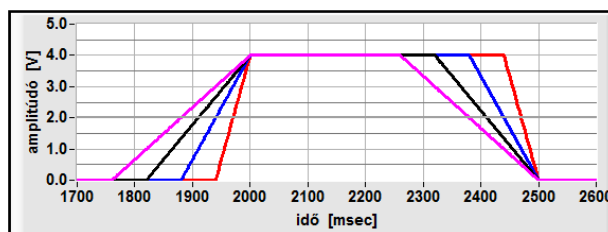
Tapasztalataim szerint, a kisebb méretű időablak esetén jelentősen csökken a detektálás bizonytalansága, amennyiben helyes jelszintet alkalmazunk. A következőekben további szimulációs eljárásokkal igazolom ezen kijelentésemet.

Automatikus segéd eljárások kidolgozása a HF impulzusok detektálási hibájának becslésére és az alkalmazandó HF jelszint megállapítására

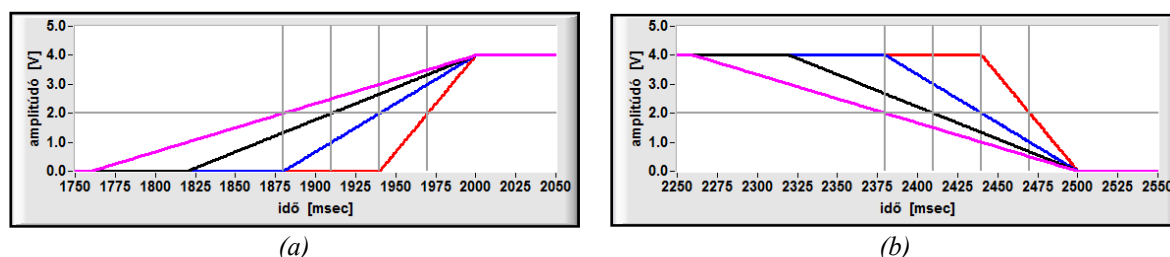
A kezdetben egyszerű, kézi úton működő eljárások (idősori adatok beolvasása az analízis ablakba; FFT; szintdetektálás) kidolgozása fontos fázisa volt a nagy pontosságú, automatikusan működő dekódoló algoritmusok kidolgozása előtt. Természetesen az automatikusan működő, stabilis eljárás kidolgozásához még több megfontolás igazolása szükséges, így további két algoritmust dolgoztam ki, amelyek (mellőzve a tapasztalati és szemrevételezéses módszeren alapuló összehasonlításokat) automatikus módon, egzakt összehasonlításokat végeznek a dekódoló eljárás bizonytalanságait okozó paraméterek felderítésében. A kifejlesztett kétféle algoritmus alapul veszi az előzőekben bemutatott FFT-időablak csúsztatásán alapuló módszert, ugyanakkor egyedi összehasonlítási lehetőségeket ad a felhasználónak. Segítségükkel, az időablakok által és a megválasztott jelszint által okozott hibákat lehet összehasonlítani.

Az *első algoritmus* az egymástól eltérő hosszúságú időablakokat (3, 6, 9, 12 periódus) hasonlítja össze, felhasználva a korábban $u_{\text{generált}}(t)$ jelként bemutatott konstans jelet. Az automatizált algoritmus egy adott időablak-kijelölése után, folyamatosan (mintánként) mozgatja előre az analízisre használt FFT-regisztrátumot, ezzel szimulálva a mintavételezési folyamat

folyamatosságát és az időablak mozgásának folyamatos szükségességét. Az FFT-időablak időszori adatokon való mozgása és ezzel párhuzamosan alkalmazott Fourier-transzformáció teszi lehetővé, a spektrum HF komponensének ilyen „nagyfelbontású” megfigyelését és ábrázolását.

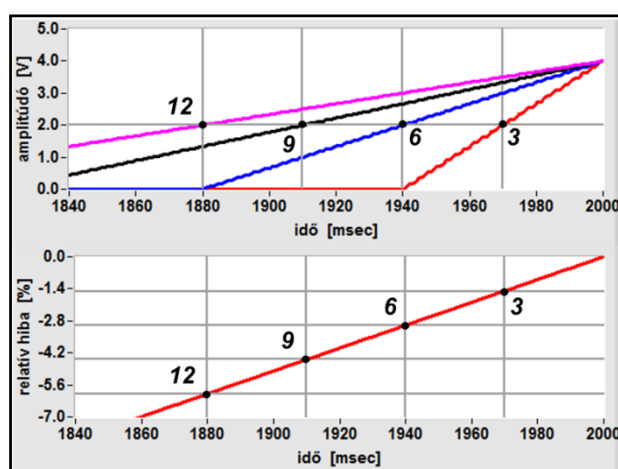


10.5. ábra: A HF komponens amplitúdójának ábrázolása a különböző időablak-pozíciók függvényében



10.6. ábra: A HF komponens amplitúdójának ábrázolása a különböző időablak-pozíciók függvényében (a) a HF impulzus „elejének” detektálásakor; (b) a HF impulzus „végének” detektálásakor

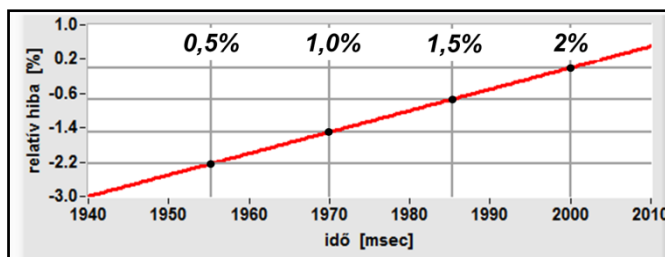
A 10.5. és 10.6. ábra az időablak kezdőpozíciójához rendelt, jeleníti meg az adott időablak-pozícióbeli HF komponens amplitúdóját. Az ábrában alkalmazott színek a különböző időablak-méreteket jelzik. A piros szín a 3, a kék a 6, a fekete a 9 és a rózsaszín a 12 periódus méretű FFT-időablak alkalmazását mutatja, megjelenítve a HF komponens amplitúdójának változását, amennyiben az ablak csúszik végig az $u_{\text{generált}}(t)$ jelen. A 10.6. ábra (a, b) nagyítva jeleníti meg a HF-időablak mozgását és FFT műveletét, mutatva hogy mi történik akkor, ha az időablak ráfut egy HF impulzusra (a), majd lefut egy HF impulzusról (b). A szürke segédvonalak mindenhol segítenek azt az időpontot beazonosítani, ahol az időablak éppen a beállított HF jelszintnek megfelelő 50%-os amplitúdóval kezdi érzékelni a HF impulzust (a); vagy ahol még éppen 50%-os amplitúdóval észlelhető a HF impulzus (b).



10.7. ábra: A HF komponens amplitúdójának ábrázolása a különböző időablak-pozíciók függvényében, ábrázolva a különböző időablakok esetén bekövetkező detektálási bizonytalanságot (relatív értékekben)

A szemléletes 10.5. és 10.6. ábrákat kiértékelve igazolást nyer az, hogy minél kisebb méretű időablakot célszerű választani az analízisra. Egy nagyobb időablak alkalmazásakor is

lehetséges korrekció, de lényeges szempont, hogy ilyen korrekciókat ne alkalmazzunk. A bevezetett korrekciók esetenként növelhetik az impulzusok behatárolásának bizonytalanságát, így a korrekció nélküli, tiszta felismerési módszer kifejlesztésére törekedtem, elkerülve további redundáns paraméterek beállítását.



10.8. ábra: A detektálási jelszint változtatásának hatása az impulzusok pontos helyének behatárolására, 3 periódusos időablak esetén

A **10.7. ábra** az előző ábrákat kiegészítve új információkat tartalmaz az alkalmazott felismerési módszerről. A **10.7. ábra** felső diagramja a HF komponens amplitúdóját ábrázolja a különböző időablak-pozíciók függvényében, míg az alsó diagram a különböző időablakok esetén bekövetkező detektálási bizonytalanságot *saját viszonyítási (relatív) értékekben*. Mivel a különböző időablakok által okozott bizonytalanságokat egzakt módon, számszerűsítve kell összehasonlítani, ezért a következő hibaképzési elvet hoztam létre:

$$h_{\text{relatív}} = \frac{t_{\text{ablak}} - t_{\text{HF}}}{t_{\text{HF}}} \cdot 100\% \quad (10.7)$$

ahol:

- $h_{\text{relatív}}$: az időszori adatokon csúsztatott időablak kezdő pozíciójából és a HF impulzus kezdetének távolságából származtatott relatív hiba %-os értéke
- t_{ablak} : az időszori adatokon csúsztatott időablak kezdeti pozíciója
- t_{HF} : a HF impulzus kezdetének időbeli pozíciója

Az itt definiált hiba csak trendszerű adatok megállapítására szolgál és nem arra, hogy önállóan mutassa meg a módszer tévedésének számszerű mértékét. A hiba értékének változásából lehetséges objektívebb összehasonlítási adatot leolvasni. (A szimulációban alkalmazott jelgenerálás paraméterei, pl.: a HF impulzus generálásának kezdete és vége, számottevően befolyásolja a hiba értékét, ezért a későbbiekben a jelgenerálásnál használt jel felépítése konstans, csak az ott alkalmazott eljárás módja változik. Ez garantálja a hibaadatok összevetését.)

A következő következtetéseket lehet levonni a **10.7.** és **10.8. ábrákból**:

- Az alkalmazandó időablak méretének duplázása, az impulzus helyét éppen dupla akkora hibával találja meg; számszerűsítve ezt: 3 periódusos időablak esetén éppen 1,5 periódus, amíg 6 periódusos időablak esetén éppen 3 periódus az elkövetett hiba; azaz, az időablak méretének éppen 50%-a (**10.7. ábra**).
- A felismerés során nemcsak kiválasztott időablak mérete okozhat bizonytalanságot a HF impulzus helyének behatárolásában, hanem a HF jelszint változása is (**10.8. ábra**). A HF jelszint változása fizikális okok következtében is bekövetkezhethet, ugyanakkor az

analizálási eljárásban kijelölendő detektálási szint is befolyásolhatja a detektálás jószágát. A **10.8. ábra** jól bemutatja azt az esetet, amikor egy konstans HF jelszinttel rendelkező impulzust detektál az eljárás, közben egy 3 periódus hosszúságú FFT-időablakot alkalmazva, mindemellett változtatva a detektálási szint küszöbét (0,5-2% között). Az ábrából jól látszik az, hogy a detektálási szint emelése (és közelítése a HF impulzus legnagyobb amplitúdójához) pontosabb detektálást ér el az algoritmus, ellenben a detektálási küszöbszint csökkentése a detektálás hibáját irreálisan megnövelheti, az alkalmazott módszerrel elérhető legjobb detektáláshoz képest. A hiba elkerülése miatt, az automatikus felismerő eljárásoknál a maximális HF jelszintek is kiszámításra kerülnek, amellyel a mérések helyszínén önállóan lehet igazodni a jelszintben jelentkező eltérésekhez. (Erre a tapasztalatok szerint szükség van, ugyanis a jelszint mérési helyszínenként is változhat, sőt gyakran egy naptári nap mérései során is folyamatosan ingadozhatnak, pl.: valamilyen egyéb hálózati hibajelenség következtében.)

A kidolgozott (univerzális) hangfrekvenciás impulzusedetektáló eljárás

A kidolgozott szimulációs alkalmazásba integrált új algoritmusok és eljárások eredményeként a legjobb finombeállításokat tudtam elvégezni a HF detektálási módszer létrehozásához. Összefoglalásként, a kifejlesztett *HF detektálási módszer lényege* az, hogy az időszori mintavételezett adatokon mozgatott, időablakba beolvasott minták szakaszos Fourier analizálását kell végrehajtani, továbbá a HF komponens szempontjából „szűrni” az adatsort, ahol az analizálásra került HF jelszint ismeretében, könnyen beazonosítható a hálózati jelen lévő impulzusok kezdeti helye. Ezen nagy pontosságú impulzusedetektálás a későbbi teljesítménydetektálások pontosságát is döntő mértékben befolyásolja.

A módszer finomhangolásának érdekében, sikerült meghatároznom az alkalmazott *HF időablak méretét*, az szükséges *detektálási szintet* és az *időablak időszori adatokon való léptetésének gyakoriságát* is:

- *Optimális időablak-méret:* A detektáláshoz szükséges optimális időablak-méret 3 periódus méretű FFT-időablak adja, amely a lehető legkisebb pontatlansággal határozza meg a HF impulzusok helyét. Az elkövetett hiba – bár függ az alkalmazott detektálási szinttől is – de maximum 1-1,5 periódus bizonytalanságot okoz, amely az alkalmazott hálózat frekvenciájától (50 / 60 Hz) függően maximum 20-30 msec-es hibát jelenthet. Ennél pontosabb meghatározásra a gyakorlatban nincs szükség.
- *Optimális detektálási szint:* Nagy pontosságú detektálás olyan esetben történhet, amennyiben helyesen történik meg a detektálási szint beállítása. A későbbiekben bemutatandó automatikus eljárás, már a maximális HF jelszinteket is képes számítani, és paraméteres finomhangolást végez, amennyiben az szükséges. Ennek következményeként, minden esetben kellő rugalmassággal lehet igazodni az aktuális mérési feladathoz. Az általános gyakorlati tapasztalat azt mutatja, hogy a transzformátorállomásokon mért HF jelszint megfelelően stabilis, így a hálózati feszültség szint 0,7-1,2%-os választása megbízható detektálást biztosít az analizálások során.

- *Optimális időablak csúsztatás:* A mozgó időablakkal történő detektálás lényegi részét jelenti az is, hogy milyen időközönként célszerű vizsgálni a mintavételezett adatokat (FFT). Ebben az esetben már figyelembe szükséges venni az online (folyamatos) számítás processzorműveleteit is, és a felismerés kívánta pontossági tényezőket is. Az előző vizsgálatokból kiderült, amelyet a gyakorlat is igazolt, hogy a 0,5 periódusonként történő időablak-csúsztatás megfelelő azonosítást tesz lehetővé. A szimulációkban alkalmazott mintánkénti csúsztatásra nincs szükség a gyakorlatban.

10.3. Univerzális teljesítménydetektálási módszer kidolgozása

Kidolgoztam egy olyan teljesítménydetektálási módszert, amelynek segítségével a HF tömegvezérlés hálózaton bekövetkezett teljesítményugrásait, megbízhatóan lehet azonosíthatóak. Az analízis módszer a HF vezérlés során alkalmazott távirati struktúrától függetlenül, minimális átalakítással képes működni. A kidolgozott módszer és az ezen alapuló gyakorlati megoldás azért tekinthető *univerzálisnak*, ugyanis nemcsak egy HF vezérlőparancsok által kapcsolt teljesítmény meghatározására alkalmas kizárólag, hanem a módszer eredményesen kiterjeszthető, más hasonló elven történő direkt vezérlés okozta teljesítményváltozások (pl.: RFKV) elemzésére is. Értekezésemben a detektálás középpontjában a hőtárolók okozta teljesítményváltozások analízisére áll, de természetesen ez is kiterjeszthető más pl.: közvilágítás-vezérlés okozta teljesítményváltozások analízisére is. A detektálási alapelv minden esetben ugyanaz, azonban az egymástól eltérő vezérlési topológiák és alapkoncepciójukban más módon történő fogyasztói eszközök vezérlése, minden esetben megköveteli a megfelelő alkalmazkodást:

- HFKV: A *hálózati jelre modulált táviratok* (impulzussorozatok) detektálása és az impulzusok pontos helyének ismerete után történhet a teljesítményugrások analízisére.
- RFKV: Az éteren keresztül (a hálózati jeltől függetlenül) továbbított *rádiófrekvenciás üzenetekkel* történő vezérlés (ismert távirati struktúra) és a vezérlőparancsok pontos *kezdeti időpontjainak ismerete* segítségével történhet a teljesítményugrások analízisére.

A központi kérdés tehát a következő: „*Milyen módon lehet a direkt vezérlés struktúrájának és a vezérlés helyi információinak ismeretében, a vezérlés által okozott teljesítményugrásokat meghatározni?*”

Háromfázisú teljesítmény számítása

A teljesítménydetektáláshoz, kezdetben több rutin eljárás kidolgozását végeztem el. Szükséges volt pl.: a mintavételezett jel feszültség- és áramadatai alapján, fázisonkénti teljesítmény (háromfázisú teljesítmény) kiszámítása, amelyek egyben bemenetét képezték a létrehozott teljesítményanalízis megoldásaimnak. Így az elő-feldolgozott teljesítményadatok, valamint a HF vezérlő impulzusok pontos kezdeti időpontjainak ismeretében, a módszer képes becsülni a teljesítményugrások amplitúdóját.

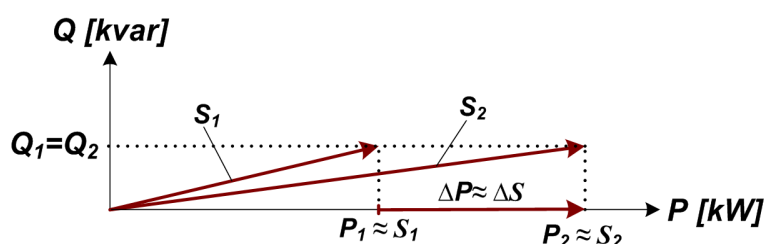
A kapcsolt, hőtárolós teljesítmények meghatározásánál elegendő csak az ún. *háromfázisú teljesítmény* kiszámítása (**10.8. formula**), azaz nem szükséges fázisonként különkezelni a teljesítményadatokat, amelyet legjobban a hálózaton elhelyezett fogyasztók

egyenletes szétosztása, ill. a vezérlés okozta együttes hatásuk indokol. (Amennyiben valamilyen speciális feladat mégis ezt kívánná meg, akkor minden teljesítményadat fázisonként is kezelhető.) A háromfázisú teljesítmény meghatározása során, kezdetben a hatásos (P) és a látszólagos (S) teljesítményadatok meghatározását is elvégeztem, azonban a meddőenergia (Q) kezelésére nem volt szükség (nem használt információ).

$$P = P_R + P_S + P_T \qquad S = S_R + S_S + S_T \qquad (10.8)$$

Megállapítottam, hogy kutatásaim szempontjából, ráadásul nem szükséges különbséget tenni a számított hatásos és látszólagos teljesítmények között sem, ugyanis:

- a tömegvezérelt fogyasztók teljesítményváltozásainak vizsgálatára és elemzésére kerül majd sor, ahol a mellékesen kiszámított teljesítményszint szükséges, de nem létfontosságú információ; a detektálás elsősorban a fogyasztói berendezések be- ill. kikapcsolásakor bekövetkezett változásai az érdekesek; a pillanatnyi teljesítményszint elsősorban a hálózat kiterjedésére utaló adat, amelyből csak pontatlan becslés adhat választ a hőtárolós teljesítmény maximumára;
- a hálózat viselkedése erős sztochasztikusságot mutat;
- a végső cél a vezérelt hőtárolók teljesítményének meghatározása, amelyek tisztán ohmos jellegű fogyasztók (emiatt elegendő a hatásos teljesítményt számolni);
- a hálózaton általában jó teljesítménytényezővel lehet találkozni, azaz kis szögeltérés jelentkezik a hatásos- és látszólagos teljesítmény vektorok között (**10.9. ábra**);
- a tömegvezérléssel kapcsolható fogyasztók hatásos teljesítményváltozásának nagysága a gyakorlatban 10% nagyságrendbe esik, amely a látszólagos teljesítmény fázisszögén gyakorlatilag nem változtat;
- a látszólagos teljesítmények abszolút értékeinek különbségéből, és a hatásos teljesítményértékek abszolút értékeinek különbségéből megközelítőleg azonos teljesítmény adódik, így a számítások szempontjából egyenrangúnak tekinthető mindkét teljesítménytípus.



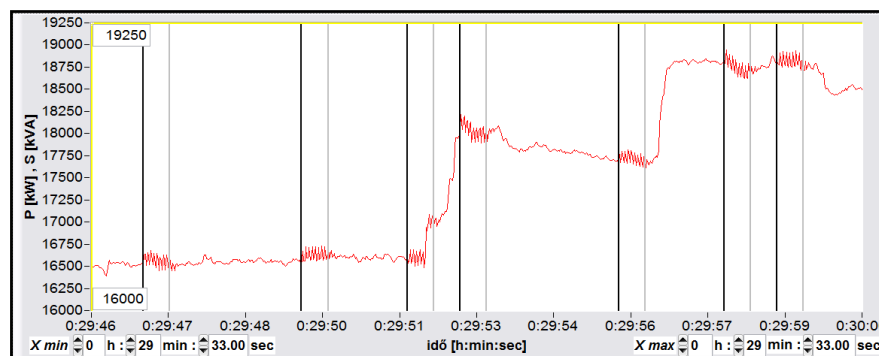
10.9. ábra: A hatásos és látszólagos teljesítmény ekvivalenciájának bemutatása egy bekövetkező teljesítményugráson

Az előző fejezetekben bemutatott impulzusdetektálási módszer szimulációja során, a generált jelalak (HF impulzussal modulált hálózati jel) könnyen létrehozható volt. Az elkészített szimuláció így jól tükrözte a valóságot, mind a generált impulzusok időtartamát mind pedig amplitúdóját tekintve, amelyen keresztül körültekintően lehetett tanulmányozni a detektálási módszer gyakorlati megvalósításának működését. A hálózati jelen meglévő sztochasztikus viselkedés és a teljesítményváltozások „ismeretlen” természete miatt viszont, a teljesítménydetektáló szimulációk bemenetét a mintavételezett adatokból elő-feldolgozott

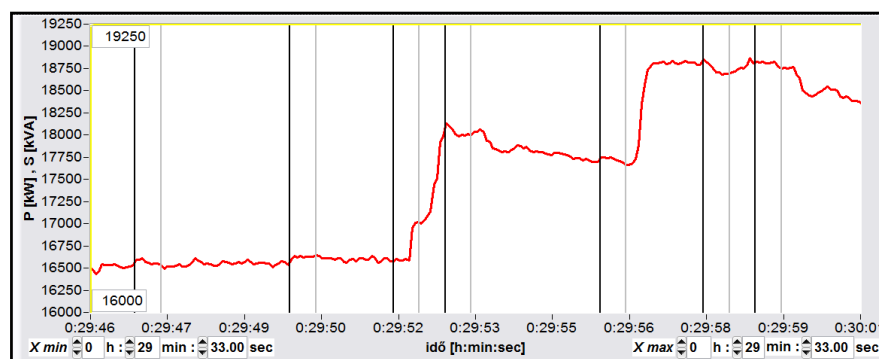
teljesítményadatokat használtam, így azonnal valós körülmények között vizsgálhattam a vezérlések okozta „ugrási jelenségeket”.

A teljesítménydetektálási módszer megvalósítása két jól elkülönülő lépésben történt: *elsőként* megfelelő időalapot választva ki kellett számítani háromfázisú (hatásos) teljesítményértékeket, majd ezeket bemeneti adatként használva, a *következő* lépésben történhetett a vezérlés hatására bekövetkező teljesítményváltozások számítása.

A teljesítményadatokból történő becslési eljárás során (kezdetben) fontos volt annak eldöntése is, hogy milyen átlagolással (időalappal) számítódjanak ki teljesítményadatok, ezzel rögzítve azt, hogy a nyers mintavételezett adatok milyen időközönként átlagolódnak. Kiválasztott feladattípustól függően, leggyakrabban 1, 3, 5, 10 periódusos, illetve 1 sec-os átlagolásokat szoktak alkalmazni, ahol a kisebb időalap kevésbé átlagol (jól kivehetők a zavarjelenségek), míg egyre nagyobb időalapot választva, egyre „jobb” átlagolást lehet megfigyelni (a zavarjelenségek eltűnnek, kiátlagolódnak). Az teljesítményátlagoláshoz használt időalap helyes megválasztása így kulcsfontosságú feladat, ugyanis kizárólag helyes teljesítmény-időalap választásával lehetséges a legpontosabb teljesítményugrások meghatározása.



10.10. ábra: Teljesítményadatok megjelenítése 1 periódusos átlagolással, jelölve a HF impulzusok határait (részlet az általam kifejlesztett diagnosztikai rendszerből)



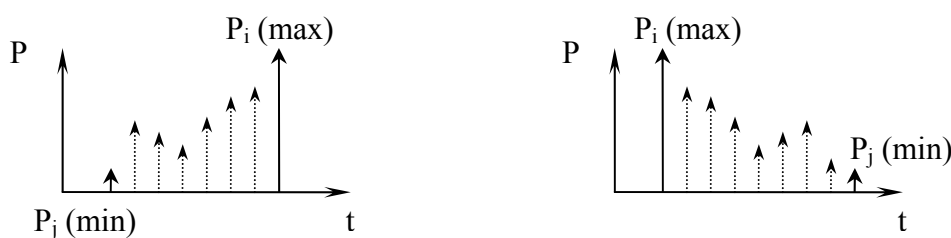
10.11. ábra: Teljesítményadatok megjelenítése 3 periódusos átlagolással, jelölve a HF impulzusok határait (részlet az általam kifejlesztett diagnosztikai rendszerből)

Az időalap helyes megválasztása kulcsfontosságú, ugyanis csak így lehet a hálózat sztochasztikus viselkedéséből származó ingadozásokat a lehető leghatékonyabb módon eliminálni. Emiatt, egy helyesen megválasztott időalap esetén a tömegvezérelt fogyasztók okozta teljesítményváltozások jól elkülönülhetnek a „normál” hálózati viselkedésből származó jelenségektől. Az teljesítményátlagolások során, tapasztalataim a következőket mutatták:

- A teljesítményátlagok kiszámítására használt 1 periódusos időalap, a kiszámolt teljesítményadatokban túlzottan láthatóvá teszi a villamos hálózat sztochasztikus működéséből eredő zavarjelenségek (10.10. ábra). A HF moduláció láthatóvá válik a teljesítményadatokon (a feszültség-moduláció nem átlagolódik ki), amelyet a HF impulzusok pontos helyének ellenőrzésére, és a HF detektáló eljárás tesztelésére lehet sikeresen használni. Ez a megoldás, a kapcsolt hőtárolós teljesítményváltozások meghatározását nem teszi lehetővé, ezért ezen beállítást kizárólag tesztelés céljára lehet használni.
- A 3 periódusos időalap alkalmazása (10.11. ábra) ezzel szemben jól kiátlagolja a HF moduláció okozta „zavarokat”, azaz megszünteti a HF impulzusok teljesítményadatokban jelentkező zavaró hatását, így a teljesítményváltozások megfelelő mértékben analizálhatóakká válnak a teljesítményadatokból.
- Ennél nagyobb időablak-méreteket alkalmazása, egyes esetekben a teljesítményváltozások túlzott „elmosódását” okozzák, bizonytalanra és pontatlanná téve a meghatározás algoritmusát. A nagyméretű teljesítményszámítási időablakok között a 3 és az 5 periódus méretű átlagolások bizonyulnak csak megfelelőnek, a nagyobb méretűeket (pl.: 10 periódusos) az előbbi okok nem célszerű használni.
- Végeredményképpen, a 3 periódusos időalap adja az optimális megoldást, így ezt használom a kidolgozott algoritmusokban.

A tömegvezérlés okozta teljesítményugrások számítási módszere

A teljesítményugrások számítására olyan szimulációs szoftvert fejlesztettem, amely a 3 periódusra átlagolt valós teljesítményadatokon végzi el a hőtárolós vezérlések okozta teljesítménydetektálásokat. Szimulációm segítségével, az új teljesítménydetektálási módszerem működését és gyakorlati hatékonyságát is igazolni tudtam.

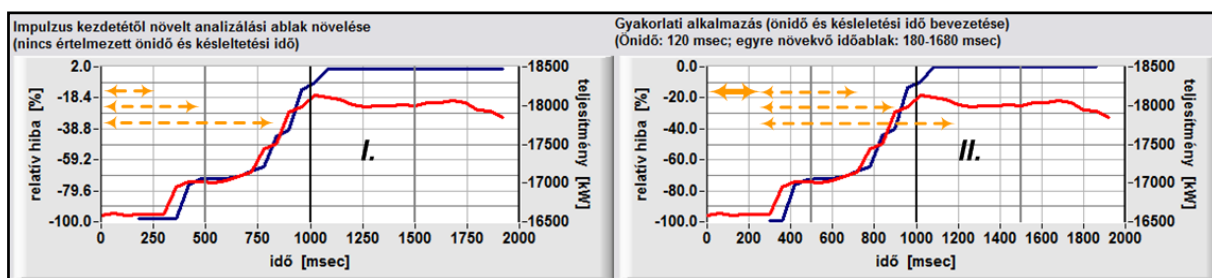


10.12. ábra: Bekapcsolási és kikapcsolási parancs során alkalmazott egyszerűsített számítási eljárás a ΔP (vezérelt teljesítmény) és P_{ind} (indulási teljesítmény) meghatározására

A 10.12. ábra megmutatja a vezérlő parancsok által okozott teljesítményváltozások meghatározásának egyszerűsített algoritmusát, ahol „ P_i ” az analízisi időszak legnagyobb teljesítménye, míg „ P_j ” az időszak legkisebb teljesítménye. Ilyen jelölések esetén egyértelmű különbséget lehet tenni a be- (teljesítményugrás) és kikapcsolások (teljesítményvölgyek) okozta teljesítményugrások között is, ami nagyban megkönnyíti az módszer algoritmizálhatóságát. Abban az esetben, ha:

- $P_i > P_j$, akkor a teljesítményváltozás *pozitív* volt („ $+\Delta P$ ”), ahol a „ P_j ” teljesítmény adja az indulási teljesítményt; azaz „ P_j ” mutatja meg, hogy milyen teljesítményszintről növekedett a teljesítmény a vezérlés során;
- $P_i < P_j$, akkor a teljesítményváltozás *negatív* volt („ $-\Delta P$ ”), ahol a „ P_i ” teljesítmény adja az indulási teljesítményt; azaz „ P_i ” mutatja meg, hogy milyen teljesítményszintről csökkent le a teljesítmény a vezérlés során.

Megfigyeléseim szerint, a teljesítményváltozások minden esetben a vezérlőimpulzust (parancsot) követően indulnak, így vezérlőparancsok pontos idejének ismeretében annak meghatározása a cél, hogy az impulzust követően milyen méretű teljesítményanalizálási ablakot szükséges megnyitni (**10.12. ábra**). A nem optimális méretű teljesítményanalizálási időtartam egyben pontatlanná és megbízhatatlanná teszi a vezérelt hőtárolós teljesítmény meghatározását, így az fent említett problémakört többféleképpen is megvizsgáltam. Mindezt az indokolta, hogy tapasztalatok szerint többfajta tényező együttes figyelembevétele szükséges a teljesítményanalizálás kezdetének és hosszának meghatározására; azaz nem elégséges a vezérlő impulzus kezdetét és az analízis hosszát ismerni. A következőkben bemutatok egy komplex szimulációs algoritmust, amelyet kimondottan a teljesítményanalizálás problematikus kérdéseinek elemzésére fejlesztettem.



10.13. ábra: Szimulációs szoftverrészlet a vezérelt hőtárolós teljesítmény kétféleképpen történő analizálására

Szimulációs szoftverem (**10.13. ábra**) az elő-feldolgozott teljesítményadatok beolvasása és néhány fontos paraméter beállítását követően a **10.12 ábránál** leírtak szerint, kétféle teljesítménydetektálási módszert alkalmazva végez *analizálást* és *relatív hibaszámítást* a vezérlés okozta teljesítményugrások számítására és grafikus ábrázolására. A kétfajta detektálási módszer *ugyanazon teljesítmény-adatsort* használja az analízáláshoz, ahol az egyedüli eltérés a számítás módszerének algoritmusában van. A szoftver grafikonjának 0 sec-es időpontja, a vizsgálat középpontjában álló vezérlő parancs kezdetét mutatja, amely után 1940 msec-ben történik a 3 periódusos átlagolással számolt teljesítményadatok megjelenítése (*piros vonal*).

Megjegyzendő, hogy a rendelkezésre álló mérési adatok és a szolgáltató által használt kötött távirati struktúra, együttesen határozta meg a szimulációs szoftver néhány beállítását (pl.: grafikonok rasztere; vizsgált időtartam; stb.), de az újonnan kidolgozott módszerek általános érvényűek és bármilyen más impulzusszélesség- és távirati struktúrán történő finomhangolás esetén is egyaránt alkalmazhatók.

A szimuláció során használt elő-feldolgozott adatokban 1 sec-es időrasztert használt a szolgáltató a HFKV-ra, ahol az impulzusok 0,5 sec hosszúságúak, amelyeket minden esetben 0,5 sec szünet követ. A ki- és bekapcsolások a távirati struktúrában egymás mellett fordulnak elő, de azonos időben (ugyanazon hőtárolós csoport esetén) mindig csak a ki-, vagy be-parancs

lehet aktív. A legkritikusabb eset az, amikor az egyik hőtárolós csoport bekapcsolási vezérlő parancsát a következő csoport kikapcsolási vezérlése követi, amelyre kiemelt figyelmet kellett fordítanom az automatizált analízáláshoz lehetséges átlapolási problémák miatt.

A hibaszámításhoz kezdetben manuális úton, szemrevételezéssel megállapított teljesítményértékeket használtam a viszonyításhoz, amely kellően megbízhatónak bizonyult a végleges módszer kifejlesztéséhez:

$$h_{\text{relatív}} = \frac{P_{\text{számított}} - P_{\text{referencia}}}{P_{\text{referencia}}} \cdot 100\% \quad (10.9)$$

ahol:

- $h_{\text{relatív}}$: a kiszámított relatív hiba %-os értéke;
- $P_{\text{referencia}}$: az átlagolt teljesítményadatokról, szemrevételezéssel megállapított teljesítményugrás;
- $P_{\text{számított}}$: az alkalmazott analízálási időablakok segítségével, automatikusan megállapított teljesítményugrás;

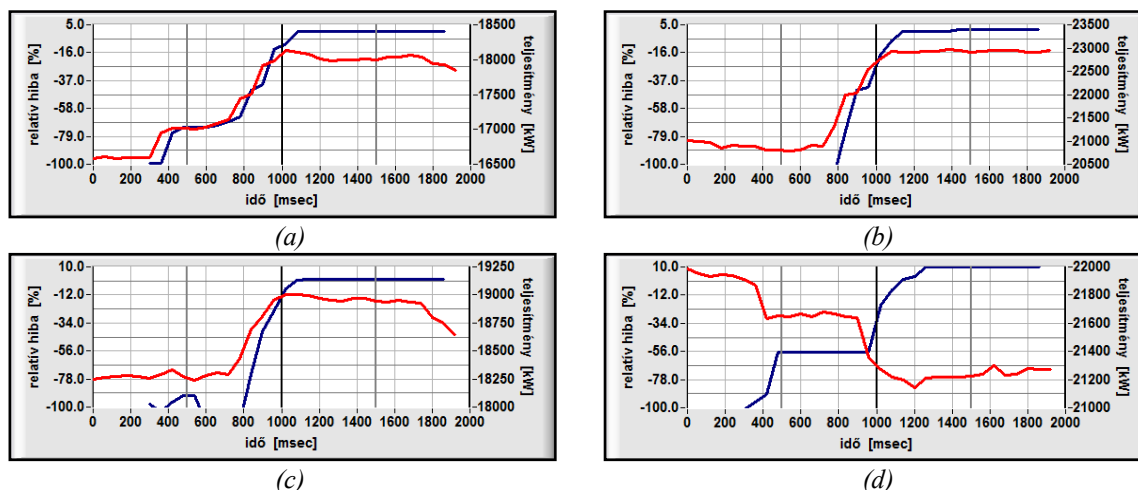
Az *I. sz. algoritmus* a vezérlő impulzust követően azonnal megnyitja a hőtárolós teljesítményugrás analízáláshoz szükséges időablakot, alkalmazva **10.12. ábra** algoritmusát. Az algoritmus kezdetben 180 msec méretű ablakot nyit a teljesítményváltozások detektálására, amelyet folyamatosan növel 1600 msec-ig, közben minden esetben számolva és megjelenítve relatív hibákat (*kék vonal*). Az *I. sz. algoritmust* elemezve látható (**10.13. ábra**), hogy a vezérlést követően közvetlenül nem változik meg a teljesítmény, amelynek oka HF vezérlés villamos hálózaton való tovaterjedésnek, a fogyasztói oldalon felszerelt eszközök bizonyos reakcióidejének, valamint a hálózatra gyakorolt visszahatásának együttes időigénye (hisen transzformátorállomásokon felszerelt mérésekkel detektálom a teljesítményeket!). Mindezen okok miatt, az analízálást HF impulzusok kezdetét követő 100-200 msec után szükséges elkezdeni és ezt követő kb. 900-1100 msec-os méretű analízáló ablak választásával célszerű folytatni, amely éppen a következő impulzus-, esetleg a hálózat tétlenségéből származó időtartalék határ-idejére esik. Emiatt bevezettem a „*vevők önidejének*” és a „*vevők késleltetésének*” paraméteres fogalmait (*II. sz. algoritmus*), hogy az analízálás teljes összhangot mutasson a hálózat valós viselkedésével.

A *II. sz. teljesítménydetektáló módszer alapján létrehozott algoritmus* már a vevők önidejének és késleltetésének időtartamai alapján működik, tükrözve a gyakorlati (végleges) megvalósítást, egyben pedig javítja az *I. sz. algoritmus* leegyszerűsített analízálási módszerét. A *II. sz. módszer* bár szemre (**10.14. ábra**) nem mutat túl nagy eltérést az előző algoritmushoz képest, azonban az analízálási időtartam minimálisra csökkentése, a gyakorlatban is célszerűnek tűnő választás, ugyanis az hálózat terhelésének folyamatos változása és sztochasztikussága kihathat az analízálásra, amelyet meg kell akadályozni, és ennek esélyét is a minimumra szükséges csökkenteni.

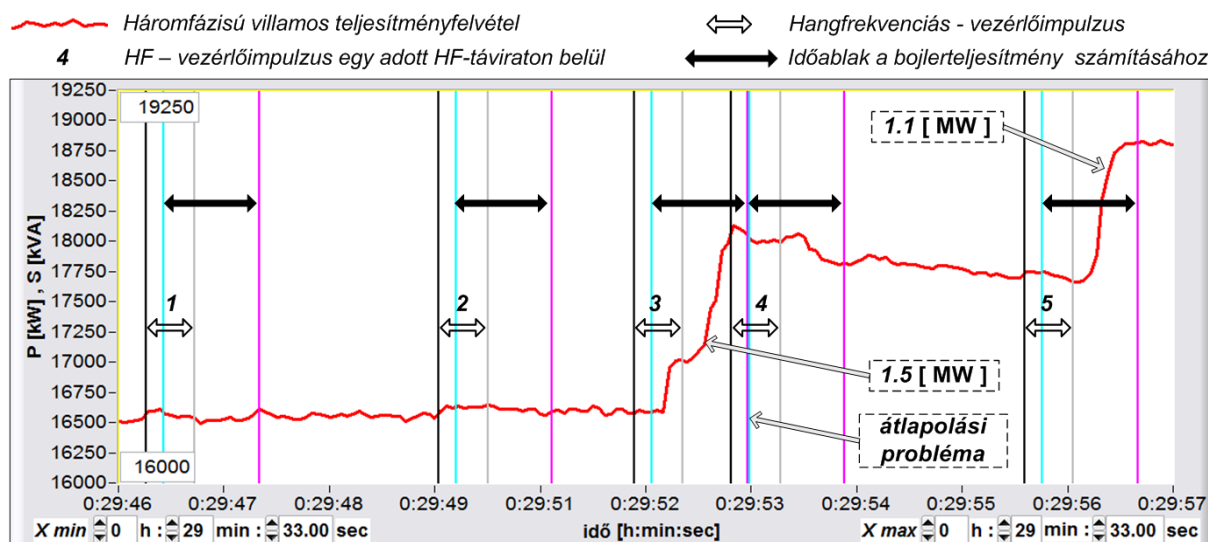
A *vevők önidejét* (**10.15. ábra**), egy olyan definiált időtartamnak kell tekinteni, amelyet az adott vezérlő impulzus (HF ki-, be-parancs) kezdetét követően szükséges számítani. Ezen időtartam alatt nem történik fogyasztó oldali teljesítményváltozás, azaz teljesítményanalízálás szempontjából inaktív időtartam. Fizikailag, ezen időtartam alatt kapcsolják a fogyasztó oldali

vevők reléi a berendezéseket (pl.: hőtároló berendezéseket) a hálózatra. A tapasztalatok szerint ez kb. 0,1-0,2 sec-es időtartamot jelent.

A vevők késleltetését (10.15. ábra), az adott vezérlő impulzus kezdetét követő konstans önidő után kell mérni. Ezen időtartam alatt következnek be a HF vezérlő impulzus okozta teljesítményváltozások a hálózaton; azaz a vezérelt teljesítmény meghatározásához ezen időtartam alatt szükséges analizálni a hálózati teljesítményt. Tapasztalatok szerint, a választott önidőtől függően, a késleltetési időtartam 0,9-1,2 sec hosszúságú. Mindezen okok miatt, ezen időtartamot nemcsak vevői (hálózati) késleltetési időnek, hanem *analizálási időtartamnak* is lehet nevezni, a bekövetkező vezérlés okozta hatások felderítésének időtartama miatt.



10.14. ábra: II. sz. teljesítménydetektáló algoritmus (a,b) bekapcsolási vezérlést követő teljesítményugrások (1544,6 [kW]; 2136,9[kW]); (c) bekapcsolási vezérlést követő teljesítményugrás és közvetlen ezt követő kikapcsolás (770,3 [kW]/-435,2[kW]); (d) kikapcsolási vezérlést követő teljesítményvölgy (729,5 [kW]);



10.15. ábra: Teljesítményugrások (hőtároló-teljesítmények) detektálása valós mérési adatokon (optimális önidő és késleltetési idő alkalmazásával)

A II. sz. algoritmusban bevezetett új fogalmak segítségével, a teljesítménydetektálási módszer reális elemzési stratégiát alkalmaz. Az analízis kezdetének (vevők önideje) és az optimális időtartamig tartó teljesítményváltozás-analízis (vevők késleltetése) megválasztása együttesen befolyásolja a teljesítményugrások elemzését, ahol:

- A túl nagyméretűre választott önidő esetén, az analízálást végző időablak későn kezdi el az elemzést, azaz már elkezdődik a fogyasztó oldali reakció, még mielőtt detektálnánk azt. Mindez pontatlan teljesítményváltozás meghatározáshoz vezet.
- A túl nagyméretűre választott késleltetés (analizálási időablak) egybeérhet egy következő vezérlő impulzus hatásaival (*átlapolási probléma*), amely így hibás következtetés okozhat. A gyakorlatban kis számban fordulnak csak elő ilyen vezérléskombinációk, de a hatásaikat semmiféleképpen sem szabad figyelmen kívül hagyni.
- A túl kisméretűre választott időablak nem pontosan határozza meg teljesítményváltozásokat, hiszen a figyelembe vett teljesítményértékek egy része nem kerül bele az analízálást végző időablakba, ezáltal nem megfelelő mértékben veszi figyelembe a hálózaton bekövetkezett változási jelenségeket.

A helyesen megválasztott időablakok tehát kulcsfontosságúak az analízáláskor, hiszen csakis *optimális méretű időablakok* (önidő: 0,1 sec; késleltetés/analízálás: 1 sec) garantálhatják a teljesítményugrások és völgyek reprodukálható és megbízható detektálását. Tapasztalatok szerint, ezen vevő önidő és késleltetési idő beállítás a hőtárolós teljesítményszámítások során kevesebb, mint 5% számítási hibát okoz, amely figyelembe véve a hálózat sztochasztikus változásaiból eredő bizonytalanságokat is, megfelelő értéknek mondható.

A tömegvezérlés okozta teljesítményugrások számítási módszerének összefoglalása

Általánosan megállapítható, hogy a vezérlő utasítások hatására hálózaton bekövetkezett teljesítményugrások 0,1 sec hálózati önidő és közel 1 sec-es vevői késleltetés mellett várhatóak, azaz ennek megfelelően kell az analízálást elvégezni. Ez az analízálásra nézve új követelményt ír elő, hiszen a kritikus esetben, közvetlenül egymást követő vezérlési utasítások (*átlapolási probléma*, **10.15 ábra**) az elemezhetőséget veszélyeztetik az általam kidolgozott teljesítménydetektáló módszer során. A tanulmányozott szolgáltatók [46], szinte minden esetben 1 sec-nél hosszabb időszakaszokat választanak az egymást követő vezérlőimpulzusoknak, ami azonban garantálja a módszer különböző körülmények közötti működőképességét.

A tisztán mérési adatok segítségével megállapított önidő és késleltetési idő kulcsfontosságú a tömegvezérelt fogyasztók által okozott teljesítményváltozások megállapításában; a HFKV és RFKV ilyen szempontból teljesen egyenrangú eljárásnak felel meg. Emiatt nyilvánvaló, hogy a HFKV és RFKV vezérlési módja (vezetékes/vezeték nélküli) és a vezérlés jellege (szakaszos/folyamatos) nem befolyásolja a hálózati működésre és ezzel párhuzamosan az analízálásra vonatkozó általános megállapításokat, amelyet a gyakorlati mérések is minden esetben igazolnak.

10.4. Automatizált adatfeldolgozást támogató zavarfelismerő módszerek kidolgozása

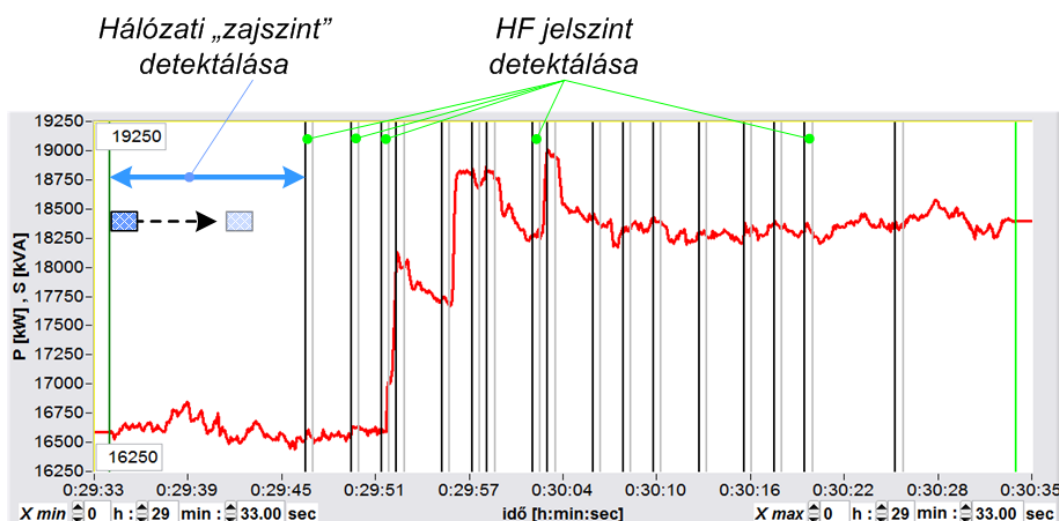
A hatékony adatfeldolgozások érdekében, felhasználva a valós mérésekből származó elő-feldolgozott adatokat, a hálózat viselkedését jobban leíró új megoldásokat és módszereket hoztam létre, amelyeket a következő alfejezetekben mutatok be.

A hangfrekvenciás jelszint detektálása

A transzformátorállomásokon működtetett HF adók és kiegészítő berendezések számos teljesítményelektronikai berendezést alkalmaznak egyidőben. A hálózatokon üzemeltetett HF adók sok esetben előregedettek, egyes esetekben meghibásodás és rosszul beállított HF jelszint is jellemző. Emiatt a hálózatüzemeltető részére gyakran szükséges lehet, a villamos hálózati működést jellemző (az azonosított táviratokhoz rendelt) HF jelszint(ek) megállapítása (HF feszültségszint).

Annak érdekében, hogy a HF jelszintet egy nap bármely időszakában nyomon lehessen követni, szükséges esetén visszakeresni, a HF jelszintet minden HF táviratra meg szükséges határozni. Az már csak tárolási kérdés, hogy a táviratonként egyetlen HF jelszint átlagadat, vagy az összes HF impulzus jelszintje külön-külön kerüljön mentésre. A valós körülmények között is kipróbált módszerek azt mutatták, hogy elégséges a táviratonként egy jelszint tárolása.

A táviratonként analizált HF jelszint megállapítására egyszerű módszert dolgoztam ki, amelynek lényege a következő: A módszer a táviraton belüli impulzusokat tekinti egységként (10.16. ábra: zöld jelölések), majd amikor a teljes távirat HF detektálása megtörtént, akkor a beazonosított impulzusok („középső részén” analizált) feszültségszintjeiből történik átlagérték-képzés; a képzett átlagérték jól jellemzi ezután a távirat HF feszültségszintjét, amelyet ezután le lehet tárolni.



10.16. ábra: A hálózati „zajszint” és a HF jelszint detektálási módszerének bemutatása

A villamos hálózat sztochasztikus viselkedéséből származó ingadozás kezelése

A villamoshálózati terheltségi szint folyamatosan változik a nap folyamán. A terheltségi szint egy-egy rövid időszakát megfigyelve, mindamellett hogy az energiaszint nem változik ugrásszerűen, de mégis erősen sztochasztikus jelenséget mutat a nap folyamán.

Megfigyelések alapján, a hálózaton szinte kizárólag csak a HF vezérlés következtében történhet ugrásszerű (néhány másodperces időtartam alatt bekövetkező) teljesítményváltozás (leszámítva a nagyfogyasztók kapcsolási jelenségeit). Így mindenképpen fontos információ az, hogy a hálózati sztochasztikus viselkedés az analizált teljesítményváltozásokban mekkora bizonytalanságot okoz; ennek mértékét pedig minden időszakban ismerni szükséges. Emiatt jól látszik, hogy *nem elégséges* pl.: kizárólag *transzformátoronként* és *naponként* megállapítani a terhelésingadozás mértékét, hanem ennél jóval pontosabb meghatározásra van szükség ahhoz, hogy bármely általam detektált teljesítményváltozás megbízhatóságát el lehessen dönteni. A napszakokban (reggeli, déli, esti és éjszakai időszakok) más és más a véletlenszerű terhelésingadozások mennek végbe (időfüggő módon!), amely egyúttal a meghatározott teljesítmények megbízhatóságát is nagyban befolyásolja.

A hálózat véletlenszerű terhelésingadozásából származó, ún. teljesítménydetektálási-zavarszint megállapítására kidolgozott módszer

Távirati struktúrától függően, más és más stratégia képzelhető el a bizonytalansági teljesítményszint megállapítására, de fizikai felépítéstől függetlenül a cél, a távirati időszak alatt olyan időintervallumot (intervallumokat) kiválasztani, ahol nincs vezérlési parancs a tömegvezérelt fogyasztókra és viszonylag hosszú egybefüggő időszak használható ilyen analízisra. A HF táviratoknál (de akár RF táviratoknál is), általában a kezdő start- és címző-időszakasz használható fel a hálózati zavarszint elemzésére úgy, mint a HF vezérléstől független időszak.

A kidolgozott módszer lényege az, hogy egy előre definiált pl.: 1 sec-es időablakba olvasom be a 3 periódusra átlagolt teljesítményértékeket (**10.16. ábra**), közben meghatározom a szórást, majd 0,5 sec-el előrecsúsztatva az teljesítményadatokat beolvasó elemzési ablakot újramezdem a szórás meghatározását. A kijelölt egybefüggő időszakon pl.: 5-10 sec-es időtartamon számított szórásadatok közül kiválasztott szórásmaximumot (**10.11. formula**), amely egyúttal jól becsli az adott táviratra vonatkoztatott terhelésingadozás szintjét. Esetenként, a táviratra meghatározott szórásadatok átlaga is helyes ingadozási értéket ad (**10.12. formula**). A maximumból kiszámított érték így egy maximális (**10.11. formula**), míg az szórásátlag (**10.12. formula**) egy jól becsült középértéket mutat az ingadozásra, amely jól felhasználható a hálózat terhelési-szint változásainak becslésére.

A módszer sikerességének kulcsa az, hogy a „csúsztatásra” kerülő elemzési szakasz hosszát ne válasszuk túl nagyra (és kisméretűre sem!) és a csúsztatás mértékét a hálózat időrástere alapján határozzuk meg (pl.: 1 sec-es impulzusok esetén, 0,5 sec-es csúsztatás).

$$s_j = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2} \quad \text{ahol} \quad \bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P_i \quad (10.10)$$

ahol $j = 1 \dots j_{\max}$ a választott 5-10 sec-es időtartamon kiszámított szórásadatok indexváltozója.

$$s_{\max} = \max_j (s_j) \quad (10.11)$$

$$s_{\text{átlag}} = \frac{\sum_{j=1}^{j_{\max}} s_j}{j_{\max}} \quad (10.12)$$

Az terhelésingadozás (zavarteljesítmény) mértéke napszakonként tehát változó lehet, de a mérési adatok megfigyelései alapján, 0,1% és 2% között ingadozik a terhelés a hálózaton, amennyiben az előbb ismertetett rövid megfigyelési időszakokat tekintjük közvetlen teljesítményvezérlés-mentes időszakoknak. Ez viszont fontos következményt jelent a teljesítménydetektáló módszer megbízhatóságára is, ugyanis ezek szerint minél nagyobb a hálózat kiterjedéséhez viszonyított analizálandó teljesítményugrás (hőtárolós teljesítmény), annál megbízhatóbb lesz az analízis. Fordított esetben a pontatlanság is nőhet.

Ezen okok miatt dolgoztam ki egy olyan zavardetektálási módszert, amely a detektált teljesítményszint megbízhatóságát jelzi.

Automatikus zavardetektálási módszer alapjainak kidolgozása

A zavardetektálási módszer alapja a táviratokhoz rendelt vezérelt teljesítmények és a zavar szint értékének ismerete. A módszer létrehozásával egyszerűen igazolható az analízis eredményeinek hitelessége. Az teljesítménydetektálási módszer távirathoz, sőt vezérlési csoporthoz rendelt is számíthatja a vezérlés következtében meghatározott teljesítményugrásokat, azonban arról semmiféle információ nincs, hogy a kiszámított teljesítményugrás mekkora bizonytalanságot tartalmaz. A detektálási eljárások ugyanis, bármennyire finomhangoltak, azonban biztosan tartalmazhatnak bizonytalan eredményeket. Elemzési szempontból a hálózati terhelésváltozás által okozott zavar, az analízisban is jelentkezik, amelyről azonban szükséges valamilyen visszacsatolás.

Az módszer az előzőleg kiszámított zavar szintet és az aktuális vezérelt teljesítményt hasonlítja össze a következőképpen:

$$\text{ha} \quad |P_{\text{zavar}}| > |0,5 \cdot \Delta P_{\text{vezérelt}}| \quad (10.13)$$

akkor ezt nem lehet vonatkoztatási és összehasonlítási alapnak venni.

Azaz a terhelésingadozásból származó zaj sávban a detektált teljesítmények sem fogadhatóak el olyan referenciaértéknek, amelyekből további következtetéseket lehet levonni. Csak a „szűrt” teljesítményeket lehet elfogadni, további kiértékelésre használni (pl.: megjelenítésre, összegzésre). A detektált hibákat természetesen naplózni szükséges, amely előrevetíti az automatizált feldolgozások esetén alkalmazott további elemzési módszerek létrehozásának szükségességét.

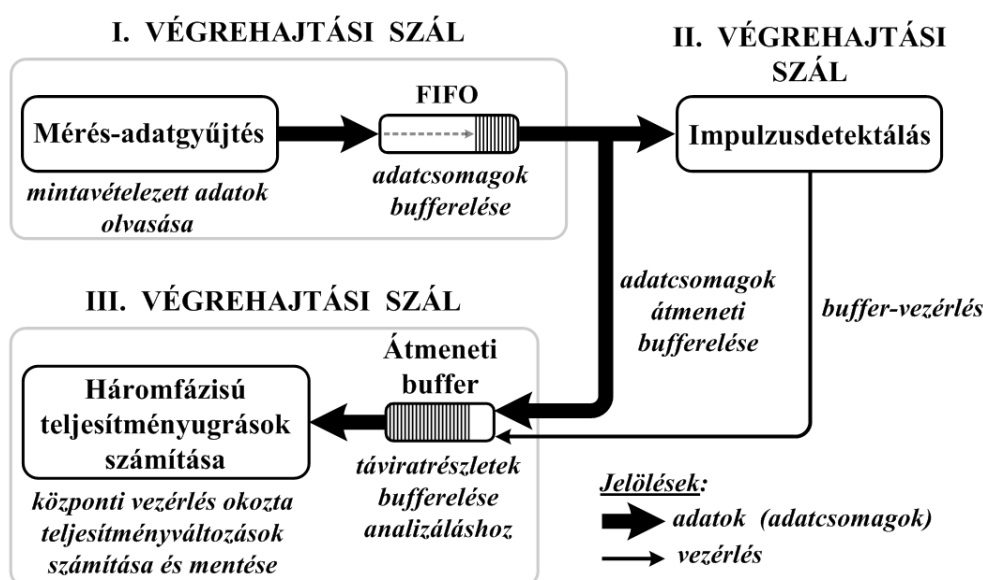
10.5. A tömegvezérlés okozta teljesítményugrások detektálása online mérőmodul segítségével

Létrehoztam egy olyan mérési módszert, amelynek segítségével a mért hálózati feszültség- és áramjelből valós időben detektálható a HF vezérlés és az általa okozott teljesítményváltozás. Ezért a mérési módszer alapján olyan online modult hoztam létre, amelynek segítségével valós időben láthatóak a HF vezérlési parancsok által okozott teljesítményváltozások. Erre a hálózatüzemeltető által korábban használt megoldások során és a tömegvezérlés egyirányú kommunikációja miatt (!), egyáltalán nem volt lehetőség.

Az előző alfejezetekben bemutatott módszereket felhasználva, különálló szoftveres modult hoztam létre, amely alkalmas az online számításokra. A kidolgozott módszer – alkalmazkodva napjaink multiprocesszoros (többmagos) követelményeihez – több végrehajtási szálát, valamint átmeneti buffert (tárolót) alkalmaz az online futáshoz. Az általánosított módszer kidolgozása három különálló fázisban történt:

- Első lépésben, gyakorlati alapokon és korábbi mérési tapasztalatokon alapuló online módszert dolgoztam ki.
- Második lépésben, egy olyan szimulációs alkalmazást készítettem (10.18. ábra), amely a bemutatandó többszálú adatkommunikáció segítségével működik és alkalmazza a korábban bemutatott HF detektáló eljárásokat.
- Harmadik lépésben, a kifejlesztett modult egy korábban bemutatott online hálózatanalizátor-szoftverbe (6.6. ábra) építettem be, amellyel igazolni tudtam a korábbi elméleti és gyakorlati módszerek helyes működését.

Az online mérési és detektálási módszer bemutatása



10.17. ábra: A kidolgozott online mérési- és detektálási módszer a teljesítményugrások analizálására

Az adatkommunikációt végző feladatok egymástól elkülönített zavartalan működéséhez három különálló végrehajtási szálát különítettem el egymástól. Így külön végrehajtási egység foglalkozik mérés-adatgyűjtéssel (I.), a HF impulzusok detektálásával (II.) és a háromfázisú

teljesítményugrások számításával (valamint további szükséges műveletekkel, III.). A különálló szálak létrehozását az egymástól eltérő feladatok és szinkronizálási problémák indokolták (**10.17. ábra**).

A mérés-adatgyűjtést végző szál, a mintavételezést és a mért minták továbbítását végzi egy központi FIFO-ba, amely tulajdonképpen az alkalmazott mintavételi rendszer (mérőkártya) része. A folyamatos mérés feltétele, hogy a FIFO megfelelő gyorsan üresedjen, azaz olyan szinkronban legyenek az adatokon elvégzett kiolvasási műveletek (számítási, mentési, stb.) és az adatgyűjtés folyamata.

Egy online hálózatanalizálás esetén, a FIFO-ban lévő rendelkezésre álló mintákat, adott időközönként, ún. rendelkezésre álló adatsomagonként, át szükséges tölteni egy előre definiált memóriaterületre, ahol a számítások megtörténhetnek. Esetenként, a paraméterek kiszámításához akár a FIFO méretének többszörösére is szükség lehet, de ezt a definiálandó feladat határozza meg; pl.: flicker vagy teljesítményátlagok számítása.

Az előző hálózatanalizálási példát a HF detektálásra vonatkoztatva, az impulzus detektálás-szál adatsomagokat fogad egy általa definiált kisméretű memóriaterületre (ez a **10.17. ábrán** nincs feltüntetve), ahol a korábban bemutatott „csúszó-ablakos” HF detektálást hajtja végre folyamatosan. Amennyiben az impulzusedetektáló szál érzékeli a HF távirat kezdetét, akkor engedélyezve a teljesítménydetektáló szál (III.) átmeneti bufferét, és elkezd a minták feltöltését annak átmeneti bufferébe. Miután a teljes távirathoz tartozó minta beérkezett, akkor a III. szál elkezd a felismert impulzushelyek szerinti teljesítményanalizálást és mentést. A bufferek folyamatos „seprése” hozzátartozik a feladatukhoz, amelyet az elvégzett teendőikkel összhangban végeznek el (pl.: a teljesítménydetektáló szál a táviratok teljes analizálása után azonnal törli az átmeneti buffer tartalmát).

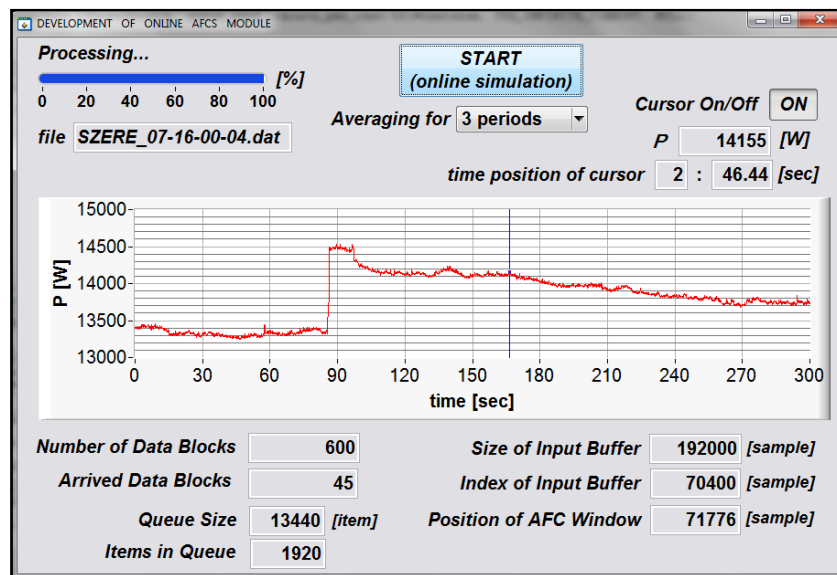
A teljesítményugrásokat detektáló szál központi feladatán túlmutatva a hálózat zavar szintjét is elemzi, amelynek segítségével, azonnal tudja naplózni a nem megfelelő teljesítményváltozásokat. Mind a HF-detektáló, mind a teljesítményváltozás-detektáló szál feladatának szerves része a megfelelő mentési műveletek végrehajtása is (strukturált adatbázisokba), amely a mérési adatok későbbi (offline) elemezhetőségét teszi lehetővé.

Az online detektálási módszer tesztelése szimulációs alkalmazás segítségével

Szimulációs szoftvert fejlesztettem, amelyen az online detektálási módszer tesztelését és további finomhangolását végeztem el. Szimulációs alkalmazásom (szemben egy hagyományos megoldással) azért tekinthető különlegesnek, ugyanis valós mérésekből származó adatokat használ és a memóriába bufferelt minták segítségével szimulálja az online mérést és a mérésadatgyűjtést.

A futtatás során, kezdetben a program memóriába olvassa a tesztelésre kijelölt (10-20 perces) adatmennyiséget, majd ezután kezdi el szimulálni a mérésadatgyűjtés folyamatát (**10.18. ábra**). Az adatgyűjtés folyamatának szimulációja tulajdonképpen a beolvasott minták folyamatos küldését jelenti egy köztes virtuális tárolóba (FIFO). Amikor a virtuális FIFO-ban legalább egy egységnyi adatsomag (pl.: 0,1-1 sec) mintasorozat összegyűlt, akkor a mérést végző szál ezt az adatsomagot átküldi a feldolgozó modulnak, amely az impulzusedetektálással,

valamint vezérlő távirat (impulzus) érzékelése esetén teljesítménydetektálással foglalkozik, a korábban leírt módon. A szimulációs módszer tisztán gyakorlati megoldásai miatt nagyon közel áll egy valós mérés-adatgyűjtéshez. Az észak-magyarországi területről származó adatok, szükségesség tették az ott használt Pulsadis-rendszerű távirati struktúra használatát. Természetesen ez a módszer univerzális átalakíthatóságát nem befolyásolja, hiszen általános elveket ismertetek, amelynél a távirati struktúra és hálózatüzemeltető által használt protokollok nem befolyásolják a működőképességet.



10.18. ábra: A kifejlesztett szimulációs szoftver (angol nyelvű) felhasználói felülete

A feldolgozás folyamata teljes összhangot mutat a 10.17. ábrán ismertetett online analizáló módszerrel leírtakkal. Az online módszer kidolgozása során, külön feladatot jelentett az adatok strukturált formában történő mentése is. A méréseket követő (offline) nagyteljesítményű keresési eljárásokhoz, letárolásra kerül: a HF táviratok (és impulzusok) időbeli bekövetkezése, a kiszámított zavar szint-, indulási teljesítmények- és teljesítményugrások, valamint a zavar szint-tartományba eső HF impulzusok naplózott eredményei is. Az adatok többsége többdimenziós mátrixokban tárolódik, amely előrevetíti az egyszerű keresési és gyors adatkezelési megoldások kialakítását.

Végeredményképpen, gyakorlati alapokra fektetett szimulációs szoftveremmel, egyrészt igazoltam online módszerem működőképességét, másrészt egyszerűen kezelhető illeszthetőségét készítettem elő egy létező alkalmazáshoz. A megvalósított moduláris felépítés, az áttekinthető interfész felületek definiálása és az átgondolt adatkommunikációs eljárások együttesen teremtik meg a modul illesztési feltételeit.

A szemléletesség érdekében, a szoftver továbbá lehetővé teszi a kiválasztott teljesítményátlagolásnak (3-5-10 periódusra történő átlagolás) megfelelő teljesítményadatok megjelenítését is, amellyel valós körülmények között igazoltam a 3 periódusra történő teljesítményátlagolás (és 3 periódusos csúszó időablak) megfelelőségét és a 10 periódusra történő átlagolás elvetését.

Az online mérési módszer gyakorlati megvalósítása

Az online analízáló módszer, és azon alapuló szimulációs alkalmazás kifejlesztése után, online HFKV modulom beépítésre került egy már korábban bemutatott komplex (online) hálózatanalízáló szoftverbe (lásd korábban: **6.6. ábra**). Az újonnan létrehozott online modul jól definiált interfész felületei egyszerű beépíthetőséget és illeszthetőséget tettek lehetővé, így meglehetősen rövid idő alatt sikerült az illesztést megvalósítanom.

Az kifejlesztett különálló modul illesztésénél a legfontosabb kihívást az jelentette, hogy milyen módon lehet a hálózat-analízátor szoftver adatkommunikációját bővíteni egy új feladatkörrel. A komplex analízátor szoftver több végrehajtó szállal rendelkezik (lásd korábban: **6.5. ábra**), amelyek mindegyike (az adatgyűjtő végrehajtási szál által kezelt) ugyanazon központi FIFO memóriából veszi a mintasorozatokat (adatcsomagok formájában). Így az adatgyűjtő szál csak a FIFO-t kezeli és olvassa folyamatosan, amikor pedig rendelkezésre áll egy-egy újabb adategység (csomag), akkor ezt követően küldi tovább a megfelelő szállaknak. A végrehajtási szállak ezek az adatcsomagokat „szedik szét”, a mintasorozataikat csatornánként válogatják szét, és amikor a rendelkezésre álló adategység beérkezett hozzájuk (amely természetesen már nagyobb egység is lehet, mint a küldött csomag mérete) feldolgozzák azokat, mentve az eredményeket; természetesen minden modul egymástól függetlenül, egymás zavarása nélkül teszi mindezt. Mindezen okok miatt, az online modul egyetlen külön végrehajtási szállal kapott (teljesítménydetektálást végző szál). A HF távirat- és impulzusdetektálást az analízátor szoftver központi adatgyűjtő szállához építettem be, amely az adatcsomagok mintáinak csatornánkénti szétválogatása után végzi a HF távirat-detektáláshoz (impulzus-detektáláshoz) szükséges műveleteket, és amennyiben távirat kezdete jön, akkor a mérésadatgyűjtés szál engedélyezi a teljesítménydetektáló szál adatgyűjtését és működését. Az impulzusdetektálások kis műveletigénye nem indokolta külön végrehajtási szál létrehozását ezeknek a napjainkban egyszerűnek mondható FFT műveleteknek. Így emiatt a **10.17. ábrán** bemutatott végrehajtási szállak változatlanul kerültek megvalósításra, csoportosítva azokat a legmegfelelőbb műveletekhez.

A modult természetesen valós körülmények között teszteltem és láthatóan hibamentes viselkedést mutatott. Az adatok mentésének módját a lehető legáttekinthetőbb formában ültettem a gyakorlatba, amely a későbbi megjelenítés egyik alapkövetelménye volt. Az online modul így valós időben érzékeli a HF táviratokat, kiértékeli, majd a felhasználó számára is közönségesen megjeleníthető formában menti azokat. Így vezérlő táviratonként mentésre kerül:

- a HF táviratok kezdete és a táviratokban lévő impulzusok kódja, amelyből a távirati struktúrát ismerve könnyen beazonosítható az okozott hatás (pl: vezérlő bitek állapota, ki- és bekapcsolások állapota);
- a terhelésingadozásból származó zavar szint értéke, amelyből következtethető minden esetben a kiszámított teljesítményugrások bizonytalansága;
- a ki- és bekapcsolási vezérlések (impulzusok) kezdeti pillanatában kiszámított indulási teljesítmények értéke, amelyből tudni lehet, hogy a hálózat milyen terhelési szintjéről következett be a teljesítményváltozás;
- a ki- és bekapcsolási vezérlések (impulzusok) okozta teljesítményugrások, amelyből tudni lehet, hogy egy-egy vezérlő parancs mekkora teljesítményváltozást hoz létre;

- az analizált HF jelszint; és
- a zavar szint-tartományba eső ki- és bekapcsolások okozta teljesítményugrások naplózott eredményei, amelyekből megállapítható, hogy mely kiszámított teljesítményugrásokat nem vehetők figyelembe venni a végkövetkeztetések és elemzések esetén.

Eredmények és tapasztalatok a kidolgozott online modul használatával kapcsolatosan

Végeredményképpen létrejött egy olyan online analizátor modul, amely az optimálisan megválasztott időablak-méretnek és pásztázásnak köszönhetően a HF táviratok (impulzusok) nagy megbízhatóságú (99,94%) automatizált detektálását hajtja végre. Mindez azt jelentette, hogy az észak-magyarországi régióban végzett 150 mérési nap alatt keletkezett kb. 15 000 db táviratból kevesebb, mint 10 távirat detektálása volt sikertelen; ezekben az esetekben is más problémák miatt, pl.: a HF jelszint ingadozása vagy valamilyen előre nem várt hálózati zavar jelenség miatt következett be bizonytalan azonosítás.

Az HF online modul segítségével a mérés helyszínén azonnal (nemcsak offline-, hanem online-módon is) tanulmányozható a villamosenergia-hálózat, amelyet a sok esetben nem várt, gyakorlatban előforduló (azonnali beavatkozást igénylő) hálózati problémák, pl.: HF jelszint ingadozása, HF táviratok generálásával kapcsolatos problémák megkövetelhetnek. Az offline kiértékelés is ugyanolyan fontossággal bír, így az adatok (megfelelő) rendezett adatstruktúrákban történő tárolása is kiemelten fontos szerepet kapott a megvalósítás során.

10.6. Új tudományos eredmények

3. TÉZIS: Olyan, a hálózatüzemeltetőtől független, univerzális dekódoló- és teljesítménydetektáló módszereket dolgoztam ki, amelyek a villamosenergia-hálózat terhelésszabályozásában adnak új elméleti és gyakorlati megoldást.

A kidolgozott módszerek tetszőleges hálózaton alkalmazhatóak, ahol a transzformátorok primer oldali feszültség- és áramjeleiből képesek a hangfrekvenciás vezérlőüzenetek (táviratok) időbeli behatárolására és nagy megbízhatóságú dekódolására, valamint az általuk kapcsolt teljesítményugrások amplitúdójának meghatározására. Olyan online mérési módszert dolgoztam ki, amely képes a villamos hálózaton bekövetkezett teljesítményugrások folyamatos detektálására, napjaink egyedi multiprocesszoros rendszereit támogató modern adatkommunikációs megoldások felhasználásával.

11. ÚJ ANALIZÁLÁSI MÓDSZEREK KIDOLGOZÁSA A TÖMEGVEZÉRLÉS OKOZTA HŐTÁROLÓS PROFILOK MEGHATÁROZÁSÁRA

A tömegvezérlést alkalmazó magyarországi hálózatüzemeltetők, eddig nem rendelkeztek teljes körű információkkal a vezérelt eszközök működéséről. A hálózati teljesítmény ugyanis magában foglalja, és transzparenssé teszi a központi vezérlés okozta teljesítményszükségletet. A közvetlenül vezérelt eszközök teljesítménye napszakonként, vezérelt csoportonként és földrajzi adottságok alapján is erősen különbözhet. A vezérlés időprogramjának létrehozása eddig így szinte kizárólag a hálózaton bekövetkező események, a vízfogyasztás szakirodalmi profiljainak, összefüggéseinek, valamint a fogyasztók komfortérzetét biztosító (törvényi előírásoknak megfelelő) gyakorlati tapasztalatok alapján történtek. Annak ismerete viszont kulcsfontosságú, hogy mely időszakban, mekkora teljesítményvezérlési tartalék van a szolgáltató kezében, ráadásul a pontosan nem ismert teljesítményvezérlés gyakran a hálózat túlterhelését (pl.: transzformátor leégés) is meghiúsodást is okozhat, amelyet minden eszközzel el kell kerülni.

Ebben a fejezetben célom azt bemutatni, hogy milyen módon lehet a hálózaton bekövetkezett teljesítményváltozásokból megállapítani a hálózatra jellemző hőtárolós profilokat, amelyekkel a hálózat tervezése pontosabban kezelhető. A végső cél, olyan új analízis módszerek és gyakorlatban is jól működő megoldások bemutatása, amelyekkel az említett hőtárolós profilok könnyen felvehetők, összehasonlíthatóak egymással, hogy belőlük tisztán mérési információk alapján lehessen következtetést levonni a fogyasztók szokásaira, nélkülözve minden szakirodalmi módszert, amelyek nem teljes mértékben igazolják a gyakorlatot. A fejezet végén, a mérési eredményeken alapuló azon tapasztalatokat mutatom be, amelyek segítségével a központi vezérléshez használt időprogramok könnyebben tervezhetők.

A disszertáció ezen fejezetében (a rendelkezésre álló mérési adatok miatt) a hálózaton vezérelt hőtároló berendezések teljesítményeiből származó profilok (ún. hőtárolós profilok) kerülnek bemutatásra, de a kidolgozott módszerek tetszőleges teljesítményváltozások elemzésére is szolgálhatnak. A szakirodalmi áttekintés során több esetben a központi vezérlést nemcsak a hőtároló eszközök irányítására, hanem pl.: a légkondicionáló eszközök vagy közvilágítás ki- és bekapcsolására is használják. A profilok generálására, normalizálására, összehasonlítására és a felhasználói szokások beazonosítására kidolgozott módszerek viszont olyannyira általánosak, hogy így ezek akár más felhasználási területre is honosíthatóak.

11.1. Hálózatdiagnosztikai szoftver fejlesztése a mérési adatok hangfrekvenciás analíziséhez

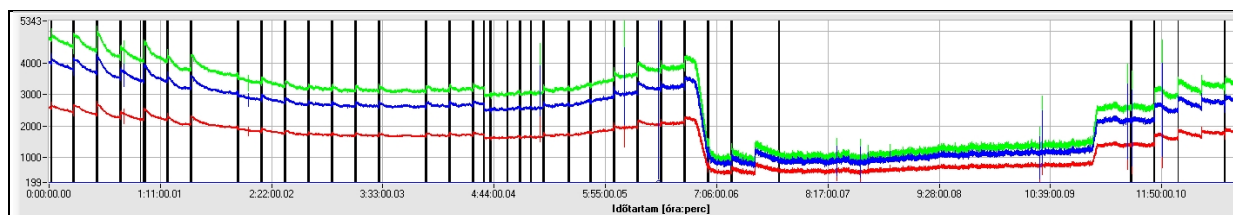
A HFKV analízisére (táviratok megjelenítése; hőtárolós teljesítmény számítása és megjelenítése; hőtárolós profil felvétele, megjelenítése; fogyasztói szokások megállapítása) önálló hálózatdiagnosztikai szoftvert fejlesztettem, amely szoftver végleges változatát több

korábbi előzte meg, a hálózatüzemeltetőtől érkező létező igények kielégítésére. Mivel értekezésemben, elsősorban a napjainkban újdonságot jelentő módszerek és algoritmusok bemutatásával foglalkozom, ezért a szoftverek részletes bemutatása helyett elsősorban az újdonságot jelentő megoldásokat és megvalósításokat ismertetem.

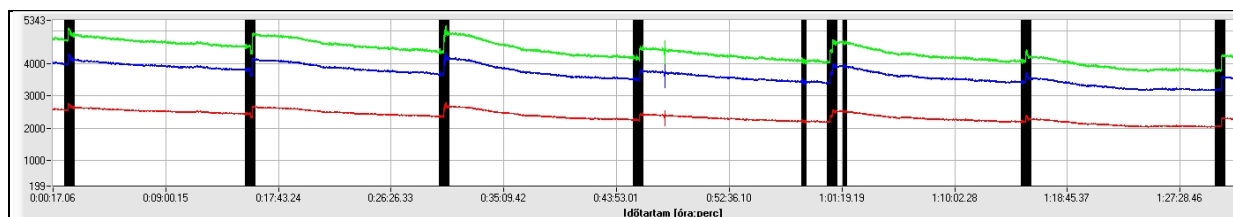
A legkorábbi elemzések rövid áttekintése

Legelőször a HFKV rendszer működésének, a HF táviratok analizálásához szükséges megállapításokat és elveket dolgoztam ki. Önálló szoftvert (modult) hoztam létre, amely képes a mintavételezett adatok megjelenítésére (feszültségminták megjelenítése), továbbá lehetőséget ad HF impulzusok kézi-, valamint automatikus módon történő detektálására és egyszerű szöveges formátumban való naplózására.

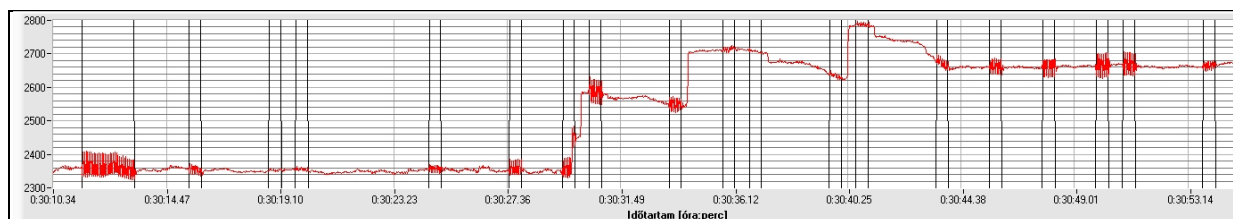
A HF táviratok detektálási eredményeinek megjelenítésére egy korábban megírt hálózati minőséget vizsgáló szoftvert használtam fel, amely önállóan képes a számomra fontos háromfázisú teljesítményt feldolgozni, továbbá számos minőségi paramétert számítani. A komplex program, felhasználva a kezdetleges programom által előzetesen generált impulzus- és távirati információkat tartalmazó állományt, képes megjeleníteni a HF impulzusok helyét a háromfázisú teljesítményadatokon. Ez kulcsfontosságú lépés volt, az automatikus megoldások és általános módszerek kidolgozása előtt. A megjelenítő program, a teljesítmények ábrázolását egyperiódusos időalap segítségével végzi el (11.1 - 11.3. ábra).



11.1. ábra: A háromfázisú hatásos teljesítményfelvétel alakulása [W] a HFKV hatására kb. 12 órás időtartamra



11.2. ábra: A háromfázisú teljesítményfelvétel alakulása [W] a hangfrekvenciás vezérlés hatására kb. másfél órás időtartamra



11.3. ábra: Egyfázisú teljesítményfelvétel alakulása egy táviraton belül

Az elkészített grafikonokon, bár egyelőre még nem azonosított formában, de nagyon jól látszanak a különféle hőtárolós berendezéscsoportok teljesítménynövekedései- és csökkenései

(11.1 - 11.3. ábra). A diagramokon függőlegessel jelölt fekete függőleges vonalak az egyes táviratokat- illetve impulzusokat, míg a különféle színekkel jelölt görbék az egyes fázisok teljesítményváltozásait jelölik. Az ábrákról a HFKV nagyon jól látható és tanulmányozható volt.

A 11.1 - 11.3. ábrák diagramjaiból jól megfigyelhető volt a táviratok által legtöbb esetben teljesítménynövekedést- illetve teljesítménycsökkenést okozó viselkedése, a 15 percenkénti ismétlődése; voltak olyan időszakok is, amikor a táviratok gyakrabban fordultak elő, vagy ahol több órás időtartamra is szünetelt a HFKV (ezeken néha utólagosan kiderült, hogy egy-egy felderített hibajelenséget takart, amelyről a hálózatüzemeltető értesítése megtörtént). A 11.3. ábrán látható táviratnagytítás, a HFKV üzenetstruktúrájának és a vezérlés részleteinek (pl.: impulzuspozíciótól függő hőtároló csoportok azonosítása) felderítésében segített számomra. Itt ráadásul, az impulzusok által okozott teljesítményugrások néhány jellemzője, és analízis során „zavarosságot” okozó teljesítményátlagolások időalapjának helyes meghatározására is felhívta a figyelmet.

A komplex feldolgozószoftver szükségessége és a fejlesztési előzményei

A korábban mintavételezett, nagymennyiségű adat feldolgozásához, olyan automatizált megoldásokra volt szükség, amelyek képesek kezelni a transzformátorok különbségéből származó paramétereket. Egy többfázisú fejlesztési folyamat eredményeként jött végül létre azon feldolgozószoftver, amely a HFK vezérléssel tanulmányozásával kapcsolatosan jelentkezett igényeket kielégíti. A többfázisú fejlesztési folyamat eredményeként, a kutató-fejlesztő munka jó irányt vett, így a felhasználó számára is nehezen megfogalmazható adattárolási, adatmegjelenítési stratégiák körvonalazódtak ki.

A mintavételezett nyers adatokat, a korábban ismertetett mérésadatgyűjtő szoftver által generált adatstruktúrák szerkezetében kellett kezelni, így első feladatomban egy olyan feldolgozószoftver programozása volt, amely képes a mérésadatgyűjtésekből származtatott adatok strukturált kezelésére (pl.: feszültség- és áramjelek egymáshoz rendelése; adatminták szétválogatása), a hálózati teljesítmény számítására és a teljesítményadatok manuálisan történő HF jeldetektálására. A dekódoló módszer kifejlesztése már korábban, minden gyakorlati méréstől függetlenül megtörtént, azonban a hálózati jelen jelentkező sztochasztikus változások, továbbá a HF jelszint folyamatos változása megkívánta a validációt és a kifejlesztett módszer gyakorlati úton való tökéletesítését. Például, az új zavardetektálási módszerek kifejlesztésének elsősorban gyakorlati indokai voltak. A fejlesztés ezen fázisában, egyelőre még alacsony szinten lehetséges paraméter-beállításokat elvégezni, amely jó lehetőséget adott a felhasználó által, korábban nem ismert, beállítások körvonalazására, pl.: a teljesítményadatok átlagolásának megválasztása, a detektáláshoz használt csúszó-időablak méret megváltoztatása, detektálási jelszint változtatása, stb.

A programfejlesztés következő fázisában, az automatikus feldolgozáshoz szükséges algoritmusokat dolgoztam ki. Az automatikus feldolgozási eljárásomban, az adatok strukturált elrendezésén alapul (ezt követeli meg), azaz a mintavételezett adatok transzformátorállomás és betáplálási pont szerinti szétválogatására van szükség, biztosítva a program egyszerű adatelérését. A programfejlesztés ezen fázisában dolgoztam ki azon mátrix-os adattárolási-struktúrákat, amelyből a későbbi feldolgozószoftver folyamatosan dolgozni fog. Ekkor

dolgoztam ki a korábban bemutatott teljesítménydetektálási módszert. A táviratok helyét és a táviratok impulzusaihoz hozzárendelt teljesítményt, a lehető legegyszerűbb adattárolási formában mentettem le. Az egyszerű tárolási forma lényege a mátrix-os elrendezés, ahol a transzformátorokhoz rendelt kétdimenziós vektorok soraiban a táviratok, míg oszlopaiban a táviratokhoz rendelt információk (impulzus, teljesítmény, zavar szint, HF jelszint) tartoznak. Az ilyenfajta letárolás, a tesztelés alatt megfelelőnek bizonyult, így ezen módszereket használok a véglegesített programban is, ahol tökéletesítve találhatók meg ezek. A **19.sz. FÜGGELÉK** tartalmazza az első automatikus feldolgozásokhoz tartozó program felhasználói felületét, bemutatva egy új adatmegjelenítési eljárást, ahol a gyorsított megjelenítés és feldolgozás céljából a program csak azon teljesítményadatokat jeleníti meg, ahol táviratok, így potenciális teljesítményváltozási pontok találhatóak. A hőtárolós teljesítmények meghatározásához ugyanis, kizárólag a távirati idők alatti teljesítményadatok feldolgozása szükséges, így ebből a szempontból a két távirat közötti teljesítményadat számítása és megjelenítése is érdektelen információkat tartalmaz, amely teljesítményadatokat később nem szükséges letárolni és megjeleníteni sem. Ez a megállapítás nagyon fontos alapja a későbbi feldolgozásoknak.

A végleges feldolgozószoftver rövid áttekintése

Kutatási munkám egyik központi eredményeként, elkészült egy komplex feldolgozó szoftver, amely magában foglalja az eddigi elméleti és gyakorlat-közei szimulációk tapasztalatait, és továbbfejlesztett megoldásokat alkalmaz a mintavételezés eredményeinek kiértékelésére. A komplex szoftverrel, a mérés-adatgyűjtés során keletkezett, nagymennyiségű adat, hatékony módszerek és algoritmusok segítségével történő feldolgozását, megjelenítését és kiértékelését lehet elvégezni. A diagnosztikai rendszer fejlesztése során, a legfontosabb szempont az volt, hogy az adatok kiértékelése során olyan magas szintű intelligens megoldásokat alkalmazzak, amelyekkel a kézi beavatkozások számát drasztikusan le lehet csökkenteni. Mindez azért is kulcstényező, hiszen különböző mérésekből, esetenként nagymennyiségű mérési adat is keletkezhet, amelyek feldolgozása kizárólag csak a legmagasabb szintű automatikus kiértékelési módszerek beépítésével érhető el.

A felhasználói felület áttekinthető moduljai, egyértelmű és „beszédese” szöveges részei garantálják a szakképzett, de nem tipikusan szoftverfejlesztő felhasználó egyszerű eligazodását és a szoftver rendeltetésszerű használatát. A felsorolt jellemzők biztosítása mindenképpen szükséges ahhoz, hogy a felhasználó rövid idő alatt képes legyen átlátni a modulok funkcionális rendeltetését.

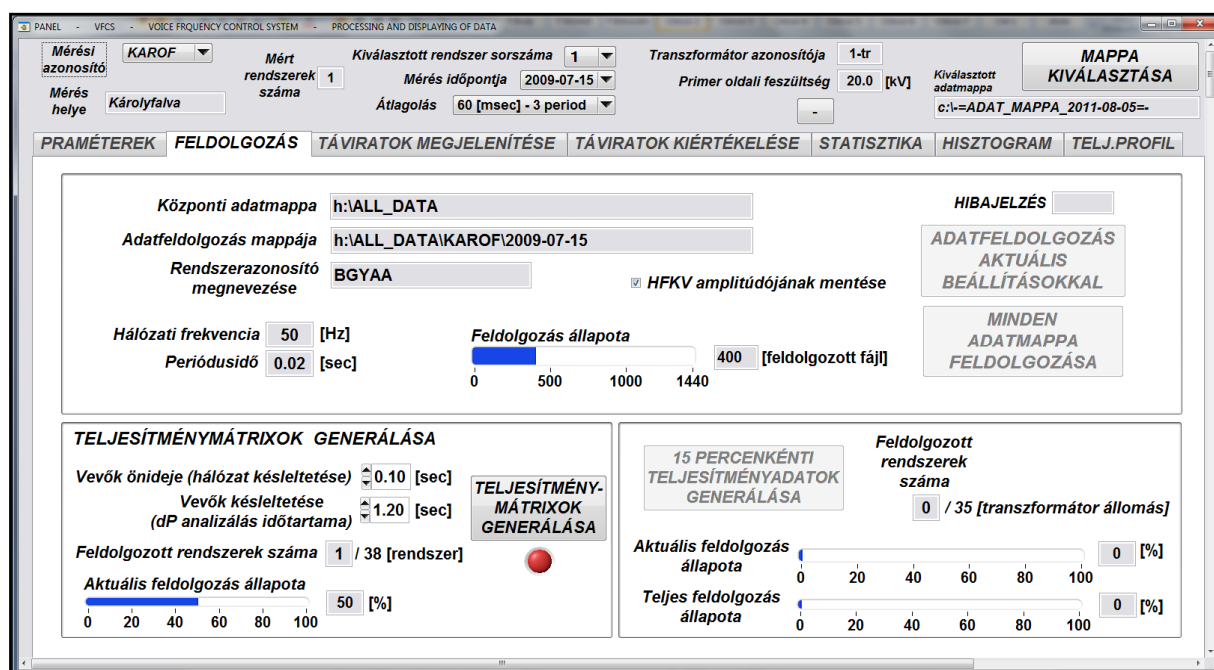
Az újonnan kidolgozott komplex diagnosztikai rendszer alapos tesztelését, az észak-magyarországi régióban végzett mérések során keletkezett nagymennyiségű adathalmaz (35 vizsgált transzformátorállomás, 46 transzformátor; kb. 150 mérési nap, kb. 650 GB keletkezett adat) tette lehetővé.

A kifejlesztett diagnosztikai szoftver, a tetszőleges helyszínről mintavételezett nyers adatok feldolgozásához és kiértékeléséhez készült, azonban fel van készítve az általam definiált online modul által generált adatfájlok beolvasására is. A diagnosztikai programban a lehető legáltalánosabb interfészfelületeket definiáltam, amelyek a program további bővíthetőségét, így akár új modulok csatlakoztatását is egyaránt elősegítik.

A definiált komplex adatfeldolgozás, *több lépésben* biztosítja az adatok kiértékelését. Követve az elemzési folyamat lépéseit, a felhasználó számára több felhasználói felület készült, amelyeken a különböző feldolgozások eredményeit (HFKV okozta hatások) jelenítheti meg és értékelheti ki.

Transzformátorállomásokon mintavételezett (nyers) adatok többlépéses feldolgozása, strukturált központi adatbázisok létrehozása

A szoftver által alkalmazott automatikus feldolgozáshoz, a nyers, mintavételezett adatokat (előre definiált) egyszerű adatstruktúrába szükséges rendezni. A szétválogatás alapja a mérési helyszínnek megfelelő azonosító (transzformátor) és a mérés időpontja szerinti mapparendszer létrehozása. A hálózatüzemeltetőket elsősorban a *teljes napokból* (24 h időtartam) kinyert információk érdeklik (természetesen más statisztikák is elképzelhetők, amelyeket igény szerint ebből a rendezett adatstruktúrából könnyen előállíthatóak), így az adatok szétválogatásánál a fő szempont a napi jellegű adattörlesztés.



11.4. ábra: Az analízátor szoftver adatfeldolgozásért felelős felhasználói felülete

Az *elő-feldolgozás* két lépésben történik (11.4. ábra), ahol a lépések jól követik a hálózatüzemeltető részére szolgáltatott legfontosabb információk létrehozását. A komplex szoftver jól strukturált formában egy általam definiált (központi) adatbázisba menti az adatokat, amely a későbbi hatékony adatkezelési eljárásokat segíti. A generált adatbázis struktúrája mátrix-alapú, amely a felismert táviratok és az általuk okozott teljesítményugrások szerkezetét követi. A mátrix elrendezés hatékony adatkeresési módszerek alkalmazását tette lehetővé.

Az *első lépésben*, a transzformátorállomásokon mintavételezett nyers adatok *elő-feldolgozása* történik, ahol a legfontosabb HFKV-paramétereket képezi és tárolja el a program. Így generálja a HF táviratok alatti kiszámított háromfázisú teljesítményadatokat (P; S) és detektálja a HF táviratok struktúráját.

A második lépésben, a felhasználó beállításainak megfelelően, azaz a hálózat (vevők) önidejének és késleltetésének (analizálás időtartamának) megfelelően a hőtárolós csoportokhoz rendelt teljesítményugrások, a zavarssáv mértéke, valamint a detektált hiba- és zavar-jelenségek is elemzésre és ugyanúgy mátrix-adatbázisokban történő naplózásra kerülnek.

A későbbiekben így elégséges csak ezen egyszerűsített adatbázisokat vizsgálni az összetettebb elemzésekhez, további számításokhoz. Ezen elő-feldolgozással kapcsolatos lépések az online-modul által mért és számolt adatok esetén elmaradnak, hiszen a modul automatikusan, online-módon elemzi és menti is.

Hatékony megjelenítési módszerek kidolgozása (háromfázisú teljesítményadatok és hőtárolós teljesítmények megjelenítése)

Hatékony megjelenítési módszereket dolgoztam ki, amelyekkel a korábban elő-feldolgozott adatok további grafikus elemzése lehetséges. A hatékony és gyors megjelenítések alapja, a korábban generált központi adatbázis, ahonnan a háromfázisú teljesítményadatok, a HF táviratok strukturális felépítése és a teljesítményugrások könnyen (a mátrix-alapú tárolási szerkezeteknek köszönhetően) egyszerűen visszakereshetők, akár mérési helyszínre (transzformátorállomásra) és mérési időpontra is.

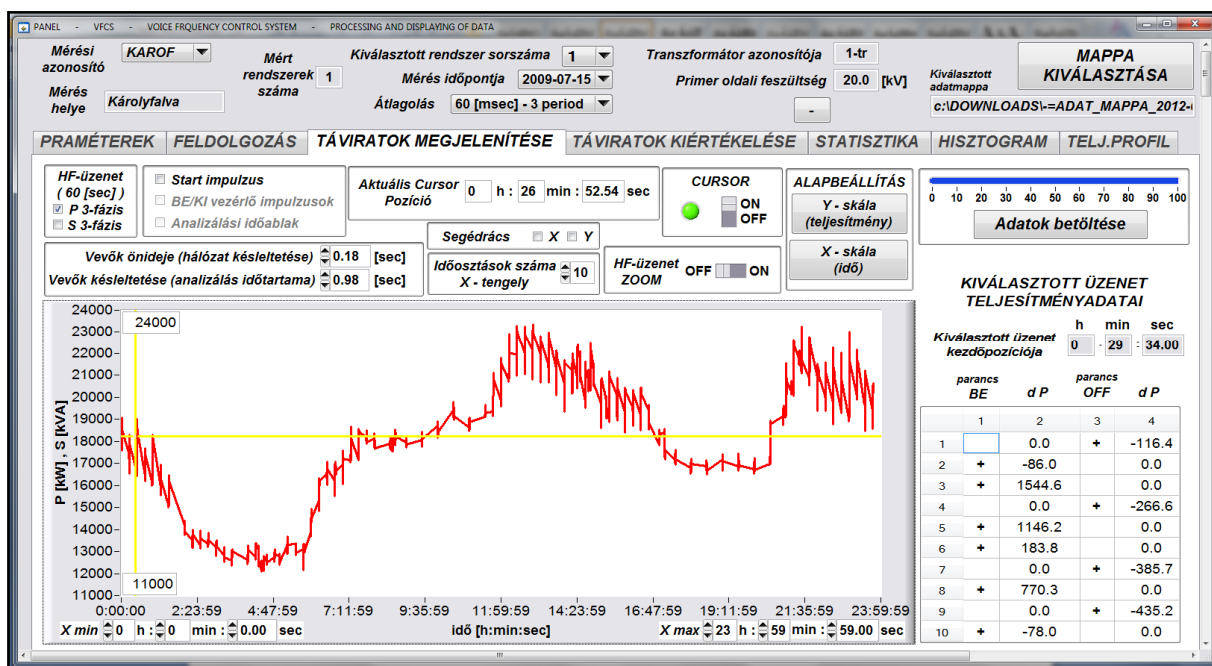
A program fejlesztése során többfajta megjelenítési módszert is kidolgoztam annak érdekében, hogy a felhasználó számára fontos minden információ látható legyen, ugyanakkor az igen nagyméretű adatállományt a legkisebbre lehessen csökkenteni. A nagy mennyiségű adat feldolgozásához több idő szükséges, tehát az elfogadható válaszidőket figyelembe véve kellett az optimális feldolgozási folyamatot kiválasztanom.

A **11.5. ábrán** bemutatott megjelenítési mód (napi teljesítménygörbe), a háromfázisú teljesítményadatok gyors megjelenítéséért felelős. A teljesítményadatok minden időpillanatra kiszámolt teljesítményadatai –a tömegvezérlés elemzésének szempontjából– viszont csak azokban az időszakokban rendelkeznek információval, amikor a HF generátor táviratokat küld a fogyasztók készülékeihez. Így a tárolókapacitás csökkentése és a rövid szoftver-válaszidők érdekében, az elő-feldolgozás során történő háromfázisú teljesítményszámítás-mentés, csak a felismert táviratok alatti időben történik. (A 24 h-ra vonatkoztatott napi, folytonos teljesítménygörbe számítása felesleges erőforrásokat köt le.) Így két távirat között nem tárolódnak el teljesítményadatok, amellyel az elemzésben résztvevő adatokat nagyságrendileg lehet leredukálni. Ez mind a lekötött tárolókapacitás és a gyors műveletek szempontjából egyaránt előnyös.

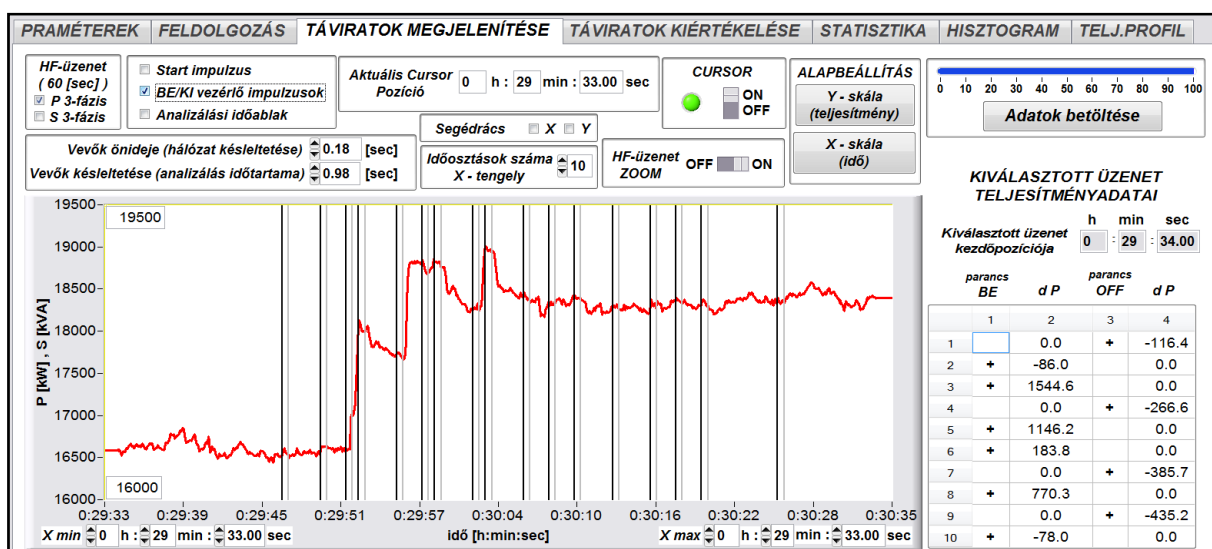
Mivel egy nap alatt kb. 100 vezérlőtávirat megy ki a hálózaton, ezért egy 3 periódusos teljesítményátlagolást feltételezve, a napi 1 440 000 teljesítményadat helyett csak 100 000 adatot, azaz kevesebb, mint egytizedét szükséges kezelni (tárolás, beolvasás, megjelenítés). Az alkalmazott módszernek köszönhetően gyors adatbeolvasás és adatkezelés történhet teljesítményátlagolástól függetlenül, mind 1 és mind 3 periódusos esetben is.

A felhasználóbarát elemzéshez természetesen további nélkülözhetetlen kiegészítő funkciókat is beépítettem; pl.: táviratok nagyítása/kicsinyítése funkciók; távirat- és impulzus jelölése függőleges határoló-vonalakkal (**11.6. ábra**); teljesítményugrások analízisi-

időablakainak jelölése függőleges vonalakkal; amelyek mind a felhasználói kiértékelhetőséget és a kapott eredmények visszaellenőrizhetőségét teszik lehetővé.



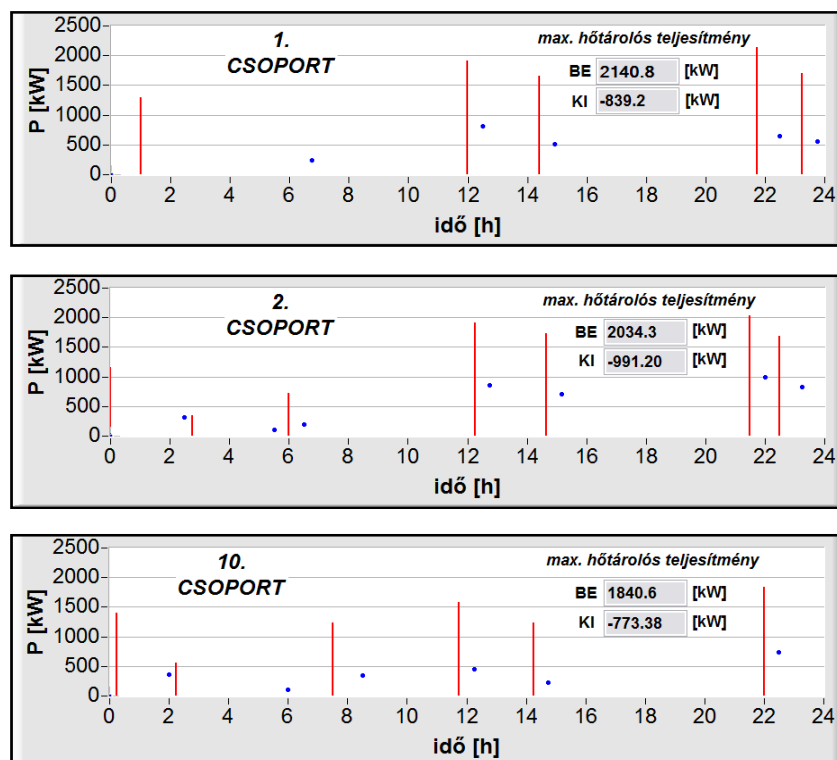
11.5. ábra: Az analízátor szoftver „Táviratok megjelenítéséért” felelős felhasználói felülete



11.6. ábra: Az analízátor szoftver „Táviratok megjelenítéséért” felelős felhasználói felülete (kinagyítva egy analizált HF táviratot, jelölve a táviraton belüli vezérlőimpulzusok helyét)

Mivel a végső cél a nap folyamán bekövetkezett hőtárolós teljesítmények elemzése, ezért a praktikus megjelenítési módszert dolgoztam ki a teljesítményugrások, azaz a tömegvezérlés okozta hatások ábrázolására (11.7. ábra). Az itt alkalmazott ábrázolás lényege az, hogy a nap folyamán bekövetkezett hőtárolós teljesítményugrások, a hőtárolós csoportjukhoz rendelt, többszínű jelölésekkel jelződjenek (bekapcsolás: piros függőleges vonal; kék pont: kikapcsolás). Egyedi jelölések alkalmazásával ráadásul könnyen elkülöníthetők a zavarstílusokba eső teljesítmények is. A hálózatüzemeltető által kapcsolt teljesítményugrások ilyen módon történő megjelenítése, az ún. napi hőtárolós teljesítményprofilok létrehozásának legfontosabb bemenő adatai.

A vezérlőutasításokat, azaz a nap folyamán alkalmazott tömegvezérlési időprogramot, a hálózatüzemeltető mindig úgy hozza létre, hogy csak szakaszosan, „lépcsőzetesen” emelje vagy csökkentse a hálózat terheltségi szintjét. Mivel a mély teljesítményvölgyek, és kiemelkedő teljesítménycsúcsok nem kívántak a hálózaton, ezért ezt minden eszközzel meg próbálják akadályozni. Ráadásul a túl nagy teljesítménylökések esetenként kárt is okozhatnak a hálózaton, amelyek pl.: transzformátor túlterhelést vagy meghibásodást is okozhatnak. Az időprogram akkor tekinthető optimálisnak, ha ezeket az elveket betartva vezérli a hálózatüzemeltető a hálózatot, és ezek szerint választja meg a szükséges ki- és bekapcsolási impulzusokat.



11.7. ábra: Teljesítményugrások ábrázolása különböző (1, 2, 10) hőtárolós csoportoknál

A teljesítményábrázolásnál azonnal felvetődik a kérdés: „Hogyan lehet a különböző, egymástól eltérő transzformátorokon mért teljesítményeket (profilokat) összehasonlítani?” Tapasztalat szerint, a transzformátorállomáson mért legnagyobb teljesítményéhez történő viszonyítás, kellően jó összehasonlítást ad (%-os összehasonlítás), mind a transzformátorállomáson belüli teljesítmények összevetésére, mind pedig a különböző mérési helyek összevetésére is. A következőkben (11.3. és 11.4. fejezetek) ennél fejlettebb átlagolási és összehasonlítási módszerek is bemutatásra kerülnek.

Bár a disszertáció témájához nem kapcsolódik szorosan hozzá, de külön ki szükséges emelni azt, hogy a kiszámított adatok csaknem minden esetben strukturált módon is exportálhatóak, amely más (pl.: a szoftverbe nem beépített) összesítések és kiértékelések elkészítését segíti elő.

Elméleti és gyakorlati összesítések generálása

A hálózatüzemeltető számára (a villamos hálózattervezés során) kulcsfontosságú információ annak ismerete, hogy egy-egy tervezett időpontban mekkora teljesítményt képes vagy

lenne képes megmozgatni a vezérelt hálózaton. Ebben az esetben, a hőtárolós csoportok tervezett időpontban történő teljesítményugrásainak egzakt (számszerű) ismerete is szükséges a HFKV működésére vonatkozó pontos következtetésekhez.

Az áramszolgáltató által, egyidőben vezérelt hőtároló eszközök teljesítményszükségletének kiszámításához egyedi összesítési és átlagolási módszereket dolgoztam ki. Az összesítéseket generáló módszerek alapja minden esetben, a korábban kiszámított teljesítményugrás adatok (**11.7. ábra**), amelyek kétféle szempont szerint válogattam szét, elkészítve az összes adatot figyelembe vevő (naptól független) összesítést (hálózatüzemeltetői összesítés), valamint a hét napjaira vonatkozó összesítéseket.

A teljesítményprofilok különböző szempontok szerint történő átlagolásának az volt a célja, hogy tanulmányozzam mérési adatokból származtatott hőtárolós adatok viselkedését. A hőtárolós teljesítmények elemzésének kezdetén legfontosabb célom az volt, hogy a vezérelt hőtárolók viselkedését különböző szempontok szerint (földrajzi hely, időjárás: nyár/tél, a hét napjai) elemezzem. A mérési adatok összehasonlításához kezdetben megfelelőnek tűnt olyan olyan átlagolással és aggregálással előálló összesítések létrehozása, amelyek tartalmazzák az összes körzet, összes transzformátorának, összes mérési napjáról származó, azaz kb. 150 mérési nap információit. Az általam használt, egyszerű, de következetes átlagolási módszerek segítségével, olyan hőtárolós összesítéseket hoztam létre, amely diszkrét hőtárolós teljesítmények, amely jól elfedik a hálózat sztochasztikusságából származó részleteket, ugyanakkor későbbi összehasonlításokhoz referenciaként is felhasználhatók.

Az észak-magyarországi régió transzformátorain végzett mérések teljesítményugrásai azt mutatták, hogy ugyanazon információt szállító táviratok, egymáshoz képest érzékelhető időeltolódással mennek ki. Az hálózatüzemeltető ugyanazt az időprogramot és ugyanazon távirati struktúrát alkalmazza minden adóközvetben. A mérések során, a mérőszámítógépek időbeállítását a transzformátorok központi számítógépéhez megfelelően lettek szinkronizálva, így ebből eredő eltérések nem adódhattak. Az időeltolódások oka tisztán gyakorlati megfontolásból ered, amelyet a hálózatüzemeltető rugalmasan alkalmazhat a hálózaton, ezzel megakadályozva a hirtelen bekapcsolási lökéseket. Így a transzformátorokon küldött táviratok, egyes körzetekben való késleltetése előnyös a hálózatüzemeltetőnek, hiszen megakadályozhatja a hálózat hirtelen túlterhelését, ám ugyanakkor mégis rövid idő alatt képes („lépcsőzetesen”) a teljesítménykapcsolásokat elvégezni. A tapasztalat szerint, ez kb. 1-5 sec-es időeltolódásokat jelent körzetenként, így a megfelelő összesítések létrehozásához egyedi szoftveres megoldásokat kellett kidolgoznom.

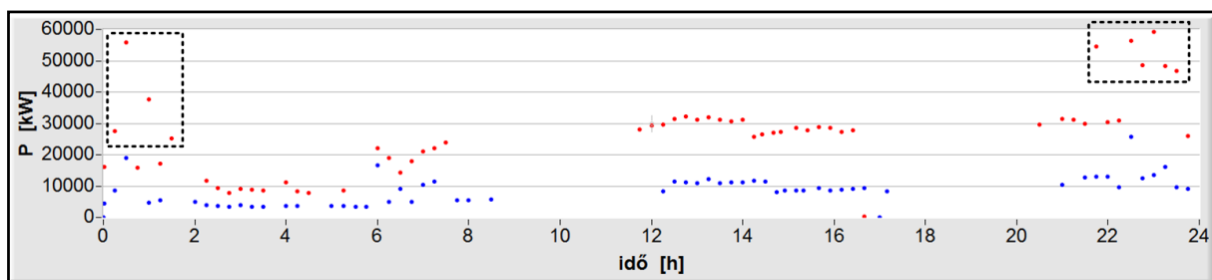
Mivel a szoftveres összesítések során, az ugyanahhoz az időponthoz tartozó ugrások fognak összegződni, ezért az ezen időeltolódásból eredő eltérések gondot okozhatnak, hiszen az eltérő időben megjelenő ugrások rosszul összegződhetnek. Ennek eredményeként pedig, nem kívánt (időprogramnak nem megfelelő) teljesítménylökéseket határozhat meg a megírt algoritmus! Ez persze további helytelen következtetésekhez vezet is vezethet. Így az összesítéseket készítő módszer kidolgozása során, a megfelelő időpontokhoz tartozó adatok összerendelése kulcsfontosságú kérdést jelentett, amely a mérések okozta időbeli eltérések korrekcióját végezte el, fejlett adatszinkronizálási eljárások alkalmazásával (még az aggregált eredmények generálása előtt).

Az *aggregált (hálózatüzemeltetői) összesítés* minden mérési nap információit tartalmazza. Ezen *minden adatot figyelembevevő összesítés*, egy általános eredményt szolgáltat, ugyanis egy-egy transzformátoron akár több mérési időpont adódhat (az elvégzett mérésektől függően), amelyeket előbb átlagolni szükséges (hogy transzformátoronként egy-egy eredmény álljon rendelkezésre), majd ezen átlagolt eredményeket összeadva áll elő végül az összesítés. A hálózatüzemeltető számára a *legnagyobb vezérelhető teljesítmény* is fontos információ, amely a kapott összesítésekből kikeresett legnagyobb teljesítményként egyszerűen adódik. Ezzel szemben, a *hét napjaira történő összesítés* lényege a válogatott adatok (pl.: hétfő, kedd, szerda, stb.) egyszerű összeadása, amelynek végeredményeként áll elő az összesítés.

Az itt létrehozott összesítések lesznek az alapjai a későbbiekben létrehozott *általános teljesítményprofiloknak*. Értekezésem következő fejezeteiben ismertetem a teljesítményprofilokkal kapcsolatos kutatási eredményeimet. *Fontos kiemelnem, hogy a kidolgozott elvek és módszerek természetesen nemcsak az észak-magyarországi régióra alkalmazhatók sikeresen, hanem más régióra is kiterjeszthető, azonban az új megoldásokat könnyebb konkrét példákra és mérési adatokra megfogalmazni, amelyek rendelkezésemre álltak.*

A tömegvezérlés okozta teljesítményprofilok fogalmi meghatározása

A mérések és feldolgozások eredményeként a hálózatüzemeltető, akár a normál transzformátorokat, akár az összesített eredményeket tekintve, diszkrét teljesítményugrás-értékeket kaphat további elemzésre. A számára legfontosabb információ azonban az, hogy milyen módon lehetne információkat szerezni a diszkrét hőtárolós teljesítményértékek közötti HFKV viselkedésről. Ezen viselkedéseket leíró görbéket, ún. *teljesítményprofiloknak* nevezzük, amelyek generálása a változatlan időprogram (és időprogram kismértékű módosítására) adja meg a hálózat hőtárolós szempontból tekintett viselkedését.



11.8. ábra: Teljesítményugrások ábrázolása minden hőtárolós csoportot közös diagramon ábrázolva

Tapasztalataim szerint a közös diagramon megjelenített hőtárolós csoportok teljesítményugrásai segítségével, egyszerűbben fel lehet venni az említett profilokat. A hőtároló csoportonként és naponként csak 5-8 db ki- és bekapcsolási parancs történik, amely miatt nagyon korlátozott lehetőségek vannak a napi profil meghatározására. Az egy diagramban tekintett összes csoport (pl.: az észak-magyarországi régióban összesen 10 ilyen hőtárolós csoport) a vezérelt csoportok arányában jelent több teljesítményugrás-információt, amely segít a meghatározásához. A hőtárolós csoportok bár külön időprogram szerint vannak vezérelve, azonban láthatólag mégis ugyanarra a profilra illeszkednek (**11.8. ábra**); ez ad lehetőséget a közös ábrázolásra. Ez természetesen további következményekkel jár az időprogramok generálását és felhasználók viselkedésére vonatkozó következtetéseket tekintve, amelyet a

későbbi fejezetekben ismertetek (**11.4. fejezetek**). A **11.8. ábra** fekete pontozottan jelölt korai (0-2 h) és késő esti (21-24 h) óráiban jól látszódnak a hálózaton bekövetkezett, *HFKV okozta együttkapcsolások*. A teljesítményadatok korábbi szinkronizálása miatt, amely a hálózatüzemeltető fizikálisan eltérő időszinkronja miatt alakul ki, jól látszódnak a HF vezérlésben jelentkező kritikus helyek. Ezen kritikus helyeket, az általános profilok létrehozásakor kiemelt figyelemmel kellett kezelni annak érdekében, hogy az általánosítást ne befolyásolják ezen kiugró teljesítményadatok.

11.2. Automatikus módszer a teljesítményprofilok generálására

Olyan módszert dolgoztam ki, amelynek segítségével a napi bontásban csoportosított diszkrét teljesítményadatokra, kézi beavatkozás nélkül lehet olyan profilt illeszteni, amely jelleghelyesen közelíti a bevitt teljesítményadatokat. A módszert elsősorban a diszkrét hőtárolós teljesítményértékek közelítésére fejlesztettem, azonban semmilyen akadálya nincs az általánosításnak, hiszen bármely diszkrét teljesítményhalmazra lehetséges új profilok felvétele. Egyedüli kritérium a minél nagyobb számú teljesítményadat, amely egyben segíti a pontosabb profilgenerálást.

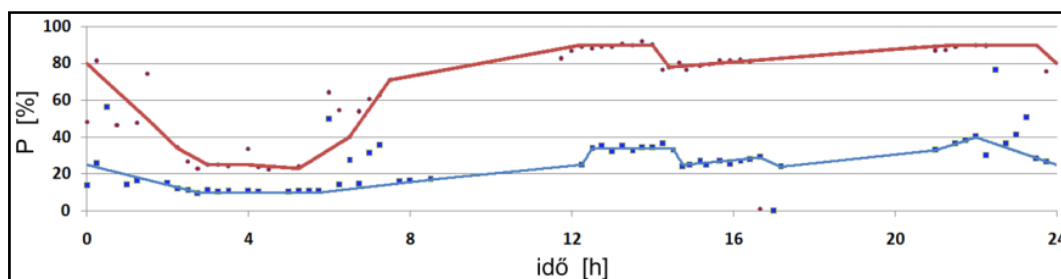
A teljesítményprofilok felvétele kulcskérdés a napi hőtárolós teljesítmény alakulásának megállapításában, hiszen a hálózatüzemeltető a ki- és bekapcsolási profilok ismeretében a hőtároló fogyasztók nap folyamán történt teljesítményugrásaira tud következtetni. A profilok ismeretében, a hálózatüzemeltető a hőtároló eszközök vezérlésére *optimális időprogramot* tud tervezni. A teljesítményugrások napi eloszlására tett általános következtetések természetesen (első közelítésben) erős korlátokba ütköznek, hiszen a hőtárolós profilok rögzített időprogramok mellett lettek felvéve. Az általános következtetésekben ugyanakkor, „nagy segítséget” jelent a különböző hőtárolós csoportok egymástól eltérő időbeli, azonban terv szerint történő vezérlése, amellyel még általánosabb képet kaphatunk a HFKV működéséről. *A hőtárolós csoportok azonos profilra illeszkedése az egyik legérdekesebb tényadatok az említett kutatásoknak, amely további fontos megállapításokat von maga után, és egyszerű, de annál inkább fontos következtetéseket lehet levonni a felvett profilok általánosítására.*

Az általánosabb hőtárolós viselkedés megállapításához, az észak-magyarországi régió összes transzformátorállomásán lévő teljesítményváltozásokat figyelembevettem, amely alapján egy ún. *hálózatüzemeltetői (áramszolgáltatói) főprofil*t hoztam létre, amely összehasonlítási referenciaként szolgált a fogyasztói szokások vonatkoztatásában. Az hálózatüzemeltetői főprofil tartalmazza a régió összes transzformátorállomásán végzett mérési eredményeket, ezáltal még általánosabb képet adva a régió globális viselkedéséről. Hátrányként, a globálisan felvett profilok elfedhetik a lokális viselkedést, amelyeket első körben nem volt cél megállapítani. A magyarországi hálózatüzemeltetők által használt becslési módszerek pontosításához azonban már ezen általánosított képet mutató hőtárolós profilok is nagyban segítenek a pontosabb becslés meghatározásához.

A fogyasztói viselkedések tanulmányozása már a lokális viselkedések kutatásaihoz tartozik. Az globális (általánosított) eredménytől haladva a lokális viselkedés feltárásáig, követve a *fokozatos közelítés elvét*, további nem várt következtetések és hálózati viselkedés feltárására volt lehetőségem, így az alkalmazott stratégia mindenképpen sikeresnek mondható.

Az automatikus profilgenerálás elvét két központi lépés eredményeként ismertetem: *szubjektív közelítési módszer*; *objektív közelítési módszer*. Ennek következményeként megbízható, gyors, könnyen automatizálható módszert dolgoztam ki, amely a kisszámú, diszkrét teljesítményugrásokra tud profilillesztést elvégezni.

Szubjektív profilközelítési módszer



11.9. ábra: Teljesítményugrások ábrázolása minden hőtárolós csoportot közös diagramon ábrázolva

A teljesítményprofil generálásához kezdetben kézi megoldást alkalmaztam, amelynek során a meglévő teljesítményugrásokhoz saját magam jelöltem ki a ki- és bekapcsolási profilok helyét (11.9. ábra). Az ilyen módon véghezvitt profilillesztés legnagyobb hátránya az, hogy az emberi beavatkozás nélkül nem kivitelezhető, így a nem ismert teljesítményugrások kijelölése szubjektív módon történhet. A közelítő függvények létrehozása, így abszolút nem automatizálható, túl sok emberi megítéléssel összefüggésbe hozható tényezőt visz bele a feladatba, ráadásul a függvények generálása igen szigorú körülmétekintést és időt igényel. Egyedüli előny, hogy a kézi profilillesztés könnyen kezelhetővé teszi a kiugró adatokat (pl.: együttkapcsolások), amelyek egy automatikus módszer esetén torzítást okozhatnak; így csak olyan megoldás jöhet szóba, amelyet egy módszer kezelni tud. Az említett okok miatt, a kézi megoldást, körülményes alkalmazhatósága miatt elvetettem.

Objektív profilközelítési módszer

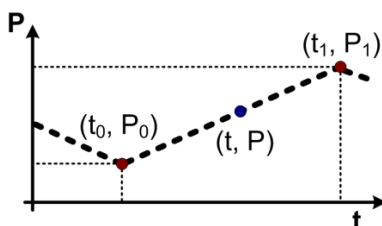
A legfontosabb cél olyan objektív módon ismételtető, könnyen automatizálható és minimális feldolgozási időt igénylő módszer létrehozása, amely jól közelíti a bemenetként adott diszkrét, időben egymástól különböző távolságokra lévő hőtárolós teljesítményeket. A megoldások közül, egy *lineáris approximációt*, majd *FFT-* és *inverz FFT-analízist* alkalmazó *módszerhármast* bizonyult igazolhatóan a legjobbnak, ezért ezt alkalmaztam a diagnosztikai szoftverben is.

Lineáris interpolációs eljárás alkalmazása a hőtárolós teljesítményadatokon

Az módszer *első lépéseként* alkalmazott *lineáris interpolációs* eljárás, a második lépésben alkalmazott Fourier-analizálást készíti elő. A bemenő adatok diszkrét teljesítményértékek, amelyek időben ráadásul egyenlőtlen távolságokra helyezkednek el. A figyelembe vett teljesítményértékek száma sosem konstans, és mindig változhat. A Fourier-analizálás alkalmazhatósági feltétele viszont az, hogy az analízis bemeneti pontserege egyenlő

időközönként legyen. A Fourier-analízis reális eredményt csak ebben az esetben adhat, ezért az első lépés ennek a feltételnek a kielégítése. Erre szolgál a lineáris interpolációs eljárás.

Az interpolációs eljárás kisszámú, napi 60-80 db teljesítménykapcsolási értékből (hőtárolós csoportszámtól függő adat: itt 10 hőtárolós csoportot feltételezek, egyenként, 5-8 db teljesítménykapcsolással), percenként meghatározott teljesítményértékeket állít elő; azaz 24 h-ra vonatkoztatva pontosan 1440 db teljesítményértéket definiál, amelyek már teljesítik az „*egyenlő időköz*” kritériumát. Az eljárás így segít meghatározni az ismeretlen teljesítményértékeket (P), bármely időpontban (t) a nap folyamán, ismerve egy korábbi (t_0, P_0) és egy távolabbi (t_1, P_1) teljesítményt (**11.1. formula**).



11.10. ábra: Korábban ismeretlen teljesítményszint (P) meghatározása, két ismert teljesítményérték (P_0, P_1) közötti lineáris interpoláció segítségével

A lineáris interpoláció, amely matematikailag egy *elsőfokú polinomiális interpolációnak* felel meg, geometriailag lineáris összekötő egyenesekkel egyszerűen kezelhető; így a **11.10. ábra** alapján könnyen lehet értelmezni az alábbi összefüggést, amely az ismert teljesítményértékek (P_0, P_1) és a meghatározandó teljesítményszint (P) kapcsolatát írja le:

$$\frac{P - P_0}{t - t_0} = \frac{P_1 - P_0}{t_1 - t_0} \quad (11.1)$$

A **11.1. formulát** „P” ismeretlen teljesítményváltozóra megoldva az alábbi formula adódik, ahol „t” a két ismert teljesítményérték (P_0, P_1) időpontjait (t_0, t_1) jelenti:

$$P = P_0 + (t - t_0) \cdot \frac{P_1 - P_0}{t_1 - t_0} = P_0 + \frac{(t - t_0) \cdot P_1 - (t - t_0) \cdot P_0}{t_1 - t_0} \quad (11.2)$$

A **10.2. formula** tulajdonképpen egy súlyozott átlagot jelent, ahol a súlyok fordítottan arányosak a távolsággal (idővel) a tekintett teljesítményvégpontok (P_0, P_1) és az ismeretlen teljesítményszint között (P); ahol a közelebbi pont így dominánsabban hat, mint a távolabbi. Emiatt a súlyok így tulajdonképpen normalizált távolságok (idők: **10.3. formula**) az ismeretlen pont és az egyes végpontok között.

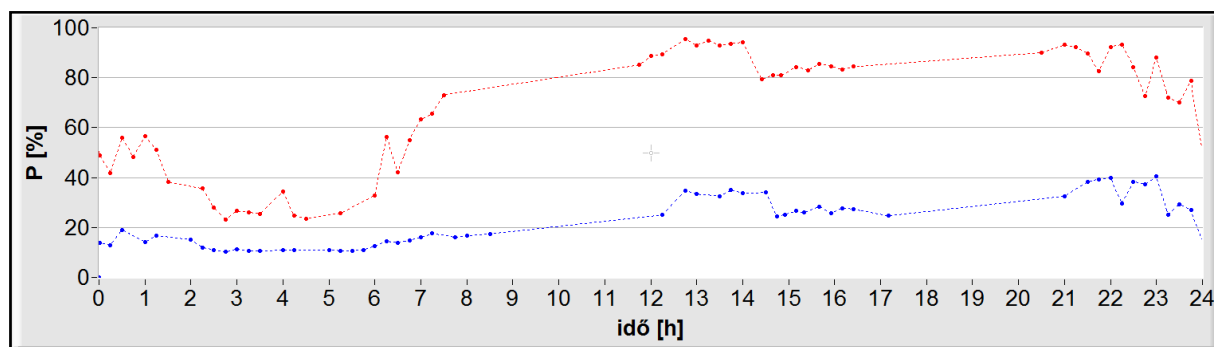
$$\frac{t - t_0}{t_1 - t_0} \quad \text{és} \quad \frac{t_1 - t}{t_1 - t_0} \quad (11.3)$$

$$t_i = i \cdot t_{\text{intervallum}} \quad i = [0 \dots N-1] \quad (11.4)$$

ahol „N” a közelítésben résztvevő teljesítményértékek száma.

A fenti lineáris interpolációs összefüggéseket leprogramoztam, amelynek eredményeként a bemenetül adott néhány teljesítményérték segítségével, a napi, 24 h-s időintervallum percenként kiszámított teljesítményértékei egyszerűen generálhatók. Az perces

felbontású, egyenletes időközönként rendelkezésre álló teljesítményugrások ezáltal válnak alkalmassá a további műveletekre (**11.11. ábra**).



11.11. ábra: Lineáris interpolációs eljárás alkalmazása az összes transzformátort magában foglaló százalékos teljesítményugrásokra (eliminálva az együttkapcsolások torzító hatását)

Teljesítményadatok Fourier- és inverz Fourier-analízise

A lineáris interpolációt követően, módszerem Fourier-transzformációt hajt végre a perces felbontású, 24 h időintervallumot magában foglaló teljesítményadatokon, meghatározva a diszkrét teljesítményfüggvény felharmonikus komponenseit. A meghatározott egyenkomponens (DC) és felharmonikus komponensek segítségével, módszerem ezután inverz Fourier-transzformációt hajt végre előre beállított felharmonikusig. Azaz a Fourier-transzformáció frekvenciakomponensei segítségével újra időtartományban értelmezhető függvényt állítok elő a következő módon:

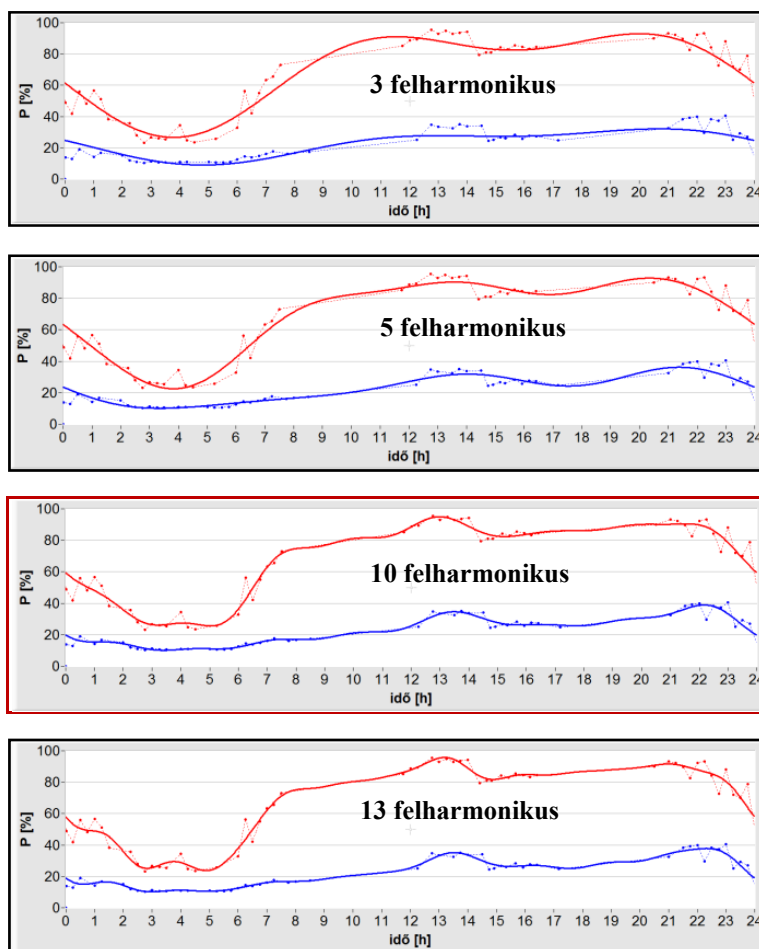
$$p_i(t) = a_{0(DC)} + \sum_{j=1}^H a_j \cdot \cos\left[\frac{j \cdot 2\pi \cdot i}{N} + p_j\right] \quad i = [0..N-1] \quad (11.5)$$

ahol:

- $t_{\text{intervallum}}$: két teljesítményérték közötti időtartam (a lineáris interpolációval létrejött teljesítményértékek (pl.: 1 min, 2 min, 10 min)
- $a_{0(DC)}$: DC komponens amplitúdója (a korábbi FFT-ből adódik)
- a_j : korábbi FFT-ből származó amplitúdó komponens a spektrumban
- $p_i(t)$: a közelített teljesítményérték
- i : a közelített teljesítményérték futó indexe
- H : a harmonikus komponensek száma (közelítése pontossága)
- j : a harmonikus komponens indexváltozója
- N : közelítésben résztvevő teljesítményértékek száma

A felharmonikusok számának beállításával, a közelítés pontosságának finomhangolását lehet elvégezni. Tapasztalataim szerint, minél inkább növelem a figyelembe vett felharmonikusok számát, úgy az időtartományba visszaállított függvény (approximációs függvény) annál jobban illeszkedik az eredeti teljesítménypontokra; ám bizonyos felharmonikus szám felett a függvény túlzottan leköveti a bevitt teljesítménypontok kisebb-nagyobb változásait, ezáltal téve bizonytalanná a módszer működését. A **11.12. ábra** különböző felharmonikus szám segítségével generált hőtarolós profilokat mutat be, amely jól láthatóvá teszi, mind a túl kevés

(túlzottan átlagolás), mind a túl magas felharmonikus szám problémakörét (túlzottan „jól” közelít, amellyel egy-egy kiugró érték is befolyásolja a profilt).



11.12. ábra: Profilgenerálás inverz FFT alkalmazásával, különböző felharmonikus-számokat alkalmazva

A gyakorlati alkalmazáskor a 10. felharmonikusig történő inverz Fourier-transzformáció megfelelő közelítést és átlagolást adott, amely mellett a profil nem torzult el egy-egy esetleges kiugró értékre sem. A 10 felharmonikust figyelembe vevő visszaállítás tulajdonképpen egy 2,4 órás ($24 \text{ óra} / 10 \text{ felharmonikus} = 2,4 \text{ h}$) átlagolást jelent.

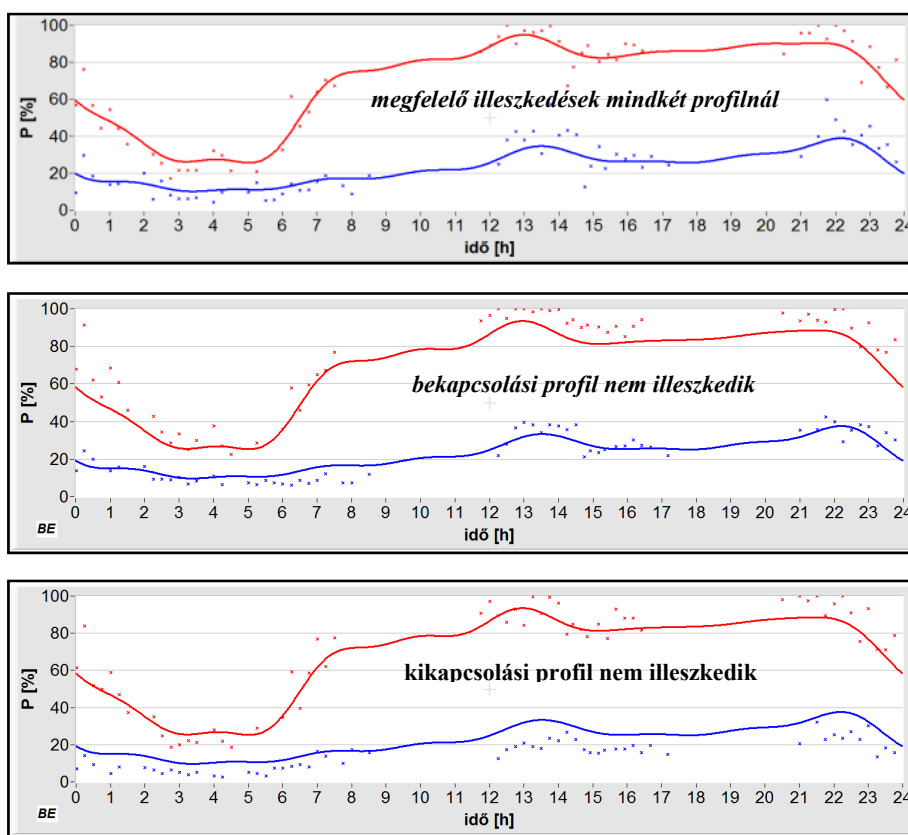
Az automatizált hőtárolós profil-meghatározási módszer gyakorlati alkalmazása és továbbfejlesztési lehetőségei

Az előzőekben ismertetett *háromfázisú profilapproximációs módszert* diagnosztikai szoftverembe is beépítettem, amely további lehetőségeket ad a meglévő hőtárolós profil különböző mérési helyszínekkel való összevetésére, valamint akár új hőtárolós profilok létrehozására is. A több fázisra felbontott approximációs módszerem jól automatizálhatóságának köszönhetően, a gyakorlatban is sikeresen alkalmazható volt.

A fogyasztói szokások vizsgálata előtt, kezdetben átfogó képet kellett kapnom a vizsgált régiók viselkedéséről, ezért a diagnosztikai szoftverem az összes hőtárolós teljesítményadat összegzését és átlagolását is elvégzi, majd a kapott átlagolt adatokra illeszt profilt, amellyel az ún. *időfüggetlen (áramszolgáltatói) főprofil* hozza létre, amely a következőekben bemutatásra kerülő módszerek alapját szolgálja. A létrehozott áramszolgáltatói főprofil adott lehetőséget arra,

hogy többször teszteljem az újonnan beépített, háromfázisú approximációm, majd kialakítsam a szükséges automatikus működéshez szükséges programstruktúrákat. A fogyasztói csoportok együttkapcsolásainak következtében (22 h - 1 h között), néhány téves teljesítményadat figyelmen kívül hagyására is sor került, amely egyúttal az általánosabb profilkép kialakítását garantálta. (Természetesen egy hálózat konkrét viselkedésének tanulmányozásához az együttkapcsolások is fontos információt jelentenek a hálózatüzemeltető részére.) Konkrét eredményként, a felvett központi hőtárolós teljesítményprofil nagy segítséget nyújt (*jelenleg is*) a hálózatüzemeltetőnek, a hőtároló eszközök az eddig nem pontosan ismert teljesítményszükséglet-tervezése során.

Az általános áramszolgáltatói profil azonban új kérdéseket is felvetett: *Elégséges-e egyetlen profil segítségével kezelni a földrajzilag is eltérő lakossági fogyasztókat, azaz a transzformátorok körzeteit? Van-e különbség a szolgáltatóra meghatározott profil és a transzformátorok profilja és így az egyes vezérelt hőtárolós csoportjaik viselkedése között?*

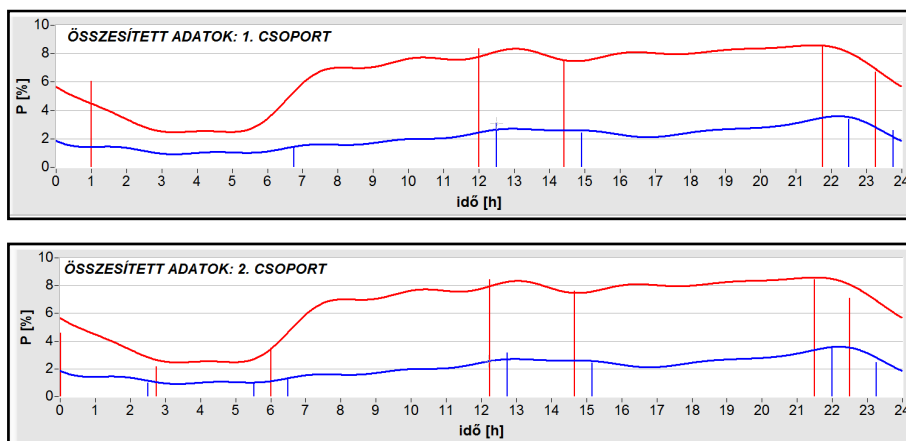


11.13. ábra: Normált központi hőtárolós teljesítményprofil ábrázolása (visszavetítése) különböző transzformátorok teljesítményugrásaival

A válaszok meghatározására, az említett általános, áramszolgáltatói profilt visszavetítettem a transzformátorok hőtárolós teljesítményeire (11.13. és 11.14 ábrák). Ehhez a generált központi teljesítményprofil és a transzformátorok hőtárolós teljesítményeinek előzetes normálására volt szükség. Az itt alkalmazott normálások, a maximális teljesítményhez viszonyítják hőtárolós teljesítményeket, amelyből adódó %-os értékeket használják fel a számítások során, szemben az eredeti kW-os értékekkel.

Előzetesen azonban arra a következtetésre jutottam, hogy az átlagolt, összes mérési adat alapján generált központi ki- és bekapcsolási teljesítményprofil, noha nagyságrendileg mutatja a hőtároló eszközök vezérelt teljesítményének változási trendjét, azonban az említett profilokat

visszavetítve konkrét helyszínekre (transzformátorokra; vezérelt régiókra), valamint időpontokra, szemléletes eltérések jelentkeznek (**11.13. ábra**). Az említett eltéréseket közvetlenül azonban nem lehetséges vizsgálni, ugyanis a profilok összehasonlításához további normálási korrekciókat szükséges elvégezni, amelyhez új megközelítéseken alapuló módszereket fejlesztettem. Mindez azért is szükséges, mivel egy programozott, szabályokon alapuló összehasonlítás csak megbízható normálás esetén képzelhető el.



11.14. ábra: Normált központi hőtárolás teljesítményprofil és egy kiválasztott transzformátor 1. és 2.sz. csoportjának teljesítményugrásai

11.3. Automatizált normálási módszer eltérő teljesítményű transzformátorok hőtárolás profiljainak összehasonlítására

Az összes mérési adat alapján generált központi teljesítményprofil és a transzformátorok profiljainak (hőtárolás teljesítményértékeinek) előzetesen összehasonlított eredményei alapján, arra a következtetésre jutottam, hogy a maximális teljesítményt alapul vevő normálási módszerek gyakorlatban is jól alkalmazhatóak, azonban a megbízhatóságuk növeléséhez további korrekciók alkalmazása szükséges. Általánosságban, a profilok összehasonlításakor két fontos feladat adódik:

- *megbízható normálási módszert* szükséges alkalmazni, hogy kizárólag a profilok jellegének eltéréseiből, azaz a fogyasztók viselkedésből eredő különbségeket lehessen vizsgálni; továbbá
- *egzakt mérőszámot* szükséges találni, amellyel az egymástól eltérő profilok összehasonlíthatóakká válnak, így lehetőséget adva a szubjektív megállapítások mellett, az objektív (számszerű) összevetésre.

Megjegyzés: A következőkben, a hőtárolás teljesítményértékek és profilok fogalmát célszerűségi okokból egyenrangúan használom. Ezt az indokolja, hogy ezen értékek is profilhoz hasonló trendet követnek; ráadásul a megvalósítás során szükséges csakis azzal foglalkozni, hogy az említett hőtárolás teljesítményértékek elnevezését leegyszerűsítő „profil”, diszkrét teljesítményeket foglal magában.

Normálás kiegészítése lineáris középértékek egyeztetésének módszerével

Mivel az összehasonlításban részt vevő profilok (áramszolgáltatói profil; naptári naphoz/földrajzi helyhez kötött hőtárolós teljesítményértékek) gyakran számottevő amplitúdóbeli eltéréseik miatt (**10.13. ábra**) nem hasonlíthatók össze közvetlenül. Ezen eltérések nagy része nem az összehasonlított teljesítményértékek trendjének különbségeiből (!), hanem leggyakrabban a hálózat sztochasztikusságából származik; pl.: hőtárolós teljesítmény ingadozásából, amely magában foglalja a különböző naptári napok (tél/nyár; hétvége/hétköznap) eltéréseiből eredő bizonytalanságokat is.

*Ezért a profil-összehasonlítások számszerűen is mérhető hibáinak kiküszöböléséhez és a normálás okozta bizonytalanság megszüntetésére, új módszert fejlesztettem a hőtárolós teljesítményértékekből származó lineáris középértékek, referenciaprofillal történő egyeztetésére és szükséges korrekciójára. A módszer, az összehasonlításban résztvevő hőtárolós teljesítményértékek és a referenciaprofil (teljesítményértékeinek) lineáris középértékét („egyenkomponensét” másnéven „ofszetjét”) számítja ki az általam definiált módon (**11.6. formulák**). Ezután, a megállapított lineáris értékekben jelentkező számottevő eltérés alapján, a hőtárolós teljesítmények százalékos hőtárolós teljesítményét addig kezdi el változtatni, ameddig az ofszetek különbségéből számított relatív hiba nem csökken 0,5-1% alá.*

A módszer referenciájaként az áramszolgáltatói (központi) profilt használtam fel, amelyhez képest történik a további profilok (teljesítményértékek) összehasonlítása és szükséges korrekciója. A lineáris középérték ill. ofszet számításának alapja a következő:

$$\alpha_{\text{Ö}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^{\text{Ö}}}{n} \qquad \alpha_{\text{REF}} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i^{\text{REF}}}{n} \qquad (11.6)$$

$$h_{\text{relatív}\%} = \frac{\alpha_{\text{Ö}} - \alpha_{\text{REF}}}{\alpha_{\text{REF}}} \cdot 100\% \qquad (11.7)$$

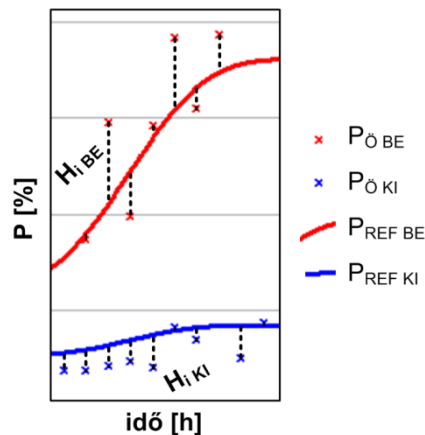
ahol:

- P_i^{REF} : az ofszet-számítás alapjául választott (hőtárolós) teljesítményelem
- $P_i^{\text{Ö}}$: az ofszet-számítás összehasonlítandó (hőtárolós) teljesítményelem
- n : a középérték-számításban figyelembevett teljesítményértékek száma
- $\alpha_{\text{VALÓS}}$: a valós (hőtárolós) teljesítményekből számított ofszet
- $\alpha_{\text{Ö}}$: az összehasonlítandó (hőtárolós) teljesítményekből számított ofszet
- $h_{\text{relatív}\%}$: az összehasonlított (hőtárolós) teljesítmények lineáris középértékeiből számított relatív hiba százalékos értéke.

Átlagos négyzetes és átlagos abszolút hiba számítása

A tökéletesen normált (ofszet-korrigált) profilok összehasonlításához *kétfajta hibaszámítási módszert* dolgoztam ki, amelyek segítségével egzakt módon meghatározható a profilok jellegéből és menetéből származó eltérés, egy kijelölt referenciaprofilhoz képest. A

megfelelő hibaszámítási megoldást az *átlagos négyzetes- és abszolút hiba* (MSE, AAD) számítási módszereinek saját feladatomra történő vonatkoztatásával értem el (**10.15. ábra**). Az *objektív hibaszámítás* tette lehetővé azt, hogy a mérési adatok alapján, a valóságnak megfelelő következtetéseket fogalmazzak meg a fogyasztók szokásaira vonatkozóan.



11.15. ábra: Normált (ofszet korrigált) teljesítményértékek összehasonlítása a referencia profillal

Az MSE és AAD hibaszámítási módszer első lépésben kiszámítja a referencia és az aktuális (hőtárolós) teljesítményekből származó négyzetes- és abszolút eltérések összegét, átlagolva azokat a figyelembevett teljesítményértékek számának függvényében. A referenciaként felhasznált teljesítményprofil és aktuális teljesítmények eltéréseiből származó abszolút hiba számítása a következő:

$$H_i = P_i^{\text{Ö}} - P_i^{\text{REF}} \quad (11.8)$$

Átlagos négyzetes hiba (MSE) és átlagos abszolút hiba (AAD) számítása:

$$\text{MSE} = \frac{\sqrt{\sum_{i=1}^n H_i^2}}{n} \quad \text{AAD} = \frac{\sum_{i=1}^n |H_i|}{n} \quad (11.9)$$

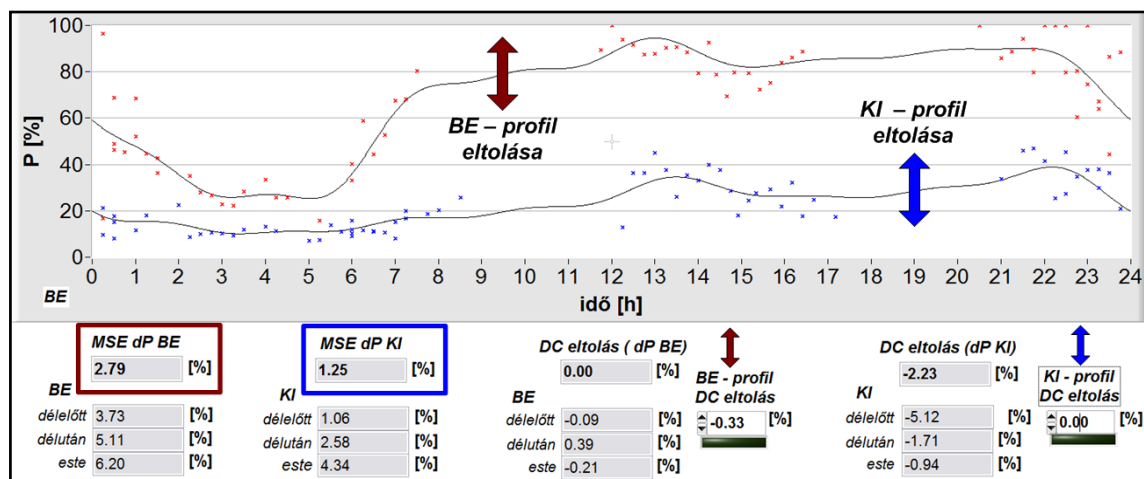
Gyakorlati alapokra helyezett módszeremben, leggyakrabban egy ismert (hőtárolós) teljesítményprofil és egy kiválasztott naptári időpontról származó (hőtárolós) teljesítményértékeket hasonlít össze. A módszer alkalmazásának egyedüli kritériuma az, hogy vonatkoztatási időpontokban értelmezhető legyen mind a $P_{\text{Ö}}$ és P_{REF} teljesítményelem is, azaz számítható legyen a H_i abszolút hiba, a két elem különbségéből. Végeredményként előáll egy MSE érték, amely százalékos formában mutatja a két teljesítményhalmaz különbségét, míg az AAD egyfajta átlagos eltérést mutat, ahol a hibaértékek nagyságából lehet következtetéseket levonni. A MSE és az AAD hibaszámítás közül, a gyakorlatban az MSE %-os értékeit egyszerűbb összehasonlítani, ezért további eljárásaimban ezt használtam fel.

Automatizált normálási módszer bemutatása és gyakorlati alkalmazása

A hőtárolós profilok automatizált összehasonlításához diagnosztikai szoftveremet egy új modullal egészítettem ki, amely az eddig kidolgozott módszereket és néhány új szolgáltatást is tartalmaz, ezáltal rugalmassá téve az elemzéseket. A kidolgozott automatizált megoldások,

elsősorban nagyszámú mérési adat esetén segítik nagymértékben a felhasználót. A diagnosztikai szoftver „hőtárolós profilok összehasonlításáért” létrehozott felülete kézi és automatizált analízist is lehetővé tesz a lemért adatokon, amely a felhasználó kezébe kész megoldást ad a hőtárolós teljesítmények fogyasztási szokások szempontjából történő elemzésére. A modul természetesen beépített exportálást is végezhet, ezáltal táblázatkezelő szoftverekkel további lehetőséget kínál a feldolgozásra.

A létrehozott modul lehetőséget ad a mért hőtárolós profilok önmagában történő megjelenítésére és elemzésére is, ráadásul beépítve tartalmazza az előzőekben bemutatott approximációs módszert is, amellyel a kijelölt mérési helyszín hőtárolós teljesítményeire képes új profilt illeszteni, ezt használva referenciaként a későbbi összehasonlításra. Ezen lehetőség beépítését az indokolta, hogy a (minden adatot tartalmazó) hálózatüzemeltetői teljesítményprofil felhasználása és összehasonlítása nem adott kellő információt a fogyasztói szokások általános megállapításaira. Így a modul bővítéseként, a felhasználó által újonnan létrehozott és a helyszín maximális hőtárolós teljesítményéhez normált profilt is felhasználhatja, az ettől eltérő mérési helyszínekkel történő kézi és automatikus összehasonlításaira. Ezzel a lehetőséggel így képes a modul a lokális összehasonlításra, a korábban alkalmazott általános profilokat (hálózatüzemeltetői profil) középpontba helyező megoldásokkal szemben, amely kulcstényezőt jelent a fogyasztási szokások megállapításában. Az itt alkalmazott automa



11.16. ábra: Normált központi hőtárolós teljesítményprofil és egy kiválasztott transzformátor teljesítményugrásainak összehasonlítása (normálási korrekció és MSE számítás alkalmazása)

A modul automatizált algoritmus a felhasználó által előzetesen létrehozott hőtárolós profilt használva referenciaként, a többi mért adattal történő automatikus összehasonlítását végzi el, a következőképpen (11.16. ábra):

- első lépésben a kiválasztja a mérési helyszínt (és időpontot) majd normálja hőtárolós teljesítményeit (%), viszonyítva a helyszín legnagyobb vezérelt teljesítményéhez;
- második lépésben az aktuális helyszín normált hőtárolós teljesítményértékeinek ofszet-korrekcióját végzi el, a referenciaként kijelölt hőtárolós profil teljesítményértékeihez, lehetővé téve a profil jellegéből eredő eltérések felderítését;
- harmadik lépésben elvégzi az MSE értékek számítását, amellyel egzakt mérőszámot mutat a felhasználónak az összehasonlításban szereplő referenciaprofil teljesítményértékei és a hőtárolós teljesítmények közötti különbségre; végül

- *negyedik lépésben* indexeli a következő mérési adatot feldolgozásra és kezdi az első lépésnél.

Az első gyakorlati tesztek megkövetelték az MSE hibaszámítás további finomhangolását, ugyanis a kiszámított MSE értékekből szinte kizárólag csak az összehasonlított profilok (teljesítményértékek) illeszkedésének mértékét lehetett eldönteni, amely azonban elfedte a hiba valóságos okát, pl.: melyik napszakban következett be hiba (reggel, délben, este, esetleg valamilyen kombinált formában). Konkrét példát említve, az egyik régióban pl.: a reggeli, egy másik régióban az esti időszakban volt nagyobb eltérés, azonban mivel a hiba értéke közel megegyezett egymással, ezért csak konkrét szemrevételezéssel lehetett a hiba okát megtalálni.

Mivel a 24 h-s hőtárolós teljesítményeket ábrázoló diagramok (az időprogramok kötöttsége miatt) három részre oszthatóak, ezért az általános MSE érték mellett, a reggeli (0-9), déli (12-17) és esti (21-24) időszakra további MSE értékeket is számít az algoritmusom, hogy csökkentsem a szükséges szemrevételezések gyakoriságát. A fogyasztói csoportok hőtárolós adataiban jelentkező együttkapcsolások (22 h - 1 h) a kiszámított MSE értékeket „állandó” hibával inkrementálták, ennek megfelelően könnyen lehetett azokat kezelni és észrevenni.

11.4. Fogyasztási szokások kategorizálása gyakorlati megközelítés alapján

Az hálózatüzemeltetői (minden adatot tartalmazó általános) profil és a kijelölt transzformátorok hőtárolós teljesítményeinek normalizálását és az MSE értékek kiszámítását követően, megállapítottam a közöttük lévő eltéréseket. Az általánosabb következtetések érdekében, kizárólag a nagyobb teljesítményű transzformátorokat (> 800 kW) vettem figyelembe, ugyanis a kisméretű körzetek esetén a hőtárolós teljesítmények nagyobb szórást mutattak, amely az általános következtetések megállapításához nem engedhető meg. Másik zavaró tényező a vizsgált transzformátoroknál jelentkező, korábban említett együttkapcsolások hatása, amelyeket a lokálisan alkalmazott átlagolások sem szüntetnek meg, állandó hibát (< 0,5-1%) inkrementálva az MSE értékekre.

A legfontosabb kérdéseket már kezdetben is meg tudtam fogalmazni, amelyekre a következőkben választ is tudtam adni, mérési adatokkal igazolva állításaimat:

- Lehetséges-e *egyedi profilok* megállapítása, amelyek tükrözik a *fogyasztói szokásokat*?
- Van-e különbség a hétköznapi és hétvégi hőtárolós profilok között?
- Van-e különbség a téli és nyári hőtárolós teljesítményprofilok között?
- Meg lehet-e állapítani a *földrajzi elhelyezkedésből* adódó eltéréseket?
- Meg lehet-e állapítani melyik hőtárolós profilnál érvényesül jobban az erősebb iparterületek okozta hatás?

Továbbá:

- Elégséges-e *egyetlen hőtárolós profil* segítségével kezelni a földrajzilag is eltérő lakossági fogyasztókat, azaz a transzformátorok körzeteit?
- Van-e *különbség/kapcsolat* a szolgáltatóra meghatározott profil, a transzformátorok profilja, valamint a transzformátorok által vezérelt hőtárolós csoportjaik viselkedése között?

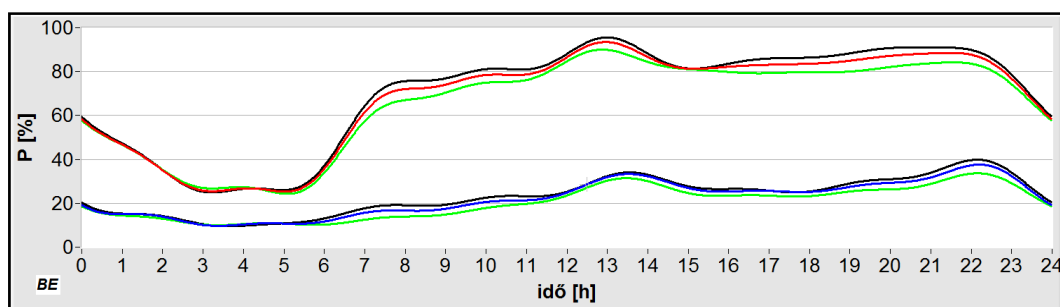
Egyedi hőtárolós profilok generálása és azok összevetése a korábban generált hálózatüzemeltetői (időfüggetlen) profillal

Többféle összehasonlítást végeztem, amelyek eredményeként általános következtetéseket tudtam megállapítani a hőtárolók működéséről és a fogyasztói szokások megjelenéséről. A kijelölt transzformátorok hőtárolós teljesítményeit, mindig egy általam megadott profillal hasonlítottam össze. A globális profilok meghatározása után, tehát lokális összehasonlításához és az általános profil finomhangolásához láttam hozzá.

Elsőként az hálózatüzemeltetői profillal történő összehasonlítás MSE értékeit vettem alapul, ahol néhány jellegzetes transzformátort kiválasztva végeztem összehasonlításokat a többi transzformátor adataival. *Az összehasonlítás sikerült, azonban általános következtetéseket nem tudtam levonni a fogyasztói szokásokról, így további megoldásokat alkalmaztam.* Az összehasonlítás során kapott MSE értékek egy bekapcsolási profil esetén 2,5-3,0% alatt, amíg egy kikapcsolási profil esetén 1,0-1,5% alatt voltak. Az ettől nagyobb eltéréseket az együttkapcsolások zavaró hatása és a hőtárolós csoportok egymáshoz képesti némileg eltérő teljesítménye okozta. *(A későbbiekben, az itt említett hiba okára is választ fogok adni.)*

A következőkben az *újfajta általánosításokon alapuló profilokat* generáltam, ugyanis az MSE értékek számszerű eltéréseket mutattak a hétfőre és hétköznapok között. Egyes esetekben előfordult az is, hogy hétköznapi és hétfői fogalomköröket rugalmasabban kellett értelmezni, ugyanis legtöbbször a *hétfői-szerdai-csütörtöki* viselkedés a *vasárnapival*, míg a *pénteki* viselkedés a *szombati* napéval állt jobban összhangban. A *keddi* mérés-telepítések miatt, ezen napokat nem lehetett figyelembe venni az összehasonlítások során. Felhasználva tapasztalataimat, a következő *újfajta általános profilokat* hoztam létre a mérési adatok segítségével:

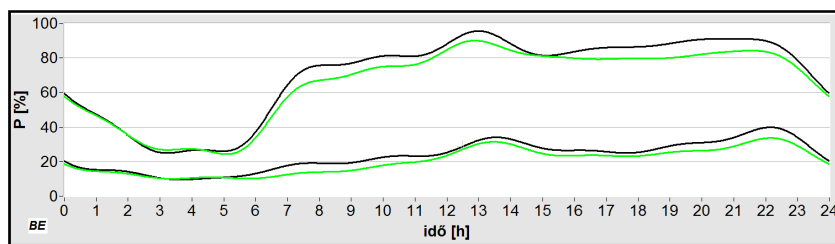
- a hétfői, szerdai és csütörtöki napokat,
- a vasárnapi, hétfői, szerdai és csütörtöki napokat,
- a *szombati* és *vasárnapi* napokat, valamint a
- a *pénteki* és *szombati* napokat magában foglaló profilokat.



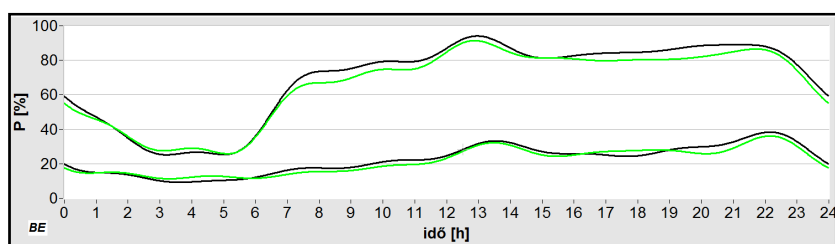
10.17. ábra: Normált hálózatüzemeltetői (piros; kék) hőtárolós profil; továbbá *hétfői-szerdai-csütörtöki* (fekete) és *szombati-vasárnapi* (zöld) napok alapján generált profilok

A **11.17. ábra** profiljainak összehasonlítása során az látható, hogy az hálózatüzemeltetői főprofil jól mutatja a szolgáltató számára szükséges hőtárolós átlagot, azonban pontosabb profil-meghatározáshoz lehet jutni, amennyiben a hétköznapi-hétfőre profilokat különválasztjuk. Az főprofil alkalmazása esetén, az aktív vízfogyasztási időszakokban

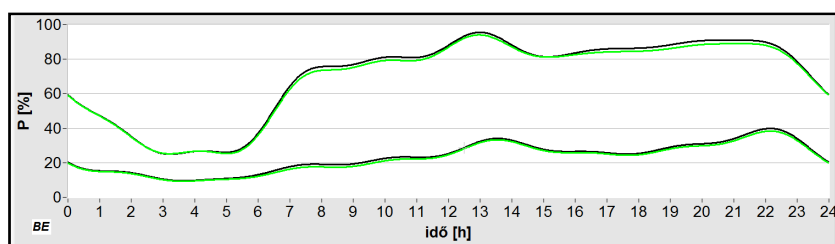
(reggeli és esti időszakok) akár 5-10%-os eltérés is tapasztalható (!) a hétféle és hétköznapi profilokat összehasonlítva (11.18. és 11.19. ábra). Összefoglalásként, a közelítések azt mutatják, hogy a hétköznapi napokon a vízfogyasztás enyhén intenzívebb, mint a hétféleken.



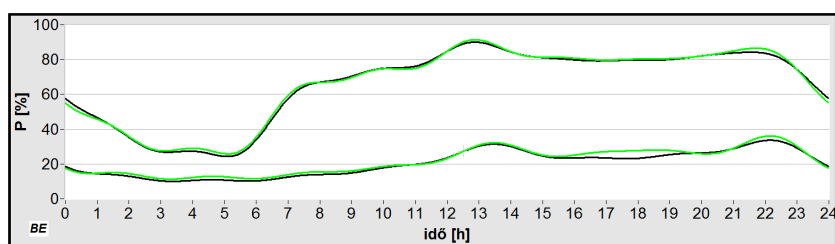
11.18. ábra: A hétfői-szerdai-csütörtöki napok (fekete) és szombati-vasárnapi napok (zöld) közelítése



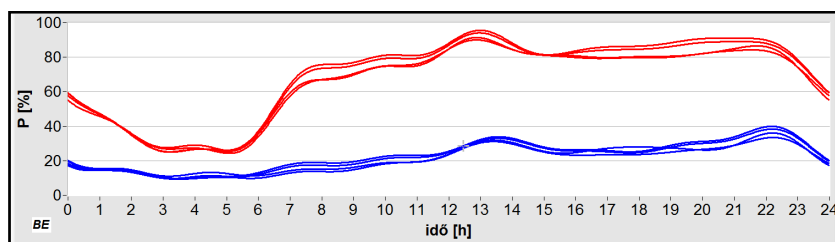
11.19. ábra: A hétfői-szerdai-csütörtöki-vasárnapi napok (fekete) és pénteki-szombati napok (zöld) közelítése



11.20. ábra: A hétfői-szerdai-csütörtöki napok (fekete) és hétfői-szerdai-csütörtöki-vasárnapi napok (zöld) közelítése



11.21. ábra: A szombati-vasárnapi napok (fekete) és pénteki-szombati napok (zöld) közelítése



11.22. ábra: A különböző szempontok alapján készített hétköznapi és hétféle hőtárolós profilok összehasonlítása

A fenti ábrákból (**11.20 és 11.21. ábrák**) megállapítható, hogy a hétfégi és hétköznapi profilok generálása során a hétköznapi és a hétvége fogalma viszonylag rugalmasan értelmezhető: a *hétfő-szerdai-csütörtöki* a *hétfő-szerda-csütörtök-vasárnapi* profillal, továbbá a *szombat-vasárnapi* a *péntek-szombati* profillal mutat csaknem teljes összhangot. Ezen profilpárokat összevetve, az eltérések a hibahatáron belül vannak. Mindkét profilgenerálás ugyanazt az eredményt szolgáltatja, vagyis ez azt jelenti, hogy a vasárnapi nap, ténylegesen inkább a hétköznapi napokhoz, amíg a pénteki nap inkább a hétvégi napokhoz tartozik (!). A **11.22. ábrából** viszont jól látszik a hétköznapi és hétvégi eltérése.

A transzformatori mérési adatokkal történt összehasonlítások alapján kijelenthetem, hogy az újonnan létrehozott profilok finomhangolását lehetett elvégezni, amely javulás azonban a számított MSE értékekben nem jelentkezik nagyságrendileg ($< 0,1-0,2\%$). A MSE értékek változatlanságát, elsősorban az együttkapcsolások okozta torzító hatások, valamint a hőtárolós csoportok eltérő teljesítményszintjei okozzák, amelyek állandó „hibát” okoznak az összehasonlítások során, amelynek kiküszöbölésére a fogyasztói viselkedés sztochasztikus viselkedése miatt nincs szükség. A hőtárolós csoportok eltéréseit azonban célszerű közelebbről megvizsgálni.

Egy-egy hőtárolós csoportban jelenlévő kevés adat (6-8 db be/ki-kapcsolási teljesítmény) közvetlenül nem teszi lehetővé a pontos görbeillesztéseket, a profilok felvételéhez. Emiatt több, jelen esetben 10 hőtárolós csoport normált teljesítményadatai (napi 60-80 db teljesítménykapcsolási érték) alapján generáltam a hőtárolós profilokat. A profil generálásához használt módszer így, amennyiben szóródás tapasztalható a hőtárolós csoportok viselkedése között, automatikus hibát okozhat a hibaszámításokban. Tapasztalataim szerint, a hőtárolós csoportok ugyanarra a profilra illeszkednek, és a csoportok közötti közvetlen eltérést, a vezérelt csoportba tartozó hőtároló fogyasztók eltérő száma és/vagy a fogyasztók eltérő teljesítményigénye okozza. Ez azonban csak néhány, elsősorban kisebb méretű transzformátor esetén okozott problémát, amelyek nem lettek figyelembe véve az általános következtetésekhez.

Fontosabb következtetések összefoglalása a mérési adatok kiértékelése után

A profilgenerálások mérési eredményekkel való összehasonlítása alapján általánosságban a következők jelenthetők ki.

Következtetések a fogyasztói szokásokra

A hálózatüzemeltetői (időfüggetlen), összes mérési eredményt tartalmazó profil jól jellemzi a teljes régió hőtárolós viselkedését, amelyet a hétköznapi és hétvégi profilok további létrehozásával lehetett finomhangolni, ezáltal pontosabb profilokkal jellemezve minden transzformátort. Mindez azt jelenti, hogy időtől függő fogyasztói szokásokat lehetett megállapítanom.

Következtetések a földrajzi elhelyezkedésből adódó eltérésekre és iparterületek hatására

Hibaszámításaim szerint, a földrajzi adottságok nem játszanak szerepet a hőtárolós viselkedésben, azaz nem állapíthatóak meg területek közötti eltérések. Azaz az 35 különböző transzformátorának különböző elhelyezkedése nem játszik szerepet a profilok kialakításában. A városi (ipari) és mezőgazdasági vidékek között nem állapítható meg nagyságrendi eltérés a hőtárolós viselkedés alapján, azaz mindegyik területen ugyanaz a profil használható. Az iparterületek okozta hatásokra kizárólag a hőtárolós viselkedés alapján nem lehet következtetni.

Következtetések a téli és nyári hőtárolós viselkedésre

Az időfüggetlen/hétköznapi/hétfégi profilok transzformátorokkal történő összehasonlításának eredményeként megállapítottam, hogy a téli és nyári viselkedést ugyanazon normalizált profilok jellemzik, amelyet a profilok alakjának és menetének összehasonlításából jól meg lehetett állapítani. Konkrét példát említve az egyik jellemző (téli/nyári eltérésből származó) hőtárolós teljesítménykülönbségre, kiszámítva az egyik nagyobb régiót vezérlő transzformátornál lévő adatokat; megállapítható az, hogy nagyságrendi eltérés tapasztalható ($\approx 10\%$ és 40%), amely elsősorban nem a vízfogyasztásból származó eltérésre, hanem hálózaton jelenlévő hőtárolók mennyiségéből származó eltérésére utalhat.

11.1. táblázat: A nyári és téli adatok összehasonlítása, egy konkrét helyszín hőtárolós teljesítményszintjei alapján

évszak	max. bekapcsolási hőtárolós teljesítmény	max. kikapcsolási hőtárolós teljesítmény
nyár	1930 kW	530 kW
tél	2150 kW	880 kW
eltérés	10,2%	39,8%

A normalizált profilok gyakorlati felhasználását természetesen minden esetben meg szükséges előznie egy kijelölt földrajzi helyen és meghatározott időszakban (tél/nyár) történő validációs mérési sorozatnak, amely a kijelölt hálózat hőtárolós teljesítményeinek feltárására irányul. A téli/nyári profilok korreláló menete így egyértelműen arra utal, hogy hőtárolós teljesítmények valódi eltéréseinek oka elsősorban nem a fogyasztói szokások megváltozásából, hanem a hőtárolók összetételének (nyáron: vízmelegítők; nyáron/télen: hőtárolós kályhák) és így mennyiségének változásából adódik a hálózaton. Azaz, a hőtárolók típusától és földrajzi helytől független működésének megállapítása a legfontosabb gyakorlati következmény. A kikapcsolási profil ilyen mértékű növekedése elsősorban a hőfogyasztás mértékére utalhat (ezt később magyarázom).

Következtetések a vezérelt hőtárolós csoportok viselkedéséből

A hálózatüzemeltető, a felhasználói komfortérzet maximalizálása és saját hálózatának hatékony üzemeltetése (csúcsidőszakok megszüntetése; völgyfeltöltés) érdekében a különböző hőtárolós csoportokat egymástól különböző időprogramok szerint vezérli. A hőtárolós profilok létrehozása esetén, alkalmazott profilmeghatározási módszer közös ábrabeli ábrázolása, majd az

adatok ugyanazon profilra illeszkedése egy transzparensen kezelt, bár mégis kulcsfontosságú következménnyel járt együtt!

Ezen következmény megválaszolásához a következő kérdésre kell választ adni: Hogyan lehetséges az, hogy a különböző időprogramok alapján vezérelt csoportok ugyanarra a profilra illeszkednek? A legpraktikusabb válasz, amely messzemenően igazolást nyert a mért adatokon keresztül az, hogy biztosítva néhány feltételt, az időprogramtól nem függ a jelentkező hőtárolós teljesítmény alakulása! Természetesen ez nem azt jelenti, hogy bármilyen időprogram esetén sem változhat a hőtárolós teljesítmény időbeli viselkedése, de a mérési adatok jól mutatják azt, hogy 10 különböző időprogram alapján vezérelt hőtárolós csoport teljesítményeinek időbeli alakulása ugyanazt az eredményt adja.

Szükséges minimális feltételek a következőkkel határozhatók be:

- A hőtárolók napi minimum 8 h-s időtartamú folyamatos felfűtése;
- Éjszakai időszakban teljesen felfűtött berendezések.
- Ugyanazon hőtárolós csoportnál egymást követő be- és kikapcsolás között eltelt minimum 30 min; azaz sűrű be- és kikapcsolások ne legyenek, amelyek károsíthatják a berendezéseket;
- Néhány „íratlan” fogyasztói komfortérzetet biztosító napközbeni felfűtés biztosítása;

Az említett feltételeket betartva az időprogramok elég korlátozottan hozhatók csak létre, amely biztosítja az „előre jósolható” hasonló viselkedést. A fenti megállapítás láthatóan tisztán gyakorlati megközelítésen alapul, azonban a gyakorlat alapján igazolást nyert.

A hőtárolós időprogram-függetlenségre vonatkozó állítás, akkor is kulcsfontosságú lehet a hálózatüzemeltető kezében, amennyiben közvetlen beavatkozást akar végezni a napi teljesítménygörbén (napi csúcs megszüntetése; völgyidőszak hatásának mérséklése), ugyanis a rendelkezésre álló hőtárolós profilok segítségével, akár „havária” esetén is megfelelő, célzott beavatkozást lehet végezni a hálózaton.

11.5. A hőtárolós profilok jelentősége

A generált hőtárolós profilok elsősorban a gyakorlati-energetika alkalmazásaiban töltenek be kiemelten fontos szerepet, ugyanis melegvíz fogyasztási (hőfogyasztási) statisztikái és mérési adataitól függetlenül lehet következtetéseket levonni a hálózat hőtárolós jövőbeli viselkedéséről. Érdekes következmény viszont az, hogy a hőtárolós viselkedés mélyrehatóbb ismerete alapján, igazolható következtetéseket lehet levonni a melegvíz-fogyasztásról, amelyet élesen meg szükséges különböztetni az egyszerű vízfogyasztástól. A transzformátorok hőtárolós teljesítményértékeinek napi idődiagramja alapján megállapítható, hogy:

- a bekapcsolási teljesítményértékek a hálózaton bekapcsolt hőtárolók számát jellemzik;
- a kikapcsolási teljesítmények az ún. *hosszúidejű melegvíz fogyasztásával* állnak kapcsolatban;
- egy kikapcsolás és az azt követő bekapcsolási teljesítmény változása az ún. *rövid idejű melegvíz-fogyasztásra*, illetve a fűtés nélküli állapotban a bojlerok számának változását mutatja;

- egy bekapcsolás és az azt követő kikapcsolási teljesítmény különbsége, a fűtés alatt felfűtött hőtárolók számával és a hálózatra „betáplált” hőmennyiséggel áll kapcsolatban.

A melegvíz-fogyasztás értelmezéséhez gyakorlatias fogalmak szükségesek, amelyekkel könnyebben lehet összefüggést találni a hőtárolós rendszer és a különböző fogyasztói szokások között. Így bevezethető a rövid- és hosszú idejű melegvíz-fogyasztás fogalomköre is, kapcsolatot teremtve a be- és kikapcsolási teljesítmények és változásai között [22]:

- *Rövid idejű melegvíz-fogyasztás*, egy olyan kismennyiségű kivett hő jelent a rendszerből, amely viszonylag rövid fűtési idővel pótolható. Olyan be- és kikapcsolási teljesítményérték-párok esetén figyelhető meg, ahol a nagyobb bekapcsolási teljesítményt követő rövid időn belül csökken nagyságrendileg kikapcsolási teljesítmény; negyedórás fűtési időt követően, akár felére is csökkenhet a teljesítmény. A rendszerből hiányzó hő pótlására rövid idejű fűtés szükséges, azaz a hálózaton előforduló hőtárolók száma rövid idő alatt csökkenhet le.
- *Hosszú idejű melegvíz-fogyasztás*, egy több fűtési ciklussal, azaz hosszú fűtési idővel pótolható a rendszerből; a hőtárolókból kivett nagy hőmennyiség miatt. Ennél a csoportnál az tapasztalható, hogy hőtárolók száma (bekapcsolási teljesítmény) viszonylag lassan, több fűtési ciklus eredményeként csökken csak a rendszerben.

A napi hőtárolós teljesítménygörbe menetét összehasonlítva egy általános napi vízfogyasztási statisztikával az állapítható meg, hogy a vízfogyasztási görbék bár menetükben hasonló, de időbeli viselkedésben eltérő viselkedést mutatnak. Az eltérések alapvető oka a vezérelt fogyasztók hőtároló képessége, amely mint szabályozástechnikai tárolós tag, késleltetheti a hőtárolós teljesítményben megjelenő hatásokat. Tapasztalatok alapján a következők állapíthatóak meg:

- A mért (számolt) hőtárolós teljesítményekből csak viszonylag pontatlanul lehet visszaszámolni a melegvíz-fogyasztási görbét. (Ahol figyelembe kell venni azt is hogy ez egy sokparaméteres, sztochasztikusan változó rendszer-együttes!)
- A hőtárolók felfűtési ideje általában 3-4 h időtartamra adódik (felfűtési karakterisztika), amelyet ha összevetünk a 24 h-s (napi) fogyasztás adataival, akkor láthatóan a fogyasztás sokszorosán hosszabb időre oszlik szét, mint amennyi idő alatt fel lehet fűteni egy hőtárolós csoportot. Azaz a napi teljesítménygörbe alakítása szempontjából a HFKV időprogramja a meghatározó. Pl.: egy napközben alkalmazott hosszabb fűtési idővel egészen alacsony értékre csökkenthető le a fűtési teljesítmény.
- A hőtárolók „teljes”, hosszabb idejű felfűtése éjszaka történik (völgyidőszak), azonban a felfűtést követően sem csökken le a hőtárolók kikapcsolási teljesítménye nullára; azaz mindig van a csoportban fűtendő hőtároló.
- Az egymás után következő kikapcsolási teljesítmények nagysága csak az éjszakai felfűtési időszak alatt csökken viszonylag gyorsan, napközben lassú a változása (hiszen ekkor gyakoribb a vízfogyasztás). A kikapcsolási teljesítmények azt mutatják, hogy mindig vannak olyan bojlerok, amik nem fűtöttek fel az ismétlődő fűtési periódusok ellenére. Ez úgy fogható fel, mintha egyes bojlerokból folyamatosan (hosszú ideig) fogyasztanak a meleg vizet.

- A tisztán be- vagy kikapcsolási teljesítmények értéke, közvetlenül csak a fűtendő (aktív) hőtárolók számára utal, és csak közvetetten mutatja a melegvíz-fogyasztás nagyságát (intenzitását). A hőtárolók felfűtéséhez szükséges energia arányos az adott idő alatt elhasznált melegvíz mennyiségével, illetve a hőenergiával.

11.6. Új tudományos eredmények

4. TÉZIS: Új approximációs eljárást dolgoztam ki, amely a transzformátorok mérési adataiból származtatott (detektált) teljesítményértékekből, objektív, könnyen automatizálható módon képes meghatározni a hőtárolós tömegvezérlés teljesítményprofiljait.

Az objektív módon generált hőtárolós profilok összehasonlítására, új normalizálási eljárást hoztam létre, amellyel az egymástól különböző teljesítményű transzformátorok tömegvezérlés okozta (hőtárolós) teljesítményprofiljainak objektív összehasonlítására nyílik lehetőség, biztosítva a további elemzési- és kiértékelési módszerek alkalmazását.

5. TÉZIS: Új módszert dolgoztam ki a fogyasztók szokásainak kategorizálására, amely a mérési adatokból származtatott hőtárolós (normalizált) profilok segítségével, képes a felhasználói viselkedést különböző csoportokba sorolni.

Módszerem objektív hibaszámítással hasonlítja össze az előzetesen normált hőtárolós profilokat, így következtetve a kizárólag görbejelleg-eltérések okozta eltérésekre. A módszer segítségével létrehozott új fogyasztói csoportok általános érvényű hőtárolós profilokkal jellemezhetők, amelyek a teljesítményszükséglet-validálást követően, egyrészt új, általános érvényű következtetéseket eredményeznek a hőtárolós fogyasztókra, másrészt a hálózatüzemeltető menetrendi tervezését teszik közvetlenül kiszámíthatóbbá és mérhetően hatékonyabbá.

ÖSSZEFOGLALÁS

Értekezésemben, két tudományos területen (*villogásmérés, HFKV*) elért legfontosabb kutatási eredményeimet mutattam be. Dolgozatomat strukturálisan három részre osztottam, így elsőként szakirodalmi áttekintés eredményeit és megállapításait, majd másik két teljesen külön egységként kezelt témámat részleteztem.

Munkám első részében, a kapcsolódó hazai és nemzetközi tudományos kutatások irányvonalát, valamint múltbeli és jelenlegi tevékenység legfontosabb véleményeit és projektjeit részleteztem. Konklúzióként, elhelyezem munkám a leírt kutatási irányok között, egyben kiemelten hangsúlyozom munkám szükségességét és hasznosságát az említett tématerületeken, előrevetítve eredményeim jelentőségét.

Az értekezés következő két fontos részében a villogás, valamint a HFKV tématerületeken elért legfontosabb eredményeimet mutattam be. Az elért eredmények részletezése mindkét kutatási tevékenység előrehaladásának legfontosabb állomásait tükrözi.

A *flicker tématerülettel* való első kutatási eredményeim 2006-ra tehetők ahol, sikeres TDK és OTDK részvétel után tovább folytattam munkámat, amelynek eredményeként egy online villogásmérő-modul létrehozásához szükséges módszereket fektettem le. A 2010-ben megújult *IEC 61000-4-15* szabvány [17] a flicker méréséhez, korábban kidolgozott módszereim finomhangolását kívánta meg, ahol elsősorban a mérők tesztelésének követelményeit kellett újraértelmezni és kiegészíteni az addig elkészült megoldásokat. Létrehozott hatékony módszereim eredményességét, a drasztikusan szigorított villogásmérő-teszteknek való megfelelés igazolta minden kétséget kizáróan.

Az EET-tanszék HFK vezérléssel kapcsolatos projektjébe 2009-ben kapcsolódtam be, ahol több mint két hónapon keresztül, transzformátorállomásokon végzett méréseket, egy közel kétéves kutatómunka követett. Ezen munka során automatizált adatfeldolgozási-, és kiértékelési módszerek kidolgozása, valamint ún. hőtárolós teljesítményprofilok felvételére-, analizálására-, és fogyasztói szokásokra vonatkozó általános érvényű megállapítások következtek. HFKV területen végzett kutatómunkám eredményeként az egyirányúként kezelt, visszacsatolást nem adó hálózatról, a hőtárolós teljesítmény analízisa és új profil-meghatározó módszerek eredményeként, meglehetősen pontos információkat lehetett adni a villamosenergia-hálózat HFKV okozta viselkedéséről.

Munkám értékét és eredményeim hitelességét jelentősen növeli az is, hogy a kidolgozott módszereim és algoritmusaim háttérében nemcsak szimulációk és elméleti modellek állnak, hanem gyakorlati mérések is igazolják eredményeimet, mind a villogásmérés (objektív kalibráció és tesztelés), mind a HFKV területein is, amelyek tökéletes összhangot mutatnak az elméleti vonatkozásokkal.

TOVÁBBFEJLESZTÉSI LEHETŐSÉGEK

Az értekezésben bemutatásra került *online villogásmérő-modul* mai informatikai követelményeknek való megfelelőségét, egy komplex mérőszoftverbe történő (rutinszerű) beépítéssel igazoltam. A modul rugalmassága a változtatható mintavételezési frekvenciának köszönhető (F_1 és F_3 osztályos megfelelőség), amelyet extrém nagy frekvenciák (≤ 40 kHz) beállítása esetén is ellenőriztem, amely alkalmassá teszi modult, az esetleges későbbi szabványi előírások szigorodása esetén történő vizsgálatokra is. A modul univerzalitását, legfőbb egységének, a központi súlyozó karakterisztikát szolgáló IIR szűrő-modul cserélhetősége és módosíthatósága adja, amely létfontosságú a flicker számítási eljárását változtató előírások módosítása esetén. Így tervező munkám során, a rugalmasság és az univerzalitás központi fontosságú volt számomra, ugyanis szakirodalmi áttekintéseim során megállapítottam, hogy a szabványok egyre szigorodó követelményei megkívánják a kialakított számítási módszerek módosíthatóságát és további finomhangolhatóságát. A napjaink gyorsan átalakuló világító eszközei miatt, a közeljövőben is várhatóak módosítások.

Mindezen felül, továbbfejlesztési lehetőség ígérkezik a *hitelesítő-rendszer* eddig manuális működtetésének automatizálására. A kalibrálási módszerem alapján kidolgozott rendszer, eddig csak saját villogásmérőm tesztelésére volt alkalmas, azonban néhány, a méréshatárok összeegyeztetésére irányuló feszültségváltók alkalmazásával, bármilyen más villogásmérő tesztelésére is alkalmassá tehető. A jelenleg kidolgozott hitelesítő rendszer kizárólag manuális indítású jelgenerálások segítségével teszi lehetővé a csatlakoztatott mérőegység ellenőrzését, amelyet megfelelő időzítési és esetleg triggerelési módszerek alkalmazásával automatizálhatóvá lehetne tenni. Azaz itt egy olyan teljesen automatizált hitelesítő rendszer kidolgozása a fő cél, amely a csatlakoztatott flicker-mérő szabványi előírásoknak megfelelő ellenőrzését képes elvégezni (pl.: F_1 , vagy F_3 osztályos tesztek) és kiértékelni azokat.

A HFKV témakörében készített rugalmas detektálási- és teljesítményprofilokkal kapcsolatos módszerek és algoritmusok többsége már kifejlesztésük során magában hordozta a továbbfejleszthetőség lehetőségét. Az általános érvényű teljesítménydetektálási módszer a jövőben Magyarországon alkalmazandó RFKV- és SMART-megoldások esetén is sikeresen alkalmazható lehet és a hálózatüzemeltető segítségére szolgálhat. Legnagyobb előnye az, hogy csak a helyileg (pl.: transzformátorállomásokon) alkalmazott mérésadatgyűjtő-, analizáló berendezés szükséges hozzá, és mindenféle más hardveres kiépítéstől függetlenül alkalmazható. Ezáltal a hálózat megfigyelése és a különböző tömegvezérlési parancsok (HFKV, RFKV) hatása közvetlenül megfigyelhetővé válik, és nem szükségesek nagyszámú fogyasztóknál felszerelt mérőeszközök. A végfelhasználóknál felszerelt mai mérőeszközök legnagyobb hátránya az, hogy általában a korlátozott memóriájuk és tárolókéességük miatt csak átlagértékeket képeznek, ideiglenesen tárolják azokat, időközönként elküldve ezeket a hálózatüzemeltetőnek. Az elküldött átlagolt értékek adatai azonban az összes fogyasztást tartalmazzák, amely egyáltalán nem különül el a hálózatüzemeltető részére nagy fontossággal rendelkező vezérelt eszközök fogyasztásától (!); így némely esetben a felhasználó helyi „offline megfigyelése” nem jelent új

információkat hálózatüzemeltető számára. (A hálózati veszteségeinek- és az áramlopásainak témakörét most nem vettem figyelembe.) A jelenleg kapható RFKV- és SMART megoldások esetén már a vezérlés helyileg címezhető, így a kiküldött címhez rendelt eszközök egy csoportja, esetenként egyetlen berendezés kapcsol be a vezérlést követően. A helyi vezérlés rugalmasabb lehetőségeket ad a hálózatüzemeltető kezébe, ezáltal finomhangoltabban (akár valós időben is) képes a hálózat pillanatnyi állapotát befolyásolni (be- és kikapcsolások). Természetesen a rugalmas vezérelhetőség, csak „megfelelően tervezhető hálózat” esetén hozhat megtakarításokat és implikálhatja a hálózat kiegyensúlyozottabb működését; ez viszont a vezérelhető fogyasztók által „megmozgatott” teljesítmény pontos időfüggő ismeretét kívánja meg.

Az új hőtárolós profilok meghatározására készített módszer más vezérelt eszköz időben változó teljesítményprofiljának meghatározásához is használható. Az új normálási módszerek kifejlesztése, a különböző teljesítményprofilok összehasonlítását és általános érvényű megállapításokat eredményezett, amelyeket egy újfajta vezérlési stratégia (RFKV, SMART) kialakítása esetén is jól fel lehet használni. Az általános érvényű profilok azért töltenek be különösen kiemelt szerepet, ugyanis meghatározásuk során tisztán mérési adatokból, különböző földrajzi helyekről származó valós mérési adatok alapján történtek és semmilyen matematikai-, statisztikai adatot nem használnak fel, amelyek torzíthatnák azokat. A vezérelt teljesítményprofilok meghatározása a szolgáltató számára fontos információt jelent, ugyanis ez alapján tudja megmondani, hogy egy tervezett időpontban mekkora teljesítményt *képes* vagy *lenne képes* megmozgatni a vezérelt hálózaton. Az új fogyasztói profilok segítségével ezen folyamat jobban kézben tartható, ezáltal a hálózaton további megtakarítások is elérhetőek, ráadásul a sokkal kritikusabb következményekkel járó túlterhelési szituációk is hatékonyabban kezelhetők.

Összefoglalásként tehát az állapítható meg, hogy értekezésemben bemutatott módszerek, eljárások és algoritmusok (a gyakorlati megoldásaimat is beleértve) még *számos továbbfejlesztési tartalékot* foglalnak magukban, amelyeket a későbbi kutatási munka segíthet elő.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN KÉSZÍTETT PUBLIKÁCIÓK

Idegen nyelvű folyóiratban megjelent, lektorált folyóiratcikk

1. **A. Unhauzer**, A. Sz. Váradiné: *Online Software Module for Measurement of Audio-Frequency Controlled Heat-Storage Power*. Journal of Computer Science and Control Systems (JCSCS, University of Oradea Publisher). May, 2012. Vol.5(1). P-ISSN 1844-6043, E-ISSN 2067-2101, CD-ISSN 2067-2098. pp.108-111.
2. **A. Unhauzer**, A. Sz. Váradiné: *New Approach for Power Profile Determination of Remote Controlled Electrical Consumers*. Elsevier Journal: Electric Power Systems Research. Impact Factor: 1.478 (submitted to journal, under review).

Magyar nyelvű folyóiratban megjelent, lektorált folyóiratcikk

3. **A. Unhauzer**, A. Sz. Váradiné: *A hangfrekvenciás központi vezérléssel kapcsolt villamosenergia-szolgáltatás új diagnosztikai rendszere (New Diagnostic System for Intelligent Support of Centralized Ripple Controlled Network)*. Elektrotechnika: A Magyar Elektrotechnikai Egyesület Hivatalos Lapja, June 2012. Vol.105(06). pp.9-12.

Idegen nyelvű konferencia kiadványban megjelent konferencia-előadások

4. A. Sz. Váradiné, **A. Unhauzer**: *Development of Virtual Laboratory FieldPoint System*. XXI. microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc (Hungary). 22-23 March 2007. ISBN 978-963-661-751-6. pp.79-84.
5. R. Bátorfi, **A. Unhauzer**: *Academia-Industry Cooperation for Energy Saving in North-East Hungary*. SEFI/IGIP Joint Annual Conference "Joining Forces in Engineering Education towards Excellence", University of Miskolc (Hungary), 1-4 July 2007. ISBN 978-963-661-772-1, pp.199-201.
6. **A. Unhauzer**, R. Bátorfi: *Flicker Determination of Electrical Networks*. SEFI/IGIP Joint Annual Conference "Joining Forces in Engineering Education towards Excellence", Miskolc (Hungary), 1-4 July 2007. ISBN 978-963-661-772-1, pp.411-412.
7. **A. Unhauzer**, A. Sz. Váradiné: *Digital Filter Simulation for Development of Digital Flicker Meter*. International Conference on Renewable Energy and Power Quality (ICREPQ), Santander (Spain), 12-14 March 2008. ISBN 978-84-611-611-9289-2. DVD appendix.
8. **A. Unhauzer**: *Diagnostics of Power Tools by Computerized Measurement and Data Processing of Electrical Parameters*. XXII. microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc (Hungary), 20-21 March 2008. pp.89-94.
9. **A. Unhauzer**, A. Sz. Váradiné: *Development of Virtual Laboratory at the Department of Electrical and Electronic Engineering*. XXIII. microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc (Hungary), 19-20 March 2009. ISBN 978-963-661-875-9. pp.107-112.
10. **A. Unhauzer**: *Development of Digital Flicker Meter and Specification of Disturbance Propagation Direction*. XIX. IMEKO World Congress (Fundamental and Applied

- Metrology), Lisbon (Portugal), 6-11 September 2009. ISBN 978-963-88410-0-1. pp.753-756.
11. **A. Unhauzer**: *Analysis of Power Fluctuation by Voice Frequency Control with a New Diagnostics System*. XXIV. microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc (Hungary), 18-20 March 2010. ISBN 978-963-661-915-2. pp.109-114.
 12. **A. Unhauzer**: *New Results in the Examination of Heat-Storage Power Profiles*. XXVI. microCAD International Scientific Conference, University of Miskolc (Hungary), 29-30 March 2012. ISBN 978-963-661-773-8. CD appendix.

Magyar nyelvű konferencia kiadványban megjelent konferencia-előadások

13. **A. Unhauzer**: *Villamos hálózatok flicker hatásának digitális feldolgozása*. Innováció és Tudás Konferencia, Miskolc, 2006. ISBN 963-661-723-6. pp.127-137.
14. L. Kazup, **A. Unhauzer**, Sz. Szkárosi: *Ethernet hálózaton keresztül vezérelhető ipari kommunikációs eszközök alkalmazása*. Innováció és Tudás Konferencia, Miskolc, 28 June 2007. ISSN 1789-0284. pp.131-137.
15. **A. Unhauzer**, L. Kazup, Sz. Szkárosi: *GPB alapú virtuális laboratórium fejlesztése*. Innováció és Tudás Konferencia, Miskolc, 28 June 2007. ISSN 1789-0284. pp.137-147.
16. **A. Unhauzer**: *Digitális flickermérő fejlesztése és illesztése villamos energia hálózatok különleges követelményű diagnosztikai rendszeréhez*. VII. ENELKO (Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia) és XVII. SzámOkt (Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia), Nagyvárad (Romania), 11-14 October 2007. ISSN 1842-4546. pp.194-197.
17. **A. Unhauzer**: *Flickermérés elmélete és gyakorlata napjainkban - a fejlődés irányai*. Doktoranduszok Fóruma, Gépészmérnöki és Informatikai Kar szekciókiadványa, Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Miskolci Egyetem, Miskolc, 13 November 2007. pp.182-187.
18. **A. Unhauzer**: *Digitális flicker-mérő berendezés elméleti kutatása és gyakorlati fejlesztése*. Doktoranduszok Fóruma, Gépészmérnöki és Informatikai Kar szekciókiadványa, Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Miskolci Egyetem, Miskolc, 13 November 2008. pp.100-103.
19. **A. Unhauzer**: *Univerzális tesztberendezés hardveres tervezése (Hardware Design of Universal Diagnostics System)*. IX. ENELKO (Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia) és XVIII. SzámOkt (Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia), Csíksomlyó (Romania), 9-12 October 2008. ISSN 1842-4546. pp.85-89.
20. **A. Unhauzer**, R. Bátorfi, E. Kovács, Z. Borsody: *Hangfrekvenciás központi vezérléssel kapcsolt berendezéseket ellátó villamos hálózatok vizsgálata (Diagnostic of the Electrical Networks Supplying Equipment Controlled by the Voice-Frequency Switching System)*. X. ENELKO (Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia) és XIX. SzámOkt (Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia), Marosvásárhely (Romania), 8-11 October 2009. ISSN 1842-4546. pp.151-155.
21. B. Nagy, K. Sarvajc, **A. Unhauzer**, A. Sz. Váradiné: *Interneten keresztül vezérelhető referencia laboratórium továbbfejlesztése Compact FieldPoint rendszerrel (Continued Development of Remote Controlled Reference Laboratory Using Compact FieldPoint System)*. X. ENELKO (Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia) és XIX. SzámOkt (Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia), Marosvásárhely (Romania), 8-11 October 2009. ISSN 1842-4546. pp.293-297.

22. **A. Unhauzer:** *Diagnosztikai rendszer fejlesztése a HFKV által okozott teljesítményváltozások vizsgálatára.* Doktoranduszok Fóruma, Gépészmérnöki és Informatikai Kar szekciókiadványa, Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Miskolci Egyetem, Miskolc, 5 November 2009. pp.182-187.
23. **A. Unhauzer:** *A HFKV vezérlés okozta teljesítményváltozások vizsgálata az észak-kelet-magyarországi régióban.* Erősáram a Fiatalok Szemével 2010, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 7 April 2010. Proceedings.
24. **A. Unhauzer:** *A Hangfrekvenciás Központi Vezérléssel kapcsolt (HFKV) villamos energiahálózat tanulmányozása az észak-kelet-magyarországi régióban.* Mechwart András Ifjúsági Találkozó (MAIT) Szakmai Konferencia 2011, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 13 April 2011.
25. **A. Unhauzer:** *Hangfrekvenciás központi vezérléssel kapcsolt villamos energia hálózat (HFKV) fogyasztói teljesítményprofiljainak meghatározása (Determination of Power Consumption Curves of Electrical Network Controlled by VFC).* XII. ENELKO (Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia) és XXI. SzámOkt (Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia), Kolozsvár (Romania), 6-9 October 2011. ISSN 1842-4546. pp.103-108.
26. **A. Unhauzer:** *Online flicker-mérőmodul fejlesztése és illesztése komplex hálózatdiagnosztikai berendezéshez.* II. Mechwart András Ifjúsági Találkozó (MAIT) Szakmai Konferencia 2012, Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest, 9 May 2012. ISBN 978-963-9299-18-4. DVD Proceedings.

Írásban meg nem jelent idegen nyelvű előadások

27. **A. Unhauzer:** *Új módszer bemutatása digitális flicker-mérésre (Presentation of New Method for Digital Flicker Measurement).* Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola Összevont Tudományos Szeminárium, Miskolci Egyetem, Miskolc, 3 June 2009. Oral Presentation.
28. **A. Unhauzer:** *Open for all Demonstrative Virtual Laboratory on the Internet.* NI-WEEK 2009 (Worldwide Graphical System Design Conference and Exhibition), Austin Convention Center, USA (Texas), 4-6 August 2009. Poster Section.

Írásban meg nem jelent magyar nyelvű előadások

29. **A. Unhauzer:** *Villamos hálózatok zavarjelenségeinek vizsgálata.* Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Összevont Tudományos Szeminárium 2008, Miskolci Egyetem, Miskolc, 4 June 2008. Oral Presentation.
30. R. Bátorfi, **A. Unhauzer:** *Az észak-kelet magyarországi régió hálózati zavardiagnosztikáinak tapasztalatai.* Ifjú Szakemberek Fóruma 2008, Budapesti Műszaki Egyetem, Budapest, 26 November 2008. Oral Presentation.
31. A. Sz. Váradiné, **A. Unhauzer:** *Laboratórium vezérlése Interneten szakembereknek és érdeklődőknek.* NI Oktatási és Kutatási Napok 2010, Holiday Inn Hotel (Budapest-Budaörs), 22 April 2010. Invited Presentation.
32. **A. Unhauzer:** *Szakértőrendszer fejlesztése a HF vezérléssel kacsolt villamosenergia-felvétel változásainak becslésére.* Hatvany József Informatikai Tudományok Doktori Iskola, Összevont Tudományos Szeminárium 2010, Miskolci Egyetem, Miskolc, 2 June 2010. Oral Presentation.

Oktatási jegyzet

33. A. Sz. Váradiné, J. Hegedűs, R. Bátorfi, **A. Unhauzer**: *Méréstechnika jegyzet*. HEFOP-jegyzet (Nemzeti fejlesztési terv).

Kutatási jelentések

34. A. Sz. Váradiné, **A. Unhauzer**: *Interneten keresztül vezérelhető referencia laboratórium fejlesztése*. Szakértői jelentés, MLR-RET projekt. Megrendelő: National Instruments Hungary Kft. 2008.
35. Z. Borsody, A. Sz. Váradiné, T. Bodolai, **A. Unhauzer**: *Bojlercsoportok teljesítményprofiljának meghatározása a közép feszültségű hálózat betáplálási pontjain*. Kutatási jelentés (I. fejlesztési fázis), Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszék, November 2009. pp.1-40.
36. Z. Borsody, A. Sz. Váradiné, **A. Unhauzer**, A. Rónaföldi: *Bojlercsoportok teljesítményprofiljának meghatározása a közép feszültségű hálózat betáplálási pontjain*. Kutatási jelentés (II. fejlesztési fázis), Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai- Elektronikai Tanszék, May 2010. pp.1-120.
37. E. Kovács, Cs. Blága, A. Rónaföldi, Z. Borsody, A. Sz. Váradiné, **A. Unhauzer**, R. Bátorfi: *Fogyasztói teljesítmény optimális vezérlése és a mérési veszteségek csökkentése*. K+F eredmények összefoglalása, GOP-1.1.2-08/1-2008-0002. UNI-FLEXYS Egyetemi Innovációs Kutató és Fejlesztő Közhasznú Nonprofit Kft. March 2012. ISBN 978-963-89509-0-1. pp.210-224.

Egyéb

38. **A. Unhauzer**: *Digitális flickermérő fejlesztése és illesztése villamos energiahálózatok különleges követelményű diagnosztikájára alkalmas rendszerhez*. TDK dolgozat 2006.
39. **A. Unhauzer**: *Digitális flickermérő fejlesztése és illesztése villamos energiahálózatok különleges követelményű diagnosztikájára alkalmas rendszerhez*. OTDK dolgozat 2007.

IRODALOMJEGYZÉK, FELHASZNÁLT ÉS TANULMÁNYOZOTT REFERENCIÁK

- [1] R.C. Dugan, M. F. McGranaghan, H.W. Beaty: *Electrical Power Systems Quality*. McGraw-Hill, International Editions, 2000.
- [2] M. H. J. Bollen, I. Y. H. Gu: *Signal processing of power quality disturbances*. Wiley-Interscience, Piscataway, 2006.
- [3] M. H. J. Bollen: *Understanding Power Quality Problems: Voltage Sags and Interruptions*. IEEE Press, 2000.
- [4] Keppler: *Flicker Measurement and Propagation in Power Systems*. University of Canterbury, 1998.
- [5] C. Mirra: *Flicker Measurement and Evaluation*. 1986.
- [6] J. Arrillaga, N. R. Watson: *Power System Harmonics*. John Wiley and Sons, 2003.
- [7] J. Arrillaga, N. R. Watson, S. Chen: *Power System Quality Assessment*. John Wiley & Sons, 2000.
- [8] A. B. Baghini: *Handbook of Power Quality*. John Wiley and Sons, 2008.
- [9] C. Sankaran: *Power Quality*. CRC Press, 2002.
- [10] T. Keppler. *Flicker Measurement and Propagation in Power Systems*. University of Canterbury, 1998.
- [11] L. A. Ronald, W. M. Duncan: *Signal Analysis Time, Frequency Scale and Structure*. IEEE Press, John Wiley & Sons, 2004.
- [12] IEC/TR2 60868-0: *Flickermeter – Part 0: Evaluation of Flicker Severity*. 2003.
- [13] IEC 61000-3-2: *Limits for harmonic current emissions (equipment input current $\leq 16A$ per phase)*. 2001.
- [14] IEC 61000-3-3: *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3: Limits –Section 3: Limitation of voltage fluctuations and flicker in low-voltage supply systems for equipment with rated current $\leq 16A$* . 2001.
- [15] 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.
- [16] IEC 61000-4-15: *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 15: Flickermeter – Functional and design specifications*. 2003.
- [17] IEC 61000-4-15: *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 15: Flickermeter – Functional and design specifications*. 2010.
- [18] IEC 61000-3-11: *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 3-11: Limits – Limitation of voltage changes, voltage fluctuations and flicker in public low-voltage supply systems – Equipment with rated current $\leq 75A$ and subject to conditional connection*. 2000.
- [19] MSZ EN 50160: *A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzői*. 2010.
- [20] 2007. évi LXXXVI. Villamos Energia Törvény: <http://www.eh.gov.hu>.
- [21] 44/2008. (XII. 31.) KHEM rendelet (Üzemi Szabályzat). *A villamosenergia-piaci egyetemes szolgáltatás árképzéséről, valamint az egyetemes szolgáltatás keretében nyújtandó termékcsoportokról*. (érvényes: 2008. 01. 01-jétől).
- [22] Z. Borsody, E. Kovács. *Hangfrekvenciás központi vezérlés időprogram optimális kialakítás lehetőségeinek vizsgálata*. Kutatási jelentés, Elektrotechnikai - Elektronikai Tanszék, Miskolci Egyetem, 2008. pp.1-115.
- [23] Z. Borsody, A. Sz. Váradiné, T. Bodolai, A. Unhauzer. *Bojlercsoportok teljesítményprofiljának meghatározása a középfeszültségű hálózat betáplálási pontjain*. Kutatási jelentés (I. fejlesztési fázis), Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai - Elektronikai Tanszék, November 2009. pp.1-40.
- [24] Z. Borsody, A. Sz. Váradiné, A. Unhauzer, A. Rónaföldi. *Bojlercsoportok teljesítményprofiljának meghatározása a középfeszültségű hálózat betáplálási pontjain*. Kutatási jelentés (II. fejlesztési fázis). Miskolci Egyetem, Elektrotechnikai - Elektronikai Tanszék, May 2010. pp.1-120.
- [25] A. Dán: *Villogás (flicker)*. MMK tanfolyami segédlet, 2005.
- [26] A. Dán: *A villamosenergia-minőség növelt rézkeresztmetszettel*. Magyar Részpiaci Központ, 1999.
- [27] D. Raisz, A. Dán: *Vezérelt fogyasztói csoportok modellezése és különböző célfüggvények szerinti vezérlési programjuk meghatározása*. Elektrotechnika: A Magyar Elektrotechnikai Egyesület Hivatalos Lapja, January 2009. Vol.102(1). pp.5-8.
- [28] D. Raisz, A. Dán. *A hangfrekvenciás fogyasztói befolyásolásban rejlő lehetőségek*. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, III. BMF Energetikai Konferencia, 2008. pp.21-31.

- [29] A. Dán, D. Raisz, P. Kiss, I. Vokony, D. Divenyi, B. Hartmann: *HKV-RKV és az intelligens fogyasztásmérés*. Elektrotechnika: A Magyar Elektrotechnikai Egyesület Hivatalos Lapja, January 2011. Vol.104.
- [30] I. Gyurkó: *Informatikai berendezéseket zavaró hálózati visszahatások vizsgálata*. PhD dissertation, 2007.
- [31] R. Bátorfi, A. Sz. Váradiné: *Nagy pontosságú villamos hálózati minőségvizsgálat új szinkronizáló eljárás alapján mérőberendezéssel (Electric Network Quality Test with High Accuracy by Measuring Instruments Based on a New Synchronizing Procedure)*. Elektrotechnika: A Magyar Elektrotechnikai Egyesület Hivatalos Lapja, April 2012. Vol.105(04). pp.5-9.
- [32] R. Bencs, R. Bátorfi: *Komplex mérésfeldolgozó alkalmazás fejlesztése Measurement Studio-ban villamos hálózatok elemzéséhez (Development of a Measurement Data Processing Application in Measurement Studio to Analyse Electrical Networks)*. XII. ENELKO (Nemzetközi Energetika-Elektrotechnika Konferencia) és XXI. SzámOkt (Nemzetközi Számítástechnika és Oktatás Konferencia), Kolozsvár (Romania), 6-9 October 2011. ISSN 1842-4546. pp.15-21.
- [33] I. Orlay: *A MEE Miskolci Szervezete az ÉMAKO és a PROLAN Zrt. közös szakmai napja*. Elektrotechnika: A Magyar Elektrotechnikai Egyesület Hivatalos Lapja, February 2012. Vol.105(02). pp.32-33.
- [34] E. Szabó: *Rugalmas és energiatakarékos közvilágítás hosszúhullámú radios rendszerrel*. Prolan Zrt, 58. Vándorgyűlés Konferencia és Kiállítás, 14-16 September 2011.
- [35] B. Kiss, T. Takács, G. Vámos, Zs. B. Gombás, Zs. Béla, G. M. Péter, F. Szűcs, I. Veisz: *Direkt és indirekt vezérlési lehetőségek megoldása a smart meteringben. T-görbe elemzési és ellenőrzési algoritmusok*.
- [36] Gy. Kmethy: *Okos fogyasztásmérés (Smart metering)*. MEE Smart Metering Konferencia, BMF Kandó Kálmán Főiskola, Budapest, 22 January 2009.
- [37] Á. Salacz: *Teljesítménygazdálkodási és közvilágítás szabályozási rendszer kialakítása új eszközökkel*. PROLAN Irányítástechnikai Zrt. előadása, Budakalász, 25 June 2009.
- [38] R. Bátorfi: *Electrical Power Quality and Efficiency Diagnostic System*. Proceedings. XIX IMEKO World Congress, Lisbon (Portugal), 6-11 September 2009. ISBN 978-963-88410-0-1.
- [39] A. Sz. Váradiné, E. Kovács, L. Radács, T. Szarka: *Villamos hálózatokon terjedő zavarok káros hatásai az automatizált termelési folyamatokra*. GÉP, LVI. August 2005. pp.54-64.
- [40] A. Sz. Váradiné, T. Szarka, L. Szentirmai: *Electrical Energy Quality and Drive Operation. International Scientific and Technical Conference, Efficiency and Power Quality (EPQ 2005) of Electrical Supply and Industrial Enterprises*. Mariupol (Ukraine), 2005. pp.26-29.
- [41] TR-16 Multirec: <http://www.rst.hu/harmr.html> (17 April 2012).
- [42] FLUKE: <http://www.fluke.com> (17 April 2012).
- [43] Natioanl Instruments Home: www.ni.com (National Instruments Kft. hivatalos homepage-e)
- [44] www.ieee.org
- [45] www.iec.ch
- [46] <http://www.rundsteuerung.de> (17 March 2012).
- [47] P. S. Wright: *An Overview of Harmonic and Flicker Emission Standards and Their Associated Measurements*. Power Engineering Journal, April 2001. Vol.15(2). pp.87-93.
- [48] S. H. Cho, G. Jang, S. H. Kwon, S. K. Joo: *Measurement and Testing Specifications of Voltage Flicker in 220 V/60 Hz Power Systems*. IET Science, Measurement & Technology, March 2009. Vol.3(2). pp.113-122.
- [49] D. Arlt, M. Stark, C. Eberlein: *Examples of International Flicker Requirements in High Voltage Networks and Real World Measurements*. 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), 9-11 October 2007. pp.1-4.
- [50] L. Ruiz Diaz: *Disturbances (Harmonics and Flicker) in Distribution Networks*. 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution-Part 1 (CIRED), 8-11 June 2009. pp.1-4.
- [51] J. J. Gutierrez, L. A. Leturiondo, J. Ruiz, A. Lazkano, P. Saiz, I. Azkarate: *Effect of the Sampling Rate on the Assessment of Flicker Severity Due to Phase Jumps*. IEEE Transactions on Power Delivery, October 2011. Vol.26(4). pp.2215-2222.
- [52] M. Rogoz, A. Bien, Z. Hanzelka: *The Influence of a Phase Change in the Measured Voltage on Flickermeter Response*. 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 12-15 September 2004. pp.333-337.
- [53] S. Nuccio: *A Digital Instrument for Measurement of Voltage Flicker*. IEEE Proceedings on Instrumentation and Measurement Technology Conference (Sensing, Processing, Networking), IMTC/97, 19-21 May 1997. Vol.1. pp.281-284.
- [54] S. Caldara, S. Nuccio, C. Spataro: *A Virtual Instrument for Measurement of Flicker*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, October 1998. Vol.47(5). pp.1155-1158.
- [55] S. Caldara, S. Nuccio, C. Spataro: *Digital Techniques for Flicker Measurement: Algorithms and*

- Implementations Analysis*. Proceedings of the 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), 1999. Vol.2. pp.656-661.
- [56] K. Srinivasan: *Digital Measurement of Voltage Flicker*. IEEE Transactions on Power Delivery, October 1991. Vol.6(4). pp.1593-1598.
- [57] T. Keppler, N. Watson, J. Arrillaga: *Computation of the Short-Term Flicker Severity Index*. IEEE Transactions on Power Delivery, October 2000. Vol.15(4). pp.1110-1115.
- [58] G. Neri, G. D. Cain, T. Salmon, A. Yardim: *A Microprocessor-Based Digital Flickermeter, Instrumentation and Measurement*. IEEE Transactions on Power Delivery, 1991. Vol.40(6). pp.1008-1014.
- [59] J. P. de Sousa Rocha, S. M. Deckmann: *Digital Flickermeter Implementation*. Proceedings of the 38th Midwest Symposium on Circuits and Systems, 13-16 August 1995. Vol.2. pp.757-760.
- [60] M. T. Chen: *Digital Algorithms for Measurement of Voltage Flicker*. IEE Proceedings on Generation, Transmission and Distribution, March 1997. Vol.144(2). pp.175-180.
- [61] D. Gallo, R. Langella, A. Testa: *Toward a New Flickermeter Based on Voltage Spectral Analysis*. Proceedings of the 2002 IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 2002. Vol.2. pp.573-578.
- [62] Chen Ming-Tang, Hsiao Sheng-Jen, Lu Chen-Wen: *Enhancement of FFT-Based Algorithm for Voltage Flicker Measurement*. 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP). 28 September - 01 October, 2008. pp.1-5.
- [63] C. M. Fallen, B. A. McDermott: *Development and Testing of a Real-Time Digital Voltage Flickermeter*. IEEE Transmission and Distribution Conference, Proceedings, 15-20 September 1996. pp.31-36.
- [64] Jin Haibin, Bin Wang, Jing Wu, Kai Jia: *A New Method for Power Flicker Measurement Based on Interpolated DFT*. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (I2MTC). 10-12 May 2011. pp.1-4.
- [65] G. Bucci, E. Fiorucci, D. Gallo, C. Landi: *Comparison among Traditional and New Digital Instruments for the Measurement of the Light Flicker Effect*. Proceedings of the 20th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC). 20-22 May 2003. Vol.1. pp.484-489.
- [66] J. Drapela, J. Slezingr: *Realization and Verification of Flickermeter Based on Voltage Peak Detection Method*. Proceedings. CIDEL 2010, Argentina.
- [67] A. Kuznietsov, D. Stade: *Precise Measurement of Voltage Flicker in Electric Supply Networks by Means of Data Acquisition System*. Proceedings of the 16th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), 1999. Vol.2. pp.650-655.
- [68] X. X. Yang, M. Kratz: *Power System Flicker Analysis by RMS Voltage Values and Numeric Flicker Meter Emulation*. IEEE Transactions on Power Delivery, July 2009. Vol.24(3). pp.1310-1318.
- [69] T. Keppler, N. R. Watson, J. Arrillaga, Shiun Chen: *Theoretical Assessment of Light Flicker caused by Sub- and Interharmonic Frequencies*. IEEE Transactions on Power Delivery, January 2003. Vol.18(1). pp.329-333.
- [70] C. Ming-Tang, A. P. Sakis Meliopoulos: *Wavelet-Based Algorithm for Voltage Flicker Analysis*. IEEE 9th International Conference on Harmonics and Quality of Power, October 2000. Vol.2. pp.732-738.
- [71] Xin-Ling Wen, Yu Chen: *Measurement of Voltage Fluctuation and Flicker in Electric Power System Based on Wavelet Transform*. International Conference on Wavelet Analysis and Pattern Recognition (ICWAPR), 2-4 November 2007. Vol.4. pp.1822-1826.
- [72] N. Köse, Ö. Salor, K. Leblebicioğlu: *Kalman Filtering Based Approach for Light Flicker Evaluation of Power Systems*. IET Generation, Transmission & Distribution, January 2011. Vol.5(1). pp.57-69.
- [73] A. Bien: *The Hilbert Transform Adaptation for Measuring Amplitude and Phase Low-Frequency Disturbances in Power System Voltage*. International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation (ISNCC), 10-13 June 2008. pp.1-6.
- [74] Kang Wei, Guo Jing, Li Heming, Yan Xiangwu: *Voltage Flicker Detection Based on Chirp-z Transform*. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 28-31 March 2010. pp.1-4.
- [75] M. Szlosek, B. Swiatek, Z. Hanzelka: *Application of Neural Networks to Voltage Fluctuations Measurement - Neural Networks Flickermeter*. International School on Nonsinusoidal Currents and Compensation (ISNCC), 10-13 June 2008. pp.1-5.
- [76] G. W. Chang, C. I. Chen: *A Comparative Study of Voltage Flicker Envelope Estimation Methods*. IEEE Power and Energy Society General Meeting-Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 20-24 July 2008. pp.1-6.
- [77] G.W. Chang, Chen Cheng-I, Huang Ya-Lun: *A Digital Implementation of Flickermeter in the Hybrid Time and Frequency Domains*. IEEE Transactions on Power Delivery, July 2009. Vol.24(3). pp.1475-1482.
- [78] L. Toivonen, J. Morsky: *Digital Multirate Algorithms for Measurement of Voltage, Current, Power and*

- Flicker. Proceedings of the IEEE Power Engineering Society, Transmission and Distribution Conference, 10-15 April 1994. pp.330-340.
- [79] J. Ruiz, A. Lazkano, E. Aramendi, L. A. Leturiondo: *Analysis of Sensitivity to the Main Parameters Involved in the Digital Implementation of the UIE Flickermeter*. 10th Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), 2000. Vol.2. pp.823-826.
- [80] A. Bertola, G. C. Lazaroïu, M. Roscia, D. Zaninelli: *A Matlab-Simulink Flickermeter Model for Power Quality Studies*. 11th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 12-15 September 2004. pp.734-738.
- [81] L. W. White, S. A. Bhattacharya: *Discrete Matlab-Simulink Flickermeter Model for Power Quality Studies*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, March 2010. Vol.59(3). pp.527-533.
- [82] B. P. Alencar, J. I. Gomes Filho, R. A. Melo, R. P. S. Leão: *A Flickermeter Design on LabVIEW Based on IEC61000-4-15. Research Study*.
- [83] D. Fregosi, L. W. White, E. Green, S. Bhattacharya, J. Watterson: *Digital Flickermeter Design and Implementation Based on IEC Standard*. IEEE Energy Conversion Congress and Exposition (ECCE), 12-16 September 2010. pp.4521-4526.
- [84] M. Mazadi, S. H. Hosseinian: *Flickermeter Simulation to Use in Power System Analysis Software*. 39th International Universities Power Engineering Conference (UPEC), 2004. Vol.2. pp. 917-923.
- [85] M. Piekarz, M. Szlosek, Z. Hanzelka, A. Bien, A. Stankiewicz, M. Hartman: *Comparative Tests of Flickermeters*. 10th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 6-9 October 2002. Vol.1. pp.220-227.
- [86] D. Gallo, C. Landi, N. Pasquino: *An Instrument for the Objective Measurement of Light Flicker*. Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), 16-19 May 2005. Vol.3. pp.1942-1947.
- [87] D. Stade, A. Kuznietsov, N. Yaremtchuk, H. Schau. *Error Analysis of Analogue-Digital Flickermeter*. Proceedings. 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, 14-18 October 1998. Vol.2. pp.1188-1193.
- [88] S. L. Huoy, S. S. Jamuar, R. M. Sidek, M. H. Marhaban: *Digital Signal Processing Based Waveform Generator for Flickermeter Calibration Test System*. 4th Student Conference on Research and Development (SCOReD), 27-28 June 2006. pp.108-111.
- [89] D. Gallo, C. Landi, N. Pasquino: *Design and Calibration of an Objective Flickermeter*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, December 2006. Vol.55(6). pp.2118-2125.
- [90] D. Gallo, C. Landi, R. Langella, A. Testa: *Implementation of a Test System for Advanced Calibration and Performance Analyses of Flickermeters*. Proceedings of the 20th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), 20-22 May 2003. Vol.2. pp.1518-1523.
- [91] G. Bucci, E. Fiorucci, F. Ciancetta: *The Performance Evaluation of IEC Flicker Meters in Realistic Conditions*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, November 2008. Vol.57(11). pp.2443-2449.
- [92] Kang Wei, Li He-ming, Yan Xiang-wu, Zhang Li-xia, Sun Fei-zhou: *A Modified Demodulation Method for Flicker Measurement*. International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion (SPEEDAM). 23-26 May 2006. pp.765-768.
- [93] J. Ruiz, J. J. Gutierrez, U. Irusta, A. Lazkano: *A Precise Analysis of the IEC Flickermeter When Subject to Rectangular Voltage Fluctuations*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, November 2009. Vol.58(11). pp.3839-3846.
- [94] P. Clarkson, P. S. Wright: *Sensitivity Analysis of Flickermeter Implementations to Waveforms for Testing to the Requirements of IEC 61000-4-15*. IET Science, Measurement & Technology, May 2010. Vol.4(3). pp.125-135.
- [95] A. K. Al-Othman, K. M. El-Naggar: *Voltage Flicker Measurement Using Particle Swarm Optimization Technique for Power Quality Assessment*. IEEE Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON), 16-19 May 2006. pp.1077-1082.
- [96] C. Matthews, P. Clarkson, P. M. Harris, W. G. K. Ihlenfeld, P. S. Wright: *Evaluation of Flicker Measurement Uncertainties by a Monte Carlo Method*. Conference on Precision Electromagnetic Measurements (CPEM), 13-18 June 2010. pp.141-142.
- [97] J. J. Gutierrez, J. Ruiz, S. Ruiz de Gauna: *Linearity of the IEC Flickermeter Regarding Amplitude Variations of Rectangular Fluctuations*. IEEE Transactions on Power Delivery, January 2007. Vol.22(1). pp.729-731.
- [98] M. G. Masi, L. Peretto, R. Tinarelli: *New Basis for the Development of the next-generation Flickermeters*. IEEE International Workshop on Applied Measurements for Power Systems (AMPS), 22-24 September 2010. pp. 90-94.

- [99] M. G. Masi, L. Peretto, R. Tinarelli: *Flicker Effect Analysis in Human Subjects: New Noninvasive Method for Next-Generation Flickermeter*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, September 2011. Vol.60(9). pp.3018-3025.
- [100] D. Gallo, C. Landi, R. Langella, A. Testa: *On the Use of the Flickermeter to Limit Low-Frequency Interharmonic Voltages*. IEEE Transactions on Power Delivery, October 2008. Vol.23(4). pp.1720-1727.
- [101] M. Maksić, I. Papic: *Calculation of Flicker Levels using Voltage Interharmonics*. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 25-29 July 2010. pp.1-6.
- [102] W. Xu: *Deficiency of the IEC Flicker Meter for Measuring Interharmonic-Caused Voltage Flickers*. IEEE Power Engineering Society General Meeting, 12-16 June 2005. pp.2326-2329.
- [103] J. Drapela: *A Time Domain Based Flickermeter with Response to High Frequency Interharmonics*. 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 28 September-01 October, 2008. pp.1-7.
- [104] R. Iuzzolino, W. G. K. Ihlenfeld: *High-Accuracy Methods and Measurement Procedures for Power Quality Parameters Using the Digital Synchronous Sampling Technique*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, April 2007. Vol.56(2). pp.426-430.
- [105] J. Ruiz, A. Ubierna, E. Aramendi, L. A. Leturiondo, J. Amantegui: *PC Based Multichannel System for Real Time Harmonics and Flicker Measuring*. 7th Mediterranean Electrotechnical Conference, Proceedings, 12-14 April 1994. Vol.3. pp.968-971.
- [106] H. Sharma, M. McGranaghan, J. Smith: *An Efficient Module for Flicker Assessment of Electric Arc Furnaces*. IEEE Power and Energy Society General Meeting - Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 20-24 July 2008. pp.1-5.
- [107] G. Brauner: *Flicker Prediction and Simulation in Public and Industrial Systems*. 14th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Part 1: Contributions, CIRED (IEE Conference Publication, No.438), 2-5 June 1997. Vol.2. pp. 1-5.
- [108] B. N. Ramos, J. L. de C. Parga: *An EMTP Study of Flicker Generation and Transmission in Power Systems due to the Operation of an AC Electric Arc Furnace*. 9th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Proceedings, 2000. Vol.3. pp.942-947.
- [109] N. Kose, O. Salor: *New Spectral Decomposition Based Approach for Flicker Evaluation of Electric Arc Furnaces*. Generation, Transmission & Distribution, IET, April 2009. Vol.3(4). pp.393-411.
- [110] X. Yang, M. Kratz: *Power System Flicker Analysis and Numeric Flicker Meter Emulation*. IEEE Lausanne Power Tech, 1-5 July 2007. pp.1534-1539.
- [111] Peter G. V. Axelberg, Math H. J. Bollen, Irene Y. H. Gu: *A Measurement Method for Determining the Direction of Propagation of Flicker and for Tracing a Flicker Source*. 18th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution (CIRED), 6-9 June 2005. pp.1-4.
- [112] T. Sankika, P. Lakshal, R. Duane, P. Sarath: *Flicker Transfer in Radial Power Systems*. Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 26-29 September 2004. pp.1-6.
- [113] M. Maksic, B. Blazic, I. Papic: *Comparison of Calculated and Measured Flicker Values for Two Different Network Topologies*. IEEE Bucharest PowerTech, 28 June-02 July, 2009. pp.1-8.
- [114] X. Yang, I. Papic: *Study of Flicker Propagation in Electric Grid by Modeling and on-site Flicker Measurements*. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 25-29 July 2010. pp.1-5.
- [115] C. Sharmeela, G. Uma, M. R. Mohan, K. Karthikeyan: *Voltage Flicker Analysis and Mitigation- Case Study in AC Electric Arc Furnace using PSCAD/EMTDC*. 2004 International Conference on Power System Technology (PowerCon). 21-24 November 2004. Vol.1. pp.707-712.
- [116] C. Mirra: *Flickermeter, Functional and Design Specifications*. UIE Publication 868, 1986.
- [117] *New Trend in Supply Problems of Arc Furnace for Steel Plants*. Technology Report for Electrical Engineering Society. No.72. 1978.
- [118] Wang Jidong, Liu Kun, Gao Yanjing, Yang Guanqing, Che Yanbo: *Flicker Calculation Based on the Instantaneous Reactive Power Theory*. 4th International Conference on Power Electronics Systems and Applications (PESA), 8-10 June 2011. pp.1-5.
- [119] E. Altintas, O. Salor, I. Çadırcı, M. Ermis: *A New Flicker Contribution Tracing Method Based on Individual Reactive Current Components of Multiple EAFs at PCC*. IEEE Transactions on Industry Applications, September-October 2010. Vol.46(5). pp.1746-1754.
- [120] O. Ozgun, A. Abur: *Flicker Study using a Novel Arc Furnace Model*. IEEE Transactions on Power Delivery, October 2002. Vol.17(4). pp.1158-1163.
- [121] A. A. Mahmoud, R. D. Stahlhut: *Modeling of a Resistance Regulated Arc Furnace*. IEEE Transactions on PAS, January 1985. Vol.PAS-104(1). pp.58-66.
- [122] Chau-Shing Wang, M. J. Devaney: *Simulation of Novel Phase-Controlled Flicker Compensator and its*

- Response to the UIE/EEC Flickermeter*. Proceedings of the 19th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), 2002. Vol.1. pp.115-120.
- [123] Chau-Shing Wang, M. J. Devaney: *Lamp Flicker Measurement and Mitigation*. Proceedings of the 20th IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), 20-22 May 2003. Vol.1. pp.355-360.
- [124] C. S. Chen, H. J. Chuang, C. T. Hsu, S. M. Tseng: *Stochastic Voltage Flicker Analysis and its Mitigation for Steel Industrial Power Systems*. IEEE Power Tech Proceedings, Porto, 2001. Vol.1.
- [125] J. Vorsic, V. Muzek, G. Skerbinek: *Stochastic Load Flow Analysis*. 6th Mediterranean Electrotechnical Conference, Proceedings, 1991. Vol.2. pp.1445-1448.
- [126] O. A. Klitin: *Stochastic Load Flow*. IEEE Transactions on PAS, Marc-April 1975. Vol.PAS-94(2). pp.229-309.
- [127] A. Papoulis: *Probability, Random Variables, and Stochastic Process*. McGraw-Hill, 2th Edition, 1984.
- [128] *Static VAR Compensators Models for Power Flow and Dynamic Performance Simulation*. IEEE Transactions on Power Systems, IEEE Special Stability Controls Working Group, February 1994. Vol.9(1). pp.220-240.
- [129] J. Jatskevich, O. Wasynczuk, L. Conrad: *A Method of Evaluating Flicker and Flicker-Reduction Strategies in Power Systems*. IEEE Transactions on Power Delivery, October 1998. Vol.13(4). pp.1481-1487.
- [130] Zhenguo Shao, Danyue Wu, Ronglin Zhang, Jian Kang: *Application of Flicker Source Location System in Fujian Grid*. Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), Asia-Pacific. 28-31 March 2010. pp.1-5.
- [131] M. Maksic, I. Papic: *Analysis of Flicker Propagation with Representative Samples of Network Voltage*. IEEE Transactions on Power Delivery, July 2011. Vol.26(3). pp.2066-2067.
- [132] N. Golovanov, G. C. Lazaroiu, M. Roscia, D. Zaninelli: *Power Quality Impact of High Capacity End-Users*. 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 28 September-October 1, 2008. pp.1-5.
- [133] M. Batkiewicz-Pantula, A. Klajn: *Characteristics of Flicker Depending on Network Loads*. 10th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), 15-17 September 2009. pp.1-5.
- [134] R. G. Alcorn, W. C. Beattie: *Power Quality Assessment from a Wave-Power Station*. 16th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution, Part 1: Contributions. CIRED, IEE Conference Publication, No. 482, 18-21 June 2001. Vol.4.
- [135] G. R. Peixoto, J. C. de Oliveira, F. A. de Oliveira: *A Proposal for Voltage Flicker Measurement in Electrical Power Systems*. Proceedings of the 38th Midwest Symposium on Circuits and Systems, 13-16 August 1995. Vol.2. pp.1309-1312.
- [136] M. Halpin, R. Cai, E. de Jaeger, I. Papic, S. Perera, X. Yang: *A Review of Flicker Objectives Related to Complaints Measurements, and Analysis Techniques*. 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution - Part 1 (CIRED), 8-11 June 2009. pp.1-4.
- [137] Å. Larsson: *Flicker Emission on Wind Turbines During Continuous Operation*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2002. Vol.17(1). pp.114-118.
- [138] T. Thiringer: *Flicker Contributions from Wind Turbine Installations*. IEEE Transactions on Energy Conversion, 2002. Vol.19(1). pp.157-163.
- [139] J. Schlabbach, D. Blume, T. Stephanblome: *Voltage Quality in Electric Power Systems*. London: Institution of Electrical Engineers, 2001.
- [140] L. Peretto, L. Rovati, G. Salvatori, R. Tinarelli, A. E. Emanuel: *Investigation on the Response of the Human Eye to the Light Flicker Produced by Different Lamps*. Proceedings of the IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), 24-27 April 2006. pp.37-42.
- [141] C. Rong, J. F. G. Cobben, J. M. A. Myrzik, J. H. Blom, W. L. Kling: *Flickermeter used for Different Types of Lamps*. 9th International Conference on Electrical Power Quality and Utilisation (EPQU), 9-11 October 2007. pp.1-6.
- [142] C. Rong, J. H. Blom, J. M. A. Myrzik, W. L. Kling: *New Flicker Weighting Curves for Different Lamp Types Based on the Lamp Light Spectrum*. 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 28 September-01 October, 2008. pp.1-6.
- [143] L. Peretto, C. E. Riva, L. Rovati, G. Salvatori, R. Tinarelli: *Experimental Evaluation of Flicker Effects on Human Subjects*. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings (IMTC), 1-3 May 2007. pp.1-5.
- [144] Chau-Shing Wang, M. J. Devaney, Shih-Wei Yang: *Decomposition of the IEC Flickermeter Weighting Curves (Light Flicker due to Fluctuating Current)*. Proceedings of the 21st IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference (IMTC), 18-20 May 2004. Vol.2. pp.1378-1382.
- [145] A. E. Emanuel, L. Peretto: *The Response of Fluorescent Lamp with Magnetic Ballast to Voltage Distortion*.

- IEEE Transactions on Power Delivery, January 1997. Vol.12(1). pp.289-295.
- [146] L. Brieger: *Effect of the Duration of Voltage Dip on Cyclic Light Flicker*. Industrial Study.
- [147] Wei-Nan Chang, Chi-Jui Wu, Shih-Shong Yen: *The Influence of Voltage Flicker on Residential Lamps*. International Conference on Power Electronics and Drive Systems, Proceedings, 26-29 May 1997. Vol.1. pp.392-396.
- [148] F. J. Azcondo, A. Ortiz, M. Maana, F. J. Diaz, C. Braas, C. Renedo, S. Perez, F. Delgado, R. Casanueva: *Effects of Flicker on Different Types of 150 W High-Pressure Sodium Lamps and Ballasts*. Conference Record of the 2007 IEEE Industry Applications Conference (42nd IAS Annual Meeting), 23-27 September 2007. pp.833-838.
- [149] M. Manana, A. Ortiz, C. Renedo, S. Perez, F. Delgado, F. J. Azcondo, F. J. Diaz, C. Branas, R. Casanueva: *Comparison of Flicker Sensitivity in HPS Lamps*. IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), 4-7 June 2007. pp.3002-3007.
- [150] L. Frater, N. Watson: *Light Flicker Sensitivity of High Efficiency Compact Fluorescent Lamps*. Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 9-12 December 2007. pp.1-6.
- [151] M. J. Ouellette, R. Arseneau: *The Effects of Undervoltage on the Performance of Compact Fluorescent Systems*. Conference Record of the 1992 IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 4-9 October 1992. Vol.2. pp.1872-1879.
- [152] B. Heffernan, L. Frater, N. Watson: *LED Replacement for Fluorescent Tube Lighting*. Australasian Universities Power Engineering Conference (AUPEC), 9-12 December 2007. pp.1-6.
- [153] K. Taekhyun, M. Rylander, E. J. Powers, W. M. Grady, A. Arapostathis: *LED Lamp Flicker Caused by Interharmonics*. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference Proceedings (IMTC), 12-15 May 2008. pp.1920-1925.
- [154] Chau-Shing Wang, M. J. Devaney: *Incandescent Lamp Flicker Mitigation and Measurement*. IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement, August 2004. Vol.53(4). pp.1028-1034.
- [155] Chau-Shing Wang: *Flicker-Insensitive Light Dimmer for Incandescent Lamps*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, February 2008. Vol.55(2). pp.767-772.
- [156] G. C. Montanari, L. Peretto: *A Model for Fluorescent Lamp Flicker in the Presence of Voltage Distortion*. 8th International Conference on Harmonics and Quality of Power, Proceedings, 14-18 October 1998. Vol.2. pp.1206-1210.
- [157] M. G. Masi, L. Peretto, R. Tinarelli, L. Rovati: *Modeling of the Physiological Behavior of Human Vision System under Flicker Condition*. 13th International Conference on Harmonics and Quality of Power (ICHQP), 28 September-01 October, 2008. pp.1-6.
- [158] G. C. Heffner, C. A. Goldman: *"Demand Responsive Programs-an Emerging Resource for Competitive Electricity Markets?"*. Proceedings of International Energy Program Evaluation Conference, Salt Lake City, UT, 22-24 August 2001.
- [159] M. Tokudome, T. Senjyu, A. Yona, T. Funabashi: *Frequency and Voltage Control of Isolated Island Power Systems by Decentralized Controllable Loads*. Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 26-30 October 2009. pp.1-4.
- [160] Trieu C. Chieu, Liangzhao Zeng: *Real-Time Performance Monitoring for an Enterprise Information Management System*. IEEE International Conference on e-Business Engineering, Proceedings, 2008. pp.429-434.
- [161] E. F. Codd, S. B. Codd, C. T. Salley: *Providing OLAP (On-Line Analytical Processing) to User-Analysis: An IT Mandate*. E. F. Codd & Associates, 1993.
- [162] M. H. Nehrir, Runmin Jia, D. A. Pierre, D. J. Hammerstrom: *Power Management of Aggregate Electric Water Heater Loads by Voltage Control*. IEEE Power Engineering Society General Meeting, 24-28 June 2007. pp.1-6.
- [163] N. D. Hatziargyriou, T. S. Karakatsanis, M. P. Papadopoulos: *Probabilistic Calculations of Aggregate Storage Heating Loads*. IEEE Transactions on Power Delivery, July 1990. Vol.5(3).
- [164] M. Newborough, P. Augood: *Demand-side Management Opportunities for the UK Domestic Sector*. IEE Proceedings Generation Transmission Distribution, 1999. pp.283-293.
- [165] I. Mansouri, M. Newborough, D. Probert: *Energy Consumption in the UK Households: Impact of Domestic Electrical Appliances*. Applied Energy, 1996. Vol.54(3). pp.211-285.
- [166] I. R. Yao, K. A. Steemers: *A method of Formulating Energy Load Profiles for Domestic Buildings in the UK*. Energy and Buildings, 2005. Vol.37. pp.63-671.
- [167] N. Kreutzer, I. Knight: *Social Housing Electrical Energy Consumption Profiles in the United Kingdom*. 2nd International Solar Cities Congress, Oxford, April 2006.
- [168] J. V. Paatero, P.D. Lund: *A Model for Generating Household Electricity Load Profiles*. International Journal

- p>of Energy Research, 2006. Vol.30(5). pp.273–290.
- [169] Y. G. Yohanis, J. D. Mondol, A. Wright, B. Norton: *Real-life Energy use in the UK: How Occupancy and Dwelling Characteristics Affect Domestic Electricity Use*. Energy and Buildings, 2008. Vol.40. pp.1053-1059.
- [170] P. Bennich, A. Persson: *Proceedings of the Methodology and First Results from End-Use Metering in 400 Swedish Households*. Energy Efficiency in Domestic Appliances and Lighting (EEDAL) Conference, London, June 2006.
- [171] V. Hamidi, F. Li: *Demand Response in the UK's Domestic Sector*. Electric Power Systems Research, 2009. Vol.79. pp.1722-1726.
- [172] R. A. Abdoo, G. Lokken, R. f. Bischke: *Load Management Implementation: Decisions, Opportunities and Operation*, 1982. Vol.PAS-101(10). pp.3902-3906.
- [173] E. J. Davis: *Impact of Several Major Load Management Projects*, 1982. Vol.PAS-101(10). pp.3885-3891.
- [174] M. U. Kobe. B.E., A. C. Tsoi: *Modelling of Domestic Hot-Water Heater Load from Online Operating Records and some Applications*. IEE Proceedings, September 1986. Vol.133(6).
- [175] J. C. Laurent, R. P. Malhame: *A Physically-Based Computer Model of Aggregate Electric Water Heating Loads*. IEEE Transactions on Power Systems, August 1994. Vol.9(3). pp.1209-1217.
- [176] M. Orphelin, J. Adnot: *Improvement of Methods for Reconstructing Water Heating Aggregated Load Curves and Evaluating Demand-Side Control Benefits*. IEEE Transactions on Power Systems, November 1999. Vol.14(4). pp.1549-1555.
- [177] J. H. Reed, J. C. Thompson, R. P. Broadwater: *Analysis of Water Heater Data from Athens Load Control Experiment*. IEEE Transactions on Power Delivery, April 1989. Vol.4(2). pp.1232-1238.
- [178] J.-C. Laurent, G. Desaulniers, R. P. Malhame, F. Soumis: *A Column Generation Method for Optimal Load Management via Control of Electric Water Heaters*. IEEE Transactions on Power Systems, August 1995. Vol.10(3). pp.1389-1400.
- [179] J. C. van Tonder, I. E. Lane: *A Load Model to Support Demand Management Decisions on Domestic Storage Water Heater Control Strategy*. IEEE Transactions on Power Systems, November 1996. Vol.11(4). pp.1844-1849.
- [180] I. E. Lane, N. Beute: *A Model of the Domestic Hot Water Load*. IEEE Transactions on Power Systems, November 1996. Vol.11(4). pp.1850-1855.
- [181] R. E. Mortensen, K. P. Haggerty: *A Stochastic Computer Model for Heating and Cooling Loads*. IEEE Transactions on Power Systems, August 1988. Vol.3(3). pp.1213-1219.
- [182] A. M. Breipohl, F. N. Lee: *A Stochastic Load Model for Use in Operating Reserve Evaluation*. 3rd International Conference on Probabilistic Methods Applied to Electric Power Systems, 3-5 July 1991. pp.123-126.
- [183] P. Palensky, F. Kupzog, A. A. Zaidi, Kai Zhou: *Modeling Domestic Housing Loads for Demand Response*. 34th Annual Conference of IEEE Industrial Electronics (IECON), 10-13 November 2008. pp.2742-2747.
- [184] C. Ucak, R. Caglar: *The Effects of Load Parameter Dispersion and Direct Load Control Actions on Aggregated Load*. International Conference on Power System Technology (POWERCON). Proceedings, 18-21 August 1998. Vol.1.
- [185] Han Rubing: *Discussion on the Application Prospect of Cooling Water in Hot Summer and Cold Winter Zone*. International Conference on Computer Distributed Control and Intelligent Environmental Monitoring (CDCIEM), 19-20 February 2011. pp.716-718.
- [186] H. Salehfar, A. Wehbe: *Direct Control of Residential Water Heater Loads to Reduce Power System Distribution Losses*. IEEE Power Engineering Society Winter Meeting, 2001. Vol.3. pp.1455-1460.
- [187] M. W. Gustafson, J. S. Baylor, G. Epstein: *Direct Water Heater Load Control-Estimating Program Effectiveness Using an Engineering Model*. IEEE Transactions on Power Systems, February 1993. Vol.8(1). pp.137-143.
- [188] P. L. William: *Energy Interactions of Electric Clothes Dryers and Heat Pump Water Heaters with Building Equipment Systems*. IEEE Transactions on Industry Applications, November 1984. Vol.IA-20(6). pp.1517-1524.
- [189] S. Rahman, M. Baba: *An Integrated Load Forecasting-Load Management Simulator: its Design and Performance*. IEEE Transactions on Power Systems, February 1989. Vol.4(1). pp.184-189.
- [190] A. Molina, A. Gabaldon, J. A. Fuentes, F. J. Canovas: *Approach to Multivariable Predictive Control Applications in Residential HVAC Direct Load Control*. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2000. Vol.3. pp.1811-1816.
- [191] M. H. Nehrir, P. S. Dolan, V. Gerez, W. J. Jameson: *Development and Validation of a Physically-Based Computer Model for Predicting Winter Electric Heating Loads*. IEEE Transactions on Power Systems,

- February 1995. Vol.10(1). pp.266-272.
- [192] A. Sepulveda, L. Paull, W. G. Morsi, H. Li, C. P. Diduch, Liuchen Chang: *A Novel Demand Side Management Program Using Water Heaters and Particle Swarm Optimization*. IEEE Electric Power and Energy Conference (EPEC), 25-27 August 2010. pp.1-5.
 - [193] L. Paull, D. MacKay, H. Li, Liuchen Chang: *A Water Heater Model for Increased Power System Efficiency*. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE), 3-6 May 2009. pp.731-734.
 - [194] J. Runmin, M. H. Nehrir, D. A. Pierre: *Voltage Control of Aggregate Electric Water Heater Load for Distribution System Peak Load Shaving Using Field Data*. 39th North American Power Symposium (NAPS), September 30-2 October, 2007. pp.492-497.
 - [195] H. G. Weller: *Managing the Instantaneous Load Shape Impacts Caused by the Operation of a Large-Scale Direct Load Control System*. IEEE Transactions on Power Systems, February 1988. Vol.3(1). pp.197-199.
 - [196] Ning Lu, D. P. Chassin: *A State-Queueing Model of Thermostatically Controlled Appliances*. IEEE Transactions on Power Systems, August 2004. Vol.19(3). pp.1666-1673.
 - [197] Ning Lu, P. David, S. E. Widergren: *Modeling Uncertainties in Aggregated Thermostatically Controlled Loads Using a State Queueing Model*. IEEE Transactions on Power Systems, May 2005. Vol.20(2). pp.725-733.
 - [198] D. P. Chassin, J. C. Fuller: *On the Equilibrium Dynamics of Demand Response in Thermostatic Loads*. Proceedings of the 44th Hawaii International Conference on System Sciences, 2011. pp.1-6.
 - [199] N. E. Ryan, S. D. Braithwait, J. T. Powers, B. A. Smith: *Generalizing Direct Load Control Program Analysis: Implementation of the Duty Cycle Approach*. IEEE Transactions on Power Systems, February 1989. Vol.4. pp.293-299.
 - [200] H. Salehfar, A. D. Patton: *Modeling and Evaluation of the System Reliability Effects of Direct Load Control*. IEEE Transactions on Power Systems, August 1989. Vol.4(3). pp.1024-1030.
 - [201] J. Pienaar, J. Delpont: *Demand Control Unit Supporting the New Dual Element Hot Water System*. Specialist Mechanical Engineers. Totiusdal, South Africa and EEMS (Pty) Ltd.
 - [202] G. J. Delpont: *Achieving Energy Efficiency for Hot Water Cylinders (Geysers) with the New Dual Element System*. Proceedings of 14th Domestic Use of Energy Conference, Cape Town, 4-6 April 2006. pp.57-62.
 - [203] J. Kondoh, Ning Lu, D. J. Hammerstrom: *An Evaluation of the Water Heater Load Potential for Providing Regulation Service*. IEEE Transactions on Power Systems, August 2011. Vol.26(3). pp.1309-1316.
 - [204] I. Cohen, C. C. Wang: *An Optimization Method for Load Management Scheduling*. IEEE Transactions on Power Systems, 1988. Vol.3(2). pp.612-628.
 - [205] Y. Y. Hsu, C. C. Su: *Dispatch of Direct Load Control Using Dynamic Programming*. IEEE Transactions on Power Systems, 1991. Vol.6(3). pp.1056-1061.
 - [206] W. C. Chu, B. K. Chen, C. K. Fu: *Scheduling of Direct Load Control to Minimize Load Reduction for a Utility Suffering from Generation Shortage*. IEEE Transactions on Power Systems, 1993. Vol.8(4). pp.1525-1530.
 - [207] J. C. Chen, F. N. Lee, A. M. Breipohl, R. Adapa: *Scheduling Direct Load Control to Minimize System Operational Cost*. IEEE Transactions on Power Systems, 1995. Vol.10(4). pp.1994-2001.
 - [208] F. A. Wolak: *Residential Customer Response to Real-time Pricing: The Anaheim Critical Peak Pricing Experiment*. 14 February 2007. Online available: <http://repositories.cdlib.org/upei/csem/CSEMWP-151>.
 - [209] Z. Wei, A. Feliachi: *Residential Load Control through Realtime Pricing Signals*. Proceedings of 35th South Eastern Symposium on System Theory, 2003. pp.269-272.
 - [210] K.-H. Ng, G. B. Sheble: *Direct Load Control-A Profit-Based Load Management Using Linear Programming*. IEEE Transactions on Power Systems, May 1998. Vol.13(2). pp.688-694.
 - [211] Jia-Yo Chiang, A. M. Breipohl, F. N. Lee, R. Adapa: *Estimating the Variance of Production Cost Using a Stochastic Load Model*. IEEE Transactions on Power Systems, November 2000. Vol.15(4). pp.1212-1217.
 - [212] A. Moholkar, P. Klinkhachorn, A. Feliachi: *Effects of Dynamic Pricing on Residential Electricity Bill*. IEEE Transactions on Power Systems, 2004. Vol.2. pp.1030-1035.
 - [213] *Ripple Control Command System Landis+Gyr FPS, Load Management*, last view: 25 May 2012, <http://www.landisgyr.eu>.
 - [214] E. Huyghe, S. Claquin, F. Rocaries, Y. Hamam: *An Adaptive Fuzzy Controller for a Non Linear Thermal System*. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (Humans, Information and Technology), Proceedings, 2-5 October 1994. Vol.1. pp.448-452.
 - [215] M. H. Nehrir, B. J. LaMeres, V. Gerez: *A Customer-Interactive Electric Water Heater Demand-Side Management Strategy Using Fuzzy Logic*. IEEE Proceedings of Power Engineering Society 1999 Winter Meeting. Vol.1. pp.433-436.

- [216] M. H. Nehrir, B. J. LaMeres: *A Multiple-Block Fuzzy Logic-Based Electric Water Heater Demand-Side Management Strategy for Leveling Distribution Feeder Demand Profile*. Electric Power Systems Research, 2000. Vol.56. pp.225–230.
- [217] K. Elgazzar, H. Li, Liuchen Chang: *A Centralized Fuzzy Controller for Aggregated Control of Domestic Water Heaters*. Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering (CCECE). 3-6 May 2009. pp.1141-1146.
- [218] K. Bhattacharyya, M. L. Crow: *A Fuzzy Based Load Model for Power System Direct Load Control*. Proceedings of the 4th IEEE Conference on Control Applications, 28-29 September 1995. pp.27-32.
- [219] K. Bhattacharyya, M. L. Crow: *A Fuzzy Logic Based Approach to Direct Load Control*. IEEE Transactions on Power Systems, May 1996. Vol.11(2). pp.708-714.
- [220] H. Salehfar, P. J. Noll, B. J. LaMeres, M. H. Nehrir, V. Gerez: *Fuzzy Logic-Based Direct Load Control of Residential Electric Water Heaters and Air Conditioners Recognizing Customer Preferences in a Deregulated Environment*. IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 1999. Vol.2. pp.1055-1060.
- [221] L. Yao, H.-R. Lu: *Optimization of Two-Way Direct Load Control Based on Fuzzy Linear Programming*. IEEE International Conference on Fuzzy Systems, IEEE World Congress on Computational Intelligence (FUZZ-IEEE), 1-6 June 2008. pp.1894-1901.
- [222] Y. M. Atwa, E. F. El-Saadany, M. M. Salama: *DSM Approach for Water Heater Control Strategy Utilizing Elman Neural Network*. IEEE Canada Electrical Power Conference (EPC). 25-26 October 2007. pp.382-386.
- [223] G. van Harmelen, G. J. Delport: *Multi-Level Expert-Modelling for the Evaluation of Hot Water Load Management Opportunities in South Africa*. IEEE Transactions on Power Systems, November 1999. Vol.14(4). pp.1306-1311.
- [224] M. W. Gustafson, J. S. Baylor, G. Epstein: *Estimating Air Conditioning Load Control Effectiveness Using an Engineering Model*. IEEE Transactions on Power Systems, August 1993. Vol.8(3). pp.972-978.
- [225] J. B. Oliver: *Radio Control of Water Heaters and Distribution Station Voltage Regulators*. Presented at the IEEE Summer Power Meeting, June 1969.
- [226] B. F. Hastings: *Ten Years of Operating Experience with a Remote Controlled Water Heater Load Management System at Detroit Edison*. IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems, July 1980. Vol.PAS-99(4). pp.1437-1441.
- [227] J. J. Bzura: *Radio Control of Water Heaters in Rhode Island*. IEEE Transactions on Power Systems, February 1989. Vol.4(1). pp.26-29.
- [228] M. S. Zolpirani, W. G. Morsi, H. Li, C. P. Diduch, L. Chang: *A Centralized Controller to Control Power Demands of Electric Water Heaters for Peak Shaving of Total Household Power Demands*. IEEE Electric Power and Energy Conference (EPEC), 25-27 August 2010. pp.1.
- [229] L. Yao, W.-C. Chang, R. L. Yen: *An Iterative Deepening Genetic Algorithm for Scheduling of Direct Load Control*. IEEE Transactions on Power Systems, August 2005. Vol.20(3). pp.1414-1421.
- [230] Leehter Yao, Kai-Chin Hsieh: *Scheduling of Direct Load Control by a Recursive Genetic Algorithm*. IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics; 11-14 October 1998. Vol.3. pp.2460-2465.
- [231] Duy Long Ha, Florent Frizon de Lamotte, Quoc Hung Huynh: *Real-Time Dynamic Multilevel Optimization for Demand-side Load Management*. International Journal of Management Science and Engineering Management, 2008. Vol.3(4). pp.243-252.
- [232] Huibin Sui, Ying Sun, Wei-Jen Lee: *A Demand Side Management Model Based on Advanced Metering Infrastructure*. 4th International Conference on Electric Utility Deregulation and Restructuring and Power Technologies (DRPT), 6-9 July 2011. pp.1586-1589.
- [233] Y. Suhara, T. Nakabe, G. Mine, H. Nishi: *Distributed Demand Side Management System for Home Energy Management*. 36th Annual Conference on IEEE Industrial Electronics Society (IECON), 7-10 November 2010. pp.2430-2435.
- [234] K. Wacks: *The Impact of Home Automation on Power Electronics*. Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1993. pp.3-9.
- [235] Q. B. Dam, S. Mohagheghi, J. Stoupis: *Intelligent Demand Response Scheme for Customer Side Load Management*. IEEE Energy 2030 Conference, 17-18 November 2008. pp.1-7.
- [236] W.-C. Chu, B.-K. Chen, C.-K. Fu: *Scheduling of Direct Load Control to Minimize Load Reduction for a Utility Suffering from Generation Shortage*. IEEE Transactions on Power Systems, November 1993. Vol.8(4). pp.1525-1530.
- [237] C.-M. Chu, T.-L. Jong, Y.-W. Huang: *A Direct Load Control of Airconditioning Loads with Thermal Comfort Control*. IEEE in Power Engineering Society General Meeting, 12-16 June 2005. Vol.1. pp.664-669.
- [238] A. Mohsenian-Rad, V. W. S. Wong, J. Jatskevich, R. Schober, A. Leon-Garcia: *Autonomous Demand-Side Management Based on Game-Theoretic Energy Consumption Scheduling for the Future Smart Grid*. IEEE

- Transactions on Smart Grid, December 2010. Vol.1(3). pp.320-331.
- [239] P. Wang, J. Y. Huang, Y. Ding, P. Loh, L. Goel: *Demand Side Load Management of Smart Grids Using Intelligent Trading/Metering/ Billing System*. IEEE Trondheim PowerTech, 19-23 June 2011. pp.1-6.
- [240] Chen Xiang-ting, Zhou Yu-hui, Duan Wei, Tang Jie-bin, Guo Yu-xiao: *Design of Intelligent Demand Side Management System Respond to Varieties of Factors*. China International Conference on Electricity Distribution (CICED), 13-16 September 2010. pp.1-5.
- [241] Ali Vojdani: *Smart Integration - The Smart Grid Needs Infrastructure, That Is Dynamic and Flexible*. IEEE Power & Energy Magazine, 2008. pp.71-79.
- [242] G. C. Heffner, C. A. Goldman, M. M. Moezzi: *Innovative Approaches to Verifying Demand Response of Water Heater Load Control*. IEEE Transactions on Power Delivery, January 2006. Vol.21(1). pp.388-397.
- [243] H. Kobayashi, M. Asari, H. Hatta: *Integrated Control Techniques of Supply and Demand for Japanese Style Smart Grid*. IEEE Power and Energy Society General Meeting, 25-29 July 2010. pp.1-7.
- [244] Zhang Xudong, Lu Jianming, Sun Hao, Ma Xiangchun: *Orderly Consumption and Intelligent Demand-side Response Management System under Smart Grid*. Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 28-31 March 2010. pp.1-4.
- [245] Yen-Haw Chen, Yen-Hong Chen, Ming-Che Hu: *Optimal Energy Management of Microgrid Systems in Taiwan*. IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT), 17-19 January 2011. pp.1-9.
- [246] C. W. Gellings: *The Concept of Demand-Side Management for Electric Utilities*. Proceedings of the IEEE, 1985. Vol.73(10). pp.1468-1470.
- [247] *The Electricity Commission of New Zealand*. 2008. Online available: www.electricitycommission.govt.nz.
- [248] R. F. Situ, N.-K. C. Nair: *Application of Wavelet Transform Techniques towards volatility Analysis in New Zealand Electricity Market*. Proceedings of AUPEC 2007, Perth, WA (Australia), 9-12 December 2007.
- [249] A. M. Khudhair, M. M. Farid: *Use of Phase Change Materials for Thermal Comfort and Peak Load Shifting: Theoretical & Experimental Investigations*. ISES Solar World Congress (SWC2007), Beijing, (China), 2007.
- [250] N.-K. C. Nair, R. Nayagam, R. Francis. *New Zealand Utility Experience with Demand Side Management*. Proceedings of IEEE PES General Meeting, Pittsburgh (USA), 20-24 July 2008.
- [251] A. Neuberg: *Ripple Control in the Czech Republic and Demand Side Management*. 20th International Conference and Exhibition on Electricity Distribution-Part 1 (CIRED), 8-11 June 2009. pp.1-5.
- [252] R. Hawley: *Advanced Control of Energy Consumption*. IEE Seminar on Practical Experiences with Predictive Control (Ref. No. 2000/023), 2000. pp.401-410.

FÜGGELÉK

1.sz. FÜGGELÉK

Korrektációs tényezők különböző hálózati feszültség és frekvencia kombinációkra [17] szerint

A [17]-e szabvány, a villogásmérés komplex átviteli karakterisztikáját ezen itt definiált súlyozó paraméterekkel korrigálja, amelyre akkor van csak szükség, ha 230 V/ 50 Hz-es villamosenergia-hálózattól eltérő feszültség-amplitudójú vagy/és frekvenciájú helyen történnek a villogásmérések.

Voltage and frequency	Correction factor	Reference table
220 V, 50 Hz	0,97	230 V, 50 Hz
220 V, 60 Hz	0,97	230 V, 60 Hz
100 V, 50 Hz	0,90	120 V, 50 Hz
100 V, 60 Hz	0,90	120 V, 60 Hz

2.sz. FÜGGELÉK

Javasolt paraméter-értékek (izzó lámpára) [17] szerint

A [17]-e szabvány, a villogásmérés komplex átviteli függvényére ezen paraméter-konstansokat írja elő, amelyekkel a lámpa-szem-agy nemlineáris válaszára jellemző átviteli karakterisztikáját állítja be.

Variable	230 V lamp	120 V lamp
k	1,748 02	1,635 7
λ	$2 \cdot \pi \cdot 4,059\ 81$	$2 \cdot \pi \cdot 4,167\ 375$
ω_1	$2 \cdot \pi \cdot 9,154\ 94$	$2 \cdot \pi \cdot 9,071\ 69$
ω_2	$2 \cdot \pi \cdot 2,279\ 79$	$2 \cdot \pi \cdot 2,939\ 902$
ω_3	$2 \cdot \pi \cdot 1,225\ 35$	$2 \cdot \pi \cdot 1,394468$
ω_4	$2 \cdot \pi \cdot 21,9$	$2 \cdot \pi \cdot 17,315\ 12$
NOTE Overall accuracy of the block 3 transfer function is achieved by compliance with the test specifications in Clause 6.		

3.sz. FÜGGELÉK

Az online (digitális) villogásmérő modul komplex átviteli függvényének közelítése; a digitális szűrőtervezés lépéseinek részletezése

$$A(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \cdot \frac{1 + \frac{s}{\omega_2}}{(1 + \frac{s}{\omega_3})(1 + \frac{s}{\omega_4})} = \frac{A_{\text{számláló}}(s)}{A_{\text{nevező}}(s)}$$

Első lépésként a *számláló egyszerűsítése* történik:

$$A_{\text{számláló}}(s) = k\omega_1 s \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_2}\right) = k\omega_1 s + \frac{k\omega_1}{\omega_2} s^2 = a_1 s + a_2 s^2$$

$$a_1 = k\omega_1 \quad a_2 = \frac{k\omega_1}{\omega_2}$$

Második lépésben *nevező egyszerűsítése* történik:

$$A_{\text{nevező}}(s) = (s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_3}\right) \cdot \left(1 + \frac{s}{\omega_4}\right)$$

$$A_{\text{nevező}}(s) = (s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2) \cdot \left(1 + s \frac{\omega_3 + \omega_4}{\omega_3 \cdot \omega_4} + s^2 \frac{1}{\omega_3 \omega_4}\right)$$

Az $A_{\text{nevező}}(s)$ további egyszerűsítése után a következő adódik:

$$A_{\text{nevező}}(s) = b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3 + b_4 s^4$$

$$b_1 = \omega_1^2 \quad b_2 = 2\lambda + \frac{\omega_1^2 \cdot (\omega_3 + \omega_4)}{\omega_3 \cdot \omega_4} \quad b_3 = 1 + \frac{2\lambda \cdot (\omega_3 + \omega_4) + \omega_1^2}{\omega_3 \cdot \omega_4}$$

$$b_3 = \frac{\omega_3 + \omega_4 + 2\lambda}{\omega_3 \cdot \omega_4} \quad b_4 = \frac{1}{\omega_3 \cdot \omega_4}$$

$$A(s) = \frac{A_{\text{számláló}}(s)}{A_{\text{nevező}}(s)} = \frac{a_1 s + a_2 s^2}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3 + b_4 s^4} = \frac{U_{\text{ki}}(s)}{U_{\text{be}}(s)}$$

Az egyszerűsítéshez felhasznált további összefüggések:

$$s = \frac{2}{T_0} \cdot \frac{1 - z^{-1}}{1 + z^{-1}}, \quad T = T_0$$

$$s^2 = \frac{4}{T^2} \cdot \frac{(1 - z^{-1})^2}{(1 + z^{-1})^2} = \frac{4}{T^2} \cdot \frac{1 - 2z^{-1} + z^{-2}}{1 + 2z^{-1} + z^{-2}}$$

$$s^3 = \frac{8}{T^3} \cdot \frac{(1 - z^{-1})^3}{(1 + z^{-1})^3} = \frac{8}{T^3} \cdot \frac{1 - 3z^{-1} + 3z^{-2} - z^{-3}}{1 + 3z^{-1} + 3z^{-2} + z^{-3}}$$

$$s^4 = \frac{16}{T^4} \cdot \frac{(1-z^{-1})^4}{(1+z^{-1})^4} = \frac{16}{T^4} \cdot \frac{1-4z^{-1}+6z^{-2}-4z^{-3}+z^{-4}}{1+4z^{-1}+6z^{-2}+4z^{-3}+z^{-4}}$$

Behelyettesítve a Tustin-formulát, történik az áttérés a z -tartományba:

$$\frac{U_{ki}(s)}{U_{be}(s)} = \frac{a_1 s + a_2 s^2}{b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3 + b_4 s^4}$$

$$U_{be}(s)(a_1 s + a_2 s^2) = U_{ki}(s)(b_0 + b_1 s + b_2 s^2 + b_3 s^3 + b_4 s^4)$$

$$\begin{aligned} U_{be}(z) \left(a_1 \frac{2}{T} \cdot \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} + a_2 \frac{4}{T^2} \cdot \frac{(1-z^{-1})^2}{(1+z^{-1})^2} \right) = \\ = U_{ki}(s) \left(b_0 + b_1 \frac{2}{T} \cdot \frac{1-z^{-1}}{1+z^{-1}} + b_2 \frac{4}{T^2} \cdot \frac{(1-z^{-1})^2}{(1+z^{-1})^2} + b_3 \frac{8}{T^3} \cdot \frac{(1-z^{-1})^3}{(1+z^{-1})^3} + b_4 \frac{16}{T^4} \cdot \frac{(1-z^{-1})^4}{(1+z^{-1})^4} \right) \end{aligned}$$

A kapott összefüggés $(1+z^{-1})^4$ -el történő átszorzása után, bal/jobbs oldalra szétvága az egyenletet, azokat külön-külön egyszerűsítve, a következők adódnak:

$$\begin{aligned} U_{BAL}(z) = U_{be}(z) \left(a_1 \frac{2}{T} \cdot (1-z^{-1})(1+z^{-1})^3 + a_2 \frac{4}{T^2} \cdot (1-z^{-1})^2(1+z^{-1})^2 \right) \\ U_{JOBB}(z) = U_{ki}(z) \left(b_0 \cdot (1+z^{-1})^4 + b_1 \cdot \frac{2}{T} \cdot (1-z^{-1}) \cdot (1+z^{-1})^3 + b_2 \cdot \frac{4}{T^2} \cdot (1-z^{-1})^2 \cdot (1+z^{-1})^2 + \right. \\ \left. + b_3 \cdot \frac{8}{T^3} \cdot (1-z^{-1})^3 \cdot (1+z^{-1}) + b_4 \cdot \frac{16}{T^4} \cdot (1-z^{-1})^4 \right) \end{aligned}$$

Egyszerűsítés a BAL oldalon:

$$U_{BAL}(z) = U_{be}(z) \left(a_1 \frac{2}{T} \cdot (1-z^{-1}) \cdot (1+3z^{-1}+3z^{-2}+z^{-3}) + a_2 \frac{4}{T^2} \cdot (1-2z^{-1}+z^{-2}) \cdot (1+2z^{-1}+z^{-2}) \right)$$

$$U_{BAL}(z) = U_{be}(z) \left(a_1 \frac{2}{T} \cdot (1+2z^{-1}-2z^{-3}-z^{-4}) + a_2 \frac{4}{T^2} \cdot (1-2z^{-2}+z^{-4}) \right)$$

$$U_{BAL}(z) = U_{be}(z) \left(\frac{2a_1}{T} + \frac{4a_2}{T^2} + \frac{4a_1}{T} z^{-1} - \frac{8a_2}{T^2} z^{-2} - \frac{4a_1}{T} z^{-3} + \left(\frac{4a_2}{T^2} - \frac{2a_1}{T} \right) z^{-4} \right)$$

Ha:

$$a_{0x} = \frac{2a_1}{T} + \frac{4a_2}{T^2}$$

$$a_{1x} = \frac{4a_1}{T}$$

$$a_{2x} = \frac{-8a_2}{T^2}$$

$$a_{3x} = \frac{-4a_1}{T}$$

$$a_{4x} = \frac{4a_2}{T^2} - \frac{2a_1}{T}$$

Akkor:

$$U_{BAL}(z) = U_{be}(z)(a_{0x} + a_{1x}z^{-1} + a_{2x}z^{-2} + a_{3x}z^{-3} + a_{4x}z^{-4})$$

Egyszerűsítés a JOBB oldalon:

$$U_{\text{JOBB}}(z) = U_{\text{ki}}(z) \left(\begin{aligned} & b_0 \cdot (1 + 4z^{-1} + 6z^{-2} + 4z^{-3} + z^{-4}) + b_1 \cdot \frac{2}{T} \cdot (1 - z^{-1}) \cdot (1 + 3z^{-1} + 3z^{-2} + z^{-3}) + \\ & + b_2 \cdot \frac{4}{T^2} \cdot (1 - 2z^{-1} + z^{-2}) \cdot (1 + 2z^{-1} + z^{-2}) + b_3 \cdot \frac{8}{T^3} \cdot (1 + z^{-1}) \cdot (1 - 3z^{-1} + 3z^{-2} - z^{-3}) + \\ & + b_4 \cdot \frac{16}{T^4} \cdot (1 - 4z^{-1} + 6z^{-2} - 4z^{-3} + z^{-4}) \end{aligned} \right)$$

$$U_{\text{JOBB}}(z) = U_{\text{ki}}(z) \left(\begin{aligned} & b_0 + \frac{2b_1}{T} + \frac{4b_2}{T^2} + \frac{8b_3}{T^3} + \frac{16b_4}{T^4} + \left(4b_0 + \frac{4b_1}{T} - \frac{16b_3}{T^3} - \frac{64b_4}{T^4} \right) \cdot z^{-1} + \\ & + \left(6b_0 - \frac{8b_2}{T^2} + \frac{96b_4}{T^4} \right) \cdot z^{-2} + \left(4b_0 - \frac{4b_1}{T} + \frac{16b_3}{T^3} - \frac{64b_4}{T^4} \right) \cdot z^{-3} + \\ & + \left(b_0 - \frac{2b_1}{T} + \frac{4b_2}{T^2} - \frac{8b_3}{T^3} + \frac{16b_4}{T^4} \right) \cdot z^{-4} \end{aligned} \right)$$

Ha:

$$b_{0x} = b_0 + \frac{2b_1}{T} + \frac{4b_2}{T^2} + \frac{8b_3}{T^3} + \frac{16b_4}{T^4} \quad b_{1x} = 4b_0 + \frac{4b_1}{T} - \frac{16b_3}{T^3} - \frac{64b_4}{T^4}$$

$$b_{2x} = 6b_0 - \frac{8b_2}{T^2} + \frac{96b_4}{T^4} \quad b_{3x} = 4b_0 - \frac{4b_1}{T} + \frac{16b_3}{T^3} - \frac{64b_4}{T^4}$$

$$b_{4x} = b_0 - \frac{2b_1}{T} + \frac{4b_2}{T^2} - \frac{8b_3}{T^3} + \frac{16b_4}{T^4}$$

Akkor:

$$U_{\text{JOBB}}(z) = U_{\text{ki}}(z) (b_{0x} + b_{1x}z^{-1} + b_{2x}z^{-2} + b_{3x}z^{-3} + b_{4x}z^{-4})$$

Felírva az eredeti összefüggést, kapható a digitális szűrő:

$$A(z) = \frac{U_{\text{ki}}(z)}{U_{\text{be}}(z)} = \frac{a_{0x} + a_{1x}z^{-1} + a_{2x}z^{-2} + a_{3x}z^{-3} + a_{4x}z^{-4}}{b_{0x} + b_{1x}z^{-1} + b_{2x}z^{-2} + b_{3x}z^{-3} + b_{4x}z^{-4}}$$

A kapott formula jól rendezhető az időtartománybeli viselkedés érdekében:

$$\frac{U_{\text{ki}}(z)}{U_{\text{be}}(z)} = \frac{a_{0x} + a_{1x}z^{-1} + a_{2x}z^{-2} + a_{3x}z^{-3} + a_{4x}z^{-4}}{b_{0x} + b_{1x}z^{-1} + b_{2x}z^{-2} + b_{3x}z^{-3} + b_{4x}z^{-4}}$$

$$U_{\text{be}}[n-i] = z^{-i}U_{\text{be}}(z)$$

$$U_{\text{ki}}[n-i] = z^{-i}U_{\text{ki}}(z)$$

$$U_{\text{ki}}[n] = \frac{a_{0x}}{b_{0x}} U_{\text{be}}[n] + \frac{a_{1x}}{b_{0x}} U_{\text{be}}[n-1] + \frac{a_{2x}}{b_{0x}} U_{\text{be}}[n-2] + \frac{a_{3x}}{b_{0x}} U_{\text{be}}[n-3] + \frac{a_{4x}}{b_{0x}} U_{\text{be}}[n-4] +$$

$$- \frac{b_{1x}}{b_{0x}} U_{\text{ki}}[n-1] - \frac{b_{2x}}{b_{0x}} U_{\text{ki}}[n-2] - \frac{b_{3x}}{b_{0x}} U_{\text{ki}}[n-3] - \frac{b_{4x}}{b_{0x}} U_{\text{ki}}[n-4]$$

4.sz. FÜGGELÉK

Villogásmérők tesztspecifikációja [17] szerint, amely tartalmazza a [17]-ben előírt villogásmérő-osztályok legfontosabb pontossági osztályait

<i>Tesztelési forma</i>	<i>Magyarázat</i>	<i>Ellenőrzött t érték</i>	<i>Villogásmérő- osztály</i>			<i>Tolerancia</i>
szinusz- és négyyszögmodulációs teszt (teljes-válasz teszt)	szűrők és a skálázási paraméterek jellemzése	P_{inst}	F_1	F_2	F_3	$\leq \pm 8\%$
teljesítményteszt (négyyszögmodulációra adott válasz)	osztályozó és statisztikázó modul tesztelése	P_{st}	F_1	F_2	F_3	$\leq \pm 5\%$
frekvencia-változások teszt	mérőáramkörök (hardver teszt)	P_{inst}	F_1	-	-	$\leq \pm 8\%$
eltorzult feszültség tesztje többszörös nullátmenetekkel	bemeneti vezérlőáramkör stabilitásának tesztje	P_{inst}	F_1	-	-	$\leq \pm 8\%$
sávszélesség teszt	bemeneti sávszélesség teszt	P_{inst}	F_1	-	-	$\leq \pm 8\%$
fázisugrások teszt	bemeneti vezérlőáramkör stabilitásának tesztje; bemeneti sávszélesség és az osztályozó modul tesztje	P_{st}	F_1	-	-	$\leq \pm 5\%$
speciális négyyszögmodulációs teszt (kitöltési tényező variációja)	osztályozó és statisztikai analizáló komponensek tesztje	P_{st}	F_1	F_2	-	$\leq \pm 5\%$
d_c , d_{max} , $d(t)$ teszt	IEC 61000-3-3 szerinti teszt	-	F_1	F_2	-	-

5.sz. FÜGGELÉK

Normalizált villogásmérő válaszok 230 V/50 Hz és 230 V/60 Hz-es hálózaton, szinuszos feszültség-moduláció esetén (bemeneti relatív feszültség-moduláció $\Delta U/U$, egységnyi érzékenységre) [17]

Hz	Voltage fluctuation $\Delta U/U$ %		Hz	Voltage fluctuation $\Delta U/U$ %	
	230 V lamp 50 Hz system	230 V lamp 60 Hz system		230 V lamp 50 Hz system	230 V lamp 60 Hz system
0,5	2,325	2,325	10,0	0,261	0,261
1,0	1,397	1,397	10,5	0,271	0,271
1,5	1,067	1,067	11,0	0,283	0,283
2,0	0,879	0,879	11,5	0,298	0,298
2,5	0,747	0,747	12,0	0,314	0,314
3,0	0,645	0,645	13,0	0,351	0,351
3,5	0,564	0,564	14,0	0,393	0,393
4,0	0,497	0,497	15,0	0,438	0,438
4,5	0,442	0,442	16,0	0,486	0,486
5,0	0,396	0,396	17,0	0,537	0,537
5,5	0,357	0,357	18,0	0,590	0,590
6,0	0,325	0,325	19,0	0,646	0,645
6,5	0,300	0,300	20,0	0,704	0,703
7,0	0,280	0,280	21,0	0,764	0,764
7,5	0,265	0,265	22,0	0,828	0,826
8,0	0,256	0,256	23,0	0,894	0,892
8,8	0,250	0,250	24,0	0,964	0,959
9,5	0,254	0,254	25,0	1,037	1,029
			33 1/3	2,128	1,758
			40,0		2,963

6.sz. FÜGGELÉK

Normalizált villogásmérő válaszok 230 V/50 Hz és 230 V/60 Hz-es hálózaton, négyszög alakú feszültség-moduláció esetén (bemeneti relatív feszültség-moduláció $\Delta U/U$, egységnyi érzékenységre) [17]

Hz	Voltage fluctuation $\Delta U/U$ %		Hz	Voltage fluctuation $\Delta U/U$ %	
	230 V lamp 50 Hz system	230 V lamp 60 Hz system		230 V lamp 50 Hz system	230 V lamp 60 Hz system
0,5	0,509	0,510	11,5	0,233	0,233
1,0	0,467	0,468	12,0	0,245	0,244
1,5	0,429	0,429	13,0	0,272	0,275
2,0	0,398	0,399	14,0	0,308	0,306
2,5	0,370	0,371	15,0	0,341	0,338
3,0	0,352	0,351	16,0	0,376	0,376
3,5	0,342	0,342	17,0	0,411	0,420
4,0	0,332	0,331	18,0	0,446	0,457
4,5	0,312	0,313	19,0	0,497	0,498
5,0	0,291	0,291	20,0	0,553	0,537
5,5	0,268	0,269	21,0	0,585	0,584
6,0	0,248	0,249	21,5	0,592	0,600
6,5	0,231	0,231	22,0	0,612	0,611
7,0	0,216	0,217	23,0	0,680	0,678
7,5	0,207	0,206	24,0	0,743	0,753
8,0	0,199	0,200	25,0	0,764	0,778
8,8	0,196	0,196	25,5	0,806	0,768
9,5	0,199	0,199	28,0	0,915	0,962
10,0	0,203	0,203	30,5	0,847	1,105
10,5	0,212	0,212	33 1/3	1,671	1,258
11,0	0,222	0,222	37,0		0,975
			40,0		2,327

7.sz. FÜGGELÉK

Teszt-specifikáció a villogásmérők érzékenységére [17] szerint

Rectangular changes per minute CPM	Voltage fluctuation %			
	120 V lamp 50 Hz system	120 V lamp 60 Hz system	230 V lamp 50 Hz system	230 V lamp 60 Hz system
1	3,178	3,181	2,715	2,719
2	2,561	2,564	2,191	2,194
7	1,694	1,694	1,450	1,450
39	1,045	1,040	0,894	0,895
110	0,844	0,844	0,722	0,723
1 620	0,545	0,548	0,407	0,409
4 000	3,426	Test not required	2,343	Test not required
4 800	Test not required	4,837	Test not required	3,263

NOTE 1 1 620 rectangular changes per minute correspond to a rectangular square wave modulation frequency of 13,5 Hz.

NOTE 2 For tests according to this table, the first voltage change is applied within 5 s after the P_{st} evaluation is started. Flickermeters having a pre-test time to charge the filters, should indicate when the P_{st} evaluation starts, so that the testing authority can determine when to start the rectangular modulation pattern.

8.sz. FÜGGELÉK

Teszt-specifikáció a hálózati frekvencia és amplitúdó változásaira (F_1 osztály) [17]

120 V lamp			230 V lamp		
System frequency	Changing frequency f	Changing voltage U	System frequency	Changing frequency f	Changing voltage U
Hz	Hz	V	Hz	Hz	V
60	59,75	120,000	50	49,75	230,000
	60,25	119,266		50,25	228,812
50	49,75	120,000	60	59,75	230,000
	50,25	119,270		60,25	228,805

9.sz. FÜGGELÉK

Teszt-specifikáció az eltorzult feszültség tesztjére (F_1 osztály) [17]

Harmonic order v	3	5	7	9	11	13	17	19	23	25	29	31
U_v - % of U	5	6	5	1,5	3,5	3,0	2,0	1,76	1,41	1,27	1,06	0,97

Teszt-specifikáció az eltorzult feszültség 8,8 Hz-es modulációs mélységére (F_1 osztály)

230 V lamp		120 V lamp	
System frequency	Voltage fluctuation	System frequency	Voltage fluctuation
Hz	%	Hz	%
50	0,250	50	0,321
60	0,250	60	0,321

10.sz. FÜGGELÉK

Tesztspecifikáció a sávszélesség teszthez (F₁ osztály) [17]

230 V lamp			120 V lamp		
System frequency	(f_i/f_v)	(U_i/U)	System frequency	(f_i/f_v)	(U_i/U)
Hz	Hz	%	Hz	Hz	%
50	140/150	3,611	60	170/180	4,126
60	170/180	3,611	50	140/150	4,126

11.sz. FÜGGELÉK

Tesztspecifikáció a fázisugrásokra (F₁ osztály) [17]

Phase jump angle $\Delta\beta$	230 V lamp 50 Hz system P_{st}	120 V lamp 60 Hz system P_{st}	120 V lamp 50 Hz system P_{st}	230 V lamp 60 Hz system P_{st}
$\pm 30^\circ$	0,913	0,587	0,706	0,760
$\pm 45^\circ$	1,060	0,681	0,819	0,882

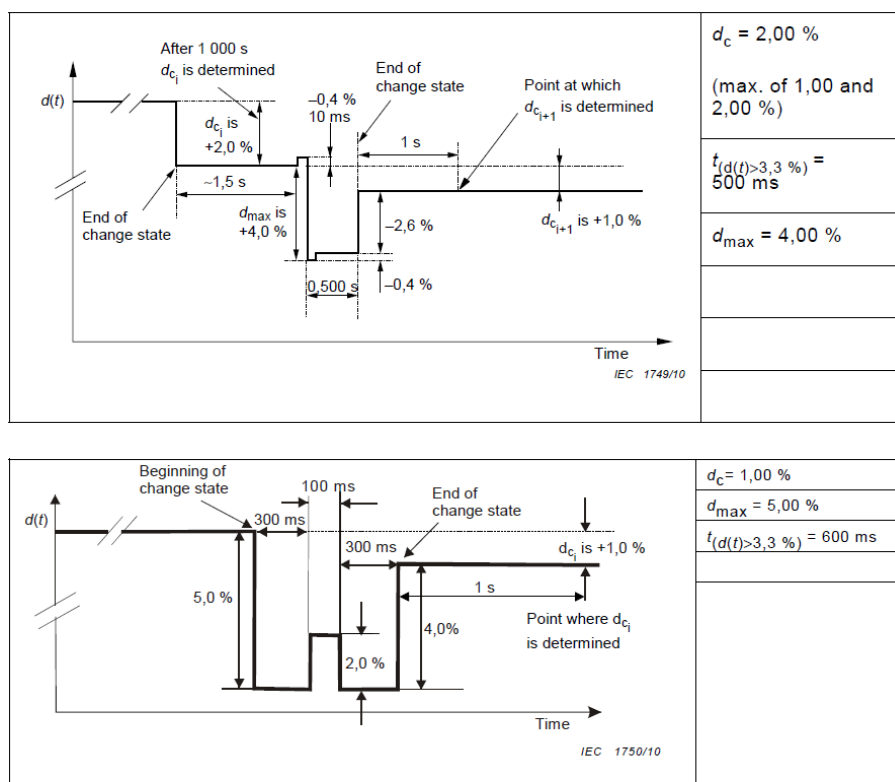
12.sz. FÜGGELÉK

Tesztspecifikáció a speciális négyszög-modulációs tesztekhez (F₁ osztály) [17]

230 V lamp		120 V lamp	
System frequency Hz	Voltage fluctuation %	System frequency Hz	Voltage fluctuation %
50	1,418	60	2,126
60	1,480	50	2,017

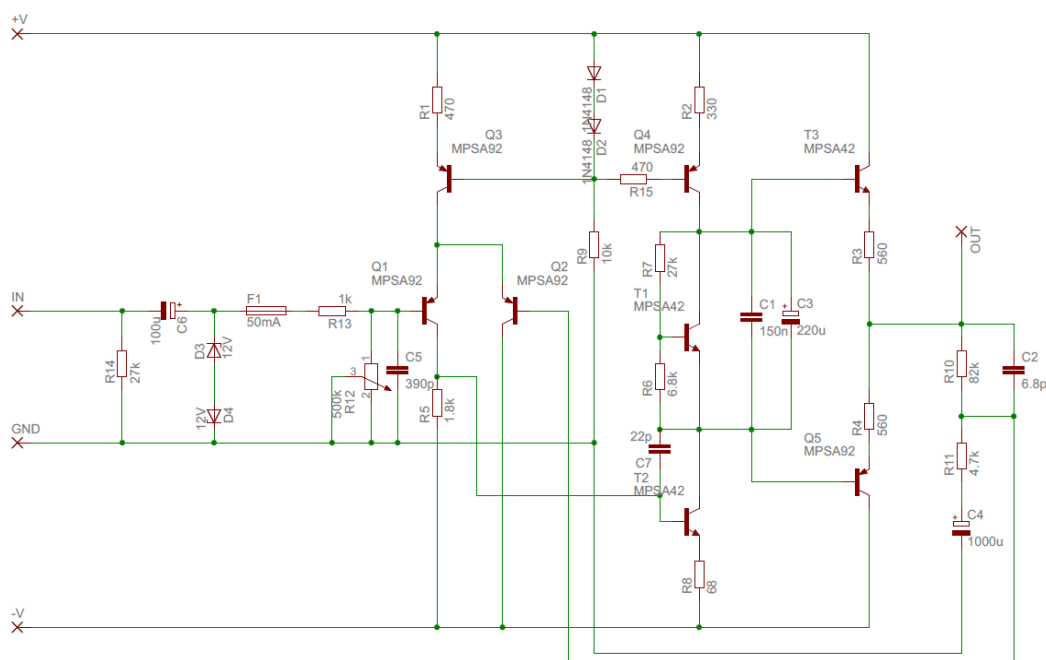
13.sz. FÜGGELÉK

Tesztspecifikációk a „d” paraméter tesztjéhez [17]



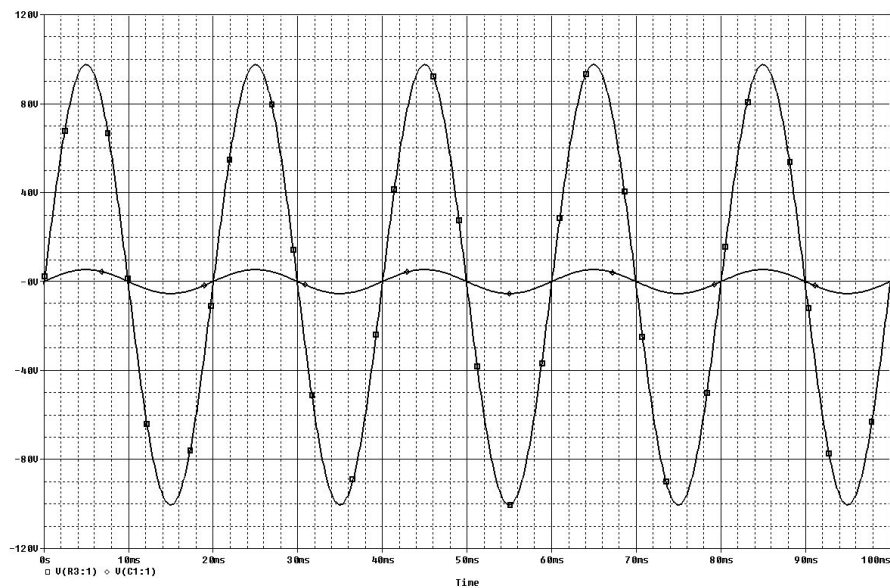
14.sz. FÜGGELÉK

A megtervezett DC-erősítő áramkör



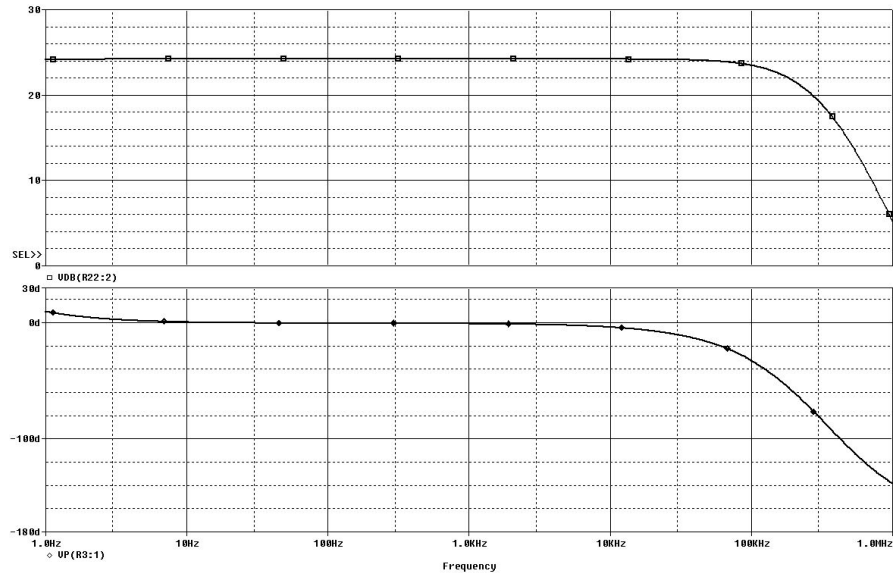
15.sz. FÜGGELÉK

A DC-erősítő áramkör feszültségerősítésének vizsgálata



16.sz. FÜGGELÉK

A DC – erősítő áramkör feszültség-átviteli karakterisztikája



17.sz. FÜGGELÉK

Az ÉMÁSZ rendszerében alkalmazott HFKV távirat formátum

CÍMZÉS										1. BCS		2. BCS		...		10. BCS	
										KI	BE	KI	BE	...	...	KI	BE
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	...	...	29.	30.
távirat kódolása				kombinációs elvű funkció cím, mestercímekkel						10 db vezérelhető csoport							
				+	+					Mestercím							
				+	+	+				▪ bojler							
				+	+		+			▪ hőtároló kályhák							
				+	+			+		▪ egyéb háztartási készülékek							
				+	+				+	▪ tartalék							
				+		+				Mestercím (elsötétítés)							
				+		+	+			▪ Közvilágítás							
				+		+		+		▪ Díszkivilágítás							
				+		+			+	▪ Tartalék							
				+			+			Mestercím (Tartalék)							
				+			+	+		▪ Tartalék							
				+			+		+	▪ Tartalék							
				+				+	+	▪ Tarifaváltás							
				...						▪ Egyéb tartalék							

18.sz. FÜGGELÉK

Szabványos HFKV impulzus raszterek [46]

Impulsintervallverfahren (impulzusok időtartama)

Hersteller	Systemname	Filter	Startimpuls [ms]		Datenimpuls [ms]		Impuls- anzahl
			Impuls	Pause	Impuls	Pause	
ABB	Ricontic B	breit	880	560	320	320	50
	Versacom über Ricontic B	breit	880	560	320	320	180
	Ricontic S	schmal	1600	1360	640	1360	50
Landis & Gyr	Landis & Gyr	breit	460	407	150	427	50
	Semagyr 50	breit	460	407	110	467	50
	Semagyr 50a	breit	460	387	150	427	50
	Semagyr 50b	breit	450	695	150	425	50
	Semagyr ...	breit	460	695	110	467	50
	Semagyr 52	breit	1320	400	320	400	50
	Semagyr 56	schmal	2640	800	640	800	50
	RWE	breit	1560	1515	150	427	46
	RWE (mod.)	breit	1560	431	150	427	50
Sauter	Sauter	schmal	600	650	400	850	144
Schlumberger	Pulsadis (EdF)	schmal	1000	2750	1000	1500	40
	Pulsadis (EdF mod.)	schmal	2000	1750	1000	1500	40
	Pulsadis	schmal	2000	1050	300	450	31
	Pulsadis / MVM	schmal	2000	1000	500	500	50
Siemens	TELENERG 50	schmal	1650	600	400	600	50
	TELENERG 29	schmal	1650	600	400	600	29
ZPA	ZPA	schmal	2330	2990	1000	330	44

Impulsabstandsverfahren (impulzusok felépítése)

Hersteller	Systemname	Filter	Start- impuls [ms]	Daten impuls [ms]	Impuls- anzahl
Zellweger	ZAG 60	schmal	1665	2500	22
	ZAG 180	schmal	5000	7500	22
	Decabit	schmal	600	600	10

19.sz. FÜGGELÉK

Kezdetleges feldolgozóprogram a komplex HF feldolgozóprogram fejlesztésének első fázisból, automatizált adatfeldolgozás részleteinek kidolgozása

