

**HIGH RELIABILITY,
UNIAXIAL PHOTOVOLTAIC
VOLTAGE SOURCE****NAGY MEGBÍZHATÓSÁGÚ, EGY
TENGYELY MENTÉN FORGATHATÓ
FOTOVOLTAIKUS FESZÜLTSEGFORRÁS**BESZÉDES Bertalan¹ - GYÖRÖK György²**Abstract**

The aim of this study, which processes domestic and foreign sources, is to present the development possibilities of photovoltaic, off-grid equipment that can be used successfully in industrial and civil areas, requiring high reliability in terms of energy security. After introducing the topic, I will write about the possibility of increasing the availability of the power source, and then I will describe an efficiently usable construction. In a separate subchapter I deal with the energy demand of the technical equipment, the possibility of energy storage and the monitorability of the equipment. To conclude my study, I discuss the end-user parameterization of application-dependent modes.

Keywords

fotovoltaikus, szigetüzemű, egytengelyű forgatás, rendelkezésre állás, megbízhatóság, modularitás

Absztrakt

Hazai és külföldi forrásokat feldolgozó tanulmány célja, hogy a nagy megbízhatóságot igénylő, ipari és polgári területeken eredményesen használható, fotovoltaikusán táplált, szigetüzemű berendezések fejlesztési lehetőségeit mutassa be, az energiabiztonság szempontjából. A téma bevezetését követően a tápellátás rendelkezésre állásának növelési lehetőségéről írunk, majd ismertetünk egy hatékonyan alkalmazható konstrukciót. Külön alfejezet foglalkozik a műszaki berendezések energiaigényével, az energia tárolás lehetőségével és a berendezés monitorozhatóságával. A tanulmány zárásaként az alkalmazási területtől függő működési módok végfelhasználó általi paraméterezhetőségéről esik szó.

Kulcsszavak

photovoltaic, off-grid, uniaxial rotation, availability, reliability, modularity

¹ beszedes.bertalan@uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0002-9350-1802 | assistant professor, Óbuda University Alba Regia Technical Faculty | egyetemi tanársegéd, Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar

² gyorok.gyorgy@uni-obuda.hu | ORCID: 0000-0003-3668-7855 | professor, Óbuda University Alba Regia Technical Faculty egyetemi tanár, Óbudai Egyetem Alba Regia Műszaki Kar

BEVEZETÉS

A napenergia elektromos árammá történő átalakítása lehetővé teszi, hogy a hálózati villamos energiától függetlenül is legyen lehetőség a villamos energia megtermelésére a felhasználás helyén. A technológia alkalmazása nagyban elősegíti az olyan objektumok villamos energiával történő ellátását, melyek elhelyezkedésükből adódóan nem csatlakoztathatnak a villamos hálózatra. A felhasználás jellemző területei a természetvédelmi területek, vadgazdálkodási területek, nagy kiterjedésű mezőgazdasági területek, nagy területű állattartó vagy állattenyésztő területek, ipari csővezetékek nyomvonalai, infrastruktúrától távol elhelyezkedő vízügyi erőforrások, stb. Az ilyen jellegű területek és vagyontárgyainak védelme, valamint azok működőképességének detektálása különösen fontos, - kiemelt jelentőségűek a kritikus infrastruktúrákhoz sorolt szektorok.

A jelenlegi energetikai rendszernek nem feltétele a centralizált hálózat. A szakemberek nagy mennyiségű erőforrás felhasználásával, fejlesztik a megújuló energiaforrásokat. A fejlesztések eredményeként már polgári célra is elérhetőek olyan napenergiát hasznosító megoldások, amelyek képesek épületek vagy berendezések villamos tápellátásának biztosítására. Jelen kutatás a nagyobb teljesítményű ipari napelemes rendszerekre, illetve a koncentrált napenergia hasznosításra nem tér ki.

SZIGETÜZEMŰ NAPELEMES RENDSZEREK

A napenergiát felhasználó, villamos energiát előállító rendszerek csoportosíthatóak aszerint, hogy képesek-e a villamos hálózatra visszatáplálni. A szigetüzemű tápellátást biztosító rendszerek, a villamos hálózattól függetlenül látják el feladatukat, a kutatás alkalmazási területéből adódóan az önálló működésre is képes rendszereket vizsgálom. Az előállított villamos energia szempontjából léteznek egyenáramot, illetve váltakozó áramot előállító sziget üzemben működő, napenergiát hasznosító rendszerek. A napelemek, az akkumulátor töltő, a DC/DC konverter és az inverter jelentős mértékben meghatározza a rendszer teljesítményét, hatásfokát és egyéb üzemi paramétereit [1].

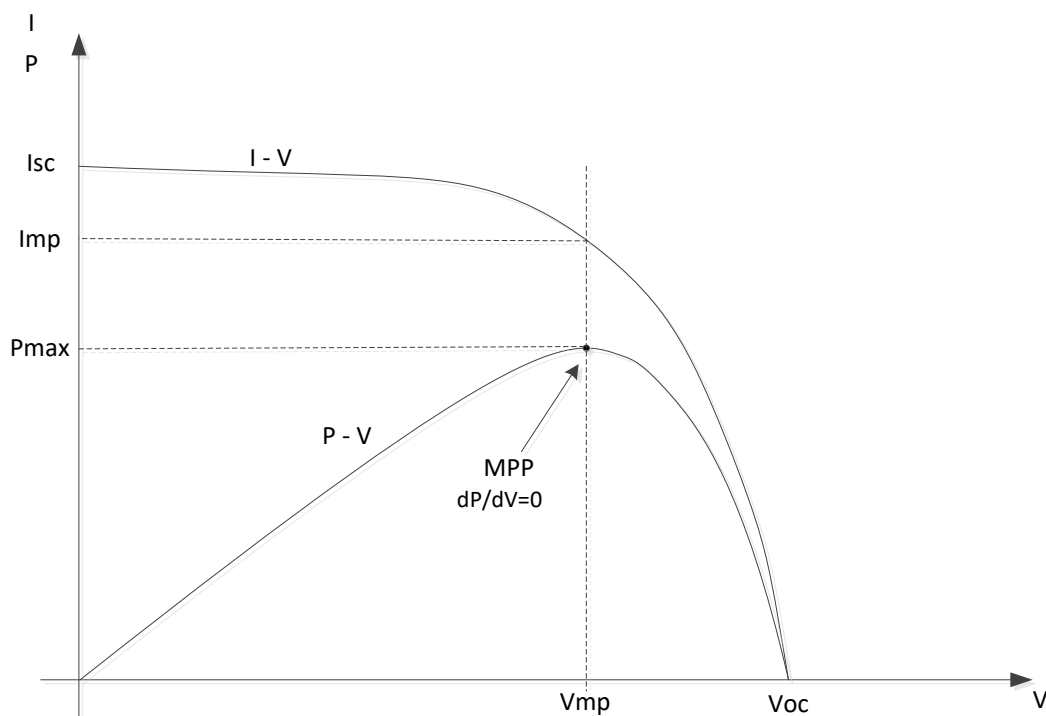
A rendszer a napelemek segítségével megtermelt energiát az akkumulátorokban, mint töltés tárolására képes egységekben raktározza el. Az energiaforrásból érkező- vagy az akkumulátorban eltárolt energiát a tápellátó rendszerre csatlakoztatott berendezés fogja felhasználni.

Az akkumulátor töltésére alkalmazott áramkör feladata illeszteni a napelem paneleket az akkumulátorhoz. Ez esetben szükséges figyelembe venni a napelem terhelésének optimalizálását, valamint az akkumulátor típusához illeszkedő töltési módokat. A különböző technológiákkal gyártott akkumulátorok különböző töltési diagramokkal rendelkeznek, ezeknek be nem tartása a rendszer elem élettartamának nagy mértékű csökkenését eredményezhetik.

A terhelés meghajtására hivatott áramkör feladata illeszteni az akkumulátor feszültségét a terhelés bemeneti feszültségigényéhez. Egyenáramú meghajtás esetében egy DC/DC konverter, váltakozó feszültségű kimenet esetében egy inverter alkalmazása szükséges. Szigetüzemű tápellátás és inverteres kimeneti fokozat esetében, a hálózati 50Hz-es frekvencia és az inverter kimeneti frekvenciájának szinkronizálása nem szükséges. Az inverter kimeneti feszültségének jelalakja esetében erőteljesen ajánlott a tisztán szinuszos jelalak, a meghajtott terhelés hosszabb élettartama érdekében.

FOTOVOLTAIKUS CELLÁK ÉS NAPELEM PANELEK ALKALMAZÁSA

A tápellátó rendszer számára a napelem panelek biztosítják az energiaellátást. A napelem panelek kimenete a megvilágítottságtól (napszaktól, évszaktól, felhőzettség-, illetve szennyezettség mértékétől) függően széles határok között változhat. A bemenő kör célja, a költség-hatékony kiépítés jegyében, a napelemek legjobb hatásfokkal történő kihasználása, ehhez a napelemeket illeszteni kell az azokat terhelő fokozathoz. A legnagyobb hatásfok eléréséhez, a napelem táblák teljesítmény illesztése szükséges. Az akkumulátor töltő elektronika feladata a napelem táblák munkapontjának beállítása, ehhez az MPPT3 töltési algoritmust alkalmazza (1. Ábra). Az akkumulátor töltő elektronikának képesnek kell lennie a beérkező széles határok között változó feszültség és áram értékek mérésére és kezelésére.



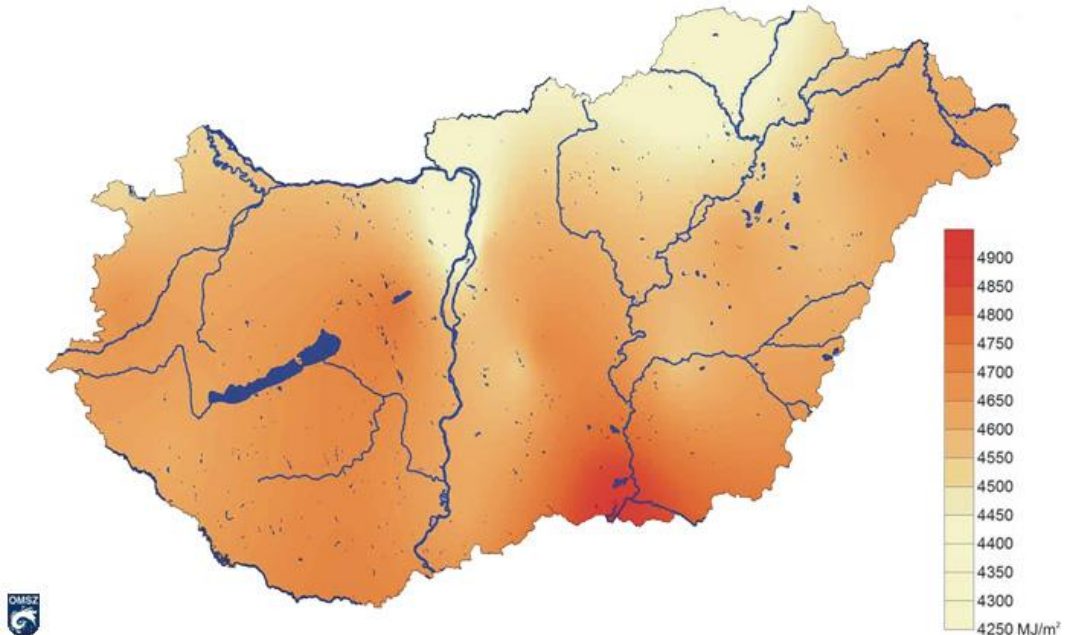
1. Ábra: Fotovoltaikus cellák karakterisztikája

NAPELEMEK ELHELYEZÉSE

Magyarország területe jó közelítéssel 90 000 km². Az ország több mint fele 200 méternél alacsonyabban fekszik, valamint a 400 méternél magasabb területek mennyisége kevesebb mint 2%. A fotovoltaikus panelek megfelelő tájolása lényeges a kinyerhető energia mennyisége szempontjából. A legnagyobb éves besugárzás az ország déli területeit jel-

³ MPPT - Max Power Point Tracking - maximális munkapont követés

lemzi (2. Ábra), ahol átlagosan meghaladja az évi 4500 MJ/m²-t. Derült időben a fölfel-színre beérkező energia mennyisége jó közelítéssel 1000 W/m² (a déli órákban), ami a fel-hősődés mértékétől függően lecsökkenhet 50-100 W/m²-re is.



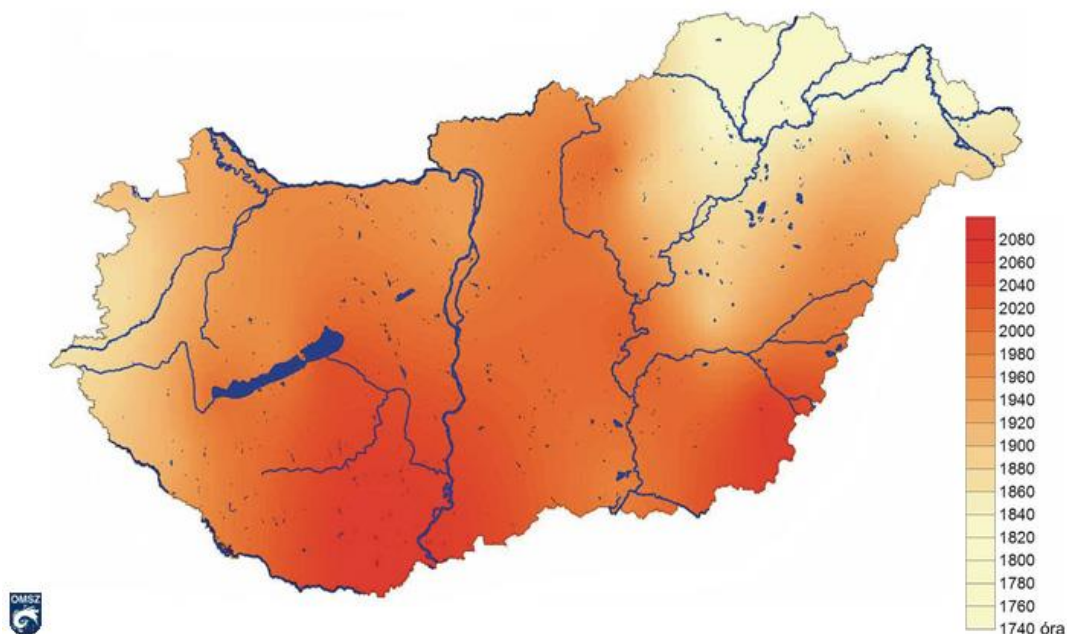
2. Ábra: Éves átlagos napenergia besugárzás mértéke 2000 és 2009 között (forrás: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/images/abra1.jpg)

A besugárzott napenergia mennyiségét nagy mértékben befolyásolja a domborzat és a felhőzet. A legmagasabb napsütéses órák száma (2000 h/év) a déli országrész területein található (3. Ábra). Az Országos Meteorológiai Szolgálat adatai alapján, az országrészek közötti eltérés hozzávetőlegesen 10%. Megjegyzendő, hogy télen a magasán fekvő területek közelítőleg 1,5-ször több napsugárzáshoz jutnak, mint az alacsony területek. Az alacsony területeket gyakran borító ködből a magasabb hegyek kiemelkednek, nyáron viszont csapadékosabbak az említett területek.

Magyarország az északi szélesség 45°45' és a 48°35' között helyezkedik el - nagyjából az Északi-sark és az egyenlítő között félúton – a szoláris éghajlati felosztás szerint a mérsékelt övben. A legnagyobb mértékű napenergia felfogásához a Nap sugarainak és a napelem táblának merőleges elhelyezkedése esetén van lehetőség, ebben az esetben a legalacsonyabb mértékű a visszatükröződés is.

Az előbbiekből adódóan, a napelemek dőlésszögének beállítása megközelítőleg 45°-os szögben javasolt felhelyezni, a forgató mechanizmus középállásában déli irányban - ebben az esetben biztosítható az optimális éves energiatermelés. A javasolt dőlésszög csak egy iránymutatás a teljes évre vonatkozó beállításhoz, mivel a nyári és téli időszakban eltérő a Nap pályájának magassága. Ez nyári időszakban, délben a közel vízszintes helyzetet jelenti, téli időszakban viszont ez lenne a legkedvezőtlenebb pozíció. A vízszinteshez képest,

nyáron célszerű lenne 36° -ra (19° és 42° közötti besugárzási szöghöz tartozó köztes beállítás) télen pedig 59° -ra (42° és 66° közötti besugárzási szöghöz tartozó köztes beállítás) beállítani a napelem panelek dőlésszögét. A 45° -os dőlésszög másik fontos momentuma, hogy a táblákra rakódott hó csak akkor tud távozni, ha a lejtés megfelelő, ennek okán nem javasolt a 40° -nál kisebb szögben történő elhelyezés.



3. Ábra: Éves átlagos napsütéses órák száma 1971 és 2000 között (forrás: https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/sugarzas/images/abra3.jpg)

Jelen kutatásba ismertetett megoldás törekszik a költségek és a rendszer hatásfokának optimalizálására is, valamint a robotsztus mechanikai kivitel megvalósítására, ezért csak a tengelyirányú forgató mechanikát alkalmazza.

A berendezés elhelyezését tekintve talajra helyezve az aljnövényzet és az esetleges fák koronája miatt nem lenne megfelelő a besugárzást, ezért javasolt kiemelni, valamint az esetleges kamerarendszernek is megfelelőbb, ha a magasságból figyelheti meg a terepet. Fás, erdős területen a megfelelő árbócmagasság a 10-15m lenne.

A hatásfok maximumára, a kiválasztott napelem gyártási technológiája is hatással van. A kristályos szilícium napelem egy a kereskedelmi forgalomban kapható megfizethető áru napelem technológia, az egyik legmagasabb hatásfokkal rendelkezik (20-24%). [3]

TELJESÍTMÉNYIGÉNY MEGHATÁROZÁSA

A kutatást támogató modellben, a környezet monitorozó rendszer, a video felvevő rendszerrel, a vezeték nélküli kapcsolattal, és az éjszakai infravörös fényt kibocsájtó LED-el, 24 órára vetítve, átlagosan 20W teljesítményigénnyel rendelkezik. Ez 24 óra leforgása alatt 480 Wh-nyi energia-mennyiséget jelent. 12V-os akkumulátorokat és rendszerfeszültséget alkalmazva ez 40Ah-nyi töltésmennyiség. Az alkalmazott akkumulátor technológia, a

környezeti hőmérséklet, és a várható gyengén napsütéses órák száma függvényében további korrekciók szükségesek.

Akkumulátorok esetében a belőlük kinyerhető töltésmennyiség megállapításakor, a maximális töltési és a minimális kisütési feszültség különbségének figyelembevételével is számolni kell. Javasolt az ipari alkalmazásra gyártott, kötött elektrolitú (zselés - gel), szeleppel ellátott, savas, zárt ólomakkumulátorok beépítése. A minőségi típusok a névleges feszültségük 20%-ára is károsodás nélkül kisüthetőek. A technológiát alkalmazva a feszültséglépcső 9,6V lehet, ami legalább 50Ah-s akkumulátor kapacitást jelent. [2]

30 év meteorológiai adatait figyelembe véve, magyarországi a nyári hónapokban nagyjából 4-szer több a napsütéses órák száma, mint a téli hónapokban. A téli -10°C -os környezeti hőmérséklet mellett az említett akkumulátor kapacitása nagyjából a 65%-ra esik vissza. Az említett üzemi körülmények a legridegebb alkalmazási környezetet feltételezik. A rendelkezésre állás biztosításának igénye függvényében, az akkumulátor kapacitásának növelésének mértéke meghatározható – ez mindenképpen a költségek növekedését vonja maga után.

REDUNDÁNS NAPELEM PANEL FIZIKAI KIÉPÍTÉSÉNEK LEHETŐSÉGE

A rendszer egyik kulcsfontosságú eleme maga a fotovoltikus komponens, a napelem. Ennek optimális elektronikus illesztéséről, mint releváns mérnöki problémáról már esett szó. A napelem működéséből adódó hibák kiküszöbölése a célzott feladat, a hatásfok növelésének egyik módja a Nap pályájának követése. [4] Sok cikk tárgyalta a napelem optimális helyzetét, két tengelyen követve a Nap pályáját. [5]

A kísérleti modell az irodalom alapján épül fel. A gyakorlatból vett probléma a napelemek szennyezése és károsodása, ezáltal a termelt energia csökkentése. A felhasználói tapasztalatok alapján ezek a szennyeződések lehetnek; szennyezett eső (por tartalommal), homokvihar (szél által szállított por), ipari szennyezés, mezőgazdasági tevékenységből származó szennyeződés, biológiai szennyezés (rovarok, madarak, állatok), stb.

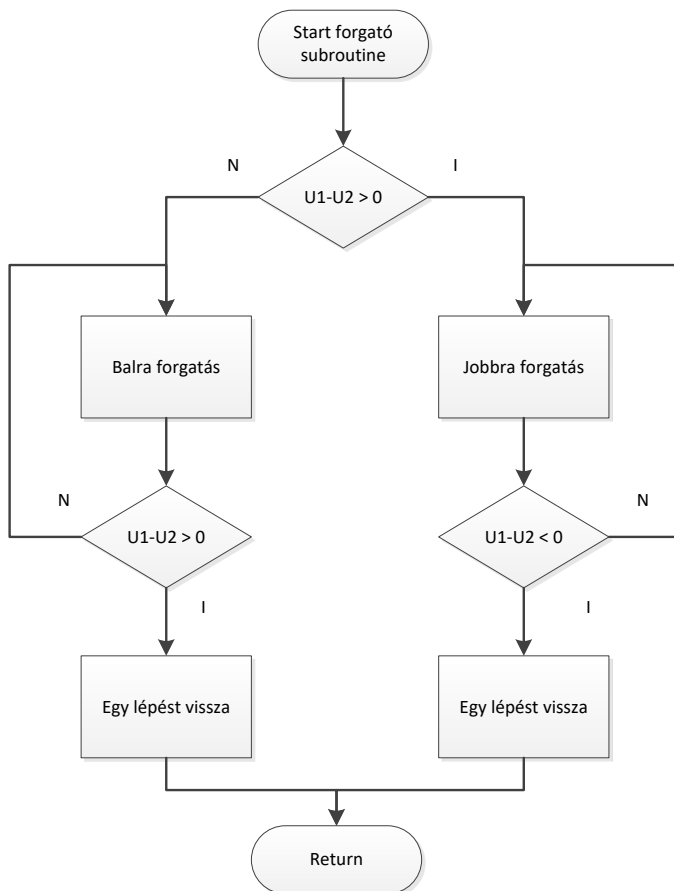
A sérülés visszafordíthatatlan állapot, amelyet bármilyen mechanikai behatás kiválthat, például jégeső, emberi beavatkozás (dobás, lövés). A szennyeződést ütemezett vagy szükséges karban-tartási művelettel lehet eltávolítani. A mechanikai sérüléseket csak cserével lehet orvosolni.

A felhasználó számára fontos értesülni a teljesítményromlásról, és a megbízható működés érdekében fontos valamilyen redundáns rendszer kifejlesztése.

A 7. Ábra látható elrendezés egy duplikált egytengelyű napelemet ábrázol. A vezérelt tengely kettős funkcióval rendelkezik; a napelem az aktív és a korábban inaktív napelemet jelentős 180 fokos forgással helyettesíti, ha a teljesítmény jelentősen csökken. A tartalék napelem valószínűleg nagyobb hatékonysággal fog működni, mint amit piszkosnak vagy sérültnek nyilvánított a rendszer. Az inaktívvá vált napelemet a karbantartás során tisztítják vagy kicserélik.

Egy tengely vezérlésével mikrokontroller segítségével történő vezérlésével lehetőségünk van meghatározni annak optimális helyzetét a Nap aktuális helyzetéhez viszonyítva, folyamatosan alkalmazkodva a változáshoz. [6] A Nap helyzetének érzékelése történhet többek között elektrooptikai szenzorok segítségével [7], vagy a napelemből kinyerhető maximális teljesítmény megállapításával [8]. Az említett érzékelési megoldások alkalmazása nagy beállítási pontosságot tesz lehetővé jó időjárás körülmények között. A szenzorjelek

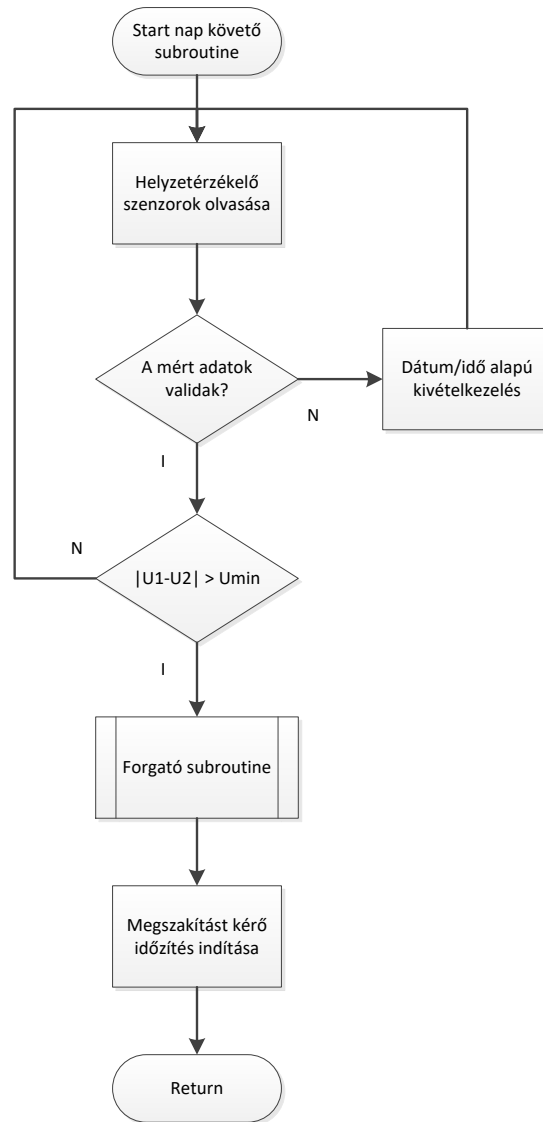
feldolgozása történhet analóg komponensek (tranzisztorok, műveleti erősítők) [10] vagy analógdigitál átalakító segítségével [11]. A 4. Ábra szerinti algoritmus vázolja az optoelektronikai elemek kimeneti jeleit feldolgozó szoftveres megvalósítást. Egy hibrid alkalmazás tovább növeli a megbízhatóságot.



4. Ábra: Napelem panel forgató algoritmus

$U1$ és $U2$ a két digitalizált szenzorkimenet, a kisebb érték irányába fog a napelem panel fordulni. A túlzott elfordulás érzékelése után a napelem panel egy egységet visszalép, és ezzel a pontossággal megelégedve a rendszer kilép a forgató algoritmusból.

Felhős időjárási körülmények között a szórt fény forrásának költséghatékony megállapítása a koordináta és dátum/idő adatok alapján lehetséges. [9] Az alkalmazott mikrokontroller (vagy az azt kiegészítő memória) képes tárolni a kronológiai adatokat, a felbontás növelése a tárolt adatokat felhasználó interpoláció segítségével lehetséges. Három bemeneti szögérték segítségével már szoftveres többségi -, középérték szavazó vagy egyéb átlagoló algoritmus is megvalósítható (5. Ábra). [12], [13], [14]

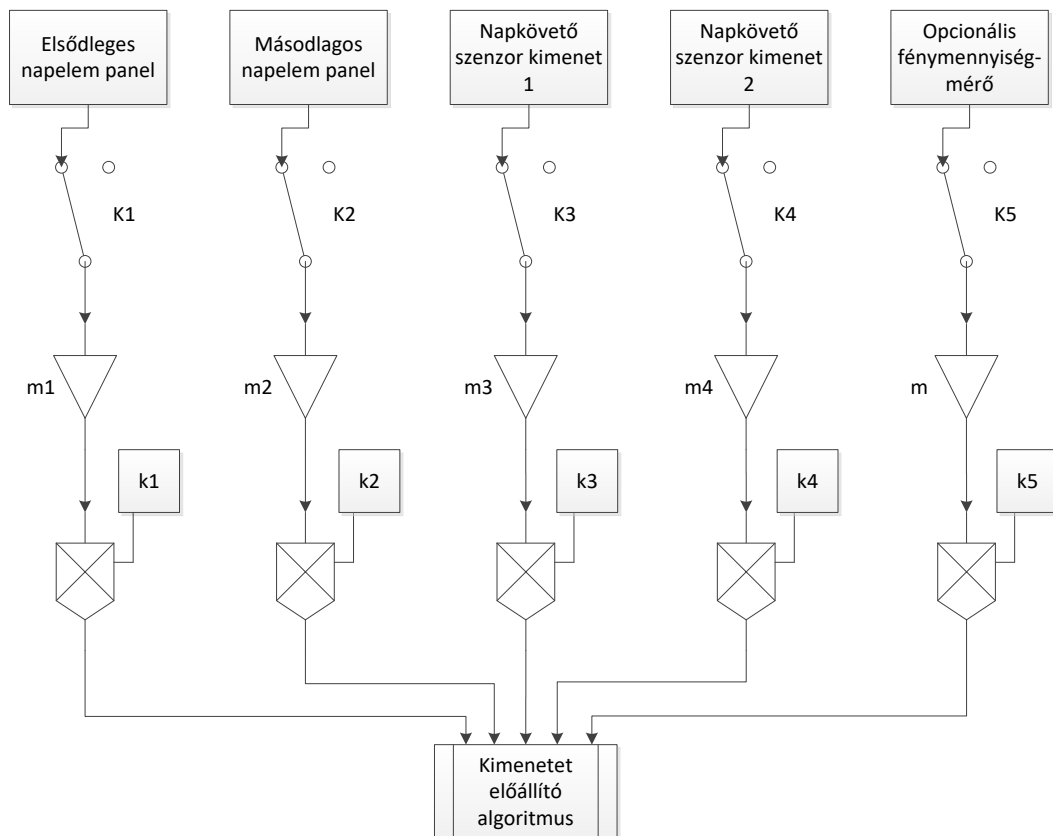


5. Ábra: Nap követő algoritmus

Az elsődleges napelem panel, a tartalék napelem panel és a nap mozgását detektáló érzékelők kimeneteinek súlyozott, valamint normált értékei felhasználhatóak a beérkező fénymennyiség megállapítására. [15] A beérkező fénymennyiség ismeretében kalkulálható az elsődleges napelem elvárt kimeneti teljesítménye (adott terhelés mellett), amennyiben ettől eltérő eredményt mér a rendszer a napelem panel hatásfokromlását detektálhatja.

Opcionálisan – mint redundáns érzékelő – a besugárzást érzékelő félvezető is elhelyezhető a napelem mellett, amely katasztrofális meghibásodás esetén nagy segítség lehet a rendszerállapot meghatározásában, a beérkező fénymennyiség mérésében, illetve a napelem

panelek jóságának megállapításában. Szintén alkalmazhatóak a szoftveres többségi -, középérték szavazó vagy egyéb átlagoló algoritmusok (6. Ábra).



6. Ábra: Szoftveres fénymennyiség mérő algoritmus működési vázolata

A K_n kapcsolókat a vezérlő rendszer inaktíválja amennyiben a bemenő jelet egy másik szoftver-komponens megbízhatatlannak jelöli meg. Az m_n erősítők a bemenő jelek súlyozását látják el, a k_n konstansok a szorozó áramkörök segítségével a bemenő jeleket normálják.

A fizikai forgást megvalósító működtető egység általában egy villanymotor (jellemzően DC motor), amely a napelemeket magában foglaló mechanizmust egy áttételen keresztül, – opcionálisan egy szöghajtással – illetve egy tengelykapcsoló segítségével forgatja.

Különösen fontos egy napelem-pótlási stratégia kidolgozása. Az aktív elem önmagával való összehasonlítása nem eredményezhet megoldást. Opcióként felmerül, ha több hasonló napelem van a rendszerben, azok összehasonlíthatóak egymással. Ha csak egy duplikált napelem van a javasolt elrendezésben, akkor annak állapotáról a tartalék napelemmel történő összevetése adhat információt. A 7. Ábra szerinti konstrukcióban a még nem használt (azaz hibátlan) tartalék nap-elem, a szórt fény vagy mesterséges megvilágítás segítség-

ével nyújt használható mérési adatokat. Az alacsony mérnökóra segítségével implementálható kiértékelés egy empirikus úton megállapított look-up-table interpolációjával könnyedén elvégezhető.



7. Ábra: Egytengelyes forgási mechanizmussal rendelkező redundáns napelem panel izometrikus ábrája

ÖSSZEFOGLALÁS

Tanulmányom legfontosabb eredményének azt tartom, hogy a bemutatott konstrukció alapján a szigetüzemű napelemmel táplált berendezések tápellátásának megbízhatósága nagy mértékben növelhető. Az önellenőrzést lehetővé tevő hardverelemek, illetve a hozzájuk társuló vezérlő rutinok felhasználásával a berendezés képes alkalmazkodni a környezeti változásokhoz, valamint képes a működési idejét meghosszabbítani az esetleges meghibásodások esetén. Az egytengelyes forgási mechanizmussal rendelkező duplikált napelem panel további robusztusságot ad a rendszernek. A szerző meggyőződése, hogy a műszaki berendezések kiegészítése a vázolt rendszerrel, releváns piaci, gazdasági és környezeti hatással rendelkezik.

FELHASZNÁLT FORRÁSOK

- [1] O. Serlin. 1984. „*Fault-Tolerant Systems in Commercial Applications*”. Computer 17, 8. August 1984. 19–30. pp. DOI:10.1109/MC.1984.1659214
- [2] FIAMM Energy Technology. „*SMG Battery Range*”. https://www.fiamm.com/leadadmin/user_upload/SMGS_FOLDER_EMEA_ENG.pdf (letöltve: 2020.10.09.)
- [3] Boes EC, Maish AB. „*Advances in concentrator technology*”. In: Proceedings of 19th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1987. p. 985–91
- [4] Gay CF, Yerkes JW, Wilson JH. „*Performance advantages of two-axis tracking for large flat-plate photovoltaic energy system*”. In: Proceedings of 16th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1982. p. 1368–71
- [5] P. Roth, A. Georgiev, H. Boudinov. „*Cheap two axis sun following device*”. Energy Conversion and Management. Volume 46, Issues 7–8. 2005. pp. 1179–1192. ISSN 0196-8904. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2004.06.015>.
- [6] İbrahim Sefa, Mehmet Demirtas, İlhami Çolak. „*Application of one-axis sun tracking system*”. Energy Conversion and Management. Volume 50, Issue 11. 2009. Pages 2709-2718. ISSN 0196-8904. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2009.06.018>.
- [7] B.P. Edwards. „*Computer based sun following system*”. Solar Energy, 21 (6) (1978), pp. 491-498
- [8] Maish AB. „*A self-aligning photovoltaic array tracking controller*”. In: Proceedings of the 20th IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 1988
- [9] Jerin Kuriakose Tharamuttam, Andrew Keong Ng. „*Design and Development of an Automatic Solar Tracker. Energy Procedia*”. Volume 143. 2017. pp. 629-634. ISSN 1876-6102. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.12.738>.
- [10] S.S.N. Rumala. „*A shadow method for automatic tracking*”. Solar Energy, 37 (3) (1986). pp. 245-247
- [11] V. Poulek, M. Libra. „*New solar tracker*”. Solar Energy Materials and Solar Cells. Volume 51, Issue 2. 1998. Pages 113-120. ISSN 0927-0248. [https://doi.org/10.1016/S0927-0248\(97\)00276-6](https://doi.org/10.1016/S0927-0248(97)00276-6).
- [12] A. Szűts, „*Developing a Complex Decision-Making Framework for Evaluating the Energy-Efficiency of Residential Property Investments*”. ACTA POLYTECHNICA HUNGARICA 12 : 6 pp. 231-248. , 18 p. (2015)
- [13] A. Szűts, I. Krómer: „*Estimating Hungarian Household Energy Consumption Using Artificial Neural Networks*”, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 11, No. 4, pp. 155-168, 2014
- [14] A. Szűts, I. Krómer: „*Developing a Fuzzy Analytic Hierarchy Process for Choosing the Energetically Optimal Solution at the Early Design Phase of a Building*”, Acta Polytechnica Hungarica, Vol. 12, No. 3, pp. 25-39, 2015
- [15] G. Györök, „*Programozható analóg áramkörök mikrovezérlő környezetben*”, vol. 1. Székesfehérvár: Óbudai Egyetem, 2013.