



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Méréstechnika és Információs Rendszerek Tanszék

Vincze Zsolt

**ALTERNATÍV ENERGIAFORRÁSÚ
TÖLTŐRENDSZER FEJLESZTÉSE
AUTOMATA BEÁGYAZOTT
MÉRŐRENDSZERHEZ**

KONZULENS

Krébesz Tamás István

BUDAPEST, 2015

DIPLOMATERV-FELADAT

Vincze Zsolt (ELVS69)

szigorló villamosmérnök hallgató részére

Alternatív energiaforrású töltőrendszer fejlesztése automata beágyazott mérőrendszerhez

Európai Unió direktíva alapján, új kommunális hulladéklerakó építése esetén, a lerakó medencéjét el kell látni egy speciális védőréteggel, amely megakadályozza a csurgalékvíz talajba jutását. Erre a célra egy HDPE fóliaréteget telepítenek a medencébe. A Geoelectro Kft. fő tevékenysége, hogy olyan szenzorhálózatot telepít a fóliaréteg alá, mely képes detektálni és pontosan megmutatni az esetleges sérüléseket és azok helyét. Jelenleg is fejlesztés alatt áll egy olyan automata beágyazott mérőrendszer mely előre programozott módon tud mérést végezni. A rendszer beágyazott egységei felé fontos elvárás, hogy hálózati áram nélkül is tudjon üzemelni. Emellett fontos, hogy ne kelljen havi rendszerességgel karbantartani a lemerülő akkumulátor miatt. A műszert úgy tervezzük kialakítani, hogy rendelkezzen egy saját töltőáramkörrel, mely figyeli, az akkumulátort és visszapótolja a műszer által elhasznált energiát.

Az energia visszapótlásának több lehetősége van. Mivel a műszer rendelkezik földbe telepített elektródákkal, szeretnénk kutatásokat és kísérleteket végezni, hogy az úgynevezett tellurikus áramok felhasználásával lehessen kialakítani a töltőrendszert. A töltéshez szükséges energia előállításának másik módja a napelemes rendszer használata. Ez esetben fontos, hogy a rendszer képes legyen megfelelő töltő teljesítménnyel kiszolgálni az akkumulátort a fényviszonyok, és az akkumulátor kapocsfeszültségének változását is figyelembe véve. Erre alkalmas eljárás az MPPT (Maximum Power Point Tracking), mely adott teljesítményű napelem modul esetén 10-45%-os teljesítménytöbbletet eredményez a fény- és hőmérsékletviszonyok változásától függően.

A hallgató feladatának a következőkre kell kiterjednie:

- Mutassa be az automata mérőrendszer átfogó rendszertervét!
- Végezzen méréseket és azok alapján becsülje meg a rendszer energiaigényét!
- Ismertesse a tellurikus áramokat és azok hátterét!
- Tervezze meg és végezze el a kísérleti méréseket!
- Értékelje ki a kapott eredményeket és alkosson véleményt a tellurikus áramok felhasználhatóságáról!
- Specifikálja a megvalósítandó töltőberendezést!
- Tervezze meg a töltőberendezést!
- Valósítsa meg a töltőberendezést és készítse el a hozzá tartozó dokumentációt!
- Tesztelje az elkészült töltőberendezést és értékelje ki az eredményeket!

Tanszéki konzulens: Krébesz Tamás István, tanársegéd

Külső konzulens: Vincze László (Geoelectro Kft.)

Budapest, 2015. február 13.

.....
Dr. Jobbágy Ákos
tanszékvezető

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	6
Abstract.....	7
1 Bevezetés	8
2 Az automata mérőrendszer rendszerterve	9
2.1 A rendszer áttekintése	9
2.2 Működési elv.....	11
2.3 Szenzorok.....	12
2.4 Kapcsolópanelek	13
2.5 Mérőműszer	14
2.6 Adatküldés	15
3 Az energiaigény becslése	16
3.1 A mérőműszer fogyasztásmérése.....	16
3.2 Kapcsolópanelek fogyasztásmérése.....	18
3.3 Kommunikációs modulok fogyasztásbecslése.....	19
3.4 Energiaigény megadása	19
4 Alternatív energiák	20
4.1 Tellurikus áramok vizsgálata	20
4.1.1 Általános ismertető	20
4.1.2 Rozsdamentes acél elektródák alkalmazhatóságának vizsgálata.....	21
4.1.3 A kiépített monitoring rendszer tellurikus alkalmazhatóságának vizsgálata.	25
4.2 Maximum Power Point Tracking.....	29
5 A beágyazott töltőrendszerrel szembeni követelmények	34
6 A beágyazott töltőrendszer tervezése	35
6.1 Követelményanalízis és logikai rendszerterv.....	35
6.2 A technikai rendszer architektúra specifikációja	38
6.3 Részletes tervezés	43
6.4 Szoftverkövetelmények elemzése és a szoftver architektúra megtervezése	52
6.5 Szoftverkomponensek specifikálása	53
7 A beágyazott töltőrendszer megvalósítása.....	59
7.1 A hardver kivitelezése.....	59

7.2 A szoftver megvalósítása	60
8 A töltőrendszer tesztelése	62
8.1 Hardvermodulok tesztelése	62
8.2 Szoftvermodulok tesztelése	63
8.3 Töltőrendszer tesztelése	63
9 Következtetések.....	67
10 További fejlesztési lehetőségek	68
Irodalomjegyzék.....	69
Függelék.....	70

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott **Vincze Zsolt**, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a diplomatervet meg nem engedett segítség nélkül, saját magam készítettem, csak a megadott forrásokat (szakirodalom, eszközök stb.) használtam fel. Minden olyan részt, melyet szó szerint, vagy azonos értelemben, de átfogalmazva más forrásból átvettem, egyértelműen, a forrás megadásával megjelöltem.

Hozzájárulok, hogy a jelen munkám alapadatait (szerző(k), cím, angol és magyar nyelvű tartalmi kivonat, készítés éve, konzulens(ek) neve) a BME VIK nyilvánosan hozzáférhető elektronikus formában, a munka teljes szövegét pedig az egyetem belső hálózatán keresztül (vagy hitelesített felhasználók számára) közzétegye. Kijelentem, hogy a benyújtott munka és annak elektronikus verziója megegyezik. Dékáni engedéllyel titkosított diplomatervek esetén a dolgozat szövege csak 3 év eltelte után válik hozzáférhetővé.

Kelt: Budapest, 2015. 05. 20.

.....
Vincze Zsolt

Összefoglaló

Európai Unió direktíva alapján, új kommunális hulladéklerakó építése esetén, a lerakó medencéjét el kell látni egy speciális védőréteggel, amely megakadályozza a csurgalékvíz talajba jutását. Erre a célra egy HDPE fóliaréteget telepítenek a medencébe. A Geoelectro Kft. fő tevékenysége, hogy olyan szenzorhálózatot telepít a fóliaréteg alá, mely képes detektálni és pontosan megmutatni az esetleges sérüléseket és azok helyét. Jelenleg is fejlesztés alatt áll egy olyan automata beágyazott mérőrendszer mely előre programozott módon tud mérést végezni. A rendszer beágyazott egységei felé fontos elvárás, hogy hálózati áram nélkül is tudjon üzemelni. Emellett fontos, hogy ne kelljen havi rendszerességgel karbantartani a lemerülő akkumulátor miatt. A műszert úgy tervezzük kialakítani, hogy rendelkezzen egy saját töltőáramkörrel, mely figyeli, az akkumulátort és visszafótolja a műszer által elhasznált energiát.

Az energia visszafótlásának több lehetősége van. Mivel a műszer rendelkezik földbe telepített elektródákkal, szeretnénk kutatásokat és kísérleteket végezni, hogy az úgynevezett tellurikus áramok felhasználásával lehessen kialakítani a töltőrendszert. A töltéshez szükséges energia előállításának másik módja a napelemes rendszer használata. Ez esetben fontos, hogy a rendszer képes legyen megfelelő töltő teljesítménnyel kiszolgálni az akkumulátort a fényviszonyok, és az akkumulátor kapocsfeszültségének változását is figyelembe véve. Erre alkalmas eljárás az MPPT (Maximum Power Point Tracking), mely adott teljesítményű napelem modul esetén 10-45%-os teljesítménytöbbletet eredményez a fény- és hőmérsékletviszonyok változásától függően.

Munkám során ismertetem az alkalmazandó automata mérőrendszer rendszertevét, kitérve az egyes egységek szerepére, sajátosságaira. A mérőegység vizsgálata és tesztmérések elvégzése után a szükséges energiaigényére becslést adok. Az energiaigény becslését követően meghatározom, hogy milyen igényeknek kell megfelelnie a töltőrendszernek és ez alapján elkészítem a töltőrendszer specifikációját.

Kísérleti mérésekkel vizsgálom, hogy a tellurikus áramok alkalmazhatóak-e az adott rendszer keretei között egy töltőberendezés megvalósítására. A kísérleti mérések a rozsdamentes acél szenzorok alkalmazhatóságára és a talajba telepített szenzorrendszer által kinyerhető energia mennyiségére vonatkoznak.

Az eredmények birtokában kiválasztom a megfelelő energiaforrást, melyet a töltőberendezés felhasznál, és a V-modell alapján elkészítem a beágyazott töltőberendezés rendszer- és modultervét. A specifikációk alapján kiválasztom a szükséges alkatrészeket, melyekből a berendezés felépül. Elkészítem a berendezés hardver-és szoftvertervét. A tervek szerint megépítem a berendezést és elkészítem a vezérlőszoftverét. A megépítést követően tesztelem a berendezést, külön hardver és szoftver szinten, majd a tesztelést követően vizsgálom a teljes automata mérőrendszert.

Abstract

There is a directive in the European Union, when a new dump is being built, a protective layer is needed to construct in the reservoir for the waste. The protective layer prevents the leachate from entering into the soil. This layer is made from High Density Poli-Ethilen (HDPE) foil. The main profile of Geoelectro Ltd. is the installation of sensor networks, which can detect and determine the exact location of the damages of the HDPE foil layer. An automatic measurement instrument is under development, which can start a measurement at a preprogrammed time. There is an important requirement toward the units of the embedded system. The requirement is that the units must work properly without line power. It is also important, to extend the time period of maintenance from a month to couple months, or half a year. We are planning to build the instrument with a charging circuit which monitors the instrument's battery, and refills it with the power needed by the instrument.

There are different ways for recharging the battery. The measurement system has a lot of sensors which are inserted into the ground. I would like to perform experimental measurements with this sensor network, investigating the possibilities of harvesting telluric currents for battery charging. The other way to get the energy for battery charging is the application of solar cells. In this case it is important for the charger to be able to provide enough amount of charging power for the battery considering the change in the light conditions and the battery voltage. The Maximum Power Point Tracking (MPPT) is a method developed for solve these problems. It gains 10-45% more charging power from a solar cell.

In my thesis, I will review the system design of the automated measurement system, considering the roles and specialties of each subunits. After the examination of the measuring unit I will give an estimation of power consumption. Based on this information I will lay down the requirements for the charger and make the exact specification for the charging system.

I will perform experimental measurements for determining the possibility of using telluric currents for battery charging. The measurements will contain the investigation of stainless steel electrodes applicability, and the amount of power which can be harvested with the measurement system's sensor network.

In the possession of the results, I will select the proper energy harvesting method for the charger device. I create the system and modular design of the charger, based on the V designing model. Based on the specifications I select the components for building the device. I create the hardware and software design of the charger. According to the plans, I build the device, and make its firmware. After building and programming, I test the device, both its hardware and software, and I analyse the operation of the whole automated measurement system.

1 Bevezetés

Napjainkban az elektromos tápellátás kulcskérdés az iparban használt eszközök tekintetében. Azon eszközök, melyek olyan helyre lettek kiépítve ahol a villamos kábel berendezéshez való eljutása nem ütközik nehézségekbe, ez megoldott kérdés. Rengeteg olyan terepi eszköz van, melyhez a tápellátást villamos kábelen keresztül nem lehetséges vagy nem praktikus biztosítani. Ezekben az esetekben az elektromos berendezések túlnyomó többségét valamilyen saját energiátároló egységgel látják el, mely szinte kizárólag elektrolitos akkumulátor. Az akkumulátorokat viszont egy idő után tölteni vagy cserélni kell, hogy az eszköz tápellátása továbbra is biztosított legyen. Az akkumulátor cseréje csak olyan helyzetekben gazdaságos, ha az eszközök könnyen, gyorsan hozzáférhetőek, de így is szükség van karbantartó személyzetre, mely az üzemben tartási munkálatokat elvégzi. Szerencsésebb eset, ha lehetőség van a berendezések akkumulátorainak üzemelési helyen való töltésére. A töltést valamely megújuló energiaforrás, mint a napenergia felhasználásával, annak napelemek segítségével villamos energiává történő átalakítással valósítják meg.

Bizonyos feltételek mellett a napelemes rendszereknél jobb alternatíva lehet egy a tellurikus áramokon alapuló töltőrendszer. A tellurikus áramok folyamatosan jelen vannak, ezért a rendszer állandó töltést képes fenntartani. Ezen áramokat a Föld külső mágnes tere és a napszelek kölcsönhatása kelti, így ez is megújuló energiaforrásnak tekinthető. Munkámban vizsgálom, hogy a Geoelectro Kft. által készített rendszerek (a rendszer bemutatása a 2. fejezetben olvasható) képesek-e kinyerni és akkumulátorok töltésére felhasználni ezen áramok egy részét. A tellurikus áramok pontos és teljes feltérképezése még nem készült el, napjainkig ez egy nyílt kutatási téma mely rengeteg új információt tartogat. Emiatt fontos hogy minden e témában felmerülő kutatás kísérleti eredményekkel legyen alátámasztva. Amennyiben a rendszer nem alkalmas a töltéshez szükséges mennyiségű energia kinyerésére, a töltőrendszert napelemek felhasználásával valósítom meg, kihasználva a Maximum Power Point Tracking (MPPT) adta lehetőségeket.

2 Az automata mérőrendszer rendszerterve

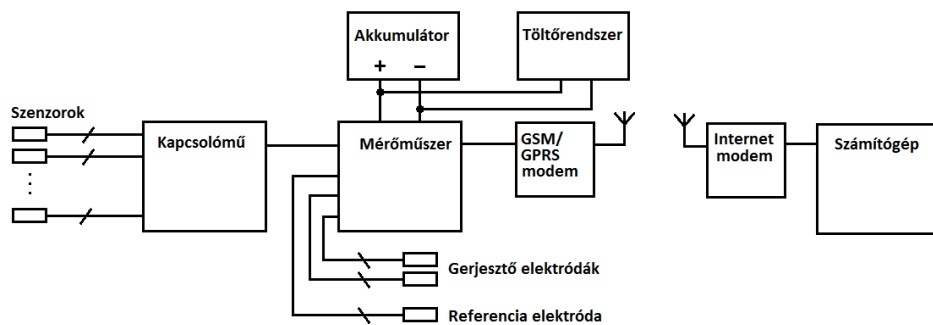
2.1 A rendszer áttekintése

Új hulladéklerakó telepek létesítésénél ma már szigorú környezetvédelmi követelményeknek kell megfelelni. Az egyik legfontosabb, a lerakótér medencéjének megfelelő vízzárósága, hogy a hulladékot átmosó víz ne tudjon szennyező anyagokat szállítani a környezet felé. A medencék szigetelésére a leghatékonyabb módszer plasztikus szigetelő fólia (2.1 ábra) alkalmazása. A fólia azonban a telepítés vagy üzemeltetés során megsérülhet, utat engedve a szennyező anyagokat tartalmazó csurgalékvíznek a védendő környezet felé. A környezet biztonsága érdekében célszerű tehát olyan ellenőrző rendszert kiépíteni, amely alkalmas a plasztikus szigetelő fólia vízzáróságának hosszú idejű ellenőrzésére. Ilyen ellenőrző rendszer a geoelektromos geofizikai módszeren alapuló szenzorhálózat.



2.1. ábra: Egy épülő hulladéklerakó medence

Az automata mérőrendszer fő részei a 2.2 ábrán láthatóak. Ezek a szenzorhálózat, amely a HDPE fóliaréteg alá van telepítve, a mérőműszer, melynek feladata a szenzorokon való mérés végrehajtása, a GSM modul, mely lehetővé teszi a mért adatok vezeték nélküli továbbítását, és egy számítógép, mely fogadja a küldött adatokat. A rendszer így képes önállóan elvégezni a HDPE fólia integritás vizsgálatát, és az eredményeket menet közben elküldeni az azokat fogadó számítógépre. Ez lehetővé teszi, hogy az interneten keresztül on-line legyen nyomon követhető a védőfólia integritásvizsgálata.



2.2. ábra: Az automata mérőrendszer blokkvázlata

Az automata rendszer nagy előnye, hogy a hulladéklerakó medence folyamatos figyelés alatt áll (pl. napi egy mérés), és ennek köszönhetően a lerakó üzemeltetése következtében kialakuló esetleges hibák nagyon hamar detektálhatók, és így javításuk sokkal kisebb anyagi ráfordítást igényel, mint a most kötelező éves periódusonként végzett ellenőrző mérések esetében. Ennek oka, hogy az üzemeltetés során a medencébe kerülő szemétréteg vastagodik, és minél több idő telik el a hiba keletkezése és megtalálása között, a feltáráshoz annál nagyobb mennyiségű szemetet kell eltávolítani. Ilyen komoly anyagi vonzattal rendelkező feltárások láthatóak a 2.3 ábrán.

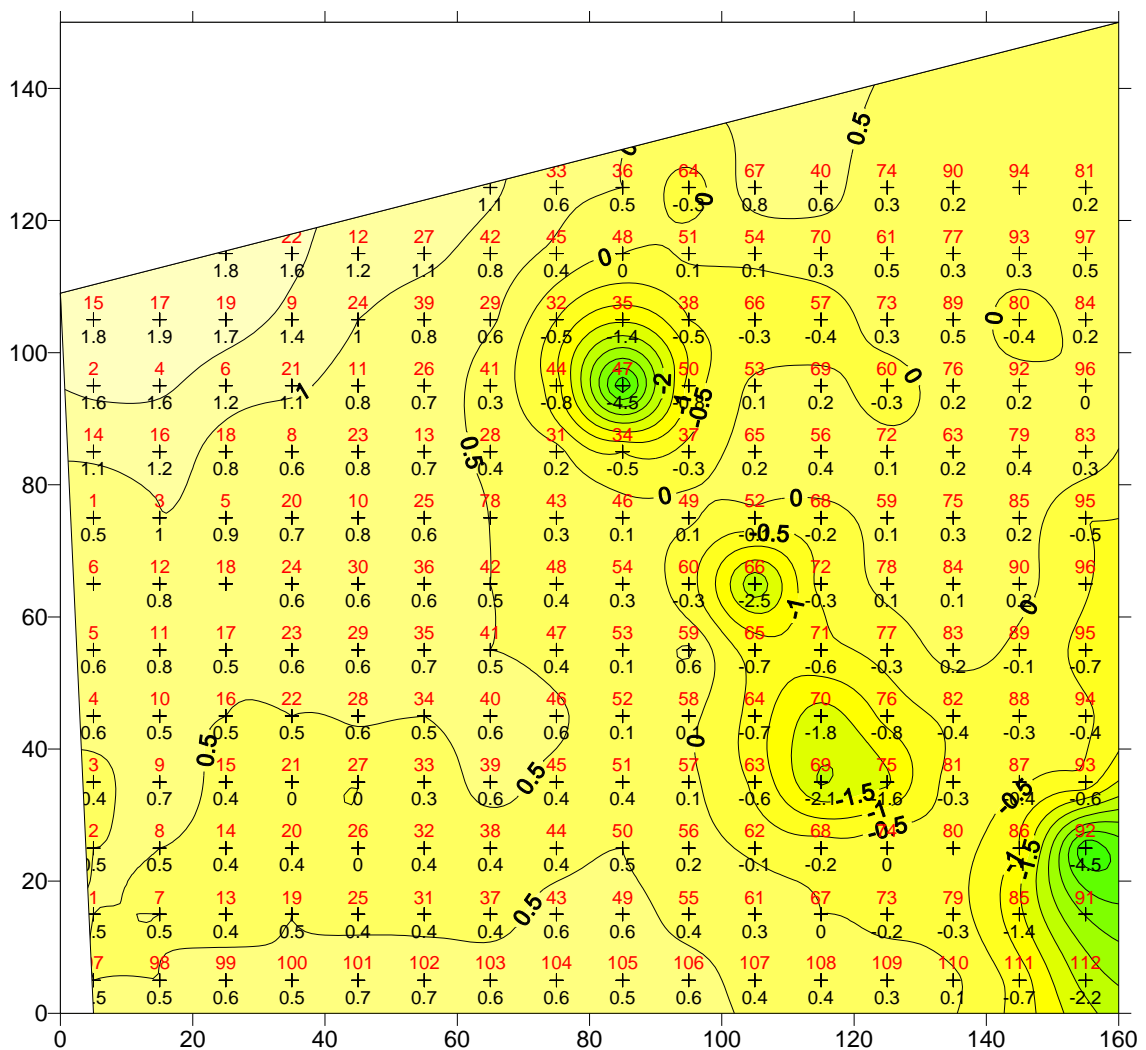


2.3. ábra: Elrettentő példák

2.2 Működési elv

A módszer azon elven alapul, hogy a plasztikus szigetelő fólia elektromosan is szigetelő, megakadályozza az áramvezetést a medence anyaga és a környezet között. A fólia sérülése esetén, a mindig jelenlévő nedvesség következtében áram folyhat a sérülésen keresztül a medence anyaga és a környezet közt. Ezen áramfolyások helyének kimérésével közvetve megtalálhatóak a fólia sérülési helyei.

Az áramfolyások helyzetének meghatározása egyenáramú potenciál-különbség méréssel történik. Ideális esetben, a sérülésen átfolyó áram (adott gerjesztési elrendezés esetén) negatív potenciálú anomáliát hoz létre, melynek nagysága a sérülés felé haladva koncentrikusan növekszik. A 2.4 ábrán jól látható, hogy hol találhatóak az egyes fóliahibák.



2.3 Szenzorok

A medencék aljzatkialakítása után, megtervezett, optimalizált helyszínrajz szerint, elektródákat helyezünk el a medencék aljára. Az elhelyezés általában 5-10 m-es szabályos négyzetháló szerint történik. A 2.5 ábrán látható elektródák 80x20x1 mm-es rozsdamentes acéllapkák. A lapkákhoz előzőleg rövid vezeték darabot forrasztunk. A forrasztási helyeket kétkomponensű epoxi műgyantával vonjuk be. A kábelkivezetés PVC szigetelésű, 0.5 mm²-es sodrott vörösréz vezeték. Az így kialakított érzékelő rendszer több évtizedig képes ellenállni a korrózióknak.

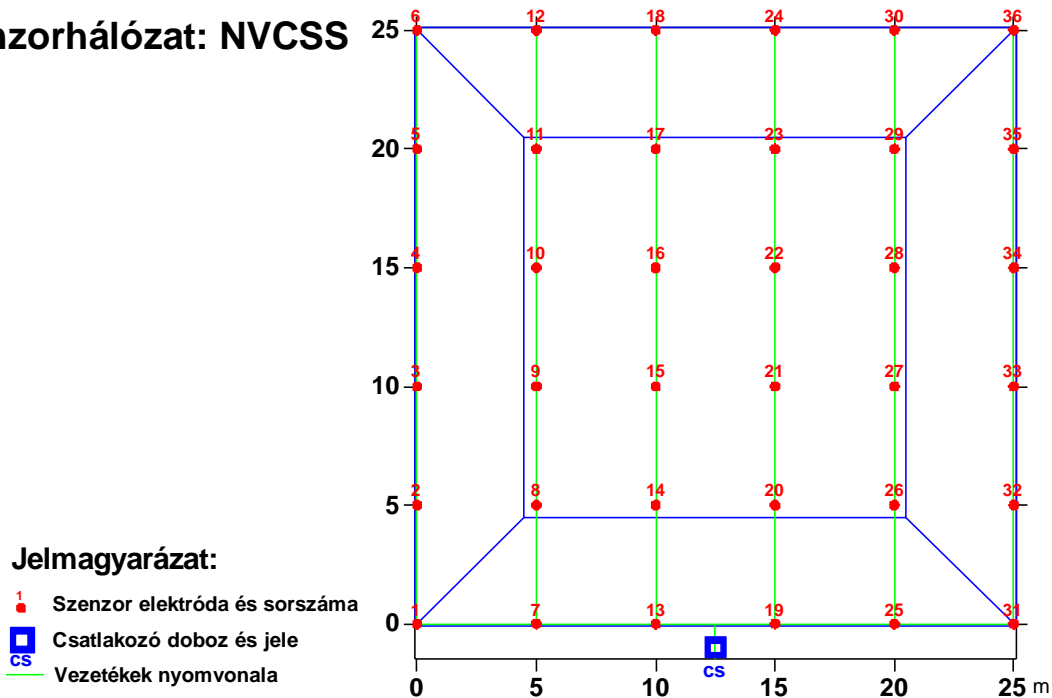


2.5. ábra: Szenzorlapka

Az elektródák kábelkivezetéseit a medence szélén elhelyezett csatlakozó dobozokhoz vezetjük. Ezek IP56 tokozási besorolású műanyag dobozok, aranyozott, ipari D-sub csatlakozókkal. Egy csatlakozó dobozba általában maximum 4 darab 25 pólusú D-sub csatlakozó kerül, felváltva apa-anya-apa-anya csatlakozókkal. A szenzor kiosztási rajzon megadott szenzor számok értelemszerűen megfelelnek a csatlakozón feltüntetett kivezetés számoknak. Az első csatlakozó 1. számú érintkezője vezet az 1. számú szenzorhoz, és folytatólagosan, a második csatlakozó 1. számú kivezetése pedig a 26. számú szenzorhoz vezet, stb.

A szenzorhálózat kiosztásának dokumentálását mutatja a 2.6 ábra. A szenzorok helyének és számának feltüntetése mellett szerepel a csatlakozó doboz helye is és a vezetékek nyomvonala.

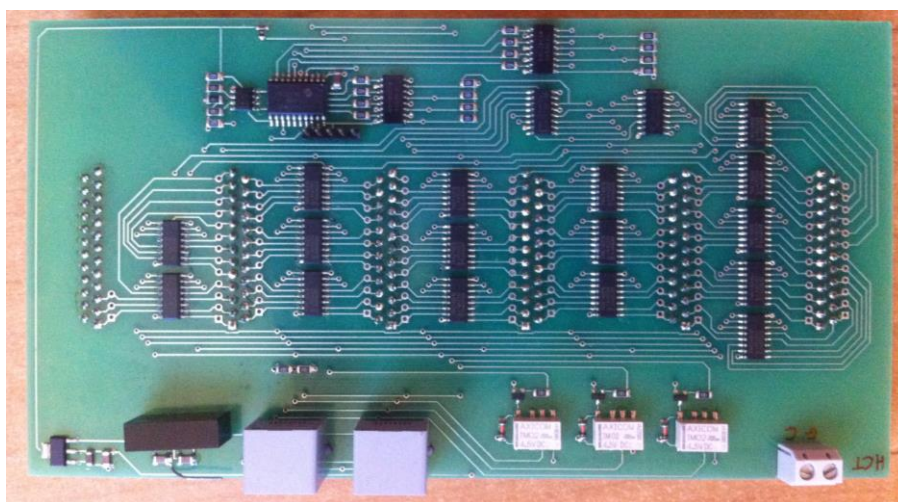
Szenzorhálózat: NVCSS



2.6. ábra: A szenzorhálózat helyszínrajza

2.4 Kapcsolópanelek

A mérőműszer és az szenzorok közötti összeköttetést a csatlakozó-dobozokba helyezett, a 2.7 ábrán látható kapcsolópanelek biztosítják. A panelek feladata, hogy a mérés során a műszert a megfelelő, a méréshez éppen használt szenzorral kössék össze. Egy mérőműszerhez több csatlakozópanel is tartozhat, melyek egymással, és a mérőműszerrel együtt, egy lánc topográfiájú buszrendszerbe vannak szervezve.



2.7. ábra: Kapcsolópanel

A panelek hat darab D-sub csatlakozót tartalmaznak, olyan elrendezésben, hogy illeszkedjen a kapcsolódobozokban elhelyezett csatlakozókhoz. A megnövelt csatlakozószám lehetőséget ad, hogy a szokásos 100 helyett, több szenzorkivezetést tartalmazó csatlakozódobozokba is beépíthetők legyenek.

2.5 MÉRŐMŰSZER

A méréseket az automata mérőmű végzi, mely a 2.8 ábrán látható. A műszer egy robosztus, a környezeti hatásoknak ellenálló IP65-ös védettségű műanyag dobozba van beépítve. A doboz még a 12V-os savas ólomakkumulátornak és a hozzá tartozó töltőrendszernek is helyet biztosít. A mérőmű egy dsPIC30F4013, 16 bites mikrovezérlő köré épül fel. A grafikus LCD kijelzőnek köszönhetően a korábbi változatokkal ellentétben az alap funkciók eléréséhez már nincs szükség számítógéphez való csatlakozásra.

A műszer a kapcsolópanelekkel, egyedi kialakítású, nyolc csatornás buszrendszeren keresztül van összekötve. A buszrendszer négy csatornája egy szabványos RS-485 kommunikációs busz, mely a címzést és a kapcsolópanelek vezérlését teszi lehetővé. A maradék négy csatorna a méréshez szükséges A, B, N és M vonalak továbbítására szolgál.



2.8. ábra: Az alkalmazott mérőműszer

2.6 Adatküldés

A műszer a hozzá tartozó GSM modul segítségével felépít egy GPRS alapú TCP/IP kapcsolatot és az interneten keresztül a mért adatokat azonnal továbbítja a távoli számítógépnek, melyen a folyamatot valós időben nyomon lehet követni, szükség esetén be lehet avatkozni vagy változtatni a mérési paramétereken. A mérőmű a GSM modullal RS-232-es soros kommunikációs vonalon keresztül tartja a kapcsolatot.

A műszer opcionális tartozéka egy ISM sávban működő rádiófrekvenciás adó is, mely a GSM modul mellett/helyett egy közeli irodába telepített számítógéppel való kapcsolattartásra szolgál. Ez esetben, ha van rá igény, a rendszer felhasználója a saját maga üzemeltetett PC-re is megkaphatja a mért adatokat.

3 Az energiaigény becslése

Ahhoz, hogy a megvalósítandó töltőrendszert specifikálni tudjuk, meg kell határozni, hogy mekkora energiamennyiséget igényel az automata mérőrendszer, és ezt a mennyiséget mennyi idő alatt kell visszapótolni az akkumulátorba. A mérőrendszer egyik komoly energiaigényű része maga a mérőmű. Figyelembe kell venni még a GSM modult, melynek a fogyasztása adás közben jelentősen megugrik. Ehhez jön még hozzá az opcionális rádiófrekvenciás adóvevő energiaszükséglete.

A kommunikációs modulok fogyasztási adatai a hozzájuk tartozó gyártói adatlapokon meg vannak adva, amelyeket elfogadok, ezért azok mérésére nincs szükség. Az energiaigény megadására elég becslést adni az adási és a készenléti idő hosszára, és felhasználni a megadott fogyasztási adatokat.

A mérőmű esetében a fogyasztást a készenléti állapotban, és mérés közben is meg kell mérni. Készenléti állapotban csak a mikrovezérlő és az LCD kijelző által felvett energia a mérvadó. Mérés közben a gerjesztő áramkör nagyjából 100V és 200V közötti feszültségű, 100mA-es impulzusokat ad ki.

3.1 A mérőműszer fogyasztásmérése

A mérőműszer fogyasztását a cég telephelyén összeállított demonstrációs rendszeren mértem. A kiépített rendszer a 3.1 ábrán látható. A demonstrációs rendszer 25 darab földbe telepített szenzorból, a hozzájuk tartozó kivezetésekből és a csatlakozódobozból áll. A csatlakozódobozba került behelyezésre egy darab kapcsolópanel, mely a mérőműszerrel van összekötve. A méréshez szükséges gerjesztő és referencia elektródák vezetékai a csatlakozódobozba vannak bevezetve és egy D-sub csatlakozóval vannak a kapcsolópanelre kötve. A műszert és a kapcsolópanelt a már említett nyolc csatornás buszkábel köti össze. Ez az elrendezés megfelel a valós terepi kiépítésnek, eltérés csak a szenzorok számában van. A mérőműszer tápvezetékét kivezettem, és a hozzá tartozó akkumulátort a mérés céljából a műszer házában kívül helyeztem el, így könnyebben hozzáférhetővé vált.



3.1. ábra: A demonstrációs rendszer

A rendszer teljes energiaigénye a szenzorhálózaton való méréshez, és a készüléti állapot fenntartásához szükséges fogyasztások összege. A méréshez szükséges töltésmennyiség a mérés időtartama és a felvett áramerősség szorzata. A méréshez szükséges időt a csatlakozódobozokban elhelyezett szenzorok száma határozza meg. A felhasználási helyen egy dobozhoz 128 szenzor tartozik, a 25 szenzort tartalmazó demó rendszeren ennek szimulációjára, a mérést úgy paramétereztem, hogy fusson le egymás után öt alkalommal az összes ponton, majd vegye hozzá az első három pontot, így $5 \cdot 25 + 3 = 128$ mérési pontot kapok.

A tesztmérés 4 perc 40 másodpercet, átszámítva 280 másodpercet vett igénybe. A mérés során felvett átlagos áramerősség 670mA volt. Egy csatlakozódoboz méréséhez tehát $(280s / 3600) \cdot (670mA / 1000) = 0,0521Ah$ töltésmennyiségre van szükség. Egy automata mérőegységhez hat darab doboz tartozik, ebből következik, hogy a méréshez $6 \cdot 0,0521Ah = 0,313Ah$ kell. A teljes mérési idő pedig 0,4667 óra (28perc).

A műszer készenléti állapotban 40mA áramot vesz fel. Készenléti állapotban pedig napi egy méréssel kalkulálva $24 \cdot 60 - 28 = 1412$ percet (23,534 óra) tölt. A készenléti időben tehát naponta $23,534h \cdot (40mA / 1000) = 0,941Ah$ töltésmennyiségre van szüksége a műszernek. Így $0,941Ah + 0,313Ah = 1,254Ah$ a műszer teljes szükséglete naponta.

3.2 Kapcsolópanelek fogyasztásmérése

A rendszerhez tartozó kapcsolópanel fogyasztását is mértem. A kapcsolópanelen található aktív alkatrészek, mint a mikrovezérlő és a galvanikus leválasztást biztosító optocsatolók, illetve a CMOS kapcsolók is valamekkora áramfelvétellel bírnak, amit fontos szem előtt tartani. A mérőmű és a panel fogyasztását azért kellett különválasztani, mert a teljes rendszerben több panel is egy mérőműszerhez tartozik. Ezt figyelembe véve pontosan meg lehet határozni a kapcsolópanelek együttes fogyasztását. Egy panel készenléti állapotban felvett árama 20mA. méréskor a felvett áram pontos értéke a CMOS kapcsolók állásától függ, 22mA és 27mA között változik. Mivel a demonstrációs rendszer csak 25 darab szenzort tartalmaz, a kapcsolópanelt külön rendszerbe illesztettem és egy műföld illetve mérésvezérlő számítógép segítségével szimuláltam a teljes rendszert. A mérési összeállítás az 3.2 ábrán látható.



3.2. ábra: Kapcsolópanel fogyasztásmérése

Az átlagérték a mérés teljes időtartamára 24mA. Az egy panelre eső mérési idő 280s, amiből a szükséges töltésmennyiség a következő módon számolható: $(280s / 3600) * (24mA / 1000) = 0,00187Ah$. A készenléti állapot 23,93 órán keresztül van fenntartva, így $23,92h * (20mA / 1000) = 0,478Ah$ a szükséges töltésmennyiség. Hat panel esetében a mérőszám $6 * (0,00187Ah + 0,478Ah) = 2,88Ah$ naponta.

3.3 Kommunikációs modulok fogyasztásbecslése

A műszerhez tartozó GSM modul egy a Quectel cég által gyártott M72 típusú eszköz. Az adatlapon feltüntetett fogyasztási adatai szerint energiatakarékos üzemmódban a modul 0,9mA áramot igényel. A GPRS alapú kommunikáció közben az átlagos felvett áramerősség 500mA. A fenti adatokat felhasználva megadható a mérés során, a távoli számítógéppel való kommunikációhoz szükséges töltésmennyiség: $0,4667h * (500mA / 1000) = 0,233Ah$. A készenléti állapot fenntartásához pedig $23,534h * (0,9mA / 1000) = 0,0212Ah$ -ra van szükség. A GSM modul egy napi szükséglete $0,233Ah + 0,0212Ah = 0,2542Ah$.

Az alkalmazott, ISM sávban működő rádiófrekvenciás modul a HopeRF cég HM-TRP 100mW adásteljesítményű eszköze. Adatlapja szerint Adás közben 100mA, energiatakarékos üzemmódban 1 μ A áramot vesz fel. Ez azt jelenti, hogy méréskor $0,4667h * (100mA / 1000) = 0,0467Ah$, készenléti állapotban az 1 μ A-es fogyasztás olyan kicsi, hogy bátran elhanyagolható a többi figyelembeveendő fogyasztási adathoz képest. Így az RF modul egy napi szükséglete 0,0467Ah.

3.4 Energiaigény megadása

A fenti adatok ismeretében megadható, hogy az automata mérőrendszer egy napi üzemszerű működéséhez mekkora töltésmennyiség szükséges: 1,254Ah (mérőmű) + 2,88Ah (kapcsolópanelek) + 0,2542Ah (GSM modul) + 0,0467Ah (RF modul) = 4,434Ah. Ebből az következik, hogy ha ezt a mennyiséget 10 óra alatt kell visszapótolni, az akkumulátor töltőáramának minimum $\approx 0,45A$ -nek kell lennie.

A felhasznált töltésmennyiség			
	Méréskor	Készenlétben	Naponta
Mérőműszer	0,313Ah	0,941Ah	1,254Ah
Kapcsolópanelek	0,01122Ah	2,868Ah	2,88Ah
Kommunikáció	0,2797Ah	0,0212Ah	0,3009Ah
Összesen	0,60392Ah	3,8302Ah	4,43412Ah

4 Alternatív energiák

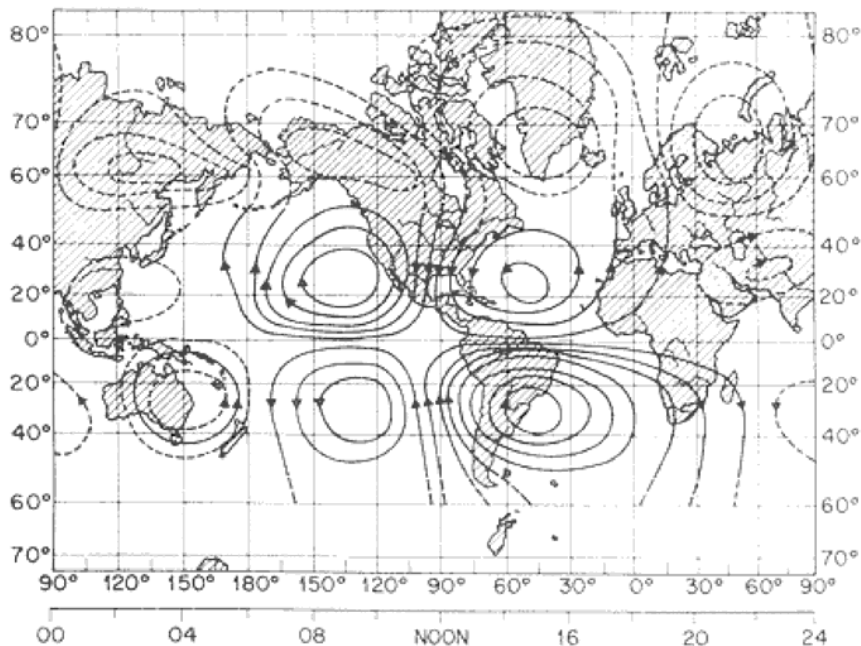
4.1 Tellurikus áramok vizsgálata

4.1.1 Általános ismertető

Tellurikus áramok alatt értjük a talajban folyó természetes elektromos áramokat, az óceánokban folyó áramokat és az ember által keltett elektromos áramokat is. A tellurikus áramok közé tartoznak még a geodinamó hatás által keltett áramok is, melyek a feltételezések szerint a Föld magjában folynak, és az „állandó” geomágneses tér kialakításáért felelősek [1].

A tellurikus áramok kiváltó okainak a fizikusok a következő jelenségeket feltételezik: első sorban a Föld külső mágneses mezőjének változása, melyet a napszél magnetoszférára és a napsugárzás ionoszférára gyakorolt hatása idéz elő. Másik részük a Föld permanens mágneses mezejében mozgó (árapály jelenség vagy más ok miatt) vezetőképes test (mint a tengervíz) által indukálódik [1].

A tellurikus áramok teljes bolygófelszínre vonatkozó leírását először *Gish* (1936a[2], 1936b[3]) mutatta be, amit a nappali nyugati félgömbre vezetett le.



4.1. ábra: A tellurikus áramok bolygó szintű eloszlása Gish (1936a, 1936b) alapján

4.1.2 Rozsdamentes acél elektródák alkalmazhatóságának vizsgálata

Noto (1932)[4] japán kutató végzett kísérleteket a tellurikus áramok mérésével kapcsolatban. Akkor a méréshez rézelektródákat használt. Az elektródpolarizáció [5], [6] hatása Noto kísérletei szerint akkora hibával terheli a mérést, mely lehetetlenné teszi a tellurikus áramok megfelelő mérését. Ő akkor grafitport használt az elektródpolarizáció csökkentésére. Később kifejlesztették a polarizáció-mentes elektródákat. A szerkezet egy nedvességet átengedő tokozásban lévő réz elektróda, melyet annak telített ionos sóoldata vesz körül. Az elmúlt 20 évben azonban elterjedté vált a rozsdamentes acél elektródák alkalmazása, melyek felületén nem képződik korróziós réteg, így alkalmas lehet a tellurikus áramok tanulmányozására.

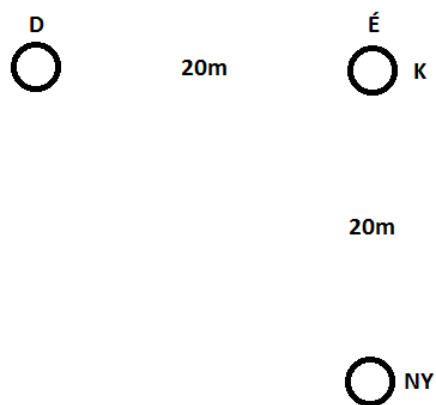
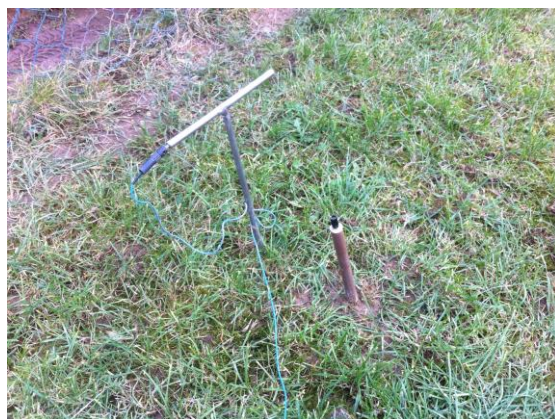
Az első kísérleti mérés során azt vizsgáltam, hogy a rozsdamentes elektródákkal mért feszültség mennyire tér el a polarizáció-mentes elektródákkal mért feszültségtől. A tellurikus áramok viselkedésének alaposabb megismeréséhez elengedhetetlen, hogy a már kiépített rendszer segítségével lehessen pontos méréseket végezni. Ehhez azonban tudnunk kell, mekkora hibával lehet a méréseket végrehajtani, illetve ezek a hibák rendszeres, vagy véletlenszerű jelleggel fordulnak elő.

A méréshez három darab rozsdamentes és három darab polarizáció-mentes elektródát használtam, melyek referenciaértékeket szolgáltattak. A polarizáció-mentes elektródák jellemző tulajdonsága, hogy a rajtuk áthaladó áram nem változtatja meg a kettősréteg tulajdonságait. Ez röviden azt jelenti, hogy az áram szabadon folyik a kettősrétegen keresztül. Az áram-feszültség karakterisztika lineáris, és egyenáram hatására egyszerű ellenállásként tekinthető a kettősréteg. Ezen típusú elektródák stabil értékeket szolgáltattak, éppen ezért is jók referenciának. Az általam használt elektróda a 4.2 ábrán látható. Fém része rézből van kialakítva, a telített sóoldatot pedig réz-szulfát és víz felhasználásával állítottam elő. A szemipermeábilis rész a műanyag cső végén elhelyezett parafadugó, mely csak az elektromos áramot engedi át. (Szemipermeábilis anyagként gyakran használnak kerámiát is.)



4.2. ábra: Polarizáció-mentes elektróda

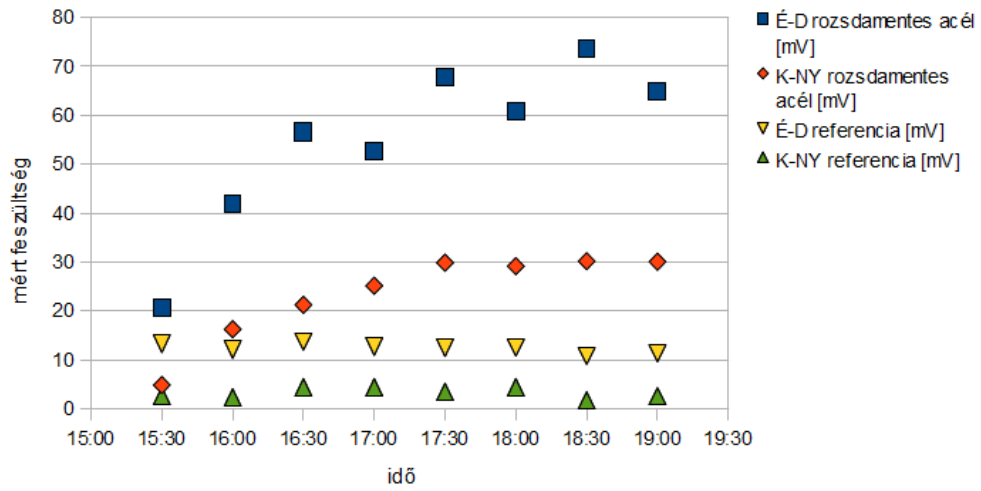
Az elektródákat úgy helyeztem el, hogy illeszkedjenek az észak-déli és kelet-nyugati irányokhoz, így akár a mért feszültségértékek alapján meg lehet határozni a földben folyó áram jellemző irányát. Az elektródákat egymástól húsz méteres távolságban helyeztem el. Minden mérési pontba egy rozsdamentes acél, és egy polarizáció-mentes elektróda került egymástól kb. 10 cm távolságra. Az elektródákat és elrendezésüket a 4.3 ábra mutatja.



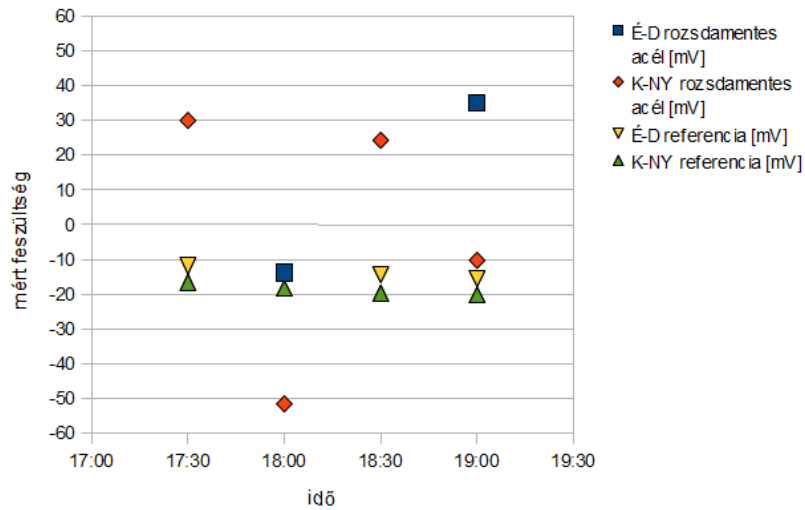
4.3. ábra: A kihelyezett elektródák és elrendezésük

A mérést két egymást követő nap különböző szakaszaiban végeztem. A mérési sorozatokat az első napon 15:30 és 19:00 óra között, majd másnap 9:00 és 10:30 között, illetve 17:30 és 19:00 óra között végeztem el, két mérés között fél órányi időközöt hagyva. A mérés során rögzítettem a rozsdamentes acél elektródák észak-déli irányú, majd a kelet-nyugati irányú potenciálkülönbségét, és a polarizáció-mentes elektródák ugyan ilyen irányú potenciálkülönbségeit is. A mért eredmények grafikonon megjelenítve a 4.4 ábrán vizsgálhatóak. A grafikonokból jól látható, hogy míg a referencia elektródákon mért feszültség értéke változott ugyan, de következetesen haladt előre az időben, a rozsdamentes acél elektródákon mért feszültség értéke nagyon nagymértékben eltér ezen értékektől. Sajnos megfigyelhető, hogy az eltérésekből adódó hibát nem lehet rendszeresen előforduló típusúnak tekinteni, ugyanis a referenciaértéktől való eltérés nagysága erősen változó. A mért feszültségbeli eltérések okát feltérképezendő, irodalomkutatást végeztem a rozsdamentes acél elektródaként történő felhasználásakor fellépő polarizációs jelenségek feltárásának céljából. Sajnos azonban nem találtam olyan leírást, mely a rozsdamentes acél elektrolitban való viselkedését ilyen szempontból részletezné. Mivel ezen irányú kutatásom sikertelennek bizonyult, nem tudtam meghatározni, mi és hogyan befolyásolja a rozsdamentes acél elektródák között mérhető feszültséget, így ezt a hibát nem tudtam kezelni. Ez azzal az eredménnyel jár, hogy eme anyagból készült elektródákat nem lehet a tellurikus áramok viselkedésének feltérképezésére használni. Az előbbi megállapításból viszont még nem következik, hogy ezen elektródák energia kicsatolására is alkalmatlanok lennének, így további kísérleteket kell végezni annak megállapítására, hogy a már kiépített rendszer alkalmas-e a tellurikus áramokon alapuló akkumulátor-töltő készülék fejlesztéséhez.

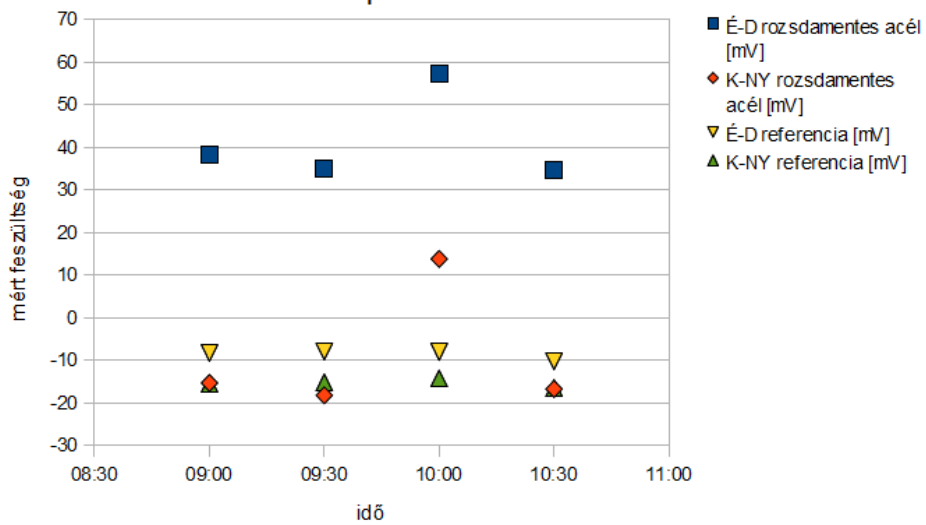
1. nap 15.30 és 19.00 között



2. nap 17.30 és 19.00 között



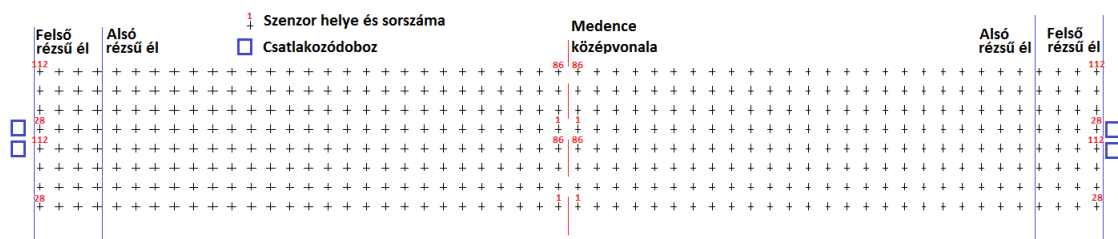
2. nap 09.00 és 10.30 között



4.4. ábra: A mért feszültségek

4.1.3 A kiépített monitoring rendszer tellurikus alkalmazhatóságának vizsgálata

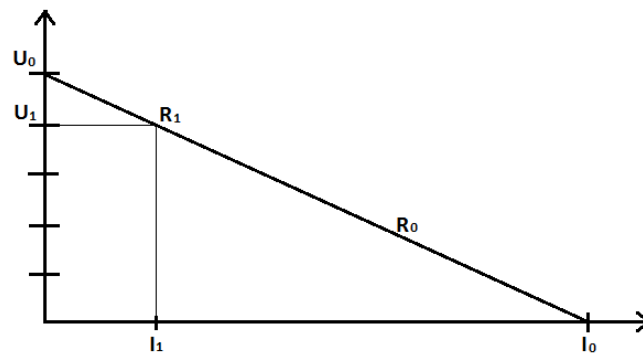
A kísérleti méréseket a Pusztazámor közelében található regionális hulladékgyűjtő telepen végeztük. A telepen található a Geoelectro Kft. nemrég telepített rendszere, melyet a mérés során felhasználtunk. A helyszín a cég telephelyéhez való közelsége és az ott kiépített rendszernek a tellurikus áramok mérése szempontjából kedvező tulajdonságai miatt került kiválasztásra. Ezen fő tulajdonságok, hogy a rendszer meglehetősen nagy területen, kb. 16 hektárnyi területen van kiépítve. A rendelkezésre álló szenzorok száma megközelítően 6400 darab. A szenzorok ezen a területen egyenletesen, és sűrűn vannak elosztva, egymástól 5 méteres távolságban. A lerakó medence átlagos szélessége 250 méter. Az egy csatlakozódobozhoz tartozó szenzorok a medence középvonaláig nyúlnak be, ami azt jelenti, hogy egy soron belül a legnagyobb távolság két azonos csatlakozódobozhoz tartozó szenzorlap között 125 méter. A rendszer egy részletét mutatja a 4.5 ábra.



4.5. ábra: A pusztazámori rendszer részlete

Mivel sok szenzor áll rendelkezésre, ezért az adott áramsűrűségű talajjal érintkező felületet az egymással párhuzamosan kötött szenzorok számának emelésével tudjuk növelni. Adott áramsűrűség esetén pedig a megnövelt felület nagyobb felvehető áramot biztosít. Egy a Geoelectro Kft. által használt elektróda átlagosan nagyjából 8cm hosszú és 2,5 cm széles, vastagsága 1,5-2 mm között változik, mely esetünkben elhanyagolható. Az elektródák úgy vannak a talajba ültetve, hogy a teljes felületük, tehát mindkét oldaluk érintkezik a talajjal, ezért egy elektróda talajjal érintkező területe nagyjából $2,5 \text{ cm} * 8 \text{ cm} * 2 = 40 \text{ cm}^2$ -es felület. Ha párhuzamosan kötünk 112 darab elektródát, akkor 4480 cm^2 -es felületet kapunk. A kísérlet során kettő, egyenként 112 darab egymással párhuzamosan kötött rozsdamentes acél elektródát tartalmazó mező alkotta rendszerből kinyerhető áram erősségét, illetve annak terhelés grafikonját vettem fel.

A kísérleti méréshez a mérési terv a szenzor mezők (egyenként 112 darab párhuzamosan kapcsolt elektróda) közötti üresjárási feszültség értékének, majd a mezők segítségével kinyerhető áram erősségének, különböző terhelő ellenállások függvényében való meghatározása volt. A mezőket úgy választottam meg, hogy a közöttük lévő távolság a lehető legnagyobb legyen. Ekkor van a két mező közötti potenciálkülönbségnek a maximuma, amely a talaj fajlagos ellenállásából következik. A 4.6 ábrán látható terhelési grafikon terv szerint öt pontban kerül felvételre, melyek egyenletesen oszlanak el az egyenes mentén. Az egyes pontokhoz tartozó terhelő ellenállások az üresjárási feszültség és a rövidzárási áram ismeretében az alábbi összefüggések segítségével kerülnek meghatározásra.



4.6. ábra: A várt terhelési grafikon

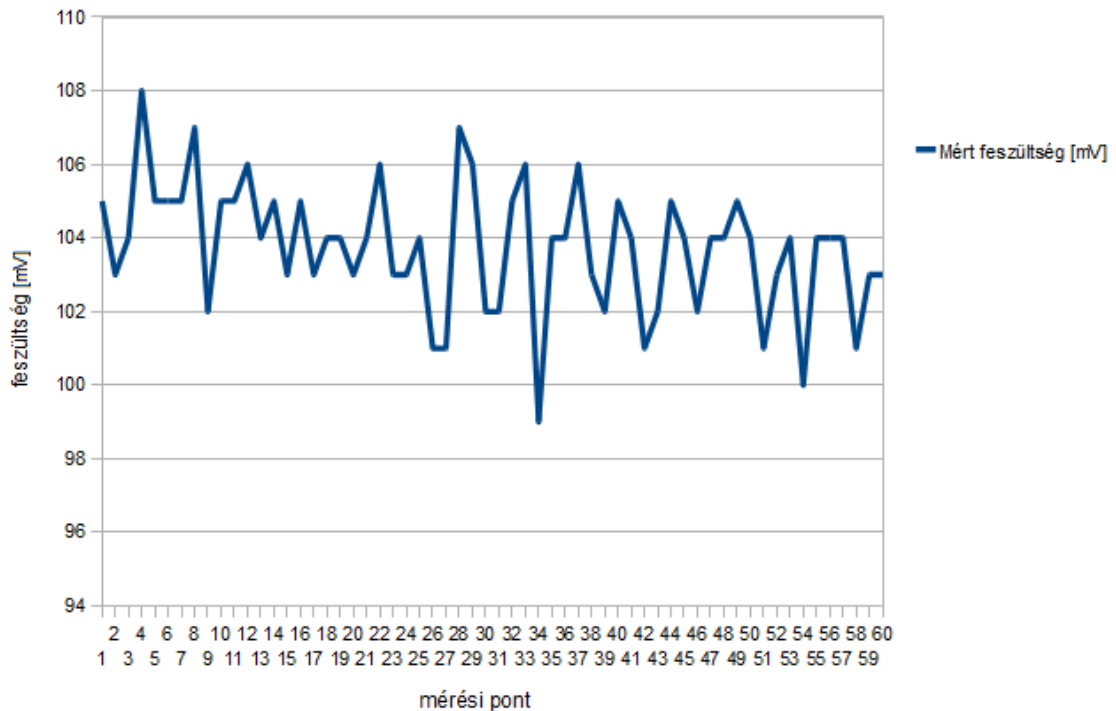
$$\frac{U_0}{I_0} = R_0$$

$$\frac{U_0 - U_1}{I_1} = R_0$$

$$I_1 = \frac{U_0 - U_1}{R_0}$$

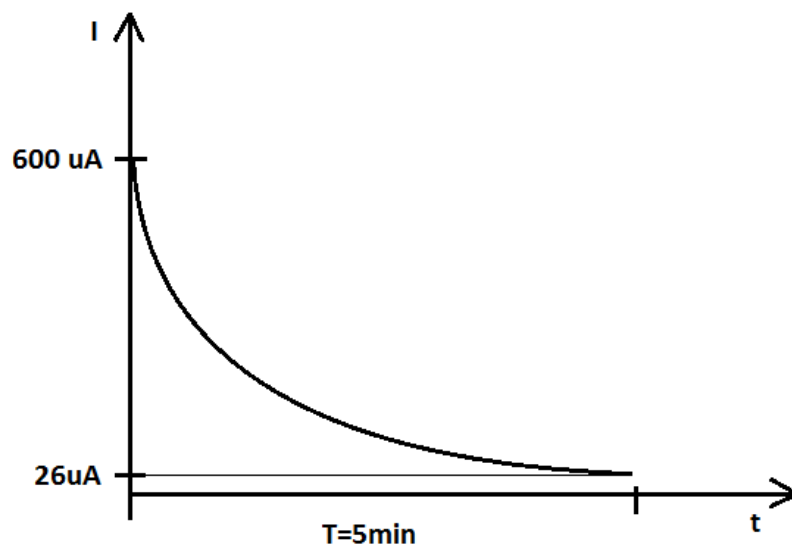
$$R_1 = \frac{U_1 * R_0}{U_0 - U_1}$$

A kísérleti mérés során először készítettem egy regisztrátumot a két szenzormező között mérhető potenciálkülönbségről: a regisztrátum 60 pontból áll, a két mérés között eltelt idő 2s volt. A mért értékekből (4.7 ábra) arra lehetett következtetni, hogy egy stabil 100mV környéki potenciálkülönbség van a két mező között. A két mező közötti átmeneti ellenállás mért értéke 40 és 42 Ω volt, a műszer rendszeres mérési hibája 20 Ω , melyet levonva kapjuk a valós értéket, 22 Ω -ot.



4.7. ábra: A mért potenciálkülönbség

Ezt követően a rövidzárási áram mérésére került sor. A rövidzárási áram mérésekor az üresjárási feszültség értéke 100mV volt. A mérést megkezdve azt tapasztaltam, hogy a mért rövidzárási áram értéke folyamatosan csökkenő tendenciát mutat. A csökkenés jellege jól közelíthető az exponenciális csökkenéssel. A mért karakterisztika a 4.8 ábrán látható.



4.8. ábra: Rövidzárási áram időbeni változása

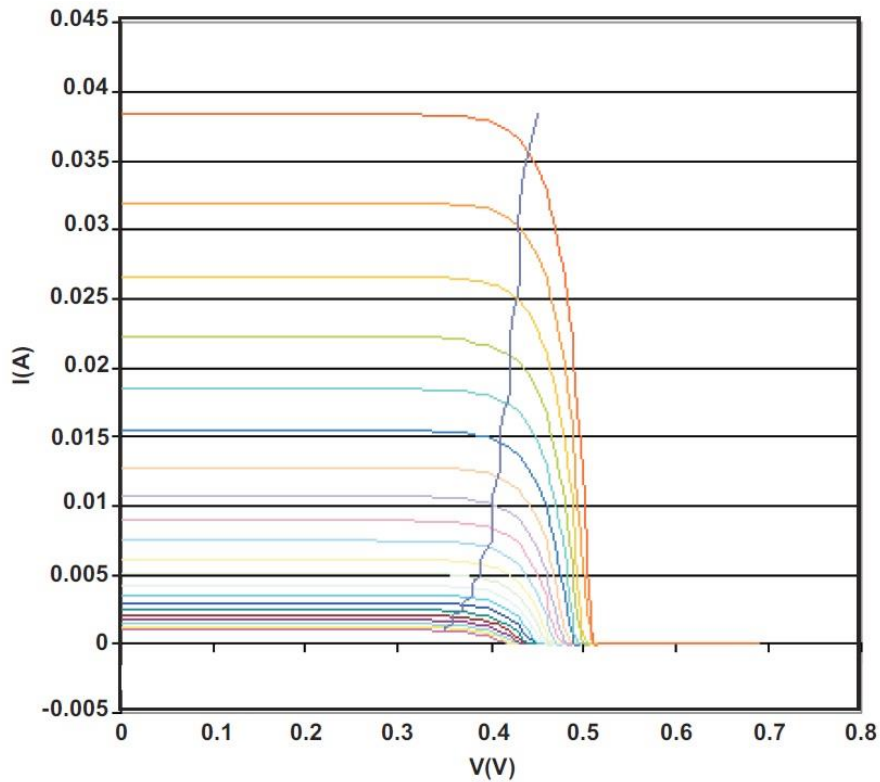
A fenti ábrán jól látható, hogy a felvett áram úgy viselkedett, mintha a rendszer egy kondenzátor lenne. A mérést néhány perc várakozási idő után megismételve hasonló karakterisztikát kaptam, azzal a különbséggel, hogy a kezdeti rövidzárási áram $35 \mu\text{A}$ értékű volt és $22 \mu\text{A}$ -es értéken stabilizálódott. Ilyen kapacitív jellegű karakterisztika esetén nem láttam értelmét a terhelési grafikon felvételének, így ezt a mérést elhagytam.

A kísérleti mérések megadták, hogy hosszú távon a rendszerből $20\text{-}22 \mu\text{A}$ -es erősségű áram nyerhető ki. Az automata mérőrendszer egy napi üzemeléséhez kellő akkumulátorkapacitás $4,435\text{Ah}$. Az akkumulátort a mérési időt leszámítva egész nap érdemes tölteni, ez pedig azt jelenti, hogy a szükséges töltőáram $4,435\text{Ah} / 23,534\text{h} = 188,45\text{mA}$, ez pedig jóval meghaladja a tartósan kinyerhető áramerősséget. Eszerint a tellurikus áramokat felhasználó töltőberendezés még komoly engedmények árán sem valósítható meg, így ebben a témában a tellurikus áramok alkalmazásának lehetőségét el kell vetnem. A töltőberendezés megvalósításának másik lehetséges módja, hogy a töltéshez szükséges energiát napelemek felhasználásával biztosítjuk. A továbbiakban ezzel a témával foglalkozom.

4.2 Maximum Power Point Tracking

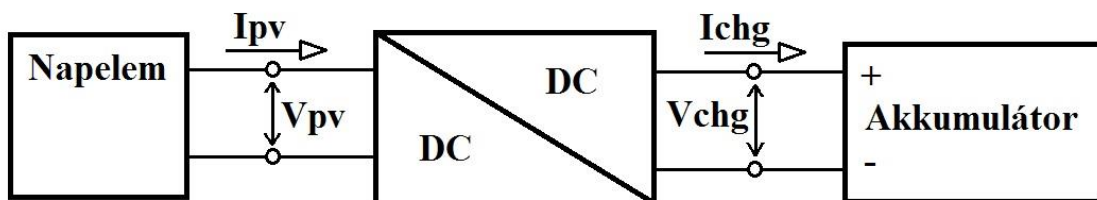
Az automata rendszerek akkumulátorral való táplálása jellemzően két ok miatt terjedt el. Olyan biztonságkritikus rendszerek esetén, melyeknek működésüknek kell maradniuk a hálózati áram esetleges kimaradásakor, az akkumulátor a kritikus időszak áthidalására szolgáló pót energiaforrás. Másik eset, amikor nincs lehetőség a hálózati áram eljuttatására a berendezésig. Ekkor az akkumulátor az egyetlen energiaforrás, melynek töltéséről gondoskodni kell. Az akkumulátorok töltésére a hálózati áram hiányában a napelemek jó alternatívát kínálnak. A probléma viszont az, hogy a fotovoltikus elemek töltési teljesítménye drasztikusan eltérhet a névleges teljesítményüktől. Ennek oka, hogy az akkumulátor más feszültségen veszi fel ugyan azt a töltőáramot, mint amekkora a napelem adott áramhoz tartozó névleges munkaponti feszültsége. Például egy 12V-os savas ólomakkumulátor üzemi feszültsége 12,7V és 12,1V között változik. Mint ahogy a függelékben az 1. ábra mutatja, 11,9V és 11,6V közötti kisütés már rövidíti az akkumulátor élettartamát, 11,3V és 10,5V közötti tartományban pedig maradandó károsodás következik be. Egy 20W-os napelem cella maximális munkaponti feszültsége 17,4V, maximális munkaponti árama 1,15A. Az áram és feszültség értékek szorzata valóban 20W-ot ad. Ha töltéskor az akkumulátor a maximális töltőáramot 12,5V-on veszi fel, akkora töltési teljesítmény a $12,5 \text{ V} * 1,15 \text{ A} = 14,375 \text{ W}$. Ez nem éri el a névleges teljesítmény 72%-át.

A feszültség illesztést egy DC-DC konverter beiktatásával el lehet végezni. Ekkor viszont még mindig nem működtetjük optimális munkapontban a napelemet. Bizonyos környezeti tényezők nagyban befolyásolják, hogy a napelem mekkora teljesítményt, milyen feszültség- és áramviszonyok mellett képes leadni. A teljesítményt legnagyobb mértékben befolyásoló tényezők a környezeti hőmérséklet, és a napelem felületére érkező fény mennyisége, azaz a besugárzottság [8]. A megoldást az MPPT (Maximum Power Point Tracking) algoritmus adja.



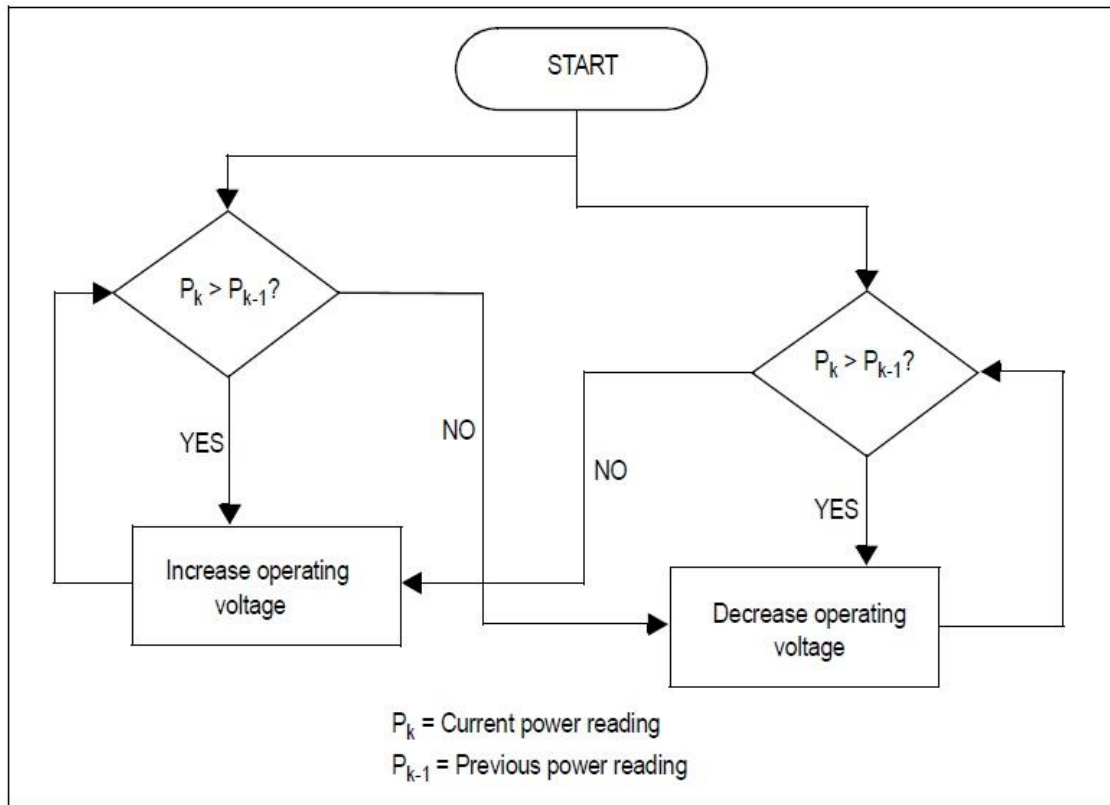
4.9. ábra: A maximum teljesítmény beállítása különböző besugárzottság esetén [8]

A 4.9 ábrán nyomon követhető az MPPT algoritmus működése. A napelem által előállított áram nagysága függ a besugárzástól. Az algoritmus célja, hogy a napelem modult olyan munkapontban működtesse, ahol a legnagyobb teljesítményt tudja leadni. Ezt úgy éri el, hogy a szolár cella kivezetései közötti V_{pv} feszültséget állítja a megfelelő értékre. A helyzetet bonyolítja, hogy az MPPT algoritmus, az akkumulátor és a napelem közé kapcsolt DC-DC konverter kimeneti V_{chg} feszültségét állítja, és a beállított kimeneti feszültség hatására változik meg a konverter bemeneti feszültsége.



4.10. ábra: MPPT rendszer egyszerűsített blokkvázlata

Az aktuálisan elérhető legnagyobb teljesítmény meghatározására több eljárás is létezik. Az egyik a DC-DC konverter kimeneti feszültségének megváltoztatásán, és a változás keltette hatás megfigyelésén alapszik. Az eljárás angol elnevezése a Perturb and Observe (P&O) algorithm.



4.11. ábra: P&O algoritmus folyamatábrája

A P&O algoritmus iteratív jelleggel, szukszcesszív approximációval határozza meg a maximum teljesítményt. Először vizsgáljuk, hogy az aktuális teljesítmény nagyobb-e mint az előző lépésben mért. Ha igen, növeljük a DC konverter kimeneti V_{chg} feszültségét, majd újra összehasonlítjuk, az előbb mért teljesítményt a változtatás következtében megváltozott teljesítménnyel. Ezt addig ismételjük, míg a V_{chg} növelésével már nem sikerül növelni a napelemből kivehető teljesítményt. Ekkor térünk át a folyamatábra jobb oldali ágára, és addig csökkentjük a V_{chg} feszültséget, amíg a változtatás következtében nagyobb lesz a kivehető teljesítmény.

A konverter kimeneti feszültségének változtatása lépésekben történik. Hogy egy lépésben a feszültséget milyen mértékben növeljük vagy csökkentjük, minden esetben külön megfontolást igényel. Ha nagy lépésekben változtatjuk a feszültséget, az algoritmus hamar beáll a maximum hely környékére, de a pontatlansága is nagy lesz,

emiatt kevesebb hasznos teljesítményt tud kivenni a napelem modulból. Ha kis lépésekkel változtatjuk a feszültséget, a kivehető teljesítmény nagyobb lesz, de az algoritmus hosszabb idő alatt áll be a maximum hely környékére. Mivel az algoritmusnak nincs nyugodt állapota, a P&O eljárás soha nem áll be pontosan a maximum helyre, hanem körülötte oszcillál.

A másik MPPT eljárás, a napelem modul azon tulajdonságán alapszik, miszerint a panel teljesítménygörbéjének meredeksége a feszültség megváltozásának hatására az optimális munkapontban nulla. Az optimális munkaponttól balra pozitív, tőle jobbra pedig negatív előjelű lesz. Ezt a tulajdonságot a függelékben szereplő 2. ábra mutatja meg. Az előbb elmondottak egyenletekben kifejezve az alábbiak:

$$(1) \begin{cases} \frac{dP}{dU} = 0, \text{ az MPP-ben} \\ \frac{dP}{dU} > 0, \text{ az MPP-től balra} \\ \frac{dP}{dU} < 0, \text{ az MPP-től jobbra} \end{cases}$$

A teljesítmény deriváltja átírható a következő alakba:

$$\frac{dP}{dU} = \frac{d(IU)}{dU} = \frac{IdU}{dU} + \frac{UdI}{dU} = I + U \frac{dI}{dU}$$

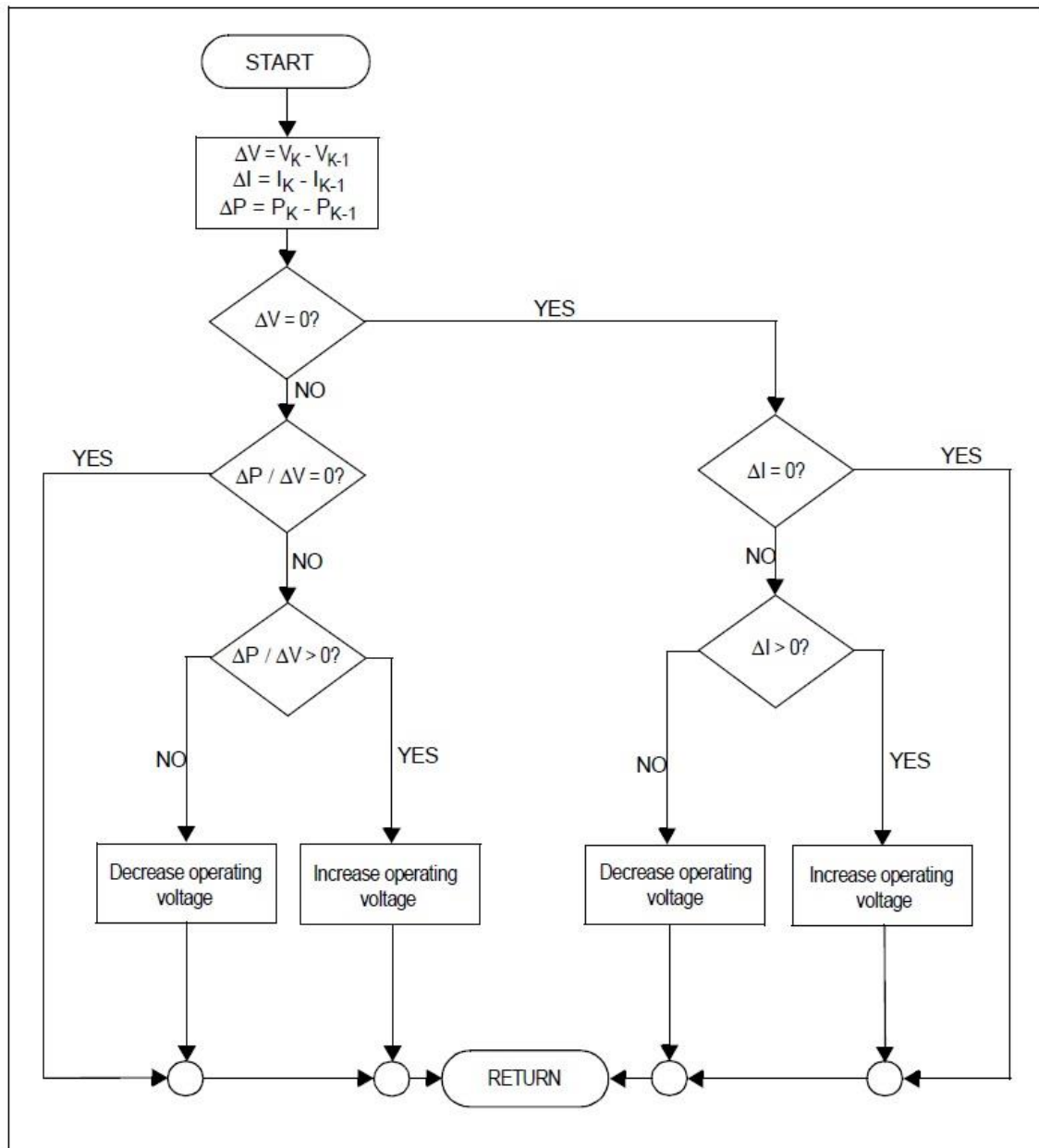
$$I + U \frac{dI}{dU} \cong I + U \frac{\Delta I}{\Delta U}$$

A fenti egyenletet felhasználva az (1) egyenletek a felírhatók az alábbiak szerint:

$$(2) \begin{cases} \frac{\Delta I}{\Delta U} = -\frac{I}{U}, \text{ az MPP-ben} \\ \frac{\Delta I}{\Delta U} > -\frac{I}{U}, \text{ az MPP-től balra} \\ \frac{\Delta I}{\Delta U} < -\frac{I}{U}, \text{ az MPP-től jobbra} \end{cases}$$

Az eljárás tehát azon alapszik, hogy összeveti a napelem vezetőképességének változását az aktuális vezetőképességgel. Angol elnevezése is innen ered: Incremental Conductance algorithm. Az algoritmus sajátossága, hogy ellentétben a P&O algoritmussal, nem oszcillál, hanem képes pontosan rátalálni az optimális munkapontra. A feszültség változtatása itt is lépésekben történik. Ha túl nagy lépésközt állítunk be, az eljárás gyorsan rátalál az optimális munkapontra, de nem tud ráállni, így a

környezetében oszcillál, hasonlóan a P&O algoritmushoz. Túl kicsi lépésköz megadása a beállási idő nagymértékű megnövekedését okozza [8].



4.12. ábra: Incremental Conductance algoritmus folyamatábrája

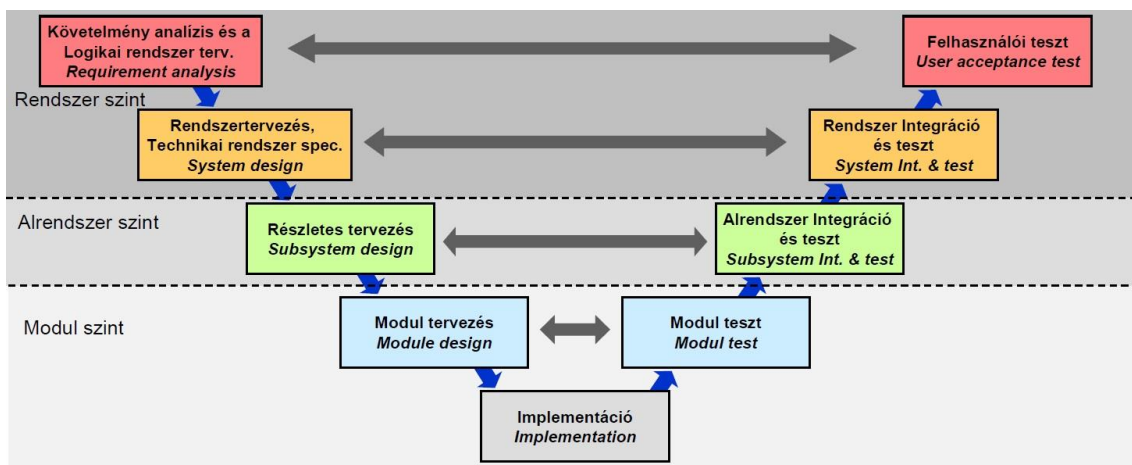
5 A beágyazott töltőrendszerrel szembeni követelmények

Ahhoz, hogy a tervezett akkumulátortöltő megfelelően illeszkedjen az automata beágyazott mérőrendszerhez, a következő követelményeknek kell megfelelnie:

- A mérőrendszer tápellátására egy 7,2Ah töltésmennyiséggel rendelkező, 12V-os zárt cellás savas ólomakkumulátor szolgál. A töltési feszültség- és áramértékeknek ezekhez a paraméterekhez kell igazodniuk.
- A töltőrendszer elsődleges célja, hogy ne merüljön le az akkumulátor, tehát gondoskodnia kell arról, hogy az automata beágyazott mérőrendszer által felvett energiamennyiséget lehetőleg naponta visszapótolja.
- Kímélje az akkumulátort, a töltési eljárás úgy legyen meghatározva, hogy attól az akkumulátor élettartama ne csökkenjen.
- Figyelje az akkumulátor kapocsfeszültségét, és ha valamilyen rendellenesség következtében az egy meghatározott szint alá csökken, értesítse az üzemeltetőt.
- Az értesítés küldésére az automata mérőműszer GSM modulját használja közvetlen eléréssel, a mérőműszerrel való kommunikáció nélkül.
- A GSM modult használat után helyezze vissza energiatakarékos üzemmódba.
- A töltő, a szükséges energiát napelemek segítségével, MPPT algoritmus használatával nyerje.
- A későbbi fejleszthetőség miatt modulárisan illeszkedjen a mérőműszerhez, annak házában elhelyezhető legyen.
- A töltő vezérlőjének tápellátása két irányból érkezzen: Egyrészt a napelemtől, másrészt magáról a töltött akkumulátortól, hogy éjszaka se maradjon a tápforrás felügyelet nélkül.

6 A beágyazott töltőrendszer tervezése

A töltőrendszer tervezése és implementálása a V-modell alapján történik. Ez a tervezési modell lehetőséget ad kiterjedt, bonyolult rendszerek gazdaságos és eredményes megvalósítására. Az 1997-ben megjelent V-modell (6.1 ábra) gyakorlatilag a vízesés modell továbbfejlesztése: fontos és látványos eltérés a tesztelési ág visszahajtása. Ezzel azonos hierarchia szintre emelkedtek az összetartozó tesztelések és tervezések. A legtöbb, beágyazott rendszereket fejlesztő cég ezt a modellt alkalmazza. A rendszer egyik nagy előnye a fejlesztési absztrakciós szintek bevezetése, és az azonos absztrakciós szinthez tartozó teszt és fejlesztési lépések összekapcsolása [9].



6.1. ábra: V-modell

6.1 Követelményanalízis és logikai rendszerterv

Ebben a lépésben a megrendelő által megadott követelmények elemzése, majd ezek alapján, a követelményeket teljesítő logikai funkciók kerülnek kidolgozásra.

Az előzetesen megadott követelményeket elemezve, megállapítható, hogy a követelményrendszer nem tartalmaz egymásnak ellentmondó elvárásokat, a logikai rendszerterv előállítható.

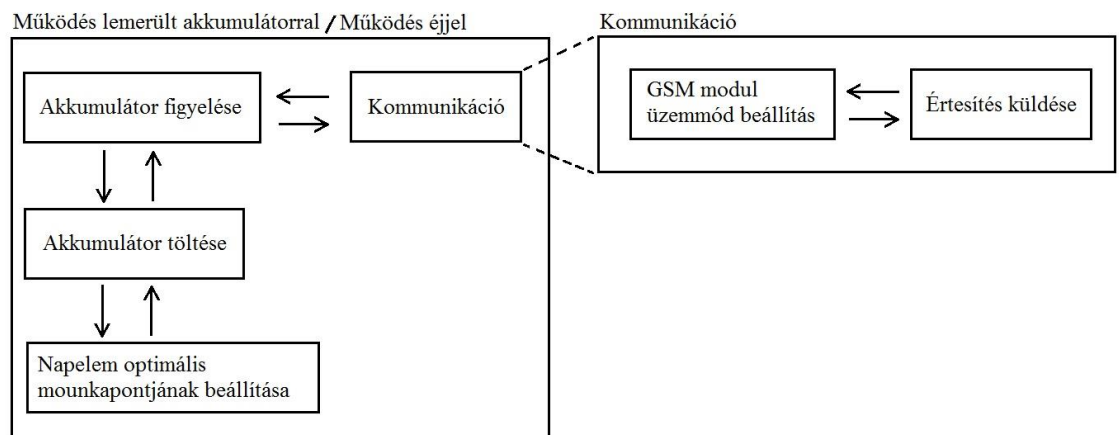
A töltőrendszer az alábbi funkciókat tartalmazza:

- Akkumulátor töltése
- Akkumulátor figyelése
- Napelem optimális munkapontjának beállítása
- Kommunikáció a GSM modullal
- Értesítésküldés az üzemeltetőnek
- GSM modul működési módjainak beállítása
- Működés éjjel, fénymentes időszakban
- Működés lemerült akkumulátor esetén

A töltőrendszerhez nem tartozó funkciók:

- Mérőműszerrel való kommunikáció
- Akkumulátor kapacitásának meghatározása
- Kimeneti terhelés figyelése

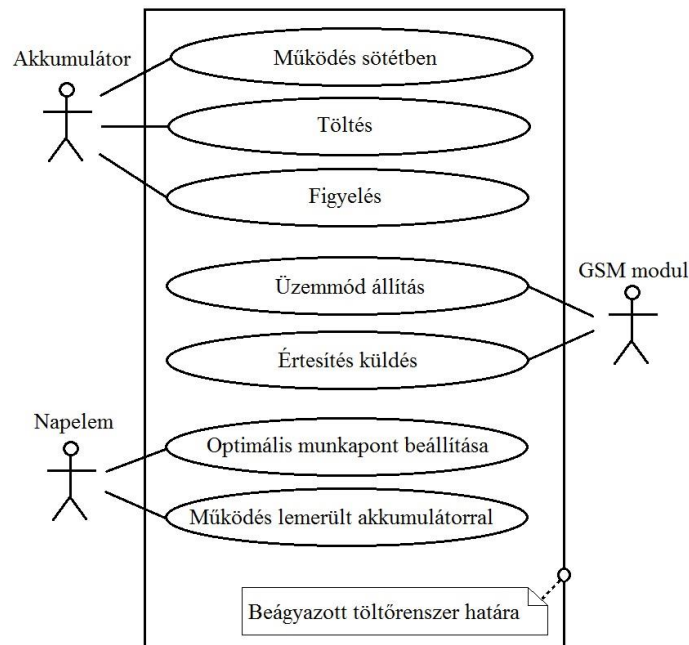
Az egyes funkciók és azok egymással való kapcsolatai a 6.2 ábrán láthatóak.



6.2. ábra: Az egyes funkciók és kapcsolataik

A sötétség és lemerült akkumulátor esetére vonatkozó funkciók egymással *kizáró vagy* kapcsolatban állnak, tartalmuk ugyan az. A GSM modul üzemmód beállítási és értesítés küldési funkciókat a kommunikációs funkció zárja egy egységbe. Az akkumulátor figyelése folyamatosan végzendő feladat. Ha van elég napsütés, a töltés

is beindul. A töltőrendszer egyes tevékenységeit és a hozzájuk tartozó külső szereplőket tartalmazza a 6.3 ábrán látható Use-Case diagram.



6.3. ábra: A töltőrendszer alap feladatait bemutató Use-Case diagram

A rendszer- és felhasználói tesztek alapjául a következő használati mintapéldákat definiáltam:

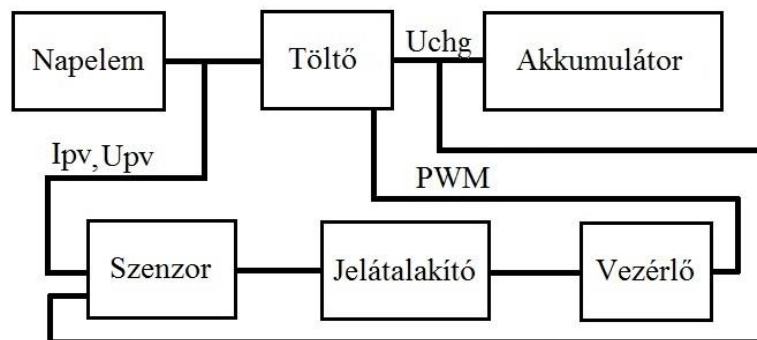
- Napsütés, akkumulátor töltése, teljes töltöttség elérésekor váltás csepptöltésre.
- Akkumulátor figyelése sötétségben.
- Az akkumulátor feszültsége az értesítési küszöb alá esik, értesítés küldése.

6.2 A technikai rendszer architektúra specifikációja

A technikai rendszer architektúra előállítására nincs egzakt folyamat, mindig az adott feladat határozza meg a választott módszert. Azonban van egy általánosan elfogadott, gyakran használt eljárás, amely a szabályozási körök elemzését, a valós idejű követelmények megadását, az elosztott működés elemzését és a megbízhatósági és biztonsági elemzést tartalmazza [9].

A szabályozási körök felderítésénél mind a zárt, mind a nyílt hurkú köröket figyelembe kell venni. A beágyazott töltőrendszerrel a következő szabályozási körök megvalósítását várjuk el:

1. Napelem optimális munkapont keresése. A szabályozási kör a napelemből kivethető teljesítmény függvényében változtatja az U_{chg} töltőfeszültséget. Az akkumulátor élettartamának megóvása érdekében az U_{chg} feszültség nem mehet 14,4V-nál feljebb.

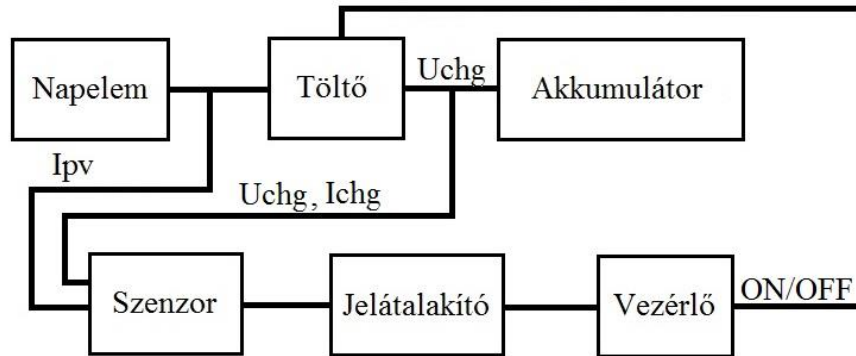


6.4. ábra: MPPT szabályozási kör

A szabályozási kör vezérlő jele, az I_{pv} és U_{pv} értékekből számolt P_{pv} , a napelem pillanatnyi teljesítménye. Az MPPT-t megvalósító algoritmus fajtájától függően a vezérlő jel lehet a napelem teljesítménygörbéje meredekségének előjele is, melyet szintén az I_{pv} és U_{pv} értékekből határozhatunk meg. A beavatkozó jel a vezérlő által kiadott PWM jel, mely a töltőáramkör U_{chg} feszültséget előállító egységét vezérli. Annak ellenére, hogy U_{chg} feszültség érték is mérve van, a szabályozási kör nyílt hurkú, nem tartalmaz visszacsatolást. A vezérlés működéséhez mérni kell I_{pv} és U_{pv} jeleket. U_{pv} jel 0V-17,4V-os tartományban van, mérésére két tizedes jegyes pontosság elég. I_{pv} 0A-1,15A es tartományban mozog. Mivel jónak látom a mA-es pontosság elérését, I_{pv} -t három tizedes jegyes pontossággal kell mérni. Mivel a szabályozási kör nyílt hurkú, stabilitási problémákról nem kell beszélni. Az MPPT algoritmushoz tartozó

implementálási útmutatóban az algoritmus frissítési gyakoriságának 40Hz-et adtak, ami azt jelenti, hogy az algoritmusnak 25ms-onként le kell futnia.

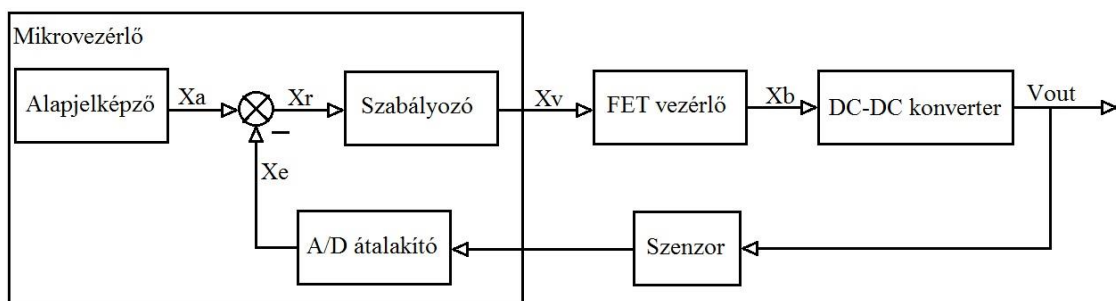
2. Akkumulátor töltése. A töltőrendszer figyeli az akkumulátort, és ha annak értéke egy küszöbérték alá esik, a rendszer elkezdíti azt tölteni. Ha nincs elegendő áram a töltéshez a töltést felfüggeszti, és monitorozási üzemmódban folytatja a működést. A szabályozási kör nyílt hurkú. Vezérlő jelei az I_{pv} , U_{chg} , I_{chg} .



6.5. ábra: Töltési szabályozási kör

A vezérlés működtetéséhez mérni kell I_{pv} , I_{chg} , U_{chg} mennyiségeket, három tizedes jegyes pontossággal. Az előző szabályozási körhöz hasonlóan, a szekundumos nagyságú maximális válaszidőt ebben az esetben is elegendőnek találom.

3. A töltő feszültség/áram értékének szabályozása. A töltés közben vagy feszültség-, vagy áramgenerátoros üzemben működik a töltőrendszer, az akkumulátor töltöttségi szintjétől függően. A feszültséget vagy áramerősséget egy PI szabályozási kör segítségével tartjuk a referenciának megadott értéken, így biztosítva az egyenletes töltést. A szabályozási kör blokkvázlatát a 6.6 ábra mutatja.



6.6. ábra: PI szabályozási kör

A szabályozási kör megfelelő működtetéséhez szükséges mérni I_{chg} , illetve U_{chg} értékeket. A mérést három tizedes jegyes pontossággal elvégezni ebben az esetben is elég. Az MPPT vezérlésnek, és a PI szabályozásnak együtt kell dolgoznia. A PI szabályozónak viszont gyorsabban kell működnie, mint az MPPT algoritmus, hogy a DC konverter kimeneti feszültségét az MPPT algoritmus által előírt értékre tudja állítani. Az MPPT algoritmus implementálási útmutatójában a PI szabályozónak 1kHz-es frissítési időt ajánlanak. Ez azt jelenti, hogy a szabályozást megvalósító függvénynek 1ms időközönként le kell futnia.

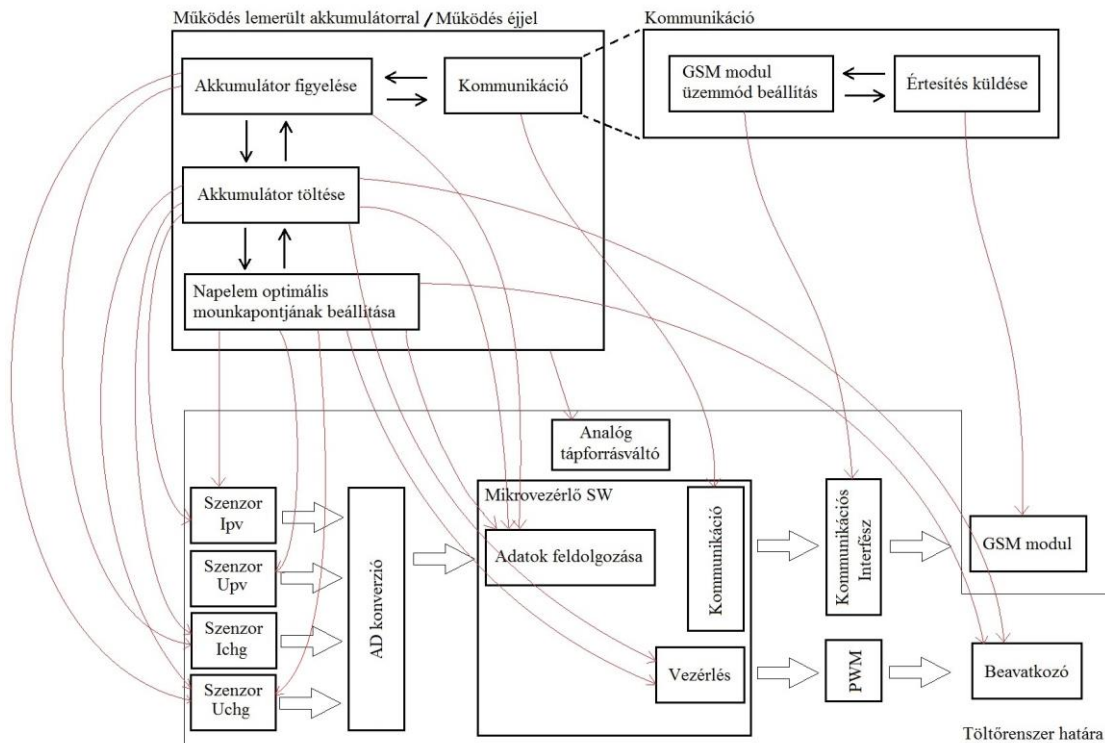
4. Értesítés vezérlése. Ha U_{chg} feszültség egy előre definiált küszöbérték alá esik, a vezérlő feléleszti a GSM modult alvó állapotból, és elküldet vele egy előre megadott üzenetet. A folyamat egyértelműen vezérlés, nem tartalmaz visszacsatolást. A vezérlő jel az U_{chg} feszültség, melynek mérése 2 tizedes jegy pontossággal megfelelő. A szekundumos válaszidő ebben az esetben is kielégítő.

5. Töltőrendszer vezérlőjének tápellátása. Mivel a töltőrendszernek tudnia kell üzemelni akkumulátorról és napelemről egyaránt, egy váltóegységnek kell a magasabb tápfeszültséget biztosító forrás fellé kapcsolnia a vezérlő tápbemenetét. A szabályozási kör ez esetben is nyílt hurkú, a vezérlő jel U_{chg} és U_{pv} különbsége. A vezérlő és beavatkozó funkciót ebben az esetben analóg módon is meg lehet valósítani egy diódapárral, nem szükséges mikrovezérlő alkalmazása.

Valós idejű követelmények tekintetében jelen esetben túl nagy elvárás nem lép fel, egyedül a PI szabályozó 1kHz-es, illetve az MPPT algoritmus 40Hz-es frissítési idejét kell figyelembe venni. A többi vezérlési köröktől elvárt válaszidő maximuma egy szekundum környéki. Az előbb megfogalmazott követelményeket a ma kereskedelmi forgalomban kapható mikrovezérlő egységek képesek teljesíteni.

Az elosztott működést vizsgálva azt állapítottam meg, hogy a töltőrendszer nem tartalmaz olyan bonyolultságot, vagy olyan szigorú valós idejű követelménnyel rendelkező feladatot, melynek végrehajtását külön egységhez kellene hozzárendelni. A töltőrendszer által használt perifériák (GSM modul, akkumulátor, napelem) egymáshoz közel helyezkednek el, így területi vonatkozásban nincs szükség decentralizálásra.

Biztonsági és megbízhatósági szempontból a következőket kell figyelembe venni: A töltőrendszer esetleges meghibásodásának következménye a rákapcsolt akkumulátor élettartamának drasztikus csökkenése. Ez esetben az akkumulátor cseréjére van szükség. Mivel a felhasznált akkumulátor egy kereskedelemben elterjedt, könnyen hozzáférhető típus, pótlása nem jelent komoly anyagi kárt. Biztonsági besorolásnak ezért a SIL0-t adtam meg. Az eszköz tervezése során egyéb különleges biztonság szempontok figyelembe vételére nincs szükség.



6.7. ábra: A logikai funkciók leképeződése

A technológiai rendszerterv összeállítása után látható, hogy az egyes logikai funkciók megvalósítását mely hardveregységek végzik el. A leképezést a 6.7 ábra mutatja.

Az előzőek alapján már meghatározható, hogy a beágyazott töltőrendszer hardvere milyen részegységekből épül fel. A teljes listát a logikai funkciókat megvalósító, és az alapvető működést biztosító részegységek összessége adja.

A töltőrendszer a következő részegységekből épül fel:

- Tápforrás váltó
- Vezérlő egység
- A vezérlő egység tápegysége
- Szenzor I_{pv} mérésére
- Szenzor U_{pv} mérésére
- Szenzor U_{chg} mérésére
- Szenzor I_{chg} mérésére
- Kommunikációs interfész
- Töltéshez szükséges DC-DC konverter
- A DC-DC konverter kimeneti feszültségét vezérlő beavatkozó

A tesztelési ág számára a következő teszteseteket határoztam meg:

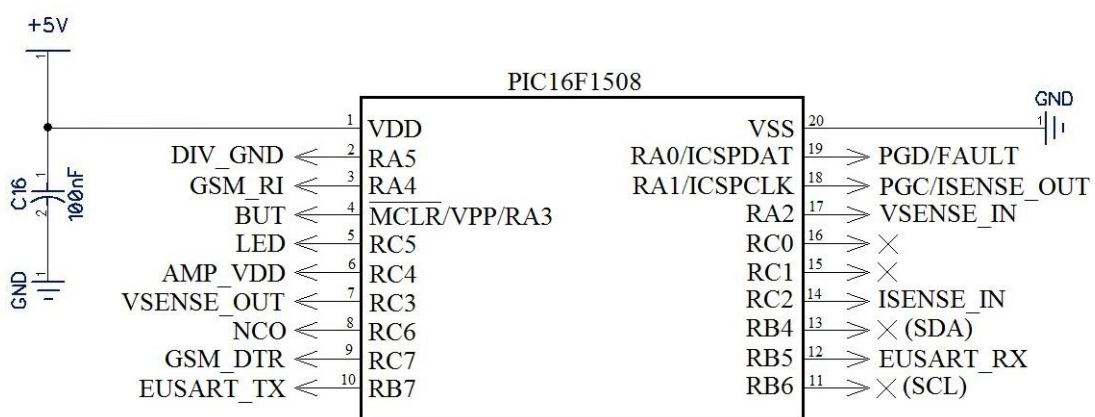
- U_{chg} kisebb lesz, mint a küszöbfeszültség, ekkor a szükséges GSM kommunikáció indítása.
- GSM modul ébresztése, értesítési üzenet elküldése, majd a modul visszaállítása energiatakarékos üzemmódba.
- U_{chg} nagyobb, mint U_{pv} , ekkor működés akkumulátorról.
- U_{chg} kisebb, mint U_{pv} , ekkor működés napelemről.
- U_{chg} a töltési küszöbérték alá esik, ekkor töltés kezdése.
- I_{pv} küszöbérték alá esik, ekkor töltés leállítása.
- I_{chg} küszöbérték alá esik, ekkor töltés leállítása.

6.3 Részletes tervezés

Ez a lépés a már megadott hardver részegységek tervezését, megadását foglalja magába. Mivel a beágyazott töltőrendszer összetettsége nem kívánja a részegységek modulokra való további bontását, a modul tervezési lépést a hardvertervezési folyamatban elhagyom.

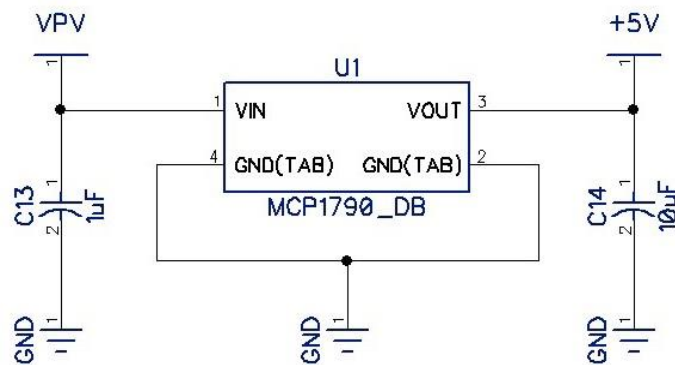
Az egyes részegységek megadásánál egy, a Microchip cég által kiadott, a témába vágó implementálási útmutatóból [7] indultam ki. A dokumentumban megtalálhatóak az általam megadott hardver részegységek kapcsolásai, a tápforrás váltó és a kommunikációs interfész kivételével.

A vezérlő egység: feladata, hogy a mért feszültség- és áramértékeket felhasználva döntéseket hozzon, és vezérelje a DC-DC konverter kimeneti feszültségét előállító beavatkozót, illetve kommunikáljon a GSM modullal. A mért értékeket konvertálni kell, hogy digitális formában kezelhetőek legyenek. A vezérlőegység szerepére egy mikrovezérlő a legalkalmasabb eszköz, mert egyszerre tudja ellátni a konverziós és a döntési feladatokat. A felhasznált implementációs útmutatóban [7] a felhasznált mikrovezérlő egy PIC16F1503 típusú mikrovezérlő. Ez az eszköz viszont nem tartalmaz a soros kommunikációhoz szükséges UART interfészt, ezért egy fejlettebb típusra volt szükség. Az általam felhasznált mikrovezérlő egy PIC16F1508 típus, mely nagyobb lábszámú, és tartalmazza a kellő funkcionalitást mindamelllett, hogy az eredeti vezérlő tulajdonságait is magába foglalja. A mikrovezérlő bekötése a 6.8 ábrán látható.



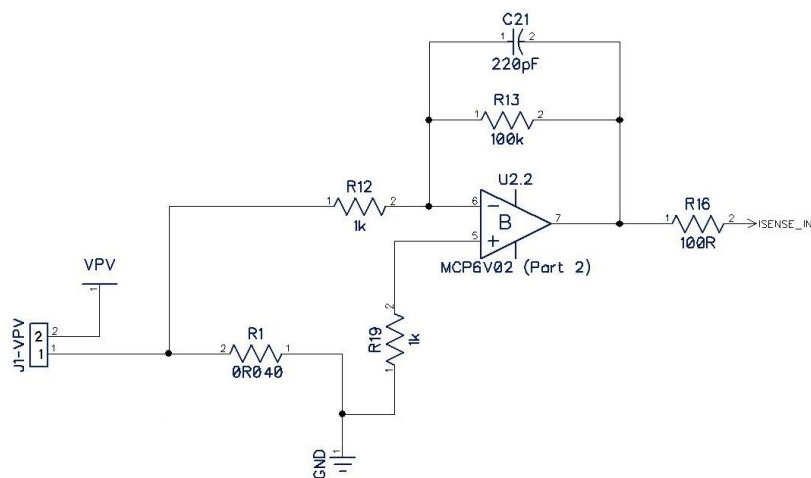
6.8. ábra: PIC16F1508 bekötése

A vezérlő egység tápegysége: ellátja stabil tápfeszültséggel a vezérlő egységet. A választott eszköz 5V tápfeszültséget igényel. A napelem feszültsége viszonylag nagy tartományban ingadozhat, ezért a tápegység nem lehet az akkumulátoros 12V-os táplálás esetén használható elterjedt típus, hanem bírnia kell a nagyobb bemeneti feszültségeket is. Az implementációs útmutatóban megadott eszköz erre az MCP1790 típusú feszültség stabilizátor, melynek bemeneti feszültsége a 48 voltot is elérheti. Ez több, mint elég a napelem max. 17,4Vos kimeneti feszültségéhez. A tápegység kapcsolása a 6.9 ábrán látható.



6.9. ábra: Tápegység kapcsolási rajza [7]

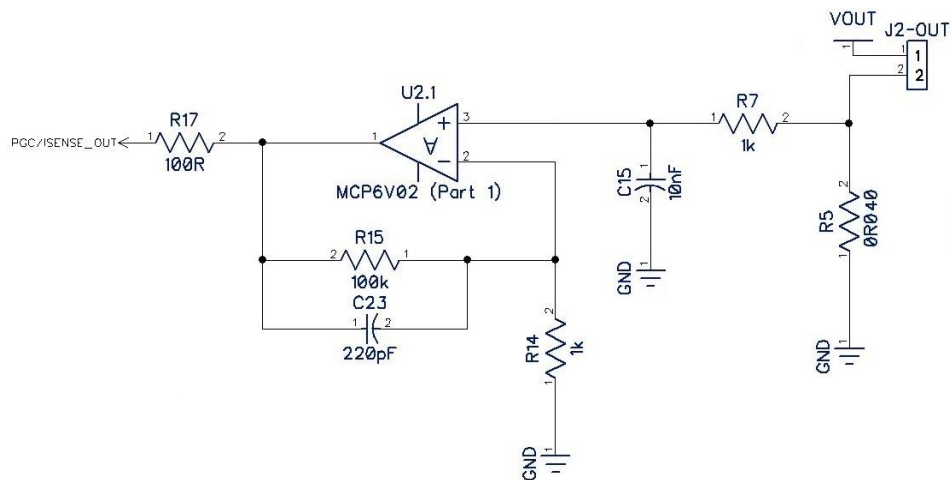
Szenzor I_{pv} mérésére: a napelem által leadott áramerősség mérésére szolgáló egység. A szenzor egy úgynevezett „alsó ágba” elhelyezett kis értékű sönt ellenálláson eső feszültséget mérő műveleti erősítő. Az erősítő egy invertáló kapcsolást valósít meg. A kimeneten, a sönt ellenálláson átfolyó áram nagyságával arányos, invertált feszültség érték jelenik meg. A kapcsolás az 6.10 ábrán látható.



6.10. ábra: I_{pv} szenzor kapcsolása [7]

A kapcsolást az erősítő nem invertáló bemenetére kerülő egy $1k\Omega$ -os ellenállással egészítettem ki. ennek köszönhetően a két bemeneten lévő terhelés majdnem ugyan akkora, ez pedig a bemeneti offsetet csökkenti. Az invertáló erősítő kapcsolás erősítési tényezője $A=-100$. Egy 20W-os napelem rövidzárási árama $1,15A$, amely a sönt ellenállásokon $0,046V$ feszültséget ejt. A szenzor maximális kimeneti feszültsége tehát $4,6V$, ami a mikrovezérlő AD konverterére ráadható.

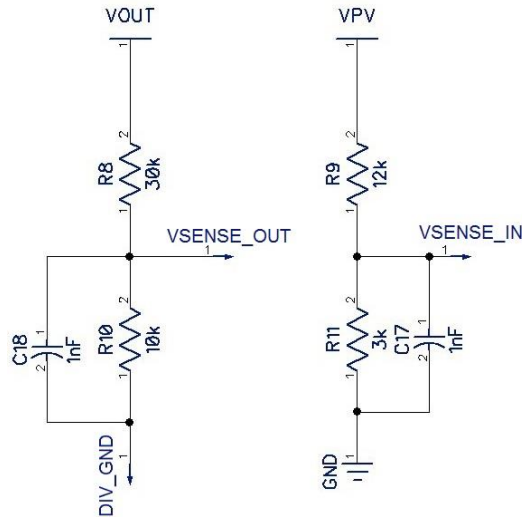
Szenzor I_{chg} : az akkumulátor töltőáramának mérésére szolgáló részegység. Kialakítása az I_{pv} szenzoréhoz hasonló, azzal a különbséggel, hogy itt egy nem invertáló erősítő kapcsolást használok. A kapcsolások közötti különbség oka, az áramok folyási irányának, a vonatkoztatási irányhoz képesti változása. Ennél a szenzornál a töltőáram az akkumulátor negatív pólusa felől folyik a földpont felé. Ez megfelel az elfogadott irányoknak. Az I_{pv} szenzor esetében az áram a földpont felől folyik a napelem negatív pólusa felé, ami a negatív előjelű feszültséget kelt. Ezt a negatív feszültséget kell az invertáló kapcsolással pozitív tartományba hozni. Az I_{chg} szenzor kapcsolása a 6.11 ábrán látható.



6.11. ábra: I_{chg} szenzor kapcsolása [7]

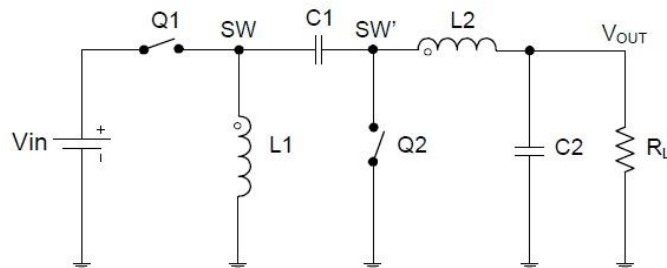
Szenzor U_{pv} mérésére: feladata, hogy a napelem kivezetései közötti feszültséget mérje. Ezt egy feszültségosztó kapcsolással oldja meg. A napelem üresjáratú kapocsfeszültsége $17,4V$. A feszültségosztó kapcsolás ellenállásainak aránya 1 a 4-hez, így az AD konverterre, a $17,4V$ ötöde, $3,48V$ kerül. A kapcsolás a 6.12 ábrán látható.

Szenzor U_{chg} mérésére: a feladat, és a megvalósítás hasonló az előző szenzoréhoz. Ebben az esetben viszont az akkumulátor kapocsfeszültségét kell mérni. Mivel az akkumulátor feszültsége maximum 14,4V lehet, a feszültségosztó kapcsolás 1 a 3-hoz osztást csinál. Az AD átalakító bemenetre tehát legfeljebb 3,6V kerül. Annak érdekében, hogy az akkumulátor kivezetéseit egy ellenálláson keresztül rövidre zárjuk, a szenzor virtuális földponttal rendelkezik, mely szintén a mikrovezérlő egy lábára van kötve. A szenzor kapcsolási rajza az 6.12 ábrán látható.



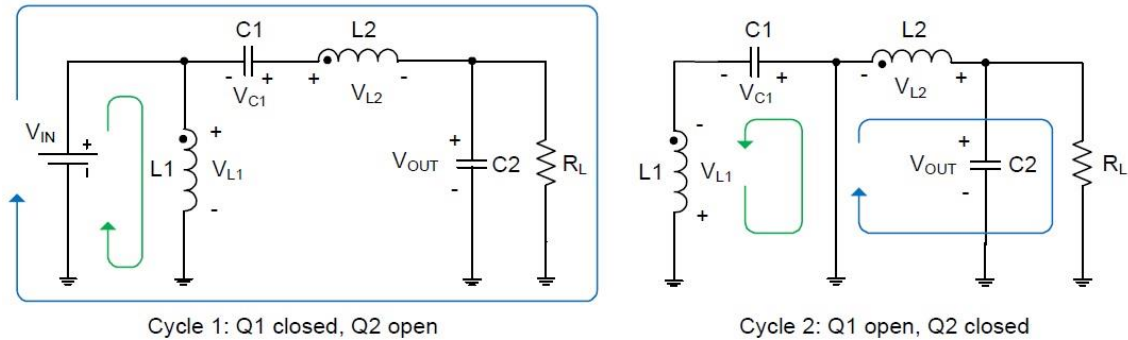
6.12. ábra: U_{chg} és U_{pv} szenzorok kapcsolási rajza [7]

DC-DC konverter: ez a részegység felelős az akkumulátor, napelemhez való illesztéséhez. A konverter Buck-Boost típusú, melynek előnyös tulajdonsága, hogy a kimeneten kisebb, vagy nagyobb feszültséget is elő tud állítani, mint ami a bemeneten van. Ez a tulajdonság igen fontos a napelemes alkalmazhatóság szempontjából, mert az aktuális besugárzottság erősen befolyásolja a napelem feszültségét is. A konverterben két kapcsoló, két induktivitás, és két kondenzátor dolgozik. Alapvető felépítése a 6.13 ábrán figyelhető meg.



6.13. ábra: A konverter felépítése

A konverter két ütemben működik. Az első ütemben Q1 kapcsoló van zárt állapotban, és az áram az L1 induktivitáson folyik, illetve C1 csatoló kapacitáson keresztül L2-n és a terhelésen át. A második ütemben Q2 van zárt állapotban. Ekkor az L2 tekercsben tárolt energia tölti a terhelést, Az L1 tekercs energiája visszaáll a kezdeti értékre. A folyamatot a 6.14 ábra mutatja [7].

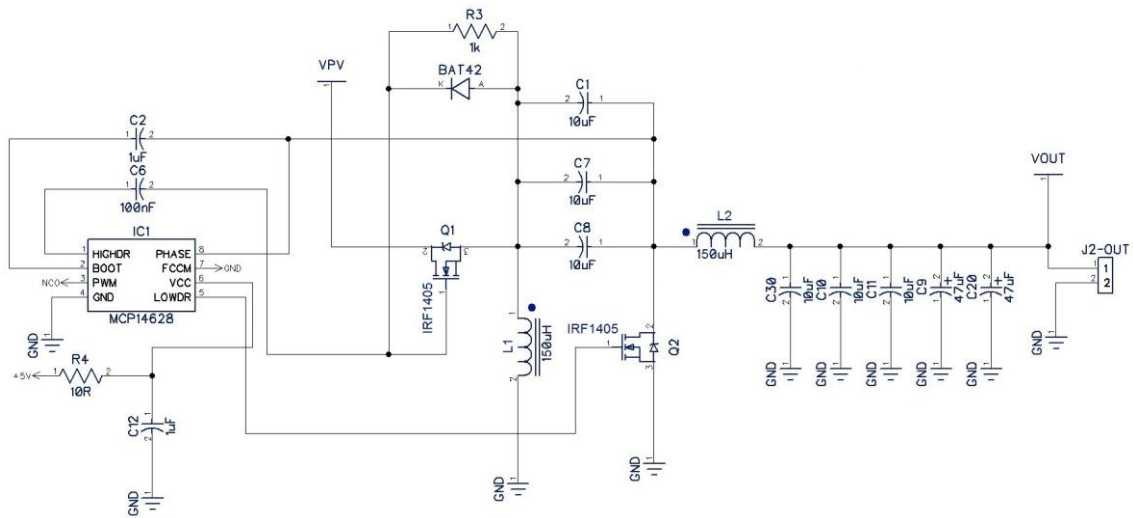


6.14. ábra: A konverter ütemei

Azt, hogy a kimeneti feszültség kisebb vagy nagyobb, mint a bemeneti, a konvertert vezérlő PWM jel kitöltési tényezője adja meg. Ha a kitöltési tényező 50%, a be- és kimeneti feszültség egyenlő. Ha kisebb, mint 50% Buck, ha nagyobb, mint 50% Boost üzemmódban működik a konverter. A kapcsolók az implementálási útmutatóban nagy teljesítményekhez alkalmazható MOSFET-ek. A FET-ek Drain és Source kapui közötti maximális feszültség 40V értékű lehet, és legfeljebb 36A drain áramot képesek vezetni. Sajnos ezek az elemek itthon nem beszerezhetők, így helyettesítő terméket kellett keresnem. Az általam választott alkatrész az IRF1405 típusú MOSFET, mely a fenti adatokat biztonsággal teljesíti. Eltérést a kiváltott alkatrésszel tokozásában, és lábainak számában mutat. A helyettesítő FET TO-220 tokozású, és három lábbal rendelkezik. A DC-DC konverter kapcsolási rajza a 6.15 ábrán látható.

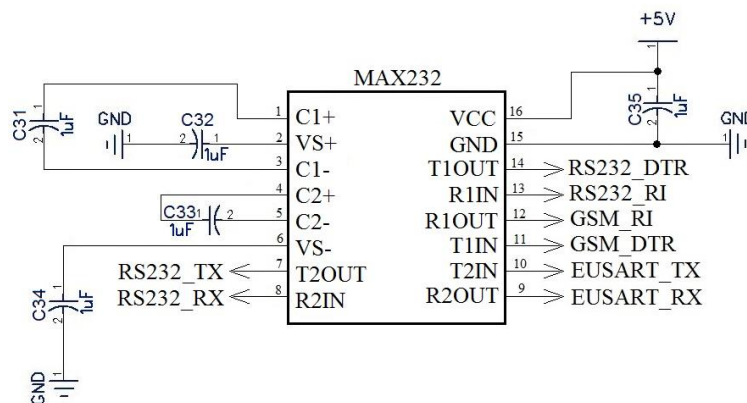
DC konverter kimeneti feszültségét vezérlő beavatkozó: Ez a részegység végzi a FET-ek megfelelő vezérlését. Az eszközt kifejezetten DC konverteres alkalmazásokhoz készítették, így meglehetősen kedvező tulajdonságokkal bír, mint a Kereszt Vezetés Védelem (Cross-Conduction Protection), mely gondoskodik róla, hogy ne legyen olyan pillanat, amikor mindkét FET vezetőként viselkedik. A vezérlő PWM bemenete három állapotú. Ha magas jel van rajta, a Q1-es FET-et állítja vezetőképessé, nyitott állásba, míg Q2 zárt állapotba vezérli. Alacsony jelszint esetén a Q2-es FET nyitott, és Q1 zárt állásba kerül. Ha a bemenetre a tápfeszültség felének megfelelő jelszint kerül, mindkét

FET-et zárt állásba helyezi, így leválasztja a bemenetet a kimenetről, és védi az akkumulátort, hogy a Q2 FET-en keresztül rövidre zárt állapotba kerüljön. A vezérlőelem bekötését a 6.15 ábra tartalmazza.



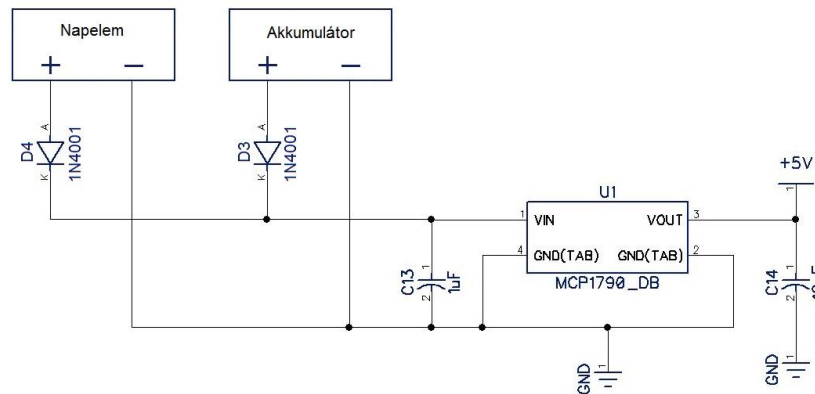
6.15. ábra: A DC konverter kapcsolási rajza

Kommunikációs interfész: a beágyazott automata mérőrendszerben alkalmazott GSM modul RS232 soros kommunikációs felületen keresztül érhető el. Az RS232 szabvány szerinti alacsony szint 3V-15V között, a magas pedig -3V és -15V között van. A megfelelő jelszintek előállításához szintillesztőre van szükség. A GSM modul energiatakarékos üzemmódját állító DTR bemenet, illetve az eseményt indikáló RI csengő kimenet is a szintillesztett RS232 interfészen keresztül kapcsolódik a töltőrendszerhez. Ez összesen négy vonal, az RX, TX, DTR és RI szintillesztését igényli. A feladatra alkalmas eszköz a Texas Instruments cég MAX232 szintillesztője. Az eszköz bekötése a 6.16 ábrán tekinthető meg.



6.16. ábra: RS232 interfész bekötése

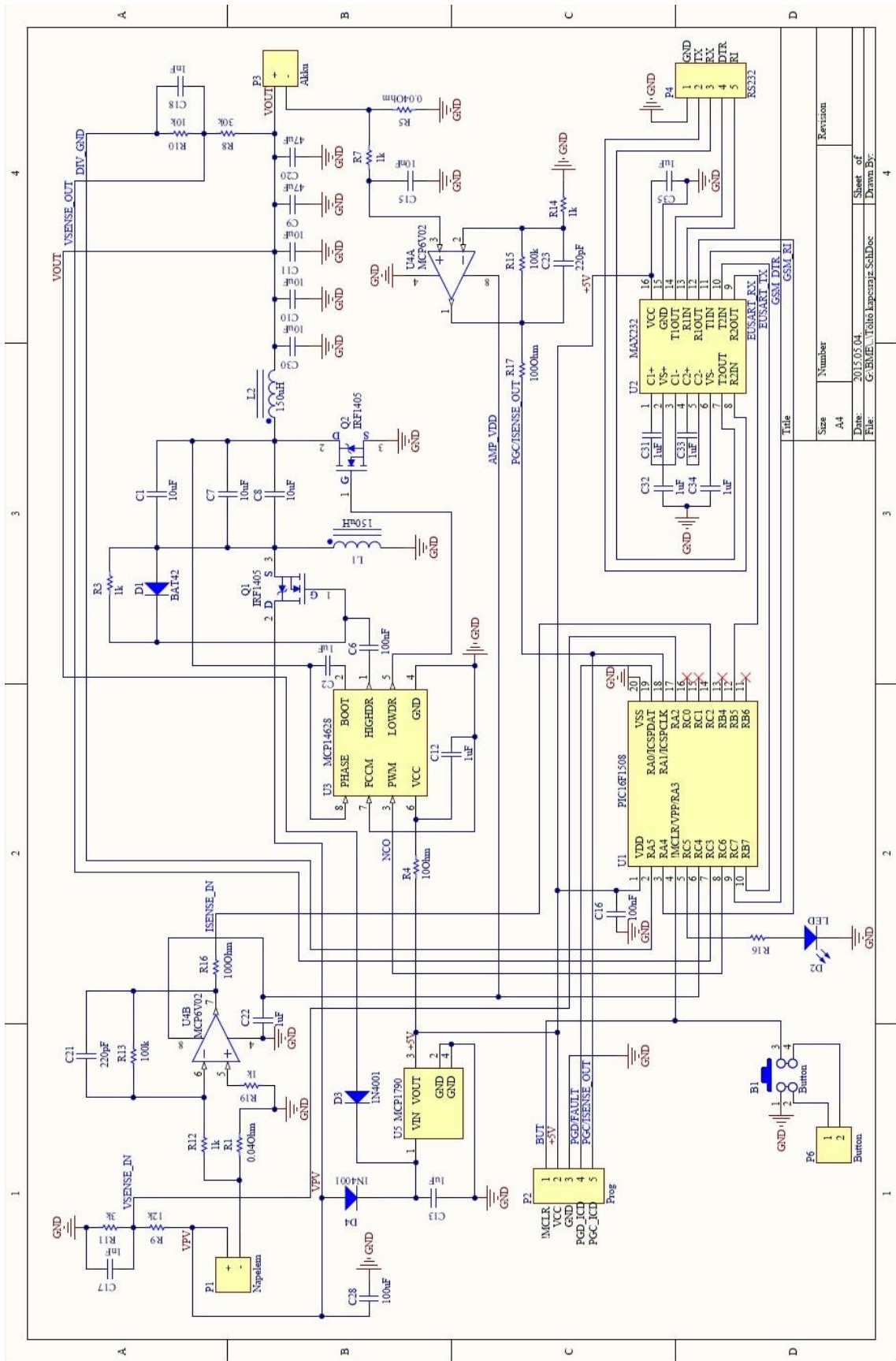
Tápforrás váltó: ennek a részegységnek az a feladata, hogy a mikrovezérlő képes legyen napelemről, vagy akkumulátorról üzemelni attól függően, hogy melyik tápforrás biztosít magasabb tápfeszültséget. Ezt két darab dióda alkalmazása teszi lehetővé. A 6.17 ábra mutatja a kapcsolást. Ha a napelem kapocsfeszültsége a magasabb, a hozzá tartozó diódán folyik át az áram, de az akkumulátorhoz tartozó lezárásként funkcionál, így ilyenkor az áramkör azon része szakadásként modellezhető. Fordított esetben az akkumulátorhoz tartozó dióda engedi át az áramot, és a napelemhez tartozó fog lezárni.



6.17. ábra: Tápforrás váltó kapcsolása

A hardvertervezés utolsó lépéseként az előbbieken bemutatott részegységeket állítottam össze egy egységes rendszerbe. A beágyazott töltőrendszer prototípusára, a tesztelés könnyítése céljából ráterveztem egy nyomógombot, illetve egy LED izzót is, melyeknek a programfejlesztés során lehet fontos szerepe. Az implementálási útmutatóban a napelem kapcsai közé tíz darab $10\mu\text{F}$ -os szűrőkondenzátor van elhelyezve. Ezeket én egy darab $100\mu\text{F}$ -os kondenzátorral váltottam ki, helytakarékosági okból. A beágyazott töltőrendszer kapcsolási rajza az 6.18 ábrán látható.

A kapcsolási rajz elkészítése után elkészítettem az egyes alkatrészek beültetési és kötési dokumentációját. Ezen beültetési rajz alapján lehet gyorsan, kevés hibával összerakni a prototípust. A rajz a panelen elhelyezett alkatrészek későbbi azonosításában is nagy segítség lehet. A prototípus paneljét úgy választottam meg, hogy az alkatrészek felhelyezése után még maradjon hely esetleges utólagosan felforrasztandó egységeknek is, melyek későbbi fejlesztés során kerülnek fel. A beültetési rajzot az 6.19 ábra mutatja.

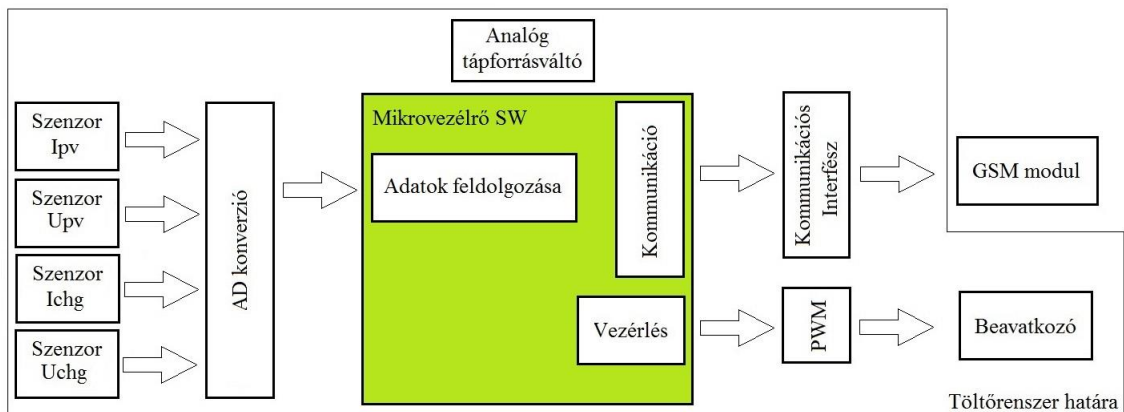


6.18. ábra: A beagyazott töltőrendszer kapcsolási rajza

6.4 Szoftverkövetelmények elemzése és a szoftver architektúra megtervezése

Ebben a lépésben az következő részfeladatokat fogom elvégezni: Megállapítom, hogy meddig terjed maga a vezérlő szoftver, azaz a szoftverrendszer határait adom meg. Deklarálom az egyes szoftverkomponenseket. Megadom, hogy hány rétegből áll a szoftverrendszer, illetve milyen működési módjai vannak.

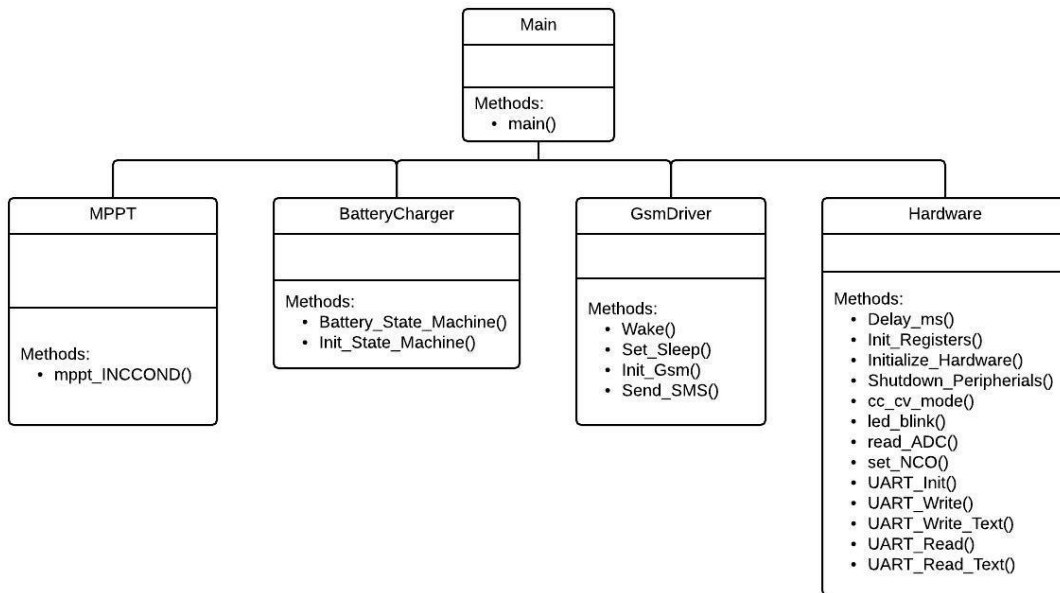
A szoftverrendszer határait jól mutatja a 6.20 ábra. Látható, hogy a rendszer az Adatok feldolgozása, a Kommunikáció és a Vezérlés címszóval jelzett feladatokat látja el.



6.20. ábra: A szoftverrendszer határa

A szoftverrendszer egyes komponenseit a DC-DC konverter és az MPPT algoritmus megvalósítási útmutatói [8], [7] alapján határoztam meg. A megvalósítandó feladatokat a Main, Hardware, BatteryCharger, MPPT és a GsmDriver elnevezésű modulok látják el. A Main modul fogja össze a rendszert, itt dönti el a szoftver, hogy a különböző körülmények hatására milyen feladatot (MPPT követés, töltés, értesítés) kezd meg. A Hardware modul felelős a mikrovezérlő be- és kimeneteinek kezeléséért, inicializálásáért, a PI szabályozásért. Az egyéb perifériák (UART, LED) kezelése is a modul feladata. Egyéb, hardver közeli feladatok is ide tartoznak, mint az A/D konverzió végrehajtása és a PWM jel generálása. A BatteryCharger az akkumulátor töltését megvalósító állapotgépet és annak inicializálására vonatkozó eljárásokat tartalmazza. Az MPPT modul az optimális munkapont kereséséhez használt eljárást tartalmazza. A GsmDriver modul a beágyazott mérőrendszerhez tartozó GSM modul vezérlését látja el,

az ébresztéshez, értesítésküldéshez, energiatakarékos módba állításához szükséges függvényeket foglalja magába. A szoftverkomponensek a 6.21 ábrán láthatóak.



6.21. ábra: SW komponensek

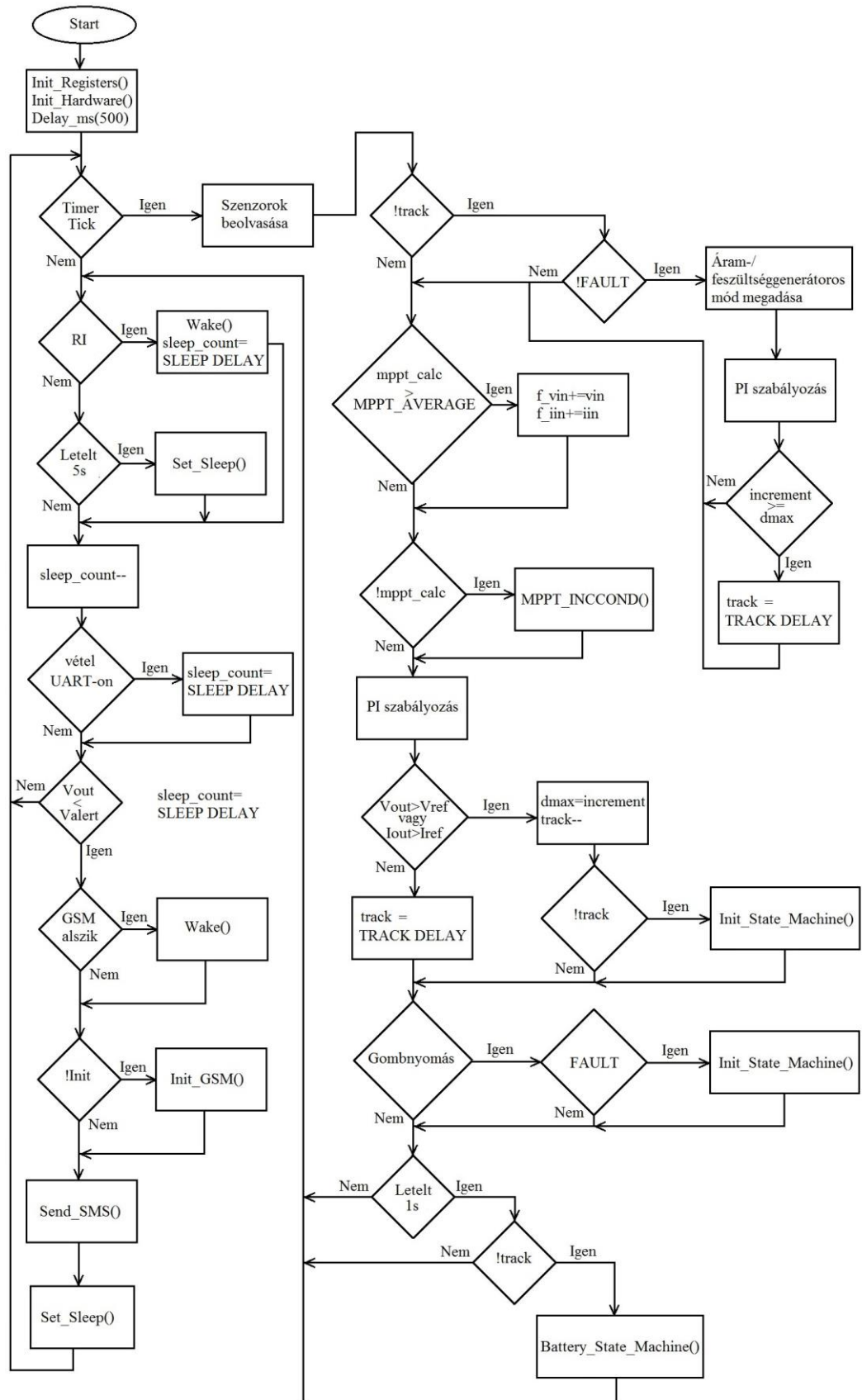
A beágyazott töltőrendszer vezérlőszoftvere kifejezetten egy adott mikrovezérlő típusra kerül implementálásra. Ennek következtében nincs szükség különböztetni a hardver specifikus réteget és az felhasználói programot. A szoftverrendszer tehát egy rétegben kerül megvalósításra.

A vezérlőszoftver egyetlen működési üzemmóddal rendelkezik, a normál üzemmóddal. Későbbi fejlesztési lehetőség egy energiatakarékos üzemmód kialakítása, mely akkor lép életbe, amikor a napelem már nem képes működtetni a rendszert, és a mikrovezérlő az akkumulátorról üzemel.

6.5 Szoftverkomponensek specifikálása

Ebben a lépésben az egyes szoftverkomponensek részletes leírására kerül sor, melynek alapján már megtörténhet a megvalósítás.

A Main modul fő feladatai a következők: eldönteni, hogy kell-e keresni az optimális munkapontot, futtatni a PI szabályozót, figyelni, hogy történt-e a GSM modul ébredését kiváltó esemény.



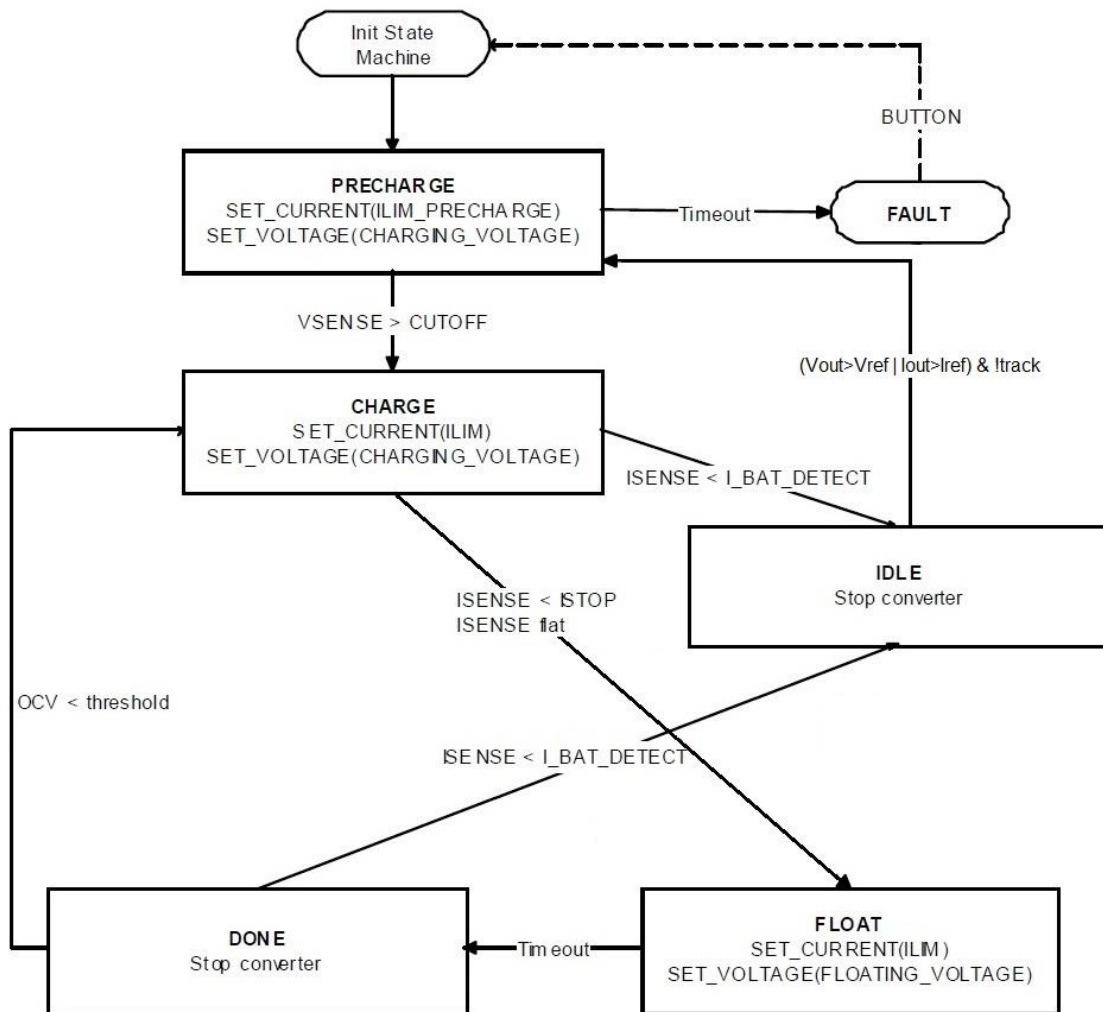
6.22. ábra: A Main modul folyamatábrája

Másodpercenként meg kell hívnia a töltésvezérlő állapotgépet. Figyelnie kell, hogy az akkumulátor kapocsfeszültsége elérte-e a figyelmeztető SMS küldéséhez szükséges feszültségszintet. Végül figyelnie kell, történt-e gombnyomás. A Main modul folyamatábrája az 6.22 ábrán látható.

A Main modult az implementálási útmutatók [7], [8] alapján készítettem el, hozzáátve a GSM modult érintő funkciókat.

A BatteryCharger modul a töltésvezérlő állapotgépből (6.23 ábra), és a hozzá tartozó inicializáló függvényből áll. Az állapotgépnek hat állapota van melyek a Precharge, Charge, Float, Done, Idle és Fault névvel vannak ellátva. A töltő Precharge állapotban kezdi meg a működését, és elindítja az akkumulátor töltését. A Precharge állapot a savas ólomakkumulátorok esetében nem lényeges. Az állapotgép lehetőséget ad arra, hogy más típusú akkumulátorok is tölthetők legyenek a készülékkel. Savas ólomakkumulátor esetében a Precharge állapot egy másodpercig áll fenn, a következő meghíváskor az állapotgép a Charge állapotot veszi fel. Ekkor a töltő az akkumulátor kapacitásának egytized részével, 720mAh-val tölti az akkumulátort.

Miután az akkumulátor által felvett áramerősség értéke bizonyos szint alá csökken, az állapotgép átvált a Float állapotba. Ez kifejezetten a savas ólomakkumulátorok megfelelő töltésére lett megírva. A töltés ilyenkor az akkumulátor kapacitásának ötvened részének megfelelő áramerősséggel, 144mA-rel történik. Ez a szakasz az úgynevezett csepptöltés. A csepptöltést négy óra hosszan folytatja, majd az idő lejártával a Done állapotot veszi fel. Ekkor a töltőrendszert kikapcsolja az állapotgép, és csak megfigyeli az akkumulátort. Ha azt érzékeli, hogy az akkumulátort levették, akkor Idle állapotba kerül. Ha nem kerül levételre az akkumulátor a töltés befejezésével, akkor vár, amíg a kapocsfeszültség eléri a 12,6V-ot. Ekkor újra megkezdődik az akkumulátor töltését. Ezzel a működési mechanizmussal a töltő folyamatosan csepptölti a már feltöltött akkumulátort. Ez azért is nagyon jó, mert így folyamatosan pótolja a beágyazott automata mérőrendszer által felhasznált energiát. Fault állapotba akkor kerül az állapotgép, ha a Precharge állapotban túl sok ideig tartózkodik.



6.23 ábra: Az állapotgép állapotai

A Hardver modulban a mikrovezérlővel kapcsolatos funkciók találhatóak. Első funkció a hardver inicializálása. Itt kerülnek megadásra a töltőrendszer indulásához szükséges paraméterek. Következő funkció, a vezérlőegységnek, illetve a ki és bemeneteinek felkonfigurálása. Ennek a függvénynek a felülvizsgálatára a vezérlőegység típusának megváltoztatása miatt szükség volt.

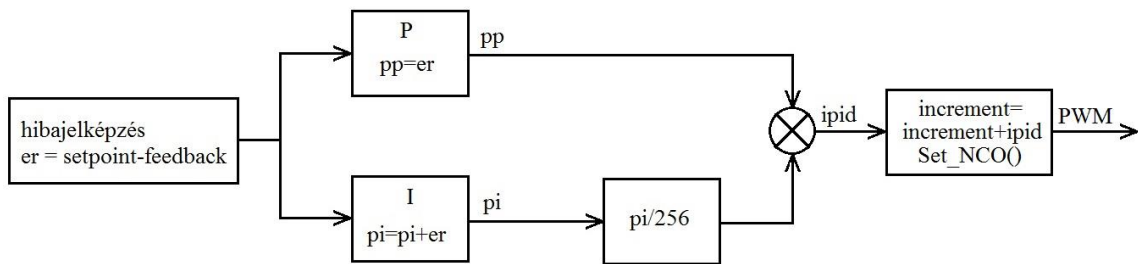
Bemenetnek konfigurált portok: RA1, RA2, RA3, RA4, RB5, RC2, RC4

Kimenetnek konfigurált portok: RA0, RA5, RB7, RC4, RC5, RC6, RC7

Analóg bemenetek: RA1, RA2, RC2, RC3

Az NCO1CON regiszter értékét 0xC1-ről 0xD1-re kellett változtatni, hogy a 1508 típusú vezérlő ugyan olyan funkcionalitással rendelkezzen, mint a 1503-as típus.

A következő funkció a PI szabályozó, mely a töltőáramot állítja megfelelő értékre. A szabályozó működési elve a 6.24 ábrán látható. Először a hibajel képződik, mely az elvárt érték és a mért érték különbsége. Majd az arányos és az integráló tag képződik. Az integráló tag hatását 256-od részére csökkentjük, és a két tag összegéből keletkezik a szabályozójel. A végrehajtó jel az Set_NCO() függvényhívás eredményeként áll elő. Ez a függvény állítja be a mikrovezérlő, PWM jel előállításáért felelős perifériáját.



6.24. ábra: PI szabályozó

A Hardware modulhoz tartozó funkció még a jelkonverzió. A mikrovezérlő analóg bemenetnek konfigurált lábain lévő feszültségszinteket olvassa be. Első lépésben beállítja a mérendő jelhez tartozó analóg csatornát, majd utasítást ad a jelkonverzió elvégzésére. Az eredményt a mért jellemzőhöz tartozó változóban tárolja. Ezt a folyamatot elvégzi az I_{pv} , I_{chg} , U_{pv} és U_{chg} esetében.

A mikrovezérlő EUSART perifériájának kezelését végző függvények is a Hardware modul részét képezik. Az UART_Init() függvény végzi el a periféria aszinkron működésének, és adatátviteli sebességének konfigurálását. A konfigurálás után engedélyezi magát az EUSART perifériát, majd annak küldő és fogadó egységeit is. Így a periféria alkalmas lesz az RS232 kommunikációra. Az UART_Write() és UART_Read() függvények egy karakter írását vagy olvasását végzik el. Az egy karakternél hosszabb szövegek küldésére és fogadására az UART_Write_Text() és UART_Read_Text() függvények szolgálnak.

Az MPPT modul a témához tartozó megvalósítási útmutatóban [8] szereplő Incremental Conductance eljárást tartalmazza. Az algoritmus folyamatábráját a 4.12 kép mutatja.

A GsmDriver modulhoz tartozik a mérőrendszer GSM moduljának inicializálása, melybe a SIM kártya, a GSM és GPRS hálózatok meglétének ellenőrzése

tartozik. A GSM modul energiatakarékos állapotba helyezéséért a Set_Sleep() függvény felel. A függvény a mikrovezérlő RC7 portját logikai egy értékre állítja. Ennek hatására a GSM_DTR magas szintbe kerül, mely a GSM modult energiatakarékos állapotba helyezi. Ekkor a GSM modul soros kommunikációs portja nem üzemel. Ébresztéshez az RC7 portra nulla kerül, így a GSM modul ismét normál üzemmódba kerül. Az ébresztésért a Wake() függvény felelős. A Send_SMS() függvény valósítja meg az értesítésküldési funkció üzenetküldéssel kapcsolatos részét. A függvény soros porton keresztül kiküldi az AT+CMGF=1 parancsot, mely az üzenetmegadás formátumát szövegesre állítja. Az OK választ követi az AT+CSCS="GSM" parancs, mely a használandó karakterkészletet választja ki. Az OK válasz után AT+CMGS="telefonszám" parancs következik, melyre a válasz egy '>' szimbólum. Ekkor kerül megadásra az üzenet szövege: „INST NBR: 01 AT: PUSZTAZAMOR NEEDS ATT: BAT LOW!”. Az üzenetet a CTRL+Z karakterrel zárja. Ha megkapta az OK üzenetet, visszatér a függvény. Ha nem, megpróbálja újra elküldeni. Három sikertelen próbálkozást követően a töltőt FAULT állapotba állítja.

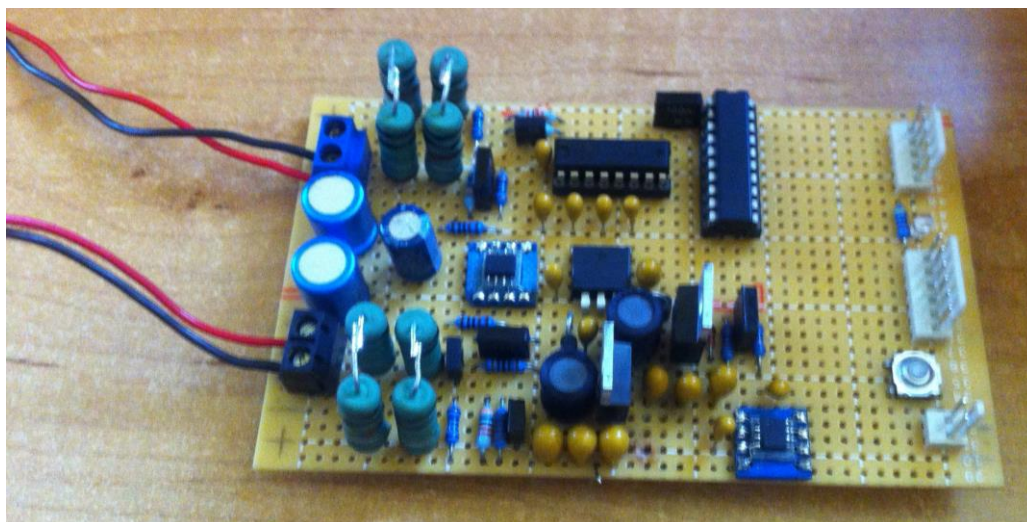
7 A beágyazott töltőrendszer megvalósítása

7.1 A hardver kivitelezése

A beágyazott töltőrendszer prototípusát egy előfuratolt, egy oldalán rézzel futtatott panelen készítettem el. A felhasznált ellenállások többsége 1%-os pontosságú, a legnagyobb pontatlanság 2%. A 0.04Ω -os sönt ellenállásokat négy darab 0.01Ω -os ellenállás sorba kötésével építettem meg. A DC-DC konverterhez tartozó $47\mu\text{F}$ -os kapacitásokat elektrolit kondenzátorokkal valósítottam meg. A napelem kimenetén lévő tíz darab $10\mu\text{F}$ -os kapacitást egy $100\mu\text{F}$ -os elektrolit kondenzátorként implementáltam. A mikrovezérlőnek, és az RS232 szintillesztő IC-nek foglalatokat forrasztottam be, így az esetlegesen meghibásodó alkatrészek cseréje könnyen elvégezhető.

A hátlapon való huzalozáskor külön színnel jelöltem a különböző fontosabb hálózatrészeket, feketével a GND-t, pirossal a napelem kimenetéről érkező U_{pv} feszültség szinten lévő hálózatot. Az U_{chg} feszültségű részt sárgával, és a vezérlőeszközök működéséhez szükséges 5V-os szinten lévő hálózatrészeket narancssárgával.

A csatlakozók közül, az akkumulátor, illetve a napelem bekötésére szolgálókat csavaros sorkapcsokkal építettem meg. A többi kisáramú csatlakozóhoz egyszerű dugós típust használtam. A megépített beágyazott töltő a 7.1 ábrán látható.



7.1. ábra: Az elkészült hardver

7.2 A szoftver megvalósítása

A beágyazott töltőrendszer vezérlőszoftverének elkészítéséhez felhasználtam az implementációs útmutató [7] mellékletéül szolgáló programot [10]. Ez szolgáltatja az alapot, melyből létrehoztam a vezérlőszoftvert. A felhasznált MPPT algoritmus az optimális munkapont kereső megvalósítási útmutatójában [8] megadott. Az útmutatóban csak az algoritmus van megadva, a hozzá tartozó változók létrehozása, a vezérlő szoftverbe való beillesztése az én feladatom volt.

A program helyes működése érdekében még sok paramétert újra kellett konfigurálni. Ilyenek voltak a töltéshez szükséges áramerősség és feszültség szintek. Az eredeti programban a feszültség szintek egy három cellás akkumulátorhoz voltak beállítva. Az általam használt akkumulátor hat cellát tartalmaz. A feszültség-szenzorok kialakításánál nem tértem el az implementációs útmutatóban megadottaktól, így a feszültségosztás aránya nem változott. Ezért a töltéshez szükséges feszültség-szintek helyes megadásához elég volt a megadottakat duplázni. A töltéshez, és a cseptöltéshez szükséges áram értékeinek helyes megadásakor figyelembe kellett vennem, hogy az általam használt akkumulátor kapacitása 7200mAh. A töltőáram ebből adódóan 720mA, a cseptöltő áram erőssége pedig 144mA lett. Mivel az árammérő szenzorok sönt ellenállásait megváltoztattam, újra kellett számolni az előbb említett áramerősségekhez tartozó A/D konverzió utáni értéket. A számolás elvégzéséhez a következő képlet állt rendelkezésemre:

$$Current_{COUNTS} = \frac{Current * Shunt_{value} * Amplification}{ADC_{reference}} * ADC_{max}$$

Az áram értékek 720mA és 144mA, az alkalmazott sönt ellenállás 0,04Ω, az erősítés 101-szeres, az AD maximum a négy minta összeadását követően 4096, és a referencia érték 5V. A fenti adatokkal számolva a töltőáramhoz tartozó konverzió utáni érték ILIM=2382, és a cseptöltő áramhoz tartozó érték IFLOAT=476.

A Hardware modulban lévő Read_ADC() függvény csak U_{chg} és I_{chg} értékek konverzióját végezte el. Az optimális munkapont kereséséhez szükség volt U_{pv} és I_{pv} értékek konverziójára is, melyeket hozzáírtam a függvényhez.

A GSM modult kezelő függvényeket a terveknek megfelelően írtam meg. A Set_Sleep() függvény a GSM_DTR vonalat állítja magas szintre, a Wake() függvény ugyanezt a vonalat helyezi logikai nulla értékre. Az Init() függvény az „AT+CPIN?” paranccsal ellenőrzi a SIM kártya meglétét, az „AT+CREG?” paranccsal a GSM hálózat hozzáférhetőségét, és az „AT+CGREG?” paranccsal a GPRS hálózat meglétét. A Send_SMS() függvény a részletes specifikációban leírtak szerint lett implementálva. A GSM modullal kapcsolatos funkció, még az GSM_RI (Ring Indicator) jel figyelése. Ha energiatakarékos üzemmódban egy külső esemény, mint SMS érkezése, hang, vagy adathívás történik, az RI jelzést ad a töltőnek, mire az visszaveszi az energiatakarékos módba helyezésre szolgáló GSM_DTR jelet. A töltő ekkor az EUSART_RX bemenetet figyeli, hogy monitorozza mikor ér véget a mérőmű és a GSM modul kommunikációja. Ha három percnél hosszabb ideig nincs jel az EUSART_RX vonalon, a töltő visszahelyezi a GSM modult energiatakarékos üzemmódba.

A szoftvert alkotó C program- és header fájlok a Melléklet-1.Zip fájlban találhatóak.

8 A töltőrendszer tesztelése

8.1 Hardvermodulok tesztelése.

A beágyazott töltőrendszer prototípusának építése után, az akkumulátor felőli csatlakozóra 12V feszültséget adva vizsgáltam a feszültség szinteket. A feszültség ráadásakor a DC konverter C1 kapacitását megvalósító három kondenzátor tönkrement. A jelenség okát megvizsgálva fedeztem fel, hogy a DC konverter megvalósítási útmutatójában szereplő kapcsolási rajzon, az említett kondenzátorok fordított polaritással vannak bekötve. A hibás alkatrészeket kicseréltem, a terveket kijavítottam.

A következő lépésben a feszültség szenzorokat vizsgáltam meg. Mivel az akkumulátor feszültségét mérő szenzor „föld” pontja a mikrovezérlő lábára volt kötve, a feszültség osztó nem üzemelt. A mikrovezérlőt ekkor még nem helyeztem be a foglalatába.

A következő lépésben ellenőriztem, hogy a vezérlést végző eszközök, és műveleti erősítők a nekik kellő 5V feszültséggel rendelkeznek-e. A feszültség szint mérésekor megállapítottam, hogy a vezérlőegységek tápfeszültsége 4,96V. Ez az egységek számára elégséges szint, viszont az AD konverziónál figyelembe kell venni, mert ez a szint képezi az átalakításnál használt referencia jelet is.

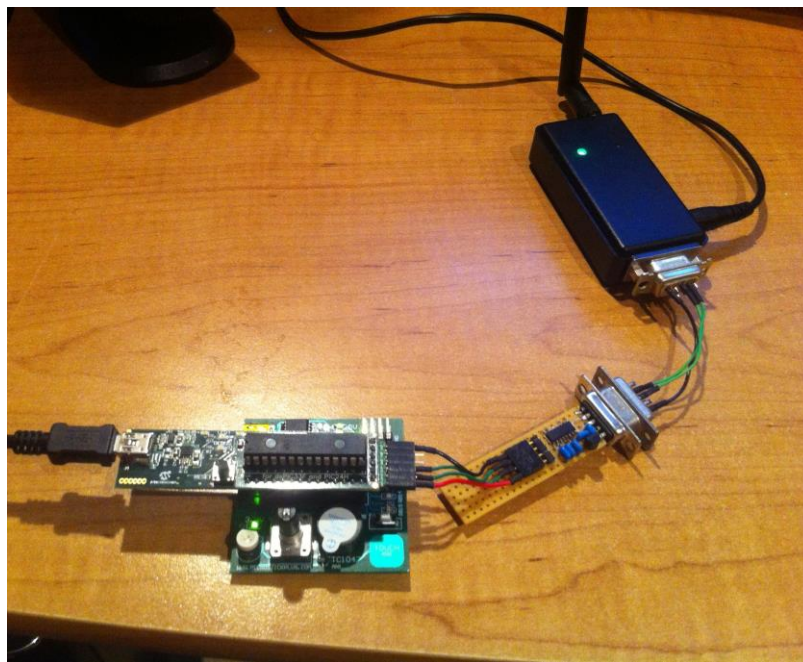
A 12V feszültség szintet eltávolítottam az akkumulátor felőli csatlakozóról, és ráadtam napelem felőli csatlakozóra is. A napelem feszültségét mérő szenzort vizsgáltam, és megállapítottam annak helyes működését.

A vezérlőelemeknek szükséges 5V-os feszültség szint meglétét ismét ellenőriztem. Miután megállapítottam, hogy a kellő feszültség szint megvan, azt is elmondhattam, hogy a tápforrás váltó kapcsolás is megfelelően működik.

A többi hardveregység tesztelését a szoftver mikrovezérlőbe való feltöltését követően végeztem el.

8.2 Szoftvermodulok tesztelése

A szoftvermodulokat különállóan, megfelelő debugger eszközök hiányában nem tudtam tesztelni, ezért úgy határoztam, hogy a mikrovezérlőbe való feltöltés után a hardver modulokkal együtt vizsgálom a szoftver működését. A GSM modulhoz tartozó soros kommunikáció teszteléséhez rendelkezésemre állt egy demo rendszer, amely egy PIC24HJ64GP típusú 16 bites mikrovezérlőt, egy „Microstick Plus” elnevezésű fejlesztőpanelt, egy GSM modult, egy RS232 szint illesztő egységet, és a szükséges kábelezéseket foglalja magában. A demo rendszer a 8.1 ábrán látható. A rendszer segítségével teszteltem az eseményvezérelt SMS küldést.

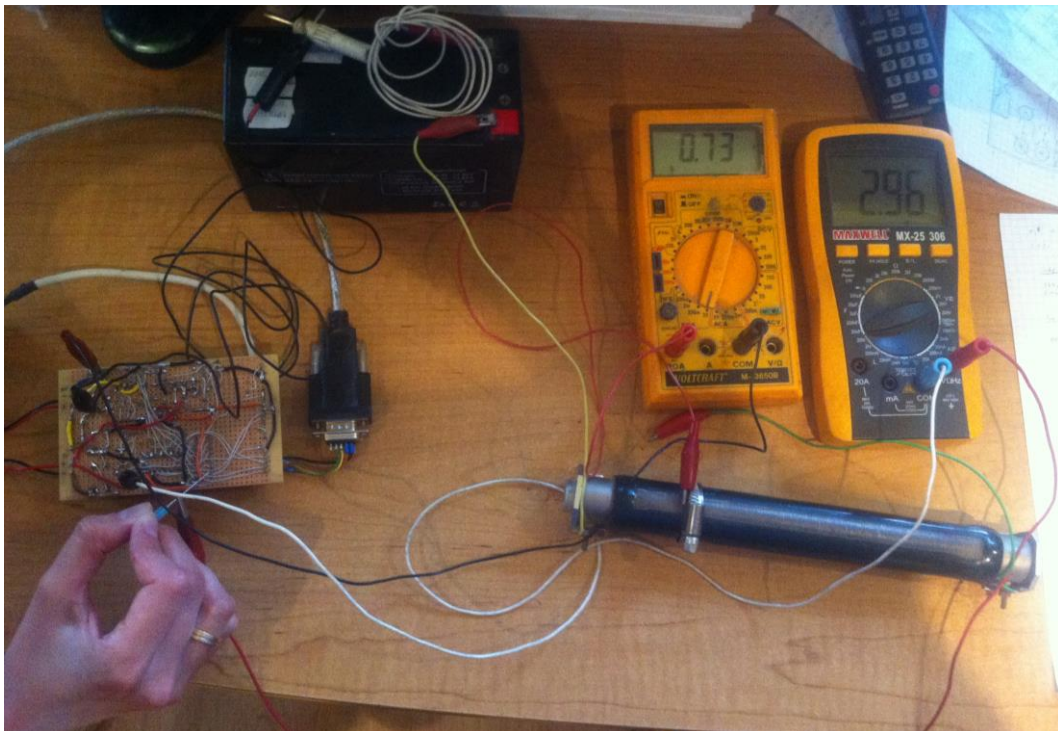


8.1. ábra: Demo rendszer a GSM modulhoz

8.3 Töltőrendszer tesztelése

A töltőrendszer működésének vizsgálatát több lépcsőben végeztem el. Mivel a hardverelemek egy részének vizsgálata még hátra volt, a mikrovezérlőbe először a DC-DC konverter működtetéséhez kellő programot töltöttem fel, a programot bizonyos teszt opciókkal és az UART kezelőfüggvényekkel kiegészítve. Ekkor az eszköz még nem volt képes az optimális munkapont keresésére, illetve a GSM modul vezérlésére, csak az akkumulátor töltési funkciókat tudta ellátni. A beágyazott töltőrendszer RS232 kimenetét összekötöttem egy számítógéppel, így a soros porton keresztül tudtam különböző teszt üzeneteket kiírni az eszközzel. Második lépésben vizsgáltam, hogy a

mikrovezérlő milyen értékeket mér a különböző feszültség és áram szenzorokon. Az I_{pv} és I_{chg} szenzorokat úgy ellenőriztem, hogy egy 12V-os akkumulátor és egy változtatható értékű terhelő ellenállás segítségével meghatározott áramerősségű áramokat vezettem át a szenzorhoz tartozó sönt ellenálláson. Az átvezetett áramok a csepptöltéshez szükséges 144mA és a töltéshez szükséges 720mA erősségűek voltak. A mérési összeállítást a 8.2 ábra mutatja. A számítógép soros port figyelő programján ellenőriztem a konverzió utáni értékeket. A konverziós értékek finomhangolása után a feszültség szenzorok vizsgálatát kezdtem meg.



8.2. ábra: I_{pv} és I_{chg} szenzorok mérése

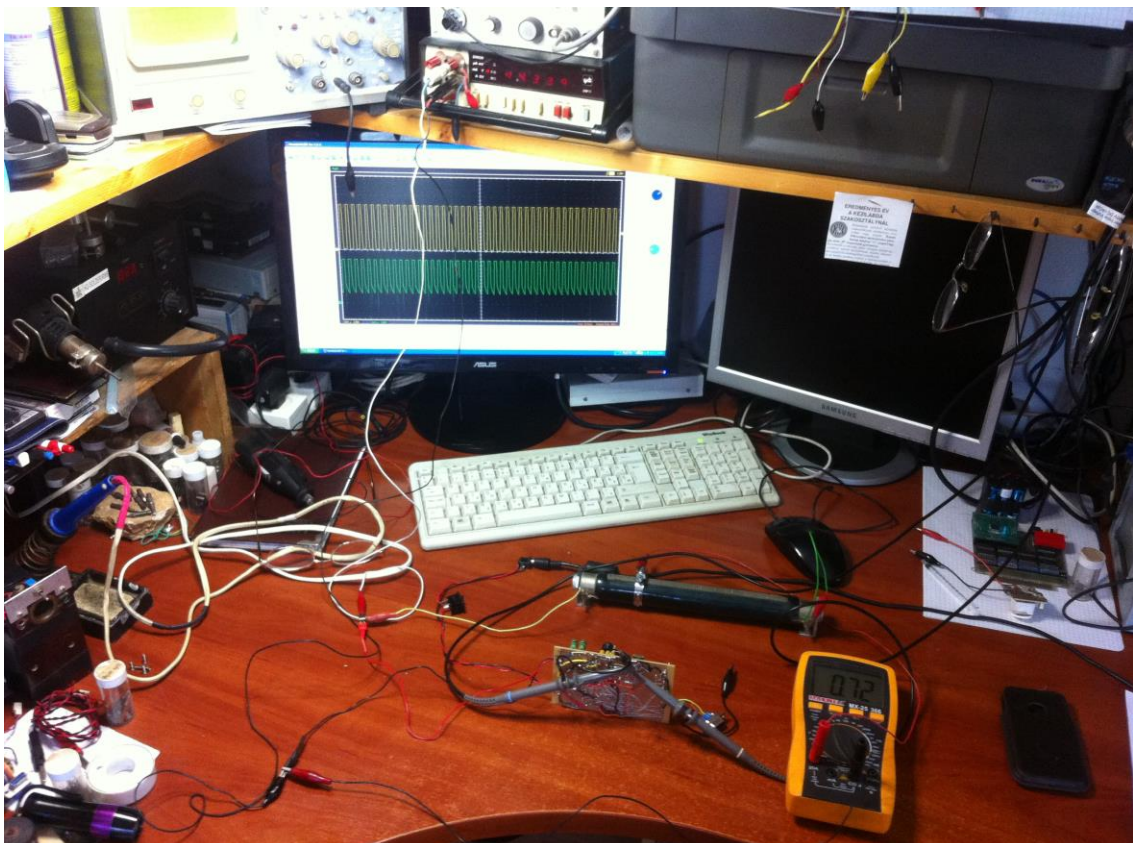
Az U_{py} és U_{chg} szenzorokat úgy vizsgáltam, hogy a 12V-os akkumulátort a napelem oldali, majd az akkumulátor oldali csatlakozóra kötöttem, és figyeltem a konverzió utáni értékeket. Miután megállapítottam, hogy a szenzorok helyesen működnek, vizsgáltam a DC-DC konverter működését.

Első lépésben a mikrovezérlő által kiadott PWM jelet figyeltem meg. A megfigyelés azt az eredményt adta, hogy a kiadott vezérlő jel invertált módon jelenik meg a kimeneten. Ekkor a mikrovezérlő NCO1CON regiszterének polaritás bitjét visszaállítottam 1-ről 0-ra, melynek hatására a kimeneten a helyes jel állt elő. Második lépésben a FET-eket vezérlő IC kimeneti jeleit vizsgáltam. A Q1 és Q2 tranzisztorok

Gate lábaira érkező jelek megfelelőek voltak, ennek ellenére a tranzistorok nem működtek kapcsolóként, a magas jelszint esetében nem nyitottak ki. Az általam alkalmazott típus adatlapját összevetve a megvalósítási útmutatóban [7] szereplő tranzistoréval, kiderült, hogy az általam használt típusnak nagyobb a nyitáshoz szükséges küszöb feszültsége. A FET-eket kicseréltem 50N06L típusúakra, melyek a megfelelő küszöb feszültség szintekkel rendelkeznek.

Az alkatrészek cseréje után a kimeneten megjelent a PWM jeltől függő feszültség szint. Ezt követően a referencia értéket 5V-ra állítottam, és ellenőriztem, hogy a konverter képes-e terhelés nélkül, az általam megadott szintre szabályozni. A sikeres tesztet követően az ellenőrzést megismételtem 7,5V, 10V, 12V és 14,4V jelszintekkel is.

A következő lépésben rákapcsoltam egy változtatható ellenállást a kimenetre, és az értékét úgy állítottam be, hogy a konverter 14,4V mellett 100mA erősségű áramot adjon le. A teszt mérés a 8.3 ábrán látható.



8.3. ábra: A beágyazott töltő terheléses vizsgálata

A konverter bekapcsolása után mértem a kimeneten lévő feszültséget, és a kiadott áramerősséget. Kis idő elteltével kikapcsoltam a konvertert, és vizsgáltam az áramkört, hogy az alkatrészek melegszenek-e. A sikeres tesztet követően úgy folytattam a konverter vizsgálatát, hogy az áramerősséget 100mA-es lépésekkel növeltem, amíg el nem értem a 800mA-es értéket.

A konverter vizsgálata után a töltő állapotgép viselkedését figyeltem meg. A töltőre rákapcsoltam egy, a specifikációnak megfelelő akkumulátort és a mikrovezérlőbe betöltöttem az implementálási útmutatóban [7] megadott egyszerű állapotgépet. Ezt követően elindítottam az akkumulátor töltését megvalósító eljárást, és figyeltem a töltőrendszer működését.

Az állapotgép tesztelését követően, kibővítettem a szoftvert az MPPT algoritmussal, és úgy vizsgáltam a rendszer működését. A harmadik lépésben már a teljes funkcionalitást tartalmazó programot töltöttem fel, és úgy vizsgáltam a hozzáadott funkciók helyes működését.

9 Következtetések

A beágyazott töltőrendszer a követelményeknek megfelelően működik. Az akkumulátor töltése és figyelése megvalósul, az optimális munkapont keresés, és a GSM modul kezelése megfelelően történik. Az akkumulátor töltőárama a megadottaknak megfelelően 720mA volt. Végeztem egy gyors számítást, miszerint a kellő töltésmennyiség (4,435Ah) visszapótlásához ekkora áramerősség mellett 6,16 óra kell naponta. ez azt jelenti, hogy a havi átlagos napsütéses órák számának 184,8-nek kell lennie. Utána néztem, hogy hazánkban az átlagos napsütéses órák száma hogyan alakul az egyes hónapokban, és azt találtam, hogy az április és szeptember közötti időszakban lesz képes a töltőrendszer fedezni a beágyazott automata mérőrendszer által felvett energiát. A fennmaradó időszakban az akkumulátor időközönként cserére szorul, ami nem szerencsés. A probléma orvosolható, nagyobb kapacitású akkumulátor pl. 12Ah, és egy nagyobb teljesítményű napelem segítségével. Így a kellő havi napsütéses órák száma 110-re csökken, amely két hónappal megnöveli az önálló működésre képes időszakot, de nem nyújt tökéletes megoldást.

Másik lehetőség, melyre javaslatot tettem, hogy az automata beágyazott mérőrendszerhez tartozó kapcsolópanelek, és az őket összekötő buszrendszer a készenléti állapot idejére legyen lekapcsolt állapotban. Ekkor a rendszer fogyasztása naponta $4,435\text{Ah} - (6 * 0,478\text{Ah}) = 1,567\text{Ah}$ lesz. Ezt a töltésmennyiséget a meglévő eszközökkel 2,18 óra alatt lehet visszapótolni. Így a rendszer február és október között tudna önállóan, beavatkozás nélkül működni. A téli hónapokban ugyan nem éri el a napsütéses órák száma a kellő mennyiséget, de a szórt fény és a munkapont optimalizáló algoritmus miatt a csere intervallumok meghosszabbodnak, szerencsésebb esetben el is tűnhetnek.

10 További fejlesztési lehetőségek

A megvalósított beágyazott töltőrendszer most egy prototípusként létezik. Ahhoz, hogy a terepi használatra kikerülhessen, még néhány fejlesztési lépésen át kell esnie. Ezek közül az egyik a felhasznált alkatrészek optimalizálása, számban és méretben. A felhasznált megvalósítási útmutatókban szereplő terveken néhány kapacitás több kondenzátorral volt megvalósítva. Ezek közül volt, amit már egy darab alkatrész felhasználásával építettem meg, de nem mindenhol követtem el ezt az egyszerűsítést. Második lépésben az eszköz nyomtatott áramköri tervét kell elkészíteni, és annak megfelelően kisméretű SMD alkatrészek felhasználásával megépíteni a töltőrendszert. A megfelelő tesztek követően a terepre kikerülő változatról a visszajelző LED, és a nyomógomb lekerülhet.

Szoftveres szempontból a vezérlő program kódját kell optimalizálni, ami alatt a felesleges Precharge állapot eltávolítását, kell elvégezni. Érdeemes hozzáadni a szoftverhez még két működési módot, melyek az energiatakarékos mód, és egy megfelelően kialakított hiba üzemmód.

A felsorolt fejlesztések elvégzése után az elkészült eszköz alkalmas lesz a terepi körülmények közötti felhasználásra.

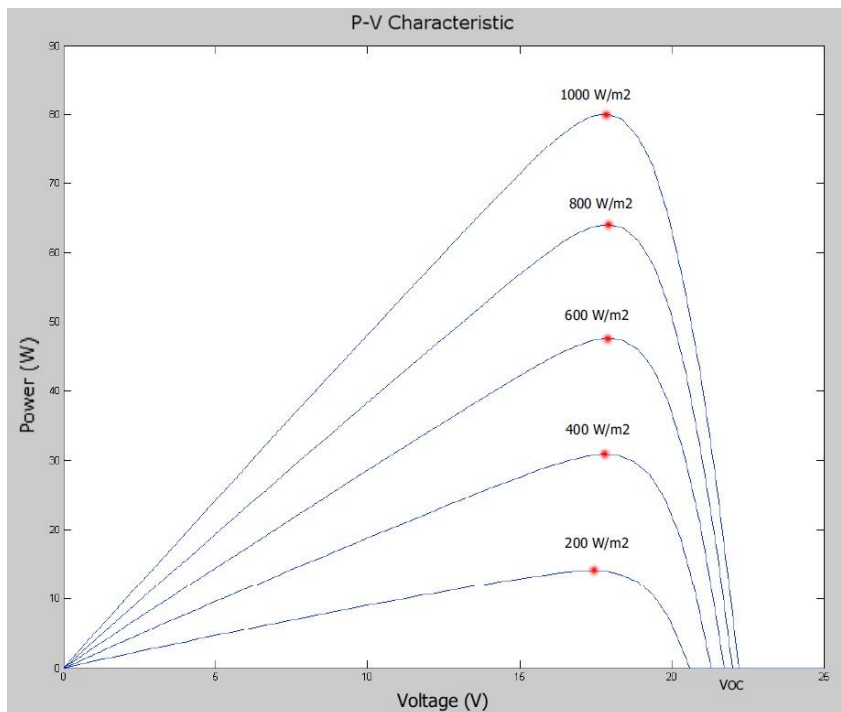
Irodalomjegyzék

- [1] Geophysics Study Committee, Geophysics Research Forum, Commission on Physical Sciences, Mathematics and Resources, National Research Council: The Earth's Electrical Environment, ISBN: 978-0-309-03680-1, 1986
- [2] Gish, O. H. (1936a). Electrical messages from the Earth, their reception and interpretation, *J. Wash. Acad. Sci.* 26 , 267-289 .
- [3] Gish, O. H. (1936b). Electrical messages from the Earth, their reception and interpretation, *Sci. Mon. N.Y.* 43 , 47-57 .
- [4] Noto H. (1932). Some Experiments on Earth Current (II). Japanese Journal of Astronomy and Geophysics, Vol. 10, p.263. Bibliographic Code: 1932JaJAG..10..263N
- [5] Fogarasi József, Petrik Lajos (2011) Elektrokémia.ppt.
<http://slideplayer.hu/slide/1885705/>
- [6] Bánhidi O. Korrozio_2.pdf. http://web.uni-miskolc.hu/home/web/wwwkoh/www/hun/kemiai_int/kollegak/o_banhidi/korrozio_2.pdf
- [7] Mihenna R. H., Sergiu O. Microchip Technology Inc. AN1467 High-Power CC/CV Battery Charger Using an Inverse SEPIC (Zeta) Topology ISBN: 9781620766088
- [8] Mihenna R. H., Sergiu O. Microchip Technology Inc. AN1521 Practical Guide to Implementing Solar Panel MPPT Algorithms ISBN: 9781620772164
- [9] Scherer B. Rendszertervezés óravázlat 2014
<http://www.mit.bme.hu/oktatas/targyak/vimim238/jegyzet>
- [10] <http://www.microchip.com/wwwAppNotes/AppNotes.aspx?appnote=en559781>
- [11] <http://www.okosolart.com/index.php?site=napkollektor/napsugarzas>

Függelék

VOLTAGE	≈ CHARGE STATE	
>12.6	100	Note that these voltages are approximate and are influenced by temperature etc. Batteries just taken off charge will have a significantly higher voltage until the 'surface charge decays over 30mins or so.
12.5	90	
12.4	80	
12.3	70	
12.2	60	
12.1	50	
11.9	40	Repeated discharge to these levels will shorten battery life
11.8	30	
11.6	20	
11.3	10	Permanent Damage will occur
10.5	0	

1. ábra: Savas ólomakkumulátor töltöttségi szintjei



2. ábra: Napelem teljesítmény-feszültség karakterisztikája