

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Automatika Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

Napelemes rendszerek hatékonyságának növelése napkövetéssel

Szerzők: Uhrin Róbert
Automatika szak 7.félév

Márton Gergely
Automatika szak. 5.félév

Konzulens: Kopják József
egyetemi tanársegéd

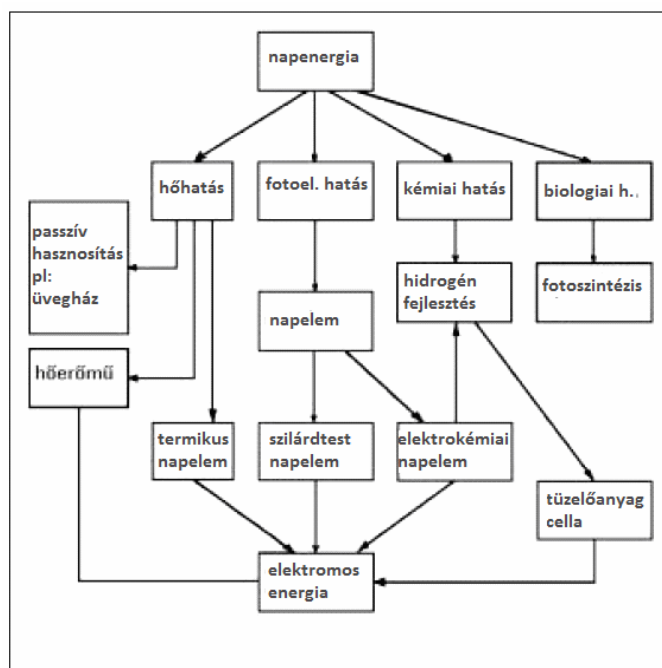
Budapest, 2012.

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	2
Bevezetés.....	3
1. A napelem működésének alapjai.....	4
2. Napelemek fajtái.....	5
2.1 Egykristályos napelem cellák.....	5
2.2 Az amorf Si alapú napelemek.....	8
3. Napelem hatásfoka.....	9
3.1 A hatásfokot befolyásoló tényezők.....	11
4. Napkövetés.....	13
4.1 Fényérzékelésen alapuló technika.....	13
4.2 A Nap pillanatnyi helyzetének kiszámításán alapuló technika.....	14
5. A GPS működése.....	16
6. A megtervezett áramkör.....	17
6.1 A központi vezérlő egység.....	18
6.2 A GPS modul.....	19
6.3 A mozgató motorok vezérlése.....	21
6.4 Az áramkör ki- és bemenetei.....	22
6.5 Az áramkör tápellátása.....	23
7. A projekt pillanatnyi állapota, jövőbeni tervek, fejlesztések.....	24
8. Melléklet.....	26

Bevezetés

Napjaink égető problémája, hogy a növekvő energia igény mellett csökkentsük a fosszilis és nukleáris primer energia hordozók felhasználását ezáltal mérsékelve az emberiség hatását a környezetre, éghajlatára. Ez az ellentmondás csak is olyan megoldások révén valósulhat meg, ha valamilyen rövid távon megújuló energia forrással sikerül kielégíteni energia igényünket. A jelenleg használt energia forrásaink szinte mindegyikének forrása a Nap, kivételt csupán a geotermikus és nukleáris energiák jelentenek. A napenergia legismertebb hasznosításának módja a termikus hatásának kiaknázása napkollektorral, napkóhóval vagy éppen az üvegházhatást hasznosító építészeti megoldásokkal. A napenergia hasznosításának egy lehetséges felosztását az 1. ábra mutatja.



1. ábra

A Napból a Föld minden másodpercben 50milliárd kWh energiát kap. Ez a földi léptékkal elképesztő energia mennyiség a Nap teljes energia termelésének csupán csak a félmilliomod része, ami a Földet éri, de még így is 15perc alatt annyi energia éri a Földet, amennyit az emberiség összesen elhasznál 1 év alatt.

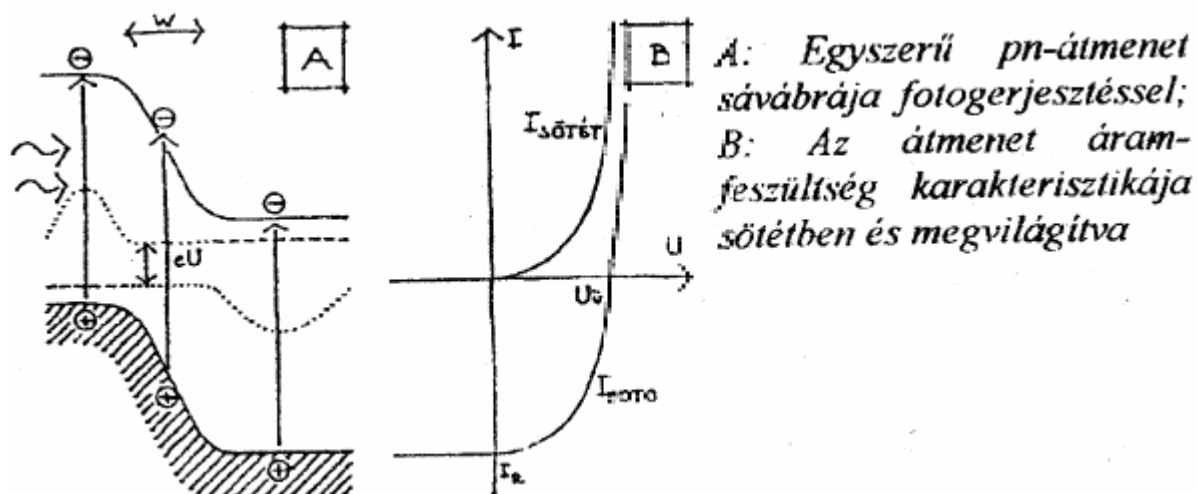
A napenergia-hasznosítások közül a fényelektromos hatáson alapuló úgynevezett napelemek fejlesztése az egyik legintenzívebb terület. A napelem a Napból származó fotonok energiáját alakítja át közvetlenül elektromos energiává. Az elektromos energia a

leghatékonyabban felhasználható, elosztható, szállítható és felhasználható szekunder energia forrás.

1. A napelem működésének alapjai:

Megfelelő körülmények között a félvezető kristályra eső fotonok gerjeszthetik a kristály vegyérték elektronjait. Amennyiben ez a gerjesztés elég nagy ahhoz, hogy az elektronok a következő megengedett magasabb energiaszintre a vezetési sávba kerüljenek, akkor a gerjesztés az egyensúlyi koncentrációkhoz képest megemeli a mozgékony töltések sűrűségét. Ennek energetikai feltétele, hogy a beeső foton energiája nagyobb legyen, mint a tiltott energiasáv szélessége.

Egy E_g tiltott sávszélességű félvezetőben az E_g -nél nagyobb energiával rendelkező fotonok töltéshordozó-párokat generálnak. Ezeket a töltéshordozó párokat a pn-átmenet elektrosztatikus tere szétválasztja. Az elektronok az n-tartományba, míg a lyukak a p-tartományba sodródnak, ahogyan a 2. ábrán látható.

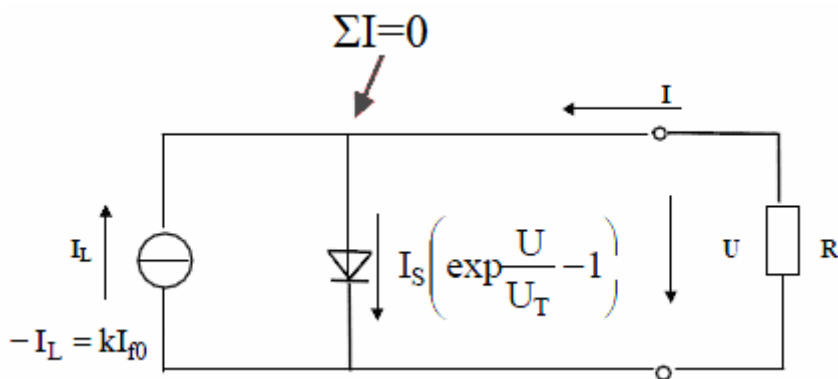


2. ábra

A keletkező fotóáram azonos irányú az átmenet záróirányú sötét áramával. Az eszköz energiáját az átmenet két oldalán létrejövő többségi töltéshordozó felhalmozódása adja. A napelem esetében beszélhetünk üresjárási feszültségről illetve rövidzárási áramról. Ha a napelem sarkaira egy R ellenállást kapcsolunk, akkor az ellenálláson megjelenő U_u üresjárási feszültségnél kisebb U feszültség az átmenet lecsökkent energiagátjának lecsökkenéséből adódik. A lecsökkent elektromos tér töltéshordozó szétválasztó hatása is

csökken, így az I fotóáram is lecsökken az I_L rövidzárási áramhoz képest. Az átmenet eredő árama a sötét áram és az I_L fotóáram különbségéből adódik:

$$I = I_S [e^{(eU/kT)} - 1] - I_L$$



3. ábra

I_S : ún. telítési áram (sodródási) I_L :fotóáram

A 3.ábrán láthatjuk az ideális pn átmenet helyettesítő kapcsolási rajzát megvilágítás esetén. Az $U=0$, ill $I=0$ helyettesítéssel megkaphatjuk a rövidzárási és az üresjárási feszültséget. A rövidzárási áram egyenlő az átmenet fotóáramával

$$I = -I_L = kI_{f0}$$

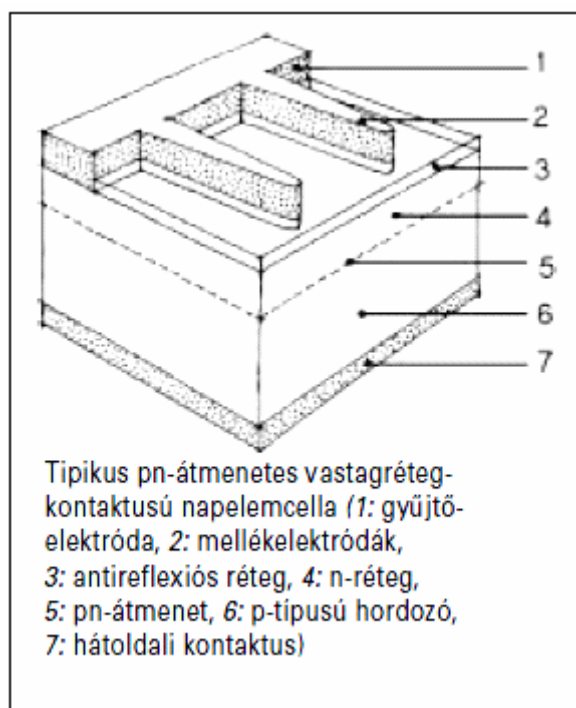
illetve az üresjárási feszültség: $U_0 = U_T \ln \left(1 + \frac{I_L}{I_S} \right)$

2. Napelemek fajtái

2.1 Egykristályos napelem cellák:

A napelem készítés egyik kézenfekvő anyaga kiforrott és relatív olcsó technológiája miatt a Si. Az egykristályos pn átmenetet energia átalakítási célokra 20%-on felüli napelem készíthető Si alapanyag esetén. Ügyelni kell arra hogy a fény a pn átmenet síkjára merőlegesen essen be, fényvisszaverő réteget kell alkalmazni a reflexió minimalizálására. Az átmenetet megfelelő mélységben kell létrehozni ahhoz, hogy viszonylag nagy térfogatban legyen lehetőség a generációra. Jó minőségű, kevés kristályhibát tartalmazó (lehetőség szerint mégis olcsó) alapanyagot kell használni, hogy a kisebbségi töltéshordozók élettartama (egyben a diffúziós hossz) kellően nagy legyen ahhoz, hogy a generálódott töltéshordozók nagy valószínűséggel elérjék azokat a tartományokat, ahol

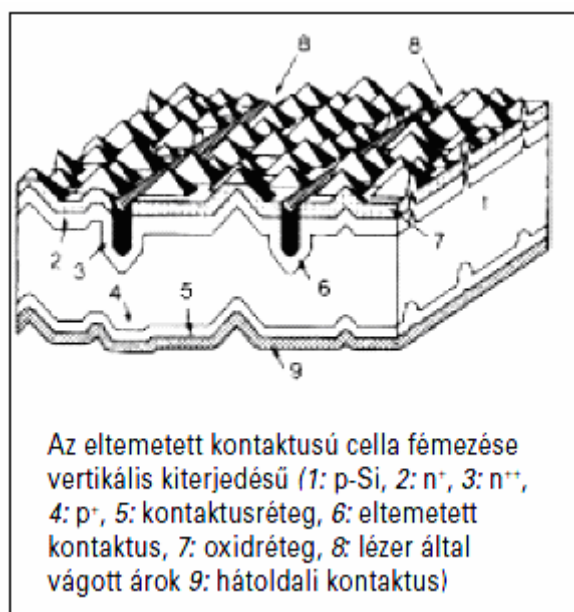
nagy a beépített tér. A nem átlátszó hozzávezetések a felület lehető legkisebb részét fedhetik le, ugyanakkor a soros ohmikus ellenállás csökkentése a hatásfok növelés egyik kulcskérdése. Az egyik, legnagyobb mennyiségben előállított struktúra a vastagréteg-kontaktusú napelem. Az eszköz alapja egy kb. $300\mu\text{m}$ vastag. A homlokoldali gyűjtőelektrodákat és a hátoldali kontaktust a vastagréteg-technológiában szokásos alumínium-, ill. ezüsttartalmú pasztával hozzák létre. A struktúra a 4. ábrán látható. A homlokoldali áramgyűjtő kontaktusok technikai megfontolásból kb. $100\mu\text{m}$ szélesek. Két ilyen vezetőcsík közötti távolság $2\text{--}3\mu\text{m}$. Ezekre a vezetőcsíkokra merőlegesen futó, vastagabb vezető kapcsolja össze a gyűjtőelektrodákat, és teremt kapcsolatot a külvilággal. A gyűjtőelektrodák méretkialakításánál optimalizálni kell a minimálisan letakart felület, és a kontaktus lehetőleg kis soros ellenállása között. Túl sűrű fémezés esetén sok a napsugárzás elől kitakart felület, míg túl hézagos fémezés esetén a hozzávezetések soros ellenállása nő meg. Ezzel a technológiával ipari körülmények között 13-15 százalékos hatásfokú napelem cella készíthető.



4. ábra

A napelem hatásfokát jelentősen csökkenti a homlokoldali fémezés árnyékoló hatása és soros ellenállása. Egy ötletes megoldással a fémezés vertikális kialakításúvá tehető. A félvezető anyagban lézerrel kb. $20\mu\text{m}$ széles és $100\mu\text{m}$ mély árkokat készítenek, majd az

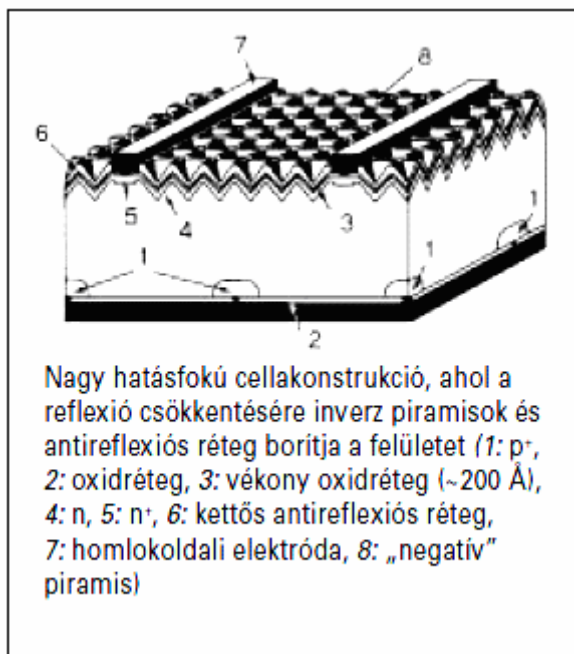
árkokat galvanikus úton fémmeel töltik ki. A nagy keresztmetszetű kontaktusok miatt a soros ellenállásból származó veszteség jelentősen csökken, és javul a kitöltési tényező. A reflexió csökkentésére a felületet kémiai úton strukturálják. A keletkező apró, piramisszerű kiemelkedések diffúz módon beborítják a teljes felületet. Az így készült napelemek hatásfoka nagy sorozatban eléri a 16-17 százalékot. A cella felépítését az 5. ábra mutatja. Az eltemetett kontaktusú cellakonstrukciónak a technológiája olcsó és egyszerű, mivel nem tartalmaz sem fotomaszk-technológiát, sem pedig vákuumpárologtatást.



5. ábra

Si-ból bonyolultabb technológiával nagyobb hatásfokú eszközök is készíthetők. Ha a hatásfokot jelentősen növelni akarjuk, akkor a diffúziós úthossz miatt viszonylag enyhén adalékolt emitterrétegre van szükségünk. Az árnyékolási veszteségek csökkentése miatt filigránabb áramgyűjtő vezetékeztést kell alkalmazni. A szükséges 10-30 μ m csíkszélesség vastagréteg-eljárással már nem oldható meg, csak fotólitográfias és vákuumpárologtatásos technológiával. A homlokoldali rekombinációs veszteség csökkentésére a fémezetlen felületet SiO₂-dal passziválják. A Si alapú napelemek közül mindezidáig a legnagyobb hatásfokú az ún. passzivált emitterű cella, amelynek a hatásfoka 24%. A cella konstrukcióját a 6. ábra mutatja. A cellához p-adalékolású 300 μ m vastag kristályos Si hordozót használnak. A homlokoldalt a reflexió csökkentése érdekében anizotróp kémiai maratással strukturálják. A hátoldali helyi p⁺-adalékolást bór diffúzióval valósítják meg, majd a fémezés következik. A hátoldali fémezés speciális, nemcsak kontaktusként szolgál,

hanem a tükörként is működik. A napelemcellán egyszer már átjutott, de még nem abszorbeálódott fotonokat visszatükrözi a félvezetőbe, ezáltal növeli a töltéshordozó párok keletkezésének lehetőségét.



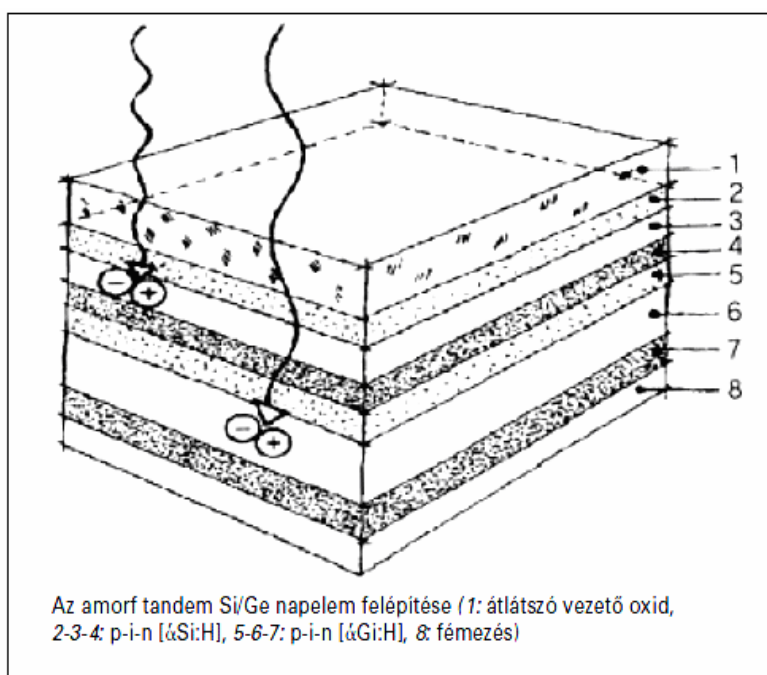
6. ábra

2.2 Az amorf Si alapú napelemek:

Az amorf Si elektromos tulajdonságai merőben különböznek a kristályos anyagétól. A napelem készítésre használatos amorf Si tulajdonságai nem választhatók el az előállítás technológiájától. Az amorf Si alkalmazását a napelem készítésben a rétegleválasztás technológiája és a rövid távú rendezettség miatt megváltozott elektromos sáv szerkezet, valamint az ebből adódó nagyobb abszorpciós tényező indokolja. Az amorf Si hátránya a szabad kötések jelenléte, amelyek mélyszinteket hoznak létre az anyagban. A mélyszintek a kisebbségi töltéshordozó-élettartam csökkentése által rontja az eszköz hatásfokát, az anyagban való rendezetlenség pedig a transzporttulajdonságokat. A rétegleválasztás során a technológiai paraméterek függvényében hidrogént juttatnak be az anyagba, hogy telítsék a szabad kötéseket. A technológiai paraméterek változtatásával változtathatók a leválasztott anyag elektromos tulajdonságai, így a tilossáv-szélesség is. Az amorf Si napelemeknél az anyag tulajdonságainak köszönhetően nem pn-átmenet, hanem pin-struktúra szokásos. A kristályos Si-ban az indirekt sáv szerkezetből adódóan alacsony az

abszorpció. Az abszorpciót a hullámszám-kiválasztási szabály korlátozza (impulzus-megmaradás). Az amorf Si-ban azonban a hosszú távú rendezettség hiánya miatt e kiválasztási szabály nem korlátozza az abszorpciót. A nagy abszorpciós képessége miatt a kristályos anyaghoz képest század részére csökkenthető a napelem-struktúra vastagsága. Az amorf Si-ból elegendő már $3\mu\text{m}$ vastagság a napfény teljes abszorpciójához.

Az amorf Si technológiájának előnye, hogy a réteg leválasztható üvegre, fémre, műanyaghordozóra egyaránt. Az egyszerű pin-átmenetes napelem hatásfoka 7-10% körüli, a kisebb hatásfokért az olcsóság kárpótol. Az energiahasznosítás optimalizálása elérhető két egymásra integrált különböző tilos sávú félvezetőből készült átmenet segítségével, ahol a felső anyag tilos sávja szélesebb (pl.: 1,9 eV körüli), az alsó pedig keskenyebb (pl.: 1,2 eV körüli). Ezt a struktúrát nevezik a szakirodalomban tandemszerkezetnek. Az egyik legismertebb tandemcella az amorf Si/Ge struktúra (7. ábra). Egy ilyen struktúrával 15%-os hatásfokot is el lehet érni. A tandem cella nem csak két különböző anyaggal, hanem amorf Si-mal különböző leválasztási feltételekkel is elérhető. Ilyen napelemeket gyártanak hazánkban is, a gyártó Közép-Európa legnagyobb napelemgyára.



7. ábra

3. Napelem hatásfoka:

A napelem hatásfoka jelentős elméleti és gyakorlati jelentőséggel bíró jellemzője az adott cellának. A napelemre kapcsolt R ellenálláson átfolyó I áram és a napelem U feszültségének szorzatából kapjuk a P levehető teljesítményt.

$$P = I \cdot U = I_{\text{foto}} U - I_S U \left(e^{\frac{v}{v_r}} - 1 \right)$$

A maximális $P_m = U_m \cdot I_m$ teljesítmény kivételéhez fontos az optimális terhelés megválasztása. Ehhez a szélsőértéket kell keresnünk a $\partial P / \partial U = 0$ feltétel mellett. Ekkor a deriválás után U_m -re a következő kifejezést kapjuk:

$$\left(1 + \frac{U_m}{U_T} \right) e^{U_m / U_T} = 1 + \frac{I_{\text{foto}}}{I_S}$$

A 8.ábrán a maximálisan kivehető teljesítmény a satírozott rész szemlélteti. Ennek a területnek az üresjárési feszültségnek és a rövidzárási áram szorzata által meghatározott területnek a hányadosa az ún. ϕ kitöltési tényező. Ez adja meg, hogy a maximális levehető teljesítmény téglalapja hány százaléka az $I_r \cdot U_{\text{ü}}$ által meghatározott téglalap területének:

$$\phi = \frac{I_m U_m}{I_r U_{\text{ü}}}$$



8. ábra

A ϕ értéke a gyakorlatban 0,75 és 0,85 tartományba esik. A napelem η hatásfokát a maximálisan levehető elektromos teljesítmény és a beeső P_{foto} fényteltjesítmény hányadosa

határozza meg:
$$\eta = \frac{I_m U_m}{P_{\text{foto}}} = \frac{\phi I_r U_{\text{ü}}}{P_{\text{foto}}}$$

A celláról levehető maximális teljesítményt a cella üresjárási feszültsége és rövidzárási árama határozza meg. A napelem hatásfokának meghatározásánál fontos paraméter a félvezető anyag E_g tilos sávjának nagysága.

3.1 A hatásfokot befolyásoló tényezők:

A napelem hatásfokát konstrukciós és környezeti tényezők is befolyásolják. A környezeti tényező közül a legjelentősebb a hőmérséklet hatása, valamint a cella felületének tisztasága, a megvilágítás erőssége és a cella munkapontjának megválasztása.

A hőmérséklet növekedésével a diffúziós úthossz megnő. Ezáltal a rövidzárási áram ugyan kismértékben megnövekszik. A pn átmenet I_s telítési árama azonban annyira megnövekszik a termikusan generált kisebbségi töltéshordozók nagy koncentrációja miatt, hogy az elérhető kimeneti feszültségek csökkenése lerontja a levehető teljesítményt és hatásfokot.

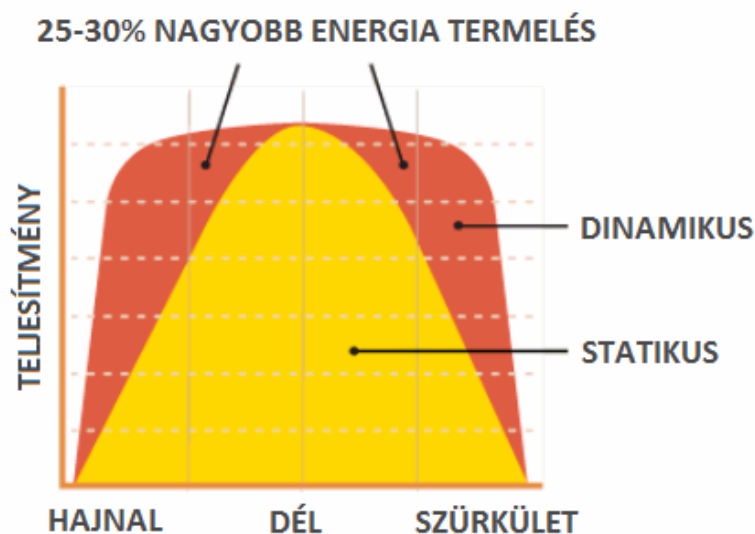
A megvilágítás intenzitásának növelésével a hatásfok is javul, ennek oka az üresjárási feszültség megnövekedését eredményezi, amennyiben sikerül elkerülni a cella túlzott megemelkedését.

A hatásfokot befolyásoló konstrukciós tényezők az alapanyag megválasztása, az átmenetek és a hozzávezetések kialakítása, valamint a cellák összeépítése.

A hatásfokot csökkentő tényezők összefoglalva:

- beérkező fotonok visszaverődésének aránya,
- a spektrális érzékenységi karakterisztika eltér a napsugárzás spektrális karakterisztikájától,
- a tiltott sáv szélessége nem megfelelő, nem minden foton kelt töltéshordozókat,
- a formatényező kicsi a túl magas hőmérséklet, valamint a soros ellenállás miatt
- a felület egy része nem kihasználható a hozzávezetések árnyéka vagy hibahelyek miatt

A napelemek hatásfokát több évtized alatt sikerült a kezdeti néhány százalékról a manapság kereskedelmi forgalomba is kapható 17-20%-os hatásfokig növelniük a fejlesztőknek. A jelenlegi kereskedelmi forgalomban kapható legjobb napelem típusok jellemzően ilyen hatásfokkal rendelkeznek. Ennél magasabb hatásfokot elérni eddig csak laboratóriumi körülmények között sikerült elérni drága technológiák felhasználásával. Ezért a napelemek hatásfokának növelése mellett amennyiben van rá mód más eszközökkel kell növelni a hatékonyságát, így csökkentve annak fajlagos árát, ezáltal növelve az elterjedését. Egyik ilyen lehetséges mód, ha felismerjük azt a tényt hogy a napelemek akkor termelnek maximálisan, ha a felületükre merőlegesen érkezik a napsugárzás. A statikus elhelyezés esetén ez az állapot csak nagyon rövid ideig teljesül. Mivel a Nap látszólagos pályája évszakonként és napszakonként egyaránt eltér, így a folyamatosan merőleges beesési szöget csak úgy tudjuk napközben fenntartani, ha mozgatjuk a napelemeket is. A napkövetés általi nagyobb hatékonyság mellett számottevő tény, és a napkövetés mellett szól, hogy az ilyen rendszerek energia termelésének mértéke napon belül közel azonos amennyiben az időjárási viszonyok is állandóak.



9. ábra

Ezáltal az energia termelés jobban tervezhető és jobban megszervezhető annak felhasználása és elosztása, valamint a hagyományos energiaforrásokra épülő erőművek napi termelési menetrendjének kialakításában is segítséget jelent.

A 9.ábrát megfigyelve belátható hogy a napon belüli termelés egyértelműen egyenletesebb, valamint így mintegy 25-30%-os többlet energia keletkezik, ami a napkövetés mellett szól.

Ugyanakkor a vitathatatlan előnyök mellett beszélnünk kell az ilyen rendszerek hátrányáról is. A napkövetéshez szükséges energiának fedezése kismértékben ugyan csökkenti az így nyert energia többletünket, a beépített mozgó mechanikai alkatrészek csökkentik a megbízhatóságot, és növelik a karbantartási munkálatok szükségességét.

Számottevő probléma még a jelentős többletköltséget jelentő mozgó mechanika beépítése, és annak kiépítése. Mérlegelni kell tervezéskor az előnyök és hátrányok, valamint a bekerülési költség és a megtérülési idő arányát. Nem elhanyagolható tény ugyanakkor az sem, hogy noha a napelem cellák folyamatos és intenzív fejlesztése során annak ára drasztikusan csökkent az utóbbi évek során de a technológiai fejlesztések a felhasznált anyagok tekintetében közel sem lett környezetbarátabb. Ezért amennyire csak lehetséges más módszerekkel kell biztosítani a hatékonyságát a jelenlegi napelem típusoknak, így növelve annak szerepét az energia termelésben.

4. Napkövetés

A Nap a szemlélőhöz viszonyított helyzetének meghatározására több módszer létezik. Mint például, ha **fényérzékelőket használunk**, és azzal pásztázzuk a rendelkezésre álló teret, vagy a napelem helyzetéből, a **Nap pillanatnyi pozíciójának ismeretében kiszámoljuk**, merre kell a napelemeket fordítani, hogy azokra 90 fokban érkezzenek a sugarak.

4.1 Fényérzékelésen alapuló technika

A **fényérzékelésen alapuló megoldást** leggyakrabban, úgy valósítják meg, hogy egy belül matt feketére festett, vagy a fény visszaverődését másképpen megakadályozó anyaggal bevont, egyik oldaláról zárt cső, lezárt végébe fényérzékelőket helyeznek el, majd ezt a csövet a mozgatandó mechanikai egységre úgy erősítik fel, hogy az tökéletesen merőleges legyen a napelem felületére, és nyitott vége abba az irányba nézzen, ahonnan a Naptól érkező sugárzást várjuk. A rendszer működésének az alapja az az elv, hogy ezt az egységet, tehát a napelemet és az érzékelőkkel felszerelt csövet eleinte teljesen tetszőleges pályán kezdjük el mozgatni addig, ameddig valamelyik fényérzékelő direkt sugárzást nem érzékel. Ezután az érzékelők a csövön belüli helyzetének ismeretében a szerkezetet már egyszerűen mozgathatjuk addig, ameddig az összes érzékelőre nem esik direkt sugárzás. Ekkor a napelemre érkező fénysugarak kvázi 90 fokosnak tekinthetők. A rendszer érzékenységét a cső átmérője, hossza, és a lezárt végen elhelyezett fényérzékelők száma határozza meg.

Ennek a megoldásnak sajnos számos hátránya van. Elsősorban, ha figyelembe vesszük, hogy napelemeket általában olyan helyekre telepítenek, ahol azok igen erősen ki vannak téve az időjárás okozta minden káros hatásnak. Amennyiben **az érzékelő csőbe, víz vagy valamilyen szennyező anyag kerül, az azonnal tönkre teheti az érzékelőket**, vagy azok működését nem kívánt módon befolyásolhatják, hiszen elég egy, vagy kettő érzékelő tönkremenetele, vagy elszennyeződése, hogy **a rendszer teljesen működésképtelen legyen**. Ilyen hibák elkerülése érdekében a csövet fentről le kell zárni valami olyan anyaggal, amely a fénysugarak minél nagyobb részét átengedik, és annak sugárzási szögét nem változtatják meg. **Ennek a kivitelezése nagy feladattá teszi egy precíz, pontos, és megbízható rendszer megtervezését és kivitelezését**. Ráadásul minden ilyesfajta

nehézség leküzdése után sem garantált, hogy a lezárt cső optikailag nyitott végére nem kerül valamilyen anyag, ami nagyban befolyásolja az érzékelést. Alaposan végig gondolva erre már egy vízcsepp is alkalmas, hiszen a fénysugarakat nagy mértékben képes megtörni, és egy napelemes rendszert a szokásos telepítési körülmények miatt képtelenség az esővíztől megvédeni.

Másrésről ezek a rendszerek **nem képesek felhős időben megbízhatóan működni**, hiszen ha a Nap elé egy felhő érkezik, az érzékelők állapotai azt mutatják, hogy a rendszer nem a Nap felé néz. Amennyiben az egész égboltot felhők takarják, a szórt fényből sosem tudja megállapítani, hogy a Nap éppen melyik irányban van, így folyamatosan pásztázza az égboltot. Extrém eset ugyan, de előfordulhat, hogy az érzékelő, egy valahonnan, teljesen fals irányból **visszavert erős fényre hiszi, hogy az a Nap közvetlen sugárzása**, miközben a Nap fénye valamilyen, a 90 foktól erősen eltérő beesési szöggel érkezik a napelem felületére.

Mindent összevetve a fényérzékelésen alapuló napkövetéses rendszerek a fényérzékelők, és a nagy pontosságot, és komplikált gyártástechnológiát megkövetelő előállítás miatt **relatív drágák, karbantartást, tisztítást igényelnek, és működésük könnyen megbízhatatlanná válhat.**

4.2 A Nap pillanatnyi helyzetének kiszámításán alapuló technika

Egy másik megoldás lehet a **Nap pontos helyzetének meghatározására**, ha tapasztalati tények alapján felvesszük annak pályáját a Földhöz képest, és ezek az adatok alapján egy függvény segítségével kiszámoljuk a pozícióját a dátum, a pontos idő, és a szemlélő helyzetének, azaz a GPS koordinátái függvényében.

Ennek az elvnek a megvalósításához több megoldás is rendelkezésre áll. A napelemeket általában fix helyre telepítik, így a koordinátákat statikusan meg lehet adni, és egy naptár és óra áramkör alkalmazásával a többi szükséges információ is rendelkezésre áll. Ennek azonban igen komoly hátrányai vannak, hiszen feszültség kimaradás esetén szükséges valamilyen energia tároló a vezérlés ellátására, hogy az idő és dátum adatok ne vesszenek el, ami plusz költségként jelenik meg, valamint az akkumulátorok élettartama jóval kisebb a napelemekénél, így kötelező karbantartást igényelne, amely még újabb

többletköltségekkel terhelné a tulajdonost, valamint a telepítésnél, cserénél a koordinátákat és az idő, és dátum adatokat is manuálisan mindig meg kell adni.

Erre a problémára megoldást jelent egy **GPS modul alkalmazása**, amely ma már olcsóbban beszerezhető egy akkumulátornál töltőáramkörrel, vagy az előzőekben tárgyalt fényérzékelős rendszerrel. Egy ilyen modul használatával, az ideális dőlési szög és a helyes irány meghatározásához szükséges minden információ rendelkezésre áll, és azok a rendszer tulajdonságai miatt 100 százalékos biztonsággal a valóságot takarják, mint például az 5 méteres pontosságú szélességi, hosszúsági, és magassági adatok, a néhányszor tíz nanoszekundum pontosságú egyezményes koordinált világidő adatok, a pontos dátum. Ezek a pontossági mértékek a feladat szempontjából bőségesen elegendők. Másrészt kiküszöbölik az előző módszer azon hátrányait, hogy **akármilyen hosszú feszültség kimaradás után is képesek maximum fél perc alatt a szükséges információk aktuális értékeit megszerezni**. Esetleges hátrányként felmerülhet a többletfogyasztása a GPS-es vezérlőáramkörnek, de ésszerűen végiggondolva az első pontos helyzet és idő adatok megérkezése után a vezérlés a következő üzemzavarig, feszültségkimaradásig minden gond nélkül tudja az időt számolni, egy Real-Time Clock modul segítségével, havonta néhány másodperces hibával, valamint feltételezhetjük, hogy ezalatt nem változnak a napelem koordinátái sem. Valamint **a beüzemelést és a karbantartást, cserét is nagyban leegyszerűsíti, és olcsóbbá teszi, hogy a rendszer semmilyen statikus információt nem igényel**, mindent önmagának automatikusan beszerez.

A fényérzékelős megoldás összes hátrányát kiküszöböli, hiszen egy hermetikusan zárt, műanyag dobozban nem érzékeny sem az esővízre, sem bármilyen más szennyeződésre, és az időjárási körülményektől abszolút függetlenül biztosítja, hogy a napelem táblák mindig a Nap felé nézzenek, felületükre a közvetlen sugárzás mindig 90 fokos szögben érkezzen, így maximalizálva azok hatékonyságát. Ezen felül a pásztázásnál elhasznált energiát is megspórolja, amit a napelem tábla mozgatására használunk el.

5. A GPS működése

A GPS (Global Positioning System) rendszer működését **a Föld körül fix pályán keringő 24-32 műhold** biztosítja – a 32-ből legalább 24 minden pillanatban üzemel -, melyek naponta pontosan kétször kerülnek meg a Földet. A ma már nagyon olcsón beszerezhető GPS modulok segítségével az ezek által sugárzott jeleket dolgozzuk fel. A műholdak mindössze **saját azonosítójukat, és a pontos időt sugározzák**. Minden műhold atomórával van ellátva, melyeket egy földi állomásról, folyamatosan felügyelnek, és szinkronizálnak. A bejövő információ alapján a szélességi és a hosszúsági adatok meghatározásához elegendő 4 műhold jelének vétele, a magassághoz további egy szükséges. Átlagosan a Föld felszínén állva egy pontból 7-12 műhold látható, így a szükséges 5 műhold mindig, mindenhol rendelkezésre áll.

A GPS modulok általában **soros interfészen keresztül kommunikálnak** karaktorsorozatok segítségével, melyek használatát, értelmezését az **NMEA 0183 szabvány** tartalmazza. Az általuk küldött üzeneteket **NMEA üzeneteknek** nevezzük. Az NMEA üzenetek leírása megtalálható a mellékletben. A kiválasztott Quectel L50-es GPS modul SiRF IV chippel van szerelve, mely a következő NMEA üzeneteket képes kezelni:

- **GGA**: 3 dimenziós helyzet adatokat szolgáltat, időt, valamint a helymeghatározás pontosságát adja meg (hány műhold jelét veszi)
- **GGL**: csak a hosszúsági, és szélességi adatokat szolgáltatja, valamint az időt
- **GSA**: a helymeghatározás precizitását adja meg. A vett műholdjelek azonosítóit, a mérés pontosságát méterben.
- **GSV**: megadja, hogy a felhasznált műholdak milyen irányban helyezkednek el a megfigyelőhöz képest
- **RMC**: ajánlott minimum adatok. Megadja a szélességi, hosszúsági adatokat, időt, dátumot, sebességet, és haladási szöget

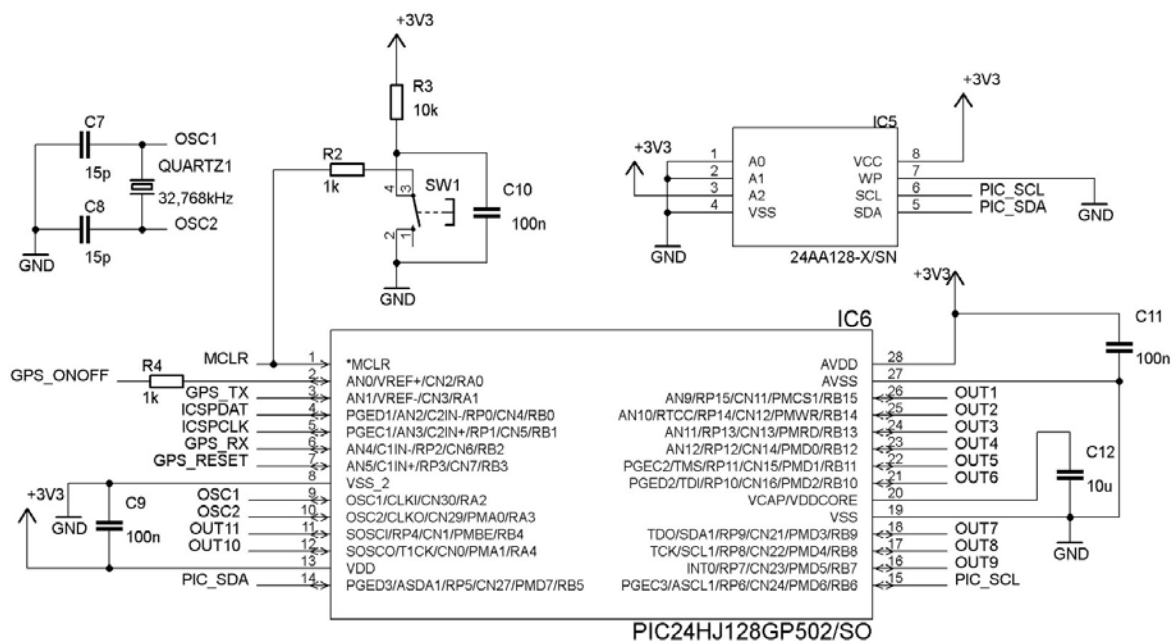
A fent felsorolt üzenetek közül **a feladat megvalósításához elegendő az RMC és a GGA üzenetek feldolgozása**, hiszen ezekben megtalálható minden információ, mint a dátum, idő, 3 dimenziós pozíció.

6. A megtervezett vezérlőáramkör

A vezérlést egy 16 bites Microchip mikrovezérlő végzi. A Nap pillanatnyi helyzetét meghatározó szoftver egy a Midwest Research Institute által kifejlesztett szabad forráskódú állomány, amely a bemenő **koordináta, idő, és dátum adatokból** fél fok pontossággal **kiszámolja, hogy a Nap milyen égtáj fele és milyen dőlésszögben látható.** Az algoritmust több napon át teszteltük, és 1 foknál nagyobb eltérést nem tapasztaltunk, amely a mérési módszer pontosságának betudható. A mérésről képek a mellékletben láthatóak. A mérés menete a következő volt: egy sík lapra felvittük a képeken is látható szögskálát és a középpontjába egy fém rudat tettünk. A szerkezetet egy tetőn elhelyeztük, és adott rendszerességgel a lap felett elhelyezett webkamera segítségével képeket készítettünk. A képeken látható árnyék segítségével meghatározható, hogy a Nap az adott pillanatban milyen irányban milyen dőlésszögben volt jelen.

A helymeghatározás gyorsaságát, és alacsony fogyasztását a SiRF IV chip nyújtotta szolgáltatásoknak köszönhetően tudjuk biztosítani. Mint például csatlakoztathatunk hozzá egy 1 Mbit-es I2C buszon kommunikáló EEPROM-ot, amibe elmenti az aktuális adatokat, és ezzel egy úgy nevezett **Self-Assisted CGEE** (Client Generated Extended Ephemeris) **technológiát valósít meg.** Ilyenkor elmenti a durva koordinátákat, időt, GPS állapotot, és a műholdak helyzetét, így mikor újraindítjuk, ezen adatok felhasználásával **pillanatok alatt meghatározza a helyet,** és veszi a pontos idő, és dátum adatokat. Ezzel a **helymeghatározás gyorsasága nagyban növelhető,** és ebből adódóan, **a fogyasztás is minimalizálható,** hiszen minél kevesebb ideig használjuk a GPS vevőt annál kevesebb energiát használunk el. Az aktuális adatok megérkezése után a modul hibernált állapotba küldhető, ami alatt semmilyen számítási munkát nem végez, a vevőegység ki van kapcsolva, minimális energiát használ a rendszer adatainak fenntartásához, hogy ezzel is gyorsabbá tegye az újabb helymeghatározást, ha az szükséges. A vezérlő áramkör nyomtatott áramköri tervei, beültetési rajza szintén megtalálható a mellékletben.

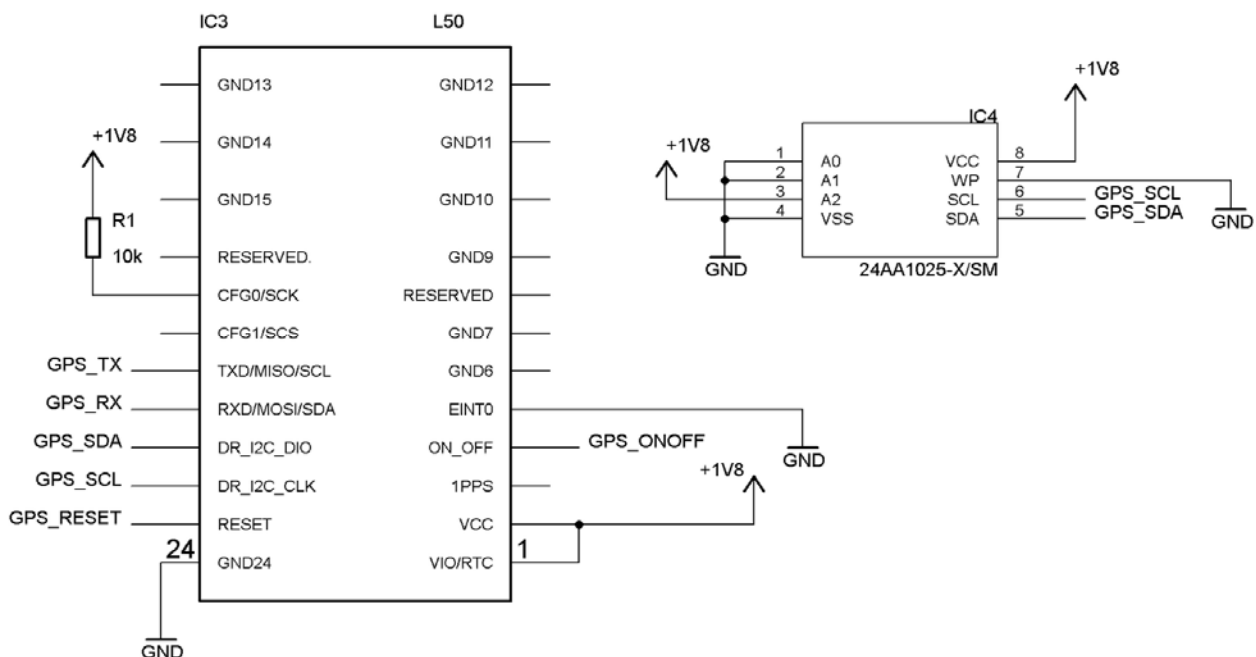
6.1 A központi vezérlő egység



10. ábra

A vezérlőáramkör központi része (10. ábra) egy PIC24HJ128GP502 típusú Microchip mikrovezérlő. Az áramkör manuális újraindítási lehetőséggel van ellátva, amely a fejlesztést és a tesztelést segíti, ezt az áramköri részletet alkotja az SW1 nyomógomb, az R2, R3 ellenállások és a C10 kondenzátor. A kiválasztott mikrovezérlő rendelkezik egy beépített Real-Time Clock modullal, melyhez kívülről mindössze a QUARTZ1 jelű 32,768 kHz-es quartzkristályt és a hozzá tartozó két 15 pF-os kondenzátorokat kell csatlakoztatni, és ennek segítségével **a vezérlés egy rendkívül pontos időt tud generálni**, akár a mikrovezérlő SLEEP állapotában is. Ennek köszönhetően **a mikrovezérlő fogyasztása minimalizálható**, és a pontos idő minden egyes pillanatban rendelkezésre áll, így mint azt korábban említettem elég minden helyváltoztatás, tápfeszültség-kimaradás, vagy egyéb nem üzemszerű esemény után felébreszteni a GPS modult a hibernált állapotából, és beszerezni az aktuális információkat. A mikrovezérlő egy külső 128 Kbit-es soros vezérlésű, I2C buszon kommunikáló EEPROM-mal is el lett látva, melybe statisztikai adatokat tud elmenteni, ezzel segítve a későbbi tesztek, és azok kiértékelését.

6.2 A GPS modul

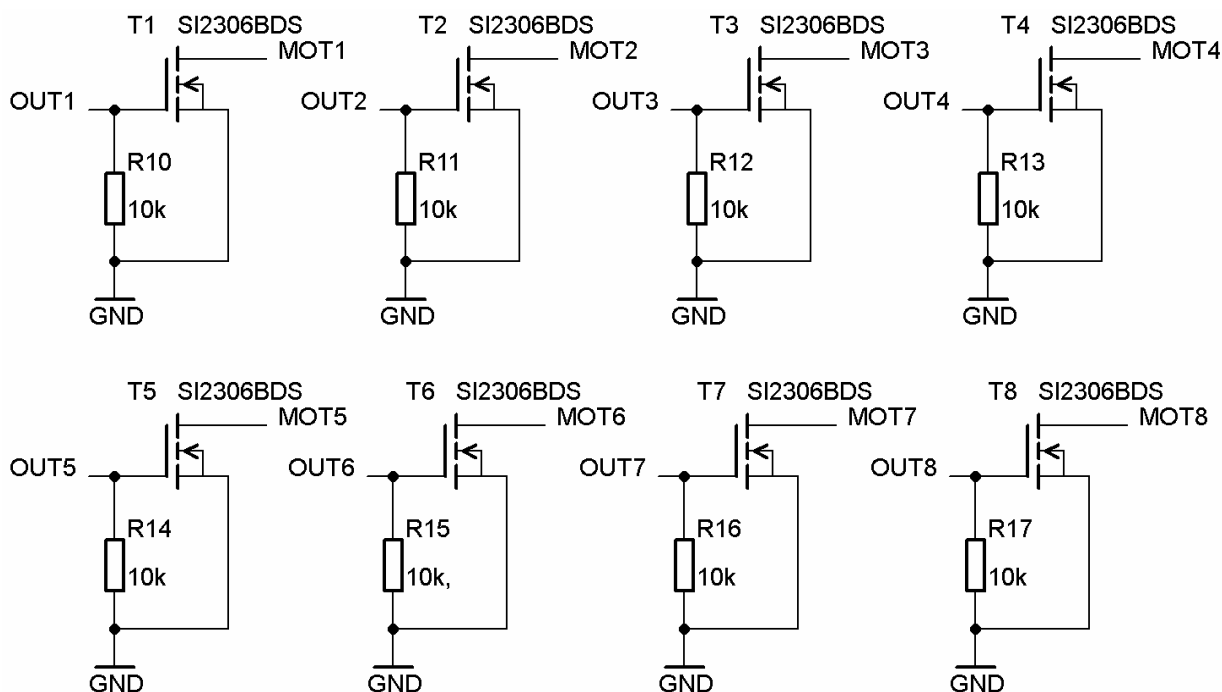


11. ábra

A feladathoz kiválasztott GPS modul a Quectel cég L50-es típusa. A kiválasztásnál fő szempontok voltak, hogy **olcsó** legyen, ezen az árkategórián belül a **legkorszerűbb chippel** legyen **szerelve**, mérete **kicsi, kompakt** legyen, valamint, hogy ne kelljen külső antennát illeszteni hozzá, azzal legyen egybeépítve. Ezeket az elvárásokat maradéktalanul teljesítette, hiszen **a dolgozat megírásának idején ára nettó 2900 Forint volt**, a legújabb SiRF IV chippel van felszerelve, mely rengeteg, már korábban is említett hasznos tulajdonságokkal, és kényelmi funkciókkal rendelkezik, mérete 28 mm x 16 mm x 3 mm, mely méretek egy felületszerelhető nyomtatott áramkört takarnak, és azon kiváló minőségű gyártástechnológiával van kialakítva a GPS vezérlő egység, az antenna, az ahhoz szükséges erősítő, és mindezek kapcsolata. A modul **hardveresen konfigurálható soros kommunikációs porttal** rendelkezik. Ennek beállítását a CFG0, CFG1 lábak tápfeszültség szintre, illetve közös szintre való kapcsolásával lehet elvégezni. A port UART, illetve I2C kommunikációt képes megvalósítani. A beállítást az R1 ellenállás végzi, valamint a CFG1 láb szabadon hagyása. A képen látható konfiguráció UART módba állítja a portot.. Az egység alapbeállításban 4800 baudrate-tel folytat kommunikációt, a tápfeszültségéből adódóan **0-1,8V-os jelszintekkel**, amelyet minden szabványos áramkör kezelni tud. A

modul képes a DR_I2C lábaira kapcsolt **1 Mbit-es, soros vezérlésű, I2C-s EEPROM**-ot kezelni, melybe a korábban említett adatok elmentésével rendkívüli módon felgyorsítható a fix GPS jel-vétel és a szükséges adatok fogadása, mellyel egyidejűleg a fogyasztás is nagy mértékben csökkenthető. A modul RESET lábát a mikrovezérlő kezeli, hogy az szoftveresen, egy **esetleges érzékelt hibás működési állapot esetén újraindítható** legyen. A GPS_ON_OFF láb szintén a mikrovezérlő egyik portjáról vezérelt, egy 10 kOhm-os ellenálláson keresztül. Ennek a lábnak a funkciója létfontosságú a rendszer működésében, mert a GPS áramkör bekapcsolás, és **rendszerfelállítás után automatikusan hibernált állapotba kerül**, ekkor **minimális energiát fogyaszt**, ellenben nem folytat semmilyen semvételi, sem jelfeldolgozással kapcsolatos, sem pedig kommunikációs tevékenységeket. Erre a lábra a rendszer felállása után logikai 1 szintet vár, majd egy minimum 1 ms hosszúságú logikai 0 szintű impulzus, majd ismét logikai 1 szintű **bemenő jel hatására a modul a hibernált állapotból átkerül a “Full Power” állapotba**. Ebben az állapotban a modul minden egysége működik, folyamatosan keresi, és értelmezi a bejövő, műholdak által sugárzott jeleket, azokból kiszámolja a pozíciót, és minden egyéb adatot, majd ezeket **kiküldi a soros kommunikációs portján**. Ezen a ponton keresztül tudjuk az egyéb beállításokat módosítani. Számtalan ilyen beállítással rendelkezik, mint például a soros port konfigurálása, pozíciófrissítés gyakorisága, stb. Ami a feladat szempontjából fontos beállítás, az a kiküldött NMEA üzenetek megválasztása. Mint azt korábban említettem, számunkra csak a GGA, és az RMC üzenetekben megtalálható információk fontosak, ezért ezeket a szoftver **1 másodpercenkénti kiküldési gyakoriságra állítja**, a többi üzenet küldését kikapcsolja. A modul rendelkezik egy 1PPS elnevezésű kimenettel, amelyen a műholdakhoz szinkronizált rendkívül pontos 1 Hz frekvenciájú jelet küld ki, valamint rendelkezik egy EINT0 nevű lábbal, amelyet logikai 1 szintre hozva egy külső megszakítást idézhetünk elő. A feladat során ezeket a funkciókat nem használjuk, ezért ezeket a lábakat, a gyári adatlap ilyen esetre vonatkozó ajánlása szerint vezetékezzük az áramkörben. Említésre méltó még, hogy a GPS modul leoptimalisabb működése érdekében a nyomtatott áramkörti lap megtervezésekor gondosan ügyeltünk arra, hogy a **modul 10mm-es körzetében ne legyen sem aktív áramkörti elem, sem 3 mm-nél magasabb fém tárgy, valamint az egész lap a lehető legkevesebb földpotenciálon lévő fóliát tartalmazzon**. A nyomtatott áramkör fóliarajzai, és beültetési vázlatai megtalálhatóak a mellékletben.

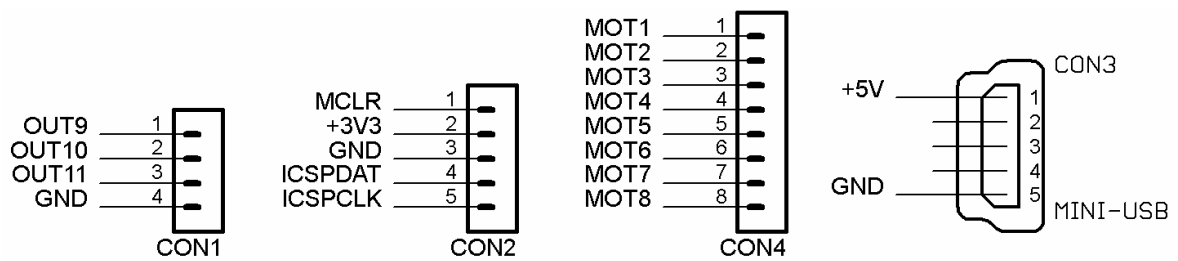
6.3 A mozgató motorok vezérlése



12. ábra

A napelem cellák mozgatására **unipoláris léptetőmotorokat** választottunk, melyek tekercseinek közös pontját a 24 V-os tápfeszültség pozitív pontjára kötöttünk, a vezérlés pedig a nyomtatott áramkörön elhelyezett SOT-23 tokos SI2306BDS-es MOSFET-eken keresztül kapcsolja a tekercsek másik pontját földpotenciálra. A kiválasztott MOSFET maximális folytonos Drain árama 3,16 A, ami elegendő a motorok által felvett 400 mA-es áram megszakítására, illetve bekapcsolására, valamint **beépített visszavezető diódát tartalmaz**, így azt nem szükséges az áramkörbe iktatni kívülről.

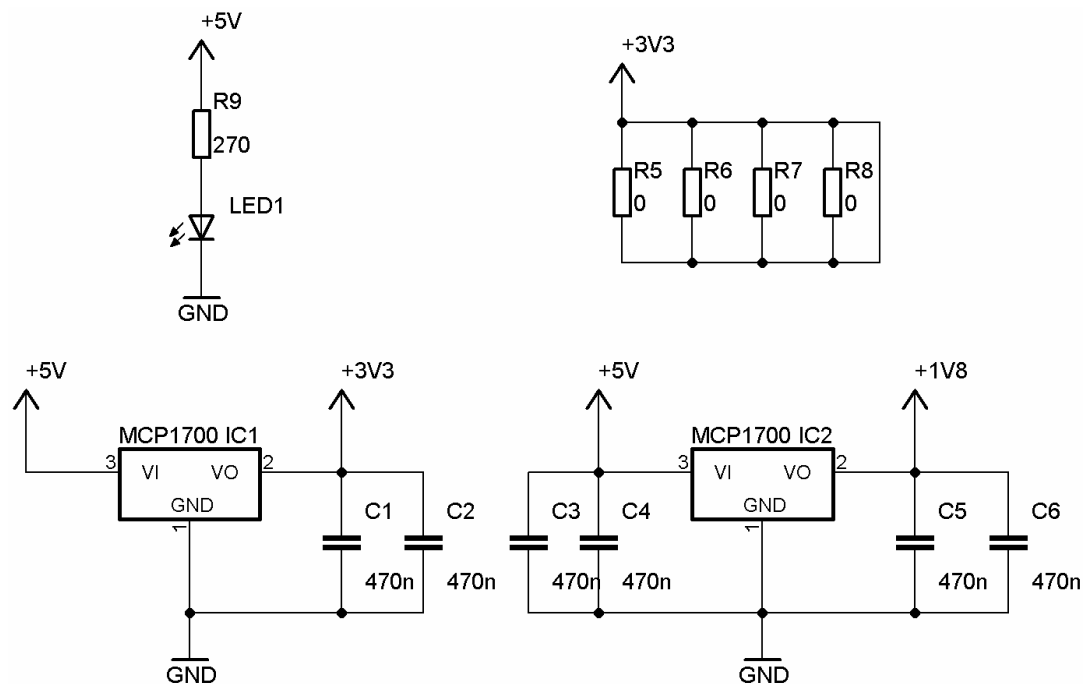
6.4 Az áramkör ki és bemenetei



13. ábra

Az áramkör egy mini **USB csatlakozón** keresztül kapja az **5 V-os tápfeszültséget**. Ezen kívül a motorok és egyéb be-, illetve kimenetek csatlakoztatására 100 mil raszterű tükessort terveztünk a nyomtatott áramkörre. A mikrovezérlő programozására, és debugolására egy 5 pólusú, szintén 100 mil raszterű tükessor került a panelra, melyre PICkit 2, illetve PICkit 3 programozót tudunk csatlakoztatni.

6.5 Az áramkör tápellátása



14. ábra

A bejövő 5 Voltból két MCP1700 típusú feszültség-stabilizátor állítja elő a mikrovezérlőnek szükséges 3,3 és a GPS modulnak az 1,8 Voltos tápfeszültséget. A feszültségeket mind bemeneti, mind kimeneti oldalon szűrjük két darab 470 nF-os kondenzátorral. Az R5, R6, R7, R8 ellenállások 0 Ohmosak, az áramkörben lényegi szerepet nem töltenek be, használatukat az az igény teszi indokoltá, hogy az áramkört egy egyrétegű nyomtatott áramköri lapon ki lehessen alakítani. Az 5 Voltos tápfeszültség meglétét a LED1 nevű fénykibocsátó dióda jelzi.

7. A projekt pillanatnyi állapota, jövőbeni tervek, fejlesztések

A mérésekhez szükséges mechanika kész, és működő képes állapotban van. A vezérlést ellátó áramkör a GPS jelek vételére, és értelmezésére alkalmas, azokból a Nap helyzetét meghatározó két szög értéket pontosan kiszámolja. Fizikailag egy házilag legyártott prototípus nyomtatott áramköri lapon helyezkedik el, melynek fejlesztése a mért eredmények, és a működés optimalizálása érdekében folyamatosan fejlesztés alatt áll. A mérésekhez szükséges, és a vezérlőáramkörtől teljesen független, automata mérő és kiértékelő áramkör tervezés alatt áll.

A valós körülmények megléte mellett való mérést a téli hónapokra tervezzük, hiszen a pontos és általánosnak tekinthető mérési eredmény eléréséhez a rendszert több héten, inkább több hónapon keresztül kell tesztelnünk, emellett a téli hónapok időjárása lehetővé teszi, hogy annak működését a lehető legrosszabb körülmények között tegyük próbára, valamint hatékonyság növelő hatását zord időjárás mellett tesztelhessük.

A komplett rendszer fejlesztését és a mért adatok alapján való optimalizálását tartjuk feladatunknak az elkövetkező hónapokra, hogy annak eredményeit a lehető legkorábban kiértékelhessük, és azok ismeretében dönthessünk, hogy érdemes-e a napelemek hatékonyságának növelése ezen módszerrel.

[1] Dr. Nemcsics Ákos: Elektrotechnika 96. évfolyam 10.szám Villamosenergia-termelés napelem segítségével 2003

[2] Dr. Nemcsics Ákos: A napelem működése, fajtái és alkalmazása Műszaki Ökológia 2005

[3] Dr. Mizsei János, Timárné Horváth Veronika: Napelemek 2003

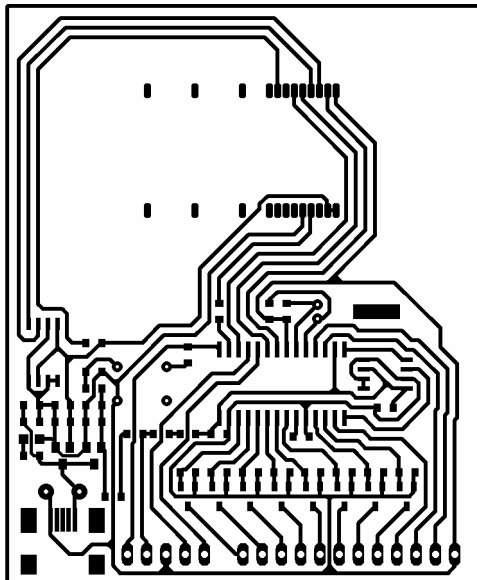
[4] NMEA data (ismeretlen szerző): <http://www.gpsinformation.org/dale/nmea.htm>

[5] PIC24HJ128GP502 datasheet – DS70293G
-, Microchip Technology Inc. 2012:

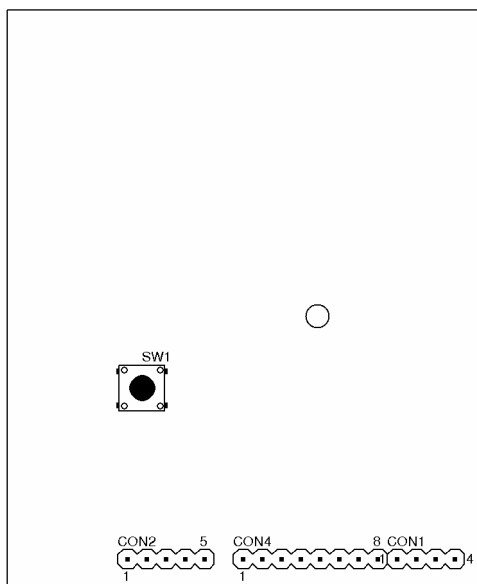
[6] L50 GPS Protocol Specification V1.0, Quectel Wireless Solutions Co., Ltd. 2011

8. Melléklet

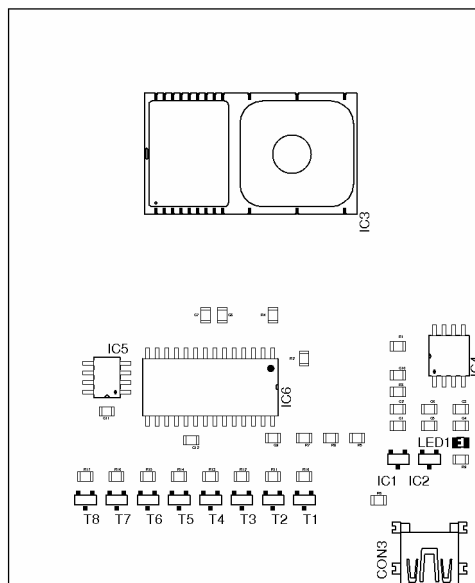
1. A vezérlőáramkör nyomtatott áramköri fóliarajza (1:1 méretarány, felülnézet):



2. A vezérlőáramkör nyomtatott áramköri beültetési rajza, felső oldal (1:1 méretarány, felülnézet):



3. A vezérlőáramkör nyomtatott áramköri beültetési rajza, alsó oldal (1:1 méretarány, alulnézet):



4. Az algoritmust ellenőrző mérés összeállítása:

