

A MAXIMÁLIS TELJESÍTMÉNYŰ PONT KÖVETÉSÉNEK LEHETŐSÉGEI NAPELEMES RENDSZEREKBE 2

Szegedi Péter mérnök főhadnagy
főiskolai tanársegéd
Zrínyi Miklós Nemzetvédelmi Egyetem
Szolnoki Repülőltiszi Főiskolai Kar
Fedélzeti Rendszerek Tanszék

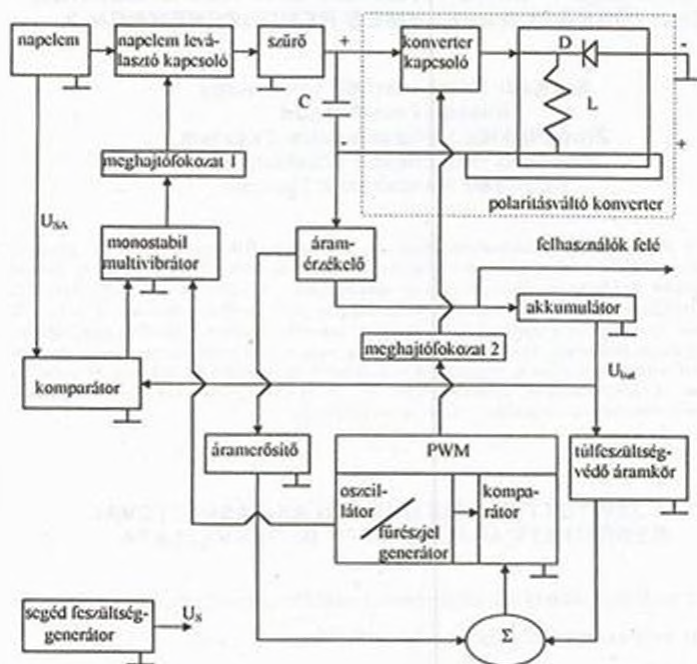
Az űrheli és a földi alkalmazásokban is a maximális munkapontban történő üzemeltetés mellett elsődleges követelmény a minél kisebb veszteségű és a lehető legegyszerűbb felépítésű követőáramkör használata. A párhuzamos teljesítménykezelés módszere lehetőséget biztosít kizárólag a felépítésből adódóan a hatásfok javulására. Az, hogy ez a gyakorlatban is igaz tesztáramköri méréssel is igazolható. A mérés lebonyolításához többek között szükség van egy feszültség forrásra, aminek a karakterisztikája közelíti a napelem áram-feszültség karakterisztikáját. A cikkben bemutatom a tesztáramkör blokkvázlatát és a teszteléshez szükséges napelem-szimulátort, valamint a szimulátor mérési eredményeit.

3. A JAVÍTOTT HATÁSFOKÚ POLARITÁSVÁLTÓVAL MEGÉPÍTETT ANALÓG MPPT BLOKKVÁZLATA

Az új kapcsolóüzemű teljesítmény-átalakító tervezésekor elsődleges szempont volt az egyszerűség és a következő specifikáció:

- egy $U_{SA0} = 24V$, $I_{SA0} = 1A$ -es határjellemzőkkel rendelkező napelemet illeszt egy 12V-os akkumulátorhoz úgy, hogy a napelem bemeneti feszültségét az optimális, MPP-hez tartozó értéken tartja
- a napelemet a "sötét" illetve a gyengén megvilágított időszakokra válassza le a konverter bemenetéről
- az akkumulátor esetleges túltöltését akadályozza meg
- működési frekvenciája $f=50kHz$

Ezeknek a feltételeknek megfelelő tesztáramkör blokkvázlata látható a 1. ábrán.



1. ábra
Hatásfok növelt MPP szabályozású energiaellátó-rendszer blokkvázlata

1.1. A blokkok feladata

Napelem: A napelem egy fotoelektromos generátor, a Nap elektromágneses sugárzásának (fényének) energiáját közvetlenül elektromos energiává alakító félvezetőkből álló áramforrás. Egy-egy elem igen vékony, nagy tisztaságú egykristályos szilíciumlap, (gallium-arszenid), amelynek két eltérő tulajdonságú rétege van. A két réteg között a napfény hatására elektromos feszültség keletkezik.

Napelem leválasztó kapcsoló: A napelem leválasztó kapcsoló egy vezérelt kapcsoló, ami a napelemet leválasztja a "sötét" illetve a gyengén megvilágított időszakokra a konverter bemenetéről.

Szűrő: Egy aluláteresztő jellegű szűrő, a polaritásváltó konverter által keltett zavartól védi a többi áramkört (pl: a komparátort), és a bemenetről jövő zajtól védi a polaritásváltó konvertert.

Polaritásváltó konverter: A polaritásváltó a bemenete és a kimenete között ellentétes polaritású stabilizált egyenfeszültséget hoz létre. Amikor a konverter kapcsoló (ami egy vezérelt kapcsoló) zárt állapotban van, akkor a bemeneti feszültség az L energiatároló induktivitásra kapcsolódik. Ekkor a D dióda nem vezet. Az áram az L induktivitáson lineárisan nő. A konverter kapcsoló kikapcsolásakor az L induktivitáson átfolyó áram megszűnik. Az induktivitás mágneses mezőjének összeomlása ellentétes polaritású induktív feszültséget kelt a tekercs kábelein. Ez az ellentétes polaritású induktív energia az ekkor vezető állapotban lévő D diódán keresztül a polaritásváltó konverter kimenetére jut. A kimenetéről töltődik az akkumulátor és a kimenetéről kapják meg a felhasználóegységek a működésükhöz szükséges energiát.

Áramérzékelő: Az áramérzékelő folyamatosan hibajelét közvetíti az áramerősítőn keresztül a PWM egységnek. Abban az esetben, ha a túlfeszültség-védelem aktív, akkor a hibajel nem tud érvényre jutni. Az áramérzékelőn eldisszipálódó teljesítmény veszteségként jelentkezik.

Meghajtófokozat 1.: A meghajtófokozat 1. a monostabil multivibrátorról vagy a komparátorról érkező jeleknek megfelelően vezérli a napelem leválasztó kapcsolót. A napelem leválasztó kapcsolótól galvanikusan választja el a vezérlőegységeket (komparátor, monostabil multivibrátor, stb.).

Monostabil multivibrátor: A monostabil multivibrátor az oszcillátortól érkező tüimpulzus sorozatból megfelelő kitöltési tényezőjú impulzus-sorozatot állít elő a meghajtó fokozat 1.-nek, hogy a napelem leválasztó kapcsolót vezérelni tudja.

Komparátor: A komparátor a napelem és az akkumulátor feszültségét hasonlítja össze, és az összehasonlítás eredményének megfelelően tiltja vagy engedélyezi a monostabil multivibrátoron keresztül a napelem leválasztó kapcsoló működését.

Oscillátor: Az oszcillátor impulzus-sorozatot állít elő a napelem leválasztó kapcsoló működtetéséhez.

Meghajtófokozat 2.: A meghajtófokozat 2. a PWM-ről érkező jeleknek megfelelően vezérli a konverter leválasztó kapcsolót. A konverter leválasztó kapcsolótól galvanikusan választja le a vezérlő egységeket (PWM, stb.).

Áramerősítő: Az áramerősítő az áramérzékelőről érkező kis szintű jeleket erősíti.

PWM: A PWM az áramérzékelőről érkező hibajelek hatására különböző szélességű impulzusokat állít elő a konverter kapcsoló számára. Működéséhez szükséges jeleket egy fűrészel generátortól, és az áramerősítőtől kapja.

Túlfeszültségvédő: A túlfeszültségvédő az akkumulátor túltöltődését akadályozza meg.

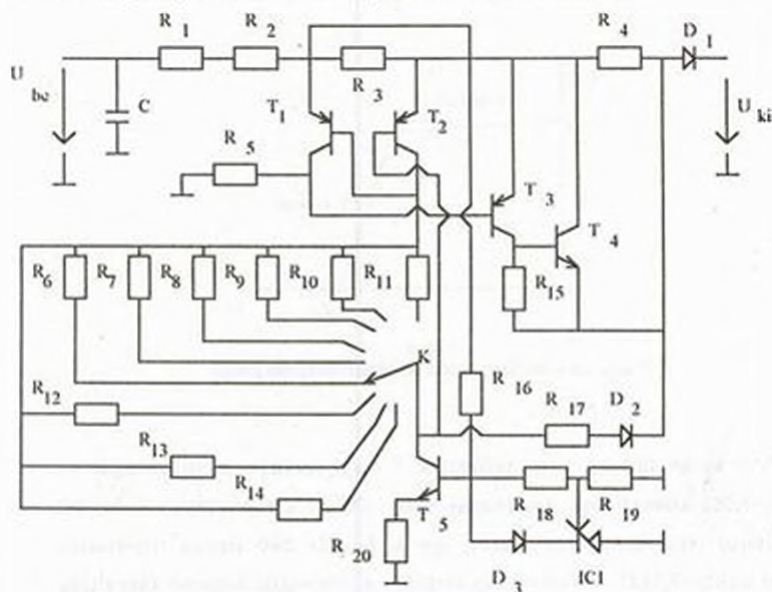
Segéd feszültséggenerátor: A segéd feszültséggenerátor az egyes áramköri elemek tápfeszültség igényét elégíti ki, és referenciafeszültséget ad a túlfeszültségvédő áramkörnek. [1], [2]

2. A napelem-szimulátor

Ahhoz, hogy a hatásfok javulás bizonyítható legyen szükség van többek között napelemre, akkumulátorra, poláritásváltó áramkörre, és más különböző feladatokat ellátó segédáramkörökre, a 1. ábrán látható blokkvázlat szerint.

Napelem helyett egy napelem-szimulátor szolgáltatja a bemenő jelet, a kapcsolási rajza a 2. ábrán látható. A napelem-szimulátorral szemben támasztott követelményeket (a napelem kimenő karakterisztikáját jól

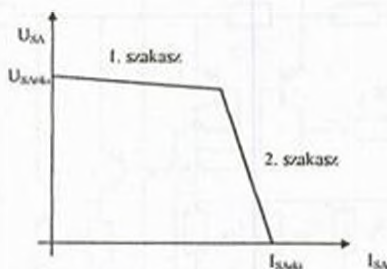
közelítse, a kiírásban szereplő specifikációnak tegyen eleget) ez az áramkör teljesíti, a mérési eredményei az 5-19. ábrán láthatók.



2. ábra A napelem-szimulátor

A napelem-szimulátor kimeneti üresjárási feszültségét a bemenő feszültség (U_{bz}) határozza meg. Bármilyen stabil kimenő feszültséggel rendelkező feszültséggenerátor megfelel erre a célra, aminek a kimenő feszültsége $U=16-24V$ között változtatható. Méréshez a DC POWER SUPPLY TYPE: 9120 labor tápegység került felhasználásra. A kimenő rövidzárási áram értéke $I_{SArki}=0,5-1A$ között az R_6-R_{14} beállító ellenállás hálózattal állítható be. Értékük tapasztalati úton mérésel lett meghatározva, $R_6=12,2\Omega$, $R_7=15\Omega$, $R_8=16\Omega$, $R_9=19,5\Omega$, $R_{10}=20\Omega$, $R_{11}=22\Omega$, $R_{12}=24\Omega$, $R_{13}=25,5\Omega$, $R_{14}=27\Omega$.

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztikájának jellege a 3. ábrán látható.



3. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztikájának jellege

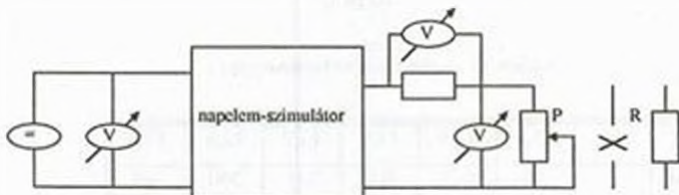
Az ábrán látható karakterisztika 1. szakaszának meredekségét az $R_1=R_2=1,5\Omega$ ellenállások határozzák meg. Ebben a szakaszban a T_1 BC 212 típusú tranzisztor nem vezet, így a T_3 BD 240 típusú tranzisztor bázisát az $R_5=3,9k\Omega$ -os ellenállás (értékét a minimális bemenő feszültség és a tranzisztor nyitáshoz szükséges áram határozza meg) "felhúzza", a tranzisztor vezet. Ha T_3 vezet, akkor T_4 2N3055 típusú tranzisztor is vezet és az $R_4=33\Omega$ -os ellenállást rövide zárja. A 2. szakasz meredekségének csökkentése érdekében az $R_{17}=39k\Omega$ ellenállásból és a D_2 1N4148 típusú diódából álló előrecsatolást alkalmaztuk. A könyökpont helyzetét az $R_3=132m\Omega$ -os ellenállás, a T_1 , T_2 BC 212 típusú tranzisztorok, és a K kapcsolóval kiválasztott beállító ellenállás (R_6-R_{14}) értéke határozza meg.

Az akkumulátorok megengedett maximális töltőárama [A] általában a tárolókapacitásuk [Ah] 10%-a, ezért az alkalmazott napelem szimulátor $I_{S,Amáx}$ -hoz alkalmazkodva egy 10Ah-nál nagyobb kapacitású 12V-os akkumulátor a megfelelő. Akkumulátor helyett a méréseknél egy DC

POWER SUPPLY TYPE:TR 9178 labor tápegység volt csatlakoztatva a testtáramkörhöz. [3], [4]

3. A napelem-szimulátor mérési eredményei

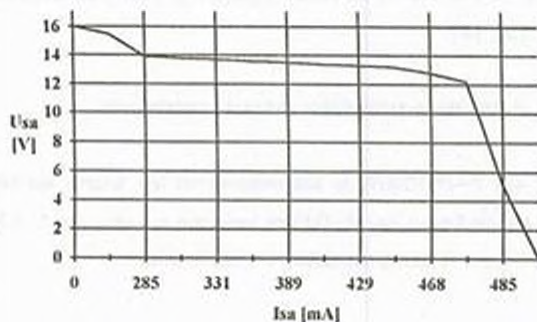
Az áramkör egy $P=47\Omega/200W$ -os potenciométerrel lett lezárva méréskor. A szakadás és a 47Ω lezárás között egy $R=1k\Omega$ -os lezáráson is volt mérve a kimenő feszültség és a kimenő áram. A mérési összeállítás a 4. ábrán látható.



4. ábra

A napelem-szimulátor mérési összeállítása

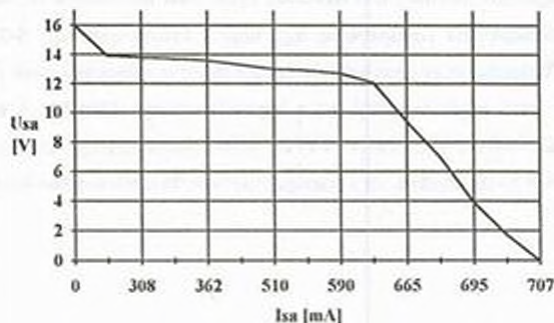
A feszültségmérők MINIMULTI MM2002 típusú kézi mérőműszerek. Az áram mérése feszültségmérésre volt visszavezetve, úgy, hogy a kimenőkörbe egy S-2 típusú söntellenállás volt bekötve és az azon eső feszültséget mérte egy feszültségmérő (a söntellenálláson 1,5A áram folyik keresztül, ha a kapocsfeszültsége 150mV). A bemenő feszültséget egy DC POWER SUPPLY TYPE: 9120 labortápegység biztosította. A mérési eredmények a 5.-19. ábrákon, és a hozzájuk kapcsolódó táblázatokban láthatók.



5. ábra

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 1.

U_{sa} [V]	16	15,5	13,9	13,8	13,7	13,6	13,5
I_{sa} [mA]	0	10	285	306	331	360	389
U_{sa} [V]	13,4	13,3	13,2	12,8	12,2	5,1	0
I_{sa} [mA]	403	429	452	468	470	485	496

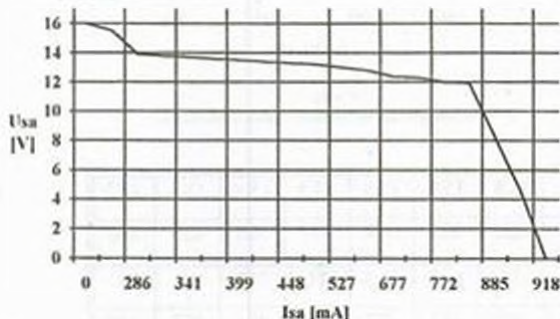
Táblázat a 5. ábrához, a K kapcsoló 16 Ω -os állásban.

6. ábra

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 2.

U_{sA} [V]	16	13,9	13,8	13,7	13,6	13,3	13	12,9	
I_{sA} [mA]	0	284	308	333	362	440	510	534	
U_{sA} [V]	12,7	12,1	9,4	7	3,9	1,7	0		
I_{sA} [mA]	590	643	665	686	695	702	707		

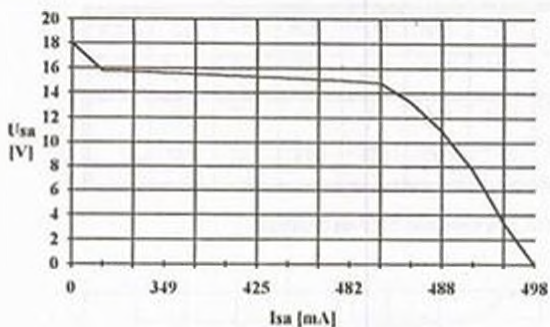
Táblázat a 6. ábrához, a K kapcsoló 22Ω -os állásban.



7. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 3.

U_{sA} [V]	16	15,5	13,9	13,8	13,7	13,6	13,5	13,4	13,3	13,2
I_{sA} [mA]	0	10	286	315	341	368	399	425	448	474
U_{sA} [V]	13	12,8	12,4	12,3	12	11,9	8,2	4,6	0	
I_{sA} [mA]	527	594	677	706	772	810	885	899	918	

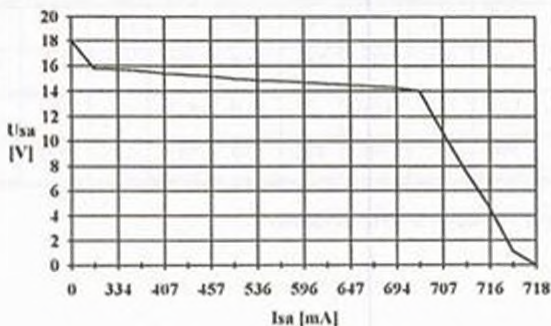
Táblázat a 7. ábrához, a K kapcsoló 27Ω -os állásban.



8. ábra

A napcsem-szimulátor kimenő karakterisztika 4.

U_{sa} [V]	18	15,8	15,7	15,6	15,5	15,4	15,3	15,2
I_{sa} [mA]	0	322	333	349	377	398	425	450
U_{sa} [V]	15,1	15	14,8	13,3	11	7,7	3,4	0
I_{sa} [mA]	466	482	483	487	488	493	498	498

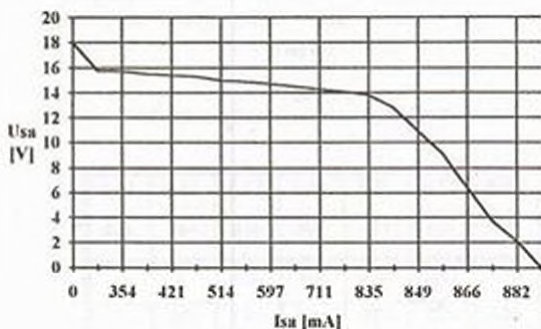
Táblázat a 8. ábrához, a K kapcsoló 16 Ω -os állásban.

9. ábra

A napcsem-szimulátor kimenő karakterisztika 5.

U_{SA} [V]	18	15,8	15,7	15,6	15,4	15,3	15,2	15	14,9	14,8	14,7
I_{SA} [mA]	0	323	334	353	407	426	457	507	536	569	596
U_{SA} [V]	14,6	14,5	14,4	14,3	14	10,7	7,5	4,6	1,1	0	
I_{SA} [mA]	616	647	670	694	697	707	712	716	718	718	

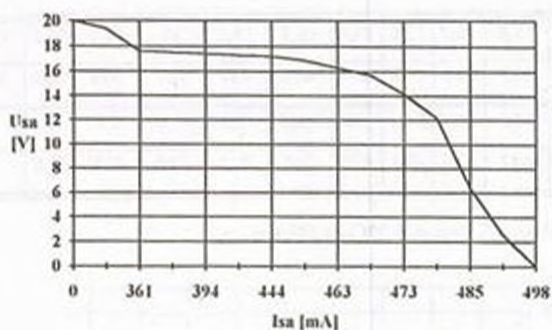
Táblázat a 9. ábrához, a K kapcsoló 22 Ω -os állásban.



10. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 6.

U_{SA} [V]	18	15,8	15,7	15,5	15,4	15,3	15	14,9	14,7	14,5
I_{SA} [mA]	0	324	354	394	421	452	514	553	597	673
U_{SA} [V]	14,3	14,1	13,8	12,8	10,9	9,1	6,4	3,7	2,1	0
I_{SA} [mA]	711	754	835	842	849	856	866	877	882	890

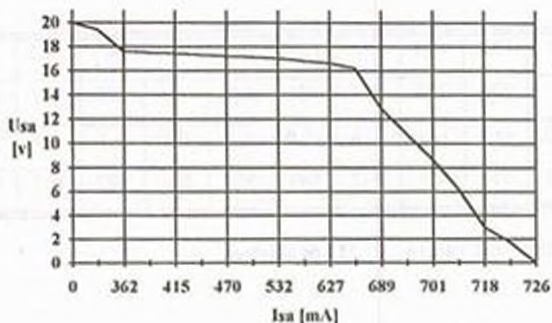
Táblázat a 10. ábrához, a K kapcsoló 25,5 Ω -os állásban.



11. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 7.

U_{SA} [V]	20	19,4	17,6	17,5	17,4	17,3	17,2	16,9
I_{SA} [mA]	0	12	361	373	394	418	444	458
U_{SA} [V]	16,3	15,7	14,2	12,2	6,4	2,6	0	
I_{SA} [mA]	463	466	473	479	485	487	498	

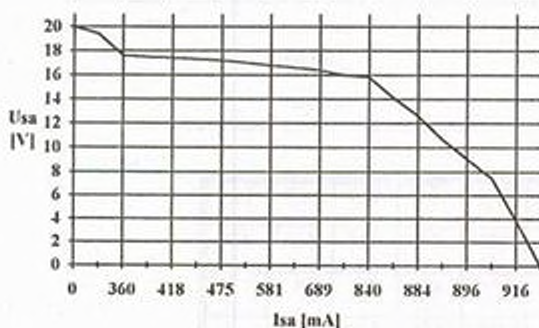
Táblázat a 11. ábrához, a K kapcsoló 15 Ω -os állásban.



12. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 8.

U_{SA} [V]	20	19,4	17,6	17,5	17,4	17,3	17,2	17,1	17	16,8
I_{SA} [mA]	0	12	362	388	415	442	470	494	532	576
U_{SA} [V]	16,6	16,2	12,9	10,8	8,7	6,2	3	1,7	0	
I_{SA} [mA]	627	680	689	695	701	708	718	721	726	

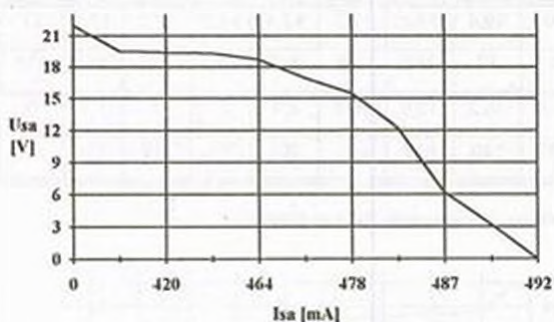
Táblázat a 12. ábrához, a K kapcsoló 20 Ω -os állásban.



13. ábra
A napelem szimulátor kimenő karakterisztika 9.

U_{SA} [V]	20	19,4	17,6	17,5	17,4	17,3	17,2	17	16,8	16,6
I_{SA} [mA]	0	12	360	390	418	449	475	536	581	635
U_{SA} [V]	16,4	16	15,8	14,1	12,6	10,7	9,1	7,5	3,9	0
I_{SA} [mA]	689	793	840	878	884	891	896	903	916	930

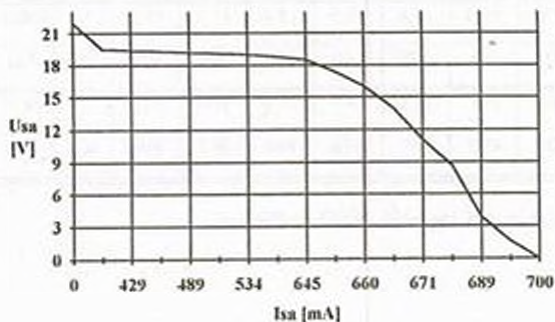
Táblázat a 13. ábrához, a K kapcsoló 25,5 Ω -os állásban.



14. ábra

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 10.

U_{sa} [V]	22	19,5	19,4	19,3	18,7	16,9
I_{sa} [mA]	0	399	420	444	464	468
U_{sa} [V]	15,5	12,2	6,2	3,2	0	
I_{sa} [mA]	478	484	487	492	492	

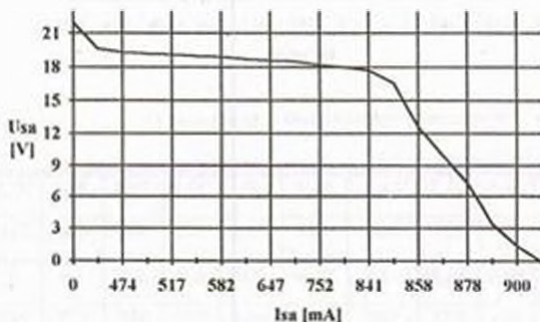
Táblázat a 14. ábrához, a K kapcsoló 12,2 Ω -os állásban.

15. ábra

A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 11.

U_{SA} [V]	22	19,5	19,4	19,3	19,2	19,1	19	18,8	18,5
I_{SA} [mA]	0	400	429	459	489	516	534	581	645
U_{SA} [V]	17,4	16	14	11,1	8,7	3,8	1,6	0	
I_{SA} [mA]	656	660	664	671	677	689	695	700	

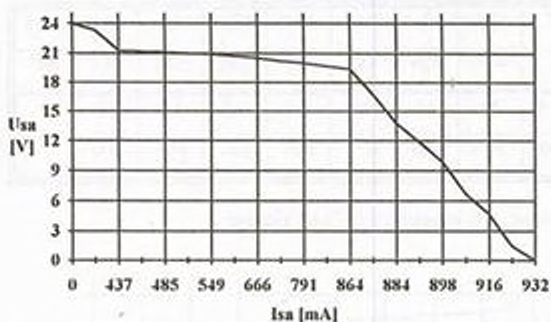
Táblázat a 15. ábrához, a K kapcsoló 19,5 Ω -os állásban.



16. ábra
A napcelem-szimulátor kimenő karakterisztika 12.

U_{SA} [V]	22	19,6	19,3	19,2	19,1	19	18,9	18,7	18,6	18,5
I_{SA} [mA]	0	400	474	495	517	541	582	629	647	686
U_{SA} [V]	18,2	18	17,7	16,6	12,6	10	7,3	3,4	1,4	0
I_{SA} [mA]	752	804	841	844	858	868	878	892	900	904

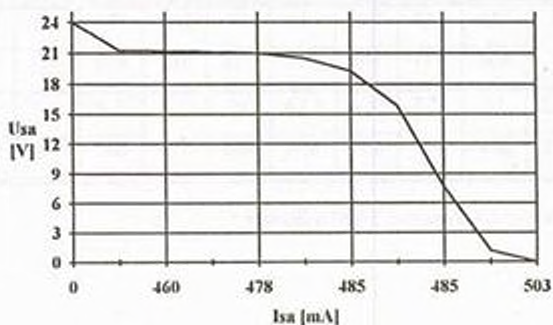
Táblázat a 16. ábrához, a K kapcsoló 24 Ω -os állásban.



17. ábra

A napcsem-szimulátor kimenő karakterisztika 13.

U_{sa} [V]	24	23,3	21,3	21,2	21,1	21	20,9	20,7	20,5	20,2	20
I_{sa} [mA]	0	15	437	464	485	526	549	609	666	734	791
U_{sa} [V]	19,7	19,4	16,8	13,8	11,9	9,9	6,7	4,7	1,4	0	
I_{sa} [mA]	847	864	873	884	890	898	908	916	928	932	

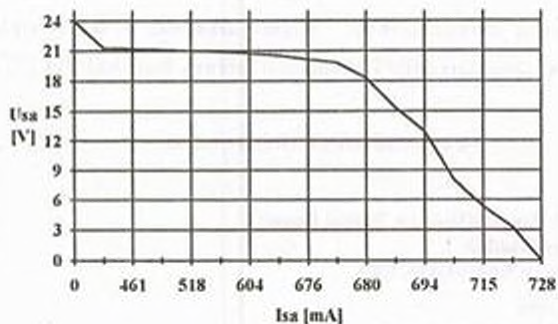
Táblázat a 17. ábrához, a K kapesoló 12,2 Ω -os állásban.

18. ábra

A napcsem-szimulátor kimenő karakterisztika 14.

U_{SA} [V]	24	21,3	21,2	21,1	21	20,5
I_{SA} [mA]	0	437	460	477	478	483
U_{SA} [V]	19,3	15,9	7,7	1,1	0	
I_{SA} [mA]	485	485	485	486	503	

Táblázat a 18. ábrához, a K kapcsoló 19,5Ω-os állásban.



19. ábra
A napelem-szimulátor kimenő karakterisztika 15.

U_{SA} [V]	24	21,3	21,2	21,1	21	20,9	20,7	20,5	20,1
I_{SA} [mA]	0	437	461	482	518	545	604	642	676
U_{SA} [V]	19,8	18,3	15,4	13	8,1	5,3	3,3	0	
I_{SA} [mA]	677	680	688	694	708	715	719	728	

Táblázat a 19. ábrához, a K kapcsoló 24Ω-os állásban.

A karakterisztikákból látható, hogy a megépített napelemszimulátor az elvárt kimenő karakterisztika jellegét (3. ábra) jól közelíti. A karakterisztikákon egyértelműen meghatározhatók, és az áramkörön egyértelműen beállíthatók a maximális teljesítményű pontok.

ÖSSZEFOGLALÁS

A polaritásváltóval felépített MPPT áramkör teszteléséhez szükség volt egy napelem-szimulátorra, amit megépítettünk. A szimulátort leteszteltük. A mérések eredményeit vizsgálva egyértelműen kiderül, hogy a szimulátor kimeneti karakterisztikája a jó közelítéssel követi a napelem karakterisztikát a számunkra lényeges szakaszokon (a maximális teljesítményű pont környezetében). Vagyis alkalmas a teszttáramkör (a polaritásváltóval felépített MPPT) bemeneti jelének biztosítására. [5]

FELHASZNÁLT IRODALOM

- [1] Szászné Dr Tolnai Klára, Dr Tamási Ferenc
Mesterséges holdak
Zrínyi Katonai Könyvkiadó, 1986
- [2] Ferenczi Ödön
Kapcsolóüzemű tápegységek
Műszaki könyvkiadó, 1978
- [3] **Diodes Rectifiers Thyristors Transistors**
Tungsrám Semiconductor Devices 80/81
- [4] **Linear Circuits Data Book 1992**
Volume 3
Texas Instruments 1992
- [5] Szegedi Péter
Diplomaterv
BME, 1996

Both aerospace and on-ground applications of solar array systems - working in maximum power point conditions - can be characterized with minimized losses and simplified electric control circuits. The applied parallel power control method allows to maximize efficiency through its hardware elements. This fact can be verified using the data of measurement. For the measurement there is used a special voltage source, transfer characteristics of which are nearby to the solar array current-voltage characteristics. This paper shows the block diagram of a test circuit and the solar array simulator. The task also contains the results of the measurement.