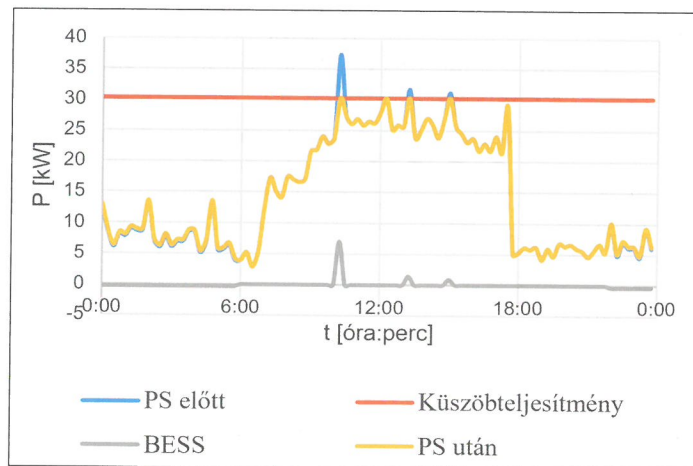




6. ábra Peak-shaving, második jelleg

kisütéshez szükséges kapacitás. A rendszer működése során a minimális SOC érték 20%, a maximális pedig 99,88% volt.

Az év utolsó negyedében a rendszer SOH értéke 98,45%-ot vett fel, az éves degradáció 1,55% volt. Azzal az egyszerűsítéssel élve, hogy a rendszer üzemidejének minden évében megegyezik az igénybevétel, valamint feltételezve, hogy az akkumulátorokat 80% SOH elérése esetén cserélni kell, ez 12,91 éves élettartamot jelent.

4.3. GAZDASÁGI ÉRTÉKELES

A peak-shaving modell futtatása után az újonnan kapott csúcsteljesítmény-igény értéke a korábbi 48,49 kW-ról 41,59 kW-ra csökkent. Az év során az akkumulátorból összesen kisütött energiameennyiség 1187 kWh, míg a töltés során felvett 1318 kWh volt (a két érték a rendszer hatásfokával való szorzás után egyezik meg). Mivel a levágott csúcsok egy része völgyidőszakban található, ezek csökkentésekor nem jelentkezik arbitrázs lehetőség, a csúcsidekban összesen 939 kWh energiát vételezett az elosztóhálózat helyett a fogyasztó a BESS-ből.

Amennyiben a fogyasztó maximálisan igényelt teljesítményének (a biztonság kedvéért a számolt 41,59 kW helyett) 45 kW-ot adunk meg, 15 kW-tal csökkenthetjük annak értékét. A modellezett adatok, valamint (2), (3) és (4) képletek felhasználásával kiszámíthatjuk a beruházás nettó jelenértékét, amely ebben az esetben -704 352 Ft.

Az NPV számítása során nem vettem figyelembe, hogy a rendszer kapacitása az évek folyamán csökken, így nem fogja tudni minden évben a modellezett időtartam alatt folytatott működést mutatni.

5. KONKLÚZIÓ

A tanulmány során a főbb ipari funkciók ismertetése után egy kiválasztott alkalmazás, a peak-shaving rendszer méretezési, működési modelljének megalkotása következett. A szimuláció eredményei azt mutatják, hogy a korábban megadott, 60 kW maximális teljesítményigény jelentősen, akár 15 kW-tal is csökkenthető. A beruházás a vizsgált piaci és műszaki paraméterek mellett a becsült, nagyjából 13 éves élettartam alatt nem térül meg.

A dolgozatban vizsgált fogyasztó és konkrét tárolási algoritmus nem enged széles körű következtetésekre, ezért a jövőben érdemes lehet megvizsgálni egyéb fogyasztókat és BESS kialakításokat. A BESS megtérülési idejét rövidítheti a funkció ötvözése például a dolgozatban is részletezett UPS, feszültség szabályozás vagy meddókompenzálás funkciókkal, vagy az akkumulátorok cseréjének késleltetése,

ezzel a rendszer élettartamának növelése (például 60% SOH elérése esetén). A dolgozatban vizsgált piaci körülményeknél a peak-shaving szempontjából kedvezőbb lehet, ha a fogyasztó napon belüli piacon vételez energiát, ezzel nagyobb teret nyitva az arbitrázs lehetőségeknek. A kombinált funkciók mellett érdemes megvizsgálni a DSM és a peak-shaving BESS, vagy éppen a PV-BESS közös alkalmazását. A peak-shaving funkció elterjedését segítheti a lítium ionos akkumulátorok következő években várható árcsökkenése, valamint a technológia folyamatos fejlődése és az új típusok megjelenése.

A dolgozat egy lehetséges továbbfejlesztési iránya a működési modell vezérlési algoritmussal való kiegészítése, valamint annak implementálása egy valós rendszerre.

Ezúton is szeretném megköszönni konzulenseimnek, Dr. Hartmann Bálintnak, a BME Villamos Energetika Tanszék docensének, valamint Kertész Sándornak, az Infoware Zrt. vezérigazgatójának, hogy munkájukkal, mentorálásukkal segítettek a szakdolgozat elkészültét.

IRODALOMJEGYZÉK

- [1] **Argyrou, M.C., Christodoulides, P., Kalogirou, S.A.;** Energy storage for electricity generation and related processes: Technologies appraisal and grid scale applications. Renewable and Sustainable Energy Reviews 94 804–821, 2018
- [2] **Hesse, H.C., Schimpe, M., Kucevic, D., Jossen, A.;** Lithium-Ion Battery Storage for the Grid – A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids, Energies 2017, 10, 2107; doi:10.3390/en10122107, 2017
- [3] **Sharma P.;** How an APC Smart-UPS Lithium-Ion UPS Battery Can Significantly Cut Your TCO, [Online] Elérés: <https://blog.apc.com/2018/05/08/how-apc-smart-ups-lithium-ion-ups-battery-cut-tco/>, 2018
- [4] **Kertész S.;** Akkumulátoros Energiatároló Rendszerek (BESS) alkalmazása, ELEKTROTECHNIKA 111:(10) pp. 6-8. 2018
- [5] <https://www.mvmpartner.hu/Szolgaltatasok/Villamos-energia/Erdekessegek/Meddokompenzalasvizsgalatakisfeszultseguipari-fogyasztokeseten>
- [6] <https://www.eon.hu/hu/uzleti/aram/arak-tarifadijak.html>
- [7] ESS Batteries by Samsung SDI – Top Safety & Reliability Solutions. Brosúra, [Online], Elérés: http://www.samsungsdi.com/upload/ess_brochure/201803_SamsungSDI%20ESS_EN.pdf
- [8] **Hesse, H.C., Martins, R., Musilek, P., Naumann, M., Truong, C.N., Jossen, A.;** Economic Optimization of Component Sizing for Residential Battery Storage Systems. Energies 2017, 10(7), 835; <https://doi.org/10.3390/en10070835>
- [9] **Chua, K.H., Lim, Y.S., Morris, S.;** Energy storage system for peak shaving. International Journal of Energy Sector Management. 10. 3-18. 10.1108/IJESM-01-2015-0003. 2016
- [10] **Hartmann B., Divényi D., Vokony I.;** Evaluation of business possibilities of energy storage at commercial and industrial consumers – A case study. Applied Energy, Vol. 222, 59-66., 2019



Bereczki Bence

MSc hallgató
BME Villamos Energetika Tanszék
MEE-tag
bereczkibence@gmail.com

Automatizálás

Ringler Csaba, Szűcs Attila

Intelligens, energiahatékony mérőrendszerek

A cikkben bemutatásra kerülnek olyan mérőrendszerek, amelyek különféle teljesítményelektronikai berendezések mérési folyamatait kívánják elősegíteni, főként a méréshez felhasznált energia, a mérési idő, a mérési eredmények dokumentálása és a méréshez szükséges eszközigények optimalizálása céljával.

This article presents such metering systems which would like to forward the measuring processes of the different power electronics equipments, mainly for the purpose of documentation of applied energy for measuring, the measuring time and the measuring results as well as for the purpose of optimizing of the needful resource demand for measuring.

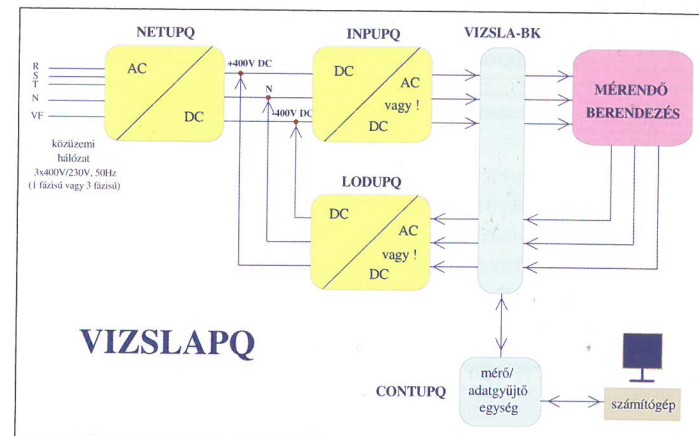
A fejlesztés során az volt a kitűzött célunk, hogy a megcélzott teljesítménytartományban (max. 250kVA/kW) és minőségben (DC, AC, tranzien্স jelek) álljon rendelkezésre a mérendő berendezések vizsgálatához szükséges villamos energia, az aktív terhelés képes legyen a rezisztív, kapacitív, induktív és komplex jellegű, áramgenerátoros jellegű, nemlineáris jellegű és tranzien্স jellegű terhelést képviselni, a mérőrendszerrel végzett mérési folyamat energiatakarékos legyen, a mérőrendszer alkalmas legyen a hibák felderítésére, készüljön automatikusan mérési jegyzőkönyv is.

A fejlesztendő mérőrendszereket a saját gyártású berendezések vizsgálatára is használni kívánjuk, részben a különféle moduláris felépítésű átalakítók önálló méréséhez, részben pedig a modulokból felépített különféle áramellátó rendszerek, illetve a nem moduláris felépítésű áramellátó rendszerek méréséhez.

Ennek megfelelően 19-féle különböző mérőrendszert terveztünk meg.

AZ INTELLIGENS MÉRŐRENDSZEREK ÁLTALÁNOS BEMUTATÁSA

A mérőrendszerek alapfunkciója a mérendő berendezés vizsgálata visszatáplálással, ezért a VIZSLAPQ elnevezést kapták. Egy **VIZSLAPQ típusú mérőrendszer** elvi felépítése látható az 1. ábrán. A rendszer főáramköri – energia-átalakító – része **3 fő részegységből** áll. A mérőrendszer egy **hálózati egyenirányító** – NETUPQ – részegységen keresztül kapcsolódik az egy- vagy háromfázisú közüzemi hálózatra. A hálózati egyenirányító feladata stabilizált, ± 400 V névleges értékű közbenső körű egyenfeszültség előállítása, valamint szinuszos áramfelvétel biztosítása a tápláló hálózathoz. Erre a közbenső DC körre kapcsolódik egy **tápláló átalakító** – INPUPQ – részegység, valamint egy **terhelő átalakító** – LODUPQ – részegység. A tápláló átalakító egy megfelelő terhelhetőségű feszültségforrás, amely előállítja a mérendő berendezés táplálásához szükséges jelalakú és értékű feszültséget, míg a terhelő átalakító egy olyan aktív terhelés, amely biztosítja a mérendő berendezés áramgenerátoros terhelését. A rendszer működése során energia-visszatáplálás valósul meg, csak nem a közüzemi hálózatba, hanem a mérőrendszer közbenső körébe. Így módon a mérendő



1. ábra Az intelligens mérőrendszerek elvi felépítése

berendezés méréséhez szükséges energia a közbenső körből biztosított és visszatáplálása is oda történik. Az energia-egyensúly a tápláló-terhelő oldalon természetes módon megvalósul és a közüzemi hálózathoz csak a berendezések veszteségeinek fedezéséhez szükséges energiát kell biztosítani a hálózati egyenirányító által.

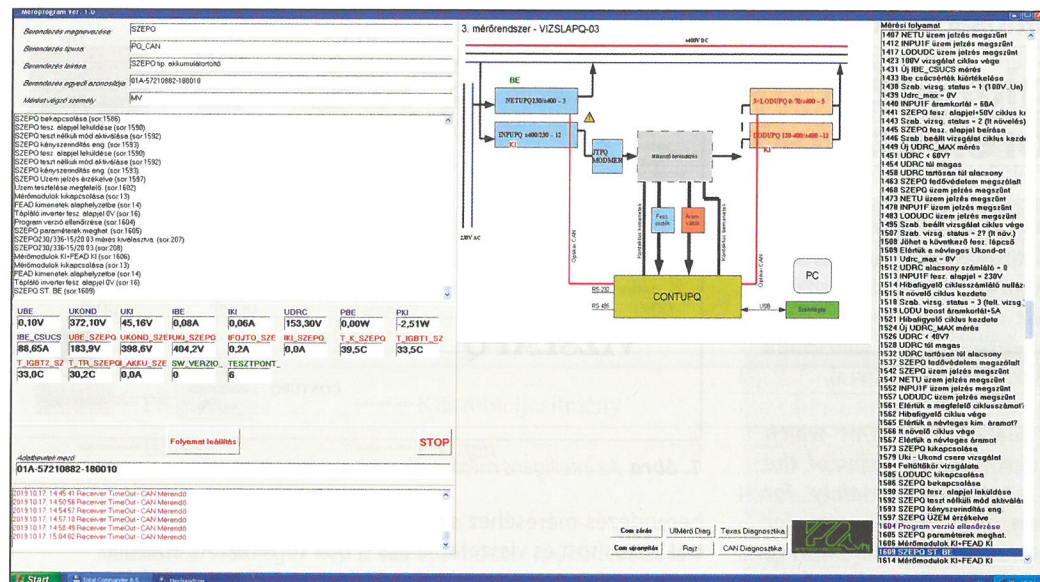
A fejlesztés során alapvető célunk volt, hogy a mérőrendszerekkel az energiaátalakítás jellege szerinti 4 fő csoportba sorolható **mérendő berendezések** mindegyike vizsgálható legyen:

- AC/DC-átalakítók,
- DC/DC-átalakítók,
- DC/AC-átalakítók,
- AC/AC-átalakítók.

Ehhez először azt határoztuk meg, hogy az egyes gyártmányokon mit és milyen tartományban kell mérni és ennek megvalósításához a mérőrendszernek milyen paraméterekkel kell rendelkeznie. Az előző felsorolás alapján a **tápláló átalakítóknak** váltakozó és egyenfeszültség forrás, míg a **terhelő átalakítóknak** váltakozó és egyenfeszültség bemenetű aktív terhelés funkciót kell ellátniuk. Mivel a tápláló átalakítók a közbenső egyenfeszültségű körrel működnek, így megkülönböztetünk AC feszültséget előállító tápláló invertereket és DC feszültséget előállító tápláló DC/DC-konvertereket. A terhelő átalakítók a közbenső körre táplálnak vissza, így megkülönböztetünk AC terhelést képviselő terhelő egyenirányítókat, valamint DC terhelést képviselő terhelő DC/DC-konvertereket.

A mérőrendszereket moduláris felépítésűre terveztük, amelyhez kifejlesztésre került egy olyan **új mérőmodul-család** (NETUPQ-INPUPQ-LODUPQ), amelynek moduljaival a különféle teljesítményelektronikai berendezések mérése – táplálása és aktív terhelése – elvégezhető. A mérőmodulok fejlesztése során az alábbi eredményeket értük el:

- az alkalmazott félvezetők kapcsolási veszteségeinek meghatározásához egy pontosabb számítási eljárást fejlesztettünk ki,
- a léghagos fojtótekercek méretezéséhez egy – a Nagaoka-függvény^[1] pontosításán alapuló – újszerű számítási eljárást fejlesztettünk ki,
- a megfelelő hűtés megvalósításához új gyártástechnológiát fejlesztettünk egyszerűen változtatható méretű hűtőbordák készítéséhez. Az új, optimalizált alakú hűtőbordákkal elkészítettük a referenciamezéseket, amelyek eredményeivel beállíthatóvá vált a hőtechnikai végelem modell. Az új modell birtokában gyorsan és egyszerűen tesztelhetővé váltak a különböző főké ki-



2. ábra PC-s kezelőprogram a VIZSLAPQ-03 típusú mérőrendszerhez

- a főáramkörök szimulációjához a MATLAB számítógépes programot alkalmaztuk,
- kifejlesztettük és teszteltük a követő-szabályozás és a PWM modulációs eljárás tulajdonságait egyesítő vegyes működésű szabályozási struktúrákat,
- HIL (Hardware In the Loop) modellezés bevezetése és alkalmazása a fejlesztés elősegítésére.

A mérőrendszer fizikai működtetéséhez egy **mérés-vezérlő részegységet** alkalmazunk, amely a CONTUPQ nevet kapta. Ez a részegység folyamatos kommunikációs kapcsolatban áll a vezérlő számítógéppel és végrehajtja az onnan kapott parancsokat.

A **CONTUPQ részegység főbb funkciói**:

- különböző segédátápfeszültségek (12V - 400V DC, 230V/50Hz) előállítás és kiadása a mérendő berendezés számára,
- belső, optikai CAN-busz kommunikációs vonal megvalósítása a mérőrendszer hálózati egyenirányító, valamint külféle tápláló és terhelő részegységek között,
- külső, optikai CAN-busz kommunikációs vonal megvalósítása a mérőrendszer és a mérendő berendezés között, amennyiben a mérendő berendezés rendelkezik optikai kommunikációs lehetőséggel,
- a mérendő berendezés mérési folyamata során előforduló külféle analóg mennyiségek, pl. bemeneti/kimeneti feszültségek és áramok nagy pontosságú mérésének megvalósításához összesen 28 db analóg mérőcsatorna áll rendelkezésre,
- külső, soros (USB) kommunikációs vonal megvalósítása a mérőrendszer és a mérendő berendezés között, amennyiben a mérendő berendezés soros kommunikációs lehetőséggel rendelkezik,
- soros kommunikációs vonal (USB) megvalósítása a mérőrendszer és a vezérlő számítógép (PC) között,
- 6 db kontaktus jellegű bemenet fogadásának és kezelésének megvalósítása,
- 6 db kontaktus jellegű kimenet kiadásának megvalósítása.

A **CONTUPQ típusú mérés-vezérlő részegység** könnyen illeszthető a mérőrendszerhez és az előlapján elérhetőek azok a funkciók (pl. külféle tápfeszültségek, kontaktusok), amelyek a mérendő berendezés méréséhez közvetlenül szükségesek. Amennyiben további analóg mérésekre van szükség, pl. több bemenetű és több kimenetű szünetmentes áramellátó rendszerek esetén, akkor a CONTUPQ részegység egyszerűen bővíthető.

Az 1. ábrán látható, hogy a mérőrendszer és a mérendő berendezés illesztését a **VIZSLA-BK elnevezésű részegység** végzi, amely a mérőrendszer bemeneti-kimeneti részegysége. Ezt azzal a céllal alkalmazzuk, hogy a mérendő berendezés villamos csatlakoztatását és az ehhez szükséges védelmeket, valamint a külféle külső feszültség- és árammérőket el lehessen helyezni.

A **VIZSLA-BK típusú bemeneti-kimeneti részegység** felépítése a mérendő berendezéstől függ. A részegység előlapján elérhetőek azok a funkciók (pl. kezelőfelület kismeg-

szakítókkal, külféle csatlakozók), amelyek a mérendő berendezés méréséhez közvetlenül szükségesek.

A MÉRŐRENDSZEREK HASZNÁLATA

A mérőrendszerek használatához fejlesztésre került egy olyan **számítógépes kezelőprogram** (2. ábra), amellyel a mérőrendszer közvetlenül a PC-ről működtethető. A mérőrendszerek kétféle üzemmódban használhatóak. Az egyik üzemmódban a mérőrendszer egyes részegységei (NETUPQ, INUPQ, LODUPQ, CONTUPQ, VIZSLA-BK) kézi mérés-vezérléssel, a másik üzemmódban pedig automata mérés-vezérléssel működtethetők.

A **kézi mérés-vezérlés** során a mérőrendszer részegységei a számítógépes kezelőprogramból

- be- és kikapcsolhatóak,
- feszültség- és áramjelalakjaik, valamint alapjel-értékeik beállíthatóak,
- külféle analóg (feszültség, áram) mérések végezhetőek,
- digitális (kontaktus) bemenetek beolvashatóak,
- digitális (kontaktus) kimenetek kiadhatóak
- stb.

Ily módon a mérendő berendezés bemérése – folyamatos kezelői beavatkozással – teljes körűen megvalósítható.

Ehhez képest az **automata mérés-vezérlés** nagy előnye, hogy a mérendő berendezés bemérése programozott módon valósul meg. A fejlesztés eredményeként egy mélyebb programozási ismeretek nélkül is használható **programozási nyelvet** hoztunk létre a mérési folyamatok automatizálásához. Az automata mérés-vezérléshez szükséges mérés-vezérlő programok ezen a programnyelven készültek el és futtatásukkal a vezérlő programban definiált mérési feladatok automatikusan végrehajthatódnak. Ebből adódóan az automata mérés-vezérlés sokkal kisebb mértékű kezelői beavatkozást igényel, mint a kézi vezérlés.

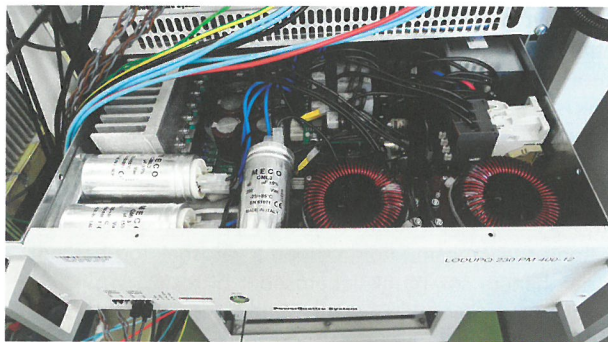
A MEGVALÓSÍTOTT MÉRŐRENDSZEREK

A pályázat keretein belül **19-féle különböző mérőrendszert** valósítottunk meg, amelyek a VIZSLAPQ-01...19 elnevezést kapták.

[1] *Nagaoka-függvény: légmagos fojtótekeres induktivitásának számításához szükséges matematikai összefüggés*



3. ábra Különböző VIZSLAPQ típusú mérőrendszerek



4. ábra LODUPQ 230 PM 400-12 típusú terhelő egyenirányító részegység

- Az elkészült mérőrendszerekből
- 15 db 20kVA névleges teljesítményű mérendő berendezések,
- 2 db 60kVA névleges teljesítményű mérendő berendezések és
- 2 db 250kVA névleges teljesítményű mérendő berendezések vizsgálatára alkalmas.

A mérendő berendezések jellege szerint

- AC/DC-átalakítók vizsgálatára 3 db,
- DC/DC-átalakítók vizsgálatára 4 db,
- DC/AC-átalakítók vizsgálatára 6 db,
- AC/AC-átalakítók vizsgálatára 6 db berendezés alkalmas.

Az egy csoporton belüli mérőrendszerek közötti különbségek pl. a tápláló feszültség jellegében és értéktartományában, a névleges tápláló teljesítményben, az aktív terhelés üzemi bemeneti feszültség-tartományában vagy éppen a névleges terhelő áramban vannak.

A megvalósított mérőrendszerek egy részét a 3. ábrán láthatjuk. A 4. ábrán pedig egy olyan LODUPQ 230 PM 400-12 típusú terhelő egyenirányító részegység látható, amelyet pl. többféle mérőrendszerben külféle egyfázisú inverterek méréséhez használunk 12kVA névleges teljesítményig.

AZ INTELLIGENS MÉRŐRENDSZEREK ELŐNYEI

Kevesebb felhasznált energia

A megvalósított mérőrendszerek egyik fő célja az energia-egyensúly biztosítása. Ezt a közbeszű körből történő táplálással és a közbeszű körbe történő visszatáplálással érjük el. A mérendő berendezés táplálásához sokkal nagyobb energia biztosítható a közbeszű körből, mint amekkora energiát a mérőrendszer felvesz a közüzemi hálózatról. Mivel az ilyen elven működő mérőrendszereknél a közüzemi hálózatról csak a főáramköri részegységek (hálózati egyenirányító, tápláló és terhelő átalakítók, mérendő berendezés) veszteségeinek fedezésére kell energiát biztosítani, alkalmazásukkal jelentős energia-megtakarítást lehet elérni. Az elvégzett

mérések alapján azt mondhatjuk, hogy a felhasznált energia mennyisége átlagosan kb. 30-40%-ra csökkent a korábbi, mérőrendszer nélküli mérések fogyasztásához képest.

Rövidebb mérési idő

A mérőrendszerekkel a mérési feladatok elvégzéséhez szükséges idő jelentősen rövidült. Az automatikus mérés alkalmazásával a vezérlő számítógép önállóan elvégzi a tápláló és terhelő berendezések mérési folyamatnak megfelelő vezérlését, a mérési eredményeket kiértékeli és elektronikus formában rögzíti is.

Automatikus dokumentálás

Az automatikus mérés alkalmazásával a mérendő berendezéssel és a méréssel kapcsolatos összes információ, azaz a gyártási szám, mérési jellemzők (időpont, hely, mérést végző kolléga neve stb.) és az összes mérési eredmény (pl. a ténylegesen mért értékek, megfelelt/nem felelt meg állapotok stb.) egy elektronikus jegyzőkönyvben rögzítésre és mentésre kerül. A jegyzőkönyv tárolása a központi adatbázisban történik és szükség esetén bármikor előhívható, megtekinthető.

Kevesebb eszköz

A megvalósított mérőrendszerekkel a mérési feladatokhoz szükséges feszültség- és áramforrások (pl. toroid-transzformátorok, kis és nagyfeszültségű tápegységek), terhelések (pl. kis- és nagyobb teljesítményű terhelő ellenállások, tollóellenállások), mérőműszerek (pl. analóg feszültség- és árammérő műszerek, sőtellenállások, digitális multiméterek) száma jelentősen csökkent. A külféle feszültség- és árammérési feladatokat nagy pontossággal a mérőrendszer CONTUPQ részegységében lévő mérőmű végzi el.

A mérőrendszerekkel kapcsolatos részletes fejlesztési eredmények egy következő cikk témája lehet.

A PowerQuattro Zrt. 2018-ban a Versenyképes Közép-Magyarország Operatív Program (VEKOP) keretein belül pályázati támogatást nyert e cikkben bemutatott „intelligens mérőrendszerek” kifejlesztésére.

A **VEKOP-2.1.1-15-2016-00050** azonosító számú, **Elektronikus terhelésekkel kialakított, intelligens, energiahatékony mérőrendszerek és teljesítményelekttronikai eszközök hűtésére alkalmas hőcsöves hűtőrendszerek fejlesztése** című projekt, amely a **Nemzeti Kutatási, Fejlesztési és Innovációs Alapból** biztosított **Vállalatok K+F+I tevékenységének támogatása** pályázati program finanszírozásában valósult meg.



Ringler Csaba
fejlesztési csoportvezető
PowerQuattro Zrt.
MEE-tag
pqinfo@powerquattro.hu



Szűcs Attila
fejlesztőmérnök
PowerQuattro Zrt.
MEE-tag
pqinfo@powerquattro.hu