

MISKOLCI EGYETEM

GÉPÉSZMÉRNÖKI ÉS INFORMATIKAI KAR



Informatikai berendezéseket zavaró hálózati visszahatások vizsgálata

PhD ÉRTEKEZÉS

Készítette

GYURKÓ ISTVÁN

okl.villamosmérnök

HATVANY JÓZSEF INFORMATIKAI TUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

A doktori iskola vezetője:

TÓTH TIBOR DSc

Egyetemi tanár

Tudományos vezető:

SZARKA TIVADAR CSc

Professor emeritus

MISKOLC

2007

TARTALOMJEGYZÉK

ABSTRACT	3
BEVEZETÉS.....	5
1. VILLAMOSENERGIA-MINŐSÉGI MUTATÓKKAL KAPCSOLATOS MAGYAR SZAKIRODALOM ÉS SZABVÁNYOK ÁTTEKINTÉSE	7
1.1 A tápfeszültség nagysága	8
1.2 Feszültségletörés-feszültségnövekedés	8
1.3 Harmonikus torzítás	10
1.4 Gyors feszültségváltozások (villogás vagy flicker)	16
2. A KÜLFÖLDI SZAKIRODALOM ÁTTEKINTÉSE.....	22
2.1 A harmonikusok összegezése és terjedése	22
2.2 A feszültség letörések és harmonikusok terjedési sajátosságai.....	23
3. A SZAKIRODALMAK ELEMZÉSE ALAPJÁN TETT MEGÁLLAPÍTÁSOK	25
4. AZ IT BERENDEZÉSEK ÉRZÉKENYSÉGÉNEK VIZSGÁLATA LABORATÓRIUMI MÉRÉSEKKEL.....	25
4.1 Tudományos előzmények.....	25
4.2 Célkitűzések	26
4.3 A kidolgozott mérő rendszer és az elért eredmények ismertetése	27
4.4 Új tudományos eredmények.....	39
5. A HÁLÓZATON TERJEDŐ ZAVAROK ÁLTAL OKOZOTT MŰKÖDÉSI HIBÁK	40
5.1 Tudományos előzmények.....	40
5.2 Célkitűzések	41
5.3 A rendszer ismertetése és az elért eredmények	42
5.4 Új tudományos eredmények.....	53
6. A VILLAMOS ÍVKEMENCÉK ÜZEME ÁLTAL KELTETT VILLOGÁS (ÚN. FLICKER) TERJEDÉS ÖSSZEGEZÉSE A KÖZCÉLÚ ELOSZTÓ HÁLÓZATON.	54
6.1 Tudományos előzmények.....	54
6.2 Célkitűzések	56
6.3 A kidolgozott rendszer ismertetése és az elért eredmények.....	56
6.4 A 0,4 kV-os hálózatokon flicker szint értékének vizsgálata	80
6.5 Új tudományos eredmények.....	81
7. ÖSSZEFOGLALÁS, TÉZISEK	82
8. IRODALOM JEGYZÉK	84
9. MELLÉKLETEK.....	86
9.1.sz. melléklet. A tranziensek hatása az Elektrolux villamosenergia ellátásában.....	86
9.2.sz. melléklet. A ZF. Hungária Kft. számítógépes mérőállomása által a vizsgált időszakban rögzített üzemi események diagramjai.....	87
9.3.sz. melléklet. Rövid- és hosszúidejű flicker idődiagramok, regisztrátumok, a flicker összegezés számításának alapadatai.....	94
9.4.sz. melléklet: A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére, diagramok...	109

Abstract

Nowadays a significant changing is going on in the components of energy consumers. These changes can be observed both in industrial, communal and in the lightning technical equipment as well. The changing is thanked for the spreading of equipment connecting with IT and on the other hand the general use of energy-saving sets.

The changing in consumer structures has an affect on electric power quality characters and those kind of characters turn to be important that never before. (e.g. sag)

The information technology has become important in every field of industry, agriculture, service, state and civilian sphere providing newer and newer up till now unimaginable possibilities which lay new claims. These things generates new improvements and brings new changes in the quality of every day life. However, IT does not only meet the demands of quality but also lays a claim on the quality of needs namely in electricity-power supplies.

In the first part of my PhD thesis work I focus on electricity quality characters, the interaction between the quality and consumers and the critical analyses of bibliography which seems to be important in this subject and is connecting with electric power quality.

The second part of my PhD thesis work focuses on the spread and effects of particular network problems their compensating possibilities occuring on the networks joined with public electric power supply.

On the basis of my examination I pointed out that most of the IT equipment can perceive the disturbances on the network and these disturbances may cause failure in their function.

I summerized my statements as mentioned above, in thesis.

Measurements carried out in laboratory were totally proved by industrial data by Eger ZF Hungary and Electrolux, Jászberény. Based on my resarch on this field I came to the following scientific achievement drawn up in four thesis:

Thesis 1 I developed an in principle new computerized measuring process and a software for examining the effects of short –time voltage omission. (0-100 periodical time).

On the results of my scientific research performed by new measuring process I carried out in practice and upon the diagrams I pointed out that the deficiency of the machines started at T_1 sec after the beginning of the omission. Growing the time of omission reaching the T_2 sec all the machines fell out. T_1 and T_2 are the value of the IT machines.

The new method can make the controlling of voltage sensitivity of any IT machines possible.

Thesis 2 I found out that if the upharmonius content of mains voltage is $THDu > 10\%$ for more than 10 minutes, problems can appear in the working of IT machines e.g. data losses and freezing.

According to the MSZ EN50160 standard the 95 % of THD value in any one week period can not be more than 8%. For the rest 5% which means 8 hours in a week there is no any regulation. The standard does not cover the fact that $THD > 10\%$ should not occur. In the process of modernization of the standard I suggest taking it into consideration.

Thesis 3 *I stated that the value of omission time of IT equipment and the rest-voltage depends on the sloping of voltage reduction. If the decrease of voltage mesured in V/sec is more than 1000 the time of omission is less than 0,3 sec and the restvoltage is under 25%. If the decrease of voltage measured in V/sec is less than 300 the omission time grows up to about 0,6 sec and the restvoltage is about 50%. It is typical of transition and the whole process that in time of breaking the voltage down the sensitivity of IT equipment against the restvoltage is*

$$(0,9-U_{m(r,u)}) \times T_{omission} = \text{constant}$$

So IT equipment fall out in case of voltage break down if the missing voltage –time area reaches the characteristic value of certain IT equipment.

Thesis 4 Upon the results of my scientific research and the diagrams I stated that the flickers generated by high-performance equipment working in pulsating mode (e.g. electric arc furnaces and electric railways) can appear and summerize. The value of resultant flicker at the measuring point is given by the sum of k^{th} power of the flicker generated by the individual users under the k^{th} root.

$$P_E = \sqrt[k]{P_{1f}^k + P_{2f}^k + \dots + P_{nf}^k}$$

(P_{1f}, P_{2f}, P_{nf} are the flicker levels by users generating embarrasments)

I checked the theoretical calculations in several power stations and the same results proved me right. With several calculations on places far from each other I recorded the effects of two high performance flicker sources situated nearby, DAM arc furnace and OAM arc furnace as well and the common influence of the two furnaces and other sources. I compared the source value of average P measured on several points and the calculated values and I found out that the measured and calculated values are near the power of $k=2$ in every cases. I verified that the value of k in flicker summerizing is

$$k=2$$

On the results of my scientific research I can say that any IT equipment can be checked reliably.

The behaviour of them can be stated in the case of short period voltage absence and other embarrasments. The results given by can be comparized with the working time of the automatics used by suppliers. These methods make the working out of standards possible which built in the working system can reduce significantly the troubling effects of network.

Bevezetés

A villamos hálózatok tisztasága, zavarmentessége jelentős befolyást gyakorol az ipari termelés megbízhatóságára. Megállapítható, hogy a szolgáltatott energia minősége és hatékony felhasználása, meghatározó a termelékenységre és a versenyképességre. Ismeretes, hogy az erőművek által szolgáltatott energia, zavar vonatkozásában tisztának tekinthető, annak továbbítása a fogyasztó felé ezt az állapotot nem rontja, a hálózati zavarások forrása maga a fogyasztó. Mivel az egyes fogyasztók - energetikai szempontból - nem függetlenek egymástól, ezért az egyik fogyasztó által okozott zavarok befolyásolják a másik fogyasztó által a villamos hálózaton vételezett energia minőségét is. A nagyterjedésű hálózatokon, azonos pillanatokban számos zavart okozó fogyasztó feltételezhető, ezért eredőben, egy időben és térben nagyon változó zavarkép alakulhat ki. Ezek felderítése, a zavarforrások behatárolása lényeges feladat a zavartalan és megbízható energiaszolgáltatás érdekében.

Az ilyen fogyasztók működésük során eltorzítják a hálózatokon folyó áramok ideális szinuszos hullámalakját, ezzel együtt (a hálózat merevségének függvényében) a hálózati feszültség hullámalakját is. Más nagyfogyasztók, mint például az ipari-elektronikával irányított villamos hajtások, vagy a nagyteljesítményű hegesztőgépek, ívkemencék üzemének lökésszerű terhelésváltozása feszültséglengésekkel 'rángatja' a hálózatot, letöréseket és feszültség megfutasokat, feszültség tranzienseket eredményezhet. Ezek, az ún. hálózati-visszahatások nem csupán veszélyeztethetik a hálózathoz kapcsolt más, vétlen fogyasztók üzemét, de egyes zavarok, mint például a 'villogás' (közismerten a flicker hatás) az emberre is káros, az egészséget veszélyeztető környezeti ártalmakat okozhat.

A villamosenergia főbb minőségi mutatói: frekvencia, feszültség lassú változása, feszültség jelalak, feszültség gyors változása, feszültségletörés, túllendülés, feszültség kimaradás, aszimmetria. A káros hatások összeférhetőségi és tervezési értékeit különböző feszültségszinteken szabványok rögzítik. Ugyancsak szabványok rögzítik a mutatók mérési módszereit és a mérőműszerekkel szemben támasztott követelményeket.

A szolgáltatáshoz kapcsolódó szerződések kitérnek a villamosenergia minőségét biztosító kérdésekre is, többek között arra, hogy mit garantál az eladó (áramszolgáltató) és mit vár el a vevőtől (fogyasztótól). A villamosenergia ugyanis olyan speciális áru, amelynek fogyasztása közben az eladó és a vevő folyamatosan kapcsolatban állnak egymással a csatlakozási ponton keresztül és a vevő fogyasztói feszültség-áram karakterisztikája visszahat az eladó által szolgáltatott villamosenergia minőségére.

Napjainkban a villamos energia fogyasztói összetételében jelentős változás van folyamatban. Ez a változás megfigyelhető az ipari, a kommunális és a világítástechnikai jellegű berendezéseknél egyaránt. A változás egyrészt az ún. információtechnológia (IT) köréhez tartozó berendezések szinte hihetetlen mértékű elterjedésének, másrészt az energiatakarékos fogyasztói berendezések térhódításának köszönhető. A fogyasztói struktúra változása visszahat a villamos energia minőségi mutatóira, és olyan mutatók válnak fontossá, amelyekkel eddig nem kellett foglalkozni (pl. a rövid idejű feszültség lehúzás).

Az információtechnológia (IT) rendkívül széles területet foglal magába. A lényegét a Számítógéppel Integrált Gyártás (CIM) rövid elemzésével mutatom be.

Az irodalomjegyzékben feltüntetett szakirodalmak tanulmányozása és az interneten történt keresések alapján valóban helytálló a [2.2.1] irodalom azon megállapítása, hogy...” A Számítógéppel Integrált Gyártás (CIM) jellegzetes interdiszciplináris szakterület, amely az utóbbi húsz évben fokozatosan nyerte el mai komplex, sajátos arculatát”. Ez a tudomány rohamosan fejlődik, amire jellemző, hogy a világhálón 138428 db, a magyarországi hálón pedig 110 db olyan publikációt találtam, amelyekben a CIM- kifejezés szerepel.

A valóságban ettől még több is lehet, hiszen nem minden kiadvány kerül fel a hálóra.

A CIM alkalmazását széleskörű kutatás alapozta meg. A magyar irodalomban a leggyakrabban a Miskolci Egyetem kutatóira való hivatkozás található. Napjainkban is állandóan fejlődik, gazdagodik. A műszaki, gazdasági, társadalmi, sőt a művészi életben is teret hódít. Fokozatosan kezd olyan szerepet betölteni, mint a villamosenergia rendelkezésre állása, bár a villamosenergia azért fontosabb, mert nélküle a CIM sem létezhet. Egyre több, eddig még kevésbé felfedezett területeken fog megjelenni. Ilyen terület pl. a biológia.

Egyes tudósok szerint - amivel én is messzemenően egyetértek - az informatika és a biológia együttműködése az évszázad nagy kihívása lesz.

A CIM-et ma már nyugodtan lehet önálló tudományágnak nevezni. Az ezen a területen alkotó tudósok eredményeit, téziseit egy másik területen tevékenykedő szakember - mint pl. én is - elfogadja és tiszteletben tartja.

Az új típusú berendezések valamennyien ún. nemlineáris terhelések. A visszahatást illetően különösen jellemző a nemlineáris fogyasztók felharmonikus áram termelésének következtében a táphálózatba visszainjektált harmonikus áramok által a csatlakozási pontban okozott feszültség hullámalak torzulás.

A számítástechnikai, mérés technikai eszközök (általános megnevezéssel az elektronikus informatikai berendezések) zavarérzékenysége összehasonlíthatatlanul nagyobb, mint más nem elektronikus berendezések zavar iránti érzékenysége. Ezért a megbízható működésüket - a berendezést körülvevő - elektromágneses terek és a villamos hálózatokon terjedő/érkező különféle zavarok veszélyeztethetik.

A zavarhatás és veszélyeztetés mindkét esetben olyan mértékű lehet, amely egyrészt károsíthatja az élő környezetet, másrészt a berendezés hibás működését, rosszabb esetben a berendezés meghibásodását eredményezheti.

A zavart generáló hatások jól megfigyelhetők és kimutathatók a szorosan egymás közelében elhelyezett, hálózathoz tartozó (telepről, saját hálózatról üzemelő) berendezések hibagyakoriságának analízisének, (lásd lokátoros mérő-kocsik, repülőgépek műszerei, mobiltelefon hatások, stb.), de kimutathatók a hálózatról üzemeltetett elektronikus berendezések olyan hibái is, melyek kétségtelenül a villamos hálózatról (amplitúdó torzulások, aszimmetriák, feszültség letörések, 'feszültségtüskék' stb.) érkeznek.

A zavarok iránti érzékenységgel, illetve a berendezések zavargeneráló képességével ma már egy új tudományág, az 'elektromágneses összeférhetőség' (EMC, electromagnetic compatibility) foglalkozik.

Az értekezésem első része irodalmi áttekintés, ahol a villamos energia minőségét jellemző mutatókkal, a villamosenergia-minőségével és a fogyasztók kölcsönhatásával, valamint a villamosenergia-minőséggel kapcsolatos, az informatikai (elektronikai) berendezések szempontjából fontos szakirodalom kritikai elemzésével foglalkoztam.

Az értekezésem második részében, amely a tudományos munkám lényeges része, pontosan azokat a sajátos hálózati elégtelenségeket, ezek terjedését, hatását vizsgáltam meg, melyek az IT berendezések üzemét veszélyeztethetik, és a közszolgálati villamosenergia rendszerrel összekapcsolt hálózatokon terjednek.

Az IT berendezések érzékenységét, egyrészt laboratóriumi körülmények között végzett mérésekkel a Miskolci Egyetem Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszékén, másrészt az itt kapott mérési eredményeket az észak-magyarországi térség valós villamos hálózatán ellenőriztem. Ez a terület a villamos energia felhasználást tekintve, az ország egyik legjobban iparosított területe. Jelentős és meghatározó a nehézipar (kohászati üzemek, vegyi üzemek), az utóbbi időben egyre több nagy teljesítményt igénylő (2-3 MW) bevásárló központok is épülnek, amelyeknek a hálózati visszahatásaival is számolni kell. Ugyanakkor jelentős a minőségi villamos energiát igénylő elektronikus- gépipari, mechatronikai technológiával dolgozó ipari fogyasztók száma.

Ismeretes, hogy az ipari üzemek többsége olyan nagyteljesítményű fogyasztókat üzemeltet, (villamos ívkemencék, hegesztő-berendezések, hengerműi villamos hajtások, villamos vontatás, stb.), amelyek - nemlineáris jellegük és egyéb pl. szaggatott üzemük miatt - elkerülhetetlenül káros hálózati visszahatásokat (flicker, felharmonikusok, feszültségletörések, feszültség aszimmetria, stb.) eredményeznek. Az ilyen zavarok egyrészt egészségkárosító hatásokat okozhatnak (flicker-hatás), többlet kiadásokkal terhelhetik a hálózathoz kapcsolódó (végtlen- és a kárt okozó) fogyasztókat, (többlet energiaköltség, a villamos berendezés gyakoribb meghibásodása, gyártási folyamatok megszakadása, elektronikus berendezések, számítógépek meghibásodása, stb.), másrészt jelentősen veszélyeztethetik a hálózathoz kapcsolódó más berendezések, köztük az informatikai berendezések biztonságát.

A nagyfogyasztói berendezések, az ipari fogyasztók által kibocsátható hálózati visszahatások mértékét Magyarországon törvény szabályozza (a villamos fogyasztók üzembe helyezése csak a megfelelő szűrő, illetve kompenzáló berendezések telepítésével együtt engedélyezett). A tapasztalat (feltételezés) az, hogy ezeken, az iparilag koncentrált területeken (annak ellenére, hogy a fogyasztók által okozott visszahatások a megengedett érték alatt vannak) a sok nagyfogyasztó együttes hatása a hálózat különböző pontjain olyan mértékű eredő zavarokat generálhat, amelyek így együtt nagyobbak a megengedett értékeknél.

Fentiekből az következik, hogy a fogyasztóknak kárt okozó, az egészséget is veszélyeztető zavarok felderítésében és elhárításában egyaránt érdekelt mind a zavart okozó, mind a zavart eltűrő fogyasztó, mind az előírt minőségű energiaszolgáltatásra vállalkozó áramszolgáltató.

Egy jól felépített (IT) rendszer működésének alapvető feltétele, hogy a működéshez szükséges szolgáltatott villamos energia megfelelő minőségben álljon rendelkezésre. A szakirodalmak erre a lényeges szempontra nem térnek ki.

Végezetül szeretnék köszönetet mondani Miskolci Egyetem Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszéken Dr. Szarka Tivadar professzor úrnak és munkatársainak, akik segítették munkámat akár ténylegesen, akár biztató szavaikkal.

1. Villamosenergia-minőségi mutatókkal kapcsolatos magyar szakirodalom és szabványok áttekintése

Ez a téma rendkívül gazdag területet ölel fel, ezért a szabvány [1.1] által felsorolt, a kisfeszültségű hálózatra jellemző minőségi mutatók közül csak az értekezésem szempontjából fontos és jellemző paramétereket vizsgálom. A vizsgálatok során feldolgoztam a rendkívül széles irodalmat és az érintett hazai és nemzetközi szabványokat. Tekintettel arra, hogy az IT berendezések érzékenységevel, illetve az IT berendezések üzembiztonságát veszélyeztető zavarokat közreadó munkákkal a szakirodalom alig foglalkozik, külön mutatom be a hazai és a nemzetközi irodalom feldolgozását.

A hazai irodalom pontosan megfogalmazza (az IT berendezések működéséhez is szükséges) kisfeszültségű hálózatok minőségi kritériumait:

Ezek a következők:

- a tápfeszültség nagysága,
- a feszültségletörés,
- a harmonikus torzítás,
- a villogás (flicker).

A továbbiakban kitérek a felsorolt minőségi mutatókkal kapcsolatos fontosabb ismeretekre.

1.1 A tápfeszültség nagysága

A fogyasztók számára alapvető fontosságú a csatlakozási ponton rendelkezésre álló feszültség nagysága. A fogyasztói áram a tápláló vezetéken átfolyva a vezetéken feszültségesést hoz létre, amely a fogyasztói pont elhelyezkedésétől függően különböző értékű lehet, befolyásolva ezáltal a fogyasztó kapcsain kialakuló feszültség nagyságát. A feszültség tehát a villamosenergia-hálózatoknak lokális jellemzője. Az időben változó terhelések más részből időben változó feszültségesést eredményeznek, így a feszültség értéke nemcsak helytől, hanem időtől is függő érték. Az [1.3] szabvány 2002-es kiadása szerint a kisfeszültségű hálózat feszültségét illetően az áramszolgáltatók a mérőhely hálózati csatlakozási pontjára általában nem adnak előírásokat a legnagyobb és legkisebb feszültségekre vonatkozóan, mivel a kis- és közepfeszültségű hálózatokra az [1.1] szabvány ezeket az alábbiak szerint előírja.

„Normál üzemi körülmények között, a feszültség kimaradásokat figyelmen kívül hagyva, a tápfeszültség 10 perces átlagos effektív értékei 95 %-ának bármely egyhetes időszakban az $U_n \pm 10\%$ tartományban kell lennie.

Távoli területek hosszú vonalakkal történő villamosenergia-ellátása esetében a feszültség az $U_n + 10\%/-15\%$ tartományon kívül is eshet. Ahol az $U_n=230V$.”

Az áramszolgáltatók a „Garantált szolgáltatás” alapján $U_n \pm 7,5\%$ értéket biztosítják.

1.1.1 A feszültségeltérés által okozott problémák

A szabvány a mérőhely csatlakozási pontján $U_n \pm 10\%$ értéket garantál. A mérőhely és a fogyasztó között névleges terhelésnél 2% feszültségesést feltételezve (az [1.5] szabvány a méretlen hálózatra 1%-ot irányoz elő) a legrosszabb esetben is a feszültség a fogyasztókra előírt $U_n \pm 10\%$ -os feszültség-tűrésmezőn belül van. Amennyiben a feszültség nagyobb a fogyasztóra megengedett $U_n + 10\%$ -os értéknél, a fogyasztónál gyorsított élettartam-csökkenésre lehet számítani akár funkcionálisan (pl. izzólámpák esetében), akár a szigetelés öregedését tekintve. Ugyanakkor a veszteségek is növekednek. A feszültség további növekedése (15% fölé) a berendezések rohamos meghibásodását eredményezi. A feszültség csökkenése egy ideig csak teljesítménycsökkenéshez vezet, ami izzólámpa esetén például azt jelenti, hogy egy 100 W-os izzó $U_n - 10\%$ -os feszültségen a névleges fényáramának 80%-át adja, a motorok nyomatéka csökken, tehát a névleges alkalmassági paramétereket nem tudják biztosítani a felhasználó számára. További feszültségcsökkenés fogyasztói típustól függően vezethet meghibásodáshoz (pl. IT berendezésben adatvesztés), vagy kikapcsoláshoz (pl. mágneskapcsoló öntartás megszűnése).

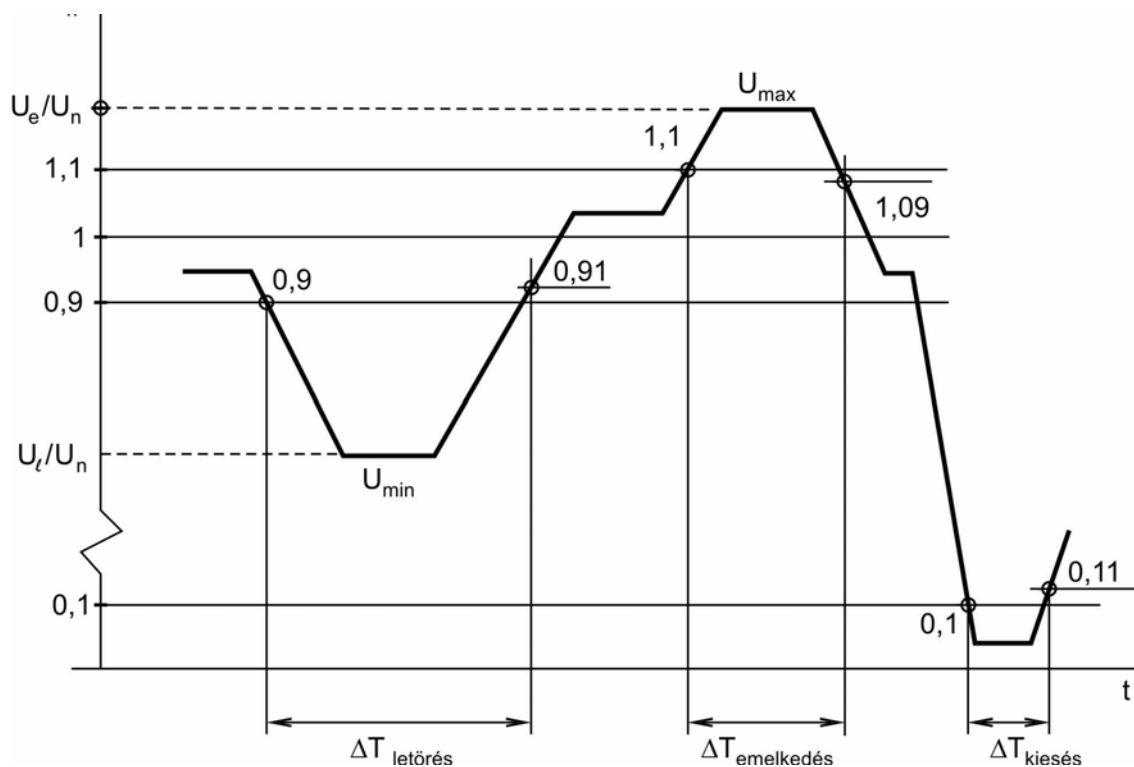
1.2 Feszültségletörés feszültségnövekedés

1.2.1 A feszültségletörés (-növekedés) definíciója

A feszültségletörést a feszültség effektív értékére definiálták. Az [1.7] szabvány szerint a feszültségletörés jellemzői: a letörés időtartama és a letörés időtartama alatti legkisebb relatív feszültség. (A relatív azt jelenti, hogy a névleges feszültségre kell vonatkoztatni a mért értékeket).

Az időtartamot úgy kell mérni, hogy amikor a névleges érték 90 %-a alá csökken a feszültség, attól kezdve tart a feszültségletörés időtartama egészen addig, amíg újra nem emelkedik a névleges érték 90 %-a fölé.

Ha 10 % alá csökken, azt feszültségkiesésnek nevezzük. Háromfázisú rendszerben bármelyik fázisban bekövetkező feszültségletörést a rendszerben létrejött feszültségletörésnek tekinti a szabvány.



1. 1 ábra

A feszültségletörés és -növekedés definíciója

A feszültségletöréshez hasonlóan a feszültségnövekedés is az időtartamával és a relatív nagyságával van jellemezve azzal az eltéréssel, hogy a névleges érték 110 %-át meghaladó feszültség esetén beszélünk feszültségnövekedésről.

A feszültségletörés és -növekedés definícióját az 1. 1 ábrán ismertetem.

1.2.2 A feszültségletörés (-növekedés) kialakulása

A hálózat állandósult állapotában a feszültség effektív értéke az erre megadott tűrésmezőn belül van. Ez az érték feszültségszintenként változó, a kiefeszültségű kommunális hálózaton az 1. 1 pontban megadott értékek érvényesek.

Az [1. 1] szabvány előírása szerint az év bármely 1 hetében mérve a feszültség effektív értékének a 10 perces átlagértékekből képzett statisztikáját tekintve az összegzett eloszlásfüggvény 95 %-os értékének kell a tűrésmezőn belül lennie. A fennmaradó 5 %-ra

vonatkozóan (ami az egyhetes intervallumra kerekken 8 órát jelent) nincs előírás. Ez persze nem azt jelenti, hogy ekkor a feszültség akármekkora lehet, hiszen a rendszer fizikájából következően a feszültség csak rövid időkre tér el az előírt értéktől.

A keletkezéssel kapcsolatosan szét kell választani a fogyasztó által okozott, illetve befolyásolható jelenségeket a fogyasztó által nem befolyásolható jelenségektől. Ez utóbbihoz tartoznak a hálózaton bekövetkező hibák (pl. zárlatok, szakadások, berendezés meghibásodások) miatti rövid idejű (a védelmek működésével hárítható) vagy hosszabb idejű (ellátási zavarok) feszültségkiesések is.

Az átmeneti feszültség-letörési (-növekedési) eltérések oka lehet a villamosenergia-rendszer szabályozási hibája, ez is a villamosenergia-szolgáltató felelősségi körébe tartozik (pl. hirtelen terhelésnövekedést vagy -csökkenést követően).

A fogyasztó által okozott feszültségcsökkenési, -letörési események a fogyasztói hálózaton keletkeznek és jól méretezett elosztóhálózatot feltételezve az elszámolási pontokon a hatások már olyan kis mértékűek, hogy ugyanarra az elosztóhálózatra csatlakozó idegen fogyasztónál nem zavarják a fogyasztó rendeltetésszerű működését.

Ugyanakkor azonban annál a fogyasztónál, aki a zavart okozza, ha a saját hálózata nem megfelelően méretezett, saját zavarérzékeny fogyasztóinál hibás, működést idézhet elő. Általában a nagy bekapcsolási áramlökéssel induló fogyasztók okozzák a megengedettnél nagyobb feszültségletöréseket.

1.2.3 Hibajelenségek és következmények a fogyasztói hálózaton

A fogyasztói hálózaton feszültségletörést előidéző eseményeket és következményeiket az alábbiakban foglalom össze:

- laza vezetékkötések, amelyek az érintkezés - rossz érintkezés - nem érintkezés között változnak következmény: - a feszültséggörbe egyenetlensége (feszültségletörés jellegű);
 - rádiófrekvenciás zavarás (TV - rádió); - a laza vezetékkötésnél beégés, esetleg tűz;
 - a feszültségletörésre érzékeny fogyasztók (IT) hibás működése.
- nagy bekapcsolási áramlökéssel induló fogyasztók (pl. mikrohullámú sütő, porszívó, hőtárolós vízmelegítő, különböző világítótestek stb.) következmény:
 - feszültséglehúzás a bekapcsolási áramlökés idejére
 - a feszültségletörésre érzékeny fogyasztók (IT) hibás működése.

1.3 Harmonikus torzítás

1.3.1 Harmonikusok keletkezése

A feszültségcsökkenés egyik tényezője a vezeték ellenállása, másik a vezetékben folyó áram. Kérdés, hogy a kisfeszültségű fogyasztói összetétel változása hogyan hat a fogyasztói áramra. Az első ösztönös válasz, hogy energiatakarékos szinte minden fogyasztó a mosógéptől a porszívótól keresztül a televízióig, tehát csökken a fogyasztói áram. A 1.2. ábrán egy színes televízió áramfelvételének időfüggvényét és ennek Fourier-spektrumát mutatom be. Az ábrán

látható, hogy a szinuszos feszültségre kapcsolt televízió árama periodikus ugyan, de nem szinuszos, illetőleg nem adható meg egyetlen frekvenciájú szinuszhullámmal. Az ilyen jellegű időfüggvények az úgynevezett Fourier-sorral jellemezhetők.

Általános esetben végtelen számú szinuszos és koszinuszos tag összegével adható meg egy periodikus időfüggvény.

Egy T periódusidejű függvény Fourier-sora:

$$x(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{\infty} [a_k \cos(k\omega t) + b_k \sin(k\omega t)] \quad [1]$$

ahol

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

$$a_0 = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} x(t) dt = \frac{1}{2\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) d(\omega t)$$

$$a_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) \cos(k\omega t) d(\omega t)$$

$$b_k = \frac{1}{\pi} \int_{-\pi}^{\pi} x(\omega t) \sin(k\omega t) d(\omega t)$$

$$k = 1 \rightarrow \infty$$

A 1. 2 ábrán a spektrumvonalak a Fourier-sor növekvő frekvenciájú komponenseit mutatják. A vízszintes tengelyen a frekvencia, a függőleges tengelyen az amplitúdó (dB skálán) olvasható le. Az 50 Hz-nél (alapharmonikus) nagyobb frekvenciájú összetevőket felharmonikusoknak nevezzük. A felharmonikus vagy röviden harmonikus áramok a vezetéken a hálózat felé záródnak, és a vezetéken harmonikus feszültségesést hoznak létre. A harmonikus feszültségesések a feszültség jelalakját torzítják a tiszta szinuszos jelalakhoz képest. A harmonikusokat vagy frekvenciájukkal (pl. 250 Hz) vagy frekvenciájuknak az alapharmonikus frekvenciára viszonyított értékével (pl. 250/50 = 5) jellemezzük. Ez utóbbit rendszámknak nevezzük, jele k.

Azokat a fogyasztókat, amelyek a 1.2 ábrán látható esethez hasonlóan a szinuszos feszültségre kapcsolva nemsinuszos periodikus áramot vesznek fel, nemlineáris fogyasztóknak nevezzük. A fogyasztói áramfelvétel lehet időben állandó és időben változó. Az előbbi esetben a harmonikus áramok amplitúdója és frekvenciája időben állandó, az utóbbi esetben a változási sebességtől függően beszélhetünk vonalas spektrumú (lassú változás) és folytonos spektrumú (gyors változás) frekvenciakarakteristikáról. A harmonikusokat tehát a villamosenergia-rendszer nemlineáris fogyasztói keltik. (A hagyományos impedanciájú fogyasztókat, ahol az áram szinuszos és legfeljebb siet, vagy késik a feszültséghez képest - ohmos + kapacitív, ohmos + induktív - lineáris fogyasztónak nevezzük. Ezek amplitúdó-frekvencia spektruma egyetlen vonalat tartalmaz, az alapharmonikusét.)

Néhány példa a kisfeszültségű nemlineáris fogyasztókra:

Időben állandó: telítődő vasmagot tartalmazó fogyasztók, információtechnológiai berendezések, kompakt fénycső elektronikus előtétell.

Lassan változó: fényerő-szabályozós lámpák, tirisztorral szabályozott berendezések, mikrohullámú sütő.

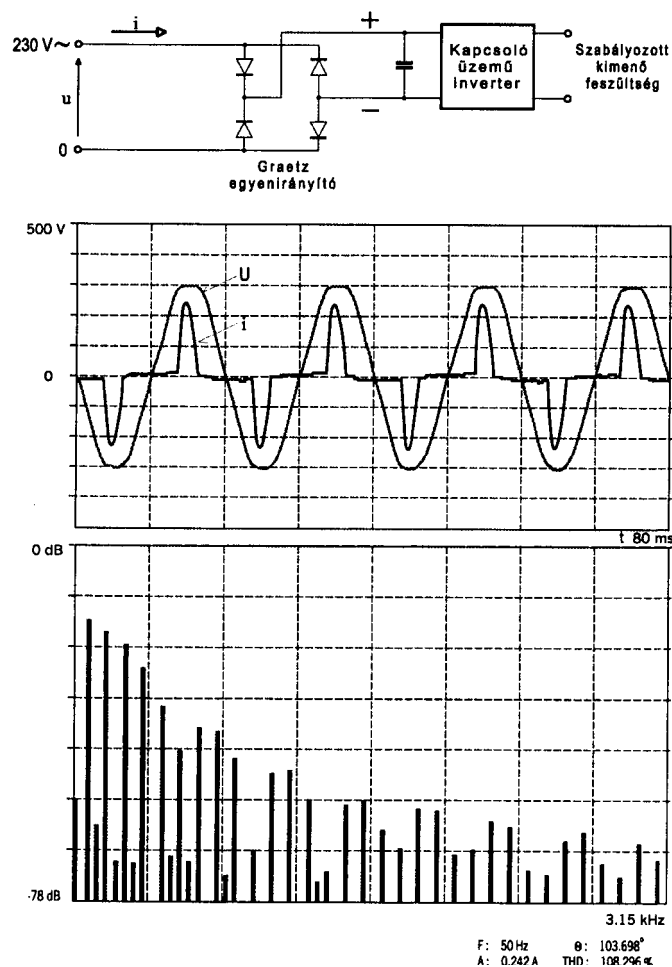
Gyorsan változó: fordulatszám-szabályozott villamos hajtások, impulzusszélesség-modulált inverteres hajtások (a terhelési ciklustól függ a besorolás, hegesztő berendezések).

A fogyasztó nemlinearitásának mértékére bevezetett mérőszám az áramra vonatkozó teljes harmonikus torzítás (THD_I), valamint az egyedi harmonikus torzítás (D_I):

$$THD_I = \frac{\sqrt{\sum_{k=2}^{\infty} I_k^2}}{I_1} \quad [2]$$

ahol I_1 az alapharmonikus áram;
 I_k a k rendszámú felharmonikus áram.

Az egyedi és a teljes harmonikus torzítást, mint mérőszámot a feszültségre is alkalmazzák (THD_U és D_U). Kiszámítása azonos az áraméval.



1. 2 ábra

Egyfázisú feszültséginverteres kapcsolás feszültség-áram viszonya

A napjainkban a kisfeszültségű hálózatra csatlakozó, 16 A-nél kisebb áramfelvételű nemlineáris fogyasztóknál a legelterjedtebb tápegység az úgynevezett kapcsolóüzemű táp, amelynek a hálózatra csatlakozó bemeneti áramköre egy egyfázisú Graetz egyenirányító, kapacitív szűréssel a közbenső egyenáramú körben. A kapcsolást és az áramfelvételt az 1.2. ábra mutatja.

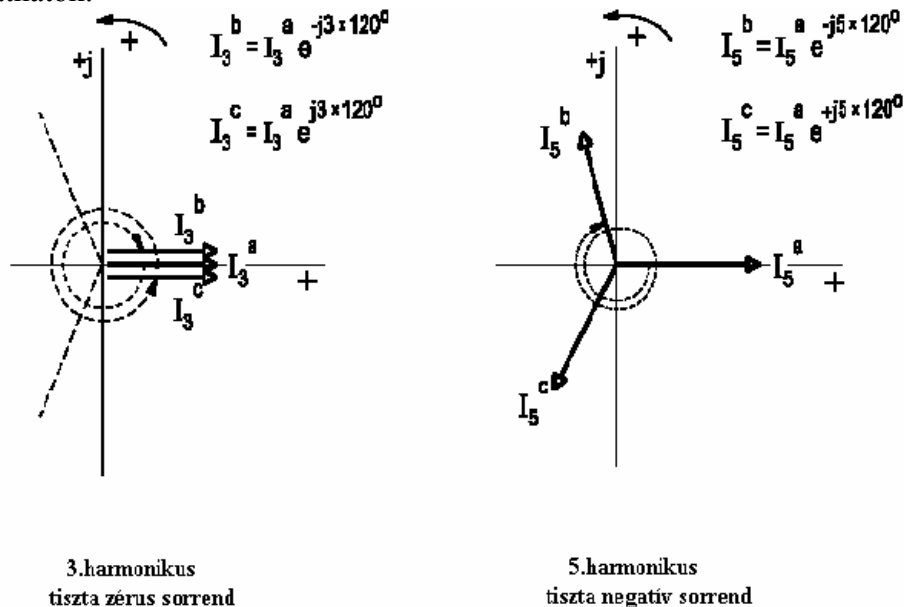
Amint az ábrán látható, a szinuszos tápfeszültség csúcstértékéhez van „szinkronizálva” a töltőáram, amely a kondenzátort utántölti. Ezek az egy- és háromfázisú feszültség-inverterek lényegében egymással fázisban levő harmonikusokat hoznak létre. Különösen igaz az azonos fázisúság a kisebb rendszámokon, így a 3. és 5. harmonikus áramokra, amelyeknek a legnagyobb az amplitúdójuk.

Így nem véletlen, hogy a kisfeszültségű hálózatokon a 3. és 5. harmonikus torzítás a jellemző áramban és feszültségben egyaránt.

1.3.2 A harmonikus áramok összegződése, terjedése a hálózaton.

A háromfázisú rendszerben a harmonikusok is háromfázisú mennyiségek, csak a rendszámnak megfelelő frekvenciával. Ugyanúgy ábrázolhatók a forgó koordináta-rendszerben, mint az alapharmonikus fázorok és a fáziskövetési sorrend a forgásirányban meghatározza a harmonikus szimmetrikus összetevőket.

Az 1.3. ábrán egy szimmetrikus háromfázisú rendszer 3. és 5. harmonikus szimmetrikus összetevői láthatók.



1. 3 ábra

Háromfázisú rendszer szimmetrikus 3. és 5. harmonikus áramainak szimmetrikus összetevői

Így a 3. harmonikusra zérus, az 5. harmonikusra negatív sorrendet ad a követési szabály. Általánosítva a k-adik rendszámú harmonikusra

$$I_b^k = I_a^k e^{-jk120^\circ} \text{ és } I_c^k = I_a^k e^{-jk240^\circ} \quad [3]$$

Általánosítva a harmonikusokra a fentieket a szimmetrikus háromfázisú harmonikusok pozitív, negatív és zérus sorrendű követési sorrendje rendszám szerint a következő:

zérus sorrendű harmonikusok: $k=3n$

pozitív sorrendű harmonikusok: $k=3n+1$

negatív sorrendű harmonikusok: $k=3n-1$

ahol k a felharmonikus rendszám és $n = 1, 2 \dots$

A fentiekből következik, hogy az azonos fázisú 3. harmonikus áramok zérus sorrendű jelleggel összegződnek és a nullavezetőben a fázisvezető 3. harmonikus áramának háromszorosa folyik. Mivel, mint láttuk a feszültséginverteres kapcsolásban a 3. harmonikus áram amplitúdója közel akkora, mint az alapharmonikus áramé, a $THD_I > 100\%$, a háromfázisú rendszer nullavezetőjében kb. kétszer akkora eredő áram folyik, mint a fázisvezetőben.

Az 5. harmonikus szimmetrikus esetben negatív sorrendű, ezért a nullavezető áramában csak az aszimmetrikus zérus sorrendű - komponense van jelen. A harmonikus áramok szimmetrikus összetevőinek ismeretében az egyes nemlineáris fogyasztók által termelt harmonikus áramok összegezhetők aszimmetrikus esetre is. Külön-külön számítani kell az egyes fogyasztói harmonikus áramokat fázishelyesen. Az egyes fogyasztói áramok harmonikusenkénti fázishelyes eredője adja az eredő harmonikus áramot leágazásonként, a leágazási áramok fázishelyes összege az eredő transzformátoráram. A további részletek [1.2] -ben részletesen megtalálhatók.

1.3.3 A harmonikusok által okozott problémák

- Hálózati rezonancia egyes harmonikus rendszámokon, ami feszültség- illetve áram-túligénybevételt okozhat.
- Hálózati elemek túlterhelődése, túlmelegedése (kábelek, transzformátorok).
- Téves védelmi működések (pl. bekapcsolási áramlökésre transzformátor differenciálvédelem működés).
- Postai vonalak zavarása (a légvezetékekben folyó zérus sorrendű harmonikus áramok a postai vezetékbe történő átindukálása következtében).
- Gyújtásszög -vezérelt berendezések hibás vezérlése.

Fentiek közül a kommunális kisfeszültségű hálózatokon elsősorban a melegedés, többletvesztések, biztosító kiolvadás, kismegszakító-leoldás, a hálózati rezonancia és a gyújtásszög -vezérelt berendezések hibás üzeme jelentenek veszélyt.

Külön kell foglalkozni a kisfeszültségű berendezéseknél rendkívül elterjedt kapcsolóüzemű tápegységek kondenzátoros szűrésű egyenirányítós bemenetének hálózati visszahatásával. Ez a tápegység megoldás a watt-kilowatt teljesítményű berendezéseknél gyakorlatilag kizorított minden mást. A primer áram jelalakot szemlélteti az 1. 2. ábra. Az áram tartalmazza a páratlan rendszámú harmonikusokat, amelyek közül a 3. harmonikus a legnagyobb. Látható, hogy a fogyasztó áramfelvétele a feszültséghez van mintegy szinkronozva, és a feszültség csúcserőértéke körül van az áramnak egy rövid ideig tartó nagy értéke (ez idő alatt töltődik az egyenirányító szűrő kondenzátora). Az áram harmadik harmonikusa is ilyen módon a feszültséghez van szinkronozva. Ha a három fázisról azonos teljesítményű fogyasztókat (pl. három színes TV készüléket) üzemeltetünk, a feszültségek 120° -os eltolása csak az alapharmonikus áramra nézve eredményez 120° -os eltolást és így a pillanatértékekre nulla összegű áramot, a 3. harmonikusra, mint azt az 1. 3. ábrán bemutattam, a három fázis 120° -os eltolása összegződést jelent ($3 \times 120^\circ = 360^\circ$) és a nullavezetőn a három fázisáramban folyó harmadik harmonikus áramok összege fog folyni.

Egyes típusú, kis bemeneti fojtású feszültség -invertereknél az áram harmadik harmonikus tartalma akár meg is haladhatja az alapharmonikus áram értékét, a kisfeszültségű

négyvezetékes hálózatban a nullavezetőn a fázisvezető áramának 2-3-szorosa is folyhat, ha a terhelések többsége ilyen jellegű (pl. irodaházak központi inverter nélkül).

Ez a tény a tervezői gyakorlatban még nem vált közismertté, így a nullavezető keresztmetszete az esetek többségében a fázisvezető keresztmetszetével azonos. A nullavezető jelentős túlmelegedése várható a fentiek következtében.

A kisfeszültségű hálózaton jelentkező sajátos probléma a feszültség változása által okozott gyújtásszög változás az elektronikus előtétes energiatakarékos kompakt lámpák esetében, ami fényáram változással jár és villogást okoz. A feszültség változását okozhatja a harmonikus tartalom megváltozása, vagy az 1. 2. 3 pontban említett feszültségletörést okozó esemény.

A feszültség harmonikus tartalmának például rezonancia miatti megnövekedése okozhat nem várt működést olyan berendezésekben, amelyekben beépített védelem van feszültségtorzulásra. Ilyenek például a szünetmentes tápok, amelyek 5%-os nagyságú 5. harmonikust engednek meg a bemenetükön, ennél nagyobb értéknél kikapcsolnak és a kimenetükről táplált számítógépek kiesnek.

1.3.4 A harmonikusok által okozott problémák csökkentése

Az előző fejezetekben ismertettem a harmonikusok keletkezését, összegződését, terjedését, az általuk okozott problémákat. Láttuk, hogy a harmonikusok által okozott problémák sokrétűek, és az áramszolgáltatónak és a fogyasztónak közös érdeke a harmonikus torzítás értékének csökkentése. Kérdés, hogy ki mit tehet ennek érdekében.

Fogyasztói beavatkozási lehetőségek

Kisfeszültségű fogyasztók esetében a beavatkozási lehetőségek a következők: A saját belső hálózatának átrendezése és megerősítése. Ez azt jelenti, hogy a csatlakozási ponttól külön hálózatot épít ki a nemlineáris fogyasztók részére, amelynek nullavezetőjét a fázisvezető kétszeres keresztmetszetével tervezi és egy másik hálózatot indít a csatlakozási ponttól a lineáris fogyasztók számára, amelyet a hagyományos elvek szerint tervezhet. Így a nemlineáris fogyasztók által a belső hálózat impedanciáján okozott feszültségtorzulás nem kerül a lineáris fogyasztók tápfeszültségére, csak a csatlakozási ponttól a táppontig tartó közös szakasz feszültségtorzulását észlelik, ami kb. 30%-kal kisebb, mint a teljes feszültségtorzulás lenne.

A zérus sorrendű harmadik harmonikus kiszűrése elválasztó transzformátorral. Egy földelt csillag/delta transzformátor alkalmazható arra, hogy egy nagyobb fogyasztói egység (pl. irodaház) nemlineáris fogyasztói által termelt harmadik harmonikusokat ne engedje a táphálózat felé (akár 0,4/0,4 kV-os is lehet ez az elválasztás).

Passzív harmonikus szűrés. A passzív szűrő a hangolási frekvenciáján kis impedanciájú, ezért söntöli a táphálózatot a harmonikus áramra nézve, amelyre hangolt. Ez a megoldás csak ott javasolható, ahol biztosítható, hogy a szűrő ne terhelődjön túl az idegen nemlineáris fogyasztók által termelt harmonikus áramtól. Ilyen eset pl. amikor a fogyasztói csoportnak (irodaház, bevásárlóközpont) saját közép/kisfeszültségű betáplálása van. Ekkor a kisfeszültségű oldalon a betáplálási pontra telepíthető passzív szűrő, a körülmények (harmonikus áramok, középfeszültségű oldali harmonikus viszonyok, transzformátor-drop, meddőteljesítmény-viszonyok) pontos ismeretében.

Aktív harmonikus szűrés. Az aktív harmonikus szűrés lényegében a fogyasztói áram szinuszosítása elektronikus módon. Általában impulzusszélesség modulált (PWM) inverter a teljesítményelektronikai rész, és mikroprocesszoros automatika állítja elő a szükséges áramot, amely lényegében a torzítás ellentettjét adja hozzá a torzított áramhoz és így eredőben közel szinuszos áramfelvételt biztosít.

Az aktív szűrő alkalmazható ott is, ahol a passzív szűrés nem; például változó frekvenciájú közbenső harmonikusok szűrésére (ilyen harmonikusai vannak pl. a változtatható fordulatszámú hajtásoknak (ASD), aszinkron kaszkád hajtásnak, stb.). Egyetlen hátránya, hogy jelenleg még igen költséges.

Egyik megoldásnál sem lehet elhagyni a nullavezető keresztmetszetének növelését, mivel a szűrés mindig több fogyasztóra vonatkozik, nem gazdaságos kis teljesítményű egységeként szűrni.

Közép- és nagyfeszültségű nemlineáris fogyasztók esetében általában a passzív és aktív harmonikus szűrés, esetleg ezek kombinációja a lehetséges megoldás.

Áramszolgáltatói beavatkozási lehetőségek

Az áramszolgáltatónak az [1. 1] szabvány szerinti minőségű feszültséget kell szolgáltatnia. Tekintettel arra, hogy a torzítást nem az áramszolgáltató hozza létre, az áramszolgáltató feladata az, hogy a megengedett torzítási szintet szétossza a fogyasztók között, kiosztva ezzel a szükséges szűrési feladatokat is a fogyasztóknak. Ennek ellenére az áramszolgáltató is beavatkozhat közvetlen módon. A feszültségtorzulás csökkenthető minden feszültség szinten (ha a rezonancia veszélye kizárt) a tápoldal zárlati teljesítményének növelésével vagy harmonikus szűréssel (aktív vagy passzív).

1.4 Gyors feszültségváltozások (villogás vagy flicker)

1.4.1 Definíció

A közcélú elosztóhálózatra csatlakozó elektromos készülékeknek, így az izzólámpáknak is állandó effektív értékű feszültségre van szükségük a megfelelő működés érdekében. A változó teljesítményű fogyasztók azonban változó feszültségváltozást okoznak. A ciklikus gyors feszültségváltozás - más néven feszültség ingadozás - következménye az úgynevezett villogás (flicker) jelenség. Ez lényegében a feszültség gyors ingadozása által kiváltott időben ingadozó fényességű vagy színképi eloszlású fényinger által létrehozott látásérzet-ingadozás hatásában jelentkezik, ami az embert zavarja munkája végzésében.

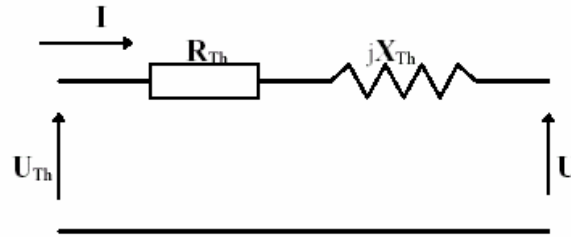
1.4.2 A villogás jelenség kialakulása

A villogást okozó feszültségváltozások jellemzőit a táphálózat Thevenin helyettesítő képe alapján tárgyalom (1.4 ábra)

A fogyasztó oldali feszültség (U) az ellenálláson és a reaktancián átfolyó, induktívnek feltételezett fogyasztói áram által okozott feszültségesés következtében kisebb, mint U_{Th} . A feszültségesést a hosszirányú feszültségeséssel közelítve:

$$U = |U_{Th}| - (I_W R_{Th} + I_M X_{Th}) = |U_{Th}| - \frac{1}{3U^*} (PR_{Th} + QX_{Th}) \quad [4]$$

(ahol U a valós tengely irányába esik).



1. 4 ábra
A hálózat Thevenin képe

Mint az egyenletből leolvasható, a feszültségváltozás a terhelés oldali P és Q változásától függ. Az időben változó terhelés által okozott feszültségváltozás a következőképpen fejezhető ki:

$$\delta U \cong \frac{1}{3U^*} (R_{Th} \delta P + X_{Th} \delta Q) = \Delta I_W R_{Th} + \Delta I_M X_{Th} = \delta(\Delta U) \quad [5]$$

Konstans terhelés esetén $\delta P = 0$ és $\delta Q = 0$, így $\delta U = 0$ és ezért ΔU értéke időben változatlan. A feszültségváltozás definíciója látható a 1.5 ábrán.

A t_1 időpontbeli feszültség effektív értékének definíciója a következő:

$$U_F(t_1) = \sqrt{\frac{2}{T_F} \int_{t_1 - T_F/4}^{t_1 + T_F/4} U^2(t) dt} \quad [6]$$

ahol $T_F = 20\text{ms}$ és $\omega_F = 2\pi/T_F$. Jelöljük az U_F effektív értékek átlagát

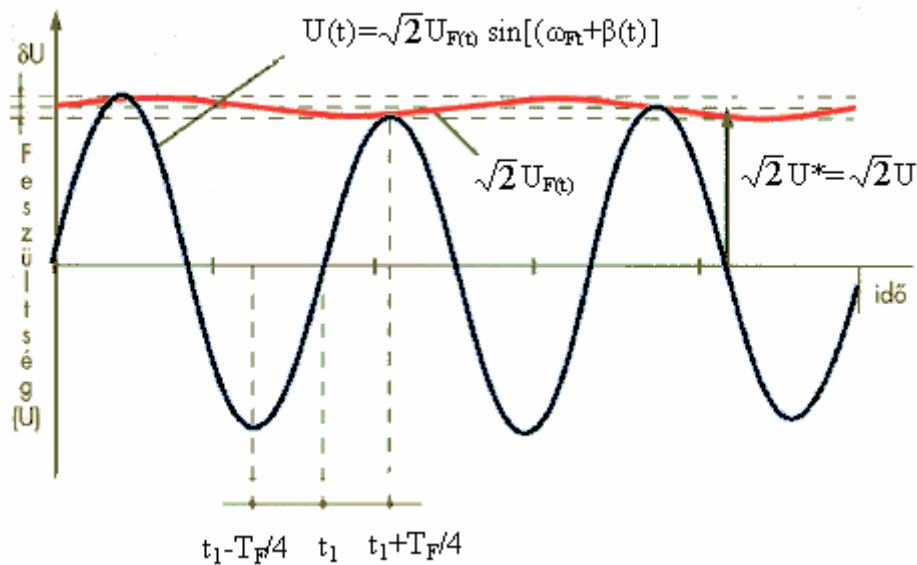
$$U_{Fm} = \lim_{T \rightarrow \infty} \left[\frac{1}{T} \int_0^T U_F(t) dt \right] = U^* \quad [7]$$

Az emberek nemcsak a feszültségváltozásra érzékenyek, hanem a feszültségváltozás frekvenciájára is (lásd a 1. 6 ábra).

A 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),
- hegesztőkészülékek,
- ívkemencék.

Az ívkemence példáján keresztül a [1.2] irodalom részletesen bemutatja a feszültségváltozás előidéző folyamatot.



1. 5 ábra
A villogás modulációs frekvenciájának és mértékének definíciója

1.4.3 A villogás terjedése a hálózaton

A villogás forrásai a kisfeszültségű a közép- vagy nagyfeszültségű hálózatokon helyezkedhetnek el. Az [1.2] irodalom alapján az alábbiakat lehet megállapítani.

A kisfeszültségű oldalon keletkező zavarok a középfeszültségű hálózat irányába terjednek.

A villogásérzékelési szintek két (A, B) mérési pontnál a következőképp alakulnak:

$$P_{st}^{(B)} = P_{st}^{(A)} \frac{S_Z^{(A)}}{S_Z^{(B)}} \quad [8]$$

A kisfeszültségű oldalon keltett zavarok csökkent mértékben befolyásolják a középfeszültségű oldalt, azaz hatásuk lokálisabb.

A közép- vagy nagyfeszültségű oldalon elhelyezkedő források tulajdonságai azonban korántsem ilyen kedvezőek.

Tételezzük fel, hogy négy mérési pontunk van, a B, C és D pontok a közép- vagy nagyfeszültségű oldalon, míg az A pont a kisfeszültségű oldalon helyezkedik el. A villogásérzékelési szintek a következőképp alakulnak:

$$P_{st}^{(A)} \approx P_{st}^{(B)} \approx P_{st}^{(C)} \quad [9]$$

$$P_{st}^{(D)} = P_{st}^{(C)} \frac{S_Z^{(C)}}{S_Z^{(D)}} \quad [10]$$

(Az ábrákat 1. a 6. fejezetben)

A villogás zavaró hatását nehéz objektíven mérni. Az UIE/IEC által kifejlesztett, villogásmérésre használt módszer szimulálja a feszültségváltozás-fényforrás-szem-emberi agy érzékelési folyamatot és megbízhatóan jelzi egy megfigyelőnek bármilyen fajta villogásra adott reakcióját. A feszültségváltozásnak ugyanis két jellemzője van, amik együtt befolyásolják a villogás zavaró hatását: az amplitúdója és a frekvenciája (a 1.6. ábra a megengedett, és a szabványban szereplő határértékeket mutatja).

Amint látható, az ember a 8,8 Hz-es feszültségváltozásokra a legérzékenyebb. Az emberi érzékenység tulajdonságai megkövetelik egy speciális mérőműszer, a villogásmérő (flickermérő) használatát.

1.4.5 A mérési eljárás

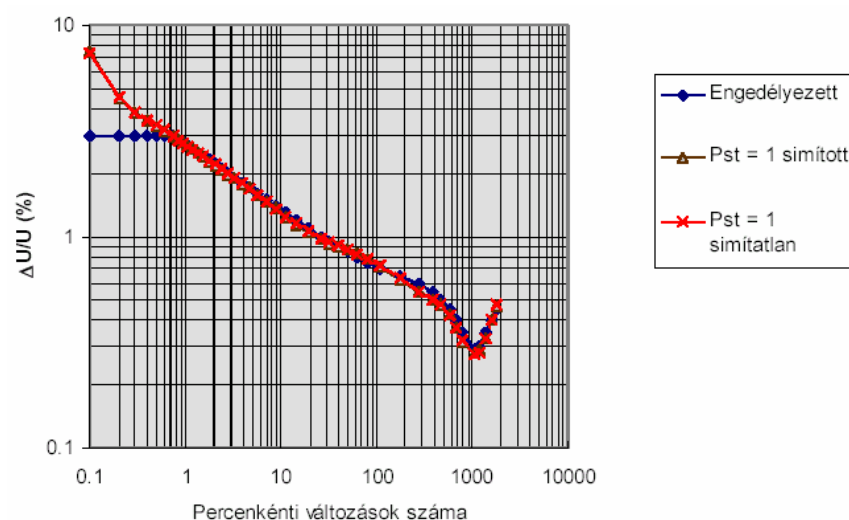
A villogás mérésére alkalmazott műszer öt egységből állónak tekinthető, amelyek funkcionálisan elkülöníthetők (1.7. ábra).

Az 1. egység szerepe a mérendő bemeneti feszültség fogadása és egy belső referenciaszint előállítása.

Így a villogásmérések az aktuális hálózati feszültségtől függetleníthetők, és az eredményeket meg lehet adni százalékos formában.

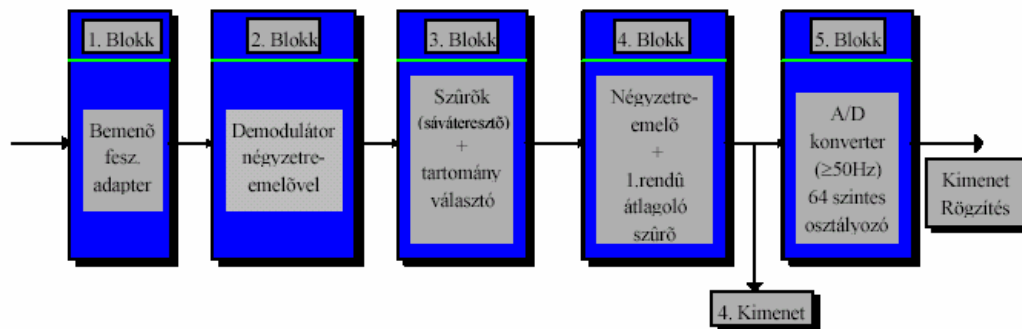
A 2. egység szerepe a feszültségváltozás elkülönítése az 50 Hz-es jeltől, amit a bemenő jel négyzetre emelésével ér el.

A 3. egység két szűrő és egy mérési határ beállító egymásutánja, amelyek megelőzhetik vagy követhetik a szelektív szűrő áramkört. Az első szűrő eliminálja a demodulátor kimenet egyenkomponensét és kétszeres alapharmonikusát. A második alakítja ki a flickermérőnek a moduláló ingadozásra adott átviteli függvényét (a szűrő szimulálja egy izzószálas égő és az emberi látórendszer szinuszos feszültségváltozásokra adott frekvenciaválasztát).



1. 6 ábra

Az [1. 9] által jóváhagyott maximális feszültségváltozás mérték



1. 7 ábra
Az UIE flickermérő funkcionális diagramja

A 3. egység szűrőinek átviteli függvényét írja le a következő egyenlet:

$$F(s) = \frac{k\omega_1 s}{s^2 + 2\lambda s + \omega_1^2} \cdot \frac{1 + \frac{s}{\omega_2}}{\left(1 + \frac{s}{\omega_3}\right)\left(1 + \frac{s}{\omega_4}\right)} \quad [11]$$

$$\begin{aligned} k &= 1.74802 \\ \lambda &= 2\pi 4.05981 \\ \omega_1 &= 2\pi 9.15494 \\ \omega_2 &= 2\pi 2.27979 \\ \omega_3 &= 2\pi 1.22535 \\ \omega_4 &= 2\pi 21.9 \end{aligned}$$

A 4. egység egy négyzetre emelőből és egy elsőrendű aluláteresztő szűrőből áll. A lámpán, szemén és agyon keresztül történő emberi villogás érzékelés szimulációja a 2., 3. és 4. egység kombinációjával valósul meg. Tehát a 4. egység kimenete a pillanatnyi villogásérzékelést adja. Az 5. egység magában foglal egy mikroprocesszort, ami a villogásszintek on-line kiértékelését végzi, így lehetővé teszi a fontos kiértékelési eredmények közvetlen számítását. A 4. egység kimenetére alapozva megoldható az adatok off-line elemzése is, erről lesz szó a fejezet további részében.

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 osztályozzuk értékük szerint,
- amikor letelik a megfigyelési időszak, kiszámoljuk az eloszlásfüggvényt.

A magányos csúcsértékek figyelmen kívül hagyása végett a megfigyelési időszak alatt mért maximális villogás értéket nem vesszük bele a számításba. A megfigyelési időszak hossza 1 és 10 perc. Az eloszlásfüggvény alapján az alábbi algoritmust definiálta a szabvány:

$$P_{st} = \sqrt{K_1 P_1 + K_2 P_2 + \dots + K_n P_n} \quad [12]$$

ahol P_{st} , a kiszámítandó rövid idejű villogás mérték, míg K_1 -től K_n -ig súlyozó faktorok és $P_1, P_2 \dots P_n$ az eloszlásfüggvénynek egy bizonyos meghaladottsági gyakorisághoz tartozó szintjei. Az [1.10] által kifejlesztett algoritmusban 5 töréspontot adtak meg, amelyek a következők:

- $P_{0,1}$ a szint, amelyet csak a megfigyelési időszak 0,1 %-a halad meg.
- P_1 a szint, amelyet csak a megfigyelési időszak 1 %-a halad meg.
- P_3 a szint, amelyet csak a megfigyelési időszak 3 %-a halad meg.
- P_{10} a szint, amelyet csak a megfigyelési időszak 10 %-a halad meg.
- P_{50} a szint, amelyet csak a megfigyelési időszak 50 %-a halad meg.

A megfelelő K együtthatók:

- $K_{0,1}$ a 0.1 %-os szinthez = 0.0314
- K_1 az 1 %-os szinthez = 0.0525
- K_3 a 3 %-os szinthez = 0.0657
- K_{10} a 10 %-os szinthez = 0.28
- K_{50} az 50 %-os szinthez = 0.08

Azon, működésük közben konstans zavart okozó terheléseknél, amelyeknek ki/be működési ciklusuk van, észrevették, hogy a ciklus hosszának kis változása megváltoztathatja a százalékos pontok egyikének értékét és így a számított villogásmértéket. Ennek elkerülésére a százalékok simított értékei használandók a számításhoz. Számításuk a következőképpen történik:

$$\begin{aligned} P_{50S} &= (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3 \\ P_{10S} &= (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5 \\ P_{3S} &= (P_{2,2} + P_3 + P_4)/3 \\ P_{1S} &= (P_{0,7} + P_1 + P_{1,5})/3 \end{aligned}$$

További simításra nincs szükség, mivel a $P_{0,1}$ a flickermérőbe beépített 0.3 s-os időállandó miatt nem változhat ugrásszerűen. Az algoritmus számára megváltoztatták az eredeti, a 1.6. ábrán látható határgörbét az 1-től 0.1 percenkénti változásszakaszon, kiterjesztették 7,5 %-ra a 0.1-es percenkénti változásszintnél. Ugyancsak van egy kisebb eltérés (akár 10 % is) az ábra jobb oldali részén a határgörbe és az egységnyi érzékelési szint között (l. 1.6. ábra, P_{st} , simítatlan és simított értékek). A mérési módszer hibájának azonban minden esetben 5 % alatt kell maradnia. Gyakorlati tesztek igazolták, hogy a fenti módszer korrekt eredményeket ad különböző hálózati zavarokra. A módszert úgy fejlesztették ki, hogy az emberek $P_{st} = 1$ szint mellett érezzék a villogást zavarónak.

Ugyan a rövid idejű villogásmérték a maga 10 perces hosszával alkalmas magányos zavarforrások mérésére, de bonyolultabb források, úgy mint több, véletlen módon működő terhelés együttese, valamint hosszabb és változó ciklusidejű terhelések mérésére is szükség van. A hosszú idejű villogásmérték-értékeket a megfigyelési időszak minden napjának minden 2 órájára ki kell számolni, 12 db egymást követő 10 perces P_{st} , érték felhasználásával, amelyek az adott 2 órás intervallumból származnak a következő definíció szerint.

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\sum_{i=1}^{12} \frac{P_{sti}^3}{12}} \quad [13]$$

ahol P_{sti} a 10 percenként számított 10 perces érték. Az [1. 1] 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 $P_{lt} \leq 1$.

1.4.5 Az erősáramú hálózatok harmonikus és villogás zavarokat kibocsátó forrásainak azonosítása és a zavarok mértékének számítása

Az [2.1.16]-ban részletesen megtalálható az erősáramú hálózatok harmonikus és villogás zavarokat kibocsátó fogyasztóinak azonosítására (helyének behatárolására), valamint az azonosított fogyasztók egyedi zavarási mértékének meghatározására szolgáló mérési és a mérés kiértékelésén alapuló számítási módszer. Mérési és kiértékelési módszert és algoritmust ismertet a fogyasztói táptranszformátor nagyobb feszültségű oldalán a harmonikus feszültségtorzulás meghatározására, a kisebb feszültségen végzett mérések eredményei alapján.

2. A külföldi szakirodalom áttekintése

2.1 A harmonikusok összegezése és terjedése

A [2. 1.1] angol nyelvű szakirodalom címe magyar nyelvre fordítva: A harmonikusok időbeni változása: 2. rész – A harmonikusok összegezése és terjedése.

Ez a cikk 24 db szakirodalom módszereit ismerteti. Bemutatja a villamosenergia-rendszerben lévő harmonikusok valószínűség számítási módszerekkel történő vizsgálatát. Tartalmazza az egyedi, valamint a több elosztott harmonikus forrás derékszögű koordináta szerinti és fázor összetevőinek valószínűség számítási módszerekkel történő meghatározását. Az eljárás meghatározza az elosztott és véletlen harmonikus áramforrásokból eredő harmonikus feszültségek statisztikai eloszlását.

A [2. 1.1] megállapítása a hazai tapasztalatokkal megegyezik: „Az áramszolgáltató vállalatok az elosztóhálózatukon a feszültség és áram harmonikusok szintjében növekedést tapasztaltak. Ez elsősorban a teljesítményelektronikai berendezések széleskörű használatának a következménye, amelyek megtalálhatóak a háztartási, kereskedelmi és ipari fogyasztóknál.

A harmonikusoknak az energiarendszer készülékeire és a rendszer működésére gyakorolt lehetséges hatásai nyugtalanítóvá váltak a szolgáltató számára. Következésképpen, a harmonikusok a továbbiakban már nem hagyhatók figyelmen kívül az ipari rendszerekben, mivel azok elhanyagolása olyan problémákhoz vezethet, mint a kondenzátorok tönkremenetele, vagy a transzformátorok és a nullavezető túlmelegedése.”

Figyelemre méltó az alábbi észrevétel:

„Az áramok elszórt pontjai, amint az szintén ismeretes, szabálytalanul változnak, a helyi szolgáltató hálózatára csatlakozó terhelések típusától függően. Számos korábbi munka elemezte az egyes fogyasztói csoportokat, és kiértékelte az eredő harmonikus áramokat a közös csatlakozási ponton. A [2. 1. 2] és [2. 1. 3] szakirodalom egy villamos jármű akkumulátortöltő készletét tanulmányozta, ahol a töltés és kisütés indítási idejének kezdeti

állapota véletlenszerű. A [2. 1. 4] szakirodalom egy csoport számítógépi terhelés eltéréseit vizsgálta különböző fázisszögek esetében. Végül a [2. 1. 5] szakirodalom egy csoport változtatható sebességű légkondicionáló berendezést vizsgált különböző működési ciklusokkal. A fenti tanulmányok legfőbb következtetése, hogy gyakran van jelentős harmonikus kioltás, és hogy a legrosszabb eset (azaz az algebrai összeg) gyakran túlságosan óvatos számítás, néha egy nagyságrenddel nagyobb értéket ad a várható értéknél.”

A módszer alkalmazásánál a következőket ajánlatos megfigyelni.

„Az energiarendszerek harmonikus szintjeinek teljes jellemzése fontos információkat szolgáltat az üzemeltető mérnökök és a készülékek tervezői számára. A harmonikus feszültségek statisztikai indexeinek néhány lehetséges alkalmazása tartalmazza a harmonikusok készülékekre gyakorolt hatásának újraértékelését és a jelenlegi ajánlott határértékek megfelelő felülvizsgálatát. A harmonikusoknak a készülékekre gyakorolt hatását a [2. 1. 6] irodalom dokumentálja, amikor egy általános statikus torzítást tételezünk fel. A harmonikusok véletlenszerűségének a hatása a villamos készülékek hőmérsékletnövekedésére és szigetelésének igénybevételére került vizsgálatra a [2. 1. 6] és [2. 1. 7]-ben. Noha minden berendezés különbözőképpen reagál a harmonikusokra, általánosan elfogadható a rövid idejű impulzus alkalmazása. Következésképpen, a készülékek tervezésénél a legrosszabb esetet feltételezni, túlságosan óvatos és költséges lehet.

Az [2. 1. 8] elismeri a harmonikusok időbeli változását, de az ajánlott feszültség és áram harmonikus határértékek statikusak és nem veszik számításba a tényleges véletlenszerűséget. Eközben más szabványok tartalmazzák a változtatást a határértékeknek a százalékosztály függvényében történő állításával. Például, egy [2. 1. 9] tanulmány a határértékeket a 95-ös százalékosztállyal állítja be (azaz a határértékek túllépése az idő 5 %-ában megengedett). Mások a harmonikus lökések időtartamát tartalmazzák [2. 1. 10]. Univerzális határértékeket akkor fognak elfogadni, ha a harmonikusok készülékekre gyakorolt hatását számszerűsítik, és jól dokumentálják. Ezen a területen további munka javasolt.”

A szakcikkből az alábbiakat lehet következtetni. Ez a cikk áttekintette a harmonikusok összegződésére és terjedésére meglévő módszereket olyan helyzetekben, amikor a harmonikus források véletlenszerű összetevőt tartalmaznak. A keletkező áramokra és feszültségekre az egyszerű esetekben explicit kifejezések vezethetők le, amikor az injektált áramok függetlenek és egyenletes, vagy Gauss-féle eloszlást mutatnak. A többi esetet túlságosan bonyolultnak tekintik az analitikus vizsgálatra, és vagy a központi határeloszlás tételhez, amikor számos valószínűségi változó összegzésének kiértékeléséhez kell folyamodni, vagy a Monte Carlo szimulációhoz, amelyik gyakorlatilag bármilyen statisztikus problémát kezelni tud. Ezek a statisztikai vizsgálatok több valós adatot szolgáltatnak a harmonikus jelenlegi szintjeiről az elosztó rendszerekben. Ilyen adatok fontosak lesznek, amikor a harmonikusok készülékekre gyakorolt hatását értékelik és a jelenlegi határértékek felülvizsgálatát végzik.

Megjegyzem, hogy a cikk a rezonáns körökkel nem foglalkozik, ami megváltoztatja az eredményeket. A mérések adnak biztonságosabb eredményeket.

2.2 A feszültség letörések és harmonikusok terjedési sajátosságai

A [2. 1. 11] angol nyelvű szakirodalom címe magyar nyelvre fordítva: A feszültség letörések és harmonikusok terjedési sajátosságai a középfeszültségű elosztórendszereken.

A szerzők ebben a cikkben a feszültség minőségi zavarok terjedési sajátosságait, mint például a feszültség letörések és a harmonikusokat, vizsgálják meg. A tanulmány terjedelme az ipari és a közszolgáltatói alállomási szint jelentős zavaraira korlátozódik, ahol a zavarok jellemzően az egyik ipari fogyasztótól a másikkhoz terjednek a közszolgáltatói hálózatokon

keresztül. Egy tipikus elosztórendszeren végzett vizsgálatok alapján, néhány általánosítható következtetést vontak le. Noha ezek a következtetések eset-specifikusak, a szerzők véleménye alapján, attól függően, hogy milyen közel áll a tényleges rendszer a kiválasztott referencia rendszerhez, ezek a következtetések viszonylag könnyen érvényesíthetők és extrapolálhatók a felhasználó véleményének felhasználásával.

Általánosságban a [2. 1. 11] megállapítja: „A hálózati zavarok terjedési sajátosságai kifejezést használják a zavar mértékének a leírására egy, a zavar eredetétől távoli helyszínen. A zavar természete a forrásnál, a hálózati paraméterek, az alkalmazott földelési rendszer, néhány azok közül a tényezők közül, amelyek hozzájárulnak a terjedési sajátosságokhoz. A zavarterjedés tárgya összetett kérdés. Ennek a kérdésnek a mélyreható elemzése és a sajátosságok értékelése a [2. 1. 12] irodalom fő témája. A terjedési sajátosságokról szóló szakirodalom igencsak korlátozott. Azonban a téma fontossággal bír a jövőbeli hálózati alakzatok tervezésénél abból a szempontból, hogy a zavarok terjedését előre jelezze, és ezáltal minimalizálja, a forrástól a többi fogyasztó felé. Szinte kivitelezhetetlen a nagy rendszerek vizsgálatát numerikus szimulációs szoftver csomagokkal, vagy más időtartományban dolgozó szimulációs eszközzel végrehajtani, de létezik az igény a zavarok terjedésének jellemzésére.

Az elosztási szinten a rendszerek óriási többsége sugaras alakzattal egyenértékű. Még ha a rendszer egy több forrást tartalmazó hálózatról kap is táplálást, megadható az egyenértékű helyettesítése egyetlen generátorral a megfelelő hibaszinten. A transzformátorok típusa és kapcsolása, a kisfeszültségű vezetékek és a fogyasztók valamennyi elosztó rendszerben alapján véve azonosak. Ezért egy részletes tanulmány tipikus rendszereken - amint azt ebben a cikkben bemutatjuk - hasznos lesz ahhoz, hogy általános következtetéseket vonjunk le az energiaminőség vonatkozásában, és ezek az észak-amerikai villamos rendszerekben megtalálható valóságos rendszerek százaira alkalmazhatók.

Csak a középfeszültségű (Köf) elosztó rendszereket vizsgáljuk. A középfeszültségű elosztó rendszerekben leggyakrabban előforduló zavarok a letörések, a harmonikus torzítás, a kondenzátor kapcsolások és az aszimmetria. A jelen cikkben bemutatott tanulmány csak a letörések és a harmonikus terjedésére korlátozódott.”

A vizsgálat módszeréről a szerzők a következőket írják: „A letörés terjedésének vizsgálata alapján véve villamos tranziensek vizsgálata az energiarendszerekben. A szimulációs vizsgálat egy ígéretes megközelítése ennek a problémának, mivel a letörés terjedésének terepi mérése drága volna, beleértve a szinkronizált műszerezést a rendszer számos csomópontjában. Ebben a vizsgálatban az EMTP-t használtuk, mint fő szimulációs csomagot. Az EMTP-ben rendelkezésre álló elosztott paraméterű hálózati modelleket és telítődő transzformátorokat használtuk.”

A harmonikus vizsgálatok módszereinek áttekintését mutatják be a [2. 1. 13] és [2. 1. 14] irodalmakban. „A harmonikusok terjedésének vizsgálata alapján véve egy harmonikus terheléseloszlás vizsgálat, ahol a harmonikusokat termelő fogyasztókat ismertnek tételezzük fel. A harmonikus áramlás vizsgálatára egyenértékű pi vezetékmodell már megfelelő. A teljesítményelektronikai átalakítók által okozott harmonikusok vizsgálatára az EMTP és a CYMHARMO [2. 1. 15] programokat használtuk.”

A továbbiakban egy speciális egyvonalas kapcsolási vázlattal szemléltetett mintarendszert használtak a terjedési sajátosságok vizsgálatára.

A szakcikkből az alábbiakat lehet következtetni. Ebben a cikkben a letörések és a harmonikusok középfeszültségű hálózatokon való terjedését vizsgálták meg széleskörű szimulációs vizsgálatokkal. Egy tipikus rendszeren nyert eredményekből néhány általánosítható következtetést tettek a terjedési tulajdonságaikat illetően.

Egy sugaras rendszerben alapvető különbségek vannak a letörés és a harmonikusok terjedése között. Az előzőekben a 60 Hz-es feszültségforrás szolgáltatja a zárlati áramot, amely közvetlen kapcsolatban áll a zárlati áram útjával. A harmonikus teljesítmény áramlásának az

útja azonban nem olyan könnyen határozható meg, és a kapacitív elemek a harmonikusok áramlásához további utakat alakítanak ki. A harmonikusok áramlása jelentősen esetfüggő, és minden esetet egyedileg kell megvizsgálni.

3. A szakirodalmak elemzése alapján tett megállapítások

A szakirodalom megállapítja, hogy az információtechnológiának (IT) a műszaki, gazdasági, társadalmi élet területén rendkívül nagy jelentősége van. Azt is megállapította, hogy jól felépített rendszerek - amilyen például a CIM is - működésének alapvető feltétele, hogy a működéshez szükséges szolgáltatott villamos energia megfelelő minőségben rendelkezésre álljon.

A szakirodalom rendkívül széles körben foglalkozik a villamos energia minőségével, ezek általános hatásaival. Az IEC szabványok egész sorozata foglalkozik a témával, de azt állapítottam meg, hogy a szabványokban nem elég precízek a definíciók, a mérési módszerek nem mindig egyértelműek és ennek következménye, hogy vannak a szabványok által nem teljesen szabályozott esetek, amikor az IT berendezések érzékenysége jelentkezhethet.

Ha figyelembe vesszük az informatikai eszközök és szoftverek sokaságát, ezek világméretű elterjedését, alkalmazását, valamint azt, hogy ezen tudomány nélkül ma 'megállna' a világ, akkor különösen hiányzóknak kell tekinteni az IT berendezések érzékenységeivel és a villamos hálózatokból érkező zavarhatások ilyen irányú vizsgálatával foglalkozó tudományos kutatásokat.

Az irodalom feldolgozása során arra a megállapításra jutottam, hogy a korszerű elektronikai rendszereket alkalmazó termelési folyamatok számára még a hatályos minőségű, a szabványos paramétereknek megfelelő villamos energia szolgáltatási színvonal sem kielégítő, mivel a szabvány határokon szolgáltatott villamos energia minősége az alkalmazott termelési folyamatokban komoly károkat okozhat.

4. Az IT berendezések érzékenységének vizsgálata laboratóriumi mérésekkel

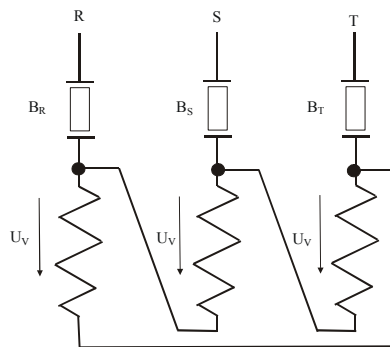
4.1 Tudományos előzmények

Az áramszolgáltató közép feszültségű szabadvezetékes elosztóhálózatán a rövid idejű feszültség kimaradások technikai vagy időjárási hatások miatt gyakran előfordulnak, úgy is lehet mondani, hogy ezek az események elkerülhetetlenül a szolgáltatással együtt járnak. A szabadvezetékes elosztóhálózatokon keletkezett zárlatok elemzése alapján kiderült, hogy a zárlatok 60-70%-a múló jellegű. Múló jellegű zárlatok keletkezhetnek, pl. amikor egy nagy testű madár szárnyaival a két fázisvezetőt rövidre zárja, vagy a szél a csupasz vezetőket összeecsapja, vagy egy faág ráesik a vezetékre, stb.

Ezeket a tényeket felismerve, a szolgáltatók a szabadvezeték tápláló 120/20 kV-os állomásokban a 20 kV-os leágazó mezőkben a védelmekkel egybeépített kétlépcsős visszakapcsoló automatikákat üzemeltetnek. A zárlat esetén a leágazás védelme azonnal - a megszakító önidejű működésével - lekapcsolja a zárlatos vezetéket. A zárlati működés után a

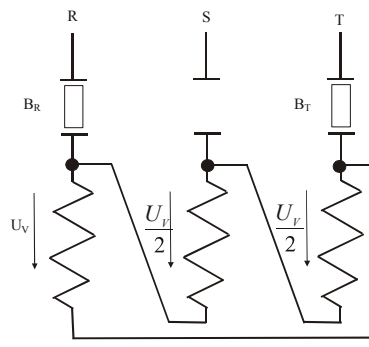
kétlépcsős visszkapcsoló automatika először egy gyors visszkapcsolást végez. A (GVA) gyors visszkapcsolás ideje 0,8 sec. A gyors visszkapcsolás után, ha a zárlat múltó jellegű volt az üzemeltetés folytatódik, ha nem, akkor a védelem ismét lekapcsolja a vezetéket és egy újbóli visszkapcsolást hajt végre de ezt már egy (LVA) lassú visszkapcsoló automatika hajtja végre 60 sec visszkapcsolási idővel. Sikertelen visszkapcsolás esetén a védelem véglegesen kikapcsolja a vezetéket. A fogyasztók folyamatos energiaellátása érdekében a fenti okok miatt kétlépcsős visszkapcsoló automatikák működése esetén egy 0,8 sec rövid és egy 60 sec hosszú idejű feszültség kimaradással kell számolni. Rövid ideig tartó feszültség kimaradást eredményezhet a 120/20 kV-os állomásokban az egyik transzformátor meghibásodása esetén működésbe lépő eseményvezérlésű transzformátor átkapcsoló automatika (röviden: ETRA). Az ETRA működési idejét a transzformátor leágazásokban lévő megszakítók működési önideje határozza meg. A korszerűsített állomásokban ez az érték 0,18 sec. A nagyobb városokban, ahol a középvezetű elosztóhálózat földkábeles kiépítésű, elsősorban az ETRA működési idejével kell számolni.

A gyakorlatban olyan üzemzavar előfordulhat, hogy a három fázisfeszültség közül egy teljes marad a másik kettő pedig fele értéket vesz fel. Ilyen üzemállapot akkor jön létre, amikor a 20 kV-os szabadvezetékes hálózatról üzemelő 20/0,4 kV-os transzformátor 20 kV-os biztosító betétek közül csak egy olvad ki. Ha a transzformátor 20 kV-os oldalán a tekercsek delta kapcsolásban vannak, és egy biztosítóbetéti kiolvadás akkor egy tekercsre a teljes vonali feszültség, a másik kettőre pedig a vonali feszültség fele esik. A gerjesztési törvény értelmében a szekunder oldali feszültségek is ennek megfelelően alakulnak ki.



4.1 ábra

Normál üzemenben a delta tekercsek
feszültség viszonyai



4.2 ábra

Egy primer biztosító kiolvadása esetén
a delta tekercsek feszültség viszonyai

Ez egy olyan zavart előidőző eset, amit az IT-berendezések üzeménél figyelembe kell venni. A fogyasztónál ezért, olyan automatikus átkapcsoló berendezést célszerű kiépíteni, amelyik biztosítja, hogy mindig az ép fázison üzemeljenek az IT-berendezések. A nagyobb városokban, ahol a középvezetű elosztóhálózat földkábeles kiépítésű, ilyen üzemzavar nem jön létre, mert a transzformátor állomásokban egy primer biztosító kiolvadásakor háromfázisú lekapcsolás történik.

4.2 Célkitűzések

A vizsgálat célja annak megállapítása, hogy a laboratóriumi körülmények között üzemelő számítógépek (IT) üzemét miként befolyásolják olyan tipikus vezetett hálózati zavarok, mint:

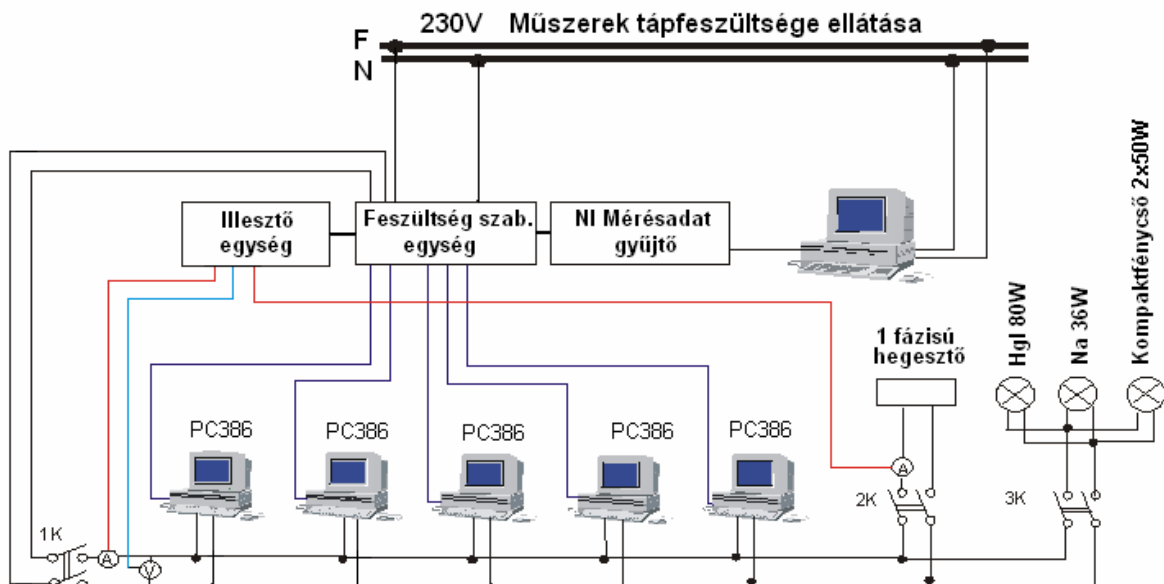
- Rövid idejű feszültség kiesések
- Feszültség letörések
- A hegesztés és közvilágítási lámpák hullámalak torzító hatása

A vizsgálathoz a kereskedelemben beszerezhető, nagyszámú számítógépet, egy egyfázisú hegesztő berendezést és három különböző típusú, erős felharmonikusokat termelő közvilágítási fényforrást használtam fel. A méréssorozatokkal végzett vizsgálatoknál (egy időben) öt számítógép viselkedését tanulmányoztam, melyek alapján a nagyszámú mérés eredményeit feldolgozva, következtetéseket állapíthattam meg. A laboratóriumi elrendezés az ipari körülmények vizsgálatát jól reprezentálja.

4.3 A kidolgozott mérő rendszer és az elért eredmények ismertetése

A mérésekkel ellenőriztem, hogy a feszültség csökkentésre és a rövid idejű feszültség kimaradásokra hogyan reagálnak a számítógépek. A mérés összeállítási vázlatát a 4.3 ábra mutatja.

A feszültség csökkentést az Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszéken rendelkezésemre bocsátott szabályozó berendezéssel állítottam elő, a rövid idejű feszültség kimaradások létrehozására egy elvileg is új áramkört fejlesztettem ki, amelynek kapcsolási rajzát a 4.6 ábra mutatja.



4.3 ábra
A mérés összeállítási vázlata

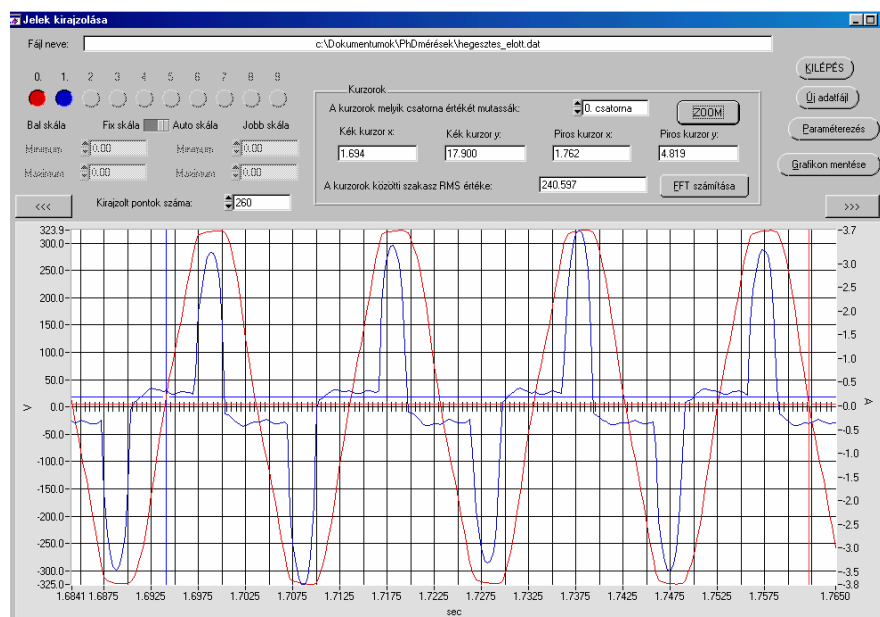
A számítógéppel támogatott méréseknél a National Instrument gyártmányú 16 csatornás nagysebességű, 12 bites A/D átalakítót és számítógépes mérésadatgyűjtőhöz kifejlesztett „Rajzoló” szoftvert használtam.

4.3.1 A kiindulási állapot mérési eredményei.

A vizsgálat első lépéseként megvizsgáltam a számítógépek áram és feszültség viszonyait. A mérések alkalmával a (viszonylag "tisztá") 50Hz-es hálózati feszültséget és a számítógépek által felvett eredő áram hullám alakját és ezek harmonikus összetevőit vizsgáltam.

A 0-jelű (piros) a hálózati feszültséget, az 1-jelű (kék) a számítógépek felvett áram értékeit mutatják. Az időfüggvényeket a 4. 4 ábra mutatja.

Az időfüggvények hasonlóak a szakirodalmakban gyakran hivatkozott, az egyfázisú feszültséginverteres kapcsolás feszültség-áram viszonyait bemutató ábrákhoz. Ez azért van így, mert a számítógépek tápegységében is feszültséginverteres egyenirányítót használnak. Azokat a fogyasztókat, amelyek az 4.4 ábrán látható esethez hasonlóan a szinuszos feszültségre kapcsolva nem szinuszos periodikus áramot vesznek fel - a szakirodalom - nemlineáris fogyasztóknak nevezi. A mérések azt igazolják, hogy a számítógépek a nemlineáris fogyasztók kategóriájába tartoznak.



4. 4 ábra

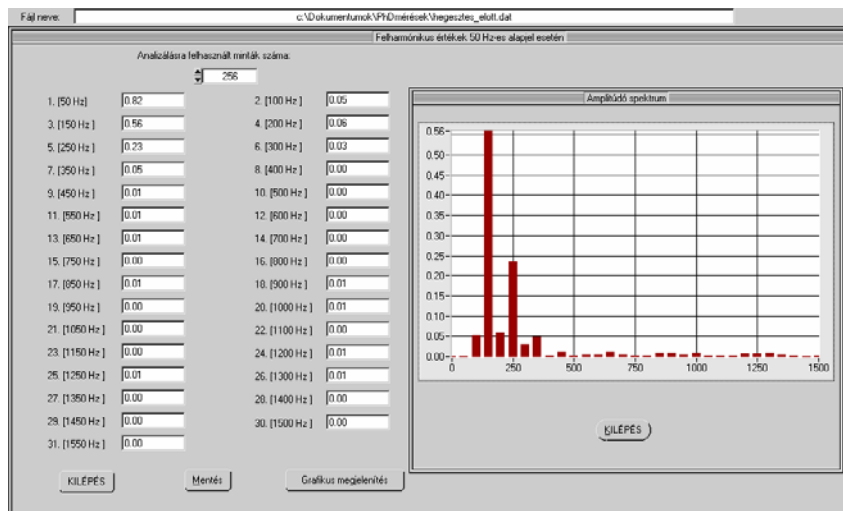
A számítógép csoport áram (kék) és feszültség (piros) pillanatértékeinek időbeni változása

A 4. 5 ábra a számítógép csoport áram felharmonikus amplitúdó spektrumát mutatja.

A vízszintes tengelyen a frekvencia, a függőleges tengelyen az amplitúdó olvasható le.

Látható, hogy a 3. és az 5. harmonikusok termelése jellemző a számítógépekre, jelen esetben a 3. nagyobb mint az 5. A mérés igazolja, amit az értekezésem „**1.3.3 A harmonikusok által okozott problémák**” fejezetben részletesen kifejtettem, hogy a kisfeszültségű négyvezetékű hálózatban a nullavezetőn a fázisvezető áramának 2-3-szorosa is folyhat, ha a terhelések többsége ilyen jellegű (pl. irodaházak központi inverter nélkül).

Ez a tény a tervezői gyakorlatban még nem vált közismertté, így a nullavezető keresztmetszete az esetek többségében a fázisvezető keresztmetszetével azonos. A fentiek következtében a nullavezető jelentős túlmelegedése várható, ami végső soron a nullavezető szakadását eredményezi, ami által az IT-berendezések üzeme megszakad.



4. 5 ábra

A számítógép csoport áram felharmonikus amplitúdó spektruma

4.3.2 A rövididejű feszültség kimaradás vizsgálata

A rövididejű feszültség kimaradás hatásainak vizsgálatára egy olyan elektronikus kapcsolót kellett tervezni, amely lehetővé teszi, hogy egy széles időtartományban de rendkívül finom (max 20 ms-os) lépésekkel szabályozható időközökben az 50 Hz-es, 230 V-os hálózati feszültséget megszakítsuk. Az elektronikus megszakító áramkör elvi kapcsolása a 4.6 ábrán látható.

Az 4. 3 ábrán a 1K-jelű kapcsoló „BE” állásban, a fényforrások (3K) és a hegesztőtranszformátor (2K) kikapcsolt állapotban vannak. A számítógépek üzemállapotának ellenőrzésére a számítógép üzemét jellemző, a számítógép belső áramforrásáról levett +5 V tápfeszültségek jelenléteinek a meglétét használtam fel.

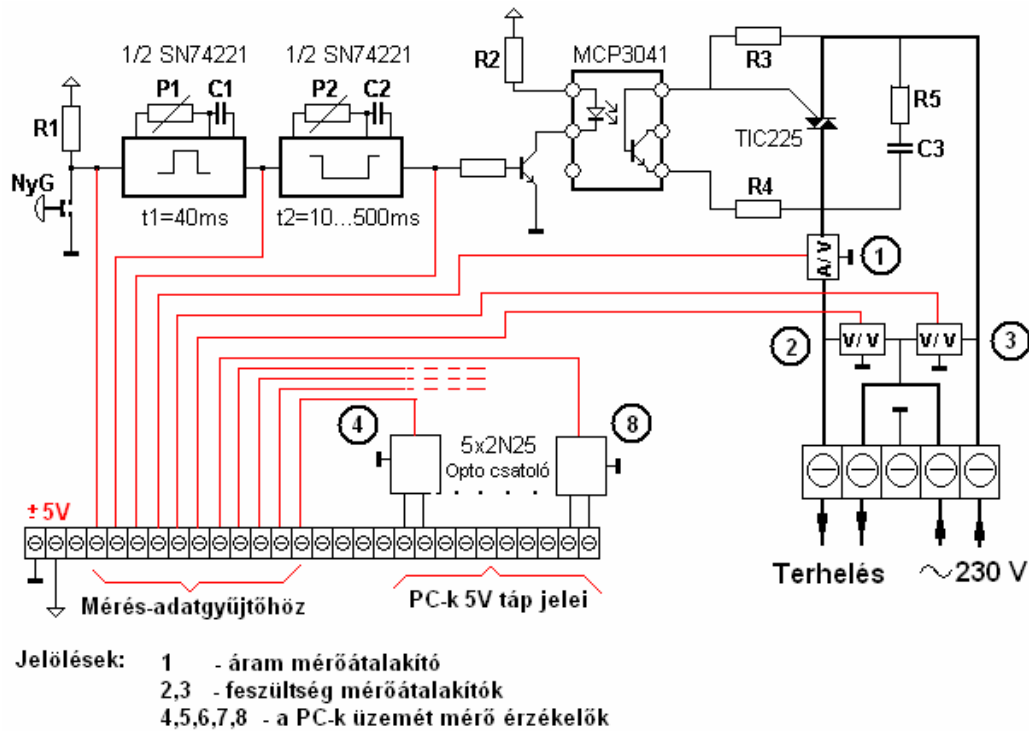
Ahogy a 4.6 ábrán látható, a +5V-os üzemjóságot indikáló jelet egy optókapcsolón keresztül vettem le a vizsgált IT berendezések tápegységeiről. Az optócsatoló inverter kétszintű, azaz ha a bemenetre logikai 1-et (+5V) kapcsolok akkor a kimenet 0 érték lesz.

A mérő rendszert úgy építettem fel, hogy a tápfeszültség meglétét egy vízszintes vonal - ami megfelel az optócsatoló inverter kimenet 0 értékének - jelzi.

A feszültség kimaradás idejét ebbe a vízszintes vonalba megjelenő négyszögletű jel mutatja. Ennek a négyszögletű jelnek a szélességével tudom beállítani a feszültség kimaradás idejét.

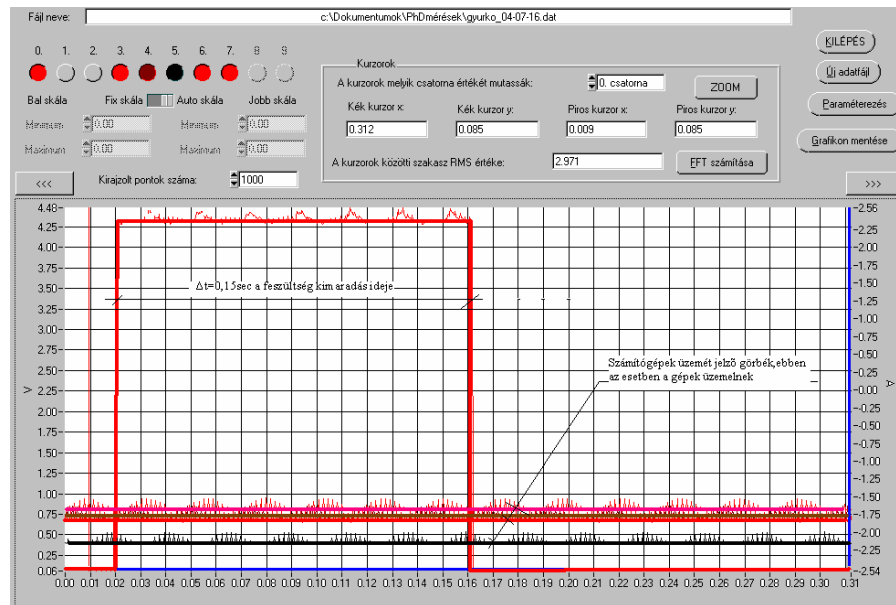
A számítógépek üzemének meglétét a vízszintes jelleggörbe mutatja. Amikor a gép kiesik, az optócsatoló inverter bemenetről a logikai 1 (+5V) eltűnik, és a kimeneten jelenik meg ez az érték, vagyis az eddig vízszintes jelleggörbe megváltozik. A méréshez 8 csatornát használtam az alábbi kiosztásban:

- 0- a változtatott feszültség
- 1- felvett áram
- 2- stabil feszültség
- 3-4-5-6-7 a PC csatlakoztatása



4. 6 ábra
A rövididejű feszültség kimaradást előállító áramkörti egység.

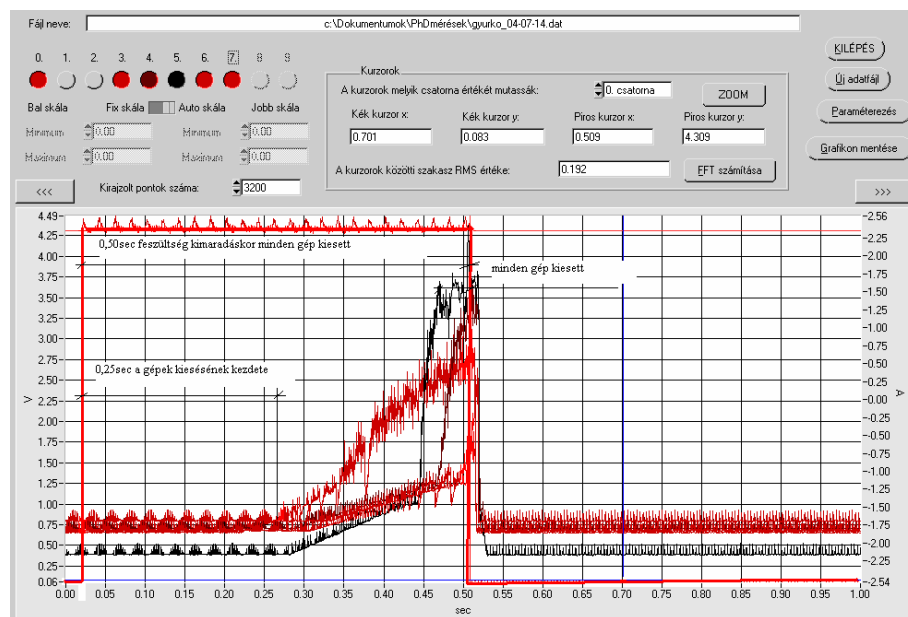
A nagyszámú mérés eredményeit összefoglaló, valamennyi mérésre jellemző az alábbi két diagram. A 4. 7 ábra azt az állapotot mutatja, amikor a feszültség kimaradás nagyon rövid ideig állt fenn - mintegy 0, 15 sec - látható, hogy ilyen rövid ideig tartó feszültség kimaradást a számítógépek elviselnek, azaz nem estek ki. A feszültség kimaradás idejét 20 ms-ként növelve a 4. 8 ábrán látható eredményekhez jutottam.



4. 7 ábra

Rövid ideig tartó feszültség kimaradás, amikor a számítógépek nem estek ki.

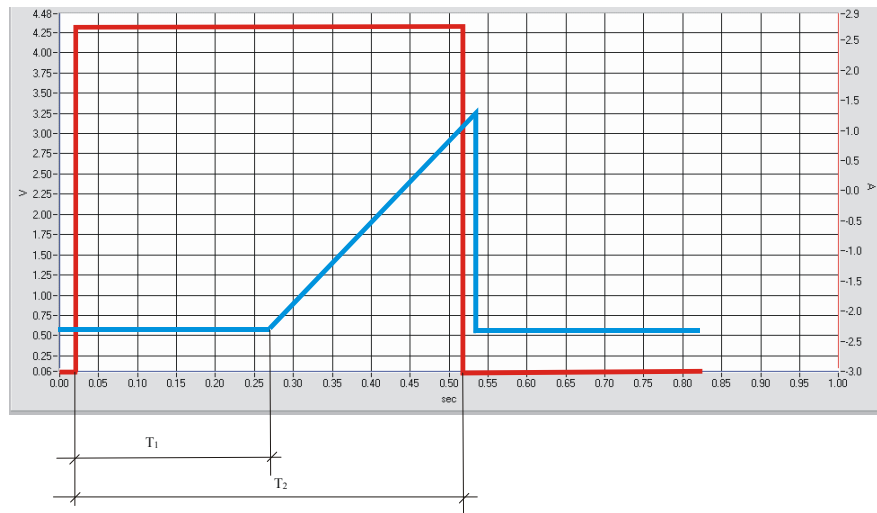
A 4. 8 ábra azt az állapotot mutatja, amikor a rövid ideig tartó feszültség kimaradásakor a számítógépek már kiestek.



4. 8 ábra

Rövid ideig tartó feszültség kimaradás, amikor a számítógépek már kiestek.

Az 4. 8 ábrán jól megfigyelhető, hogy a gépek nem akkor esnek ki, amikor a feszültség kimaradás megkezdődik, a kiesés mintegy 0,25 sec után kezdődik el. Ez annak köszönhető, hogy a tápegységben lévő kondenzátorok kapacitása az üzemet ennyi ideig fenn tudja tartani. A mérések alapján a 4. 9 ábrán látható általános diagram rajzolható meg.



4. 9 ábra

Rövid ideig tartó feszültség kimaradás általános jellemzése.

Az 4. 9 ábrán piros színnel a rövid ideig tartó feszültség kimaradás, kék színnel a számítógépek kiesési jelleggörbéje van ábrázolva. A T_1 és a T_2 idő a vizsgált IT-berendezésre jellemző értékek.

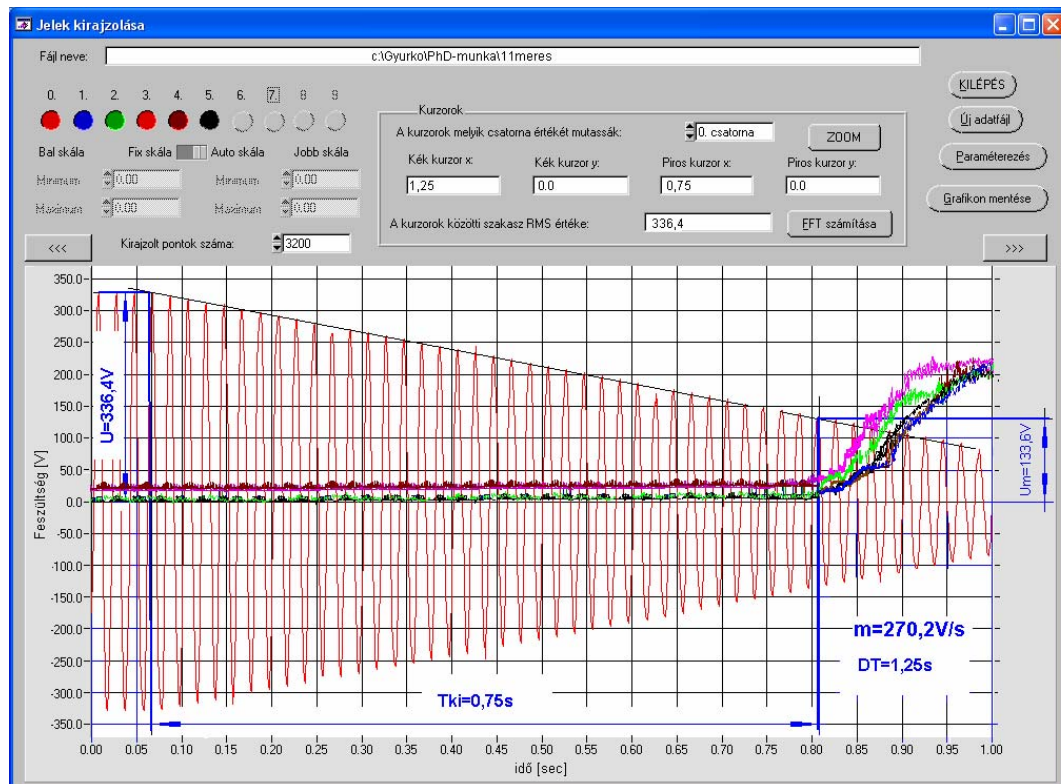
4.3.3 A feszültségletörés vizsgálata

A feszültség csökkentést az Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszéken rendelkezésemre bocsátott szabályozó berendezéssel állítottam elő.

Vizsgálataim alapján meghatároztam az IT berendezések kiesési idejét és a maradékfeszültség nagyságát a feszültség csökkentés meredekségének függvényében. Nagyon sok, mintegy 100db mérési diagramból kiválasztottam a jellemző felvételeket, amelyekből itt 3-at mutatok be, a többi a melléklet tartalmazza. A diagramok adataiból megszerkesztettem egy általános jelleggörbét, amely mutatja az IT berendezések kiesési idejét a feszültség csökkentés meredekségének függvényében.

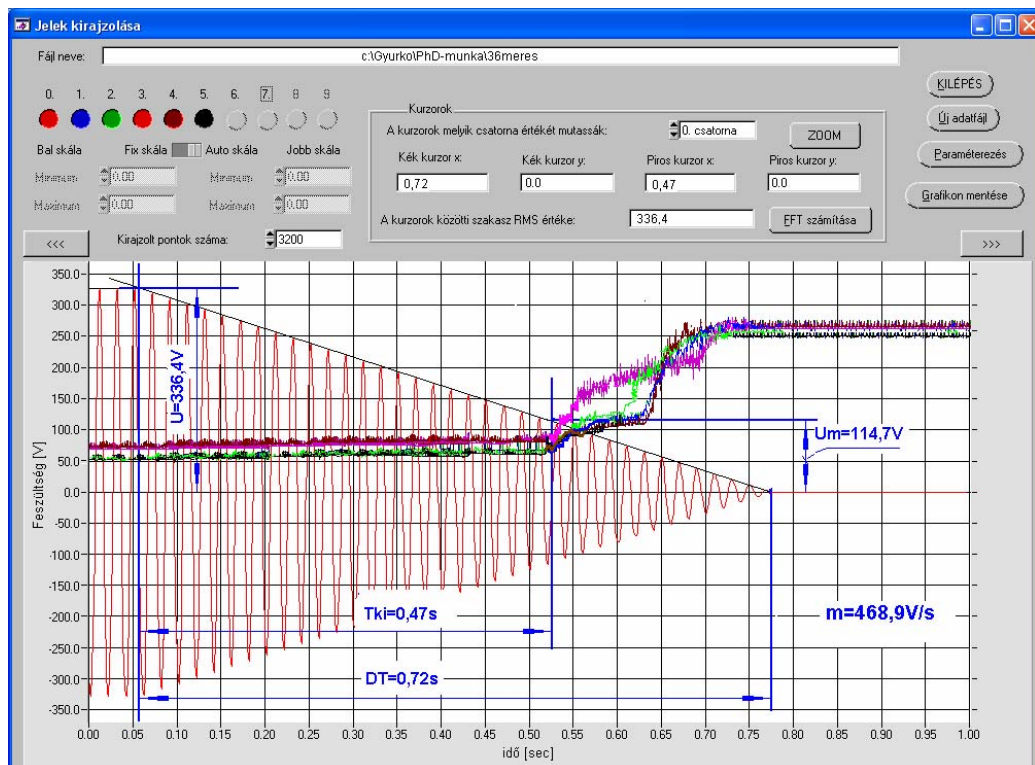
Megvizsgálata, hogy milyen függvény kapcsolat írható fel a meredekség és a kiesési idő között.

Az 4.13 ábrán megjelenített, a 4.1. táblázatban számszerűsített mérési eredmények közötti összefüggést a nem-lineáris regresszió segítségével kíséreltem meg felállítani.



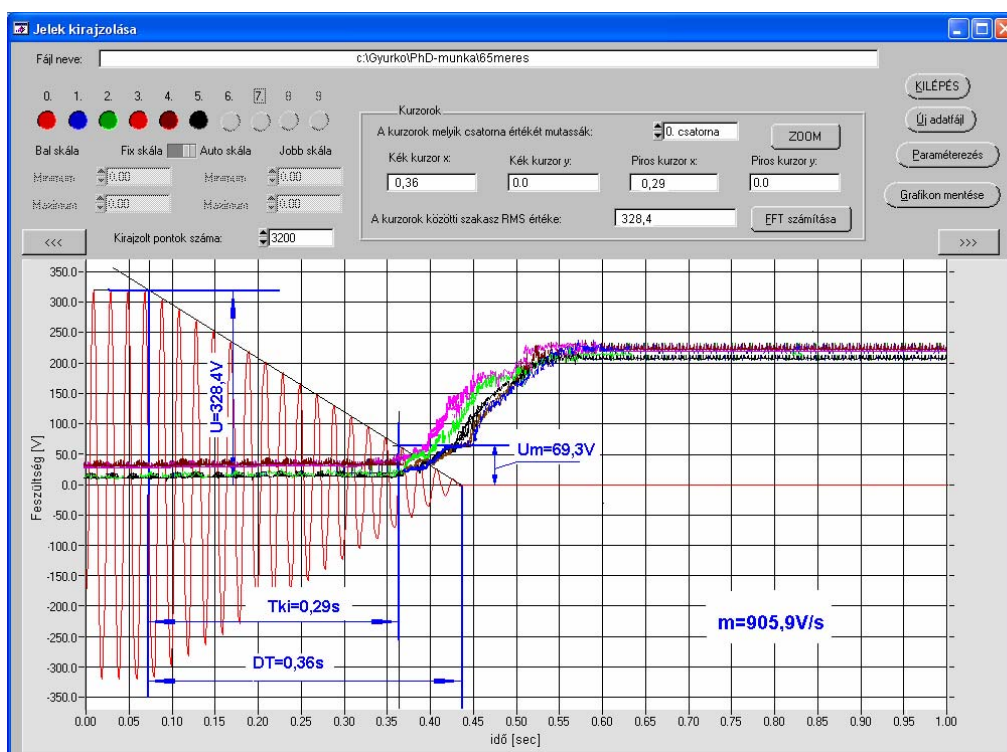
4. 10 ábra

A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (11. mérés)

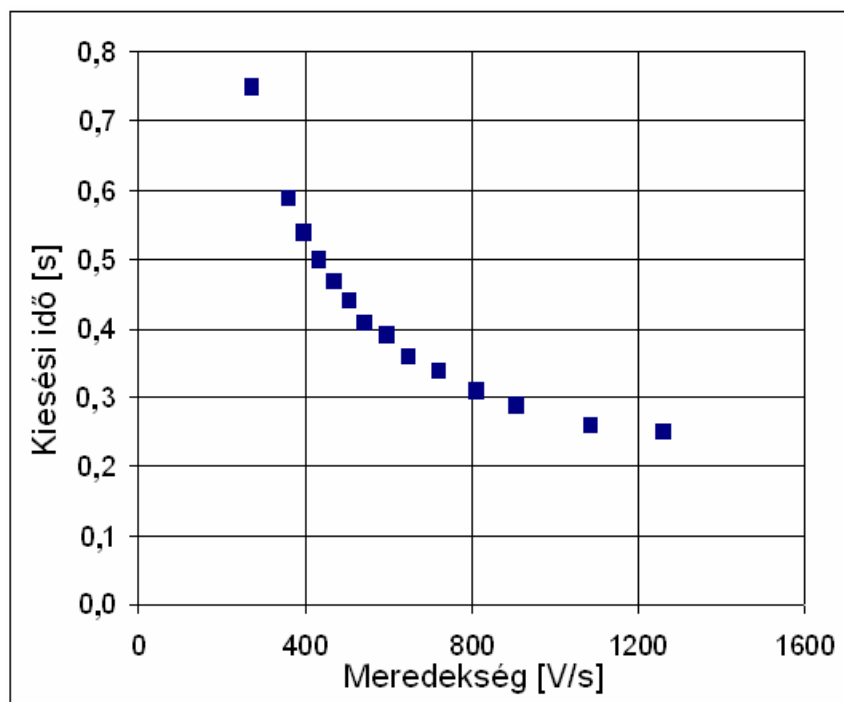


4. 11 ábra

A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (36. mérés)



4. 12 ábra
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (65. mérés)



4.13 ábra
Mérési eredmények

A jellemző mérési adatok összefoglalását a 4. 1 táblázat tartalmazza.

Mérés sorszama	A feszültség csökkenés meredeksége [V/s]	Kiesési idő [s]
11	270,2	0,75
21	360,8	0,59
25	357,0	0,54
29	432,7	0,50
36	468,9	0,47
41	505,0	0,44
42	541,9	0,41
47	556,1	0,39
53	650,0	0,36
56	722,2	0,34
62	810,3	0,31
65	905,9	0,29
73	1085,9	0,26
74	1261,7	0,25
79	1440,0	0,25
83	2357,7	0,25
85	3699,0	0,25

4.1 táblázat
A jellemző mérési adatok

Az Elektrotechnikai Elektronikai Tanszéken rendelkezésre álló matematikai programok segítségével többféle összefüggés szerint végeztem vizsgálatokat.

A legjobb eredményt az alábbi összefüggés biztosította:

$$T_{ki} = A + \frac{B}{m - C}$$

ahol : T_{ki} a kiesési idő [s]
 m meredekség [V/s]

A, B, C állandók, melyeket a számítógépes programok segítségével határoztam meg.

A kapott eredmények :

$A=180$

$B=756$

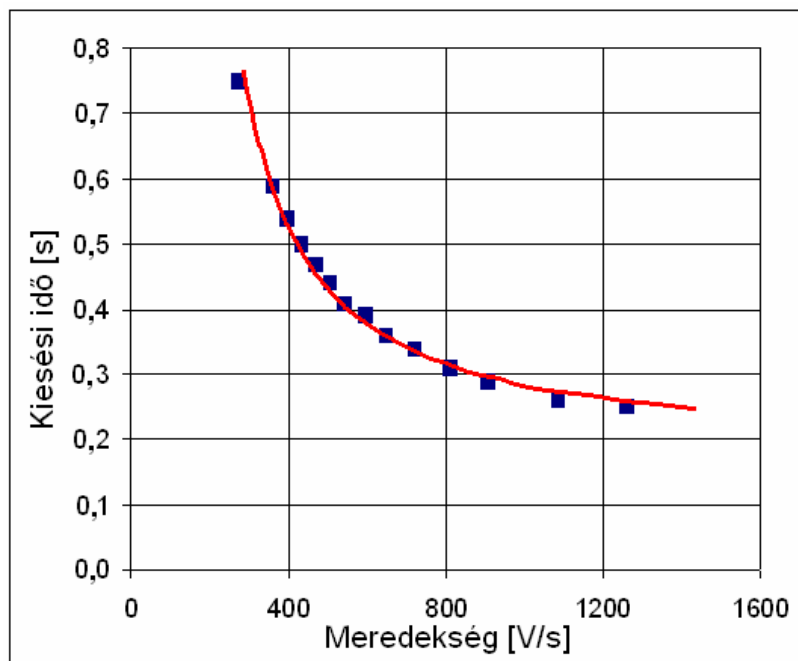
$C=1,75$

A korrelációs együttható ($m=350-1200$ tartományban) : 0,93

A kiesési idő és a meredekség közötti összefüggés :

$$T_{ki} = 180 + \frac{756}{m - 1,75}$$

4.14 ábrán a tényleges mérési eredmények (kis kék négyzetek) és a regressziós egyenlettel meghatározott összefüggés alapján szerkesztett görbe (piros folytonos vonal) együttes képe látható :



4.14 ábra

Az IT berendezések kiesési ideje a feszültség csökkentés meredekségének függvényében.
[a tényleges mérési eredmények (kis kék négyzetek) és a regressziós egyenlettel meghatározott összefüggés alapján szerkesztett görbe (piros folytonos vonal)]

Megvizsgáltam a relatív maradék feszültség (U_m) és a kiesési idők közötti összefüggéseket is és azt az érdekes eredményt kaptam, hogy:

$$(0,9 - U_m) * T_{KI} = const$$

ahol a konstans értéke : $cons = 0,18$

a relatív maradék feszültség:

$$U_m = \frac{U_m^*}{U - U_m^*}$$

4.3.4 A hegesztés és közvilágítási lámpák hullámalak torzító hatásának vizsgálata

Ismeretes, hogy a hálózati feszültség hullámalakjának torzulása következtében olyan felharmonikus feszültségek keletkeznek, amelyek:

- egyes harmonikus rendszámokon, feszültség- illetve áram-túligénybevételt okozhatnak.
- hálózati elemek túlterhelődését, túlmelegedését (kábelek, transzformátorok) okozzák.
- téves védelmi működéseket (pl. bekapcsolási áramlökésre transzformátor differenciálvédelem működés) okozhatnak.
- postai vonalak zavarását (a légvezetékben folyó zérus sorrendű harmonikus áramok a postai vezetékbe történő átindukálása következtében) okozhatják.
- gyújtásszögvezérelt berendezések hibás vezérlését okozhatják.

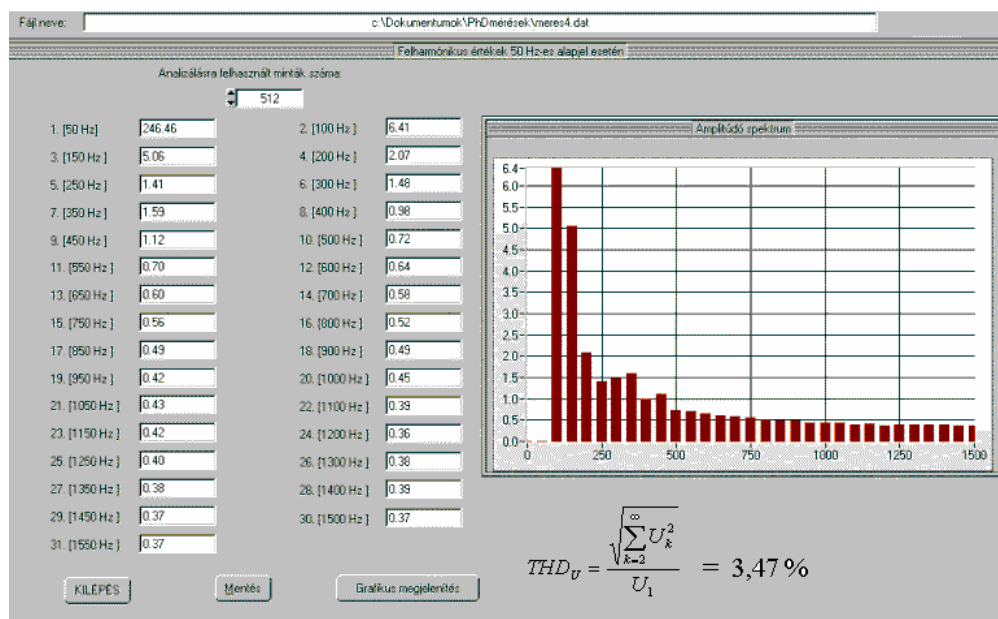
Laboratóriumi körülmények között azt vizsgáltam, hogy a hálózati feszültség hullámalak torzulásának mértéke, felharmonikus tartalma, milyen hatást gyakorol az IT berendezések üzemére. Az alábbiakban a mérések leírása olvasható.

A 4.3. ábrán a számítógépek (1K), a fényforrások (3K) és a hegesztőtranszformátor (2K) bekapcsolt állapotban vannak.

A 4.11 ábrán a tápfeszültség felharmonikus tartalma látható amikor csak a számítógépek, a 4.12 ábrán amikor a számítógépek és a lámpák, a 4.13 ábrán pedig amikor a számítógépek, a lámpák és a hegesztés is üzemel.

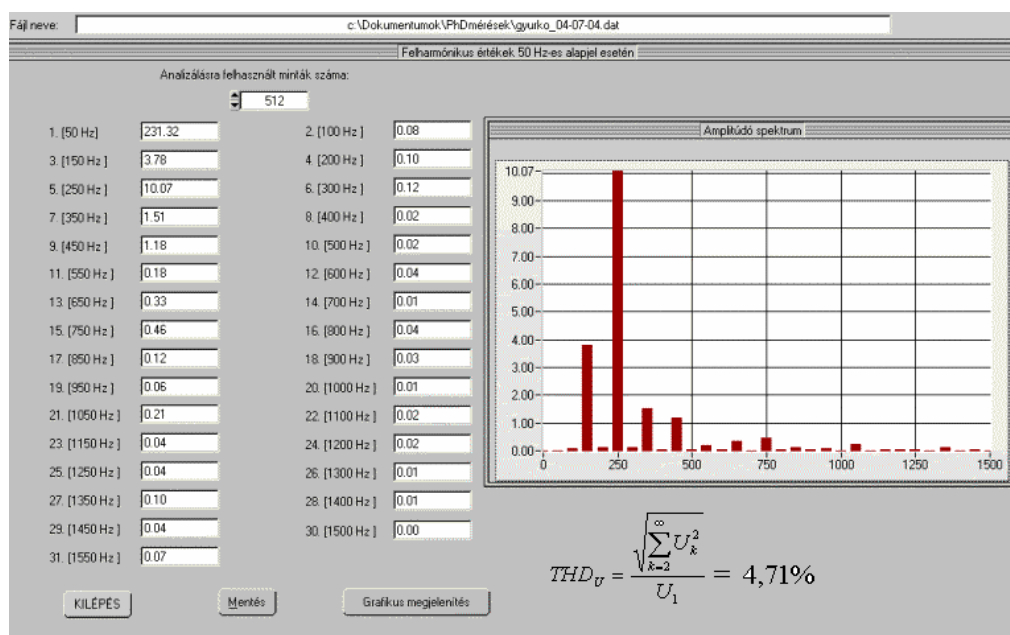
A számítógépeket tápláló feszültség felharmonikus tartalma jelentősen megnövekedett, amit a kiszámított THD_U értéke mutat. A számítások szerint ez az érték 3,47%-ról 10,98%-ra növekedett.

Amikor a harmonikus torzulás mértéke elérte a 9-11%-t, akkor a vizsgált PC berendezések üzemében zavarok (képernyő összetörés, lemerevedés stb.) keletkeztek. A zavarok mértékei többségében olyan visszafordíthatatlan működési hibákat okoztak, amelyeket csak a gépek újraindításával lehetett megszüntetni.



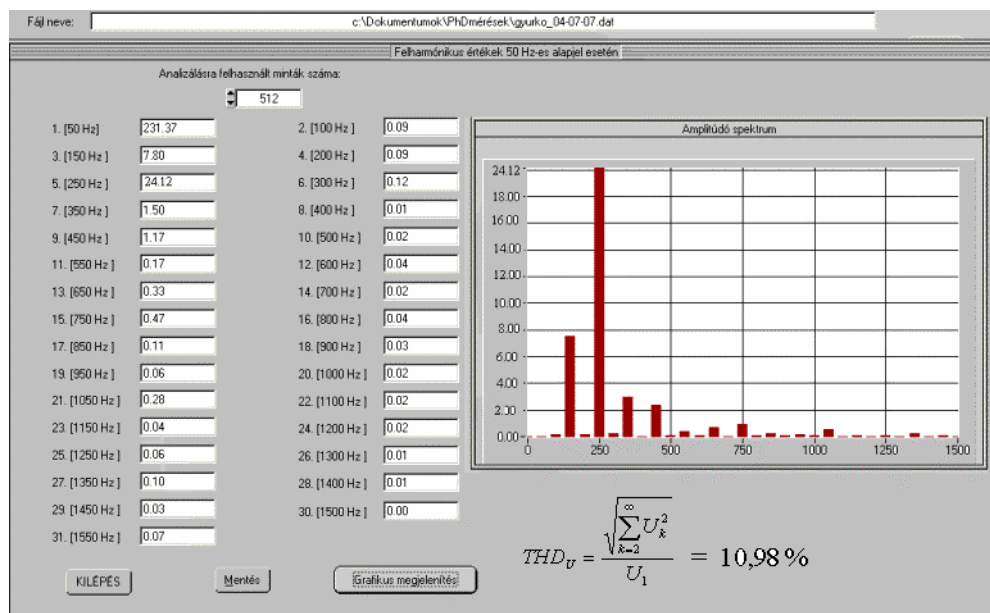
4. 15 ábrán

A tápfeszültség felharmonikus tartalma a számítógépek üzemé esetén



4. 16 ábra

A tápfeszültség felharmonikus tartalma a számítógépek és a lámpák üzeme esetén



4. 17 ábra

A tápfeszültség felharmonikus tartalma a számítógépek, a lámpák és a hegesztés üzeme esetén

4. 4 Új tudományos eredmények

- A vizsgálataim eredményei azt bizonyítják, hogy az IT berendezések rendkívül érzékenyen reagálnak a villamos energia minőségére.*
- A rövididejű feszültség kimaradások (0-100 periódus ideig) hatásainak vizsgálatára egy elvileg is új számítógépes méréstechnikai eljárást és a mérési eljárást működtető szoftvert fejlesztettem ki. A gyakorlatban is megvalósított új mérési módszer, amelynek része volt egy olyan nagypontosságú elektronikus kapcsoló tervezése is, amelynek segítségével lehetővé vált az 50Hz-es, 230V-os hálózati feszültség kívánt idejű megszakítása, szabályozhatóan, széles időtartományban, de rendkívül finom (max. 20 ms-os) lépésekben.*
- Az új mérési módszer lehetővé teszi, hogy bármely IT-berendezés hálózat érzékenységi ellenőrizni lehessen.*
- Megállapítottam, hogy ha a hálózati feszültség felharmonikus tartalma a $THD_u > 10\%$, akkor az IT berendezések üzemében zavarok (adatvesztés, lemerevedés) jelentkeznek.*
- Vizsgálataim alapján megállapítottam hogy az IT berendezések üzeme esetében a kisfeszültségű négyvezeték hálózat nullavezetőjében a fázisvezető áramának 2-3-szorosa is folyhat. Ez a tény új lehetőségeket teremhet az üzembiztonságok védelmét segítő módszerek kidolgozásában, másrészt a számítógépes hálózatok tervezésében, miután nagyszámú IT berendezés esetén a nullavezető olyan mértékű túlmelegedése várható, ami később a nullavezető szakadását, végső soron az IT-berendezések üzemének megszakadását eredményezi.*
- Megállapítottam hogy az IT berendezések kiesési ideje és a kieséshez tartozó maradékfeszültség értéke függ a feszültség csökkenés meredekségétől. Abban az esetben, ha a feszültség csökkenés V/sec-ban mért meredeksége nagyobb, mint 1000 akkor a kiesési idő kisebb, mint 0,3 sec és a maradékfeszültség értéke 25% alatt van. Amennyiben a feszültség csökkenés V/sec-ban mért meredeksége kisebb, mint 300 akkor a kiesési idő megközelítőleg 0,6 sec-ra nő és a maradékfeszültség értéke kb. 50%-ra emelkedik. Az átmenetekre és az egész folyamatra jellemző, hogy a feszültségletörés idején az IT berendezések maradék feszültséggel szembeni érzékenységére jellemző érték a*

$$(0,9-U_m(v.e.)) \times T_{kiesés} = \text{állandó}$$

Tehát az IT berendezés feszültségletörés hatására akkor esik ki, ha elérte a hiányzó feszültség-idő terület az adott IT berendezésre jellemző értéket.

A laboratóriumban elvégzett mérések eredményeit az ipari mérések (Eger ZF Hungária, Jászberény ELEKTROLUX) eredményei teljes mértékben megerősítették, igazolták.

5. A hálózaton terjedő zavarok által okozott működési hibák

5.1 Tudományos előzmények

Villamos energia minőségi mutatókkal kapcsolatos jellemzőket a disszertációm első részében a szakirodalmak alapján részletesen ismertettem. Itt elsősorban a tranziens hatások vizsgálatára szorítokozom.

A fogyasztók részéről az utóbbi időkben egyre gyakrabban érkeznek olyan bejelentések a szolgáltatóhoz, hogy az elosztó hálózaton keletkező üzemzavarok a fogyasztó 0,4 kV-os belső hálózatát is érintették. Az erről a hálózatról üzemelő IT berendezések meghibásodtak és jelentős kár keletkezett. A szolgáltatóknak meg kell barátkozniuk azzal a ténnyel, hogy az információtechnológia az ipar, a mezőgazdaság, a szolgáltatás, az állami és civil szféra minden területére behatolt, olyan, eddig elképzelhetetlen lehetőségeket kínálva, amelyek újabb és újabb igényeket támasztanak. Ezek további fejlesztéseket gerjesztenek és változást hoznak létre az élet minőségében. Az információtechnológia azonban nemcsak minőségi igényeket elégít ki, hanem minőségi igényeket is támaszt, mégpedig a villamosenergia-szolgáltatással szemben.

Az üzemzavarok megállapítása érdekében felmerült tudományos igényű mérések, vizsgálatok elvégzése.

Szerencsére a digitális mérés technika megjelenésével addig elképzelhetetlen távlatok nyíltak a villamos energia minőségi jellemzőinek mérésére is. Egy sokcsatornás mérőműszer került kifejlesztésre. A mérőberendezésben a korábbi, évtizedes mérési tapasztalat integrálódott. Ennek tudható be, hogy az elkészült berendezés olyan "tudású", amely teljesen egyedülálló a világon, nemcsak az egyidejűleg mérhető jelek száma (16 csatorna) miatt, hanem azért is, mert valamennyi villamos energia minőségi mutatót (harmonikus, villogás, negatív sorrend, feszültség letörés, tranziensek) egyetlen műszerrel, egyszerre lehet mérni.

A mérések mellett először azt kell megvizsgálni, hogy a szolgáltató milyen minőségű villamos energiát tud egyáltalán biztosítani.

Az áramszolgáltatók a Magyar Energia Hivatal által jóváhagyott üzletszabályzatuk szerint kötelesek a szerződésben megjelölt villamos paramétereket a szabványokban megállapított tűréshatárok között tartani. A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos energia feszültségjellemzőire az [1.1.] szabvány ad előírásokat. Ahhoz, hogy ezeket az értékeket minden fogyasztó részére biztosítani lehessen a fogyasztók és az áramszolgáltatók közös összefogása szükséges. Normál üzemi körülmények között egyik fogyasztó sem okozhat a többi fogyasztó számára az előírt értékeknél nagyobb zavarokat. A zavarok korlátozására szükséges berendezések létesítéséről a zavart okozható fogyasztónak kell gondoskodni.

Az áramszolgáltatók - így az ÉMÁSZ Rt. is - kialakították a minőségirányítási rendszerüket és meghatározták a legfontosabb minőségi célokat.

Ezek között kiemelt jelentősége van a műszaki paraméterek javításának, az üzemzavarok csökkentésének, de a célok eléréséhez szükség van az üzemeltetésben, hálózatlétesítésben, hibaelhárításban résztvevő alvállalkozók folyamatos értékelésére is. Az ezzel kapcsolatos első tapasztalatok igen kedvezőek.

A Magyar Energia Hivatal (MEH) az áramszolgáltatók részére - a fogyasztók érdekében - különböző mutatókat, előírásokat fogalmaz meg. Amennyiben ezeket a követelményeket a szolgáltató nem teljesíti, büntetést kell fizetnie. Ezek az elvárások a következők:

(Az elosztórendszer megbízhatósága. A hálózati elemek megbízhatósága. KÖF és KIF üzemzavarok és elhárítási idejük). A részleteket a [2.3.1] szakirodalom tartalmazza. A jelen

vizsgálat szempontjából az üzemzavarok és elhárítási idejük áttekintése az érdekes. Erre vonatkozóan a [2.3.1] az alábbiakat közli:

A MEH mutatók definíciója

MEH 1: Üzemzavar gyakoriság fogyasztónként

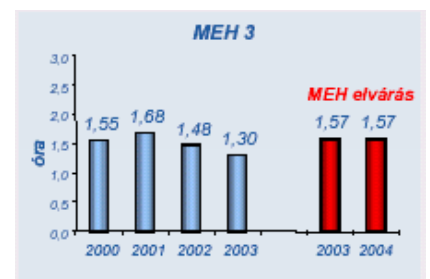
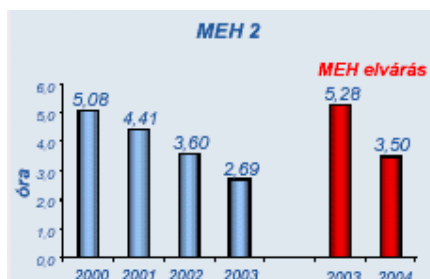
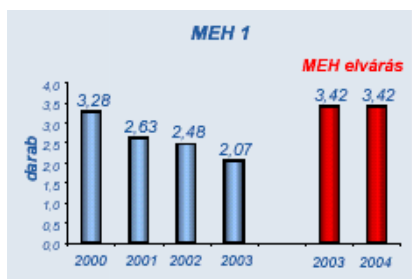
$$\frac{\sum \text{érintett fogyasztó}}{\text{összes fogyasztó}}$$

MEH 2: Összes fogyasztóra vetített kiesési idő

$$\frac{\sum \text{érintett fogyasztó} \times \text{idő}}{\text{összes fogyasztó}}$$

MEH 3: Érintett fogyasztóra vetített kiesési idő

$$\frac{\sum \text{érintett fogyasztó} \times \text{idő}}{\sum \text{érintett fogyasztó}}$$



ÉMÁSZ Rt. - MEH mutatók
A [2.3.1] irodalom ábrái

Könnyen belátható, hogy a csúcstechnológiát alkalmazó cég számára még az átlagos minőségű, a szabványos paramétereknek megfelelő szolgáltatási színvonal sem kielégítő, mivel az alkalmazott technológia megzavarása igen komoly károkat okozhat.

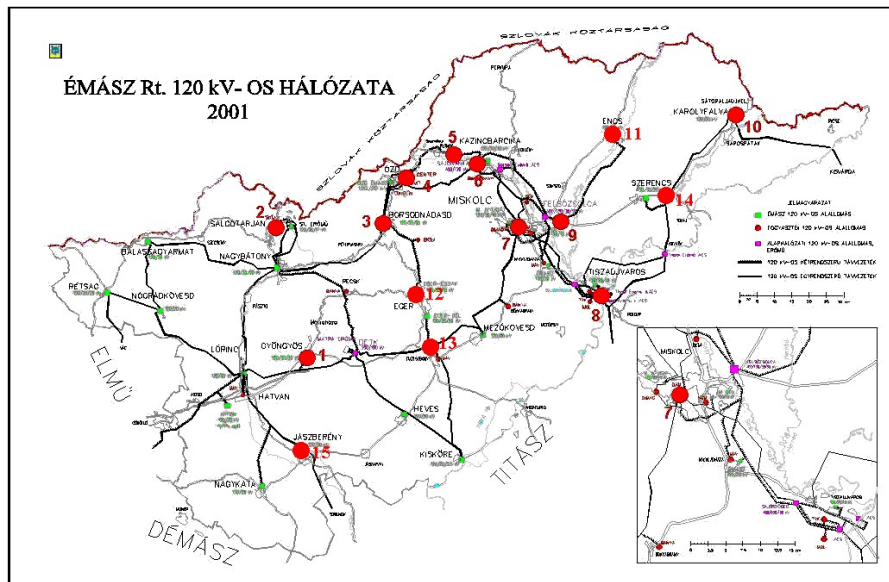
5.2 Célkitűzések

Az IT berendezések érzékenységet egy egyszerű modellen, laboratóriumi mérésekkel a Miskolci Egyetem Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszéken vizsgáltam. Az eredményeket az észak-magyarországi térség valós hálózatán ellenőriztem. A vizsgálatokat a 5.1 ábrán feltüntetett helyeken készítettem el. Ezekből a vizsgálatokból két konkrét helyet mutatok be részletesen, ahol az alábbi vizsgálatokat végeztem.

- Jászberény és Eger környezetében tranziens hatások vizsgálata,
- Az állomásokon beépített automatikák működésének hatása,
- A 120kV-os hálózat sántaüzemének hatása.

5.3 A rendszer ismertetése és az elért eredmények

A mellékelt 5.1 ábra az ÉMÁSZ Rt. 120 kV-os főelosztóhálózatát szemlélteti, amelyen a vizsgált állomások is szerepelnek



5.1 ábra
Az ÉMÁSZ Rt. 120 kV-os főelosztóhálózata

5.3.1 A vizsgálatok és módszerek az ÉMÁSZ RT. Jászberény és Eger-Dél 120 kV-os villamos állomásain. A mérések leírása

A nagyterjedésű és sztochasztikus zavarokat hordozó villamos hálózaton az egyidejűséget biztosító olyan mérési módszereket alkalmaztam, amelyek lényege a több állomáson azonos időben végzett, a mért adatokat rögzítő, hosszúidejű (30 napot meghaladó) mérés. Egyidejű méréseket végeztem az Eger-Dél Állomáson és a Jászberényi 120 kV-os állomáson, illetve tranziensek mérése céljából, 'mesterséges zavart generálva' 2002. május 23-án méréseket végeztem a Jászberényi Elektrolux Kft. 0,4 kV-os belső hálózatán.

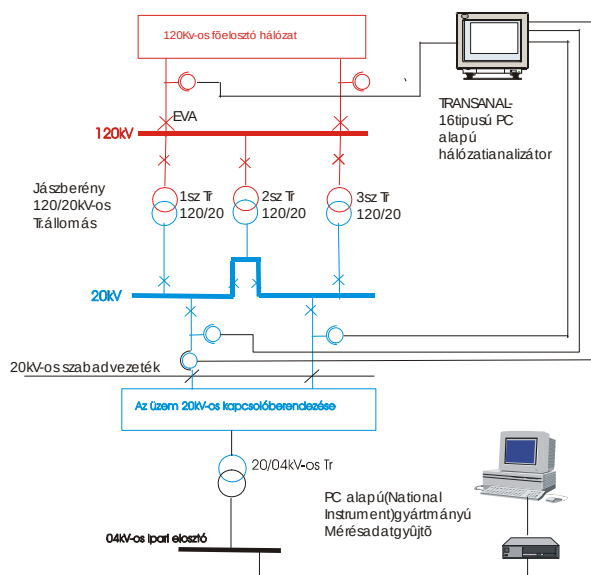
5.3.2 Mérések a Jászberényi 120/20 kV-os állomáson:

A mérőberendezések specifikálása :

TRANSANAL 16 típusú PC alapú hálózatanalizátor.

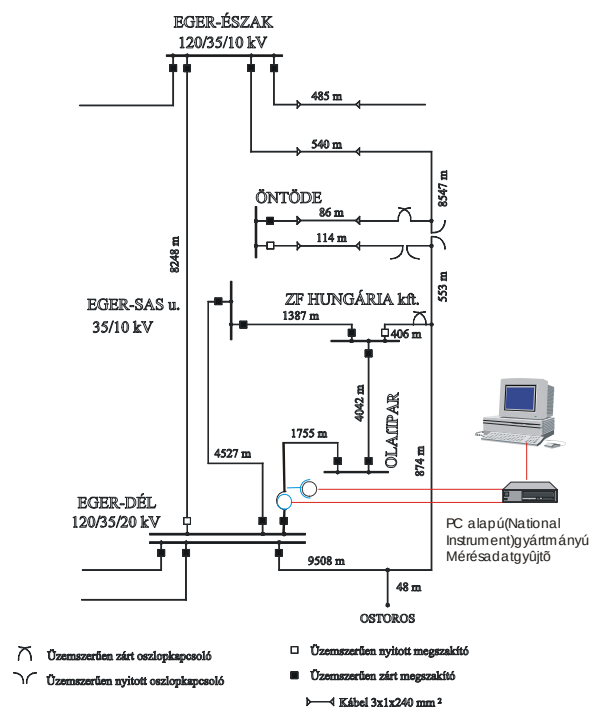
A készülék alkalmas a flickerszint illetve hullámalak egyidejű mérésére, tárolására és kiértékelésére, a jelenlegi mérések alkalmával kilenc csatorna került felhasználásra. A feszültség és áram jeleket a mérőváltók szekunder oldalairól kapcsoltam a műszerre.

A 5.2 ábrán feltüntettem a mérési pontokat is. A készülék flicker mérésekor 1,25 ms-os mintavételezés alapján, az IEC 868 előírásai szerint meghatározott 1 perces P_{st} értékeket tárolja el. Egy file 24 óra adatait (1440 mérési pont) tartalmazza.



5. 2 ábra

Jászberény Elektrolux villamosenergia-ellátásának vázlata a mérési helyek feltüntetésével



5. 3 ábra

ZF Hungaria Kft villamosenergia-ellátásának 35 kV-os hálózati kapcsolatai

5.3.3 Mérések az Eger-Dél 120/35/20 kV-os állomáson

A mérőberendezések specifikálása :

PC alapú (National Instrument gyártmányú számítógéppel támogatott 16 csatornás, nagysebességű, számítógépes) mérésadatgyűjtő.

16 csatorna bemenet, 6 csatorna – 6 csatorna feszültség illetve áramerősség mérésre, hallgenerátoros mérőváltókkal. A jelenlegi méréseknél 3-3 áram és feszültség mérésére, illetve 3-3 feszültség mérésére került sor. A mérőberendezés ún. figyelő üzemben dolgozott. Ha a feszültség bármely egy periódusának effektív értéke (lassú vagy dinamikus változása) a névleges érték $\pm 5\%$ -t meghaladta akkor a mérés automatikusan úgy indult, hogy az indulás előtti 30 sec. eseményei is tárolásra kerültek. Ez lehetővé tette a változás dinamikájának megfigyelését is. A feszültség kimaradás után automatikusan újrainduló mérőberendezés mintavételi frekvenciája: 3200 minta/sec/csatorna. A feszültség és áram jeleket mérőváltók szekunder oldaláról kapcsoltam a műszerre a mellékelt 5.3. ábra szerint. (2002. április 10 - április 24 között). A mérések mindkét állomáson 2002. április 10-én kezdődtek és 2002. május 23-án fejeződtek be.

5.3.4 Méréseredmények a Jászberényi 120/20 kV-os állomáson

5.3.4.1 Flicker szint vizsgálatok a 20 kV-os hálózaton:

Flicker zavarok szempontjából a vonalakon kialakuló szint a meghatározó. A vizsgált időszak alatt a vonalak között mért, ún. csúsztatott hosszúidejű szint: $P_{ltv} < 0,7$

5.3.4.2 A feszültségek effektívértékeinek vizsgálata.

A vizsgálatok teljes ideje (43 nap) 99,99%-ában, azaz 1032 óra alatt összesen néhány tíz-perc kivételével, egyetlen olyan esemény nem történt, amely az érvényes szabványokat illetve az energiatörvény előírásait megsértette volna. A síneken mért vonali feszültség értékek a névleges $U_n=3 \times 22$ kV-os érték $\pm 3\%$ -át a vizsgált idő 96%-ban nem lépték túl, a $\pm 5\%$ -os határérték felett illetve alatt vonali feszültség értékeket csak a rövididejű tranziensek esetén mértem.

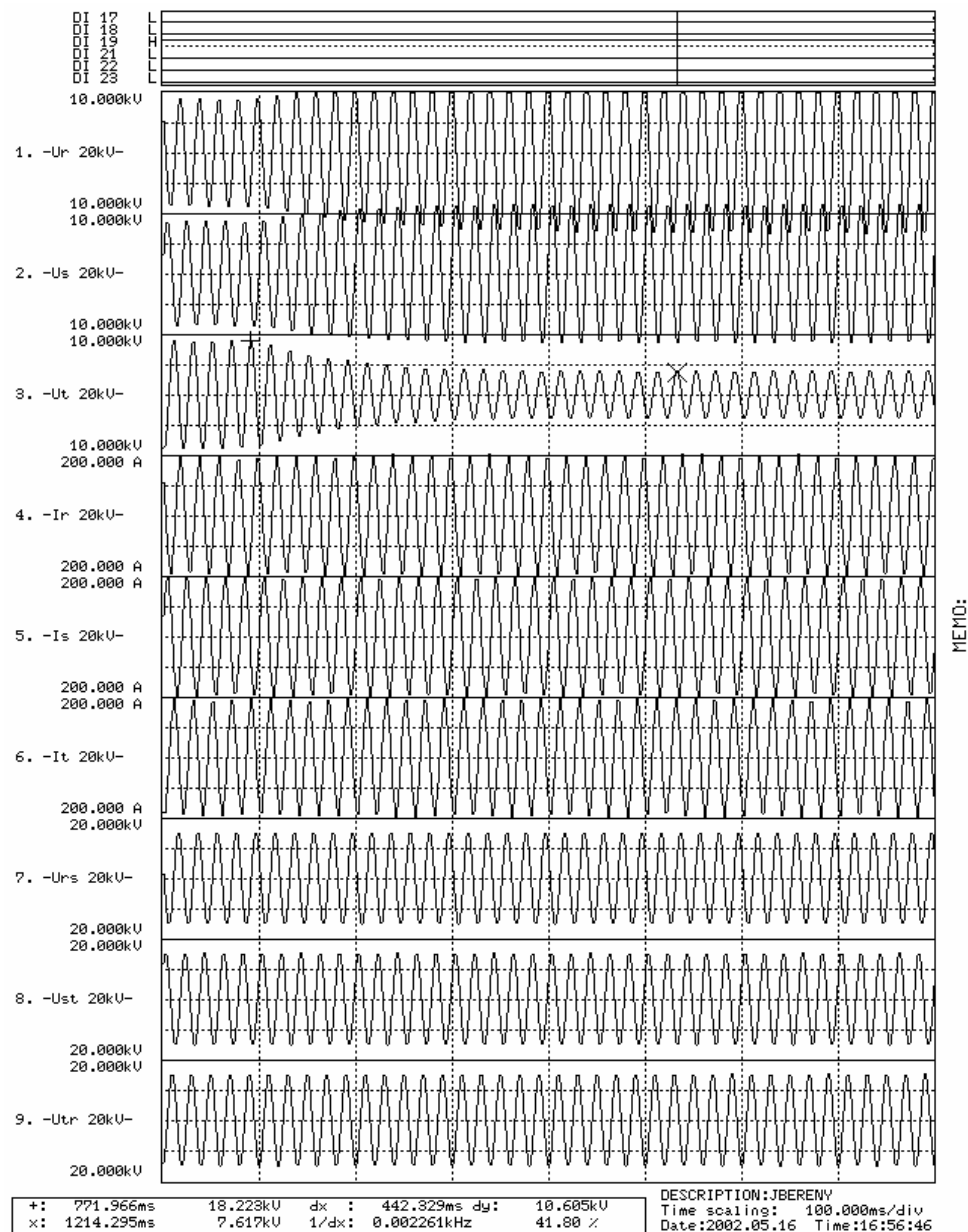
5.3.4.3 Áram- és feszültség torzulások (felharmonikusok) vizsgálata

A vizsgálatok teljes időtartományában a sínek között mért vonali feszültségek összes harmonikus torzulás: $THD_U < 2,7 \%$.

Az egyedi harmonikus összetevők közül a páratlan (3-5-7) felharmonikusok a meghatározók. A vizsgálatok ideje alatt működő 3.sz. 120/20 kV-os transzformátor szekunder áramainak torzítási tényezője esetenként megközelítette 12,5%-ot, de átlagosan is 8% körül mozgott: $THD_I < 12,5 \%$.

5.3.4.4 Tranziens hatások vizsgálata

Mérésekkel vizsgáltam az üzemszerűen működtetett 3. sz. transzformátor feszültség helyzetét valamint a fázisáramok időfüggvényeit, a Petersen tekercs hangolásokor. A mérés eredményeit a 5.4 ábra diagramjai mutatják.

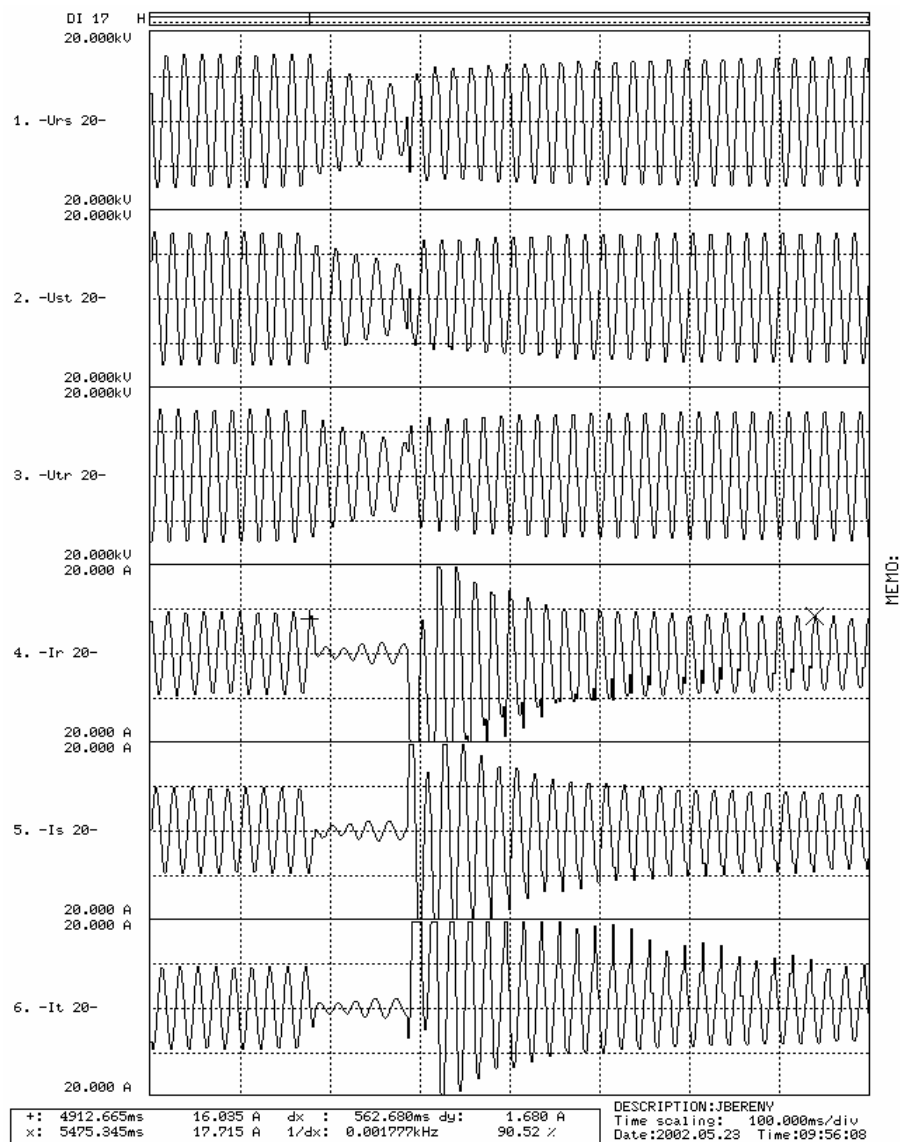


5. 4 ábra

3. sz. transzformátor feszültség helyzete valamint a fázisáramok időfüggvényei a Petersen tekercs hangolásokor.

A mérés eredményeket analizálva, de az ábrákon is megfigyelhető, hogy a Petersen tekercs hangolása sem a fázisáramokra, sem a vonali feszültségekre visszahatást, torzítást vagy aszimmetriát nem eredményezett.

Mérésekkel vizsgáltam, hogy az üzemszerűen működő 3. sz. transzformátor esetleges kiesése és a 2. sz. transzformátor bekapcsolása milyen mértékű tranzienseket, (idő kiesés, feszültség lökést, áramlökést) alakítanak ki. A transzformátor átkapcsolása üzemszerűen automatikusan történt, miután kézi vezérléssel a 3. sz. transzformátort 'kikapcsolták'. A néhány periódus idő alatt lejátszódó folyamat a 5.5 ábrán követhető.



5. 5 ábra

3. sz. transzformátor kiesése és a 2. sz. transzformátor bekapcsolása estén a tranziensek, (idő kiesés, feszültség lökés, áramlökés) alakulása.

A 3. sz. transzformátor lekapcsolása és a 2. sz. transzformátor bekapcsolása $t=102,2$ ms idő alatt lezajlott. (valamivel több, mint 4 periódus). Nagy valószínűséggel állítható, hogy az ilyen rövididejű feszültség kimaradások a motorikus jellegű fogyasztók üzemét nem zavarják meg.

A 2. sz. transzformátor bekapcsolási áramerőssége (mintegy kétszerese a 3.sz. transzformátor kikapcsolás előtt regisztrált áramerősségének) és a közel 562 ms alatt visszaállt eredeti állapot arra utal, hogy a fogyasztók nagy többsége nem esett ki a transzformátok átkapcsolása következtében.

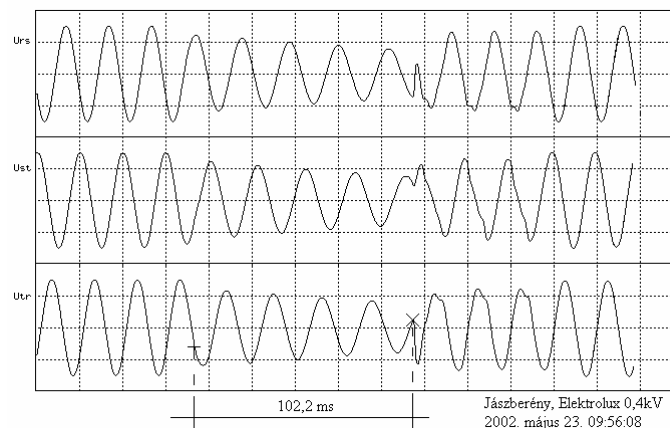
5.3.5 A 120kV-os hálózat direkt csatlakozó S fázis vezeték kiiktatása (ún. sántaüzem létesítése)

A 120 kV S sín ilyen esetben a mereven kapcsolt körvezeték rendszeren keresztül feszültség alatt marad, de a direkt vezeték megszakítása jelentős feszültség letörést illetve tranziens kialakulását eredményezheti. Ezzel a méréssel lényegében az esős időszakokban előfordulható részleges földzárlatot kívántam szimulálni. A tranziensek hatásának vizsgálatát, melyet az Elektrolux Kft.-vel előzetesen egyeztettem, az Elektrolux Kft. 0,4 kV-os belső hálózatán végzett mérésekkel ellenőriztem. A méréseket az Elektrolux 20/0,4 kV állomásába telepített (vonali feszültségek pillanatértékeit mérő) számítógépes mérőrendszer rögzítette automatikus üzemmódban.

5.3.6 Megállapítások az Elektrolux 0,4 kV-os hálózatán tapasztaltakról:

A Petersen tekercs hangolását sem a számítógépes mérőrendszer, sem az Elektrolux fogyasztói nem érzékelték!

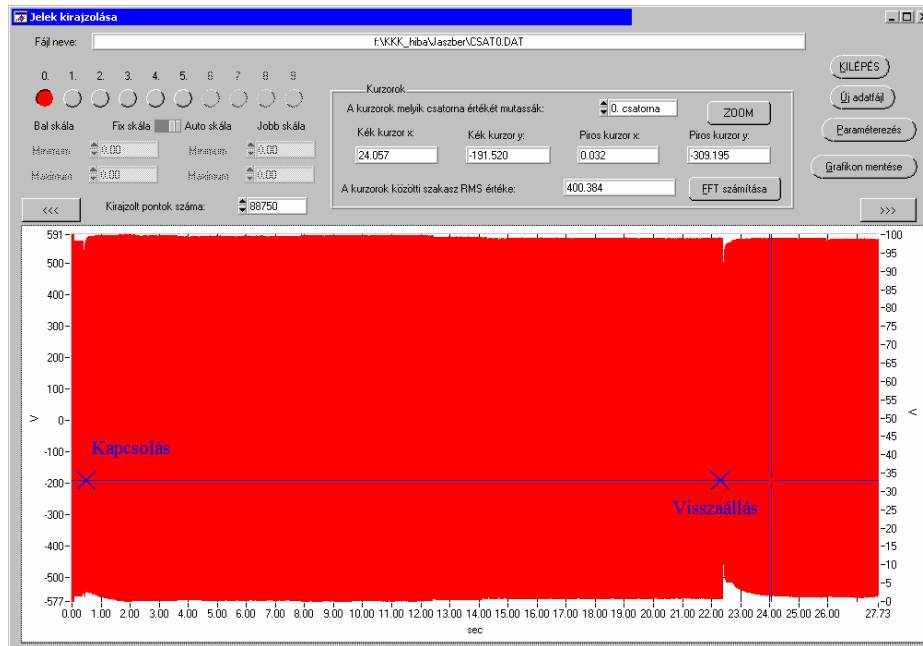
A 3. sz. transzformátor kikapcsolását és a 2. sz. transzformátor bekapcsolását az Elektrolux villamos állomása rögzítette, de a termelő egységek felől gépkiesés, vagy más észrevétel nem érkezett! A 0,4 kV-os rendszeren a transzformátorok kapcsolásának hatását, a kialakuló rövid ideig tartó feszültség letörést, melyet a számítógépes mérőállomás rögzített, a 5. 6 ábra mutatja.



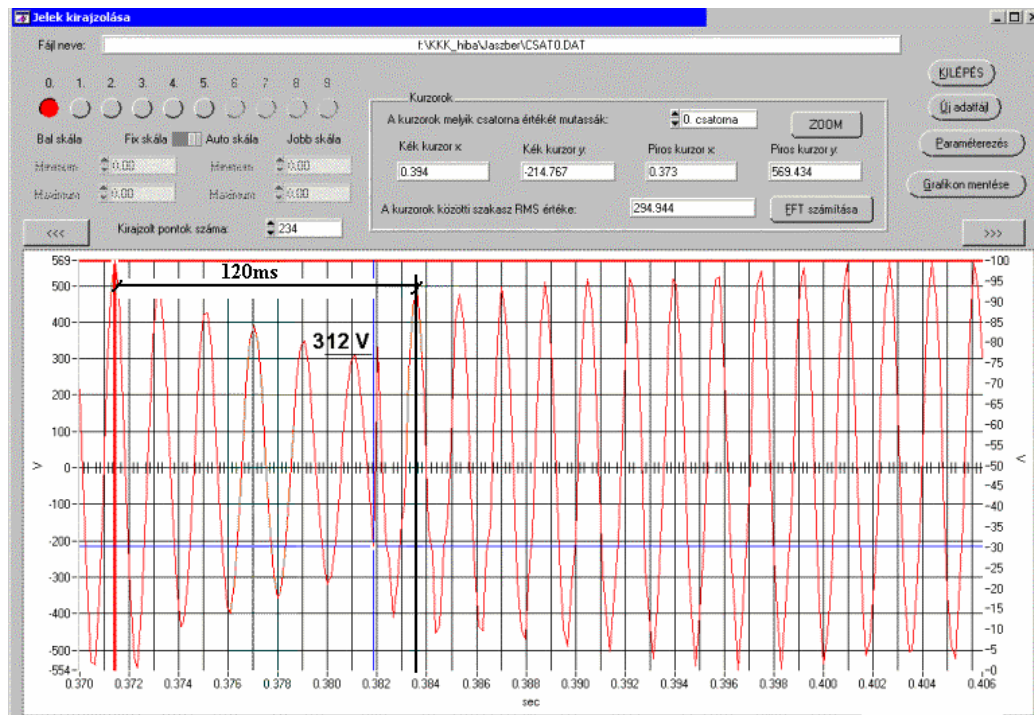
5. 6 ábra

A 0,4 kV-os rendszeren a transzformátorok kapcsolásának hatására kialakuló rövid ideig tartó feszültség letörés.

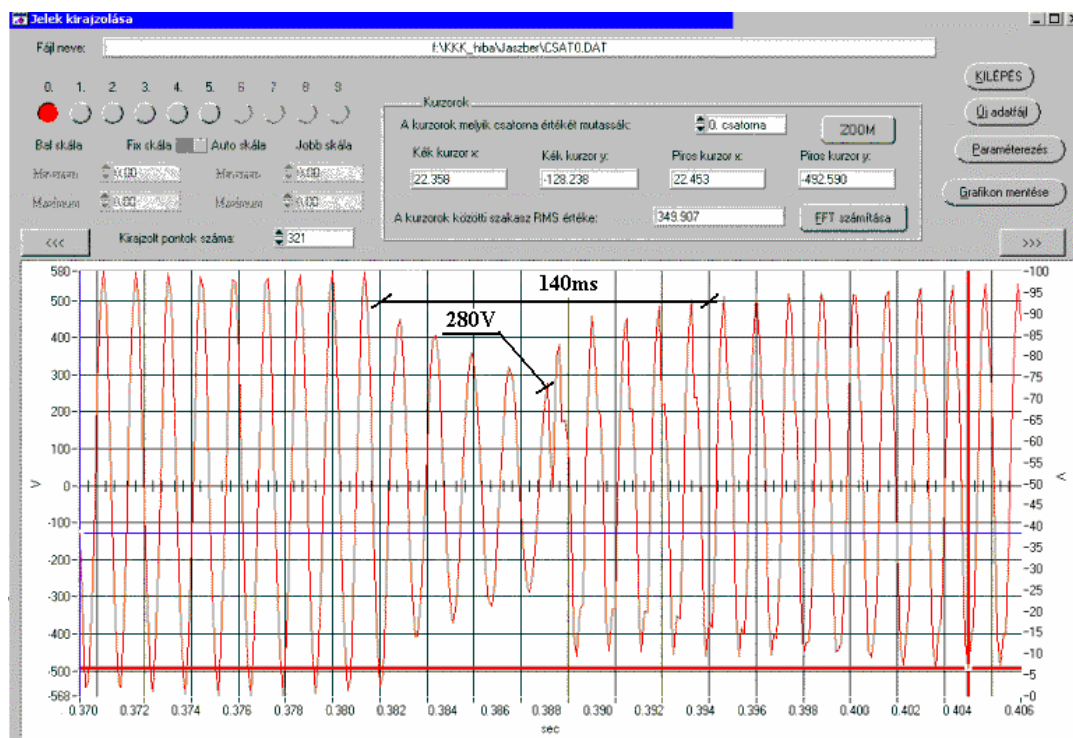
A 'sánta' üzem hatására kialakuló feszültség tranziens következtében az Elektroluxnál üzemszerűen dolgozó termelő berendezések jelentős része kiesett. A számítógép által rögzített vonali feszültség mérés eredményekből, melyek a 5.7, a 5.8 és 5.9 ábrákon láthatók, arra lehet következtetni, hogy a hálózati feszültség 120ms-nál hosszabb ideig tartó romlását (aszimmetriát, torzulást, feszültség letörést) a fogyasztó berendezések nehezebben, vagy egyáltalán nem viselik el.



5. 7 ábra
A 'sántaüzem' indítása és visszakapcsolása



5. 8 ábra
A 'sántaüzem' indítási tranziense az Elektrolux 0,4kV-os hálózaton



5. 9 ábra
A 'sántaüzem' visszakapcsolási tranziense

A tranziensek után az Elektrolux rendelkezéseimre bocsátotta és a disszertációmban bemutathatóan engedélyezte azon gépek és villamos alállomások jegyzékét ahol a tranziensek hatására valamilyen üzemzavar, gép leállás, termelés kiesés történt. A mérési eredményeket és a táblázatban megadott kieséseket összehasonlítva megállapítottam, hogy a kiesések akkor következtek be, amikor 100 millisekundum-nál (5periódus) hosszabb 10%-ot meghaladó feszültség letörések fordultak elő.

5.3.7 Méréseredmények az Eger-Dél 120/36/20kV-os állomáson :

5.3.7.1 A feszültségek effektívértékeinek vizsgálata

A vizsgálatok teljes ideje, 43 nap 99,99%-ában, azaz 1032 óra alatt összesen néhány tíz-perc (zavarokat előidéző hatások) kivételével, egyetlen olyan esemény nem történt, amely az érvényes szabványokat illetve az energiatörvény előírásait megsértette volna. A síneken mért vonali feszültség nagysága a névleges $U_n = 3 \times 36 \text{ kV}$ -os érték $\pm 3\%$ -t a vizsgált idő 92%-ban nem lépték túl, a $\pm 5\%$ -os határérték felett illetve alatt vonali feszültségek értékeit csak a rövididejű tranziensek esetén mértem.

5.3.7.2 Áram- és feszültség torzulások (felharmonikusok) vizsgálata

A vizsgálatok teljes időtartományában (a néhány másodperces tranziens idők kivételével) a sínek között mért vonali feszültségek összes harmonikus torzulás: $THD_U < 1,5 \%$

Az egyedi harmonikus összetevők közül a páratlan (3-5-7) felharmonikusok a meghatározók, de nagyságuk a tranziens hatások kivételével nem éri el az 1%-t. A tranziensek alatt a néhány másodperces idő intervallumban a hullámalak torzulások elérték a 10%-t.

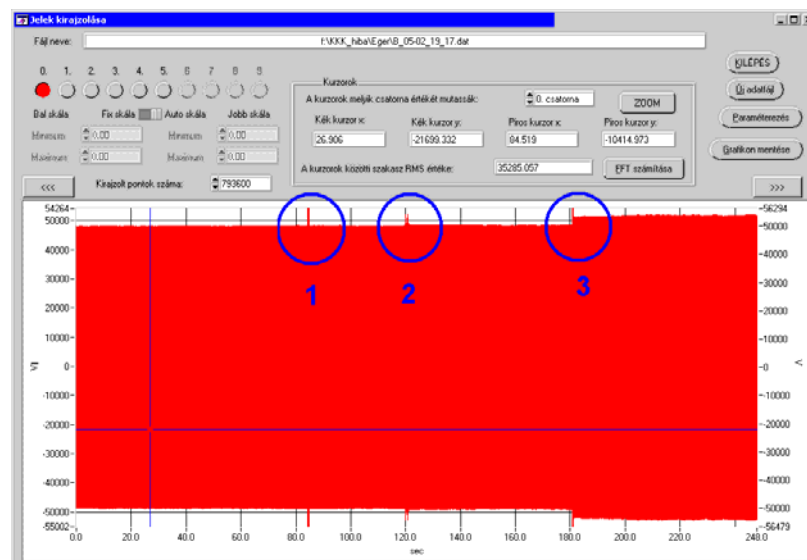
5.3.7.3 Tranziens hatások vizsgálata

Az automatikus, ún. figyelő üzemmódban dolgozó számítógépes mérés adatgyűjtő 23 esetben rögzített tranzienseket a három vonalon. Az első esemény 2002. április 21. 13:01 volt, az utolsó pedig 2002. május 20. 11:29.

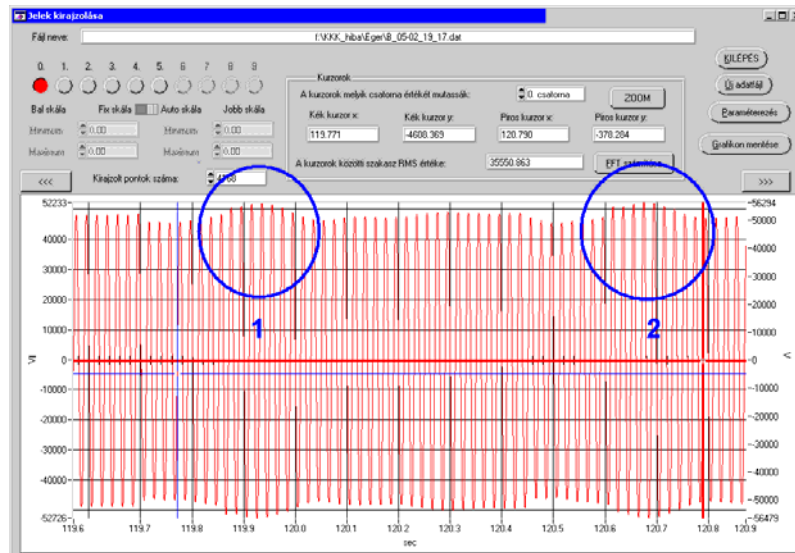
Az általam érzékelt eseményeket, a kialakult zavarokat, a ZF. Hungária Kft. számítógépes mérőrendszere is érzékelt. (A zavarok következtében termelő berendezések álltak le). A mérések azt bizonyítják, hogy olyan zavarok, amelyek az áramszolgáltatás folytonosságát veszélyeztetnék, nem jellemzőek sem a 120 kV-os, sem a 36 kV-os hálózaton.

A regisztrált zavarok három csoportba sorolhatók:

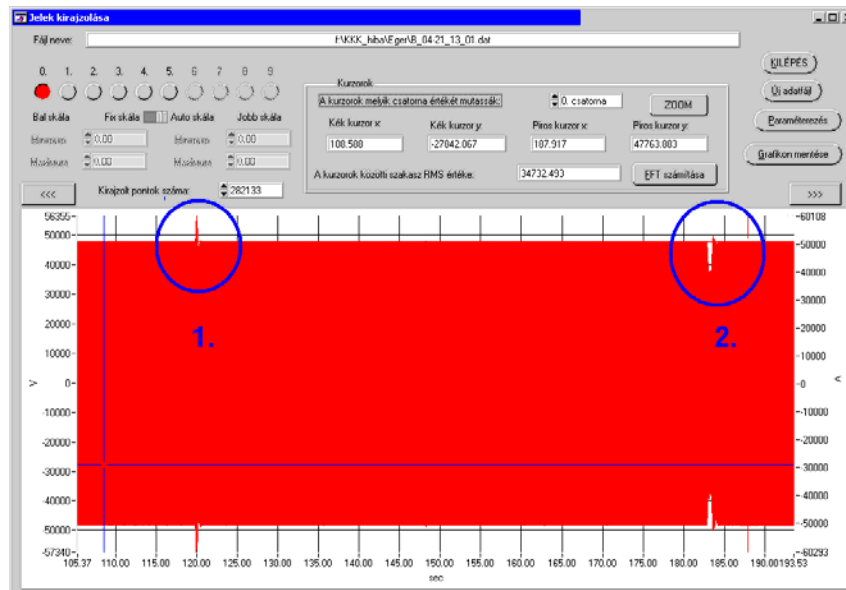
- feszültség túllendülések (5.10 és a 5.11 ábrák)
- feszültség letörések (5.12 és a 5.13 ábrák)
- hullámalak (aszimmetria) torzulások (5. 14 ábra)



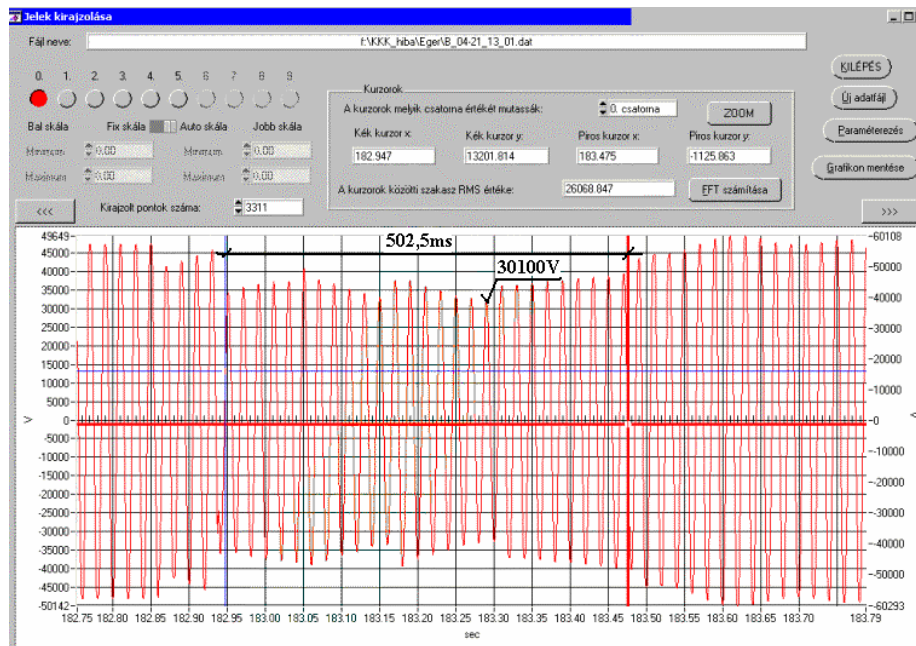
5. 10 ábra
Feszültség túllendülések



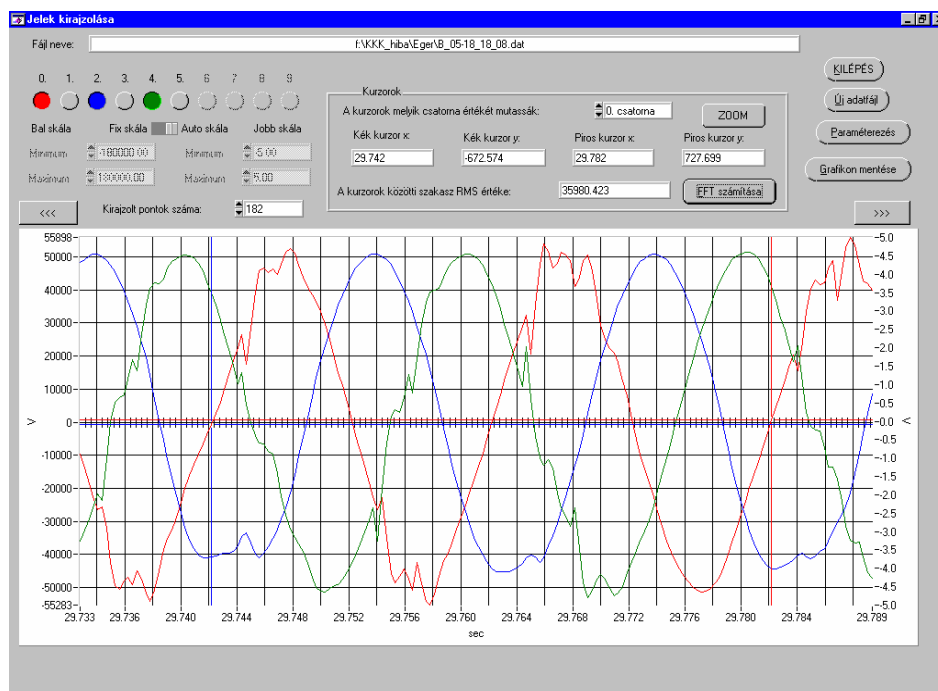
5. 11 ábra
Feszültség túllendülések



5. 12 ábra
Feszültség letörések



5. 13 ábra
Egy 'hosszúidejű' feszültség letörés. (5. 12 ábra '2' jelzés)



5. 14 ábra
Hullámalak (aszimmetria) torzulások

A mért zavarok többsége (feszültség túllendülés, feszültség letörés) néhány periódus alatt lecsengett, ezeket a fogyasztók nem érzékelték.

Tapasztalat szerint a 120 ms-nál hosszabb, 10%-ot meghaladó feszültség letörések illetve aszimmetriák (amelyek megfigyeléseim szerint különösen az esős, erősen párás időkben fordulnak elő) fogyasztói kieséseket okozhatnak.

A feszültség lökések, harmonikus torzulások a fogyasztói rendszerek védelmét megszóllaltatva okozhatnak üzemzavarokat.

A ZF. Hungária Kft. számítógépes mérőállomása a vizsgált időszakban rögzítette az üzemi eseményeket. Az általuk készített diagramokon jól látható, hogy meghatározott pillanatban a fogyasztók mintegy 30-35%-a kiesett. (A diagramokat rendelkezésemre bocsátották, amelyek az értekezésem mellékletében láthatóak.)

5.3.7.4 Megállapítások Eger-Dél 120/36/20 kV-os állomás mérésekről.

A vizsgált 43 nap, azaz 1032 óra alatt egyetlen olyan esemény nem történt, amely az érvényes szabványokat, illetve az energiatörvény előírásait megsértette volna.

A vizsgált idő 99,99%-a alatt a hálózati feszültségek effektív értékei jóval a megengedett tűréshatáron belül maradtak, a maximális eltérés ezen idő alatt a $\pm 5\%$ -ot nem érte el.

A háromfázisú hálózatok feszültség aszimmetriája, vonali feszültségértékek effektív értékeit összehasonlítva jobb, mint 2%.

A feszültség hullámalak torzulás (összes harmonikus torzulás) kisebb volt, mint 1%.

A flicker erőssége (ún. hosszúidejű flicker szint) 1 érték alatt volt.

A mérőberendezések 23 esetben regisztráltak rövididejű, néhány másodpercig tartó oly mértékű feszültség változást (letörést, torzulást, illetve aszimmetria eltérést), amelyeket (véltetően) időjárásai illetve fogyasztói zavarok okozhattak.

Ezek a rövid idejű zavarok alkalmasak arra, hogy a Jászberény és Eger környezetében települt gyárakban az automatizált, számítógépekkel irányított termelő berendezések üzemét megzavarják. (Mind az Elektrolux-nál, mind a ZF. Hungaria-nál feltételezhető, hogy a zavarok egy része belső eredetű, azokat a saját berendezései okozzák.)

Tekintettel arra, hogy az Áramszolgáltató csak részben tudja a zavarokat okozó fogyasztói hatásokat kivédeni, az érzékeny (számítógépes) irányító berendezések zavarvédelmét lokálisan célszerű kialakítani.

5.4 Új tudományos eredmények

- Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján megállapítottam, hogy az IT berendezések tartósan elviselik a rövid, $\Delta t < 0,2s$ -nál nem hosszabb feszültség kimaradást, de ha a feszültség kimaradás ideje $\Delta t > 0,25s$ akkor a berendezések folyamatos üzeméhez kiesés elleni védelmet kell kialakítani. Ilyen problémákat okozhatnak a zöld-erdős övezeteken áthaladó távvezetékek, amelyeknél különösen az esős, erősen párás légkör feszültség lehúzásokat, fogyasztói kiesést okozhat.*
- A végzett munka eredményeit értékelve megállapítottam, hogy a hálózatokon terjedő zavarok elleni teljes védelmet az áramszolgáltató (a törvényben, szabványokban engedélyezett zavarhatárok miatt) csak részben tudja kialakítani, a mind érzékenyebb információtechnológiai (IT) berendezések zavarvédelmét lokálisan kell megoldani.*

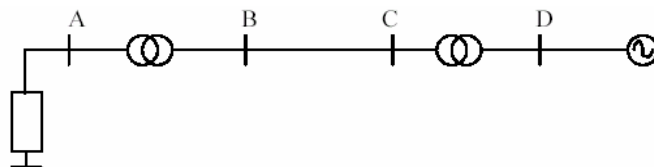
6. A villamos ívkemencék üzeeme által keltett villogás (ún. flicker) terjedés összegezése a közcélú elosztó hálózaton.

6.1 Tudományos előzmények

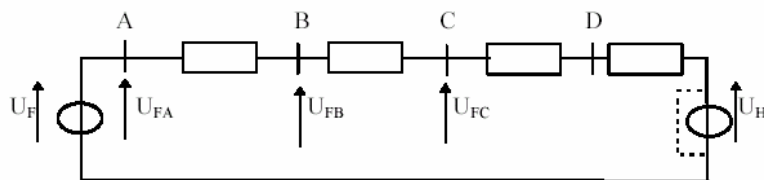
A közcélú elosztóhálózatra csatlakozó elektromos készülékeknek, így az izzólámpáknak is állandó effektív értékű feszültségre van szükségük a megfelelő működés érdekében. A változó teljesítményű fogyasztók azonban változó feszültségváltozást okoznak. A ciklikus, gyors feszültségváltozás - más néven feszültségingadozás - következménye az úgynevezett villogás (flicker) jelenség. Ez lényegében a feszültség gyors ingadozása által kiváltott időben ingadozó fényességű vagy színekpi eloszlású fényinger által létrehozott látásérzet-ingadozás hatásában jelentkezik, ami az embert zavarja munkája végzésében.

Az [1. 2] és a [2.1.16] szakirodalmak egy ívkemence példáján keresztül részletesen bemutatják a feszültségváltozást előidéző folyamatot. Ugyanezen szakirodalmak alapján mutatom be a villogás terjedését a hálózaton.

A vizsgált hálózatot a 6.1 ábra mutatja. Először tekintsük azt az esetet, amikor a villogás forrása a kisfeszültségű hálózaton helyezkedik el. Más zavarforrást nem feltételezünk.



6. 1 ábra
A táphálózat szimbolikus rajza



6. 2 ábra
Villogásforrás a kisfeszültségű oldalon

A kisfeszültségű oldalon keletkező zavarok a középfeszültségű hálózat irányába terjednek a 6.2 ábra szerint.

Az U_H feszültség a hálózat Thevenin feszültsége, a B, C pontok a közép- vagy nagyfeszültségű oldalon helyezkednek el, míg az A pont a kisfeszültségű hálózati oldalt reprezentálja. Az U_F feszültség a kisfeszültségű oldal berendezései által keltett zavar. A zavar hatása a hálózati betáplálási oldalon kisebb mértékben jelenik meg, mivel az U_F feszültség leoszódik a táphálózat felé haladva a soros impedanciáknak megfelelően. Így az A, B, C gyűjtősíneken mérhető villogás szintek között a következő reláció áll fenn:

$$U_{FA} : U_{FB} : U_{FC} = \frac{1}{S_{ZA}} : \frac{1}{S_{ZB}} : \frac{1}{S_{ZC}} \quad [14]$$

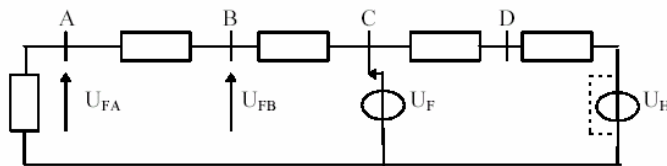
ahol S_{ZA} , S_{ZB} és S_{ZC} a rövidzárlati teljesítményt jelöli a feszültségforrás (U_H) és az A, B és C gyűjtősínek között. Csak az A és B gyűjtősíneket figyelembe véve írható

$$\frac{U_{FA}}{U_{FB}} = \frac{S_Z^{(B)}}{S_Z^{(A)}} \quad [15]$$

Mivel a villogás jelenség mértéke a feszültségváltozással arányos, ezért a villogás érzékelési szintek ennél a két mérési pontnál a következőképp alakulnak:

$$P_{st}^{(B)} = P_{st}^{(A)} \frac{S_Z^{(A)}}{S_Z^{(B)}} \quad [16]$$

Az összefüggést alkalmazhatjuk a többi gyűjtősínre a megfelelő indexek használatával. Az eredmény megerősíti azt, amire már korábban utaltam, hogy a kisfeszültségű oldalon keltett zavarok csökkent mértékben befolyásolják a középfeszültségű oldalt, azaz hatásuk lokálisabb. A közép- vagy nagyfeszültségű oldalon elhelyezkedő források tulajdonságai azonban korántsem ilyen kedvezőek. A hálózat helyettesítése erre az esetre a 6.3 ábrán látható. Itt is U_H a hálózat Thevenin feszültsége, a B, C és D pontok mérési pontok a közép- vagy nagyfeszültségű oldalon, míg az A pont a kisfeszültségű oldalon helyezkedik el. Az U_F a középfeszültségű oldalon keletkezik, a C pontban.



6. 3 ábra
Villogásforrás a közép- vagy nagyfeszültségű oldalon

Mivel az A és C pontok közötti reaktancia sokkal kisebb, mint az A pont és a föld közötti, az U_F feszültség szinte változatlanul megjelenik az A pontban.

Formálisan:

$$P_{st}^{(A)} \approx P_{st}^{(B)} \approx P_{st}^{(C)} \quad [17]$$

A D pontban U_F hatása mérsékelten jelenik meg, éppen úgy, mint amikor a zavarforrás a kisfeszültségű oldalon volt található, mivel a C és D pontok közötti reaktancia majdnem egyenlő a D pont és a föld közötti reaktanciával. Így a következő eredményhez jutunk:

$$P_{st}^{(D)} = P_{st}^{(C)} \frac{S_Z^{(C)}}{S_Z^{(D)}} \quad [18]$$

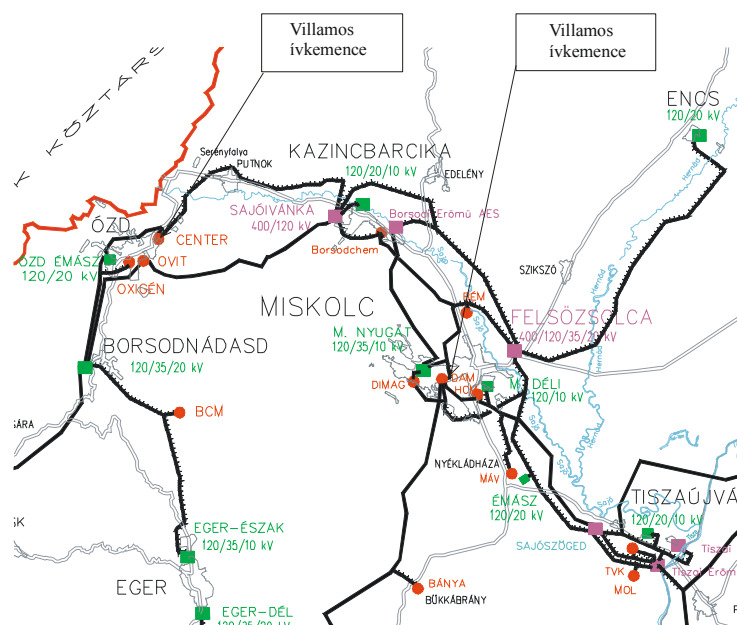
A rendelkezésre álló szakirodalom az elméleti összefüggéseket bőségesen tárgyalja. Több zavarforrás együttes hatását a szakirodalmak nem részletezik. Nagy, összefüggő hálózati rendszeren történő több helyen egyszerre végrehajtott méréseket, vizsgálatokat a szakirodalom nem említ, ilyeneket csak én végeztem el.

6.2 Célkitűzések

- Annak megállapítása, hogy a DAM 2004 Kft. villamos berendezései, köztük a DAM 120/35 kV-os villamos állomás V. sz. transzformátorán keresztül üzemeltetett 80 tonnás UHP ívkemence üzeme mekkora flickert (ún. villogást) generál a DAM 120/35 kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerébe.
- A 120 kV-os rendszeren több fogyasztó együttes, eredő zavarhatásának elemzése. A flicker összegezésére új matematikai módszer kidolgozása.

6.3 A kidolgozott rendszer ismertetése és az elért eredmények

A vizsgálataim konkrét célja annak megállapítása, hogy a DAM 2004 Kft. villamos berendezései, köztük a DAM 120/35 kV-os villamos állomás V. sz. transzformátorán keresztül üzemeltetett 80 tonnás UHP ívkemence üzeme mekkora flickert (ún. villogást) generál a DAM 120/35 kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerébe, Tudományos szempontból különösen jelentős az elvégzett vizsgálat, konkrétan a DAM ívkemencék által generált flicker szint mértékének meghatározása, mert a DAM 120 kV-os rendszert a DAM ívkemencék okozta flicker hatás mellett több más távoli fogyasztó okozta flicker hatás is elérheti, azaz a 120 kV-os rendszeren több fogyasztó együttes, eredő zavarhatása jelenik meg! A vizsgálatok bizonyították, hogy a DAM és az OAM ívkemencék a 120 kV-os hálózati rendszeren keresztül - az ívkemencék elhelyezkedését a 120 kV-os hálózaton a mellékelt térképvázlat szemlélteti - jelentős villogást, flickert generálnak a 120 kV-os hálózatba és a 120 kV-os hálózati rendszeren keresztül a 0,4 kV-os rendszerbe is!



6. 4 ábra

Az ívkemencék elhelyezkedése a 120 kV-os hálózaton

6.3.1 A mérőhelyek és a műszerek

6.3.1.1 A mérőhelyek és mért jellemzők

Méréseket a DAM 120/35 kV-os állomás 120 kV-os és 35 kV-os rendszerein, továbbá az OVIT Felsőzsolcai 400/120 kV-os állomás 120 kV-os 'B' és 'K' jelű sínjein végeztem. Az állomások egyvonalas rajzai a 6.5 ábrán és a 6.6 ábrán láthatók. A rajzokon bejelöltem a mérési helyeket.

Mért jellemzők:

DAM 120/35 kV-os állomás:

1. V. transzformátor 120 kV-os primer Urs, Ust, Utr feszültségek
2. 120 kV-os síneken a Pst(1) rövididejű flicker értékei
3. V. transzformátor 35 kV-os oldal Urs, Ust, Utr feszültségek
4. V. transzformátor 35 kV-os oldalon a Pst(1) rövididejű flicker értékei
5. I. transzformátor 35 kV-os oldal Ir, Is, It áramok,
6. III. transzformátor 35 kV-os oldal Ir, Is, It áramok,
5. flicker kompenzáció Is áram,

OVIT Felsőzsolca 400/120 kV-os állomás:

1. 120 kV-os 'B' sín Urs, Ust, Utr feszültségek
2. 120 kV-os 'K' sín Urs, Ust, Utr feszültségek
3. 120 kV-os 'B' sínen a Pst(1) rövididejű flicker értékei
4. 120 kV-os 'K' sínen a Pst(1) rövididejű flicker értékei
5. DAM 120/35 kV-os állomást ellátó Ir, Is, It áramok,

6.3.1.2 A mérőberendezések specifikálása

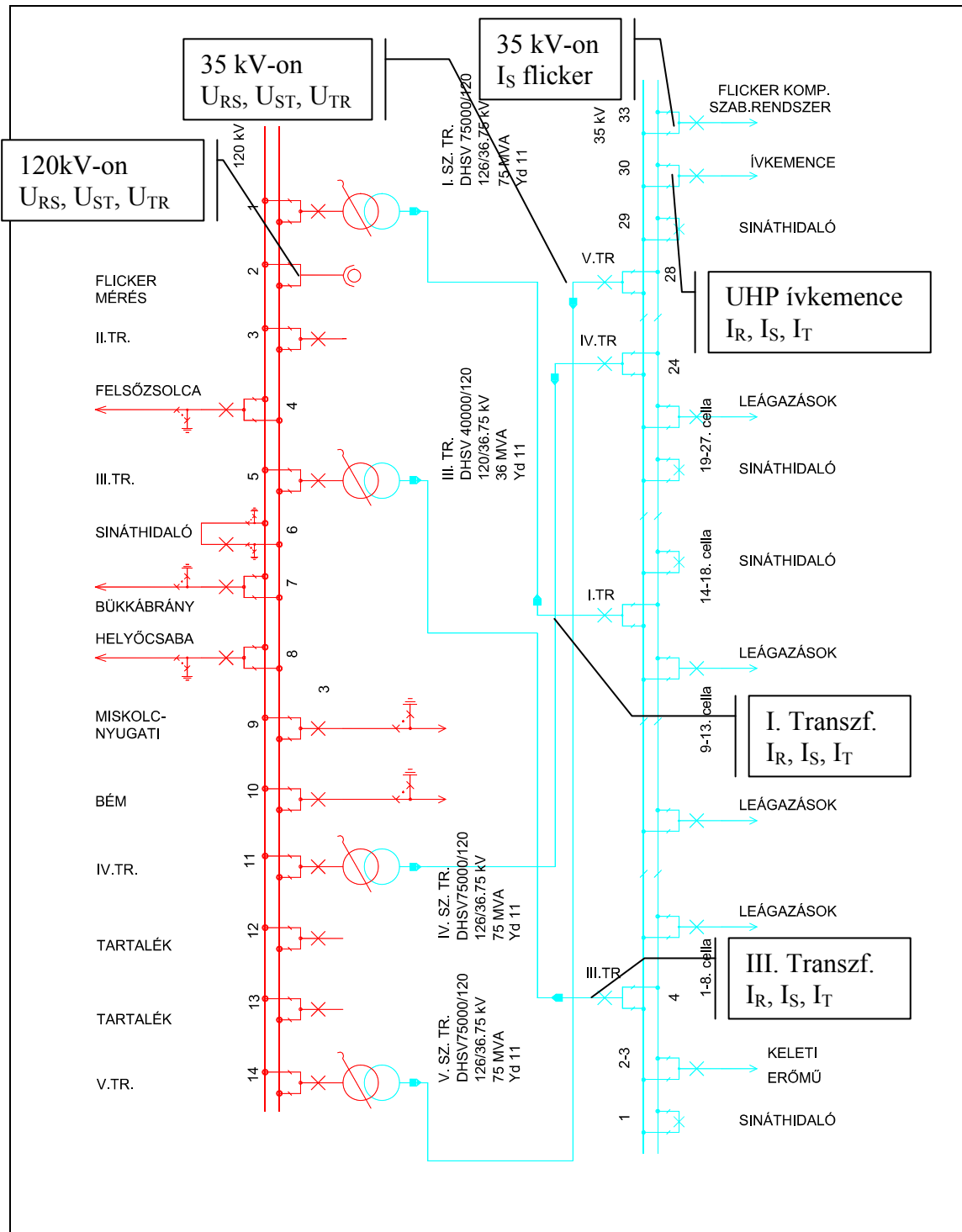
2 db TRANSANAL 16 típusú PC alapú hálózat-analizátor. A készülék alkalmas a flickerszint, illetve hullámalak egyidejű mérésére, tárolására, a szimmetria viszonyok rögzítésére és kiértékelésére. A készülék flicker mérésekor 1,25 ms-os mintavételezés alapján, az [1.10] előírásai szerint meghatározott 1 perces $P_{st}(1)$ értékeket tárolja el. Egy file 24 óra adatait (1440 mérési pont) tartalmazza.

A mérés összeállítását a mellékelt fénykép szemlélteti

A mérőeszköz és a mérési módszer tekintetében az [1. 6], valamint az [1.1] szabványoknak megfelelő módszereket alkalmaztam, a flicker adatainak rögzítésére.

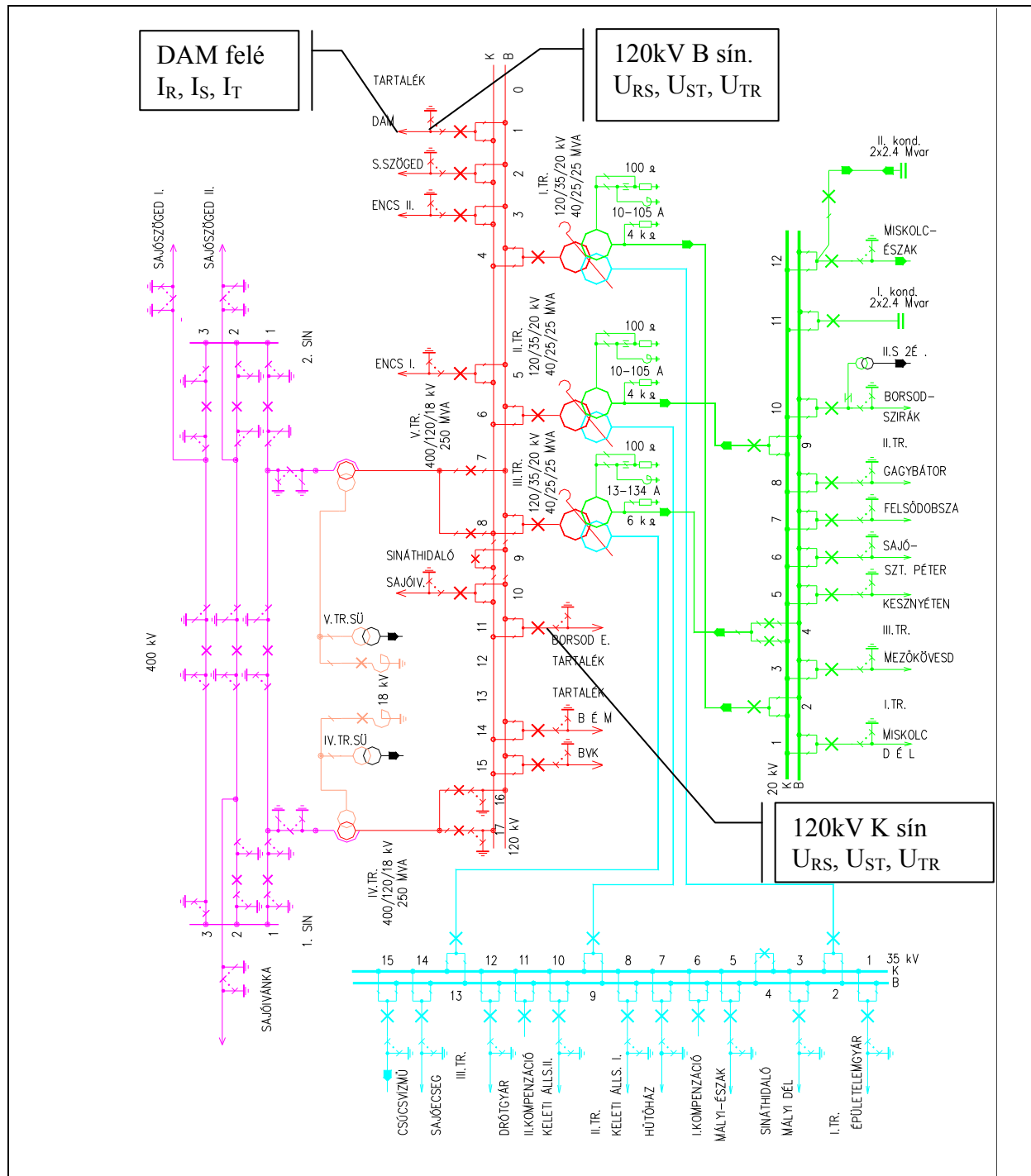


6. 7 ábra
A mérés összeállítási fényképe



6. 5 ábra

A DAM 120/35 kV-os állomás egyvonalas rajza a mérési helyek jelölésével



6. 6 ábra

Felsőzsolca 400/120/35/20 kV-os állomás egyvonalas rajza a mérési helyek jelölésével

6.3.2. A mérések leírása

6.3.2.1 Flicker (villogás) mérés

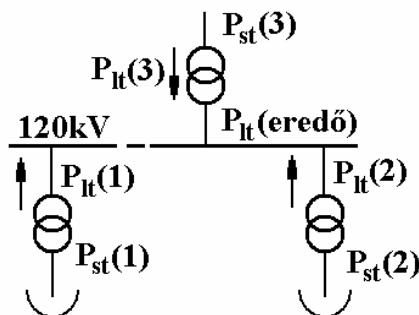
A villogás zavaró hatásának mértéke, az UIE-IEC villogásmérési módszerrel meghatározva és az alábbi mennyiségekkel számítva:

- Rövididejű flickerhatás $P_{st}(10)$, tíz perces időtartamon keresztül mérve
- Csúsztatott P_{lt} , a hosszúidejű flickerhatás változása 120 egymást követő adatból percenként, az alábbiak szerint számolva:

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

[19]

A gyakorlatban a $P_{lt}(1)$ jellemző használatos, ezért a kiértékeléseknél a fenti összefüggést használtam. *Megjegyzem, hogy az érvényes szabványelőírások szerint, a szolgáltatás (1-1 hét időtartamának) 95%-ban az ún. PCC pontokon a hosszúidejű flickerszint: $P_{lt} < 1$ ú értéket kell biztosítani.* A DAM 120 kV-os rendszeren megjelenő flicker értékének meghatározása mellett *súlyponti feladat annak eldöntése, hogy a 120 kV-os síneken mért flicker kialakulásában milyen mértékű a DAM ívkemence okozta hatás!* A nagyfeszültségű, (jelen esetben a DAM 120 kV-os) hálózatok egy-egy szakaszához több más olyan fogyasztó is kapcsolódhat, amelyek P_{lt1} , P_{lt2} , P_{lt3} , stb. hosszúidejű flickert generálnak (6. 8 ábra). Az ilyenkor elvégzett mérések egy eredő, ún. összegzett flicker szintet rögzítenek. Ez *az összegzett érték azonban nem az egyes összetevők egyszerű matematikai összege.* Mind a rövid- mind a hosszúidejű flickerszint szabvány szerinti számításánál matematikai statisztikai módszereket (valószínűségi számításokat) alkalmaztak, melyek alapján általános érvényű összegzési szabályt ez ideig nem sikerült kidolgozni! Az egyes összetevők meghatározására általam kidolgozott és mérésekkel igazolt (eredményhez vezető) módszere az, hogy a flickert generáló fogyasztókat egymást követően 'kiiktatjuk' (pontosítva, olyan időszakokban mérünk, amikor a kijelölt fogyasztók nem üzemelnek).



6.8 ábra

A DAM 120/35 kV-os állomás 120 kV-os rendszerén kimutatható, hogy három irányból érkezhét flicker hatás:

1. DAM ívkemence felől az V. sz. transzformátoron keresztül (35 kV-os oldal)
2. A DAM II.-es és III. sz transzformátorán keresztül (kis ívkemencék, egyéb berendezések)
3. Az ózdi ívkemence felül (Sajóivánka - Felsőzsolca állomásokon keresztül).

Az elvégzett mérések, az összetevők külön-külön történő meghatározása azt bizonyították, hogy az eredő hosszúidejű flicker átlagérték a DAM-Felsőzsolca-Ózd 120 kV-os hálózatok impedancia viszonyait figyelembe véve, viszonylag nagy pontossággal a szórások összegzésének szabályai szerint lehet számolni a következők szerint:

$$P_{lt}(eredő) = \sqrt{(P_{lt1})^2 + (P_{lt2})^2 + (P_{lt3})^2} \quad [20]$$

A mérések eredményeit legjobban a statisztikai eloszlás szemlélteti. A statisztikai eloszlásnál az ún. relatív gyakoriságot, a gyakoriság %-os értékeit az alábbiak szerint számolhatjuk :

$$gyakoriság_i[\%] = 100 \cdot \frac{I}{N} \cdot n_i \quad [21]$$

ahol i - a flickerszint csoport (pl. 0,3 azt jelenti, hogy ebben a csoportban a 0,2-0,3 értékek között -a megjelölt időszakban - mért valamennyi minta megtalálható)

N - az összes mért minták száma

n_i - az i -edik flicker érték

A fenti szempontok alapján határoztam meg a Sajóivánka villamos állomás 120 kV-os rendszeren megjelenő flicker értékeket is. A továbbiakban a DAM vizsgálatot mutatom be.

6.3.2.2 DAM V.sz transzformátor és az OAM ívkemence teljesítmény-felvétele

Megszerveztem hogy az ÉMÁSZ Rt. Diszpécserszolgálatja folyamatosan mérje és bocsássa rendelkezésemre, mind a DAM V.sz transzformátor mind az OAM ívkemence teljesítmény felvételének adatait 2006. április 14. - 2006. május 19. között. Ezek a (10 s-ként digitális formában rögzített) adatok, tartalmazzák a wattos és meddő teljesítmény forgalmat, továbbá a DAM 120 kV-os illetve az Ózd 20 kV-os feszültség értékeit.

6.3.3. A mérések kiértékelése

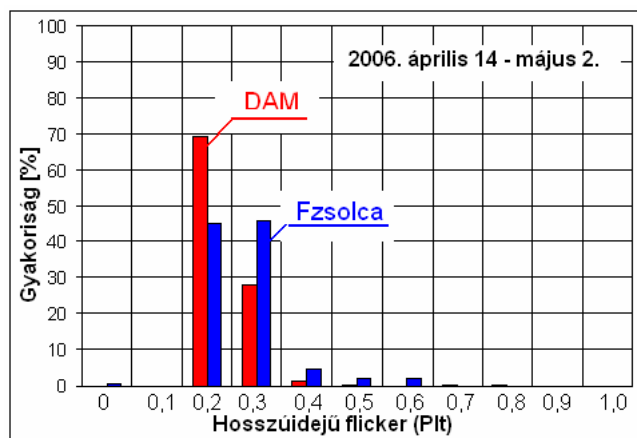
6.3.3.1 Rövid- és hosszúidejű flicker meghatározása

A DAM ívkemencék üzeme és a DAM állomás, illetve a Felsőzsolca állomások 120 kV-os rendszerein megjelenő rövid- és hosszúidejű villogás (flicker) közti összefüggések pontosítása érdekében, rögzítettem és vizsgáltam a DAM I.-es, a III.-as és az V. sz. transzformátor teljesítmény forgalmát és összehasonlítottam az ugyanazon időben a 120 kV-os rendszeren mért flicker értékekkel. **A kizárólagosan DAM UHP ívkemence okozta flicker szintet** (más fogyasztók, köztük az ózdi ívkemence hatásától függetlenül) olyan időszakban is vizsgáltam (2006. május 2. - május 5 között), amikor az ózdi ívkemence tartósan üzemben kívül volt. A 35 napos folyamatos méréseket és vizsgálatokat négy, jól elkülöníthető (és a vizsgálatok szempontjából meghatározó feltételeket teljesítő) időszakaszok jellemzik:

1. olyan időszakasz, amikor **sem a DAM ívkemence sem az ózdi ívkemence nem üzemel**
2. olyan időszakasz, amikor **a DAM ívkemence üzemelt, az ózdi ívkemence nem üzemel**
3. olyan időszakasz, amikor **mind a DAM ívkemence mind az ózdi ívkemence üzemel**
 - a. köztük, olyan időszak, amikor a DAM ívkemence flicker kompenzáció üzemel
 - b. és olyan időszak, amikor a DAM ívkemence flicker kompenzáció nem üzemel
4. olyan időszakok, amikor a **DAM ívkemence nem**, de az **ózdi ívkemence üzemel**

6.3.3.1.1. Flicker szintek alakulása olyan időszakban, amikor sem az ózdi ívkemence, sem a DAM ívkemence nem üzemel

2006. április 14. – 2006. május 2. között sem az ózdi ívkemence, sem a DAM V. sz. transzformátorról működtetett UHP ívkemence nem üzemelt. A hosszú (18 napot kitevő)

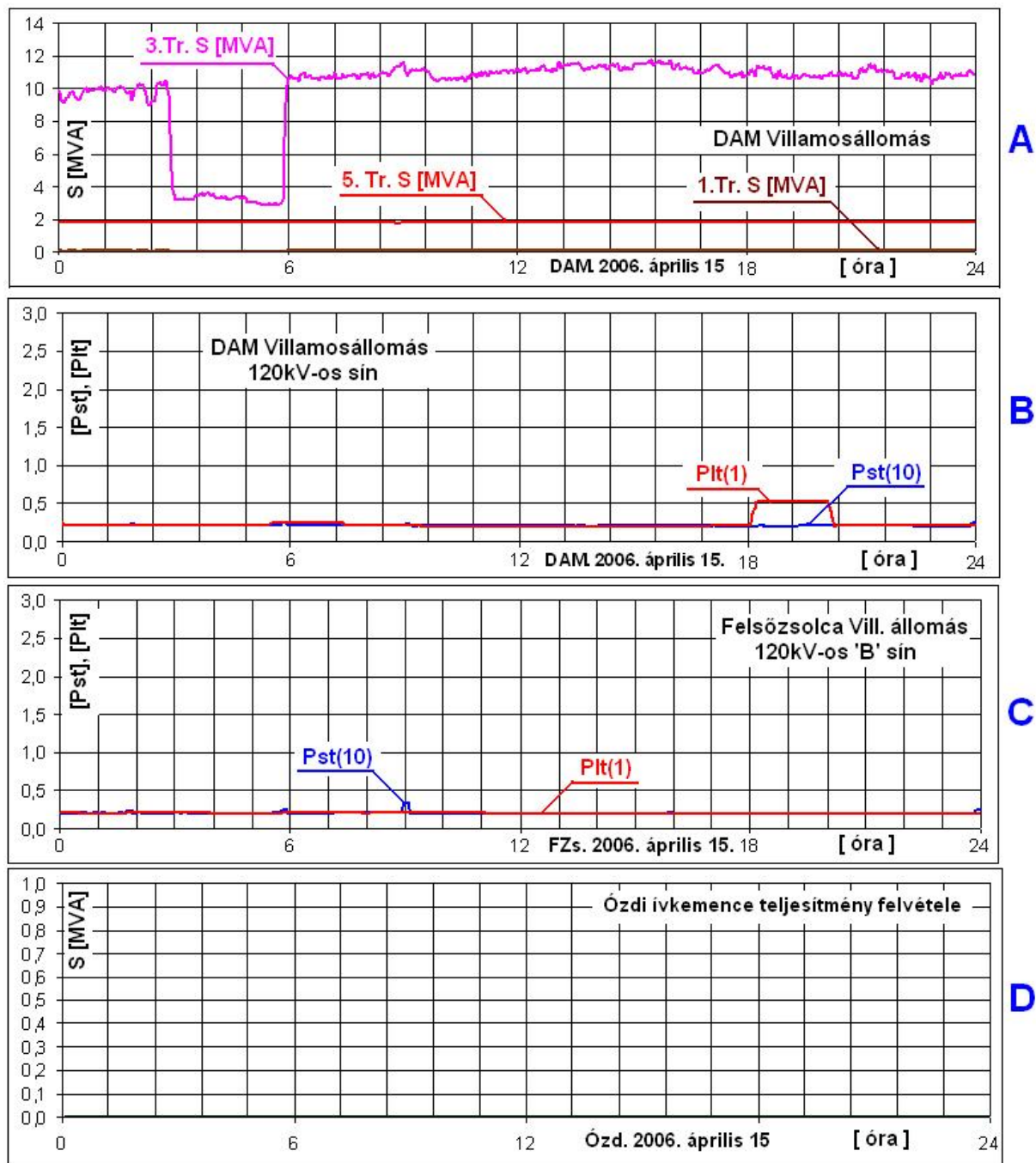


időszak alatt végzett mérések eredménye, egyrészt megbízható információkat adott a 120 kV-os hálózaton 'mindig' jelenlévő ún. flicker-alapzaj nagyságáról ($P_{lt, alapzaj} \approx 0,2 \dots 0,25$), másrészt olyan néhány napon is végezhettem méréseket (Húsvéti ünnepek alatt), amikor a hálózaton a legminimálisabb terhelés jelentkezett.

6. 9 ábra

A mért eredmények statisztikai eloszlása

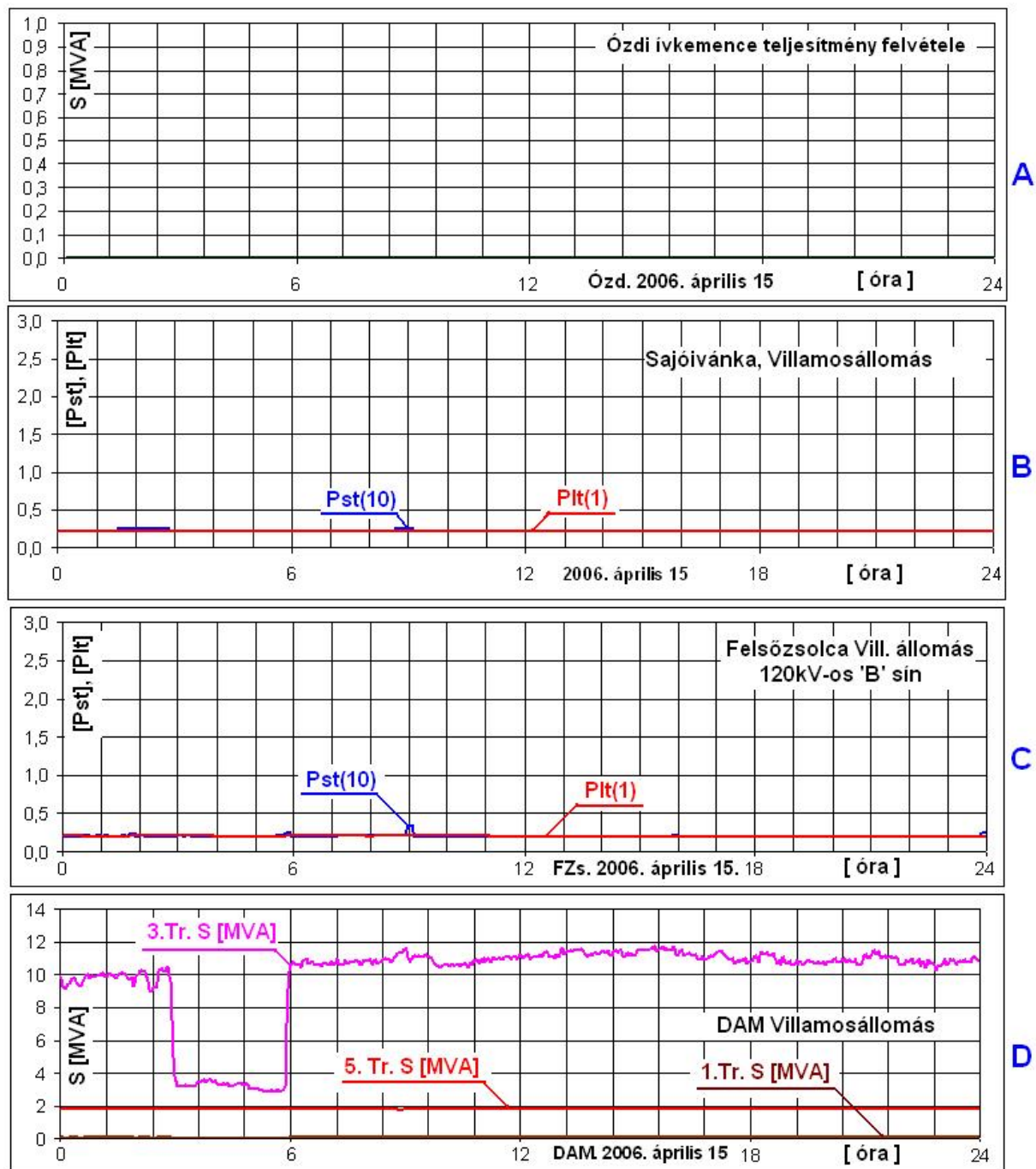
A 6.10 és a 6.11 ábrákon a 2006. április 14. – 2006. május 2. között mért olyan, időszakasz méréseredményei tanulmányozhatók, amikor csak a DAM I. sz és III. sz. transzformátorok üzemeltek. A nagyszámú méréseredmények azt bizonyították, hogy az ilyen üzemállapot csak jelentéktelen mértékű flickert generál a 120kV-os hálózatba (a hosszúidejű flicker tartósan $P_{lt} < 0,21$). A mért eredmények statisztikai eloszlását a 6.9 ábra mutatja.



6. 10 ábra

A rövididejű (P_{st})- és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulása a DAM 120/35 kV-os villamosállomás 120 kV-os, és a Felsőzsolca 400/120 kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerén 2006. április 15-én.

(‘A’ ábra a DAM villamos állomás 1., 3.-, és 5.sz. transzformátorok teljesítmény forgalmát, a ‘B’ és ‘C’ ábrák a rövididejű (P_{st})- és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulását mutatják a DAM, illetve a Felsőzsolca állomásokon, a ‘D’ ábra az ózdi ivkemence (üzemét), teljesítmény felvételét mutatja)



6. 11 ábra

A rövididejű (P_{st})- és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulása a Sajóivánka 400/120 kV-os villamos állomás 120 kV-os, és a Felsőzsolca 400/120 kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerén 2006. április 15-én.

('A' ábra. az OAM ívkemence (üzemét), teljesítmény felvételét, a 'B' és 'C' ábrák a rövididejű (P_{st})- és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulását mutatják a Sajóivánka, illetve a Felsőzsolca állomásokon, a 'D' ábra. a DAM 1.-, 3.-, és 5.sz. transzformátorok teljesítmény forgalmát mutatja)

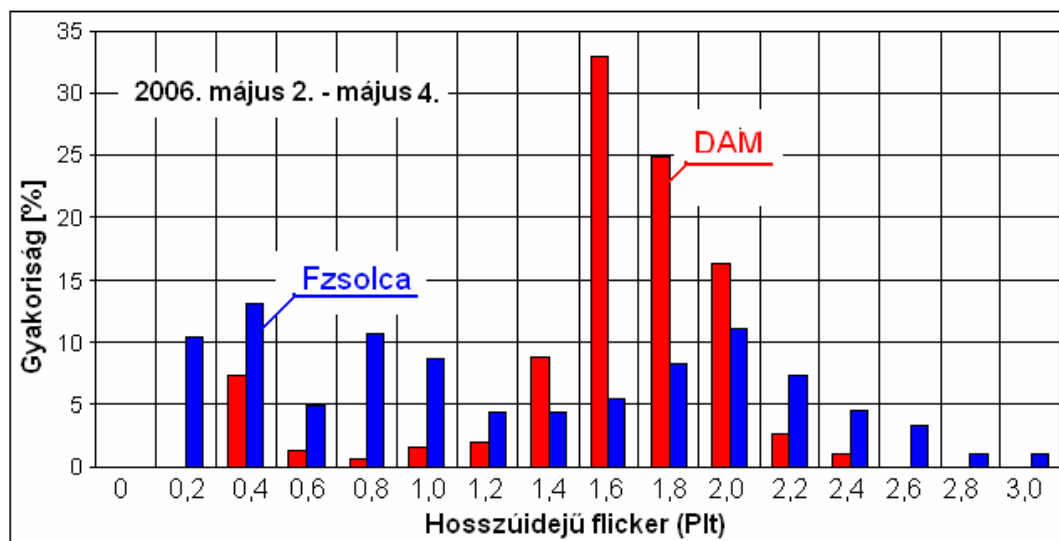
6.3.3.1.2 Flicker szintek alakulása olyan időszakban, amikor a DAM ívkemencék üzemelnek, de az ózdi ívkemence nem üzemel

2006. május 2 – május 4 között a DAM ívkemence üzemelt, de az ózdi ívkemence nem üzemelt, az üzemidők alatt a $P_{lt} \approx 1,0 \dots 2,4$ között változott. **A DAM állomáson $P_{lt} > 1$ értékeket az idő 90,78%-ban, Felsőzsolcán 60,69%-ban rögzítettem.**

A mért eredmények statisztikai eloszlását a 6.12 ábra, a jelzett idő százalékában mért értékeit az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat

	$P_{lt} < 1$	$P_{lt} > 1$	$P_{lt} > 2$	$P_{lt} > 3$	$P_{lt} > 4$
DAM 120 kV-on [%]	9,22	90,78	20,03	0,00	0,00
FZsolca 120kV- on [%]	39,31	60,69	27,44	1,50	0,22

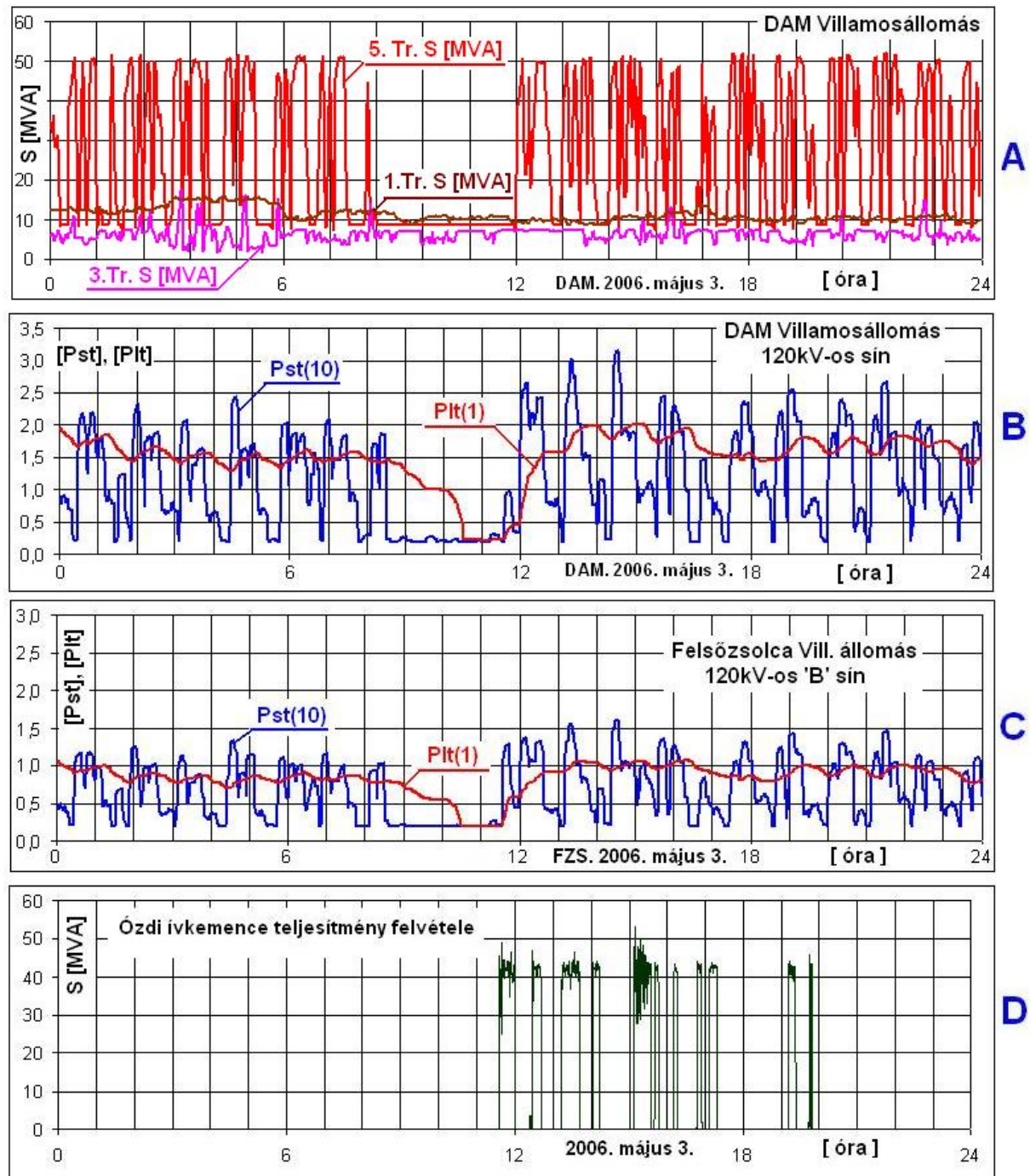


6. 12 ábra

A hosszúidejű flicker gyakorisága százalékban a flickerszint függvényében, 2006. május 2. – május 4. között. (Az ózdi ívkemence nem üzemelt)

A 6.13....6.14 ábrák, amelyeken a 2006. május 2 – május 4 között rögzített jellemző adatok láthatók és követhetők, azt bizonyítják, hogy **a DAM UHP ívkemence üzeme, minden más fogyasztótól függetlenül, olyan mértékű ($P_{lt} \approx 1,0 \dots 2,4$ értékű) flickert generál a 120 kV-os rendszerbe, amely veszélyeztetheti más, a hálózathoz kapcsolódó vétlen fogyasztók üzemét és egészségét!**

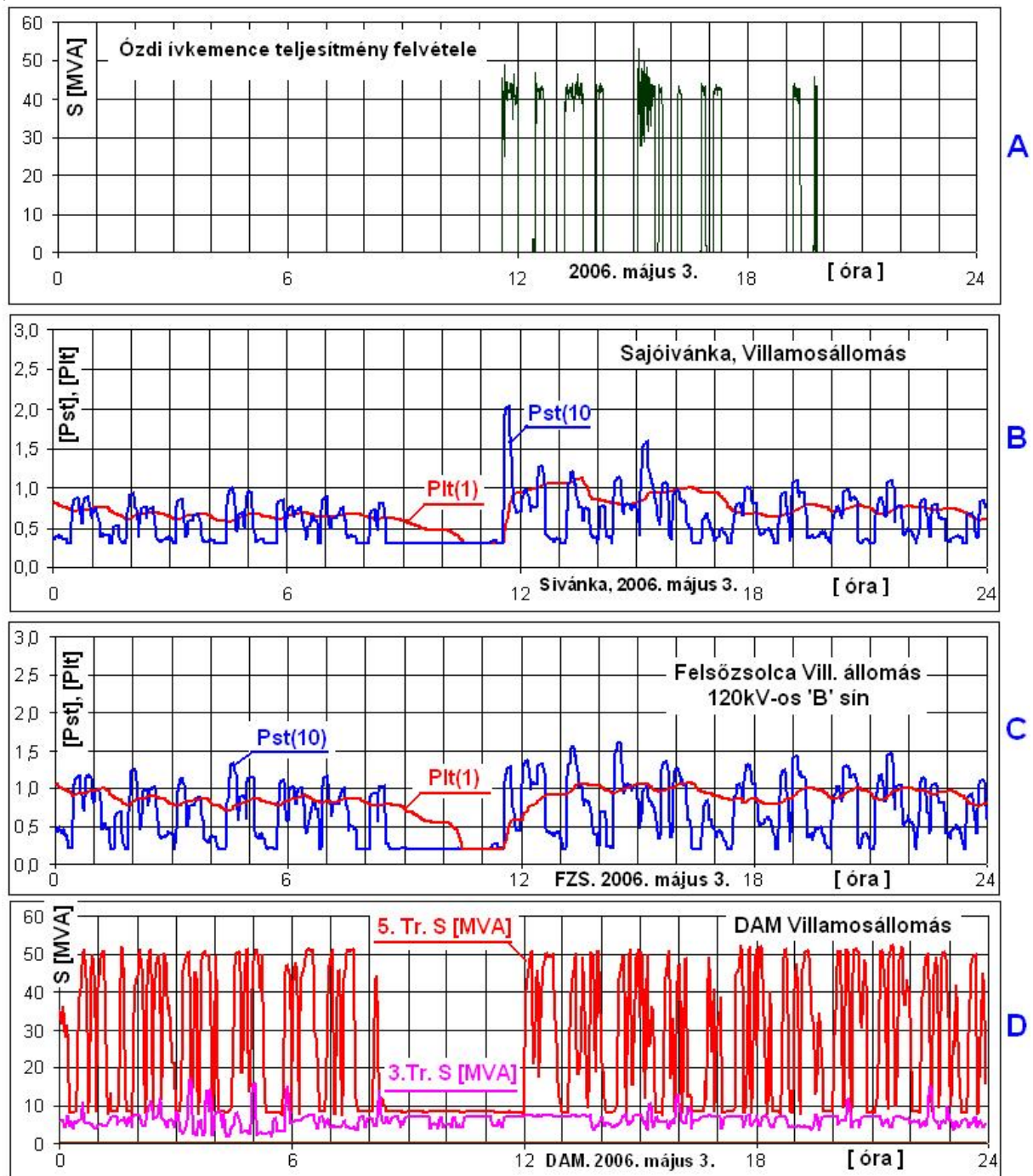
Az ábrákból az is egyértelműen megállapítható, hogy a DAM UHP ívkemence által generált flicker, kis mértékben csillapítva, (de $P_{lt} > 1$ értékkel) megjelenik a Felsőzsolca 400/120 kV-os állomáson is!



6. 13 ábra

A rövididejű (P_{st})- és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulása a DAM 120/35 kV-os villamos állomás 120 kV-os, és a Felsőzsolca 400/120 kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerén 2006. május 3-án.

('A' ábra a DAM villamosállomás 1.-, 3.-, és 5.sz. transzformátorok teljesítmény forgalmát, a 'B' és 'C' ábrák a rövididejű (P_{st})- és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulását mutatják a DAM illetve a Felsőzsolca állomásokon, a 'D' ábra az ózdi ívkemence (üzemét), teljesítmény felvételét mutatja).



6. 14 ábra

A rövididejű (P_{st})- és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulása a Sajóivánka 400/120 kV-os villamos állomás 120 kV-os, és a Felsőzsolca 400/120 kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerén 2006. május 3-án.

('A' ábra. az OAM ívkemence (üzemét), teljesítmény felvételét, a 'B' és 'C' ábrák a rövididejű (P_{st})- és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulását mutatják a Sajóivánka, illetve a Felsőzsolca állomásokon, a 'D' ábra. a DAM 1.-, 3.-, és 5.sz. transzformátorok teljesítmény forgalmát mutatja)

6.3.3.1.3. Flicker szintek alakulása olyan időszakban, amikor mind a DAM- mind az ózdi ívkemencék üzemeltek

A DAM (ívkemencék és egyéb technológiai berendezések) és az ózdi ívkemencék együttes üzeménél (2006. május 4 – május 15 között) a flicker meghatározása szempontjából két lényeges vizsgálati körülményt alakítottam ki:

1. A DAM V. sz. transzformátorán keresztül üzemeltetett ívkemence flicker kompenzációs berendezése bekapcsolt (üzemeltetett) állapotban volt. (2006. május 4 – május 12.)
2. Az ívkemence flicker kompenzációs berendezése kikapcsolt (üzemen kívüli) állapotban volt. (2006. május 12 – május 15.)

A viszonylag hosszú időszakaszokat felölelő, nagyszámú mérési adatokra támaszkodó vizsgálat alatt mind a DAM, mind az ózdi ívkemencéket az ún. „folyamatos” üzem jellemezte. A „folyamatos” jelző az ívkemencék olyan üzemállapotát jellemzi, amikor az alábbi, 4 részből álló, ciklusok folyamatosan követik egymást:

- a. a szilárd vagy folyékony betét beadagolása az ívkemencébe
- b. a villamos ív alatti olvasztás és kikészítés
- c. a kész acél eltávolítása, azaz a csapolás
- d. tervezett- vagy nem tervezett javítások, egyéb szünetidők

A rögzített méréseknél, (akkor is, amikor a DAM flicker kompenzáció üzemben volt és akkor is, amikor azt kikapcsolták, függetlenül attól, hogy az ózdi kemence üzemelt vagy sem, megfigyelhető volt, hogy a DAM V.sz. transzformátoron keresztül működtetett DAM ívkemence **üzeme alatt a P_{lt} hosszúidejű flicker szint csak lényegtelen mértékben változik meg, ha a flicker kompenzációs berendezéseket kikapcsolják!**

Összefoglaló számszerű eredmények a 2. és a 3. táblázatokban láthatók.

A mérési időszak két jellemző napján rögzített mérési eredmények láthatók a 6.16 és a 6.17 ábrákon.

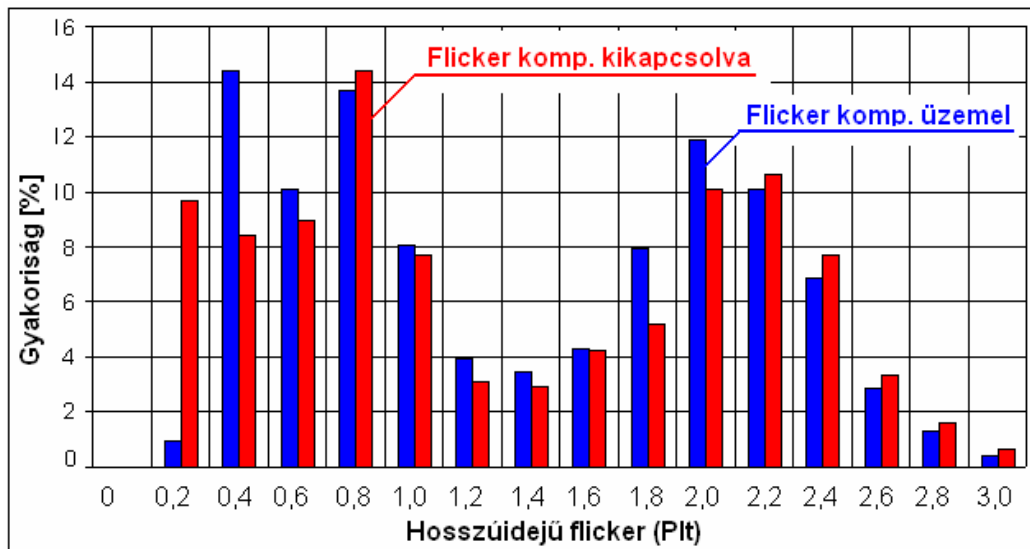
2. táblázat. A flickerszint alakulása a DAM 120kV-os rendszeren, a flicker-kompenzáció üzeme esetén

	Plt < 1	Plt > 1	Plt > 2	Plt > 3	Plt > 4
DAM 120 kV-on [%]	38,91	61,09	32,39	2,66	0,19
FZsolca 120kV- on [%]	10,66	89,34	32,87	0,21	0,00

3. táblázat. A flickerszint alakulása a DAM 120kV-os rendszeren, a flicker-kompenzáció kikapcsolt állapota esetén

	Plt < 1	Plt > 1	Plt > 2	Plt > 3	Plt > 4
DAM 120 kV-on [%]	39,02	60,98	33,01	0,40	0,00
FZsolca 120kV- on [%]	41,40	58,60	33,34	1,85	0,33

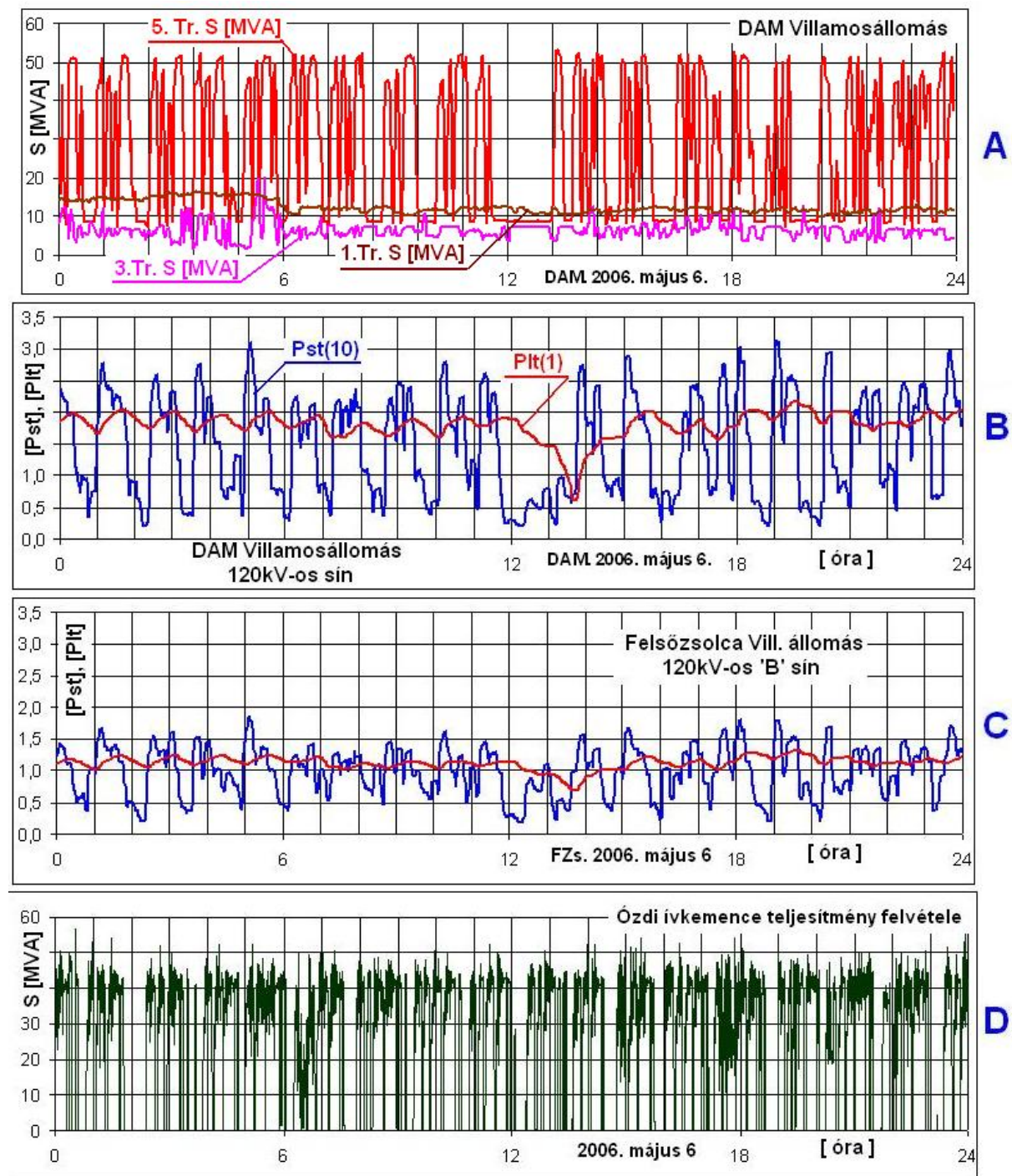
A mérések alapján megállapítható, hogy a DAM UHP ívkemence flicker kompenzáló berendezés üzemállapota, (bekapcsolt vagy kiiktatott állapota) nincs jelentős hatással a DAM állomás 120 kV-os rendszerén megjelenő flicker szint alakulására. (lásd 6.14 ábrát).



6. 15 ábra

A hosszúidejű flicker gyakorisága és struktúrája a DAM villamos állomás 120 kV-os rendszerén, a flicker-kompenzáció ki- és bekapcsolt állapotában

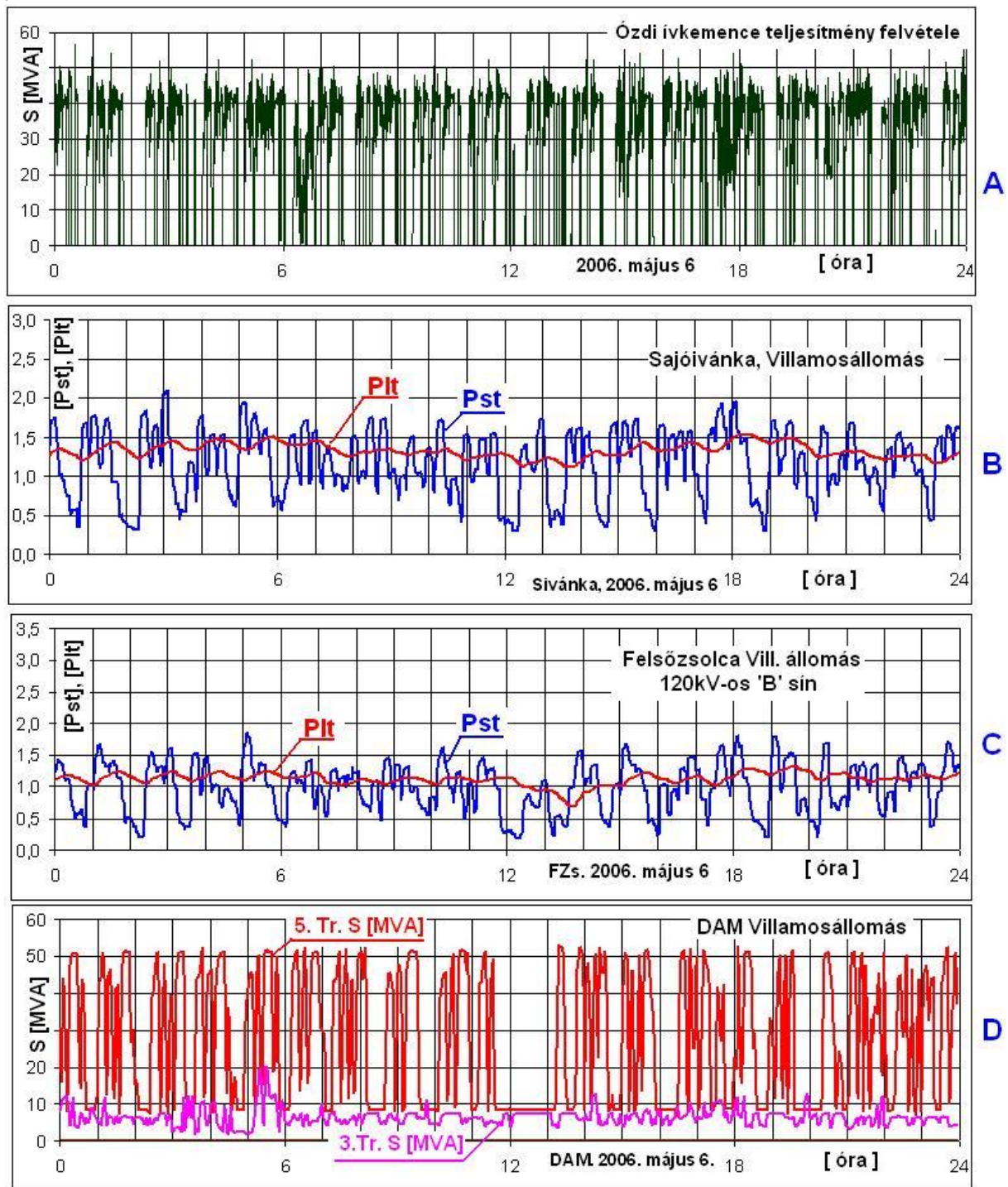
(Az összehasonlítási idők: [BE] május 10. – május.12, és [KI] május13 – május15)



6. 16 ábra

A rövididejű (P_{st}) és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulása a DAM 120/35 kV-os villamos állomás 120 kV-os, és a Felsőzsolca 400/120kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerén 2006. május 6-án.

('A' ábra a DAM villamos állomás 1., 3.-, és 5.sz. transzformátorok teljesítmény forgalmát, a 'B' és 'C' ábrák a rövididejű (P_{st}) és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulását mutatják a DAM illetve a Felsőzsolca állomásokon, a 'D' ábra az ózdi ívkemence (üzemét), teljesítmény felvételét mutatja)



6. 17 ábra

A rövididejű (P_{st}) és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulása a Sajóivánka 400/120 kV-os villamos állomás 120 kV-os, és a Felsőzsolca 400/120kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerén 2006. május 6-án.

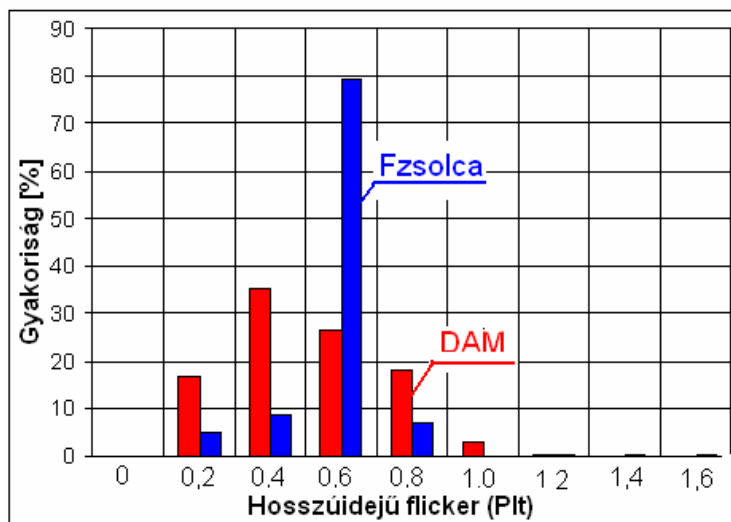
(A' ábra. az OAM ívkemence (üzemét), teljesítmény felvételét, a 'B' és 'C' ábrák a rövididejű (P_{st}) és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulását mutatják a Sajóivánka illetve a Felsőzsolca állomásokon, a 'D' ábra. a DAM 1.-, 3.-, és 5.sz. transzformátorok teljesítmény forgalmát mutatja)

6.3.3.1.4. Flicker szintek alakulása olyan időszakban, amikor az ózdi ívkemence üzemel, de a DAM ívkemence nem üzemel

A mérések teljes ideje alatt az ózdi ívkemence lényegesen többet üzemelt, mint a DAM UHP ívkemence. 2006. május 15 – május 19. között, 4 napon keresztül, olyan üzemállapotokban rögzítettem a flicker alakulását, amikor a DAM UHP ívkemence már nem üzemelt, de az ózdi ívkemence üzemelt.

Ha a **80 tonnás UHP ívkemence nem üzemel, de az ózdi ívkemence üzemel**, akkor a DAM 120 kV-os rendszeren mérhető flicker meghatározó részét az ózdi ívkemence generálja. Ennek átlagértéke: $P_{lt(átlag)} \approx 0,45$, maximális értéke : $P_{lt(max)} \approx 1,05$. ($P_{lt} > 1$ érték a DAM állomáson a közel 100 óra mérési idő 3,2%-ban, Felsőzsolcán 0,7%-ban fordult elő, lásd 7.18. ábra.)

A mérések részletes eredményeit tartalmazó ábrák közül kettőt mutatok be: a 7.19 és a 7.20. ábrákat. A valószínűségi eloszlást az 5. táblázat mutatja, a hosszúidejű flicker eloszlását és gyakoriságát a 6.18. ábra szemlélteti.



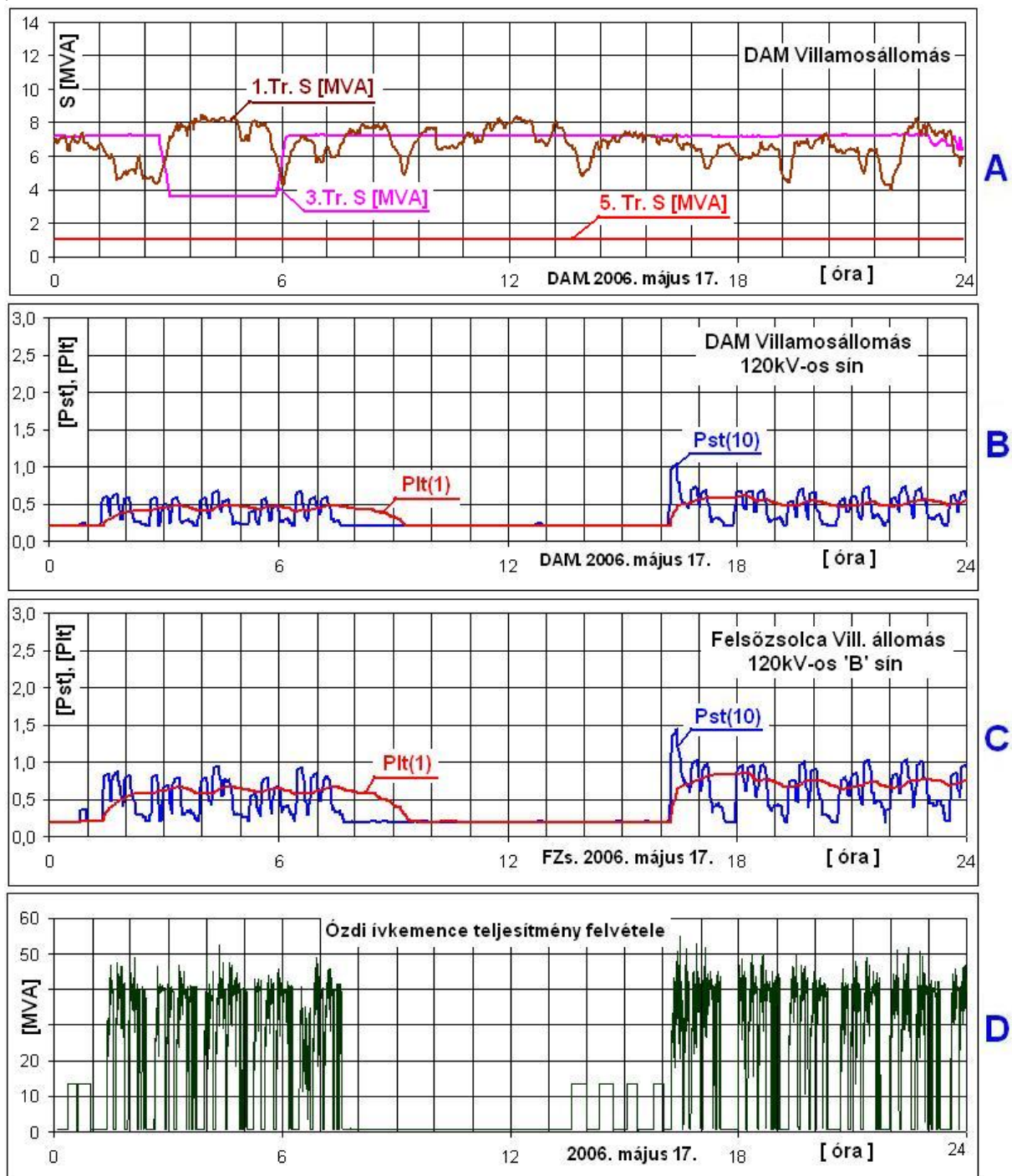
6. 18 ábra

A hosszúidejű flicker gyakorisága százalékban a flickerszint függvényében, 2006. május 15. – május 19 között.(a DAM ívkemence nem, az ózdi ívkemence üzemel)

A 4. táblázat tartalmazza azokat a jellemző hosszúidejű flicker (P_{lt}) adatokat, amelyeket az ózdi ívkemence üze me generál a DAM 120 kV-os rendszerbe.

4.táblázat. A flickerszint alakulása a DAM 120 kV-os rendszeren, amikor a DAM UHP ívkemence nemüzemel

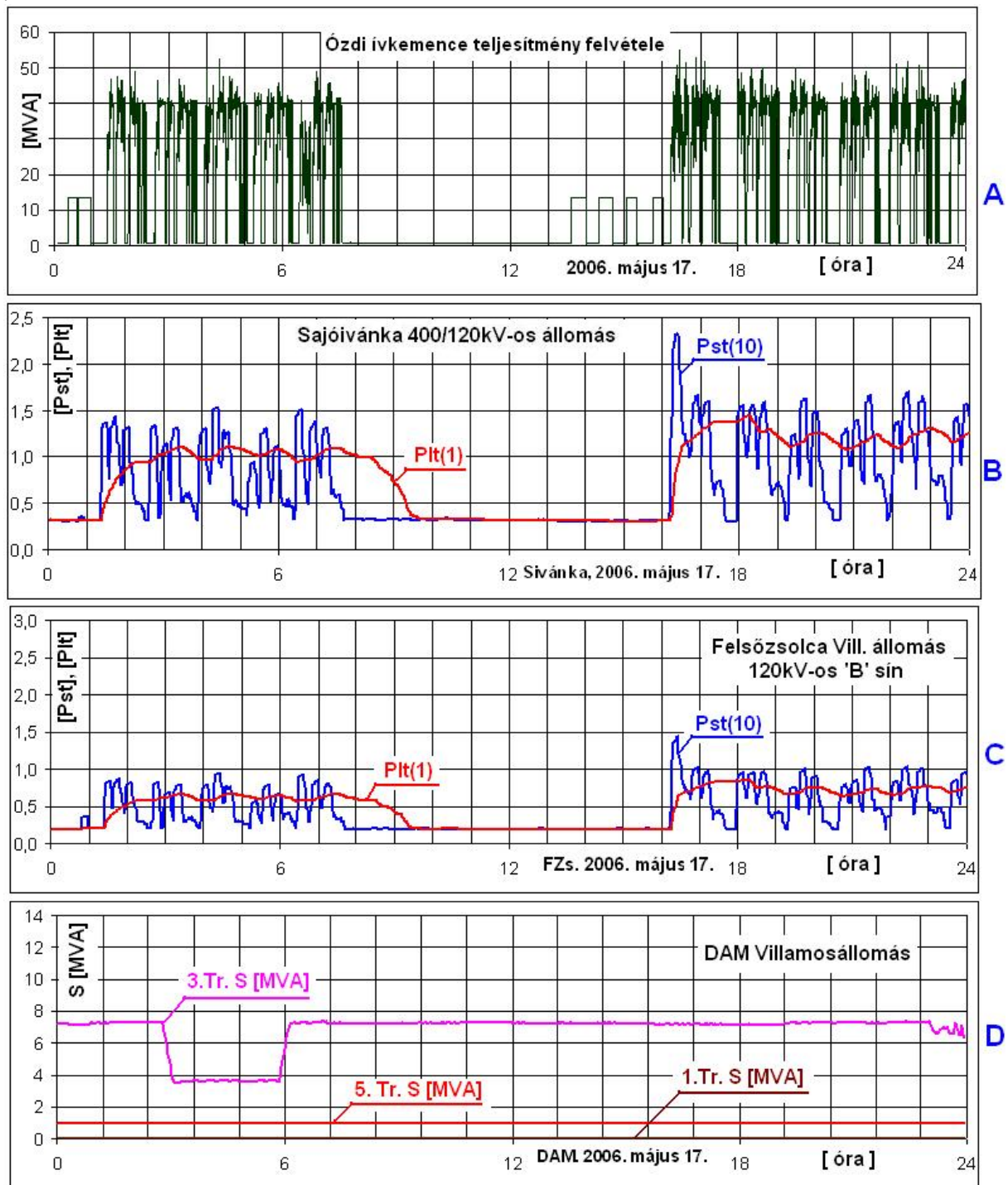
	$P_{lt} < 1$	$P_{lt} > 1$	$P_{lt} > 2$	$P_{lt} > 3$	$P_{lt} > 4$
DAM 120 kV-on [%]	96,78	3,22	0,00	0,00	0,00
FZsolca 120kV- on [%]	99,36	0,64	0,00	0,00	0,00



6. 19 ábra

A rövididejű (P_{st}) és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulása a DAM 120/35 kV-os villamos állomás 120 kV-os, és a Felsőzsolca 400/120 kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerén 2006. május 17-én.

('A' ábra a DAM villamos állomás 1.-, 3.-, és 5.sz. transzformátorok teljesítmény forgalmát, a 'B' és 'C' ábrák a rövididejű (P_{st}) és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulását mutatják a DAM illetve a Felsőzsolca állomásokon, a 'D' ábra az ózdi ívkemence (üzemét), teljesítmény felvételét mutatja)



6. 20 ábra

A rövididejű (P_{st}) és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulása a Sajóivánka 400/120 kV-os villamos állomás 120 kV-os, és a Felsőzsolca 400/120kV-os villamos állomás 120 kV-os rendszerén 2006. május 17-én.

('A' ábra. az OAM ívkemence (üzemét), teljesítmény felvételét, a 'B' és 'C' ábrák a rövididejű (P_{st}) és a hosszúidejű (P_{lt}) flickerszint alakulását mutatják a Sajóivánka illetve a Felsőzsolca állomásokon, a 'D' ábra. a DAM 1.-, 3.-, és 5.sz. transzformátorok teljesítmény forgalmát mutatja)

6.3.3.1.5 A flicker átlag közelítő meghatározásának elméleti igazolása

Mind a rövid- mind a hosszúidejű flickerszint szabvány szerinti számításánál, matematikai statisztikai módszereket, (olyan valószínűségi számításokat) alkalmaztak, amelyek alapján általános érvényű összegzési szabályt ez ideig nem sikerült kidolgozni! Az egyes összetevők meghatározására általam kidolgozott és mérésekkel igazolt (eredményhez vezető) módszere az, hogy a flickert generáló fogyasztókat egymást követően 'kiiktatjuk' (pontosítva, olyan időszakokban mérünk, amikor a kijelölt fogyasztók nem üzemelnek). A méréseket számos helyen elvégeztem, ahol több irányból érkező flicker értékek összegezését elemeztem. A vizsgálatokat három konkrét helyen a DAM 120 kV-os gyűjtősínen a Felsőzsolcai állomás 120 kV-os gyűjtősínen és a Sajóivánkai alállomás 120 kV-os gyűjtősínen mutatom be. A teljes mérési időszakra mért nagy számú flicker értékeket Excel táblázatokba foglaltam. Ezekből a táblázatokból a vizsgált időszakokra (amikor egyik ívkemence sem üzemel, amikor csak a DAM üzemel, amikor csak az OAM üzemel, amikor mind a kettő üzemel) kigyűjtöttem a mért flicker adatokat és kiszámítottam ezek átlagértékeit, azaz a mért P_{lt} átlagos értékét. Empirikus módszereket alkalmazva megállapítottam, hogy viszonylag elfogadható pontossággal a szórások összegzéséhez hasonló szabályok szerint lehet az eredő flickert számolni, ezért a flicker összegezésére az alábbi - mérési eredményekkel pontosítható - összefüggést alkalmaztam:

$$P_{ltE} = \sqrt[k]{P_{ltDAM}^k + P_{ltOAM}^k + P_{ltALAP}^k} \quad [22]$$

A feladat a k értékének meghatározása volt. Ezt a feladatot statisztikai módszereket alkalmazva oldottam meg. A gyök alatti P_{lt} értékeket, valamint az eredő flicker értéket a P_{ltE} -t a nagy számú mérés eredményei szolgáltatták. Azt kellett vizsgálni, hogy a [22] egyenletbe a mérések eredményeit behelyettesítve, milyen k érték elégíti ki. A k értékét 1-től 5-ig 0,1 lépésként növelve kiszámítottam a vizsgált helyeken a DAM ívkemence, illetve az OAM ívkemence által okozott flicker hatásokat, valamint a két kemence együttes eredő hatását a P_{ltE} átlagos eredő értékét, amelyet egy-egy diagramban ábrázoltam. A diagram szerkesztéséhez kiszámított adatokat a melléklet tartalmazza

A számított értékeket a három tápponton összehasonlítottam a mért értékkel.

Az összehasonlítás alapján meghatároztam, hogy milyen hatványkitevős összegezés közelíti meg a legjobban a mért értéket.

Az alábbi időszakokban meghatároztam a flicker szintek alakulását.

a. A flicker szintek alakulása olyan időszakban, amikor sem az OAM ívkemence, sem a DAM ívkemence nem üzemel

A mért átlagos „alapzaj”:

A DAM 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltALAP} = 0,2$

Felsőzsolcai állomás 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltALAP} = 0,2$

Sajóivánkai alállomás 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltALAP} = 0,2$

(l. 7.10 és a 7.11 sz. ábrákat)

b. A flicker szintek alakulása olyan időszakban, amikor a DAM ívkemencék üzemelnek, de az OAM ívkemence nem üzemel

A mért átlagos eredő értékek:

A DAM 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltEm} = 1,6510$

Felsőzsolcai állomás 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltE} = 0,7425$

Sajóivánkai alállomás 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltE} = 0,7055$

(l. 7.13 és a 7.14 sz. ábrákat)

c. A flicker szintek alakulása olyan időszakban, amikor mind a DAM- mind az OAM ívkemencék üzemelnek

A mért átlagos eredő értékek:

A DAM 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltEm} = 1,7220$

Felsőzsolcai állomás 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltE} = 1,2385$

Sajóivánkai alállomás 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltE} = 1,3905$

(l. a 7.16 és a 7.17 sz. ábrát)

d. A flicker szintek alakulása olyan időszakban, amikor az OAM ívkemence üzemel, de a DAM ívkemence nem üzemel

A mért átlagos eredő értékek:

A DAM 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltEm} = 0,5185$

Felsőzsolcai állomás 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltE} = 0,8927$

Sajóivánkai alállomás 120 kV-os gyűjtősínen: $P_{ltE} = 1,2309$

(l. a 7.19 és a 7.20 sz. ábrát)

A vizsgált állomások 120 kV-os gyűjtősíneken meghatároztam az ívkemencék által okozott flicker értékeket az alábbi összefüggésekkel

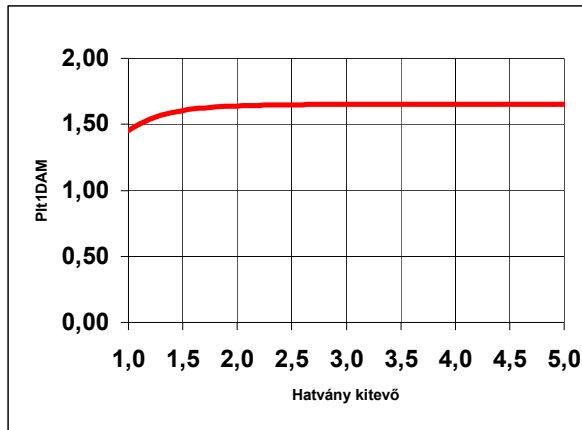
- a DAM felől érkező átlagos flicker érték $P_{ltDAM} = \sqrt[k]{P_{ltEmDAM}^k - P_{ltALAP}^k}$ [23]

- az OAM felől érkező átlagos flicker érték $P_{ltOAM} = \sqrt[k]{P_{ltEmOAM}^k - P_{ltALAP}^k}$ [24]

- A számított átlagos eredő érték $P_{ltE} = \sqrt[k]{P_{ltDAM}^k + P_{ltOAM}^k + P_{ltALAP}^k}$ [25]

A fentiek alapján meghatározott értékeket diagramokban foglaltam össze.

- *DAM 120/35 kV-os állomás 120 kV-os gyűjtősínen a flicker viszonyokat szemléltető diagramok*



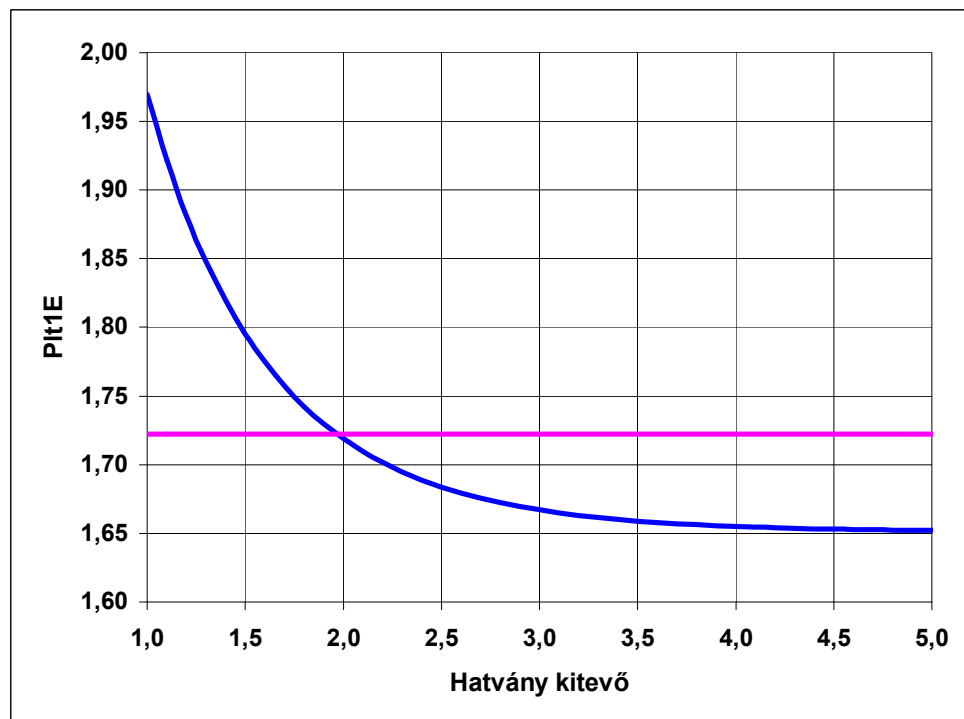
6. 20 ábra

A DAM 120/35 kV-os állomás 120 kV-os gyűjtősínen a DAM ívkemence által okozott P_{It1}



6. 21 ábra

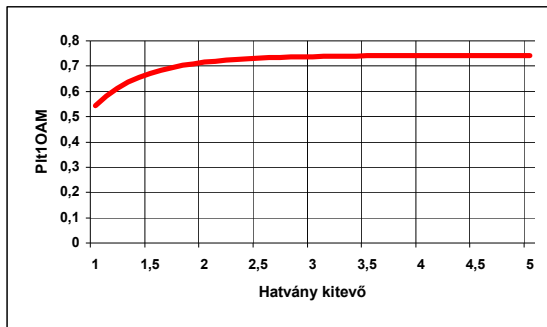
A DAM 120/35 kV-os állomás 120 kV-os gyűjtősínen az OAM ívkemence által okozott P_{It1}



6. 22 ábra

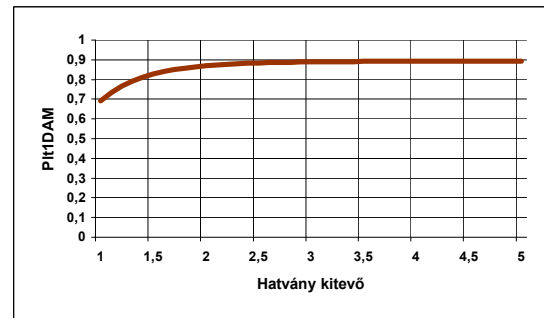
A DAM 120/35 kV-os állomás 120 kV-os gyűjtősínen számított(kék) és a mért(lila) eredő P_{It1}

- *Felsőzsolca 400/120 kV-os állomás 120 kV-os gyűjtősínen a flicker viszonyokat szemléltető diagramok*



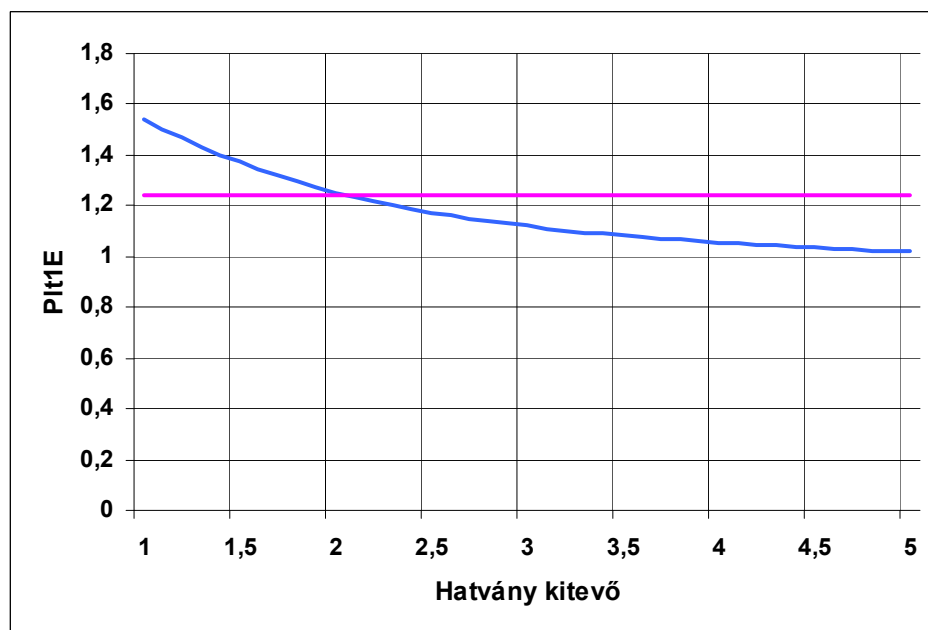
6. 23 ábra

A Felsőzsolca 400/120 kV-os állomás
120 kV-os gyűjtősínen az OAM
ívkemence által okozott P_{lt1}



6. 24 ábra

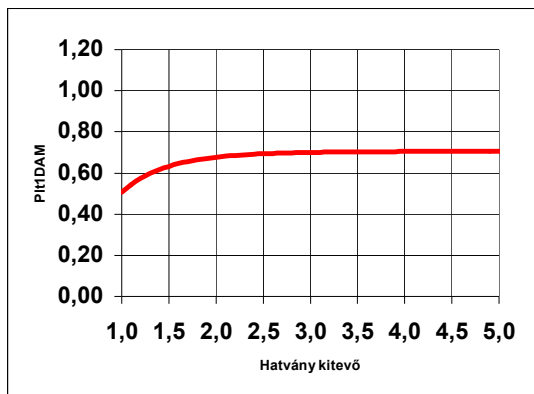
A Felsőzsolca 400/120 kV-os állomás
120 kV-os gyűjtősínen a DAM
ívkemence által okozott P_{lt1}



6. 25 ábra

A Felsőzsolca 400/120 kV-os állomás 120 kV-os gyűjtősínen számított(kék) és a
mért(lila) eredő P_{lt1}

- Sajóivánka 400/120 kV-os állomás 120 kV-os gyűjtősínen a flicker viszonyokat szemléltető diagramok



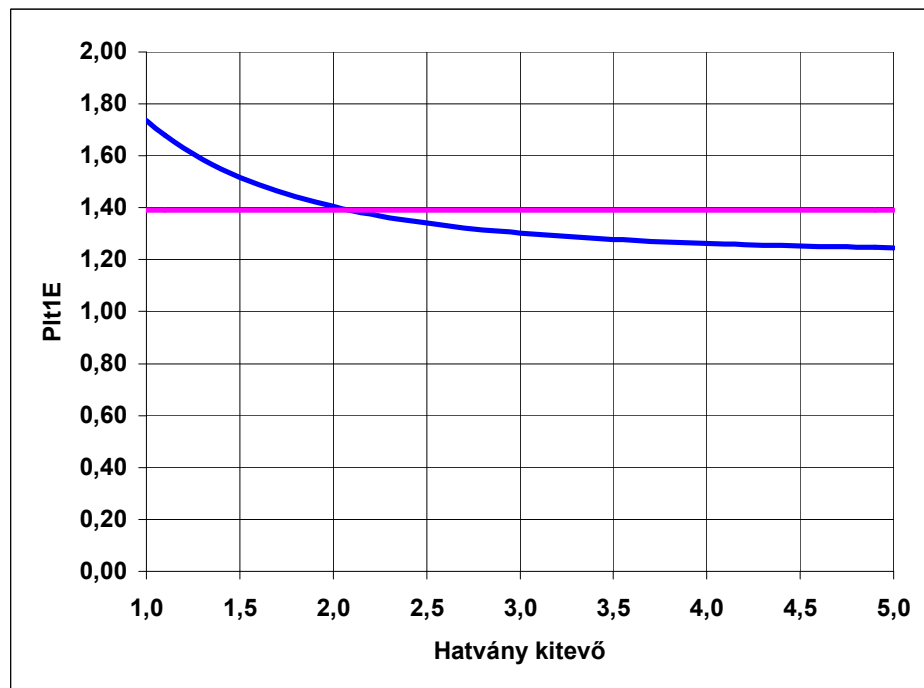
6. 26 ábra

A Sajóivánka 400/120 kV-os állomás
120 kV-os gyűjtősínen a DAM ívkemence
által okozott P_{st1}



6. 27 ábra

A Sajóivánka 400/120 kV-os állomás
120 kV-os gyűjtősínen az OAM ívkemence
által okozott P_{st1}



6. 28 ábra

A Sajóivánka 400/120 kV-os állomás 120 kV-os gyűjtősínen számított(kék) és a
mért(lila) eredő P_{st1}

A mérések idején a hálózat kapcsolási állapota nem változott, így a mért értékek és a számítások a valóságos állapotnak megfelelnek. A diagramokból látható, hogy a mért és a számított jelleggörbék a 2-es hatvány értéke közelében metszik egymást. Megállapítottam, hogy 120 kV-os főelosztó hálózaton a flicker terjedésének összegezésére a négyzetgyökös összegezés ad pontosabb eredmény. Nemzetközileg a köbös összegezés van elfogadva. Ez a módszer akkor igaz, ha a flicker források egy közös gyűjtősínre vannak kapcsolva. Amikor a flicker források külön gyűjtősínre vannak kapcsolva, amely gyűjtősíneket távvezetékek kapcsolnak össze, a helyzet bonyolultabb, mert az [1.2] szakirodalom szerint az átviteli impedanciák szabják meg a terjedési viszonyokat, ilyen esetekben négyzetgyökös összegezés ad helyes eredményt.

6.4 A 0,4 kV-os hálózatokon flickerszint értékének vizsgálata

Átfogó hálózati vizsgálatokat végeztem a miskolci villamos alállomások körzeteihez tartozó 0,4 kV-os hálózaton. A vizsgálatok egyértelmű célja annak megállapítása, hogy a városi 0,4 kV-os hálózatokon megjelenő, villogás (ún. flicker) zavarok a DAM és az OAM villamos ívkemencék munkája között milyen ok-okozati összefüggés van.

A vizsgálatokat 2005. év márciusában kezdtem meg és 2005. július hó végén fejeztem be. A vizsgálatok bizonyították, hogy a DAM és az OAM ívkemencék a 120 kV-os hálózati rendszeren keresztül jelentős villogást, flickert generálnak a 0,4 kV-os rendszerbe. A vizsgálatok eredményeként megállapítottam azt is, hogy a térségben további, több olyan kis- és nagy fogyasztó található, amelyeknél (feltételezhetően) olyan kompenzálatlan villamos berendezések üzemelnek, amelyek hatása összegződik a térségben kialakuló és terjedő hálózati zavarokban.

A mérések és vizsgálatok színhelyeinek (nyolc mérőhely) kiválasztása az alállomások fogyasztói körzetének lehetséges legjobb lefedését megcélózva történt.

A 7.29 ábrán, amely Miskolc város 120 kV-os, 35 kV-os és 20 kV-os villamos hálózatának vonalas rajza és a villamos energiát elosztó villamos alállomások területi elhelyezkedését mutatja, bejelöltem azokat a mérőpontokat, ahova a mérőberendezéseket telepítettem.

A tudományos kutatómunkám mérési eredményei és a rögzített diagramok alapján egyértelműen megállapítom, hogy a DAM és az OAM ívkemencék üzeme és a miskolci közcélú kiefeszültségű (0,4 kV-os) elosztóhálózatokban mérhető rövid- és hosszúidejű flicker szintek között számszerűen kimutatható összefüggés van. A flicker szint mérésel meghatározott, számszerűsített statisztikai adatainak összegezése az alábbi képlet szerint lehetséges

$$P_E = \sqrt{P_a^2 + P_{DAM}^2 + P_{OZD}^2}$$
 ahol a P_E az eredő flickerszint, P_a az alap flickerszint, P_{DAM} a DAM ívkemence által okozott flickerszint, P_{OZD} az OZD ívkemence által okozott flickerszint.

vizsgálatát, a káros hálózati (feszültség letörések, hullámalak torzulások, amplitúdó változások, flicker stb.) visszahatások feltárását, a káros hatásokat okozó fogyasztók felderítését, a mechatronikai termékek gyártását és a gyártmányok minőségét támogató védekezési módszerek kutatását és kidolgozását rendszeresíteni szükséges.

7. Összefoglalás, tézisek

Az értekezésem első része irodalmi áttekintés, ahol a villamos energia minőségét jellemző mutatókat, a villamos energia minőségével és a fogyasztók kölcsönhatásával, valamint a villamosenergia-minőséggel kapcsolatos, az informatikai (elektronikai) berendezések szempontjából fontos szakirodalom kritikai elemzésével foglalkoztam.

A szakirodalom megállapítja, hogy az információtechnológiának (IT) a műszaki, gazdasági, társadalmi élet területén rendkívül nagy jelentősége van. Azt is megállapította, hogy jól felépített rendszerek - amilyen például a CIM is - működésének alapvető feltétele, hogy a működéshez szükséges szolgáltatott villamos energia megfelelő minőségben rendelkezésre álljon.

A szakirodalom rendkívül széles körben foglalkozik a villamos energia minőségével, ezek általános hatásaival. Az IEC szabványok egész sorozata foglalkozik a témával, de azt állapítottam meg, hogy a szabványokban nem elég precízek a definíciók, a mérési módszerek nem mindig egyértelműek és ennek következménye, hogy vannak a szabványok által nem teljesen szabályozott esetek, amikor az IT berendezések érzékenysége jelentkezhethet.

Ha figyelembe vesszük, az informatikai eszközök és szoftverek sokaságát, ennek világméretű elterjedését, ezek alkalmazását, azt, hogy e tudomány nélkül ma 'megállna' a világ, akkor különösen hiányzónak kell tekinteni az IT berendezések érzékenységeivel és a villamos hálózatokból érkező zavarhatások ilyen irányú vizsgálatával foglalkozó tudományos kutatásokat.

Az irodalom feldolgozása során arra a megállapításra jutottam, hogy a korszerű elektronikai rendszereket alkalmazó termelési folyamatok számára még a hatályos minőségű, a szabványos paramétereknek megfelelő villamosenergia-szolgáltatási színvonal sem kielégítő, mivel a szabvány határokra szolgáltatott villamos energia minősége az alkalmazott termelési folyamatokban komoly károkat okozhat.

Az értekezésem második részében, amely a tudományos munkám lényeges része, pontosan azokat a sajátos hálózati elégtelenségeket, ezek terjedését, hatását vizsgáltam meg, amelyek az IT berendezések üzemét veszélyeztethetik, és a közszolgálati villamosenergia rendszerrel összekapcsolt hálózatokon terjednek.

A végzett vizsgálatok egy részét laboratóriumi körülmények között (ME. Elektrotechnikai-Elektronikai Tanszéken) végeztem, másik részét - az elméleti és laboratóriumi megállapítások igazolását - az észak-magyarországi térség számos villamos állomásán illetve ipari üzemek állomásain végeztem.

A laboratóriumban elvégzett mérések eredményeit az ipari mérések (Eger ZF Hungária, Jászberény Elektrolux) eredményei teljes mértékben megerősítették, igazolták. Ezen a területen végzett kutatásaim, vizsgálataim alapján az alábbi új tudományos eredményekre jutottam. Az elért eredményeket négy tézisben fogalmaztam meg.

1. Tézis: *A rövididejű feszültség kimaradások (0-100 periódus ideig) hatásainak vizsgálatára egy elvileg is új számítógépes mérés technikai eljárást és a mérési eljárást működtető szoftvert fejlesztettem ki. A gyakorlatban is megvalósított új mérési módszerrel végzett tudományos kutatómunkám mérés eredményei és a rögzített diagramok alapján megállapítottam, hogy a*

gépek kiesése a feszültség kimaradás kezdetét követően, „ T_1 ” sec után kezdődik el. A feszültség kimaradás idejét növelve a „ T_2 ” sec érték elérésekor minden gép kiesik. A T_1 és a T_2 idő a vizsgált IT-berendezésekre jellemző értékek. Az új mérési módszer lehetővé teszi, hogy bármely IT-berendezés hálózat érzékenységét ellenőrizni lehessen.

2. Tézis: Megállapítottam, hogy ha a hálózati feszültség felharmonikus tartalma a $THD_U > 10\%$ érték 10 percnél hosszabb ideig fennáll, akkor az IT berendezések üzemében zavarok (adatvesztés, lemerevedés) jelentkeznek. Az MSZ EN50160 szabvány előírása szerint a THD_U értékének 95%-a, bármely egyhetes időszakban nem lehet 8%-nál nagyobb. A fennmaradó 5%-ra vonatkozóan (ami az egyhetes intervallumra kerekén 8 órát jelent) nincs előírás. A szabvány nem biztosítja, hogy a $THD_U > 10\%$ érték ne fordulhasson elő. Az MSZ EN50160 szabvány korszerűsítésekor ezt a megállapítást javasolom figyelembe venni.

3.tézis: Megállapítottam, hogy az IT berendezések kiesési ideje és a kieséshez tartozó maradékfeszültség értéke függ a feszültség csökkenés meredekségétől. Abban az esetben, ha a feszültség csökkenés V/sec-ban mért meredeksége nagyobb, mint 1000 akkor a kiesési idő kisebb, mint 0,3 sec és a maradékfeszültség értéke 25 %-alatt van. Amennyiben a feszültség csökkenés V/sec-ban mért meredeksége kisebb, mint 300 akkor a kiesési idő megközelítőleg 0,6 sec-ra nő és a maradékfeszültség értéke kb. 50%-ra emelkedik. Az átmenetekre és az egész folyamatra jellemző, hogy a feszültségletörés idején az IT berendezések maradék feszültséggel szembeni érzékenységére jellemző érték a

$$(0,9 - U_{m(v.e.)}) \times T_{kiesés} = \text{állandó}$$

Tehát az IT berendezés feszültségletörés hatására akkor esik ki, ha elérte a hiányzó feszültség-idő terület az adott IT berendezésre jellemző értéket.

4. Tézis: A tudományos kutatómunkám méréseredményei és a rögzített diagramok alapján megállapítottam, hogy a nagy teljesítményű lüktető üzemmódban dolgozó berendezések (pl. a villamos ívkemencék, villamos vasutak) által generált flicker hatások az elosztó hálózatokon megjelennek és összegeződnek. A mérési helyen az eredő flicker értéket az egyes fogyasztók által létrehozott flicker hatások értékeinek k -adik hatvány összegéből vont k -adik gyök értéke adja meg:

$$P_E = \sqrt[k]{P_{1f}^k + P_{2f}^k + \dots + P_{nf}^k}$$

(a P_{1f}, P_{2f}, P_{nf} a zavart okozó fogyasztók által generált flicker szintek)

Az elméleti számításokat több villamos állomáson végzett méréssel ellenőriztem és ezek egyező eredményeivel igazoltam. Számos méréssel, egymástól távoli helyeken rögzítettem a térségben található két nagyteljesítményű flicker forrás, a DAM ívkemence, illetve az OAM ívkemence által okozott flicker hatásokat, valamint a két kemence és az egyéb források együttes eredő hatását. A sok helyen mért P_{IE} átlagos eredő értékeket a számított értékekkel összehasonlítottam és megállapítottam, hogy a mért és a számított értékek valamennyi mérés esetén a $k=2$ hatvány érték közelében egyeznek meg. Megnyugtató módon igazoltam, hogy flicker összegezés meghatározásánál a k értéke:

$$k=2$$

A tudományos munkám eredményei alapján bármely IT berendezést megbízhatóan lehet ellenőrizni. Megállapítható, hogy hogyan viselkedik a rövid ideig tartó feszültség kimaradásokra és egyéb zavarhatásokra. Az így kapott eredményeket össze lehet hasonlítani az áramszolgáltatónál alkalmazott automatikák működési idejével. Az ilyen módszerek lehetővé teszik olyan intézkedéseket (szabványok) kialakítását, amelyek a

működési rendszerébe beépítve jelentősen lecsökkenthetik az IT berendezések zavarát okozó hálózati hatásokat.

A hálózaton üzemelő fogyasztók összetétele, a fogyasztók alkalmazott technológiája az idők folyamán változik. Hasonlóan változik a nagy kiterjedésű hálózatok terhelési formája és jellege. Egy mérési sorozatból levont következtetések hosszútávra nem lehetnek mértékadóak.

Különösen fontos terület a villogás (az ún. flicker) hatásának teljes körű vizsgálata. Az emberi egészség, a képernyő előtt ülők egészségének védelme, az okozott idegi alapú hatások elkerülésének fontossága ismert. Kevésbé ismertek az elektronikai berendezések biztonságos üzemét veszélyeztető, a flicker összetevők által generált zavarok hatásai. Mindezért fontos feladat az összefüggő, nagy hálózati rendszereken szolgáltatott villamos energia minőségi mutatóinak folyamatos vizsgálata, a káros hálózati (feszültség letörések, hullámalak torzulások, amplitúdó változások, flicker stb.) visszahatások feltárása. A jövőben még hatékonyabban kell foglalkozni a káros hatásokat okozó fogyasztók felderítésével és az elektronikával támogatott termelés biztonságát és a gyártmányok minőségét támogató védekezési módszerek kutatásával.

8. Irodalom jegyzék

- [1.1] MSZ EN 50160; A közcélú elosztóhálózatokon szolgáltatott villamos feszültség jellemzői.
- [1.2] Dán András :A villamosenergia-minőség növelt rézkeresztmetszettel. (Magyar Részpiaci Központ 1999. Összefoglaló tanulmány)
- [1.3] MSZ 1 Szabványos villamos feszültségek.
- [1.4] MSZ EN 61000-3-1 Elektromágneses összeférhetőség (EMC). 3.rész. Határértékek, 1. főfejezet: Összefoglalás.
- [1.5] MSZ 447 Kisfeszültségű, közcélú elosztóhálózatra csatlakozás.
- [1.6] MSZ EN 61000-4-7 Elektromágneses összeférhetőség (EMC). 4.rész.Vizsgálati és mérési módszerek, 7. főfejezet: Általános előírások a villamosenergia-rendszerek és a hozzájuk kapcsolódó berendezések harmonikusainak és közbenső harmonikusainak mérései és mérőműszerei számára. 11.főfejezet:A feszültségletörésekkel, a rövid idejű feszültség kimaradásokkal és a feszültségváltozásokkal szembeni zavartűrési vizsgálata.
- [1.7] MSZ EN 61000-3-3 Elektromágneses összeférhetőség (EMC). 3.rész. Határértékek, 3. főfejezet: A feszültségingadozások és a villogás(flicker) határértékei kisfeszültségű táphálózatokon a legfeljebb 16 A névleges áramerősségű berendezések esetén.
- [1.8] Geszti P. Ottó: Villamosenergia rendszerek.(Tankönyv)
- [1.9] IEC 555-3 Háztartási és hasonló jellegű villamos készülékek által keltett hálózati zavarok. 3. rész: Feszültségingadozások.
- [1.10] IEC 868 A flicker kiértékelése
- [1.11] IEEE446 Recommended Practice for Emergency and Standby Power Systems for Industrial and Commercial Applications
- [2.1.1] Y. Baghzouz, R. F. Burch, A. Capasso, A. Cavallini, A. E. Emanuel, M. Halpin, R. Langella, G. Montanari, K. J. Olejniczak, P. Ribeiro, S. Rios-Marcuello, F. Ruggiero, R. Thallam, A. Testa, and P. Verde: Time-Varying Harmonics: Part II—Harmonic Summation and Propagation (IEEE transactions on power systems, vol. 17, no. 1, january 2002)
- [2.1.2] J. A. Orr, A. E. Emanuel, and K. W. Oberg, "Current harmonics generated by a cluster of electric vehicle battery chargers," IEEE Trans. Power App. Syst., vol. PAS-101, no. 3, pp. 691–700, 1982.
- [2.1.3] P. T. Staats, W. M. Grady, A. Arapostathis, and R. S. Thallam, "A statistical method for predicting the net harmonic currents generated by a concentration of electric vehicle battery chargers," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 13, pp. 1530–1535, Oct. 1997.
- [2.1.4] A. Mansour, W. M. Grady, P. T. Staats, R. S. Thallam, M. T. Doyle, and M. J. Samotyj, "Predicting the net harmonic currents produced by a large number of distributed single-phase computer loads," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 10, no. 4, pp. 2001–2006, 1995.
- [2.1.5] F. A. Gorge, W. M. Grady, P. Fauquembergue, and K. Ahmed, "Statistical summation of the harmonic currents produced by a large number of single-phase variable speed air conditioners," Proc. IEEE 8th Int. Conf. Harmonics and Quality of Power, pp. 1194–1199, Oct. 14–16, 1998.

- [2.1.6] IEEE Task Force, "The effects of power system harmonics on power system equipment and loads," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 8, pp. 672–680, Apr. 1993.
- [2.1.7] A. Emanuel, "Estimating the effects of harmonic voltage fluctuations on the temperature rise of squirrel-cage motors," IEEE Trans. Energy Conv., vol. 6, no. 1, pp. 162–169, 1991.
- [2.1.8] IEEE 519-1992 Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems
- [2.1.9] CIGRE WG 36-05, "Assessing voltage quality with relation to harmonics, flicker and unbalance," Paris, France, CIGRE Rep. 36-203, 34th Session, 1992.
- [2.1.10] W. Xu, Y. Mansour, C. Siggers, and M. B. Hughes, "Developing utility harmonic regulations based on IEEE Std. 519—B.C. Hydro's approach," IEEE Trans. Power Delivery, vol. 10, pp. 137–143, July 1995.
- [2.1.11] J. XU, Member, IEEE Rao V. Annamraju v. Rajagopalan, Fellow, IEEE
Hydro-Quebec-NSERC Industrial Research Chair CP 500, Trois-Rivieres, Quebec, G9A 5H7, Canada
Universitd du Qdbec h Trois-Rivikres, Propagation Characteristics of Sag and Harmonics in Medium
Voltage Distribution Systems (0-7803-5935-6/00/\$10.00 (C) 2000 IEEE)
- [2.1.12] Rao V. Annamraju, "Propagation Characteristics of Power Quality disturbances", Report No. 220D874, Canadian Electrical Association, December 1997.
- [2.1.13] IEEE Task Force Report, "The Modeling and Simulation of the Propagation of Hannonics in Electric Power Networks - Part I: Basic Ideals, Models and Simulation Techniques. Part 11: Sample Systems and Examples", IEEE PES Summer Meeting, Vancouver 1993.
- [2.1.14] C. Hartziadoniu, "Time domain Methods for the Calculation of Harmonic Propagation and Distortion", Tutorial on Harmonics Modeling and Simulation, S E E Power Engineering Society Tutorial Notes, IEEE Catalog
- [2.1.15] "CYMHARMO - User's Guide & Reference Manual", Cyme Intemational Inc., St. Bruno, Quebec, 1992.
- [2.1.16] Dán András: MTA doktori értekezés. Az erősáramú hálózatok harmonikus és villogás zavarokat kibocsátó forrásainak azonosítása és a zavarok mértékének számítása
- [2.2.1] Tóth Tibor: Termelési rendszerek és folyamatok elmélete (Tankönyv)
- [2.2.2] A.-W.Scheer: CIM-Strategie als Teil der Unternehmensstrategie.
(Springer-Verlag·Heidelberg·New York. Verlag TÜV Rheinland 1990)
- [2.2.3] P.J.Kühn/G.Pritschow: Kommunikationstechnik für den rechnerintegrierte Fabrikbetrieb.(Springer-Verlag Verlag TÜV Rheinland 1991)
- [2.2.4] Váradiné. Szarka Angéla: Leállási idő mérésére alkalmas tesztberendezés vezérlésének fejlesztése. „Innováció és Tudás" Konferencia 2005, Miskolc. pp 101-106.
- [2.3.1] Sánta Károly: Az áramszolgáltató minőségbiztosítási programja, különös tekintettel a szolgáltatás minőségi paramétereire (ME konferencia Miskolc, 2004. október 13.)
- [2.3.2] Verband Schweizerischer Elektrizitätswerke Elektrizitätswerke Österreichs Wien, Zürich, Mai 1997: Empfhelung für die Beurteilung von Netzrückwirkungen.
- [2.3.3] Szarka Tivadar, Kovács Ernő, Radács László, Váradiné Szarka Angela, Herbst Károly, Gyurkó István: Villamos hálózati zavarok vizsgálata, különös tekintettel a mechatronikai termékek gyártását veszélyeztető zavarhatásokra.(Szakmai jelentések I-V 2000-2004)
- [2.3.4] Váradiné Szarka Angéla: Modern mérőberendezések alkalmazása mechatronikai rendszerekben. OGÉT 2003. Kolozsvár. 2003. pp 248-251.

9. Mellékletek

9.1.sz. melléklet. A tranziensek hatása az Elektrolux villamosenergia ellátásában

'02 05/31 16:14 FAX 36 37 416 201

ENERGIA SZOLG.

01

2002.05.24 12:24:45

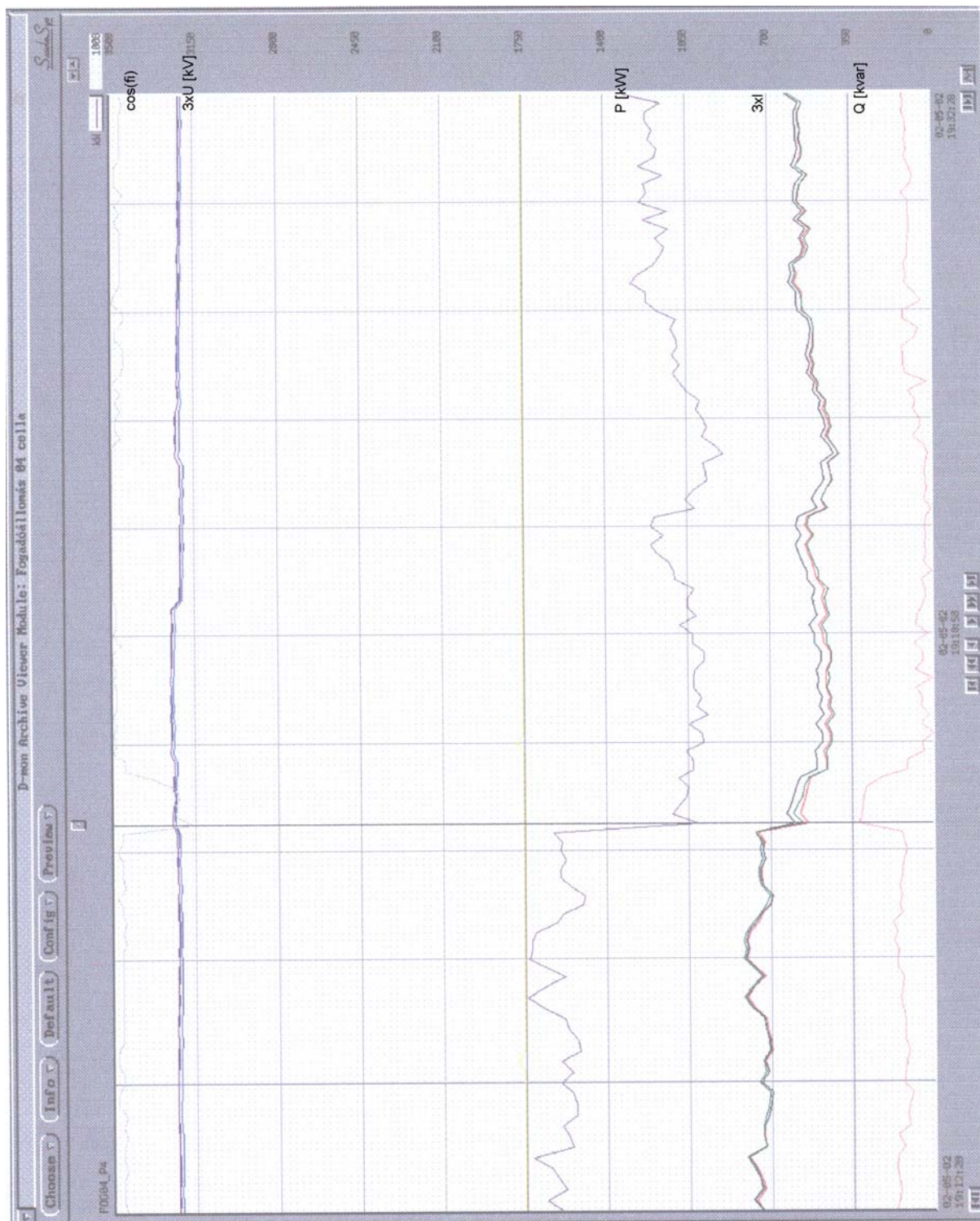
220523áramszűn
2002.05.24.

Tervezett ÉMÁSZ/MISKOLCEGYETEM mérés hatásai a gyári villamos ellátásra:

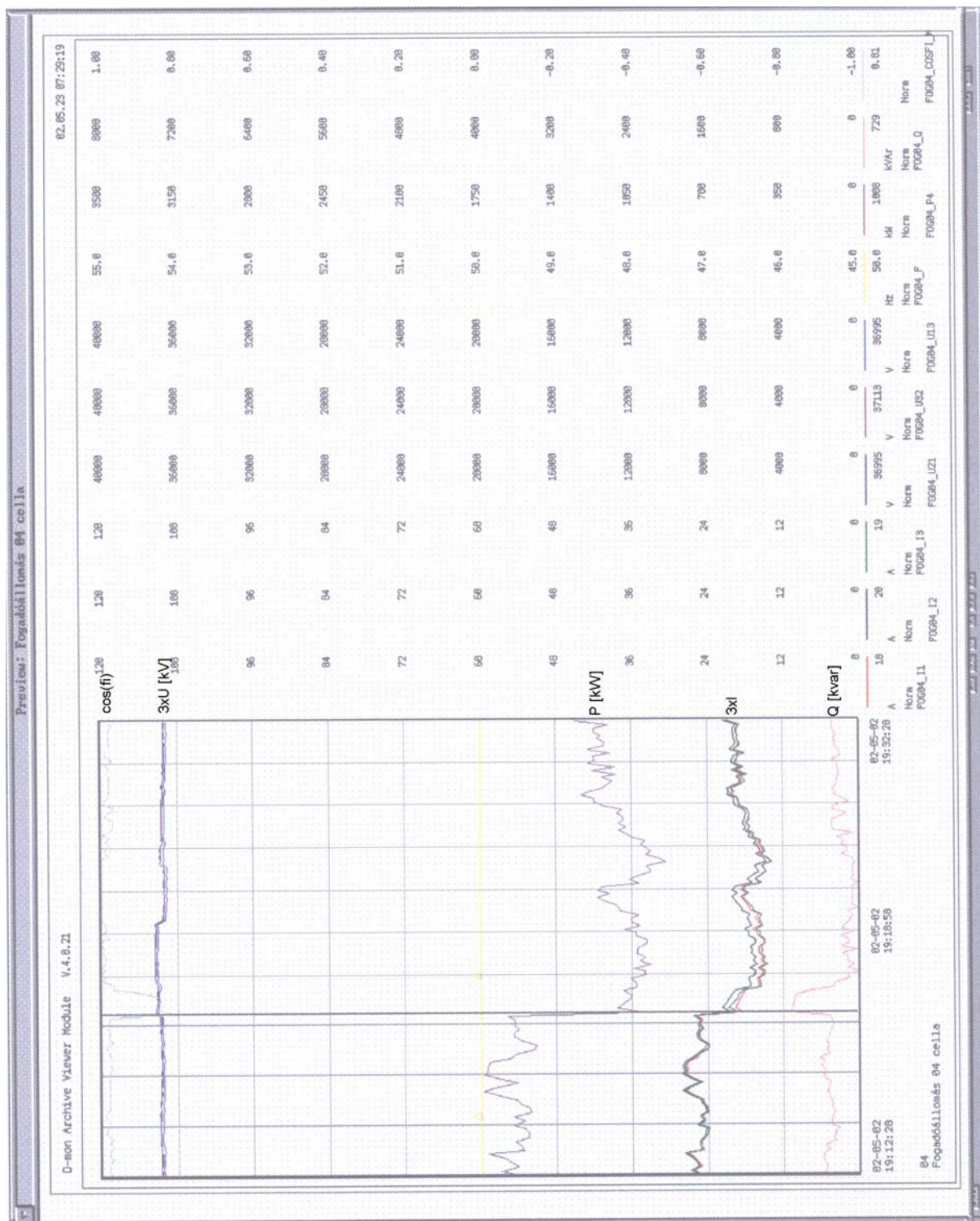
Térület	Egység	Hibajelenség	Kár nagysága	Beavatkozás	Észlelő
Telefon köz.		nem volt semmi gond			Czakó Viktor
IT terület	Számítógép terem Hálózati HUB (Nemcs)	Rövid kábel Kiesett	Nem jelentős Sérülés	kázzal újraindult	Szabó László Szabó László
Kazánház	Dzsemelő kazán Műszertelesztő	Kiesett Kiesett	Nem jelentős Nem jelentős	kázzal újraindult kázzal újraindult	Kriegel Kriegel
Trafóházak	Trafóházi kapcsolók/megszakítók A trafóház/ II. fázis GA 1600	Kiesett	Nem volt	kázzal újraindult	Szabó Sándor Szabó Sándor
02. épület	II. fázis, kapcsoló az A trafóban	Kiesett	Nem jelentős	kázzal újraindult	Dósa László
03. épület	Extruder PC Daráló XEROX Nyomda Alvételgyártás Aldaggyártó	Kiesett jelzés Kiesett jelzés Rövid kábel a nyomdán Nem volt panasz Kiesett	Előzetesen jelölve Előzetesen jelölve nincs nincs nincs	kázzal újraindult kázzal újraindult kázzal újraindult kázzal újraindult	Bátkányi Donát Bátkányi Donát Dobák Mária Varga Gábor Juhász József
Nyomda	PC /gépek	Jelölve	Nem jelentős	kázzal újraindult	Purda József
04. épület	Bor szűrelőkörök Elpárologtató gyártás Festő	nem jelentkező hiba nem jelentkező hiba nem jelentkező hiba	nincs nincs nincs		Farkas György Dobák János Grosz Sándor
05. épület Daraboló	SACMA daraboló	Kiesett	2-3 sejt	kázzal újraindult	Csiki Pál
108.épület Ládagyártó	Működési terület R+D PC /UPS Rob. vesz. jelek-ventillátor Technológiai elszívó ventilátorok Poládaggyártó Hib. bejavítási hiba	nem jelentkező hiba rendszerben bejelezett légtérny bejelezett 40. perc kiesés előfordult	nincs nincs nincs nincs anyag kiesés	UPS UPS kázzal újraindult aut. újraindult kázzal újraindult	Rehenczy Viktor Fehér Tamás Fehér Tamás Fehér Tamás Fehér Tamás
110.üzem Hsz.üzem	Hibaelőző ajtó szellőztető/hűtővz. LLIG ajtó hűtővz. Aldaggyártó Hibaelőző palást szellőztető/hűtővz. RIGQ palást hűtővz.	kiesett kiesett kiesett kiesett kiesett	10-15 sejt 10-15 sejt 2 pár sejt 15 perc kiesés 15 perc kiesés	kázzal újraindult kázzal újraindult kázzal újraindult kázzal újraindult kázzal újraindult	Dobák János Dobák János Juhász József Varga József Varga József
07. épület	Porszívó üzem	Nem észlelték	nincs		Székely László
111.épület	Logistika	Észlelték	nem jelentős	UPS hibás is volt	Tóth László
23.6.épület	Hőtech labor	Észlelték	nem jelentős	UPS hibás is volt	Olah János
77.épület	DOMETIC	Észlelték	nem jelentős	kázzal újraindult	Tóth Tibor
KÖD	Felügyelet	Semmi gond/Kivéve a 105. gázvezeték			Márton Balázs

220523áramszűn.123

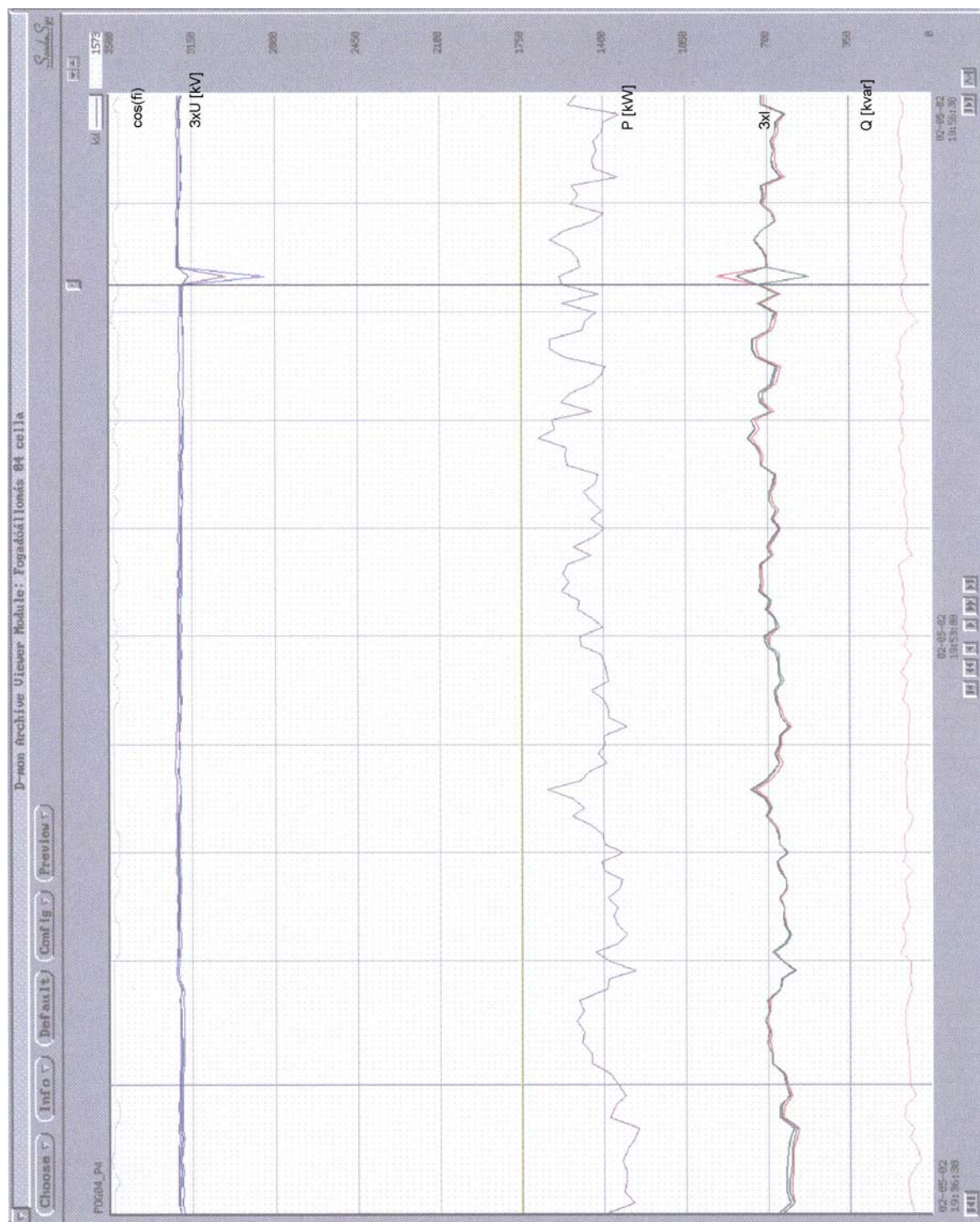
9.2.sz. melléklet. A ZF. Hungária Kft. számítógépes mérőállomása által a vizsgált időszakban rögzítette üzemi események diagramjai



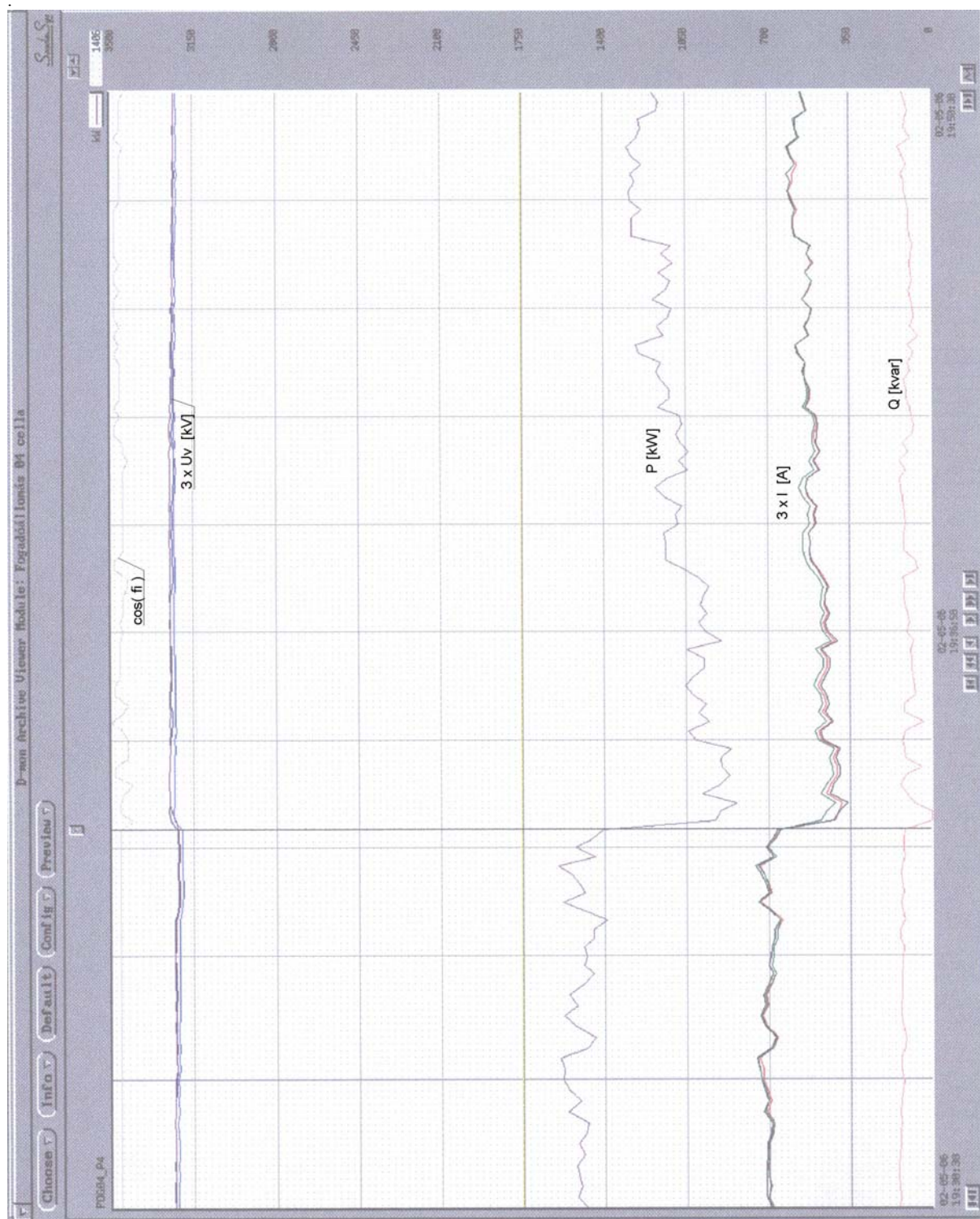
2.sz. melléklet 1.sz.ábra



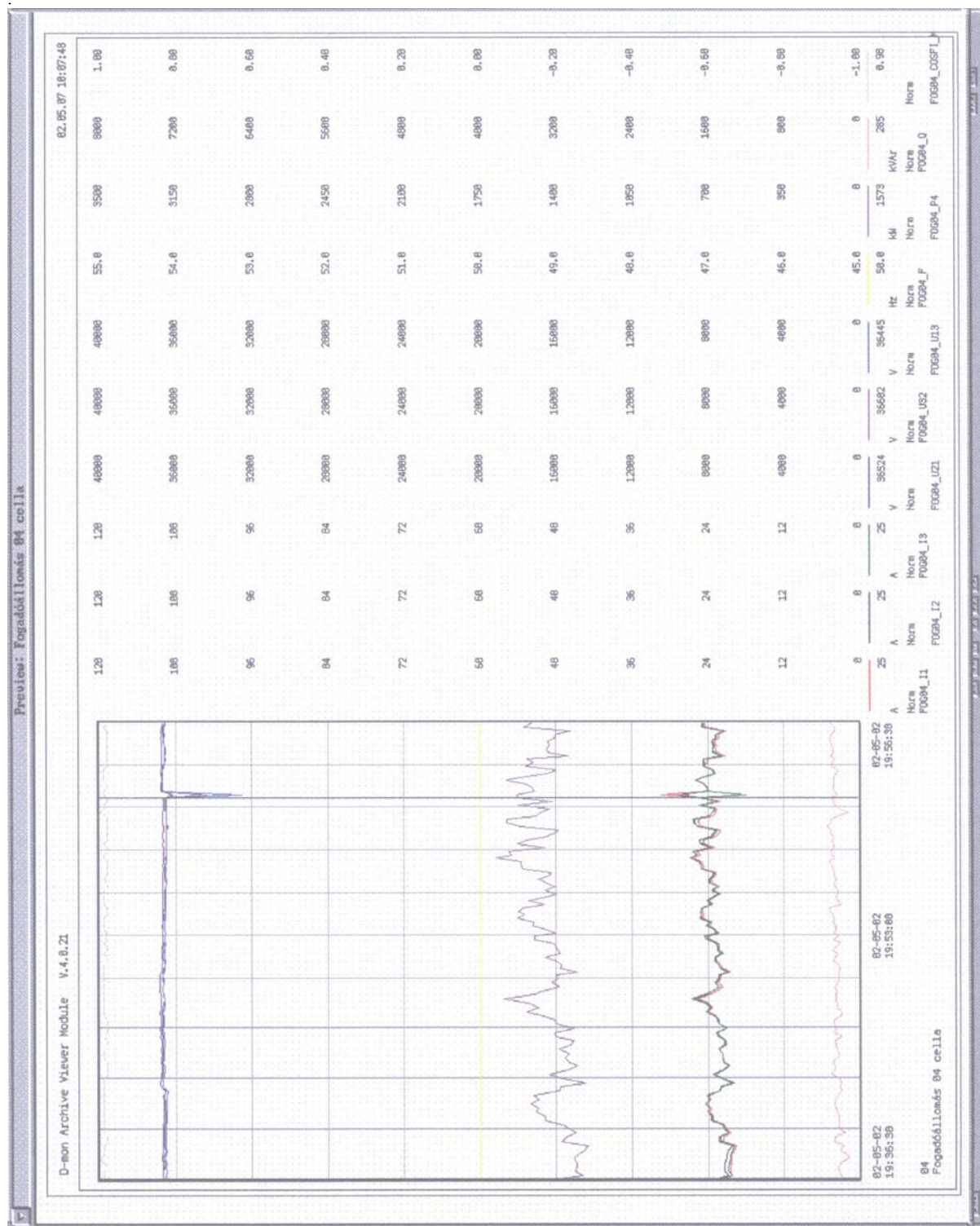
2.sz. melléklet 2.sz. ábra



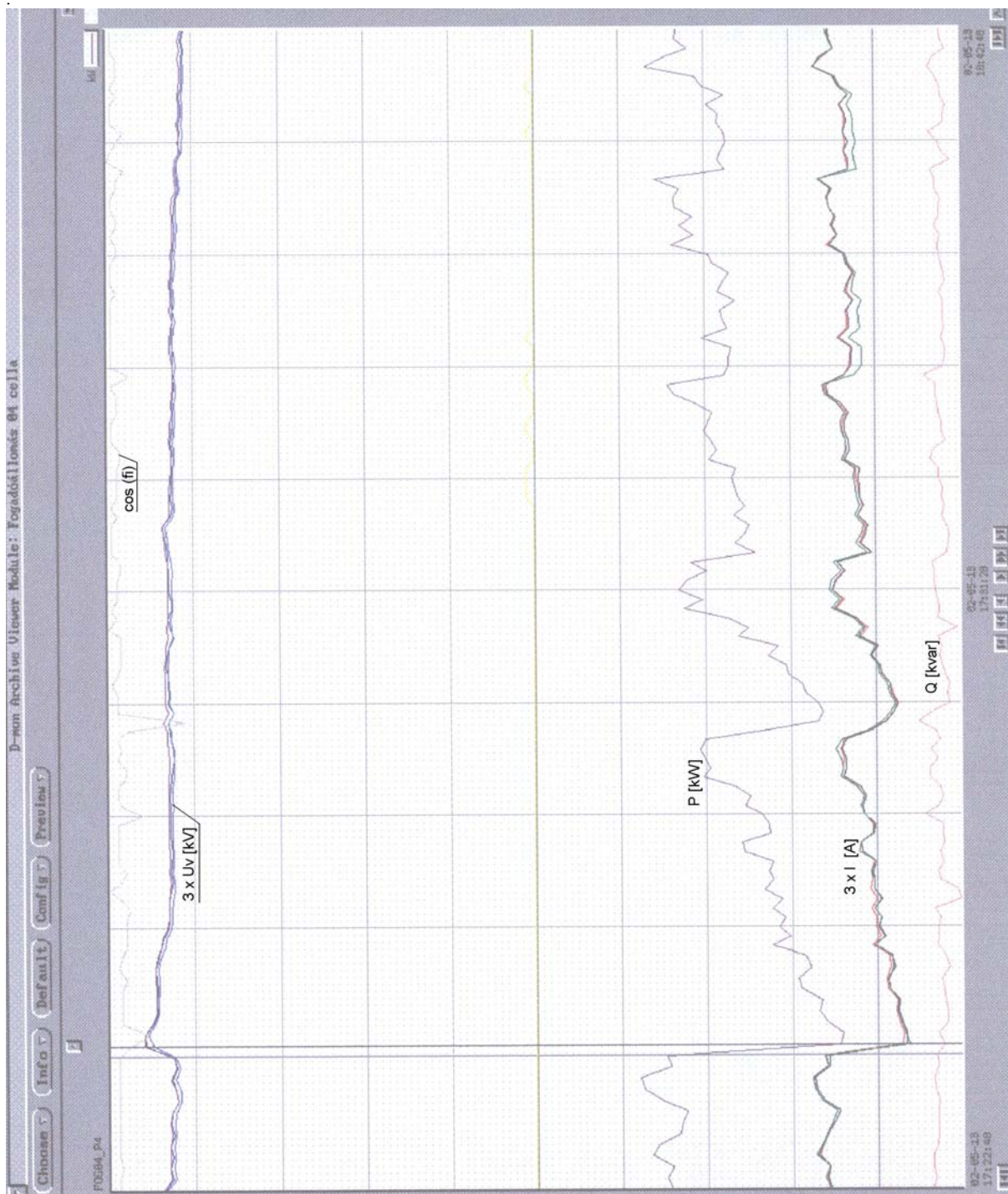
2.sz. melléklet 3.sz. ábra



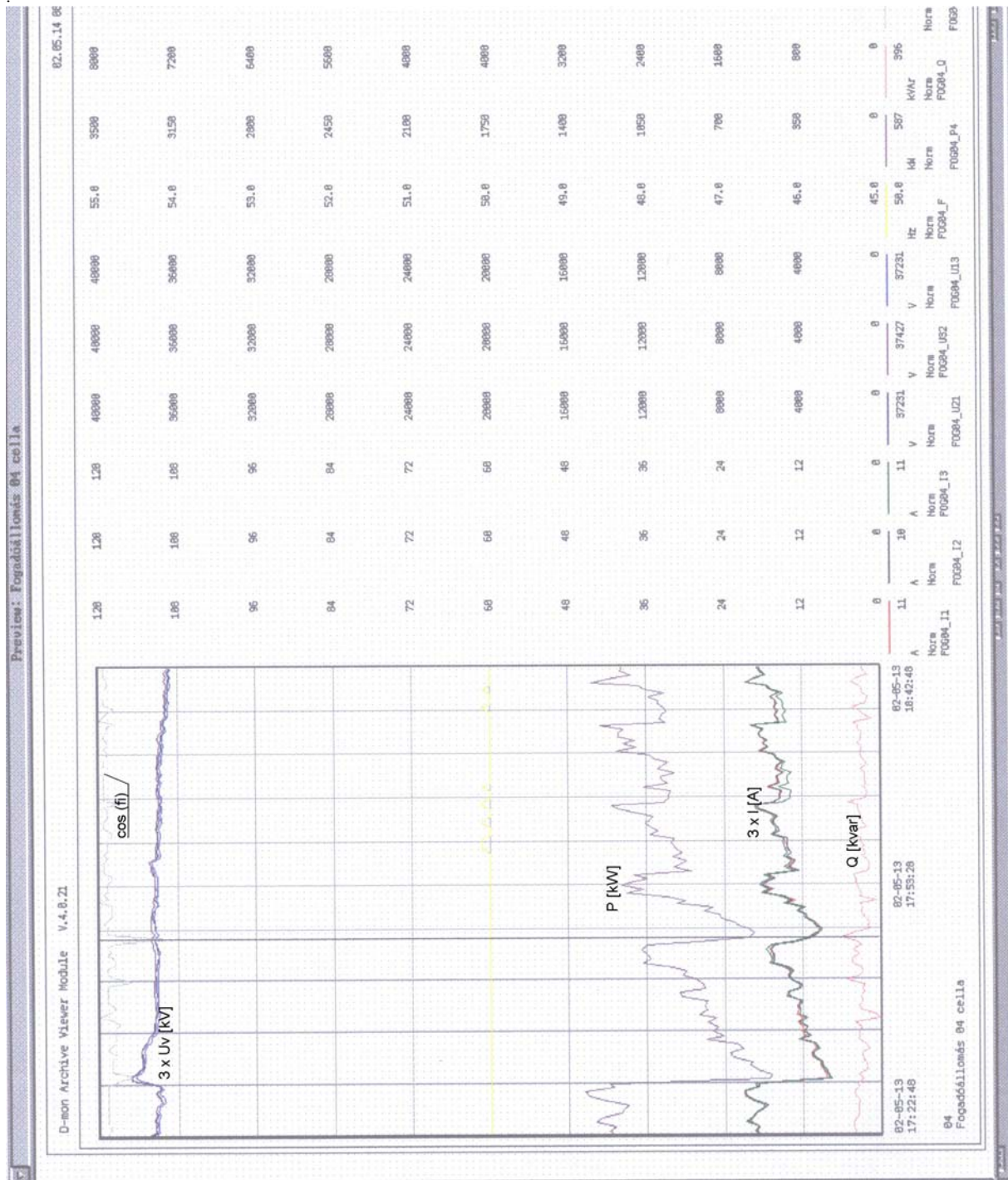
2.sz. melléklet 4.sz. ábra



2.sz. melléklet 5.sz. ábra



2.sz. melléklet 6.sz. ábra



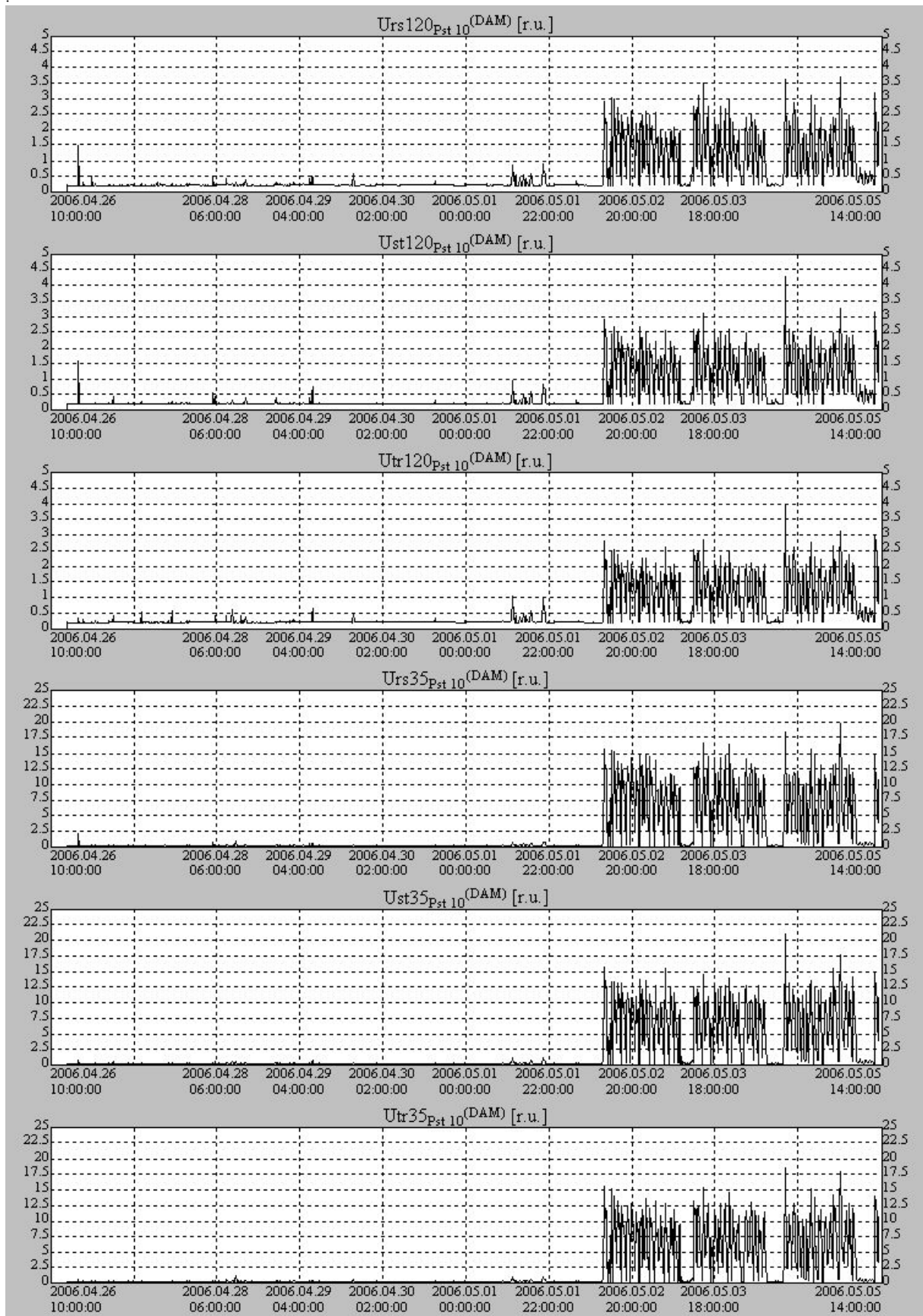
2.sz. melléklet 7.sz. ábra

9.3 Rövid- és hosszúidejű flicker idődiagramok, regisztrátumok, a flicker összegezés számításának alapadatai

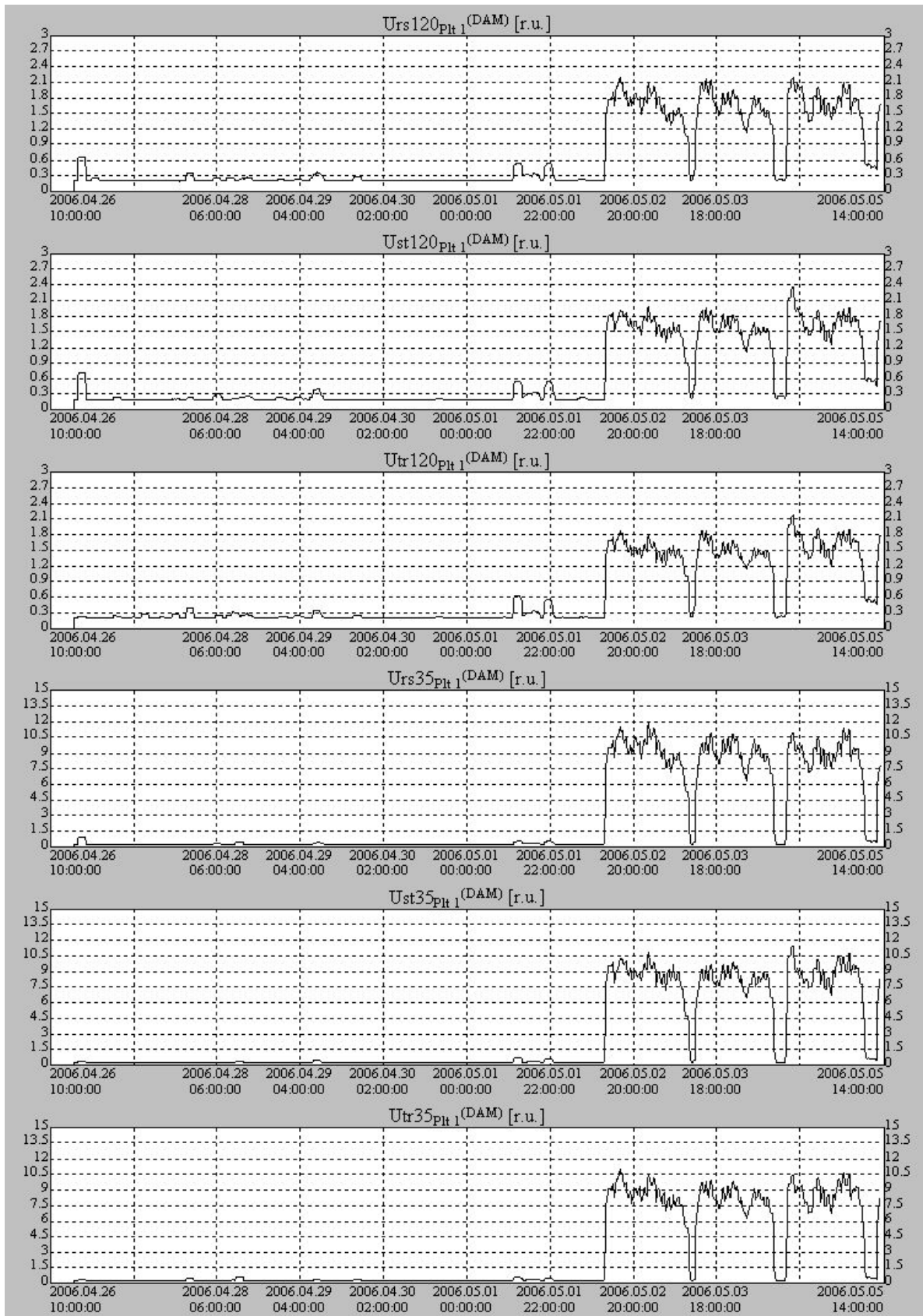
A mellékletekben az alábbi ábrák tekinthetők meg:

- 1. ... 4. ábrák: A rövid- és hosszúidejű flicker alakulása a DAM 120 kV-os rendszeren 2006. április 26 – május 5. és május 12 – május 19.
- 5. ... 8. ábrák: A rövid- és hosszúidejű flicker alakulása a Felsőzsolca 400/120 kV-os állomás 120 kV-os rendszeren 2006. április 26 – május 5. és május 12 – május 19.
- 9. ... 14. ábrák: A rövid- és hosszúidejű flicker alakulása a Sajóivánka állomás 120 kV-os rendszeren 2006. április 26 – május 5. és május 12 – május 19.

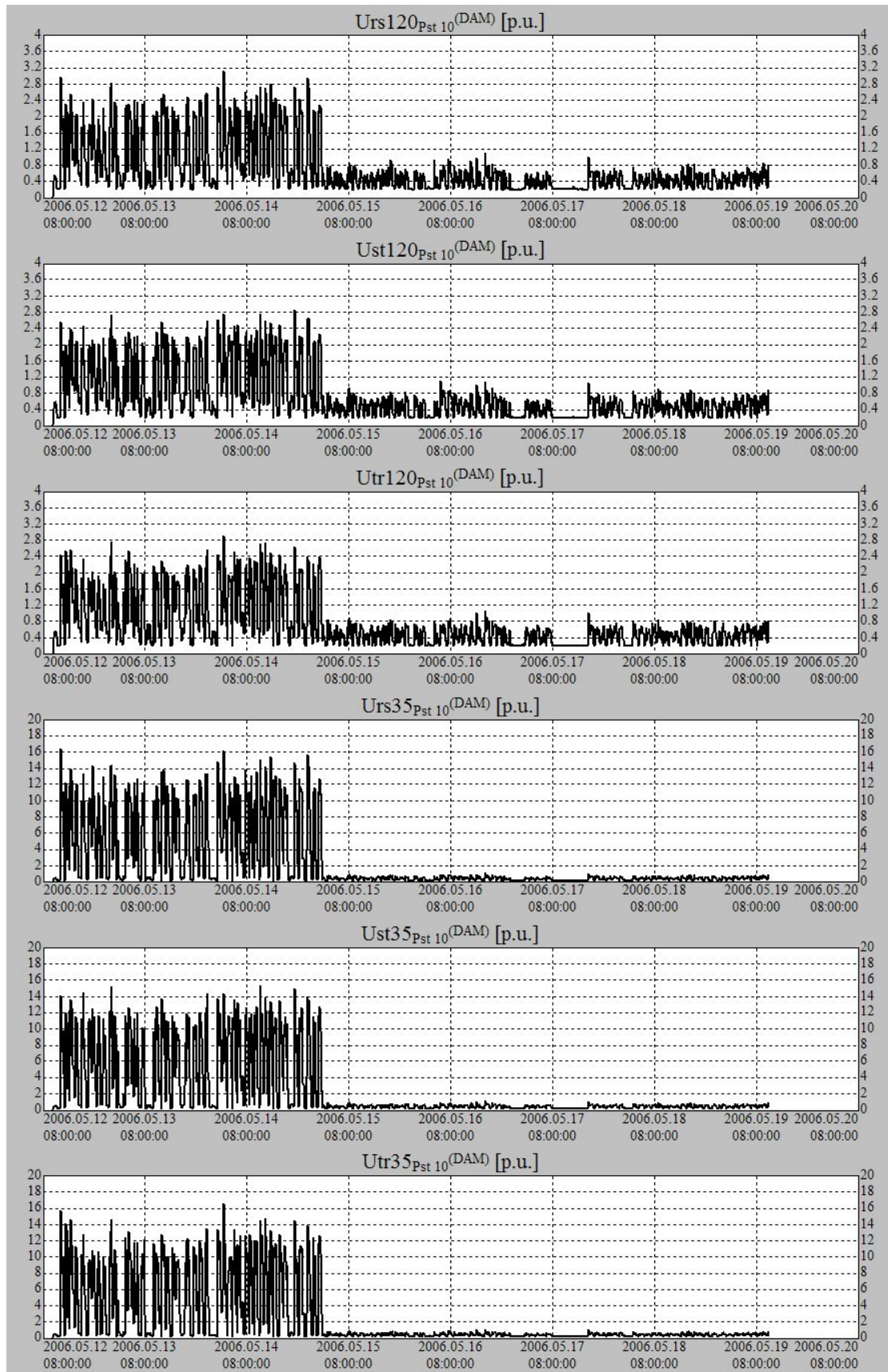
- 1sz. táblázat A felsőzsolcai alállomás 120 kV-os gyűjtősínen a flicker összegezés számításának alapadatai
- 2sz. táblázat Sajóivánka 400/120 kV-os alállomás 120 kV-os gyűjtősínen a flicker összegezés számításának alapadatai
- 3sz. táblázat A DAM alállomás 120 kV-os gyűjtősínen a flicker összegezés számításának alapadatai.



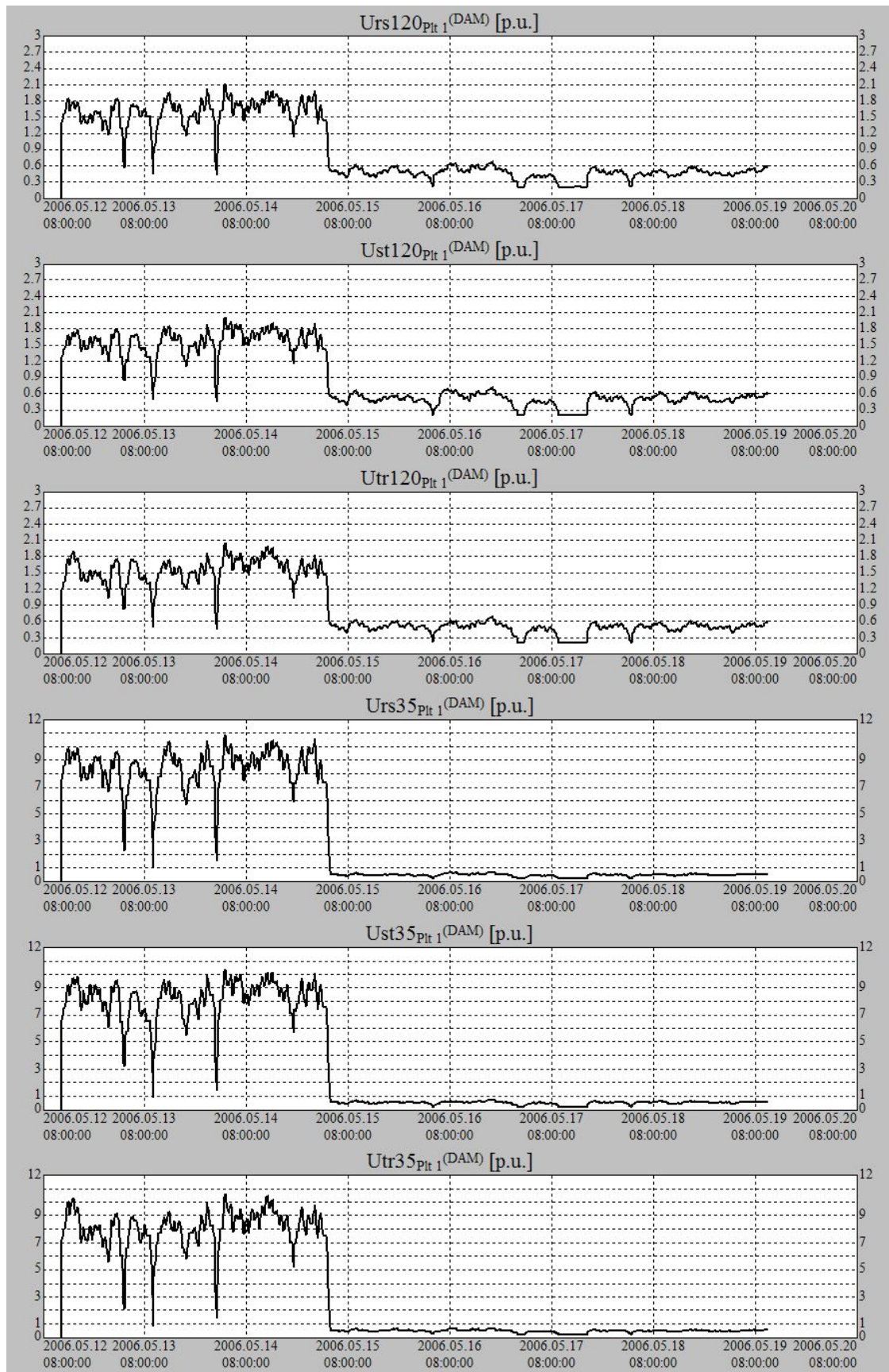
3. sz. melléklet 1. sz. ábra Rövid idejű flicker alakulása a DAM 120 kV és 35 kV rendszeren, 2006. április 26 – május 5.



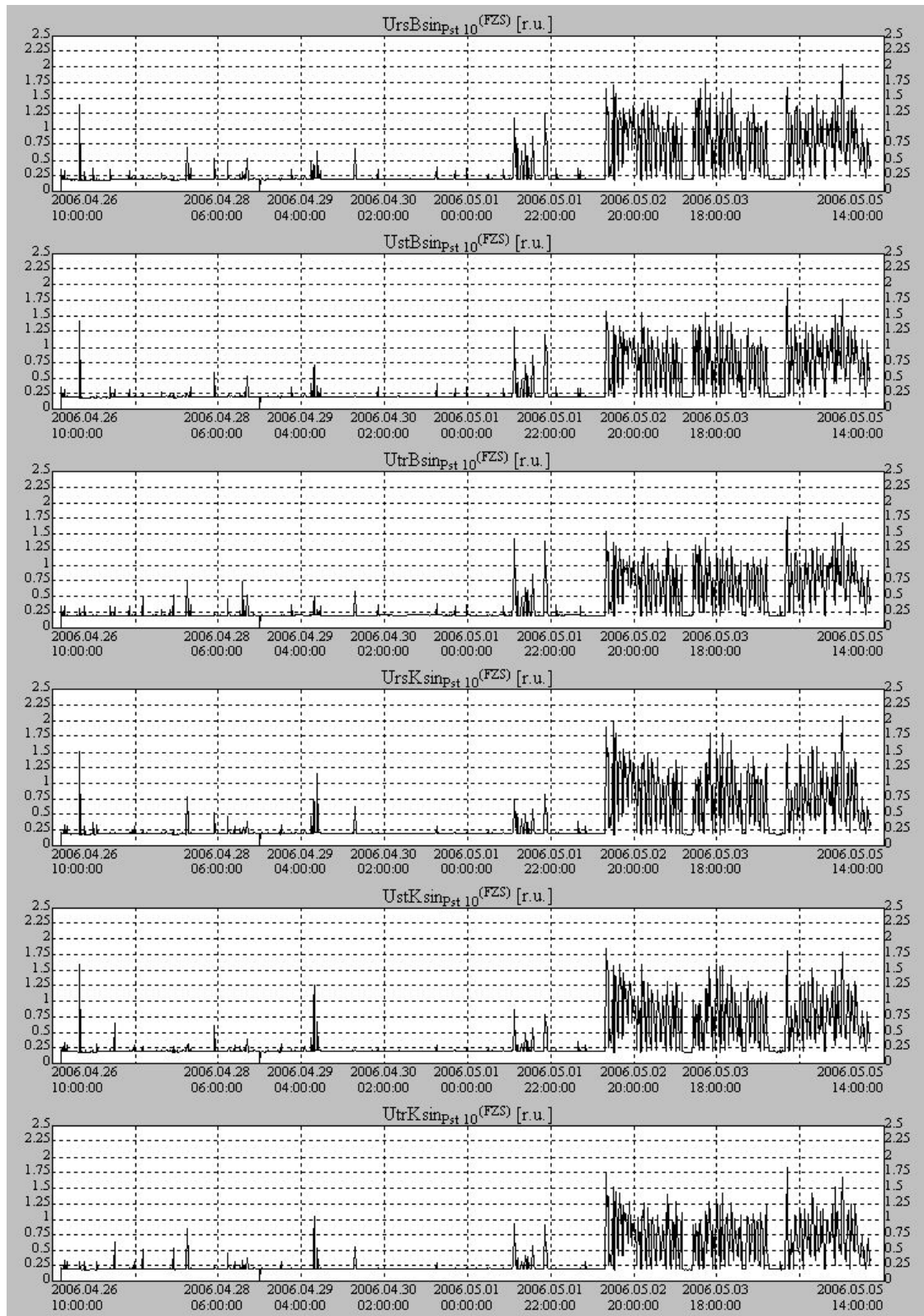
3. sz. melléklet 2. sz. ábra Hosszú idejű flicker alakulása a DAM 120 kV és 35 kV rendszeren, 2006. április 26 – május 5.



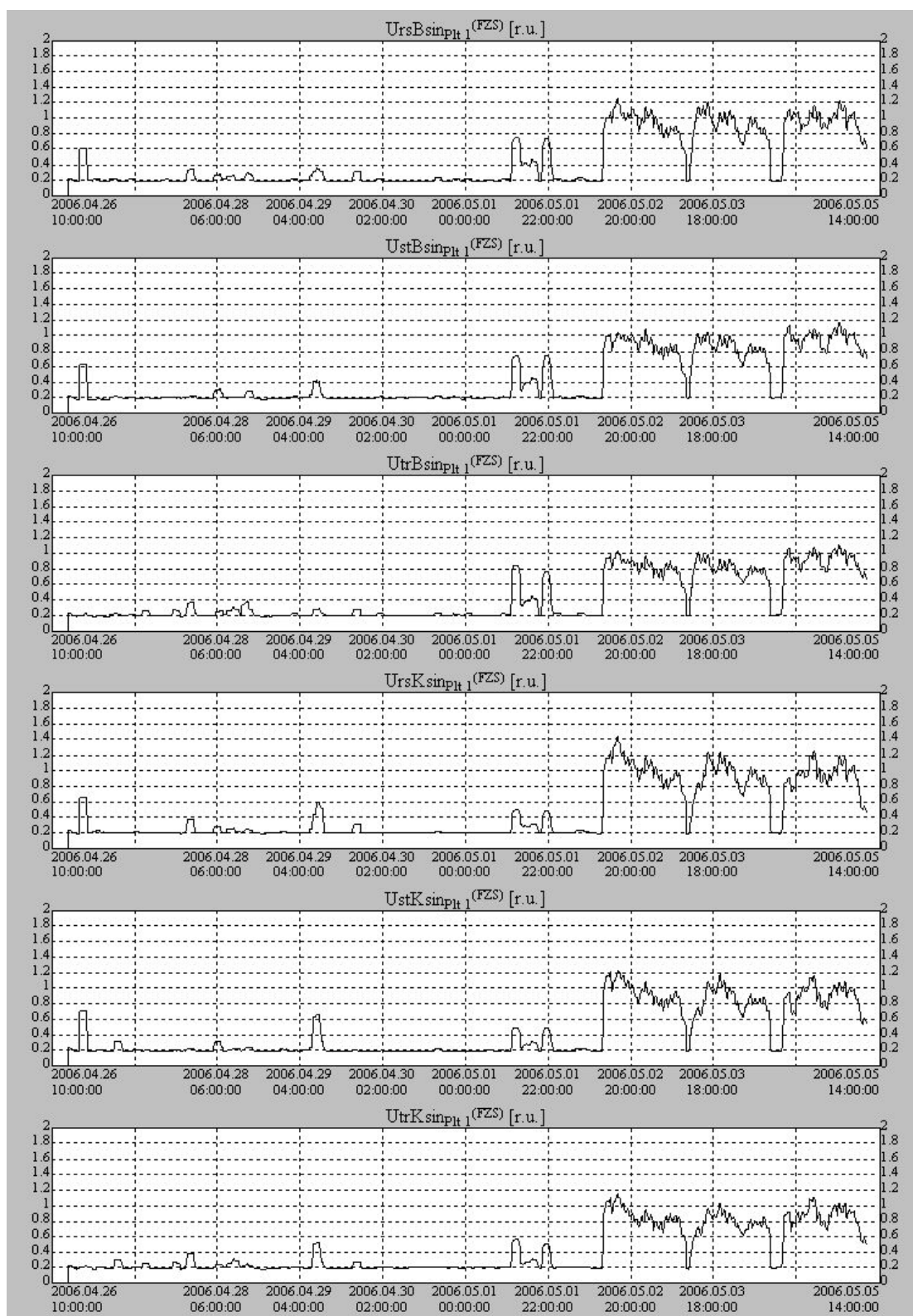
3.sz. melléklet 3. sz. ábra Rövid idejű flicker alakulása a DAM 120 kV és 35 kV rendszeren, 2006. május 12 – május 19.



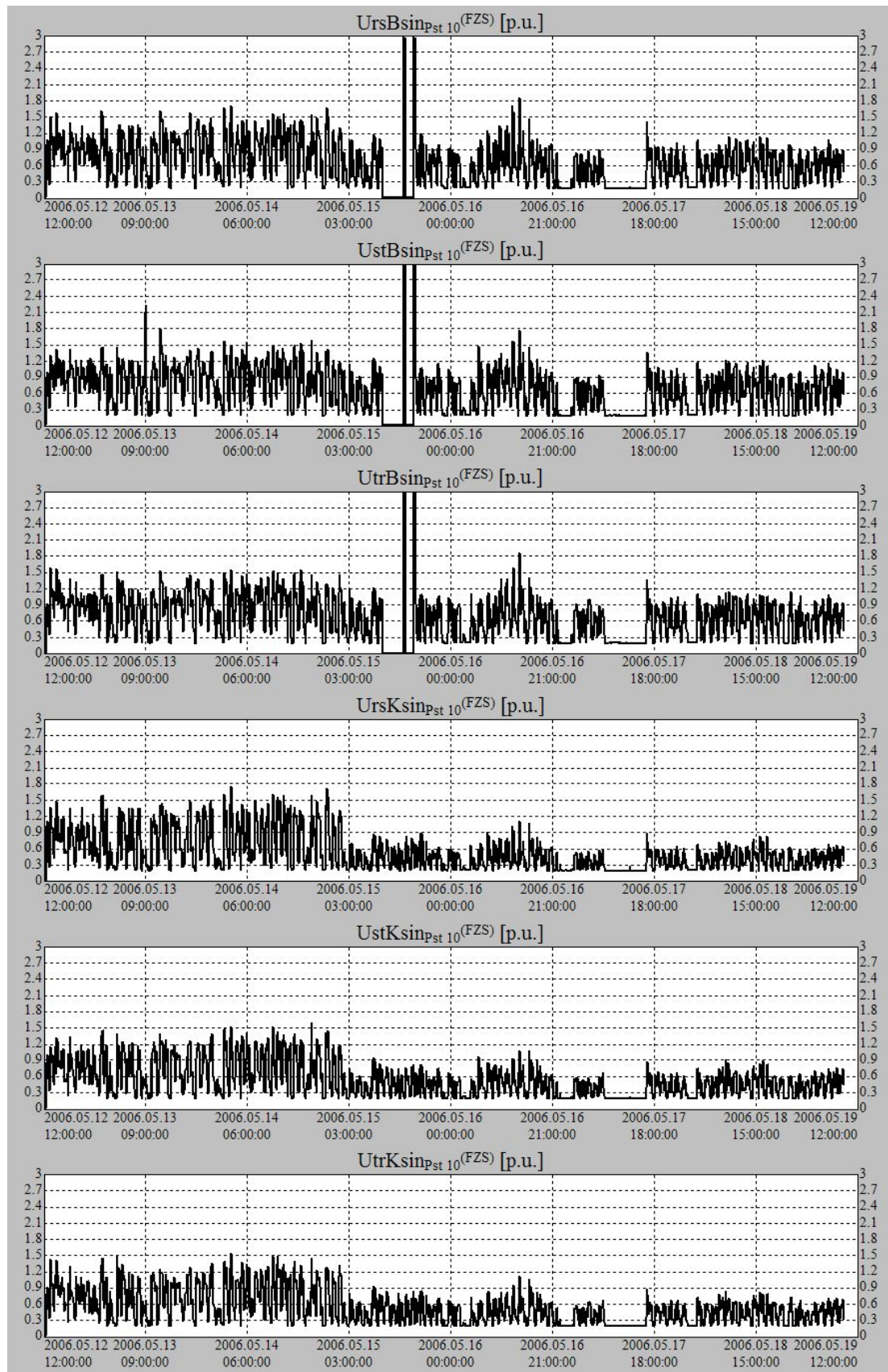
3. sz. melléklet 4. sz. ábra Hosszú idejű flicker alakulása a DAM 120 kV és 35 kV rendszeren, 2006. május 12 – május 19.



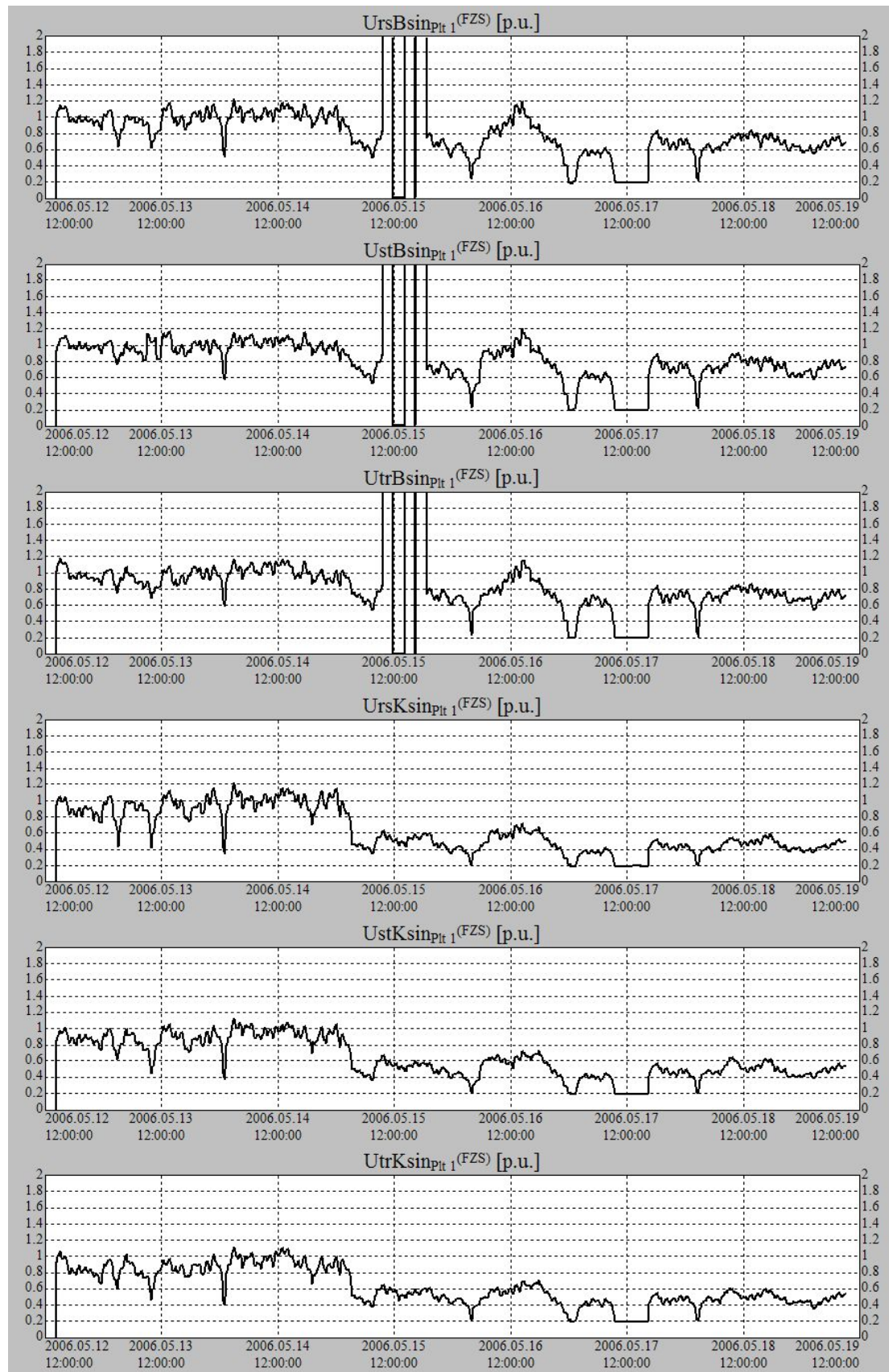
3. sz. melléklet 5. sz. ábra Rövid idejű flicker alakulása a FZsolca 120 kV 'B' és 'K' síneken, 2006. április 26 – május 5.



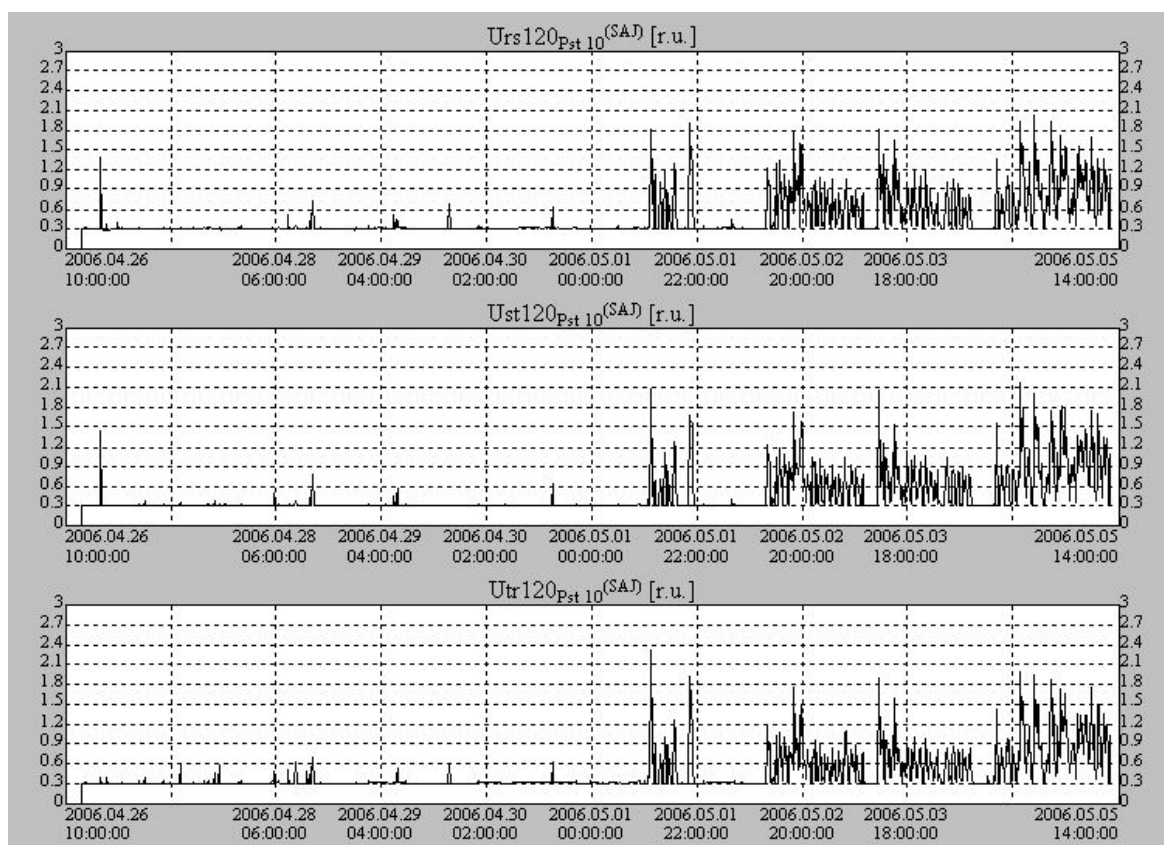
3. sz. melléklet 6. sz. ábra Hosszú idejű flicker alakulása a FZsolca 120 kV 'B' és 'K' síneken, 2006. április 26 – május 5.



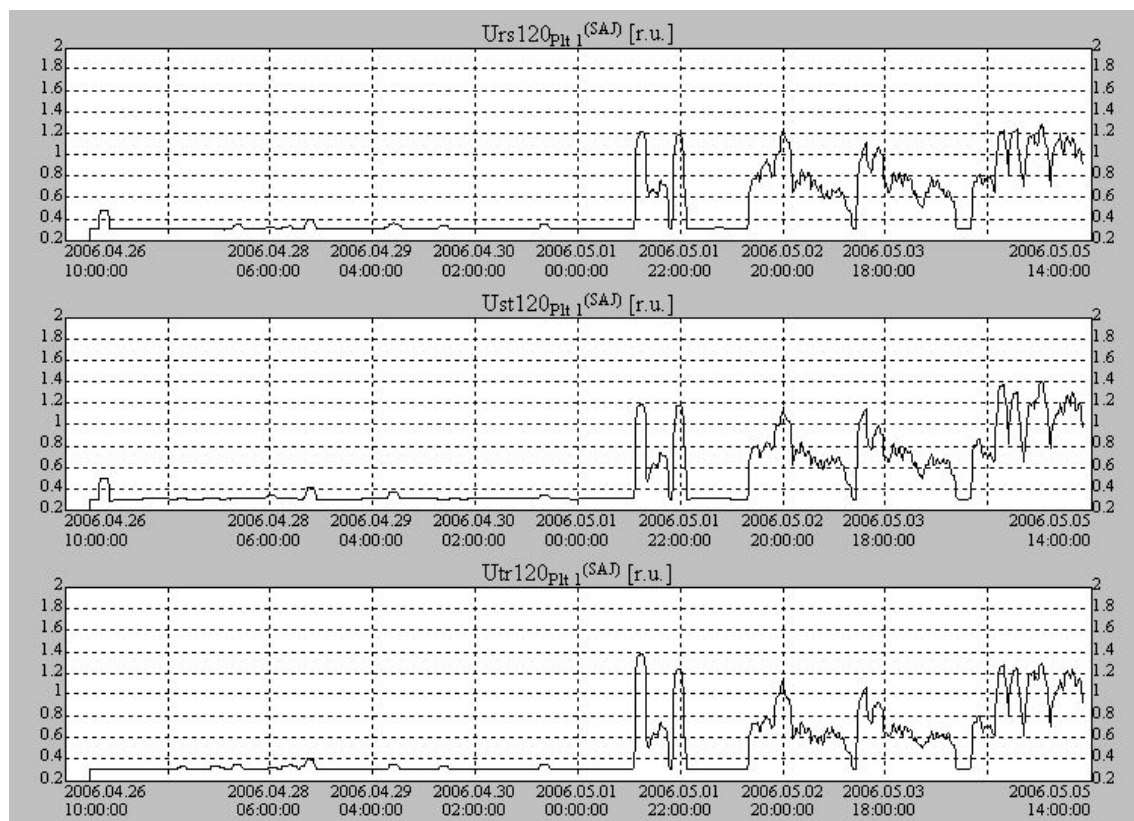
3. sz. melléklet 7. sz. ábra Rövid idejű flicker alakulása a FZsolca 120 kV 'B' és 'K' síneken, 2006. május 12 – május 19.



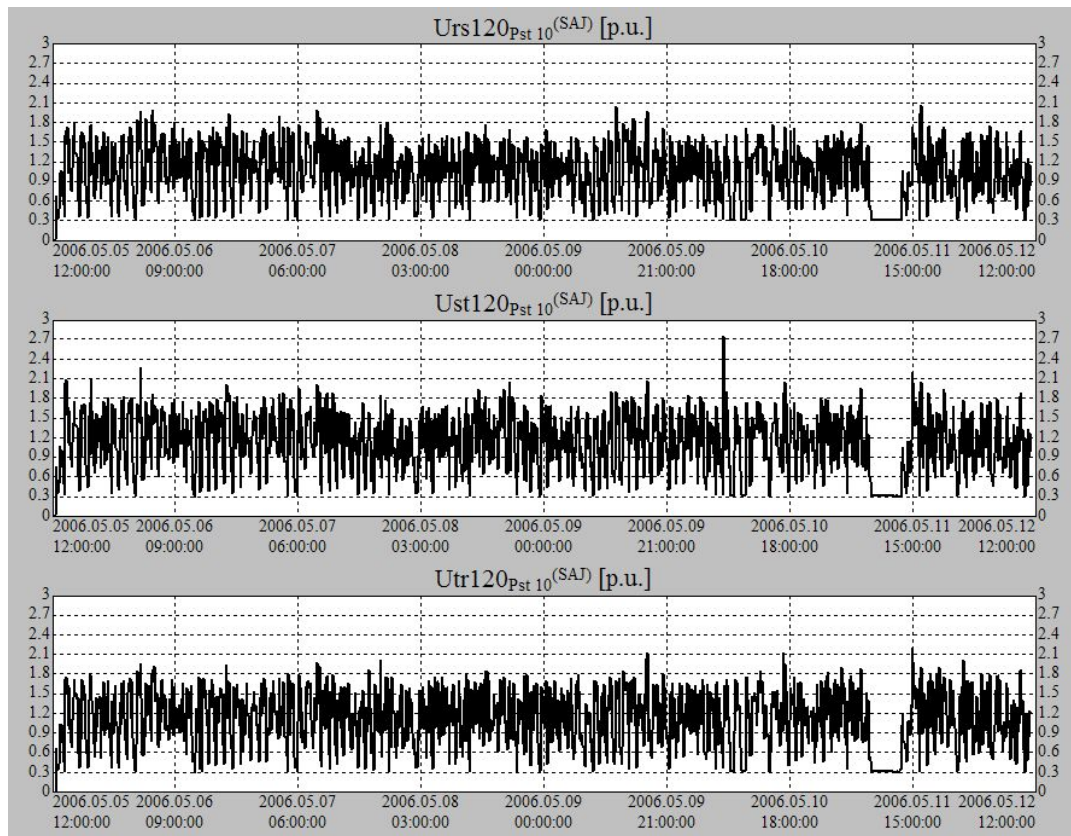
3. sz. melléklet 8. sz. ábra Hosszú idejű flicker alakulása a FZsolca 120 kV 'B' és 'K' síneken, 2006. május 12 – május 19.



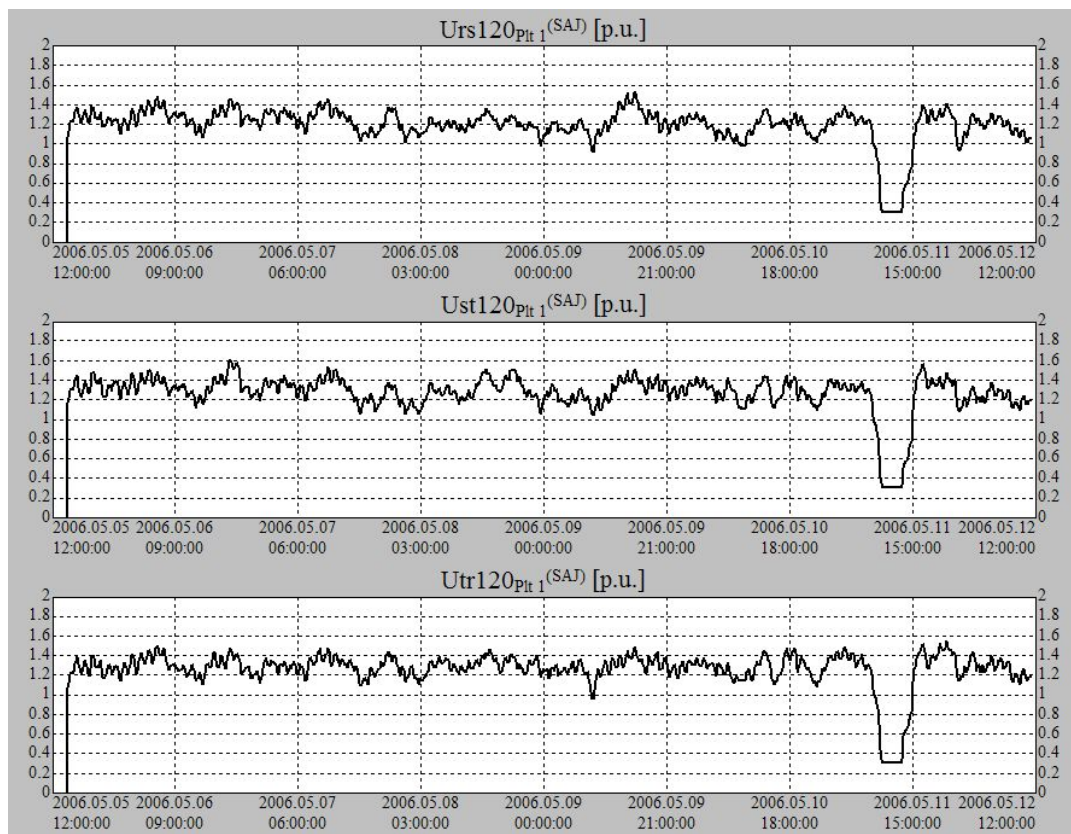
3. sz. melléklet 9. sz. ábra. Rövid idejű flicker alakulása a Sajóivánka 120 kV rendszeren, 2006. április 26 – május 5.



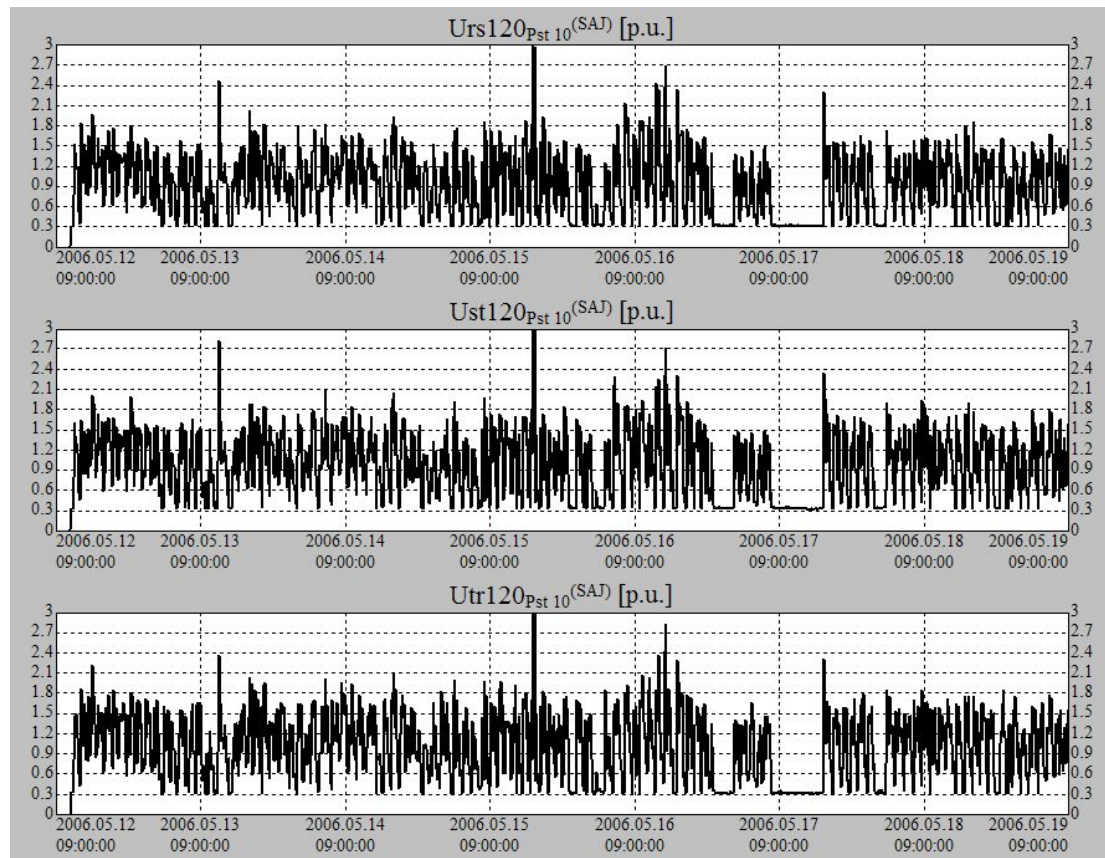
3. sz. melléklet 10. sz. ábra. Hosszú idejű flicker alakulása a Sajóivánka 120 kV rendszeren, 2006. április 26 – május 5.



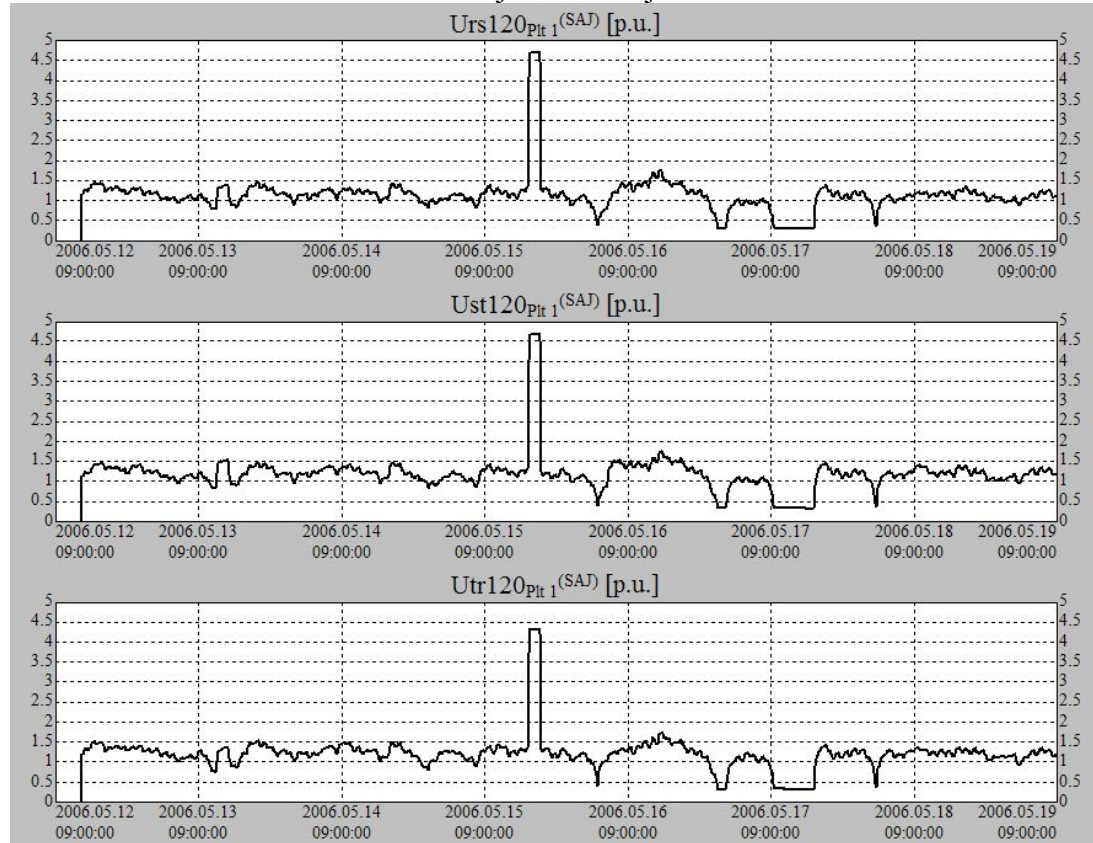
3. sz. melléklet 11. sz. ábra. Rövid idejű flicker alakulása a Sajóivánka 120 kV rendszeren, 2006. május 5 – május 12.



3. sz. melléklet 12. sz. ábra. Hosszú idejű flicker alakulása a Sajóivánka 120 kV rendszeren, 2006. május 5 – május 12.



3. sz. melléklet 13. sz. ábra. Rövid idejű flicker alakulása a Sajóivánka 120 kV rendszeren, 2006. május 12 – május 19.



3. sz. melléklet 14. sz. ábra. Hosszú idejű flicker alakulása a Sajóivánka 120 kV rendszeren, 2006. május 12 – május 19.

Hatvány	Alap P_{lt}	OAM okozta P_{lt}	DAM okozta P_{lt}	Számított átlag P_{lt}	Mért átlag P_{lt}
1	0,2	0,5425	0,6928	1,5380	1,2386
1,1	0,2	0,5812	0,7347	1,5031	1,2386
1,2	0,2	0,6119	0,7674	1,4680	1,2386
1,3	0,2	0,6364	0,7928	1,4341	1,2386
1,4	0,2	0,6559	0,8128	1,4020	1,2386
1,5	0,2	0,6716	0,8285	1,3721	1,2386
1,6	0,2	0,6842	0,8409	1,3443	1,2386
1,7	0,2	0,6944	0,8508	1,3187	1,2386
1,8	0,2	0,7028	0,8587	1,2951	1,2386
1,9	0,2	0,7095	0,8650	1,2734	1,2386
2	0,2	0,7151	0,8701	1,2534	1,2386
2,1	0,2	0,7196	0,8742	1,2350	1,2386
2,2	0,2	0,7234	0,8775	1,2180	1,2386
2,3	0,2	0,7265	0,8802	1,2024	1,2386
2,4	0,2	0,7291	0,8824	1,1879	1,2386
2,5	0,2	0,7312	0,8842	1,1745	1,2386
2,6	0,2	0,7330	0,8857	1,1621	1,2386
2,7	0,2	0,7345	0,8869	1,1506	1,2386
2,8	0,2	0,7357	0,8879	1,1399	1,2386
2,9	0,2	0,7368	0,8887	1,1300	1,2386
3	0,2	0,7376	0,8894	1,1207	1,2386
3,1	0,2	0,7384	0,8900	1,1121	1,2386
3,2	0,2	0,7390	0,8904	1,1040	1,2386
3,3	0,2	0,7395	0,8908	1,0964	1,2386
3,4	0,2	0,7400	0,8911	1,0893	1,2386
3,5	0,2	0,7404	0,8914	1,0827	1,2386
3,6	0,2	0,7407	0,8916	1,0765	1,2386
3,7	0,2	0,7409	0,8918	1,0706	1,2386
3,8	0,2	0,7412	0,8920	1,0651	1,2386
3,9	0,2	0,7414	0,8921	1,0599	1,2386
4	0,2	0,7415	0,8922	1,0550	1,2386
4,1	0,2	0,7417	0,8923	1,0504	1,2386
4,2	0,2	0,7418	0,8924	1,0460	1,2386
4,3	0,2	0,7419	0,8924	1,0418	1,2386
4,4	0,2	0,7420	0,8925	1,0379	1,2386
4,5	0,2	0,7421	0,8925	1,0342	1,2386
4,6	0,2	0,7421	0,8926	1,0307	1,2386
4,7	0,2	0,7422	0,8926	1,0274	1,2386
4,8	0,2	0,7422	0,8926	1,0242	1,2386
4,9	0,2	0,7423	0,8927	1,0212	1,2386
5	0,2	0,7423	0,8927	1,0183	1,2386

3.sz melléklet 1. sz. táblázat

A felsőszolcai alállomás 120 kV-os gyűjtősinén a flicker összegezés számításának alapadatai

Hatvány	Alap PIt	DAM okoztaPIt	ÓZD okoztaPIt	Számított átlag PIt	Mért átlag PIt
1	0,2	0,5055	1,0309	1,7364	1,3905
1,1	0,2	0,5432	1,0783	1,6786	1,3905
1,2	0,2	0,5734	1,1139	1,6291	1,3905
1,3	0,2	0,5975	1,1407	1,5865	1,3905
1,4	0,2	0,6170	1,1610	1,5495	1,3905
1,5	0,2	0,6326	1,1766	1,5172	1,3905
1,6	0,2	0,6453	1,1884	1,4889	1,3905
1,7	0,2	0,6556	1,1976	1,4639	1,3905
1,8	0,2	0,6640	1,2047	1,4418	1,3905
1,9	0,2	0,6709	1,2102	1,4221	1,3905
2	0,2	0,6766	1,2145	1,4046	1,3905
2,1	0,2	0,6813	1,2179	1,3889	1,3905
2,2	0,2	0,6851	1,2206	1,3749	1,3905
2,3	0,2	0,6884	1,2227	1,3623	1,3905
2,4	0,2	0,6910	1,2243	1,3509	1,3905
2,5	0,2	0,6933	1,2256	1,3407	1,3905
2,6	0,2	0,6952	1,2267	1,3314	1,3905
2,7	0,2	0,6967	1,2275	1,3230	1,3905
2,8	0,2	0,6981	1,2282	1,3154	1,3905
2,9	0,2	0,6992	1,2287	1,3085	1,3905
3	0,2	0,7001	1,2291	1,3022	1,3905
3,1	0,2	0,7009	1,2295	1,2965	1,3905
3,2	0,2	0,7016	1,2298	1,2912	1,3905
3,3	0,2	0,7022	1,2300	1,2865	1,3905
3,4	0,2	0,7026	1,2301	1,2821	1,3905
3,5	0,2	0,7031	1,2303	1,2781	1,3905
3,6	0,2	0,7034	1,2304	1,2745	1,3905
3,7	0,2	0,7037	1,2305	1,2711	1,3905
3,8	0,2	0,7040	1,2306	1,2681	1,3905
3,9	0,2	0,7042	1,2306	1,2652	1,3905
4	0,2	0,7044	1,2307	1,2626	1,3905
4,1	0,2	0,7045	1,2307	1,2603	1,3905
4,2	0,2	0,7047	1,2308	1,2581	1,3905
4,3	0,2	0,7048	1,2308	1,2561	1,3905
4,4	0,2	0,7049	1,2308	1,2542	1,3905
4,5	0,2	0,7050	1,2308	1,2525	1,3905
4,6	0,2	0,7050	1,2308	1,2509	1,3905
4,7	0,2	0,7051	1,2309	1,2495	1,3905
4,8	0,2	0,7052	1,2309	1,2481	1,3905
4,9	0,2	0,7052	1,2309	1,2469	1,3905
5	0,2	0,7053	1,2309	1,2457	1,3905

3. sz. melléklet 2. sz. táblázat

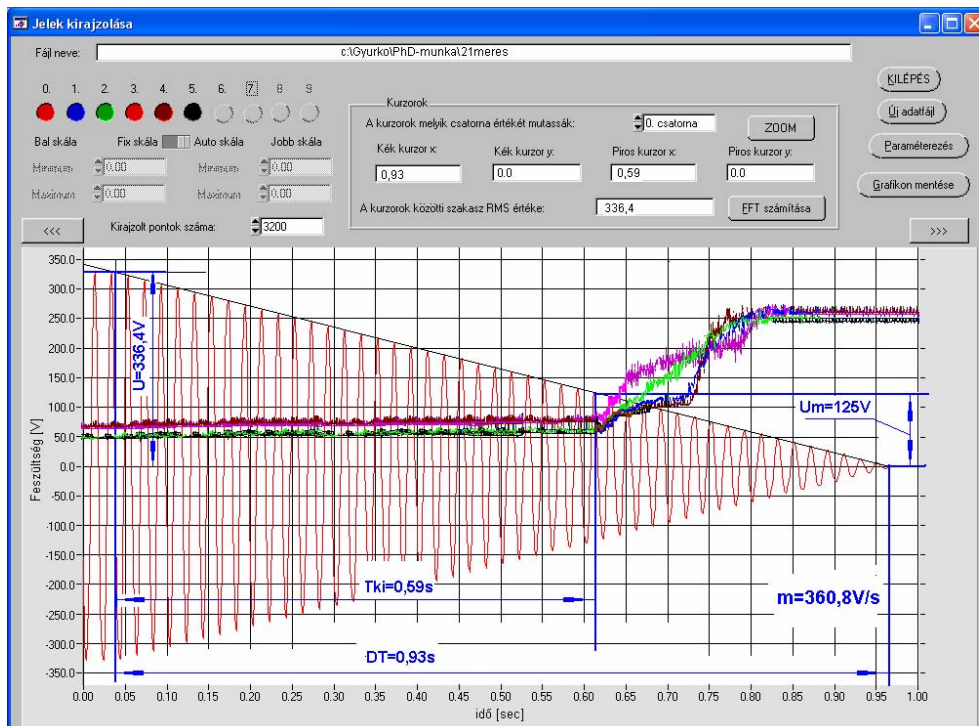
Sajóivánka 400/120 kV-os alállomás 120 kV-os gyűjtősinén a flicker összegezés
számításának alapadatai

Hatvány	Alap Plt	DAM okoztaPlt	ÓAM okozta Plt	Számított átlag Plt	Mért átlag Plt
1	0,2	1,4511	0,3185	1,9696	1,7221
1,1	0,2	1,5032	0,3502	1,9216	1,7221
1,2	0,2	1,5411	0,3765	1,8815	1,7221
1,3	0,2	1,5688	0,3985	1,8478	1,7221
1,4	0,2	1,5892	0,4167	1,8194	1,7221
1,5	0,2	1,6044	0,4320	1,7953	1,7221
1,6	0,2	1,6156	0,4447	1,7748	1,7221
1,7	0,2	1,6241	0,4554	1,7574	1,7221
1,8	0,2	1,6305	0,4644	1,7426	1,7221
1,9	0,2	1,6353	0,4720	1,7299	1,7221
2	0,2	1,6389	0,4784	1,7190	1,7221
2,1	0,2	1,6417	0,4838	1,7097	1,7221
2,2	0,2	1,6439	0,4885	1,7016	1,7221
2,3	0,2	1,6455	0,4925	1,6948	1,7221
2,4	0,2	1,6467	0,4959	1,6888	1,7221
2,5	0,2	1,6477	0,4988	1,6837	1,7221
2,6	0,2	1,6485	0,5013	1,6793	1,7221
2,7	0,2	1,6490	0,5035	1,6755	1,7221
2,8	0,2	1,6495	0,5053	1,6723	1,7221
2,9	0,2	1,6498	0,5070	1,6694	1,7221
3	0,2	1,6501	0,5084	1,6670	1,7221
3,1	0,2	1,6503	0,5096	1,6649	1,7221
3,2	0,2	1,6505	0,5107	1,6631	1,7221
3,3	0,2	1,6506	0,5116	1,6615	1,7221
3,4	0,2	1,6507	0,5124	1,6601	1,7221
3,5	0,2	1,6508	0,5132	1,6589	1,7221
3,6	0,2	1,6509	0,5138	1,6579	1,7221
3,7	0,2	1,6509	0,5143	1,6570	1,7221
3,8	0,2	1,6509	0,5148	1,6563	1,7221
3,9	0,2	1,6510	0,5152	1,6556	1,7221
4	0,2	1,6510	0,5156	1,6550	1,7221
4,1	0,2	1,6510	0,5159	1,6545	1,7221
4,2	0,2	1,6510	0,5162	1,6541	1,7221
4,3	0,2	1,6510	0,5165	1,6537	1,7221
4,4	0,2	1,6511	0,5167	1,6533	1,7221
4,5	0,2	1,6511	0,5169	1,6531	1,7221
4,6	0,2	1,6511	0,5171	1,6528	1,7221
4,7	0,2	1,6511	0,5172	1,6526	1,7221
4,8	0,2	1,6511	0,5174	1,6524	1,7221
4,9	0,2	1,6511	0,5175	1,6522	1,7221
5	0,2	1,6511	0,5176	1,6521	1,7221

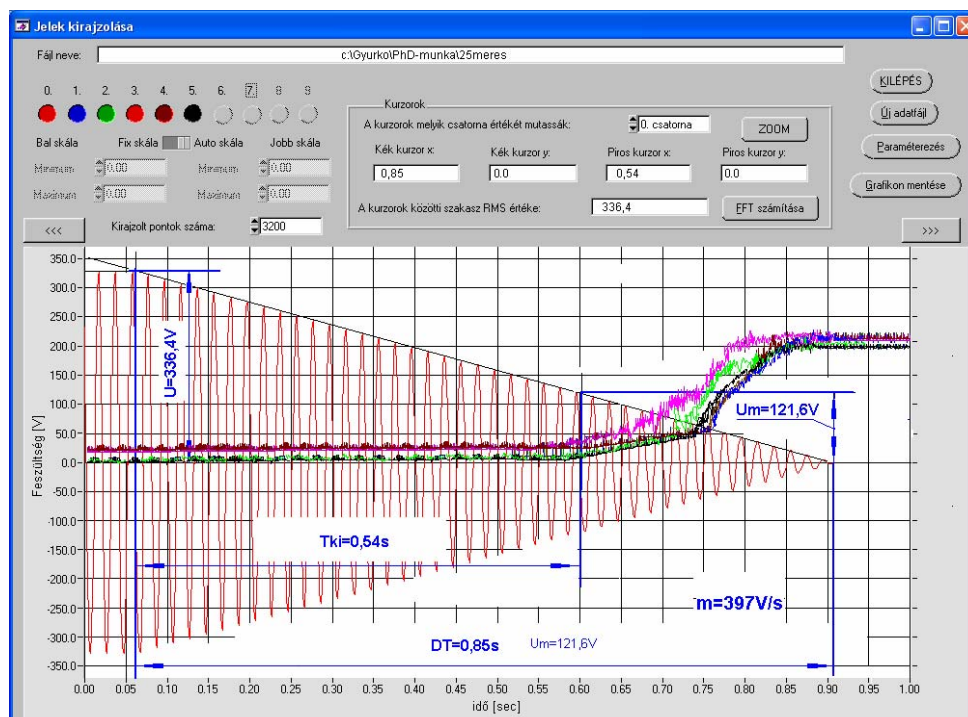
3. sz. melléklet 3. sz. táblázat

A DAM alállomás 120 kV-os gyűjtősínen a flicker összegezés számításának
alapadatai

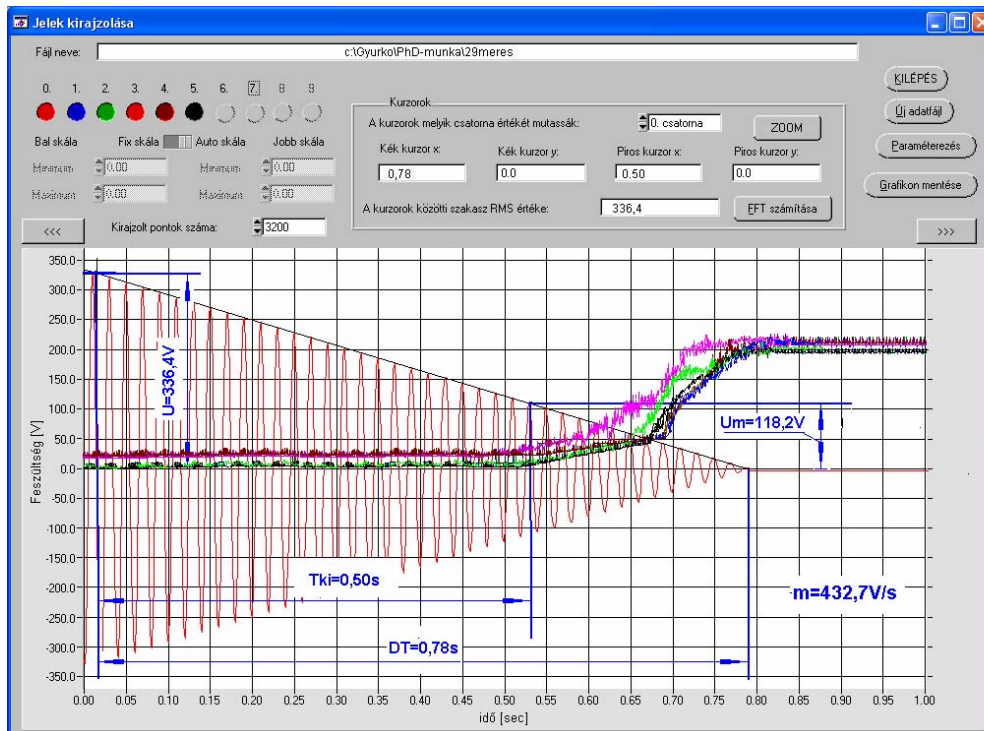
9.4 Mellékletek: A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére, diagramok



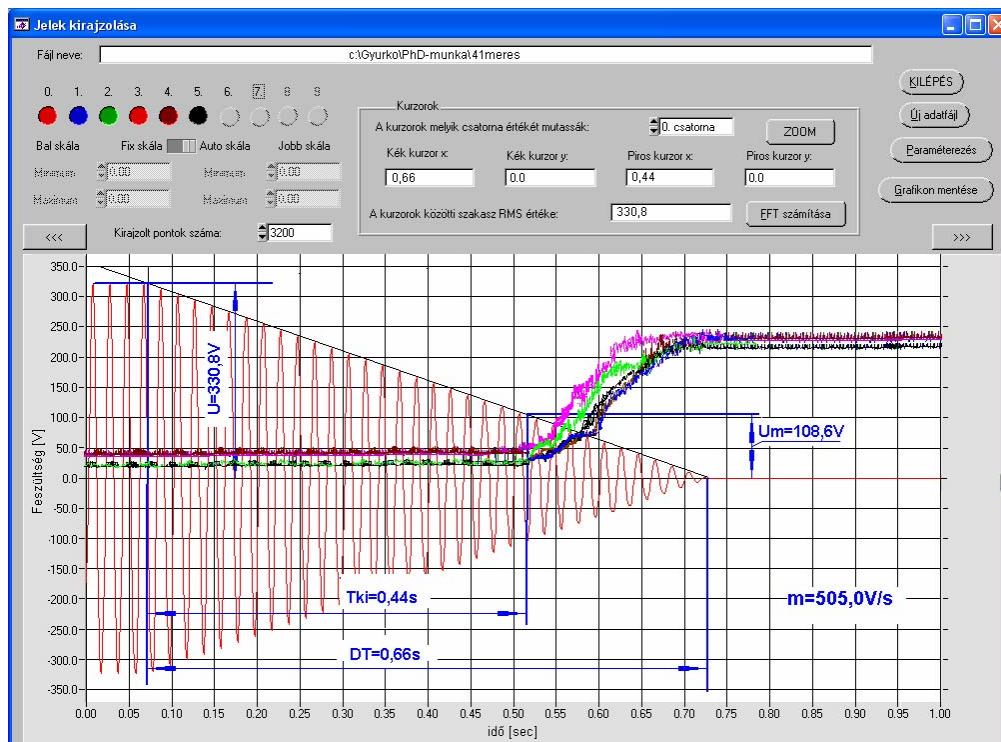
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (21. mérés)



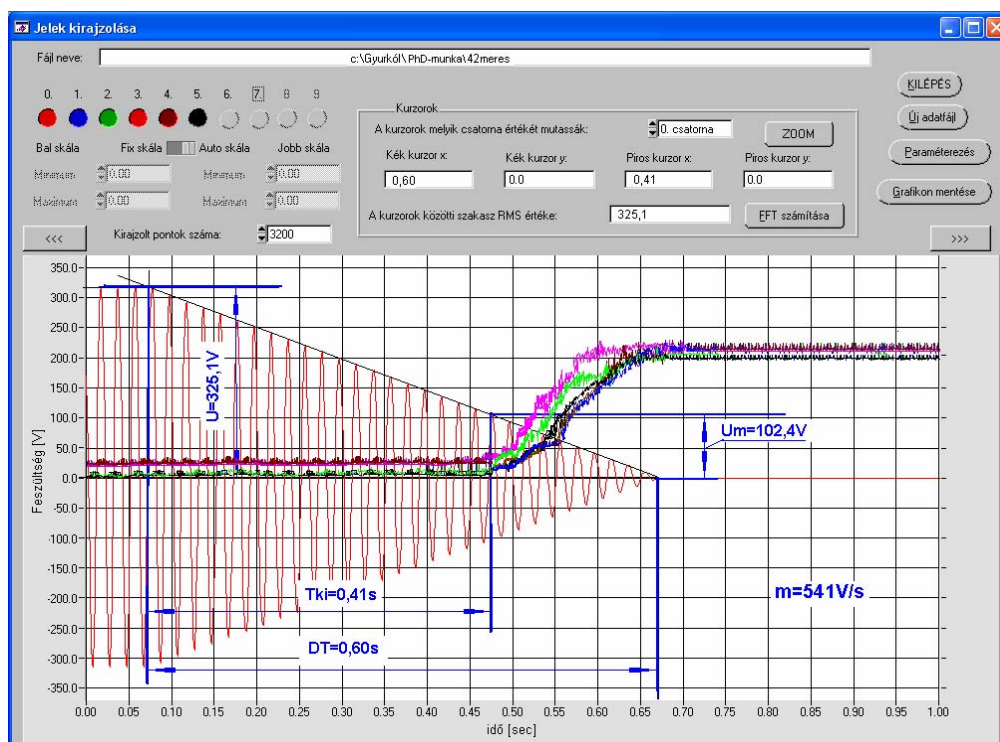
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (25. mérés)



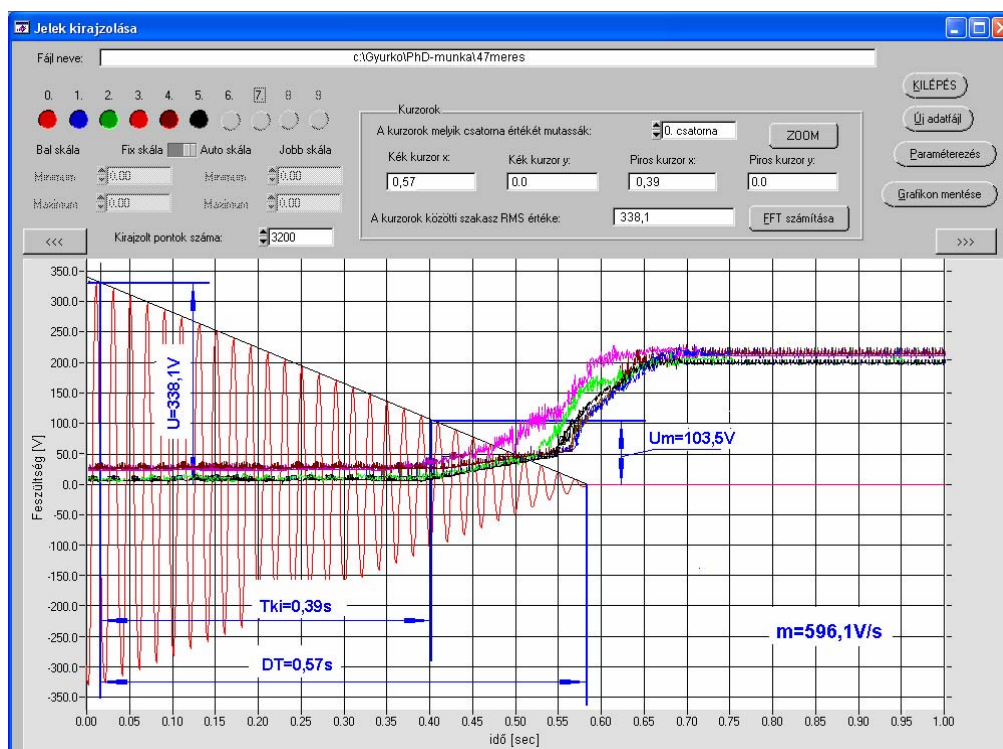
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (29. mérés)



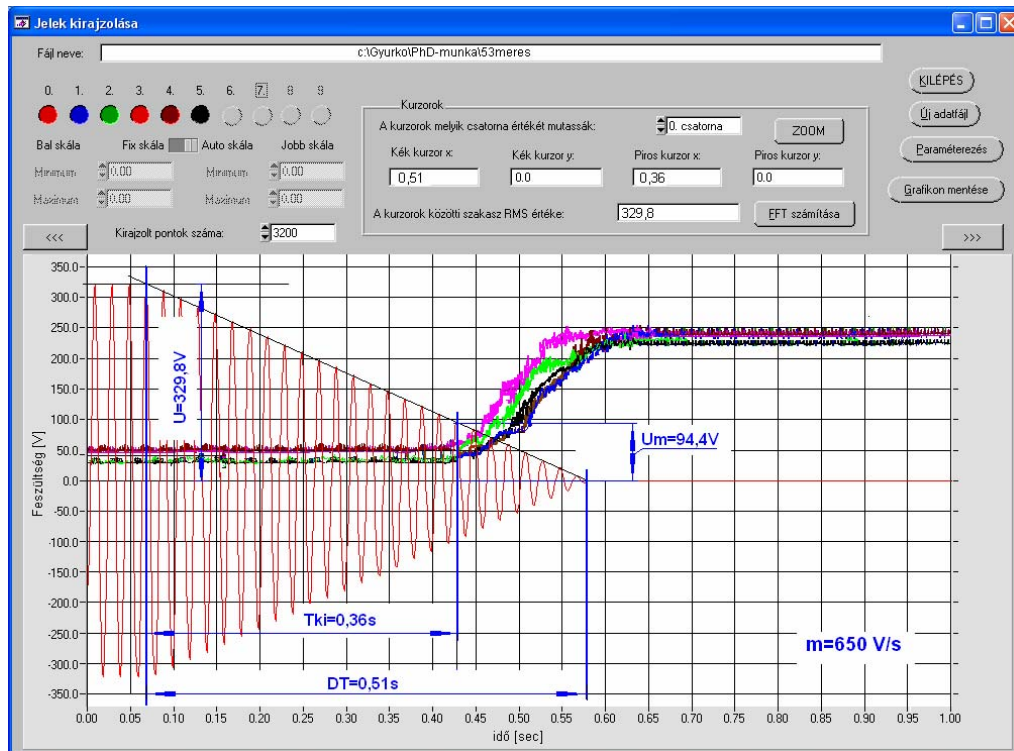
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (41. mérés)



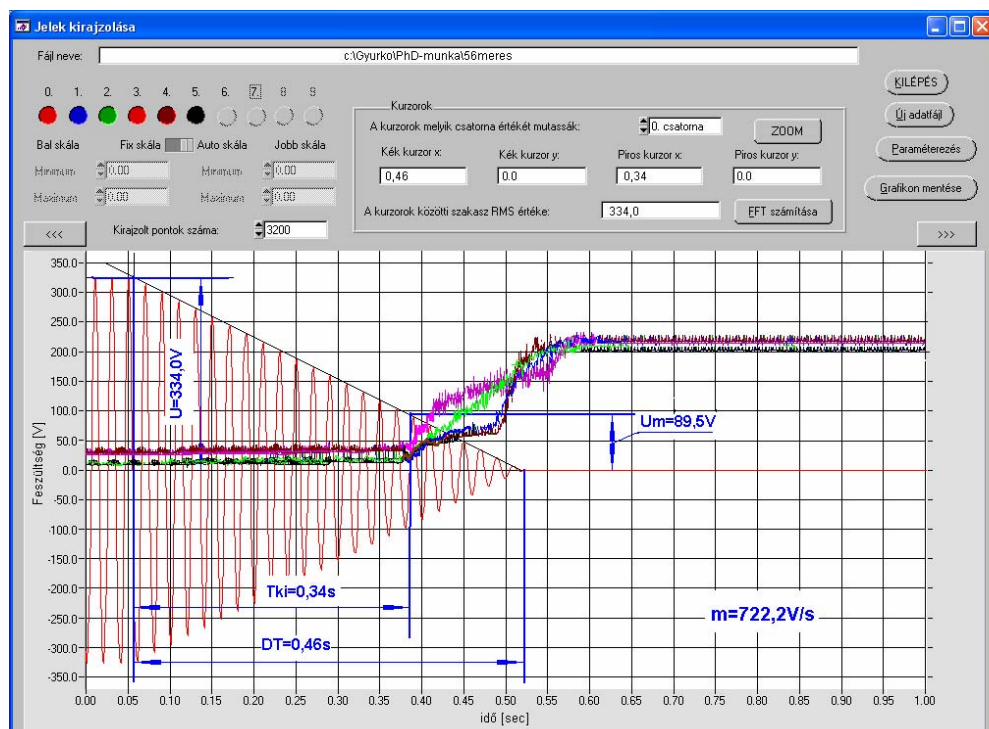
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (42. mérés)



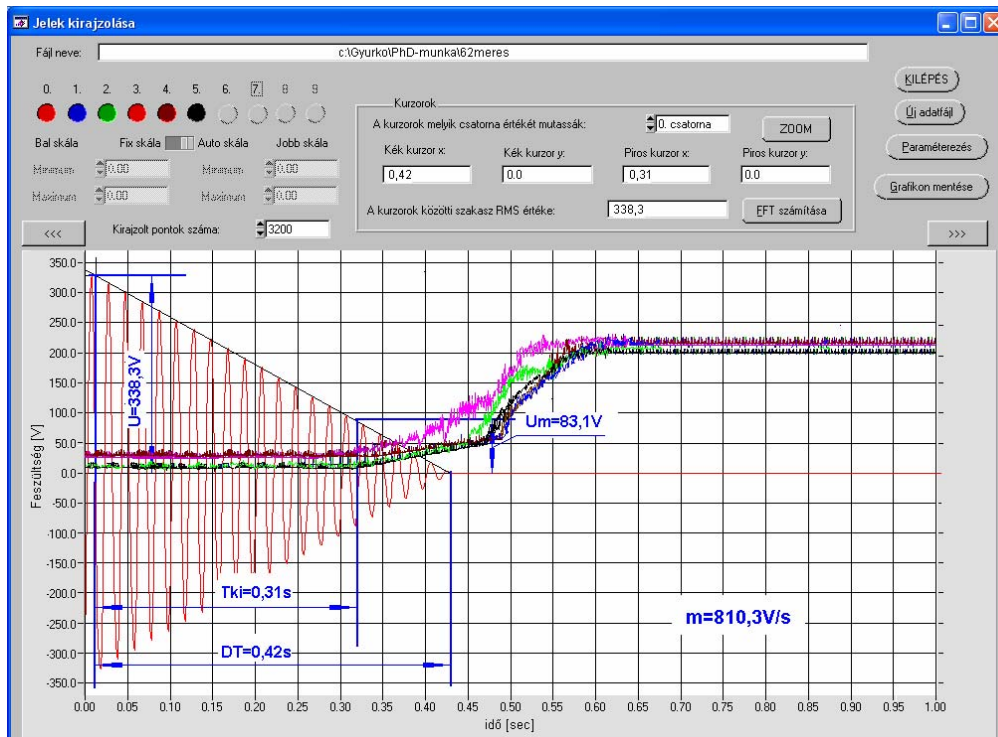
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (47. mérés)



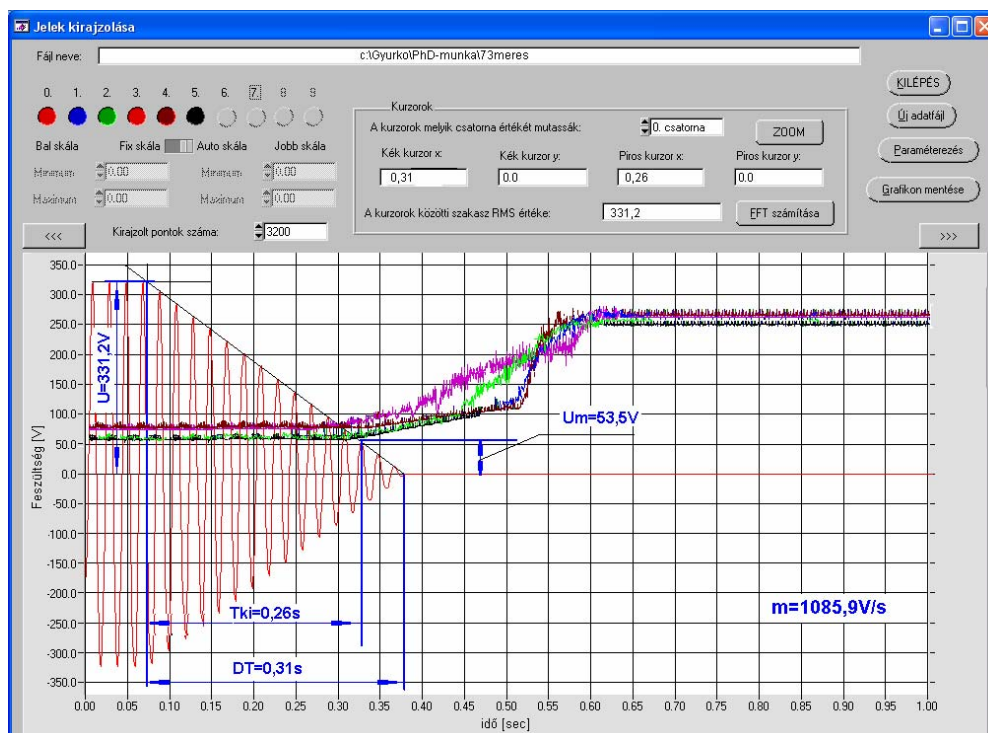
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (53. mérés)



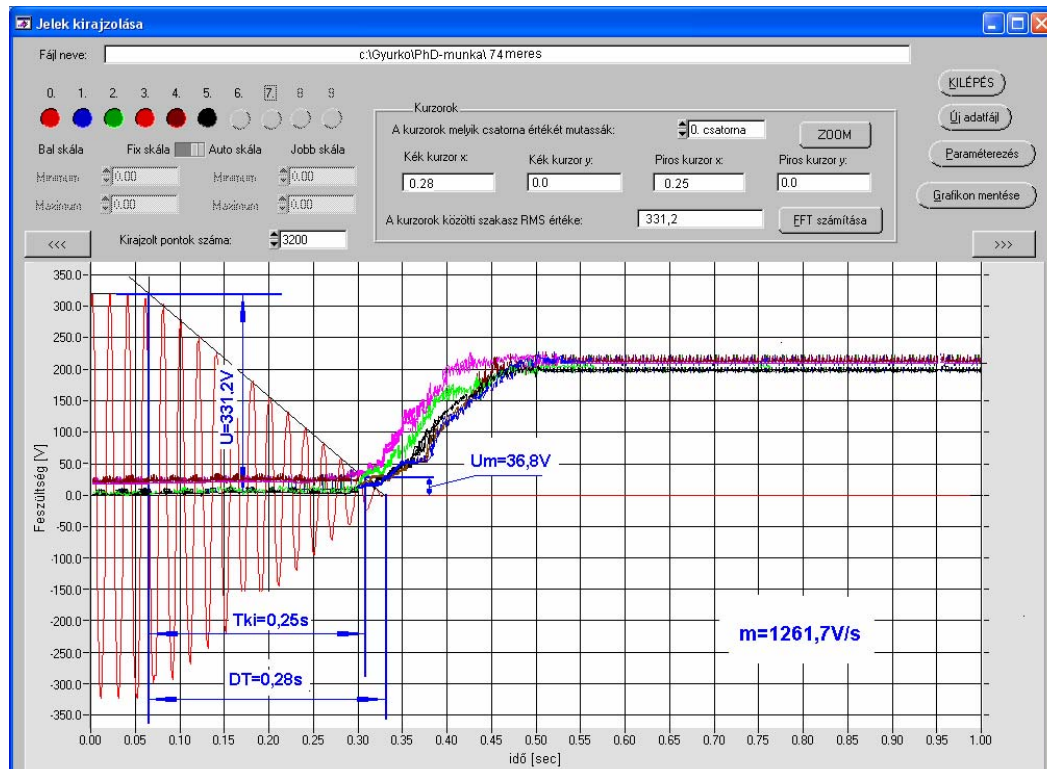
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (56. mérés)



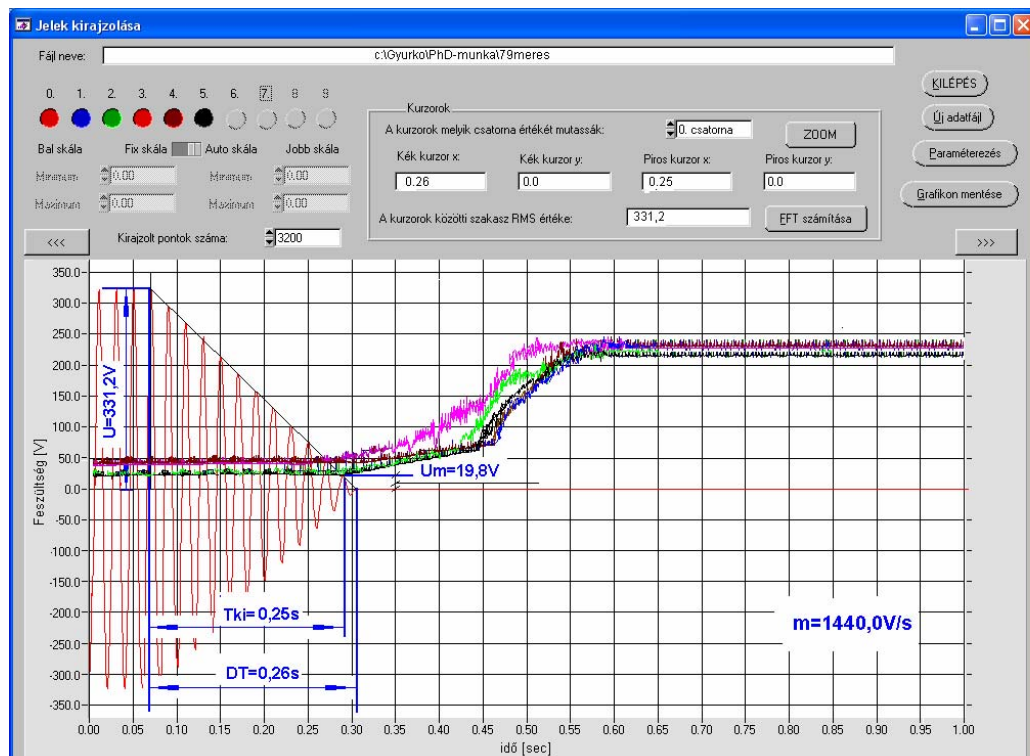
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (62. mérés)



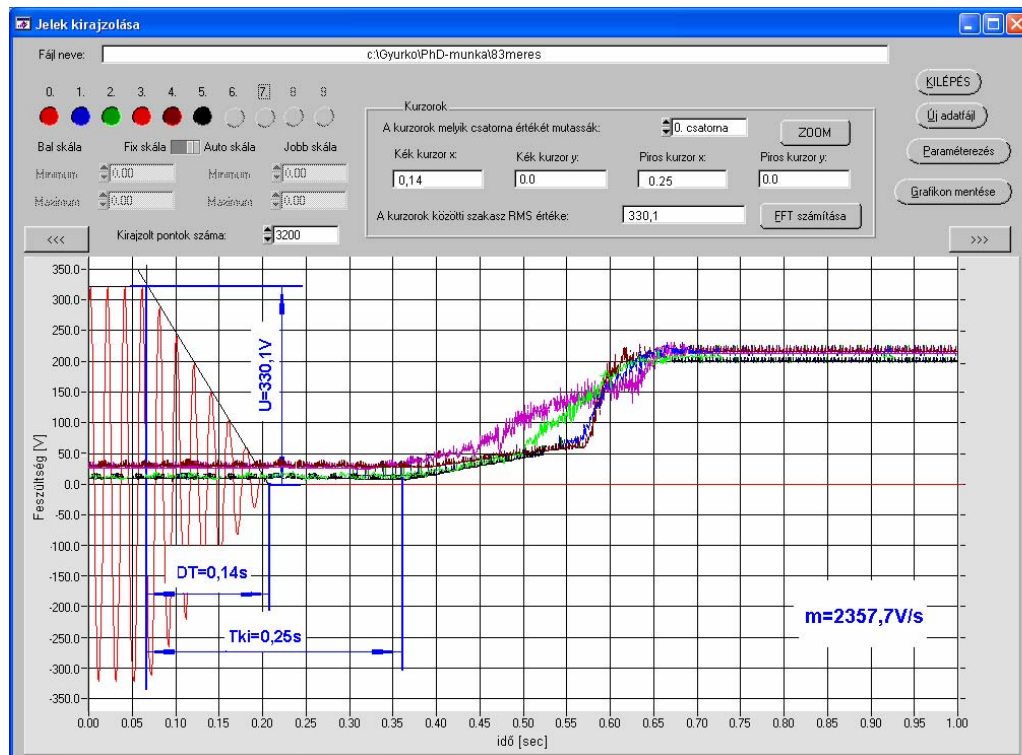
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (73. mérés)



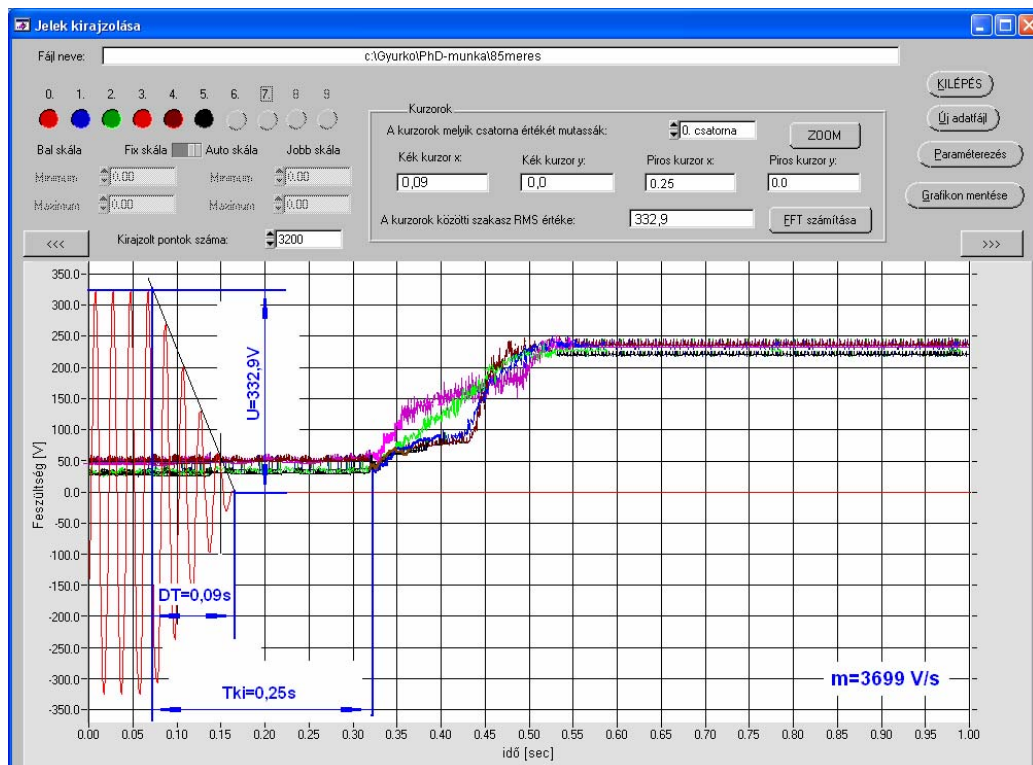
A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (74. mérés)



A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (79. mérés)



A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (83. mérés)



A feszültség csökkentés hatása a számítógépek üzemére (85. mérés)