

NKE típusú napelemes kiserőművek fejlesztése a VHJ Kft.-ben

1. A projekt



Befektetés a jövőbe

Új Magyarország
FEJLESZTÉSI TERV

**HÁLÓZATHOZ CSATOLT NAPELEMES INVERTEREK
KIFEJLESZTÉSE FŐKÉNT HÁZTARTÁSI KISERŐMŰVEK
ENERGIAÁTALAKÍTÁSI CÉLJAIRA**

KMOP-1.1.4-09-2009

Kedvezményezett: V.H.J. Villamos Hajtások és Járműelektronika Kft.
Székhely: 1158 Budapest, Késmárk utca 14/B
Projekt időtartama: 2009.09.01 - 2012.02.28

Az Európai Unió és a Magyar Állam által nyújtott támogatás összege 20 000 000 Ft.



A projekt az Európai Unió támogatásával,
az Európai Regionális Fejlesztési Alap
társfinanszírozásával valósul meg.

ÚMFT infóvonal:
06 40 638 638
nfu@nfu.gov.hu
www.nfu.hu

1. ábra: A projekthez készült ÚMFT információs tábla

A VHJ Kft. 2009. végén az Új Magyarország Fejlesztési Terv keretében lehetőséget kapott háztartások villamos energia ellátására szolgáló napelemes inverterek fejlesztésére. A kiinduláskor másfél évesre tervezett projekt az időközben bekövetkezett gazdasági válság miatt két és fél év hosszúra nyúlt és most 2012. február végén fejeződött be.

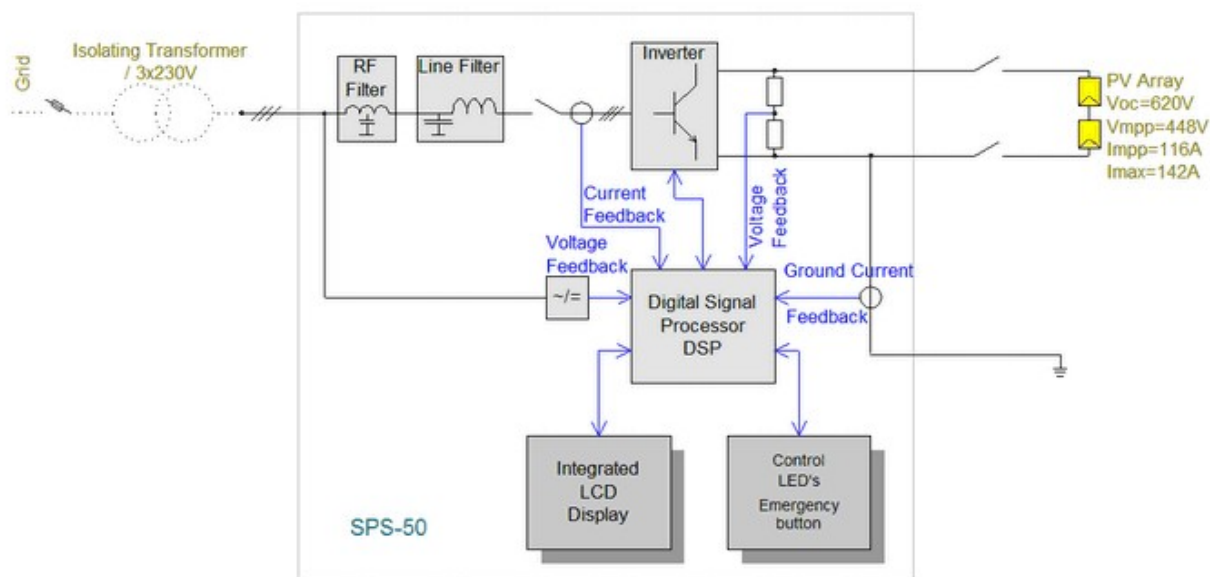
Jelen beszámoló keretében a fejlesztés menetét és az elért eredményeket ismertetjük azzal a céllal, hogy kis reklámot csapjunk az új fejlesztésünknek.

2. Előzmények

A projekt indulásakor volt már némi tapasztalatunk a napelemes rendszerek energiaátalakítóival és azok fejlesztésével kapcsolatosan, mivel korábban (a '90-es évek elején) - az akkori tulajdonos ösztönzésére - kifejlesztettünk egy napelemről táplált 1.5kW-os szivattyú hajtást és egy 50kW-os hálózatba betápláló invertert.

Az 50kW-os inverter Dél-Amerikában (Bocas Del Toro) és Észak-Amerikában (Sacramento) egy-egy kísérleti állomáson lett kipróbálva.

Lényeges megemlíteni, hogy az 50kW-os energiaátalakítót kétféle kivitelben készítettük el (SPS-50 típus és GPV-50 típus). Az áramköri felépítés és az egyes részáramkörök mindkét esetben azonosak voltak. Az átalakítók elvi felépítését a 2. ábra mutatja.



2. ábra: Az 50kW-os energiaátalakító elvi felépítése



3. ábra: Az SPS-50 típusú napelemes áramforrás

A 3. ábrán az SPS-50 típusú napelemes invertert láthatjuk, ami 1 db nagyobb szekrénybe szerelt és egyenköri kapcsoló nélküli kialakítás. Ilyen átalakítót 50kW és 150kW teljesítményű változatban készítettünk.

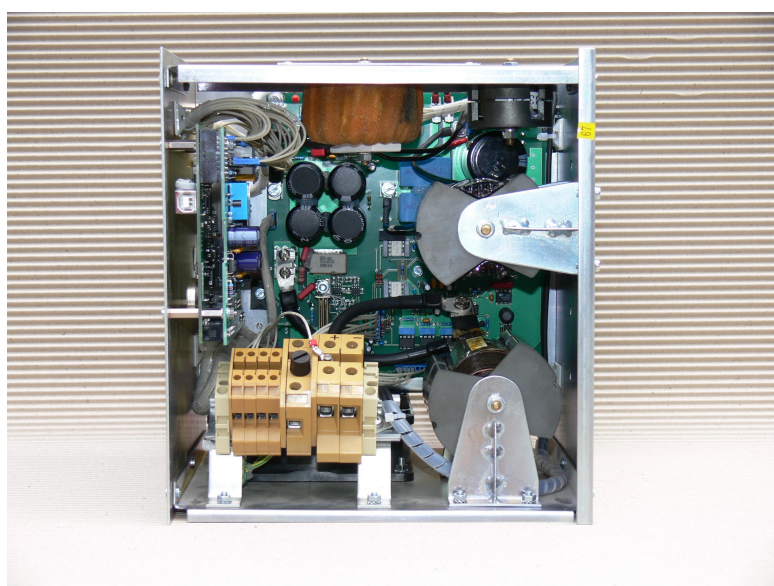


4. ábra: A GPV-50 típusú napelemes áramforrás

A GPV-50 típus 3 egységből áll, tartalmazza az egyenáramú és a váltakozó áramú hálózathoz szükséges csatlakozóegységet is, valamint analóg kijelző műszert. Ez a mechanikai kialakítás csak 50kW-os változatban készült (4. ábra).

A VHJ Kft. fő profilja különböző áramátalakítók készítése. A vasút számára korábban készítettünk egy 24V egyenfeszültségről működő 1.5kW-os invertert, ami a vasúti kocsikban 230V/50Hz-es feszültséget állít elő (5. ábra). Ebből a készülékből nagyobb mennyiséget értékesítettünk.

A háztartási napelemes inverter fejlesztés során felhasználtuk ennek a készüléknek egyes megoldásait és tapasztalatait is.



5. ábra: A HI 24/230-1500 típ. vasúti energiaátalakító (kisinverter)

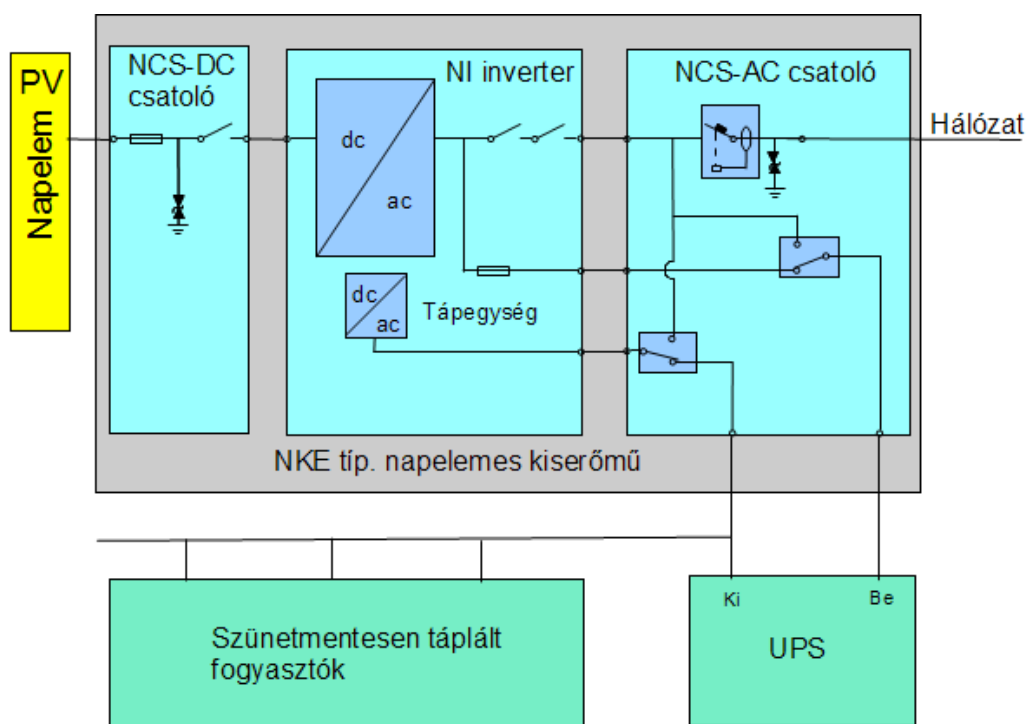
3. Célkitűzés

A projekt keretében olyan 1-5kW közötti készülék kifejlesztését céloztuk meg, amelyek elsősorban családi házakban telepíthetők. A piacon jelenleg kapható napelemes inverterek alapvetően két nagy csoportba sorolhatók: a hálózatra visszatápláló és szigetüzemben működő készülékek csoportjába.

Mivel a nap nem mindig és nem olyan erősséggel süt, mint amekkora a fogyasztás, a napelem által termelt energiát célszerű tárolni. Ez esetben, amikor a fogyasztás meghaladja a termelést, akkor a köztes tárolóból lehet a különbségi energiaigényt kielégíteni.

A hálózatra visszatápláló inverterek esetében a tároló maga a hálózat. A szigetüzemben dolgozó invertereknél erre a célra általában akkumulátort használnak. A hálózatra tápláló inverterek hátránya, hogy ha nincs hálózat akkor működésképtelenek, ill. az áramszolgáltatók szigorúan előírják, hogy ilyenkor lekapcsolódjanak a hálózatról. A szigetüzemi inverterek esetében pedig a fogyasztók olyankor sem kapcsolódnak a hálózathoz, amikor van hálózat.

A mi célunk az volt, hogy olyan rendszert alakítsunk ki, amely hálózatra tápláló üzemben működik, ha van hálózat, és szigetüzemiként működik ha nincs.



6. ábra: Az NKE típusú napelemes kiserőmű felépítése

Az NI inverter egy NCS-DC csatoló egységen keresztül kapcsolódik a napelemhez. A csatoló egység túlfeszültség levezetőt, biztosítót és leválasztó kapcsolót tartalmaz. A hálózathoz pedig egy NCS-AC csatoló egységen keresztül kapcsolódik. Az AC csatoló egység túláram és túlfeszültség védelmet, valamint egy átkapcsoló egységet tartalmaz.

Ha van hálózat, akkor a napelem által termelt energiát az NI inverter visszatáplálja a hálózatra. A hálózatról pedig egy UPS töltődik. A UPS kimenetén pedig a szünetmentesen táplált fogyasztók vannak. Ha elmegy a hálózat és süt a nap, akkor az NI inverter egység automatikusan leválasztódik a hálózatról és a UPS egységet kezdi táplálni. Így jelentősen megnövelhető a UPS egység átfogási ideje.

4. Feladatok

4.1. Napelemes áramforrás



7. ábra: A VHJ Kft. telephelyén a tetőre felszerelt napelemes áramforrás

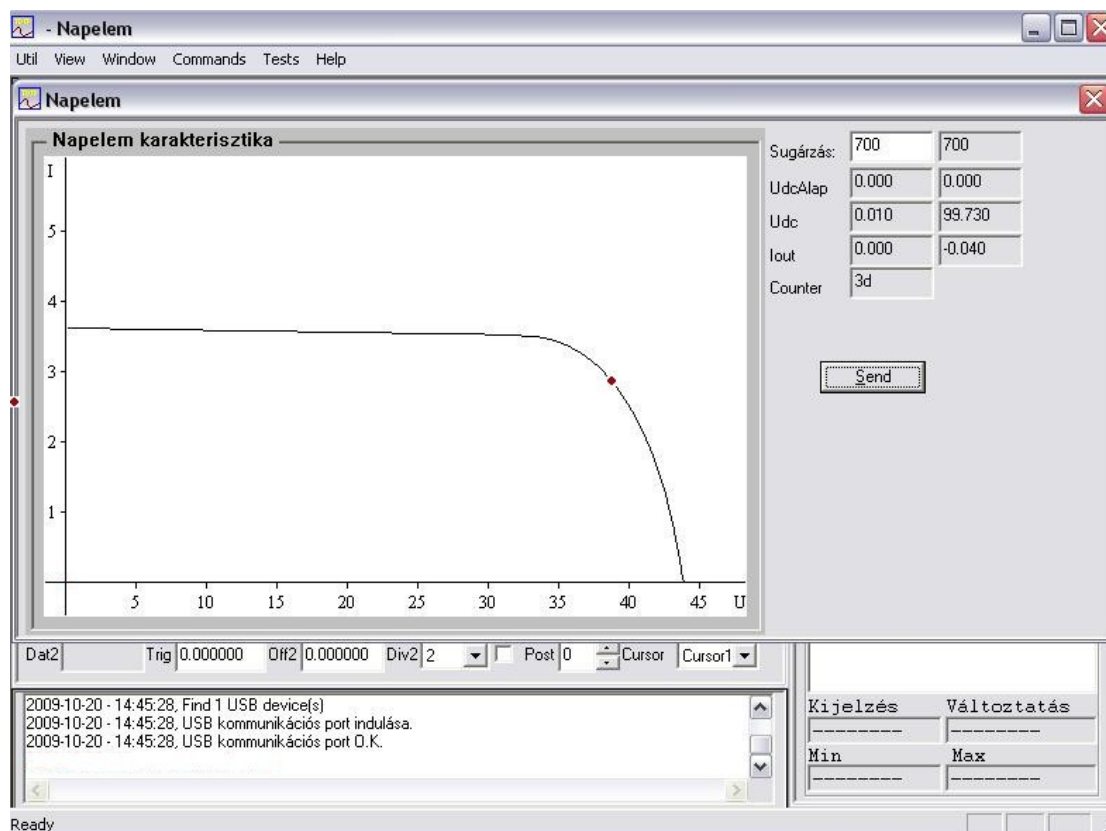
A projekt keretein belül egyik elsődleges célul azt tűztük ki, hogy kiépítsünk egy napelemes villamos energiaforrást. Ehhez napelem táblákat vásároltunk, amelyekből 2500 W névleges teljesítményű napelemes áramforrás összeállítására nyílt lehetőség, és ez a VHJ Kft. telephelyén, a háztetőre felszerelésre került. Az áramforrás 14 db napelem táblából áll és 2 párhuzamos ágban (string) 7-7 db tábla soros kapcsolásával lett kiépítve. Így a forrás üresjárási feszültsége 315 V, üzemfeszültsége 220...280 V, terhelhetősége kb. 6 A/string. Kapcsolódási pontját a VHJ Kft. szakemberei a Kft. nagyáramú mérőcsarnokában alakították ki oly módon, hogy az egyes stringek függetlenül kapcsolhatók legyenek a csatlakozó fogyasztó (PV inverter) energia-igényétől függően. Emellett a fogyasztó túlfeszültség-védelme is megvalósult, kimondottan napelemes rendszerekhez ajánlott túlfeszültség-levezetők beépítésével.

4.2. Napelem szimulátor

A napelem karakterisztikája (feszültség – áram) a besugárzás mértékétől és a hőmérséklettől függ. A karakterisztika nemlineáris. Azzal a céllal, hogy a megépített rendszereket olyankor is tudjuk próbálni, amikor nincs kellő mértékű napenergia a telepített áramforrásból, kifejlesztettünk egy olyan tápegységet, amelynek a kimeneti karakterisztikája a napelem karakterisztikáját szimulálja.

A fejlesztésnél az alábbi főbb paramétereket céloztuk meg:

- $P_n = 5\text{kW}$
- $U_{be} = 3 \times 400\text{V}/50\text{Hz}$
- $U_{ki} = 100 \dots 350\text{V}$
- $I_{ki} = 0 \dots 25\text{A}$
- $I_{kin} = 20\text{A}$
- $dI_{ki} < 0.5\text{A}$
- a kimenet zárlatbiztos legyen és számítógépről lehessen különböző besugárzási értékeket beállítani



8. ábra: A VHJ Kft. telephelyén a tetőre felszerelt napelemes áramforrás karakterisztikája

A napelem szimulátor rövid leírása:

A szimulátor a háromfázisú hálózati feszültségből egyenirányítás után egy buck-boost DC/DC átalakítóval állítja elő a kimeneten az előírt feszültséget. A szimulátor feszültségálapjelét egy célprogram számítja ki három, a szimulátorban tárolt U-I jelleggörbe (1000W/m^2 , 800W/m^2 ill. 600W/m^2 megvilágítás) és a PC-n megadható besugárzás függvényében az alábbi módon:

- a PC-s programban megadjuk meg a besugárzás értékét és érvényesítés után a PC-s program ezt az értéket átküldi a szimulátorba,
- a szimulátor a letárolt jelleggörbékéből lineáris közelítéssel kiszámítja a megadott besugárzásnak

- megfelelő aktuális U-I jelleggörbét,
- a szimulátor a mért kimeneti áram függvényében kiszámítja az aktuális jelleggörbének megfelelő feszültség alapjelet,
- a besugárzás változásának meredeksége korlátozható, így szimulálható pl. egy felhő megjelenése és eltűnése.



9. ábra: A VHJ Kft. által fejlesztett napelem szimulátor

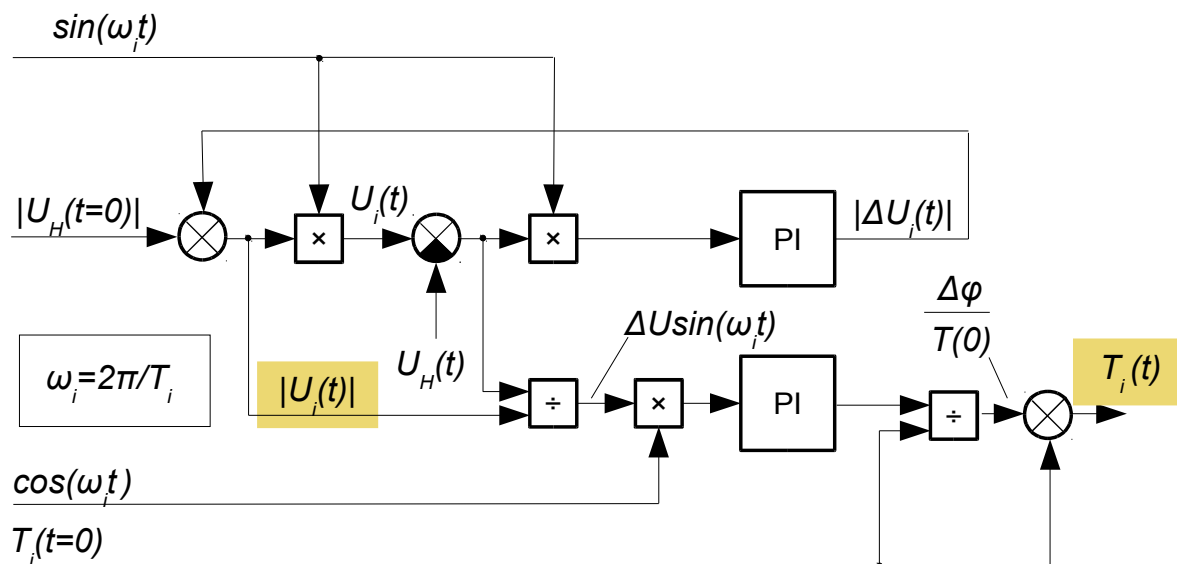
A 9. ábrán láthatjuk a napelem szimulátort, amellyel a fejlesztés során időjárástól függetlenül lehetőségünk volt a kiserőművek tesztelésére. Mindemellett nagy előnye még a napelemes áramforrással szemben az, hogy a névleges kimeneti teljesítménye 5kW, így a legnagyobb teljesítményű kiserőmű (NKE-5000) névleges terhelési viszonyait is vizsgálni tudtuk. Ez főként az inverter melegevése és hűtése szempontjából volt lényeges.

4.3. Szinkronizálás a hálózathoz

A hálózathoz szinkronizáláshoz egy gyors algoritmus segítségével identifikáljuk, előállítjuk a hálózati feszültség alapharmonikusának időfüggvényét. Az algoritmus külön szolgáltatja az amplitúdót és a fázisszöget. Induláskor az NI inverter ugyanakkora amplitúdójú és ugyanolyan fázisszögű feszültséget szolgáltat, mint a hálózat, így az első pillanatban nem fog áram folyni. A későbbiekben pedig ezt az identifikált jelet használjuk fel visszatápláláskor az áram alapjel képzéséhez.

A szinkronizáláshoz a hálózati feszültséggel megegyező $|U_i|$ amplitúdójú, ω_i frekvenciájú és fázishelyzetű szinusz referencia feszültséget $U_i(t)$ állítunk elő. A referencia amplitúdó és frekvencia alapján be tudjuk állítani az inverter átalakító modulációját oly módon, hogy a kimeneti feszültség alapharmonikusa minden időpillanatban megegyezzen a hálózati feszültség alapharmonikusával.

Az $|U_i(t)|$ amplitúdót és az ω_i frekvenciát, pontosabban a T_i periódusidőt a 10. ábrán látható identifikációs algoritmussal állítjuk elő. Ahhoz, hogy az amplitúdót és a szög, illetve periódusidő értéket külön-külön elő tudjuk állítani, az $U_i(t) - U_H(t)$ hibajelet szét kell választanunk amplitúdó és fázisszög hibára. Ezt szinusz ill. koszinusz időfüggvénnyel való súlyozással valósítjuk meg. (A szinusz függvénnyel való súlyozás az amplitúdó hibát, a koszinusz függvénnyel való súlyozás pedig a fázishibát emeli ki).



10. ábra: A hálózati feszültség identifikálása

Az algoritmust az $|U_H(t=0)|$ és $T_i(t=0)$ előzetesen megmért kezdeti értékekkel indítjuk.

A tapasztalat szerint ez az algoritmus igen gyorsan és pontosan megadja a hálózati feszültség amplitúdóját és periódusidejét (fázisszögét).

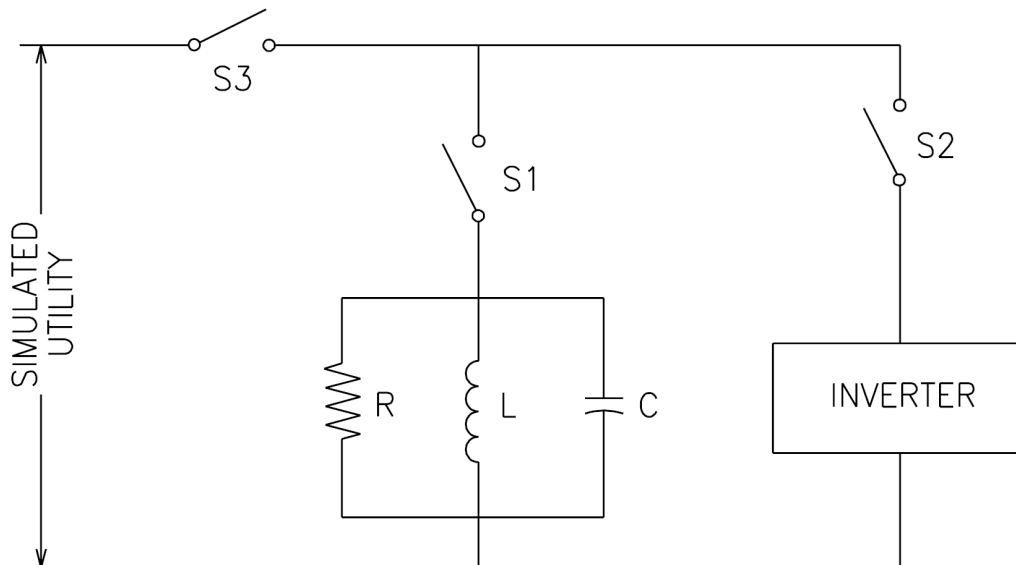
4.4. Szigetüzem elleni védelem

Az áramszolgáltatók nagyon szigorú feltételeket állítanak a hálózat megszűnése esetén. A kiserőműnek ilyenkor 200 msec-on belül le kell kapcsolódnia a hálózatról, még akkor is, ha látszólag ez nem érzékelhető (ld. teszt kapcsolás). Ha a terhelő LC rezgőkör pontosan a hálózati frekvenciára hangolt, akkor a napelem által szolgáltatott energia éppen fedezi az ellenállás fogyasztását. Ilyenkor a hálózatba és a hálózatból sem folyik áram, az S3 kapcsoló árammentes. Ha megszűnik a hálózat - tehát az S3 kapcsolót megszakítjuk -, akkor semmi sem változik, az inverter táplálja tovább a fogyasztókat, amit meg kell megakadályozni! Mi a feladatot az áram fázisszögének kismértékű 5Hz-es lengetésével oldottuk meg. Ha van hálózat, akkor ez nem befolyásolja a frekvenciát, ha nincs, akkor változni fog a frekvencia, elhangolódik a rezgőkör és ezt érzékeljük, mivel a feszültség is megváltozik.

Ha a hálózat zárlat miatt esik ki, akkor ez az $U_H < U_{H\min}$ figyelésével egyszerűen érzékelhető.

Nagyobb problémát jelent, ha hálózati lekapcsolás történik. Ilyenkor a visszatápláló berendezés (kiserőmű) fenntartja a hálózati feszültséget, így önmagában a hálózati feszültség figyelésével nem dönthető el, hogy van hálózat, vagy nincs.

Az UL1741 szabvány a szigetüzem érzékelésére a következő vizsgálati kapcsolást és eljárást írja elő:



11. ábra: Szigetüzem elleni védelem működésének vizsgálati módja

ahol:

- az R ellenállás legyen az inverter 25%, 50%, 100%, 125% névleges terhelésének megfelelő érték,
- az L induktivitás legyen: $L = \frac{U^2}{2\pi \times f \times P \times Q}$ [H],
- a C kapacitás legyen: $C = \frac{P \times Q}{2\pi \times f}$ [F],
- U a hálózat feszültsége [V],
- P a hatásos teljesítmény [W],
- $Q \leq 2.5$ a rezgőkör jósági tényezője és
- f a hálózati frekvencia [Hz].

A fenti képletek segítségével meghatározott rezgőkör rezonanciafrekvenciája megegyezik a hálózati frekvenciával.

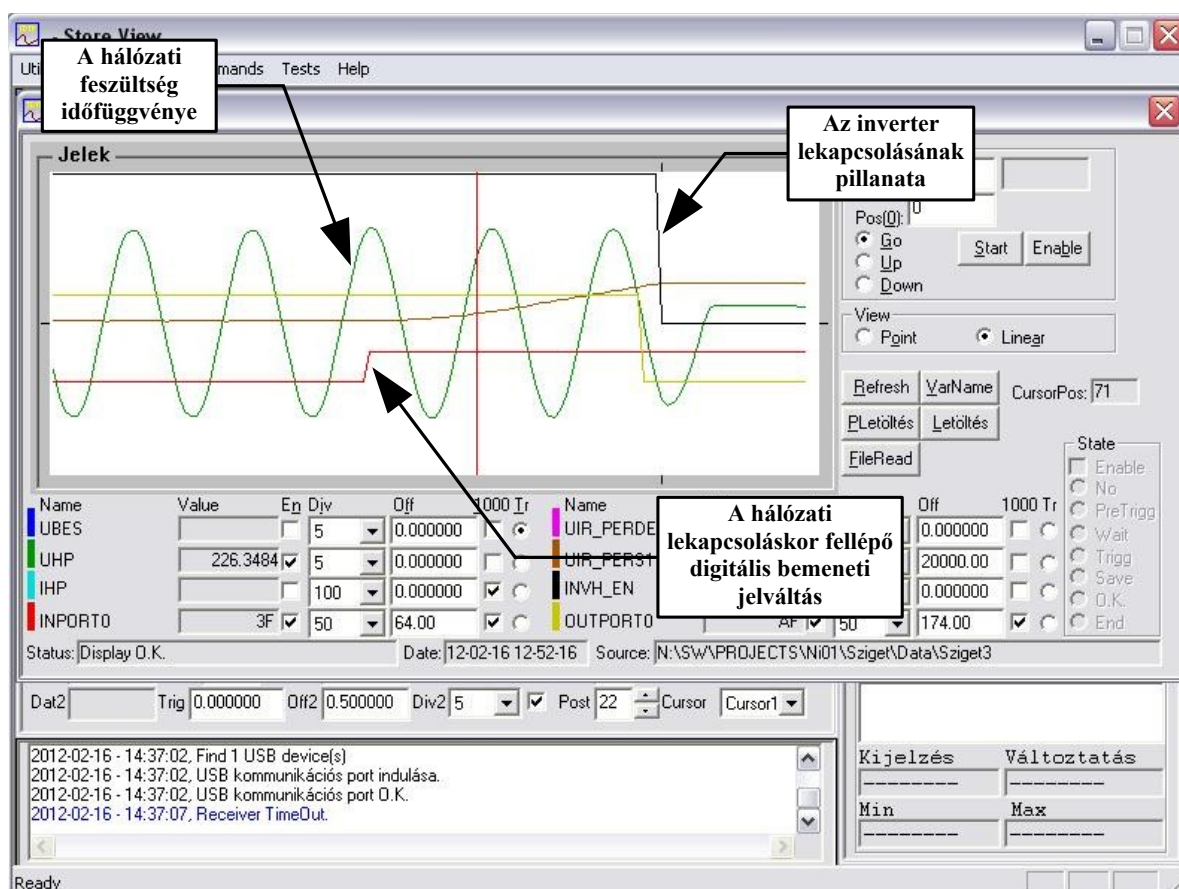
A vizsgálatot a következő módon kell elvégezni: bekapcsoljuk az S1, S2, S3 kapcsolót, a tranziensek lezajlása után az inverter által visszatáplált áramot úgy kell beállítani, hogy az S3 kapcsolón ne, vagy csak minimális áram (a névleges kimeneti áram 1%-ánál kisebb) folyjon. Ezután bontjuk az S3 kapcsolót. Az inverternek 200 msec-on belül érzékelnie kell, hogy megszűnt a hálózat és az S2 kapcsoló kikapcsolásával meg kell szüntetnie az energiaszolgáltatást.

Egy ilyen vizsgálati eljárás eredményét szemlélteti a 12. ábra.

A diagramon az alábbi jeleket tüntettük fel:

- zöld színnel a hálózati feszültség időfüggvényét,
- piros színnel a hálózati lekapcsoláskor fellépő digitális bemeneti jelváltás időpontját,
- kék színnel pedig az inverter lekapcsolásának időpontját.

Jól látható, hogy a hálózati lekapcsolástól számítva kicsit több, mint 2 hálózati periódus eltelte (40 msec) után lekapcsol az inverter.



12. ábra: Szigetüzem érzékelése NKE-1250 típusú kiserőműnél

Az NKE típusú kiserőműveknél a hálózat kiesés érzékelésére a „meddő energia lengetésének módszerét” alkalmaztuk.

Ez a következő módon működik: a hálózati feszültség és az áram közötti φ szöget nulla fok körül néhány fok amplitúdóval és néhány Hz-es frekvenciával lengetjük. Visszatápláláskor a meddő energiát a hálózat veszi fel, illetve szolgáltatja. Ha megszakítjuk a kapcsolatot a hálózattal, akkor a meddő energiát csak úgy tudja leadni, ill. felvenni az inverter, ha a frekvencia megváltozik. Ezt a változást érzékelve lekapcsolunk.

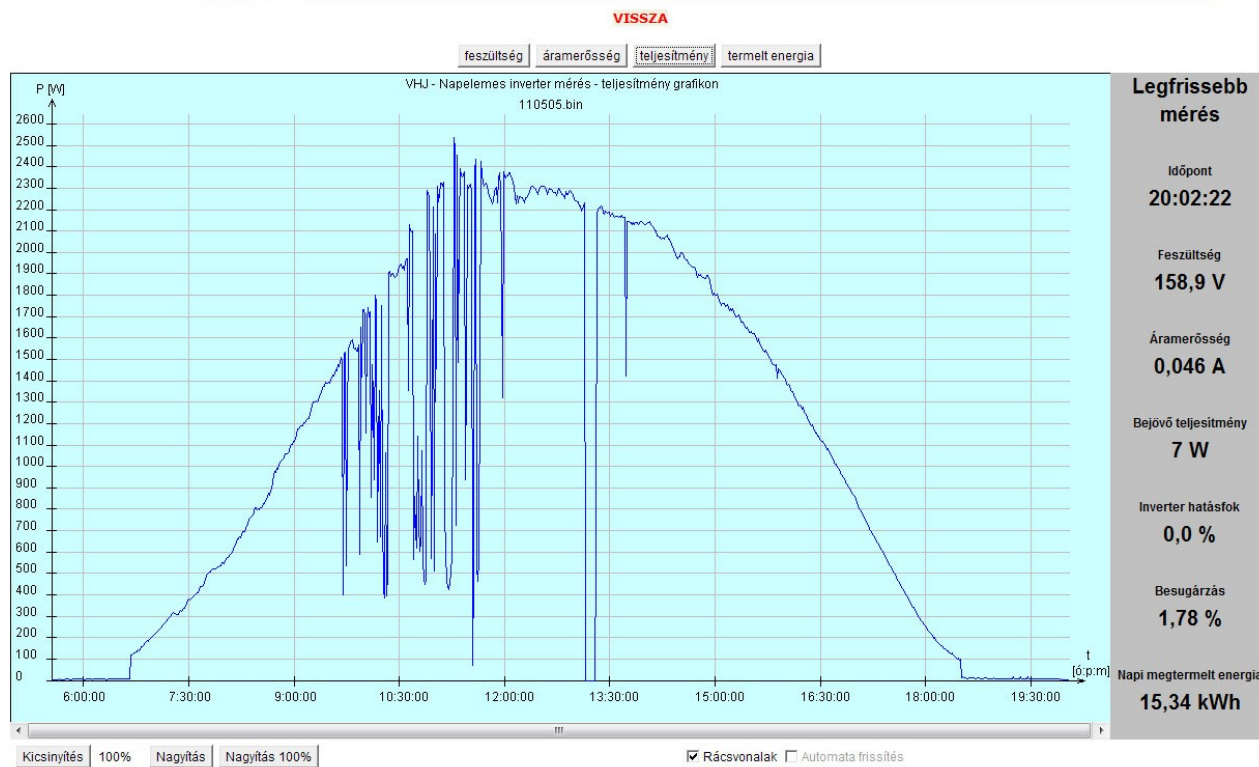
4.5. Szoftver biztonság

A szabvány előírja, hogy egyszeres hiba esetén sem következhet be hibás működés. Tehát pl. ha hibás az áram, vagy feszültség érzékelés, akkor is le kell választódnia a hálózatról annak megszűnése esetén. Emiatt duplikáltuk az érzékelő és beavatkozó szerveket és a kiértékelést is egy külön független proceszoros egység végzi, amit NetGuard-nak nevezünk. A szabályozás és vezérlést végző fő proceszoros egység és a NetGuard soros vonalon keresztül folyamatosan figyeli a másik működését és hiba esetén lekapcsol. A lekapcsolás is duplikálva van.

4.6. Adatgyűjtés

A valós viszonyok közötti működést napelemről való táplálás esetén vizsgáltuk. Ehhez 2×1250W-os napelemes energiaforrást telepítettünk a tetőre. A főbb paramétereket, (napelem feszültség, áram, teljesítmény, visszatáplált energia stb.) folyamatosan mértük és a mérési eredményeket on-line feltettük az internetre. A 13. ábrán egy NKE-2500 típusú kiserőmű által a hálózatba visszatáplált teljesítményt láthatjuk 1 napos viszonylatban.

VHJ. Villamos Hajtások és Járműelektronika Kft.



13. ábra: A kiserőmű által a hálózatra táplált teljesítmény alakulása 1 napi viszonylatban

Az ábra jól szemlélteti a kiserőmű üzemét: a reggeli indulás kb. 6:45-kor történt, majd folyamatosan emelkedett a teljesítmény a megvilágítás növekedésekor. A kb. 10:00 és 12:00 közötti időszakban többször visszaesett a teljesítmény, ez a felhők mozgása miatt lehetett, majd a délutáni megvilágítás csökkenésével (a napállás változásával) arányosan csökkent a betáplált teljesítmény is. A napenergia 100W érték alá esésekor a kiserőmű kikapcsolt (kb. 18:30).

A jobb oldali adatfelület a kurzor aktuális helyének megfelelő időpontban mért pillanatértékeket mutatja. A gyűjtött adatok folyamatos tárolásra kerülnek és a www.inverter.co.hu honlapon az aktuális napra, valamint visszamenőlegesen is megtekinthetők.

5. A megvalósított berendezések

Az **NKE típusú napelemes kiserőművek** a napelem(ek) által termelt energia közcélú hálózatra való betáplálására, valamint szünetmentes tápegység (UPS) hálózati táplálására alkalmas energiaátalakító berendezések. A kiserőművek bemenetére 200...350V névleges feszültségű napelemek csatlakoznak, amelyből az egyes típusok eltérő névleges teljesítményen 230V effektív értékű, 50Hz frekvenciájú szinuszos feszültséget állítanak elő. Emellett mindegyik készülék alkalmas arra is, hogy hálózatkimaradás esetén a meglévő napenergiát a szigetüzemű kimenetre csatlakoztatott, on-line üzemű szünetmentes tápegység (UPS) ellátására fordítsa. Ily módon a hálózat kimaradása esetén lényegesen meghosszabbítható az UPS egység áthidalási ideje.

A kiserőművek fejlesztése két irányban indult: az 1250W-os készüléknél FET-es, a 2500W-os és 5000W-os készüléknél IGBT-s kapcsolóelemeket céloztunk meg. Elkészítettük mindegyik teljesítményű készülék labor- és mintapéldányait, amelyeken sokféle mérést elvégeztünk. Az 1250W-os készülék laborpéldányának és első mintapéldányának tapasztalatai azonban azt mutatták, hogy a FET-es megoldás

helyett célszerűbb itt is IGBT-modult használni. Ily módon mindhárom kiserőmű (NKE-1250, NKE-2500, NKE-5000) azonos mechanikai és áramköri kiépítésben készült el, eltérés csak a főköri elemek típusaiban, ill. értékeiben van.

A kiserőművek két egységből állnak: az NI inverterből és az NCS csatoló dobozból. Az inverter végzi az energiaátalakítást, a csatoló doboz pedig illesztést ad a napelem és a hálózat irányában. Az inverter mechanikai kialakítása olyan, hogy a főkör (erősáramú részek) és a vezérlőkör (áramköri kártyák) külön térben helyezkedik el és így módon szétválasztott. A csatoló doboz csatlakozási lehetőségeket biztosít a napelem felé (szabványos csatlakozókkal) és a hálózat ill. a szigetüzemű kimenet felé (sorkapcsokon keresztül). Tartalmazza a túlfeszültség és túláram védelmeket, valamint a rendszer be- és kikapcsolása is itt történik.

A kiserőművek előlapján elhelyezett 4 db LED, valamint az opcionálisan választható LCD kijelző felvilágosítást ad az inverter aktuális üzemállapotáról és működéséről. A kijelző menürendszerben működik, így a felhasználó információt kaphat a napelemoldali, a hálózatoldali feszültség és áram aktuális effektív értékéről, valamint a betáplált teljesítményről és megtermelt energiáról is.

Az NKE sorozatú kiserőművek műszaki adatai:

<i>Egyenáramú bemenet a napelemhez való csatlakozáshoz</i>			
Típus	NKE-1250	NKE-2500	NKE-5000
Maximális bemeneti teljesítmény	1650W	3250W	5500W
Maximális bemeneti feszültség	400V		
Minimális bemeneti feszültség	200V		
Névleges bemeneti feszültség-tartomány	200-350V		
Maximális bemeneti áram	6.5A	11A	20A

<i>Váltakozóáramú kimenet a hálózati betápláláshoz</i>			
Típus	NKE-1250	NKE-2500	NKE-5000
Névleges kimeneti teljesítmény	1250W	2500W	4500W
Maximális kimeneti teljesítmény	1500W	3000W	5000W
Maximális kimeneti áram	6.5A	13A	22A
Névleges kimeneti áram	5.5A	11A	20A
Névleges feszültség/frekvencia	230V ± 10%/50Hz ± 1Hz		
Teljesítmény tényező	> 0.9, ha $P_{AC} > 0.5 \cdot P_{ACn}$		
Harmonikus torzítás	< 4%, ha $K_{uGrid} < 2\%$, $P_{AC} > 0.5 \cdot P_{ACn}$		
Hálózati csatlakozás	egyfázisú		

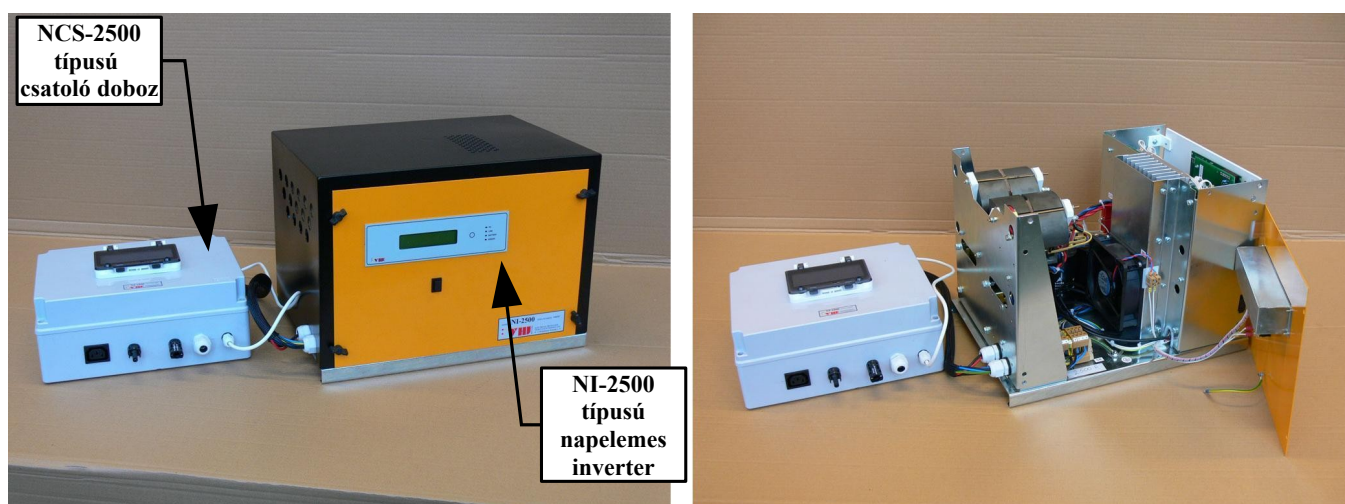
<i>Váltakozóáramú kimenet a szigetüzemhez</i>			
Típus	NKE-1250	NKE-2500	NKE-5000
Maximális kimeneti teljesítmény	1000W		
Névleges kimeneti teljesítmény	800W		
Maximális kimeneti áram	4.5A		
Névleges feszültség/frekvencia	230V $\pm$ 10%/50Hz $\pm$ 1Hz		

<i>Általános adatok</i>				
Típus		NKE-1250	NKE-2500	NKE-5000
Maximális hatásfok		92%		
Éjszakai fogyasztás napelemből		max. 5W		
Éjszakai fogyasztás hálózatról		0W		
Méret (szélesség/magasság/mélység)	NI	420×300×300mm	420×300×300mm	420×300×300mm
	NCS	300×125×220mm	300×125×220mm	300×125×220mm
Súly	NI	21.2kg	27kg	31.2kg
	NCS	2.3kg	2.3kg	2.3kg
Klimatikus viszonyok		Beltéri kivitel		
Védettség	NI	IP 20	IP 20	IP 20
	NCS	IP 34	IP 34	IP 34
Működési hőmérséklet tartomány		-5...+40°C		
Tárolási hőmérséklet tartomány		-25...+55°C		
Érintésvédelmi osztály		I.		

Képek az NKE sorozatú napelemes kiserőművekről:



14. ábra: Az NKE sorozatú napelemes kiserőművek inverterei



15. ábra: NKE-2500 típusú napelemes kiserőmű

Budapest, 2012.02.28

Készítette: Szücs Attila

Ellenőrizte: Weiner György