

Óbudai Egyetem
Kandó Kálmán Villamosmérnöki Kar
Műszertechnikai és Automatizálási Intézet



TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI DOLGOZAT

NAPELEMES TELEFONTÖLTŐ

Szerző: **Németh Dóra**
villamosmérnök szak, III. évfolyam

Konzulens: **Molnár Zsolt**
főiskolai tanársegéd

Budapest, 2012.

Tartalom

Tartalom.....	2
I. Bevezetés	4
II. Megújuló energiaforrások.....	5
1. Megújuló energiaforrások áttekintése.....	5
Szélenergia.....	5
Vízenergia.....	5
Biomassza	5
Geotermikus energia.....	6
Napenergia	6
Napelem rövid története	6
2. Napelemek fajtái.....	8
Monokristályos szilícium alapú napelemek.....	8
Polikristályos szilícium alapú napelemek.....	8
Amorf szilícium alapú napelemek.....	9
Kadmium-tellurid alapú napelem.....	9
Gallium-arzenid alapú napelem	9
CIGS napelemek	10
Foto-elektrokémiai napelemek.....	10
3. A napelemek alkalmazhatósága	10
A Magyarországra ható napsugárzás jellemzése.....	10
Kis- és mikroteljesítményű napelemes alkalmazások.....	11
III. Akkumulátor típusok	12
1. Az akkumulátor gyártási technológiák áttekintése.....	12
Nikkel- Kadmium (NiCd) akkumulátor	12
Nikkel-metál-hidrid (NiMH) akkumulátor	12
Ólmos-savas (lead-acid) akkumulátor.....	12
Zselés ólomakkumulátor.....	12
Lítium ion (Li-ion) akkumulátor.....	13
Lítium polimer (Li-polymer) akkumulátor.....	13
2. A piacon található napelemes akkumulátortöltők jellemzése	13
IV. A készülék tervezésének leírása	15

1. Rendszerterv	15
2. Célzott alkatrészválasztás	16
Akkumulátor	16
Napelem.....	17
Feszültség átalakító	18
Akkumulátortöltő áramkör	19
3. Megvalósítás	21
Az 5 V-os feszültség átalakító méretezése	21
Az akkumulátortöltő áramkör méretezése (LTC3105).....	22
Az akkumulátortöltő áramkör méretezése (SPV1040).....	23
Töltőforrás-választó áramkör megtervezése	25
Akkumulátor feltöltöttség-figyelés	26
A teljes kapcsolási rajz	29
Mikrovezérlő alkalmazásával kiváltható áramköri részek	30
4. Nyomtatott áramkör tervezésének szempontjai	32
5. Beültetés, bemérés	33
Beültetés	33
A napelem karakterisztikájának felvétele	33
Step up konverter bemérése és hatásfokának vizsgálata	36
A komparátor és feszültség referencia bemérése	38
A töltőáramkör bemérése.....	38
Összefoglalás	39
Summary	40
Irodalomjegyzék.....	41

I. Bevezetés

Az embereknek a civilizáció fenntartásához energiára van szüksége. Ezt kétféleképpen állíthatja elő: megújuló energiaforrásokból és nem megújuló energiaforrásokból. A modernizáció miatt egyre nagyobb mennyiségű energiát fogyasztunk, így a megújuló energiaforrások előtérbe kerülnek. A megújuló energiaforrások olyan tartós energiahordozók, amelyek folyamatosan, rövid időn belül újratermelődnek, tehát kimeríthetetlenek. A megújuló energiaforrások azért jelentősek, mert összhangban vannak a fenntartható fejlődés alapelveivel, így alkalmazásuk nem rombolja a környezetet, valamint nem is fogják vissza az emberiség fejlődési lehetőségeit. Ide tartozik a napenergia, a szélenergia, a vízenergia, a geotermikus energia, és a különböző formában megjelenő biomassa.

A megújuló energiaforrások felhasználása korunk egyik legjelentősebb kérdése, fontos a kiaknázáshoz szükséges technológia folyamatos fejlesztése, és a minél szélesebb körű felhasználás. Dolgozatom témájaként azért választottam a napelemes telefontöltő megtervezését és megvalósítását, mert ezzel hozzájárulhatok a megújuló energiában rejlő lehetőségek kiaknázásához, amit összeköthetek egy, a mindennapi életben használatos készülék kialakításával. Kiemelkedő jelentőségűnek tartom azt, hogy a dolgozat témájaként szolgáló napelemek terén elmélyíthettem ismereteimet, mert felhasználásuk napról napra növekszik az élet minden területén. A dolgozat segítségével az elméleti tudás mellett gyakorlati tapasztalatokra is szert tehettem.

Kezdetekben az emberiség energiaigényeinek jelentős részét a megújuló energiaforrások segítségével elégítette ki (pl.: szélmalom, vízimalom), azonban az ipari forradalom – mint sok más dologban – itt is változást hozott. A mai modern gondolkodás és a globális energiaválság újra életre keltette ezt a megoldást. A megújuló energia három fontos területen váltja le a hagyományos energiát, ezek az áramtermelés (távvezeték hálózatba betápláló (on-grid), hálózaton kívüli (off-grid)), a fűtés, és az üzemanyag.

II. Megújuló energiaforrások

1. Megújuló energiaforrások áttekintése

A nem megújuló energiaforrások használatával szemben előnyük, hogy nem okoznak olyan halmozódó káros hatásokat, mint az üvegházhatás, levegőszennyezés, vízszennyezés, valamint lehetőséget ad arra is, hogy az ember saját felhasználásra előállítsa villamos energiájának, üzemanyagának és használati meleg vizének nagy részét. A következőkben ezen energiaforrások áttekintése következik.

Szélerőenergia

Európában rohamosan nő a szél energiájának felhasználása. A kitermelés során a szélturbina lapátjainak forgási energiáját alakítjuk át villamos energiává. Ma már a szélturbinák ipari méretűek és a nagy áramtermelők szélfarmjaikon nagy csoportokban használják fel, de nem ritka az egyedi alkalmazás sem. Az ilyen módon megtermelt villamos energia mennyisége gyorsan nő, azonban előállításának módja még mindig költségesnek számít.



1. ábra Szélerőmű

Vízenergia

A víz energiáját a vízerőmű segítségével hasznosítjuk, a tavak, tengerek, folyók mechanikai energiakészletét alakítja villamos energiává. Az energia növelése érdekében a vízoszlop magasságát duzzasztással megemelik, a vízerőtelepen a turbinákra ejtik, amelyek generátort hajtva termelnek villamos áramot. A vízerőmű környezeti hatásai miatt a kis esésű folyókon létesített erőművek esetében mérlegelni kell a hozott haszon és a környezetkárosítás hatásait, és csak igen gondos környezeti tanulmányok után létesíthetők.

A tengerek és óceánok energiájának hasznosítása a tengeráramlásokon keresztül történik. Ezek az erőművek az erős tengeráramlatok kinetikus energiáját használják ki. Egyelőre ezek létesítése még csak kísérleti fázisban van.

Biomassza

„Biomassza: a mezőgazdaságból - a növényi és állati eredetű anyagokat is beleértve, erdőgazdálkodásból és a kapcsolódó iparágakból, többek között a halászatból és az akvakultúrából - származó, biológiai eredetű termékek, hulladékok és

maradékanyagok biológiailag lebontható része, valamint az ipari és települési hulladék biológiailag lebontható része.”¹

A biomassa hidrogén, szén és oxigén alapú. Felhasználásuk szerint lehet: tüzelhető, elgázosítható, és gépjármű üzemanyagként hasznosítható biomassa.

A biomasszák azért jelentősek, mert a fosszilis energiahordozók helyett alkalmazhatóak, így bányászott energiahordozók takaríthatóak meg, mint például a kőszén, a földgáz vagy a kőolaj.

Geotermikus energia

Ez az energiaforrás a Föld belső hőjéből származik. A Föld magja felé haladva 30°C-kal emelkedik a hőmérséklet kilométerenként. A geotermikus energia korlátlan és folytonos energiaforrást jelent, kitermelése viszonylag olcsó, és még környezetszennyezést sem okoz. A geotermikus energiát főként fűtésre használják.

Napenergia

A nap energiáját az emberiség már ősidők óta hasznosítja. Ez az energia hő és fény formájában éri el Földünket. A napenergia a Napban lejátszódó magfúziós folyamatok során keletkező energia. Használata történhet fényelektromosság generálásával vagy a hőenergia felhasználásával. A napenergia használata történhet aktív módon, például naperómű vagy napelem segítségével, illetve passzív módon, ide sorolható az épületek tájolása segítségével elért hőmegtakarítás.

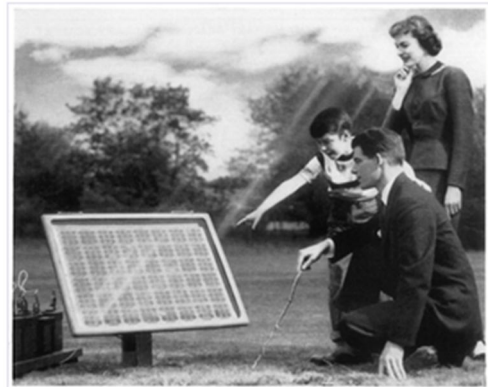
- A napenergia passzív hasznosításával az épületek hőháztartása optimalizálható többféle eszköz felhasználásával. Ezek közül is kiemelhetjük a tájolást, a határoló felületek energiatudatos formálását valamint réteges falszerkezetek kialakítását. Az így kivitelezett épületek jelentős fűtési energia megtakarítást tesznek lehetővé a hagyományos épületekhez képest.
- A napenergia aktív hasznosítása az erre a célra készített eszköz (kollektor, napelem) segítségével történik. A napsugárzás energiáját átalakítjuk hővé vagy villamos energiává. A napenergia aktív hasznosítása alapvetően fototermikus vagy fotovillamos módon mehet végbe.

Napelem rövid története

Az 1860-as években Willoughby Smith a Trans-Atlantic Telegraph egykori elektromos munkatársa a kristályos szelénrel folytatott véletlen kísérlet során fedezte fel azt, hogy a fény hatására elektromos áram kezd folyni a szelénben. Kísérleteit William Grylls Adams folytatta és kimondta, hogy ez a jelenség a fotoelektromosság. 1855-ben az első igazi napelemet Charles Fritts készítette New York-ban, ami már folyamatosan tudott áramot termelni. Ezt úgy érte el, hogy egy táblán szelénréteget vékony és félig átlátszó aranyfilmmel vont be. A jelenséggel több híres tudós is foglalkozott, többek között Albert Einstein is, aki a fotonokról készített kutatásokat. Ekkor még nem kezdődött el a napelem tömeges gyártása, mivel az akkori kutatások és alapanyagok rendkívül drágák voltak és tudni vélték azt is, hogy az általuk termelt áram sosem hozza be az előállítási költségeket. Így csak az 1950-es években indult

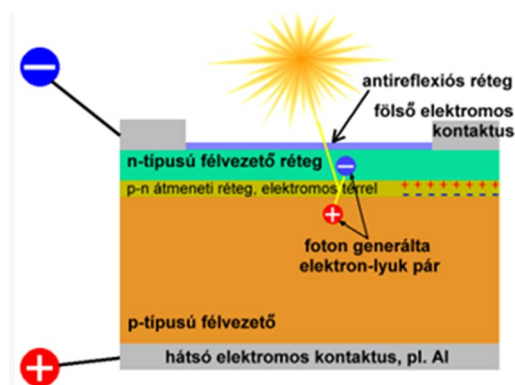
¹ Idézet a 2010. évi CXVII. törvény a megújuló energia közlekedési célú felhasználásának előmozdításáról és a közlekedésben felhasznált energia üvegházhatású gáz kibocsátásának csökkentéséről című jogszabály 1. § (3) bekezdéséből

igazán útjára a fejlesztés. Chapin kísérletei során ráébredt arra, hogyha a szilíciumot matt műanyaggal vonja be, akkor nem tükrözi vissza a napfényt és még jobban növeli ezzel a hatásfokot. Csatlakozott hozzá a kémikus Fuller is, aki gyorsan rájött, hogyha a szilíciumot arzénal és bórral kezeli, tovább csökkentheti a fényvisszaverődést. A tesztelesek eredményesnek mutatkoztak, ezért a Bell Laboratories cég bemutatta a terméket a washingtoni Nemzeti Akadémiának is. A megoldás osztatlan sikert aratott és elkezdődött a napelemek felhasználásának rögzös útja. A New York Times első oldalon számolt be az eredményről, és még ott is egy új korszak kezdetéről írtak.



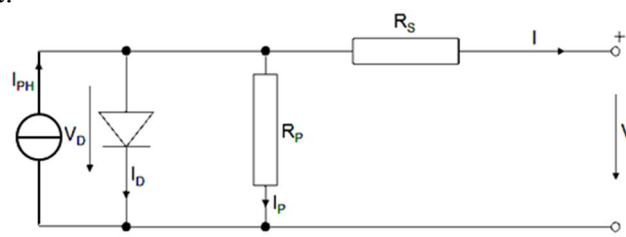
2. ábra Korai napelemes kísérlet

A napelem által előállított elektromos áram úgy jön létre, hogy az energiaátalakítás során a sugárzás az elnyelődéskor mozgásképes töltött részecskéket állít elő. Ezeket a részecskéket az eszközben az elektrokémiai potenciálok, valamint az elektron kilépési munkák különbözőségéből létrejövő elektromos tér rendezett mozgásra kényszeríti. A p-n átmenetes napelem lényegében egy dióda, amelyet úgy alakítottak ki,



3. ábra A napelem szerkezeti felépítése

rekombinálódás révén az energia hővé alakul, a diffúziós mozgás során pedig elkerülnek egymás közeléből. A diffúzió során az elektromos tér módosítja a mozgást, töltésszétválasztó hatása van. Ennek következtében mérhető elektromos feszültség jön létre a napelem alsó és felső elektródái között, ami elektromos áramot is eredményezhet.



4. ábra Napelem áramköri modellje [1]

A napelem megvilágított állapot-béli helyettesítő képét a 4. ábra mutatja. A modellből jól látható, hogy a napelem áramgenerátorként működik, üresjárási kimeneti feszültsége egyenlő a dióda nyitófeszültségével, és mivel R_s értéke kicsi, ezért rövidzáráskor majdnem a teljes I_{PH} áram rajta folyik.

2. Napelemek fajtái

A napelemek a gyártási technológia szerint a következő csoportokba oszthatóak:

- Monokristályos szilícium alapú napelemek
- Polikristályos szilícium alapú napelemek
- Amorf szilícium alapú napelemek
- Kadmium-tellurid napelemek
- Gallium-arzenid napelemek
- CIGS napelemek
- Foto-elektrokémiai napelemek

A napelemek legtöbb fajtájának alapanyagául azért választották a szilíciumot, mert a földkéregben majdnem a leggyakrabban előforduló elem (az oxigén után), olcsó és jó technológiai háttér áll mellette.

Monokristályos szilícium alapú napelemek

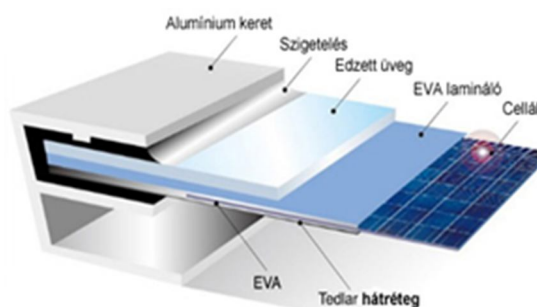


5. ábra A monokristályos napelem

A monokristályos napelem a mai technológia állása szerint a legnagyobb hatásfokkal rendelkező napelem, hatásfoka 15-17% között van. Legfőbb hátránya, hogy a szórt napfényt kevésbé hasznosítja, közvetlen napfényre van szüksége. A legkifinomultabb gyártási technológiával jellemezhető. A napelem előállítói 25 év garanciát adnak rá, amely igen kedvező a 35-40 éves élettartamát tekintve. Két főbb fajtáját különíthetjük el: a teljes cellás és a tört cellás napelemet. A kettő között a teljes cellás a jobb minőségű és hosszabb élettartammal is rendelkezik. Ahhoz képest, hogy a monokristályos napelem már évek óta jelen van mindennapjainkban, gyártási költségei még mindig magasak.

Polikristályos szilícium alapú napelemek

A multikristályos szerkezet akkor jön létre, ha az olvadt szilícium lehűtve egy durva szemcsés szerkezetbe kikristályosodik. A kristályok mérete a milliméterestől a centiméteresig terjed. A polikristályos napelem cellás tagolású, kékes árnyalatú kristályokból épül fel. Hatásfoka 13-14 %, tehát egyértelműen



6. ábra A polikristályos napelem

kijelenthetjük, hogy nincs olyan jó hatásfokuk, mint a monokristályos napelemnek. Ebből adódóan áruk is alacsonyabb. A cellákat egy magas fényáteresztésű biztonsági üveglappal fedik le, mindezt egy stabil alumínium keret veszi körül. Ezek a cellák kiválóan ellenállnak a környezeti hatásoknak. A monokristályos típushoz képest nagyobb felületre van szükség ugyanakkora teljesítmény eléréséhez. A gyártók előnyben részesítik ezt a technológiát, mivel kereslete folyamatosan növekszik.

Amorf szilícium alapú napelemek

Vékonyréteg technológiával állítják elő, ez olcsóbb előállítás eredményez, de sajnos ezzel a napelemek hatásfoka is 4-6 %-ra romlik. Az amorf napelem egyszerűsége



7. ábra Az amorf szilícium alapú napelem

megmutatkozik előállításában is, és abban is, hogy nincs szükség egy drága félvezető anyag alkalmazására sem. Előállítása olcsóbb, mint a polikristályos vagy monokristályos napelemé. A közvetlen napfény mellett ez a típus a szórt fényt is remekül hasznosítja, és kis napfénynél is remekül funkcionál. Kereskedelmi árának köszönhetően továbbra is nagy népszerűségnek örvend, élettartama 10-15 év. Sokkal sérülékenyebb, mint a korábban említett típusok, mert a hordozó réteg nagy része üvegből készült.

Kadmium-tellurid alapú napelem

Napelem készítésre kadmium-tellurid filmet is felhasználnak, azonban toxikus hatása miatt ez veszélyes is lehet. Az utóbbi években a szilícium versenytársa lett. A kadmium egy nagyon ritka anyag, a cink-, ólom- és ónércben található meg. Ehhez hasonlóan ritka anyag a tellúr, ami az ezüst- és az aranyércben található meg. A kadmium-tellurid amorf és kristályos formában egyaránt előállítható, továbbá n- és p-típusú anyag is képezhető belőle. Hatásfoka a 16 %-ot is elérheti, azonban az ipari méretű cellák e jellemzője mindössze 10 %-os.

Gallium-arszenid alapú napelem

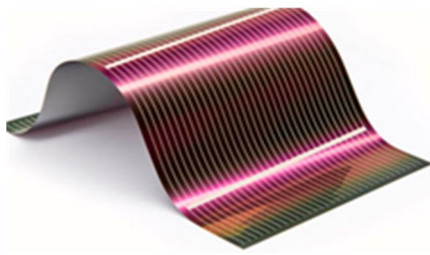
A vegyület számos szempontból a szilíciumnál előnyösebb tulajdonságokkal rendelkezik, magas fényabszorpcióssága miatt napelem készítésére is alkalmas. Magas hőmérsékleten a GaAs napelemek hatásfoka nem csökken, a szilícium napelemekkel ellentétben. A GaAs alapanyagok ritkasága miatt a napelem előállítása is sokkal költségesebb, és még a gyártási technológiája sem elég kiforrott. Az űrkutatási projekteknél, ahol nagy szerep jut a napenergiának, a magas hatékonyságú napcellák is ebből az anyagból készülnek. Egy egységnyi felületen az átlagosnál több p-n átmenettel rendelkeznek, emiatt a napfény adott részét maximális hatékonysággal képes befogadni.



8. ábra A GaAs alapú napelem

CIGS napelemek

A napelem nevét összetevőiről kapta, amelyek a réz, az indium, a gallium, és a szelén. A vékonyrétegű technológiának ez a legújabb vívmánya, tömeggyártása az elmúlt években kezdődött meg. Hatásfoka 9-12 %-os, számos cég kezdett fejlesztésébe, azonban olcsó gyártási módszert még nem sikerült találni. Nagy újdonságnak számít, hogy a roll-to-roll technológia segítségével a vékony réteg napelemek már akár flexibilis hordozókon, vagy akár könnyű tekercseken is előállíthatóak. Ezáltal a felhasználási módok is kiszélesednek.



9. ábra Flexibilis vékonyréteg napelem

Foto-elektrokémiai napelemek

A gyártási technológiát a Svájci Technológiai Kutatóintézet dolgozta ki, olcsó és nagyteljesítményű napelemek előállítására képes. A kutatók 10 %-os hatásfokot mértek. Az elemek két vékony üveglapból állnak, amelyet vékony elektromosan vezető ón-oxid réteggel vonnak be. Az első lapra egy vékony titánium-dioxid réteget visznek fel, ami érdekessé teszi a felszínt, ezáltal a fényabszorpciós képesség növekszik, majd egy fényérzékeny festékréteggel vonják be. A félvezető titánium-dioxid réteg és a másik üveglap között vékony jód alapú elektrolit réteg van.

3. A napelemek alkalmazhatósága

A Magyarországra ható napsugárzás jellemzése

Az olyan rendszerek tervezésekor, amelyek a Nap energiáját hasznosítják, nagyon fontos a helyszín napsugárzás-jövedelem elemzése. A Föld országainak napsugárzás-jövedelem adatait tekintve hazánk a közepes adottságú országok közé sorolható. Az OMSZ a vízszintes felületre ható diffúz és globális sugárzást méri, valamint a napsugarakra merőlegesen ható direkt sugárzást. A legújabb, műholdas mérések alapján elkészült térképekből kirajzolódik, hogy a déli országrészek naposabbak, az északi részekeken pedig valamivel csekélyebb a napsugárzás szintje. Ugyanakkor fontos kijelenteni, hogy ebből a szempontból Magyarországon mindössze 8 % a különbség a legkedvezőbb és legkedvezőtlenebb adottságú földrajzi helyek között. Egyértelműen kijelenthetjük, hogy az ország egész területe alkalmas a napenergiát hasznosító rendszerek kiépítésére.



10. ábra Magyarországon hasznosítható napenergia fajlagos eloszlása [11]

Hazánk a napenergiát hasznosító rendszerek számának tekintetében a középmezőnybe sorolható, közepes adottságú országnak mondható. Az éves átlagos napsugárzás mértéke $\sim 3,5 \text{ kWh/m}^2/\text{nap}$, a Ráktérítő és Baktérítő közé eső legkedvezőbb adottságú országok esetén ez az érték $5-7 \text{ kWh/m}^2/\text{nap}$. Érdekességgént érdemes megemlíteni, hogy Magyarország tényleges területére körülbelül 380-szor akkora sugárzás érkezik, mint amekkora az ország tényleges energia fogyasztása.

Kis- és mikroteljesítményű napelemes alkalmazások

Napjainkban számtalan helyen használunk kis- és mikroteljesítményű napelemeket, felhasználási területük folyamatosan bővül a napelemek fejlődésével együtt. A napelemeket az élet számtalan területén alkalmazzák, amelyeket a következő csoportokra bonthatunk [2].

- Otthoni felhasználás
 - háztartási eszközök (óra, számológép, rádió, dísztárgy, stb.)
 - épületbe integrált napelemek (pl. tetőre szerelt napelem táblák)
- Energiahálózatba kötött felhasználás (nagy teljesítményű napelem mezők)
- Felhasználói elektronika
 - mobil alkalmazások
 - vezeték nélküli elosztott hálózatok
 - közlekedési alkalmazások (parkoló automaták, közúti jelzőfények)
 - orvosi alkalmazások
 - mezőgazdasági és egyéb telepített alkalmazások (hőmérséklet, csapadék, talajnedvesség mérése)
 - építőipari alkalmazások (tűzjelzők)
- Katonai és repülőtechnikai alkalmazások (telefon-, rádió-, videó-kommunikáció)

Egyértelműen megállapíthatjuk, hogy a napelemek felhasználási köre nagyon sokrétű. Folyamatosan bővül a lehetőségek tárháza, újabb és újabb ötletekkel állnak elő a kutatók, hogy az élet mely területén használják ezt az alternatív energiaforrást.

III. Akkumulátor típusok

A projekt szempontjából fontos lépés a megfelelő akkumulátor kiválasztása. A következőkben áttekintem a jelenleg piacon lévő akkumulátor típusválasztékot.

1. Az akkumulátor gyártási technológiák áttekintése

Nikkel- Kadmium (NiCd) akkumulátor

Ez a fajta viszonylag régi fejlesztésű technológiával készül, amelynek több hátránya is van, például, hogy az akkumulátor tartalmaz mérgező fémeket, ami mind a környezetünkre, mind az egészségünkre káros. Előnyei közé tartozik, hogy jól bírja a nagy hőmérséklet-ingadozást, hosszú életű és jó töltés- kisütési aránya van. Sorsukat az Európai Unió egy 2006-ban hozott rendelete végleg megpecsételte, használatuk már csak ott megengedett, ahol a helyettesítésük még nem megoldható. Kapocsfeszültsége 1,25 V körüli.



11. ábra NiCd akkumulátor

Nikkel-metál-hidrid (NiMH) akkumulátor

Ez a típus már nem tartalmaz mérgező anyagokat, több energiát szolgáltat, mint a Nikkel-kadmium típusú, viszont hátránya, hogy sokkal hamarabb öregszik. A NiMH akkumulátorok hátrányai a Lítium alapú akkumulátorok kifejlesztésében fontos szerepet játszottak. A NiMH akkumulátorokat régebben gyakran használták laptopokban és mobiltelefonokban a NiCd akkumulátorokhoz képest kedvezőbb tulajdonságai miatt (kisebb mértékű memória effektus). Feszültsége megegyezik a NiCd akkumulátorokéval.

Ólmos-savas (lead-acid) akkumulátor

A gépjárművek indításához kénsavat tartalmazó ólomakkumulátorokat alkalmaznak. Három anyag játszik aktív szerepet a működésben: az ólom, az ólomdioxid és az elektrolitként szolgáló kénsav. Az akkumulátor szerkezete már közel 100 éve változatlan. Gazdaságilag nagyon hatékony, ám nagy helyet foglal. Ez a típus továbbra sem elavult, gyakorlatilag pótolhatatlan, még sokáig marad jelentős szereplője az energiaiparnak.

Zselés ólomakkumulátor

Működését tekintve az ólmos-savas akkumulátorhoz képest annyiban változott meg, hogy az akkumulátor elektrolitját szövetbe itatják, majd feltekerik a lemezre, így a savas anyag nem tud kifolyni. A zselés akkumulátor nagyon érzékeny a túltöltésre és a töltési idő is hosszú.



12. ábra A zselés akkumulátor

Lítium ion (Li-ion) akkumulátor



13. ábra A lítium ion akkumulátor

A legdinamikusabban fejlődő technológiák közé tartozik. Élettartama hosszú, kis tömege ellenére sok energiát szolgáltat. Gyorsan újratölthető, önkisülésük is a legjobbnak mondható. Nem ez a legtokélatesebb technika, de a beépített biztonsági berendezések alkalmazásával elkerülhetjük a komolyabb gondokat (túlmelegedésből adódó robbanás, tűz). Neve onnan ered, hogy a töltés elraktározásáról a lítium ionok gondoskodnak, amelyek töltéskor a negatív szén alapú elektródához, kisütéskor pedig a pozitív fém-oxid elektródához vándorolnak.

Kapocsfeszültsége cellánként névlegesen 3,7 V, teljesen feltöltött állapotban kb. 4,2 V is lehet.

Lítium polimer (Li-polymer) akkumulátor

A Lítium-ion akkumulátorok továbbfejlesztése, hatalmas előnye, hogy folyékony elektrolitot csak kis mennyiségben tartalmaz. Emiatt a cellák vékonyra és rugalmasra válnak, mivel nem kell vastag burkolattal védekezni a folyadék kifolyása ellen. Még az is elképzelhető, hogy egy hajtogatható kis lapocska formájában ez lesz a jövő energiaforrása. Hátrányként megemlíthetjük a magas gyártási költséget, és a kisebb energiasűrűséget.



14. ábra A lítium-polimer akkumulátor

Mindezek alapján összegzésként elmondható, hogy a jelenlegi feladathoz a legjobb megoldás a Lítium-ion vagy Lítium polimer akkumulátorok adják.

2. A piacon található napelemes akkumulátortöltők jellemzése

Manapság egyre bővülő kínálattal rendelkezik a piac a napelemes töltők területén. Legtöbb esetben a termékek teljesítménye és ára szoros összefüggésben vannak.



15. ábra Példa a piacon elérhető készülékekre

Természetesen az ár befolyásolja a termék minősége és főként a gyártója is. Vizsgálatom tárgya a napelemes telefontöltőkre terjed ki, melyek 5 V-os kimeneti feszültséget biztosítanak. A kutatás során felmértem, hogy az egyes készülékek milyen speciális paraméterekkel

rendelkeznek. A felmérés legfőbb célja az adatgyűjtés, mely által a saját fejlesztésű napelemes telefontöltőm összevethető a sorozatgyártásban készült, már piacon megjelent termékekkel. A piacra kisebb és nagyobb vállalatok egyaránt

megpróbálnak betörni ennek ellenére a fogyasztói árak összességében magasak. Kivételként például megemlíthetjük a kínai gyártású SA-010-es készüléket, amely 1100 mAh-s teljesítményével és 3162 Ft-os árával kedvezőnek mondható.

A következő táblázatban láthatjuk a jelenleg (2012.10.) kapható készülékek összehasonlítását a teljesség igénye nélkül.

Típus	Méret	Kim. fesz.	Max áram- erősség	Kapacitás	Ár
SA-010	9,8x4,6x0,9 cm	5,5 V	750 mA	1100 mAh	3162 Ft
A-Solar Onyx	10,5x5x1 cm	5,5 V	1000 mA	500 mAh	6457 Ft
SA-011	11,5x6x1,6 cm	5 V	1000 mA	3500 mAh	7607 Ft
SC-PC-1005	10,5x4,5x1,2 cm	5 V	300 mA	800 mAh	7900 Ft
AM-109	10x5x1 cm	5 V	500 mA	1000 mAh	8990 Ft
SC-FL-8010	12,3x6,2x1,7 cm	5 V	500 mA	1200 mAh	15900 Ft
AM-1010	13x7x2 cm	5 V	1000 mA	1800 mAh	19900 Ft
SOLIO Bolt	9x9x2,5 cm	5 V	450 mA	2000 mAh	20000 Ft
AMP SOLAR	16,5x14x5x4 cm	5 V	900 mA	3000 mAh	23000 Ft
SOLIO classic 2	14,7x7x3,5 cm	5 V	1000 mA	3200 mAh	23000 Ft
SC-FL-9001	15x6,3x2 cm	5 V	500 mA	1600 mAh	26900 Ft

IV. A készülék tervezésének leírása

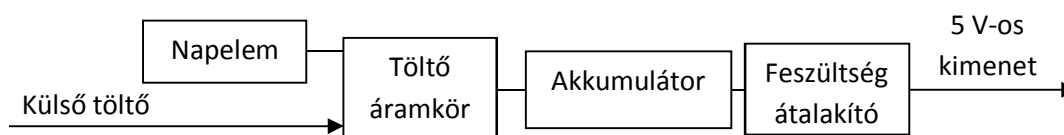
1. Rendszerterv

Egy napelemes telefontöltő létrehozásakor figyelembe kell vennünk azt a tényt, hogy a töltő energia-hatékony működéséhez napsugárzásra van szükség. Az így létrehozott rendszernek több hátránya is van, ezek közül kiemelhetjük azt az esetet, amikor napsugárzás hiányában nem tudjuk elég hatásosan a készülék akkumulátorát feltölteni, valamint a napelem lényegesen hosszabb töltési időt eredményez, mint a legelterjedtebb hálózati töltők.

Ennek az alapvető problémának a megoldása, ha napelemről és hálózatról, USB-n keresztül egyaránt tölthető a készülék. A napjainkban piacra kerülő mobiltelefonok rendelkeznek Micro-USB csatlakozóval, ezt kihasználva kompatibilissé tehető a napelemes telefontöltő több készülék gyári töltőjével is. A töltés egy időben csak egy helyről történhet, így a két forrás között egy választó áramköri részre van szükség, amely azt a forrást választja, ahol magasabb feszültségű van. A források közötti választás megoldható lenne mikrovezérlő segítségével is, de így folyamatosan energiát igénylő eszközt használnánk. Bár a mikrovezérlők általában rendelkeznek beépített sleep üzemmóddal, amely lehetővé teszi a minimális energia felvételt, azonban a választó áramkör alkalmazása ár-érték arányban gazdaságosabb.

Mivel a napelemen keresztüli töltés függ attól, hogy süt-e a Nap, a Micro USB-n való töltés pedig attól, hogy van-e hálózat a közelünkben, ezért ha akkumulátort alkalmazunk, a nap bármely pillanatában feltölthetjük a telefonunkat. Ahhoz, hogy feltöltsük az akkumulátort, egy töltő áramkörre van szükség, amely a Micro USB-n és a napelemen keresztüli töltést is lehetővé teszi. Eközben figyeli a túlmelegedést, valamint, ha csökken a bemeneti feszültség, csökkenti az akkumulátor töltőáramát. A későbbiekben alkatrészválasztásnál meg kell vizsgálni az akkumulátor névleges feszültségét, mert ez fogja eldönteni, hogy step-up vagy step-down konverterre van-e szükségünk, amely majd a feszültség növelésével vagy csökkentésével fogja előállítani a telefon töltéséhez szükséges 5 V-os feszültséget. Az akkumulátor feltöltöttségét egy LED segítségével egyszerűen kijelvezhetjük.

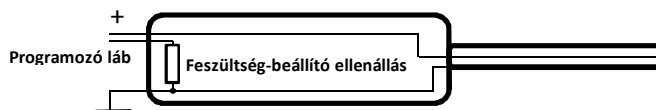
Az itt leírtak alapján az alábbi rendszertervet vázolhatjuk.



16. ábra Az akkumulátortöltő vázlatos rendszerterve

Amennyiben a készüléket nem csak telefonok töltésére akarjuk használni, illetve a telefonok közül nem csak azokat akarjuk tölteni, amelyeknek Micro-USB csatlakozójuk van, akkor szükség van egy alternatív megoldásra. Készülékenként változik a bemeneti feszültség és a csatlakozó mechanikai kialakítása. Az univerzális kialakítás érdekében programozhatóvá kell tenni a kimeneti feszültséget. Az esetek túlnyomó többségében ezt kapcsolóval oldják meg, ez azonban növeli a téves beállítás lehetőségét. Ennek elkerülése érdekében kialakítható egy olyan megoldás,

ahol a készülékfüggő csatlakozófejek tartalmazzák a feszültség beállításához szükséges programozó ellenállást. A következő ábra mutatja a lehetséges kialakítást.



17. ábra A készülékfüggő csatlakozófej lehetséges kialakítása

2. Célzott alkatrészválasztás

Az alkatrész választás sorrendje a következő lesz:

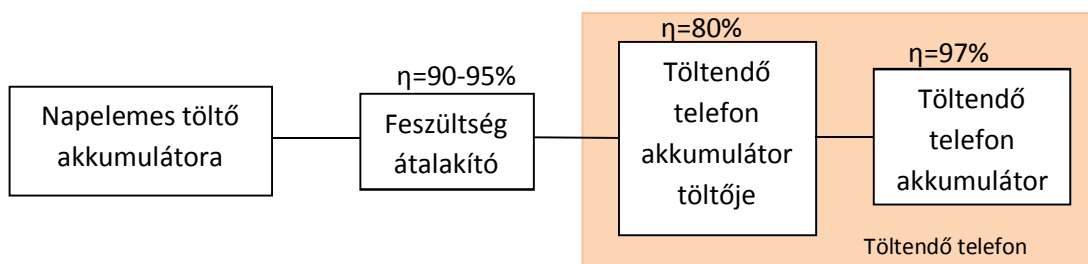
- Akkumulátor
- Napelem
- 5 V-os feszültség átalakító
- Akkumulátortöltő
- Egyéb áramkörök

Első lépés az akkumulátor kiválasztása, mivel ez és a napelem adják a következő áramkörök kiválasztásához a be- és kimeneti paraméterek egy részét. A napelem méretéhez képest az elektronika mérete várhatóan elhanyagolható lesz, így ez fogja meghatározni a készülék méreteit, amely a hordozhatóság szempontjából fontos. Az akkumulátortöltő és a kimeneti 5 V-ot előállító áramkör kiválasztása, méretezése nem fog gondot okozni a félvezetőgyártók nagy száma és az alkatrészek bőséges kínálata miatt.

Akkumulátor

A számunkra megfelelő akkumulátor kiválasztásának fő szempontja, hogy biztosítani tudja a napjainkban elterjedt mobiltelefonok feltöltéséhez szükséges kapacitást. Figyelembe kell venni a hatásfokot is, amely magába foglalja a töltőben lévő feszültség-átalakító, a telefon akkumulátortöltő és a telefon belső akkumulátora hatásfokát is.

A mai telefonok akkumulátorainak kapacitása 1000-1500 mAh tartományába esik. A telefon akkumulátorának hatásfoka 97-99% [3], a telefon akkumulátor töltőjének hatásfoka nem ismert, a mai korszerű akkumulátortöltők adatait alapul véve következtethetünk arra, hogy értéke eléri vagy meghaladja a 80%-ot. A feszültség átalakítók közül számos lehetőségünk van arra, hogy a számunkra megfelelő 90% feletti hatásfokot biztosítsa.



18. ábra Vázlat a rendszer hatásfokának számításához

A napelemes töltő beépített akkumulátorának kapacitása az alábbi képlet alapján számítható:

$$C_{nap_akku} = \frac{1}{0,9} \cdot \frac{1}{0,8} \cdot \frac{1}{0,97} \cdot C_{tel_akku}$$

$$C_{nap_akku} = \frac{1}{0,9} \cdot \frac{1}{0,8} \cdot \frac{1}{0,97} \cdot 1500 \text{ mAh} = 2148 \text{ mAh}$$

Ha a fentiekben leírt maximálisan 1500 mAh kapacitású akkumulátort szeretnénk teljesen feltölteni, akkor legalább 2148 mAh kapacitású akkumulátor szükséges a töltőbe.

A következő táblázatban összegeztem az országban elérhető, a szükséges kapacitást megközelítő kapacitású Li-Ion és Li-Po akkumulátorokat.

Típus	Névleges feszültség	Kapacitás	Méret	Technológia	Ár (Bruttó)
LP103454	3,7 V	2000 mAh	56x35x10 mm	Li-Po	2438 Ft
TR-151	3,7 V	2100 mAh	57x35x9 mm	Li-Po	3747 Ft
MLP674361	3,7 V	2000 mAh	63x44x6 mm	Li-Po	3070 Ft
H2B178	3,7 V	1950 mAh	53x35x12 mm	Li-Ion	8506 Ft
H2B296	3,7 V	2300 mAh	66x20x19 mm	Li-Ion	3970 Ft
Pa-L2	3,7 V	1950 mAh	56x35x11 mm	Li-Ion	9555 Ft

Ahogy az a táblázatban is látszik, az egyes akkumulátor típusok között nincs jelentős méretbeli különbség, a névleges feszültségük pedig teljesen azonos. Kapacitás szempontjából a felsoroltak mindegyike megfelelő a célunknak, de a beszerezhetőséget és az árat is figyelembe véve az LP103454 típusú akkumulátorra esett a választás.

Napelem

A kisméretű, ugyanakkor megfelelő teljesítményű és áru napelemekből szűk a kínálat. A választáshoz elsőként az 1 W körüli teljesítményű, könnyen beszerezhető napelemek feltérképezése történt meg, amely alapján az alábbi táblázat készült.

Típus	Méret [mm]	$U_{ü}^2$ [V]	I_{rz}^3 [A]	U_{MP}^4 [V]	I_{MP}^5 [A]	Ár [Ft]	P [W]
MC-SP0.8-NF-GCS	100 x140	4,80	0,23	3,85	0,21	1698	0,8
Parallax 9V@1W	135 x 35	11	0,24	9	0,11	3150	1
Parallax 6V@1W	125 x 63	n.a.	n.a.	6	0,17	3150	1
Conrad polikristályos napelem modul 3 V	120 x 62	3,3	0,28	3	0,25	3990	0,75
Conrad polikristályos napelem modul 4 V	120 x 82	4,4	0,28	4	0,25	4490	1

² Üresjárási feszültség

³ Rövidzárási áram

⁴ Maximális teljesítményű pont feszültsége

⁵ Maximális teljesítményű pont árama

A napelem választásnál fontos szempont, hogy akkora legyen a napelem mérete, hogy azzal a készülék még könnyen hordozható maradjon. A táblázatban megvizsgált kb. 80..180 cm² felületű napelemeknél a leadott teljesítmény közel azonos, 1 W körüli. Az adott teljesítményű napelemmel való akkumulátor töltés esetén:

$$t = \frac{\frac{1}{\eta} \cdot C \cdot U_N}{P_{napelem}}$$

ahol η az akkumulátor töltésének hatásfoka, C az akkumulátor kapacitása, U_N az akkumulátor névleges feszültsége, $P_{napelem}$ pedig a napelem teljesítménye. Behelyettesítve a választott akkumulátor kapacitását, névleges feszültségét és töltésének hatásfokát, valamint 1 W-os napelemmel számolva:

$$t = \frac{\frac{1}{0,97} \cdot 2000 \text{ mAh} \cdot 4,2 \text{ V}}{1 \text{ W}} = 8,66 \text{ h}$$

alatt tölti fel az akkumulátort. Kompromisszumot kötve az ár tekintetében, és figyelembe véve, hogy ez egy demonstrációs célú példány, megfelel a követelményeknek: egy átlagos nap alatt tavasztól őszig lehet ennyi napos órára számítani.

Itt még végleges döntést nem lehet hozni, hiszen a döntést befolyásolja a töltő áramkör kiválasztása. Bár ára és egyéb paraméterek szerint is a táblázat első sorában található típus (MC-SP0.8-NF-GCS) tűnik megfelelőnek.

Feszültség átalakító

Az akkumulátor kimeneti feszültségéből állítja elő a mobiltelefon töltéséhez szükséges 5 V-ot. Kiválasztásakor figyelembe kell venni a bemeneti feszültségtartományt, a kimeneti áramot, a működéséhez szükséges kiegészítő alkatrészek számát és az általuk elfoglalt hely méretét, illetve a hatásfokot. Ezeken kívül még fontos szerepet játszik a konverter ára, beszerezhetősége és – mivel kézi forrasztással fog történni a beültetés – a tokozása. Ez utóbbi azért fontos, mert gyakran találkozhatunk olyan típusokkal, amelyek kivezetése a tokozás alján helyezkedik el, ezért kézzel nem forraszthatóak.

Az akkumulátorról levehető feszültség 2,75...4,2 V, előbbi érték az akkumulátor cella kisütési küszöbfeszültsége, utóbbi pedig a teljes feltöltöttség esetén mérhető érték. A kimeneti áramot úgy kell megválasztani, hogy a töltendő telefon áramigényét kielégítse. A mai telefonok jelentős része 500 mA alatti áramigénnyel rendelkezik, mindez onnan feltételezhető, hogy USB portról is tölthetők és egy USB port legfeljebb ekkora árammal terhelhető [4]. Ha kevesebb külső alkatrészt tartalmaz az áramkör, kisebb a meghibásodás valószínűsége. Ebben az esetben kisebb nyomtatott áramköri felületet igényel az áramkör kialakítása, így az ára is kedvezőbb. A magas hatásfok azért fontos, mert így a töltő akkumulátorában tárolt energiának nagyobb része fordítható a telefon feltöltésére.

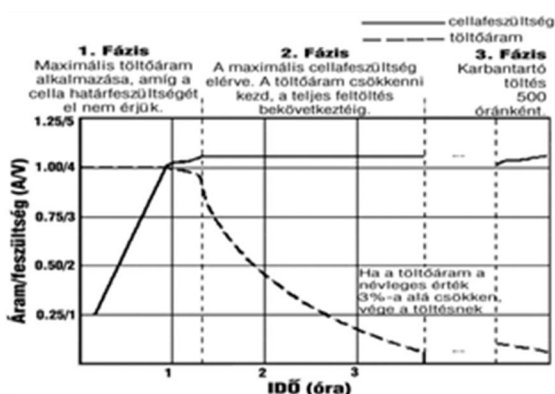
Az alábbi táblázatban összegyűjtöttem azokat a feszültség konvertereket, amelyek bemeneti feszültség tartomány, kimeneti áram és hatásfok alapján szóba jöhetnek.

Típus	Bemeneti feszültség [V]	Kimeneti áram [A]	η [%]	Külső alkatrészek száma [db]	Tokozás	Ár [\$]
LTC3122	1,8...5,5	1	95	11	MSOP DFM	2,39
LTC3423	0,5...5,5	0,5	95	10	MSOP	2,6
LTC3426	1,6...5,5	0,8	90	6	SOT-23	1,8
LM2700	2,2...12	1	90	8	TSSOP LLP	1,55
LMR62421	2,7...5,5	0,5	90	8	SOT-23 LLP	0,75
LM3224	2,7...7	1	93	9	MSOP	1,1
MAX8815	1,2...5,5	1	97	7	TDFN	1,65
MAX1760	0,7...5,5	0,8	94	8	μ MAX TDFN	2,55

Itt már csak azok a típusok szerepelnek, amelyek képesek az akkumulátor által szolgáltatott teljes feszültségtartományban működni, legalább 500 mA áramot tudnak leadni, és hatásfokuk legalább 90 %. A választási folyamat első körében a hatásfokot vettem figyelembe, a 90 % alatti hatásfokúak már kevésnek bizonyultak (lásd feljebb az akkumulátor választás leírásánál). A következő választási szempont a kimeneti áram értéke olt, hogy maradjon tartalék a kívánt 500 mA-es kimeneti áramhoz képest, ezért a 700 mA felettieket preferáltam. A kézi beforraszthatóságot és a külső alkatrészek számát figyelembe véve 2 típus maradt: LM3224 és MAX1760. Hatásfokot és az alkatrészek számát tekintve a MAX1760 feszültség átalakítóra esett a választás.

Akkumulátortöltő áramkör

A töltő áramkör feladata a napelem vagy az USB csatlakozás felől érkező energia segítségével feltölteni a beépített lítium ion akkumulátort. A két energiaforrás közül egy később ismertetésre kerülő áramkör segítségével fogunk választani. Választásnál figyelembe kell venni, hogy a mi akkumulátorunknak milyen paraméterei vannak



19. ábra A lítium-ion akkumulátor töltési karakterisztikája

hőmérsékletét és abban az esetben, ha túlmelegszik, akkor csökkenti vagy le szabályozza a töltő áramot. A napelemes üzemre tekintettel csak olyan típusok

(maximális töltőáram, töltési feszültség). A fentiekben már kiválasztott akkumulátor esetén a töltőáram maximuma 1900 mA (ajánlott a $0,5 \cdot C$, azaz $2000 \text{ mA} \cdot 0,5 = 1000 \text{ mA}$). A maximális feszültség a teljes feltöltöttség esetén 4,2 V. A mai korszerű akkumulátortöltő áramkörök a lítium-ion akkumulátorok által igényelt, a 19. ábra által ábrázolt töltési karakterisztikát maradéktalanul képesek megvalósítani. Optimális esetben az akkumulátortöltő figyeli az akkumulátor

jöhetnek szóba, amelyek valamilyen módon figyelik a bemeneti feszültséget, és annak túlzott leesése esetén csökkentik a töltő áramot. Az alábbi listába ezért már csak ezek kerültek bele.

Integrált áramkör	U_{be} [V]	Töltőáram [A]	MPPT	Tokozás	η [%]	Műk. frekv. [kHz]	Ár [\$]
BQ24650	5-28	külső alkatrészektől függ ⁶	Van	QFN-16	83	600	2,30
LT3652	4,95-32	max. 2	Van	DFN12 MSOP12	80	1000	3,05
LTC3105	0,23-5	0,4	Van	TSSOP12	90	30	3,05
SPV1040	0,3-5,5	max. 0,65	Van	TSSOP8	95	100	2,34

Az MPPT rövidítés a maximális teljesítményű pont követése (Maximal Power Point Tracking) funkciót jelöli. A napelemek teljesítménye a napsütés intenzitásától, a kimeneti áramtól és a hőmérséklettől függ. Ahhoz, hogy minden esetben a lehető legnagyobb teljesítményt érjük el, a munkapontot állandóan mozgatni kell a fenti paraméterek függvényében. Az egyszerűbb megoldások esetén a hőmérsékletváltozással nem korrigálják a munkapontot (amely -2 mV/°C cellánként), viszont a terhelő áram változására bekövetkező feszültség változás hatásával mindenképpen számolnunk kell. A maximális teljesítményű pont követésére többféle megoldás létezik, ebből az egyik legegyszerűbb a maximális teljesítményű ponthoz tartozó feszültség figyelése. Ennél a megoldásnál a terhelő áramot kell úgy változtatni, a napelem kimeneti feszültsége mindig ennek a feszültségértéknek a közelében mozogjon. Bár az U_{MP} (maximális teljesítményű ponthoz tartozó feszültség) függ a megvilágítástól, de ennek függése minimális. A fenti táblázatban a legtöbb típus ezt a módszert használja.

A táblázatban felsorolt integrált áramkörök különböző akkumulátor-védelmi funkciókkal rendelkeznek. A BQ24650-nél akkumulátor túlmelegedés elleni védelem és az akkumulátor jelenlétének vizsgálata, az LT3652-nél hőmegfűtás elleni védelem, és rossz akkumulátor kiszűrése funkció van megvalósítva. Az LTC3105 és SPV1040 típusokban nincs akkumulátor védelem (mivel e két típus nem kifejezetten erre a célra való, de mindkettőt a gyártójuk ilyen alkalmazásra is ajánlja), ugyanakkor töltőáramuk viszonylag szerény, ami miatt például a töltés alatt álló akkumulátor túlmelegedése nem valószínű. A táblázatban lévő integrált áramkörök gyártói a Texas Instruments (BQ24650), Linear Technology (LT3652, LTC3105) illetve az STMicroelectronics (SPV1040). A Maximnak nincs nekünk megfelelő, erre a célra való céláramköre.

A táblázatban felsorolt alkatrészeket megvizsgálva, vagy 5 V alatti, vagy 5 V feletti feszültségről dolgoznak (a listában nem szereplő típusok is ezekhez hasonlóak voltak). A napelem kiválasztás szempontjából fontos megállapítani, hogy a töltő áramkör 5 V alatti, vagy a feletti feszültséggel dolgozik, mert ekkor dől el, hogy melyik napelemet melyik típussal lehet párosítani. A fent felsorolt töltő áramkörök közül az LTC3105-nek kicsi a töltőárama, körülbelül 5 óra alatt tölti fel az

⁶ Belső kapcsolóelemet nem tartalmaz, ezért a külső FET-ek típusától és az árammérő ellenállás nagyságától függ a töltőáram.

akkumulátort, feltéve, ha a bemeneti oldalon megvan a megfelelő teljesítmény. Az LT3652-nek az ára magas és a hatásfoka kedvezőtlen, a BQ24650-nek pedig a bementi feszültség túl magas. Az SPV1040-nél ideális a bemeneti feszültség, a töltőáram, és az ár is kedvező, azonban nem szerethető be gazdaságosan⁷ a szállítási költségek miatt. Ennek fényében a második legpraktikusabb választás az LTC3105 típusú töltő IC. Mind a két töltő IC STEP-UP jelegű, ezért a napelemek közül a MC-SP0.8-NF-GCS típus került kiválasztásra.

3. Megvalósítás

Az 5 V-os feszültség átalakító méretezése

A fentiekben kiválasztott MAX1760 típusú feszültség szabályzó méretezése az alkatrész adatlapja [5] alapján történt. A kimeneti feszültséget a telefon számára 5 V-ra kell beállítani. Az FB lábon befolyó bias áram elhanyagolható, ezért megengedettek a nagy értékű osztó ellenállások. A katalógus szerint az R_2 ellenállást 270 kΩ-ra vagy kisebbre kell választani, majd ebből kell kiszámolni az R_1 -t (R_1 az osztó felső tagja, R_2 pedig az alsó).

$$V_{OUT} = 5 \text{ V} = 1,24 \text{ V} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$

$$\frac{R_1}{R_2} = 3,03$$

Legyen R_2 100 kΩ, ebből adódóan $R_1=303$ kΩ. Az ellenállás sorból 300 kΩ-ost választhatunk, ezzel $U_{ki}=4,96$ V.

A bemeneti áramot akkor kell korlátoznunk, ha az akkumulátor nem képes elviselni azt a bemeneti csúcsáramot, amely a maximális terhelésnél jelentkezik. Ekkor az REF és ISET lábak közé elhelyezett feszültségosztóval csökkenthetjük ezt az áramot. Mivel a választott akkumulátor elbírja az integrált áramkör maximális csúcsáramát, ezért csak REF és ISET lábak összekötését kellett megvalósítani. Ilyenkor a csúcsáram maximum 1,25 A, az akkumulátor pedig 3,8 A-t visel el.

Külső diódát kell alkalmazni, ha a kimeneti feszültség nagyobb, mint 4 V (esetünkben ez az érték 5 V). Ennek a diódának a helyére Schottky dióda javasolt, minimum 500 mA-es áram terhelhetőséggel. Az adatlapon javasolt típusok beszerezhetőségét és árát megvizsgálva az MBR0520LT típust alkalmaztam.

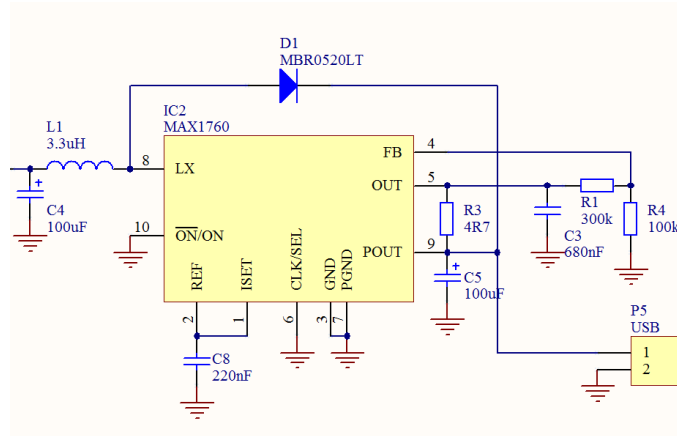
Az induktivitásra ajánlott érték 3,3 μH, áram tekintetében pedig a kapcsolási áram legalább 1,2-szeresére kell méretezni. Ez esetünkben 1,5 A-t jelent. A katalógusokat megvizsgálva a Multicomp gyártmányú MCSD43-3R3MU-t választottam. Ennek 2,2 A a telítési árama, és méretben valamint árban is megfelelő.

Bemeneti szűrőkondenzátor feladata, hogy biztosítsa a kapcsolási áramlökések számára az energia egy részét, a kimeneti szűrőkondenzátoré pedig, hogy a kimenet hullámosságát csökkentse. A méretezés a katalógus alapján történt, ahol LOW-ESR (alacsony ekvivalens soros ellenállású) tantál kondenzátorokat ajánlanak. Bemeneti szűrőként a 33 μF helyett 100 μF-ot alkalmaztunk, a kimeneten pedig az ajánlott 100

⁷ Először az SPV1040-re esett a választás, de sokáig úgy nézett ki, hogy a készülék beszerzési problémák miatt nem valósítható meg ezzel a töltő IC-vel, ezért az LTC3105-tel történt a tervezés. Hosszas várakozás után megérkezett az SPV1040 mintapéldánya is.

μF lett betervezve. A többi külső alkatrésznél méretezés nem volt szükséges, az ajánlás szerint lett kiválasztva.

A fentiek alapján a kimeneti 5 V-ot szolgáltató step-up konverter áramköri rész megvalósítása az alábbi ábrán látható.



20. ábra A MAX1760 és környezete

Az akkumulátortöltő áramkör méretezése (LTC3105)

LTC3105 [6] kimeneti feszültségének beállítása úgy történik, hogy az áramkörön belül létrehozott, névlegesen 1,004 V-os feszültség referenciával azonos feszültséget kell a kimeneti feszültségből a visszacsatoló pontra létrehozni. A szabályzás úgy működik, hogy az integrált áramkör addig változtatja a kimeneti feszültségét ameddig a visszacsatoló ponton (FB) elő nem áll a referencia feszültség. A kívánt feszültség esetünkben 4,2 V. A méretezéshez használt képlet:

$$V_{OUT} = 1,004 \text{ V} \cdot \left(\frac{R_1}{R_2} + 1 \right)$$

ahol az R_1 ellenállás a visszacsatoló osztó felső tagja, R_2 pedig az alsó tagja. A képletet rendezve, a következő összefüggést kapjuk:

$$\frac{R_1}{R_2} = 3,184$$

Az adatlapot megvizsgálva nincs információ arra nézve, hogy a visszacsatoló lábon mekkora áram folyik be (ami meghatározná R_1 és R_2 nagyságrendjét), viszont a mintakapcsolásban láthatjuk, hogy az ellenállások néhány száz $\text{k}\Omega$ -os nagyságrendbe esnek. Többszöri próbálkozásra (az ellenállásorok korlátozott kínálata miatt) $R_1 = 1,5 \text{ M}\Omega$ választása mellett, $R_2 = 470 \text{ k}\Omega$ -ra adódott. Ellenőrzésképpen behelyettesítve az előzőekben ismertetett képletbe:

$$V_{OUT} = 1,004 \text{ V} \cdot \left(\frac{1,5 \text{ M}\Omega}{470 \text{ k}\Omega} + 1 \right) = 4,208 \text{ V}$$

Ez megfelelő értéknek tekinthető.

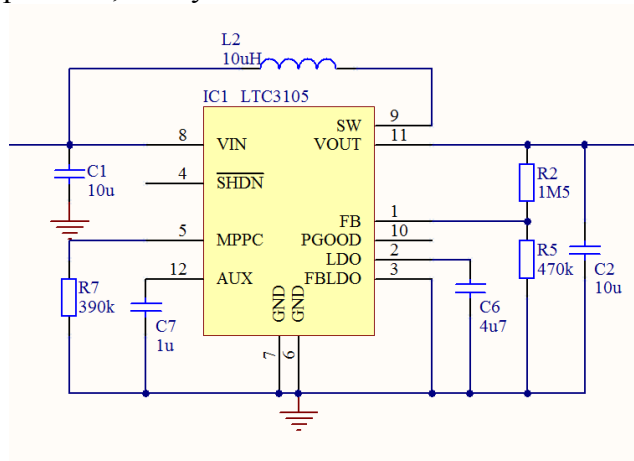
A következő az MPPC (maximális teljesítményű pontra szabályozás) beállítása. A beállításhoz egy ellenállást kell méretezni úgy, hogy az MPPC lábon kifolyó $10\ \mu\text{A}$ akkora feszültséget ejtsen rajta, hogy az egyenlő legyen a napelem optimális munkapontjában mérhető feszültséggel. A napelem maximális teljesítményű pontjának feszültsége $3,85\ \text{V}$, így

$$R_{MPPC} = \frac{U_{MPPC}}{10\ \mu\text{A}} = \frac{3,85\ \text{V}}{10\ \mu\text{A}} = 385\ \text{k}\Omega$$

adódik, ehhez a legközelebbi szabványos érték a $390\ \text{k}\Omega$. Ez minimális $50\ \text{mV}$ -os hibát fog eredményezni. A többi alkatrész értéke a katalóguslapon ajánlottakkal egyezik, azokat nem szükséges átméretezni, egyedüli feladat még az induktivitás névleges áram szerint méretezése.

A katalógusban leírtak alapján maximum $500\ \text{mA}$ folyhat az induktivitáson, így olyan típusú induktivitást kell választani, ami ezt elviseli. Több cégnek a kínálatát megvizsgálva a választás MULTICOMP gyártmányú MCS D43-100MU típusra esett. Ennek a névleges árama $1,2\ \text{A}$ és méretben és árban is megfelel.

A fenti részletes méretezési leírás alapján elkészült az akkumulátortöltő környezetének kapcsolása, amely az alábbi ábrán látható.

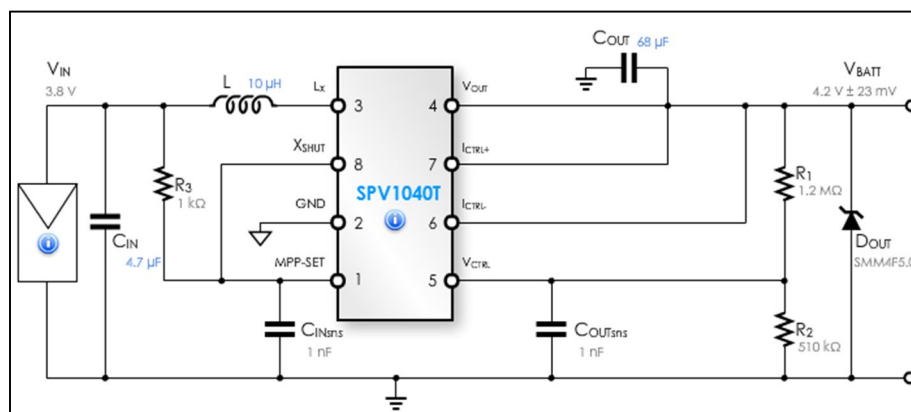


21. ábra LTC3105 és környezete

Az akkumulátortöltő áramkör méretezése (SPV1040)

Az adatlapban [7] csak alkalmazási példa található, az alkatrész értékek méretezése nélkül. A katalógus szöveges részében sincs méretezésre szóló instrukció. Ugyanakkor javasolnak egy weboldalt⁸ ahol a méretezés és a szimuláció elvégezhető. Itt meg kell adni a napelem maximális teljesítményű munkaponti feszültséget és áramát, üresjárású feszültségét, rövidzárási áramát. Ezen kívül meg kell adni, az akkumulátor töltőáramát és a teljes feltöltöttséghez tartozó feszültségét. Ezután az alkalmazás alkatrészt ajánl (jelen esetben az SPV1040-et, mivel erre a célra a cégnek ez az egy terméke van). Innen tovább lépve, az alábbi tervet hozta létre a rendszer.

⁸ <http://www.st.com/internet/com/software/edesignsuite.jsp>



22. ábra Az STM oldalán megtervezett kapcsolás az SPV1040-el

A késsel írt alkatrészértékekre kattintva tovább segítik a tervezést, hiszen konkrét típusok közül lehet választani. A megtervezett kapcsolás működését online lehet szimulálni. A szimulációs eredmények közül a hatások alakulása látható az alábbi ábrán, mely szerint a várható hatások 99% körüli.



23. ábra Példa az SPV1040 szimulációs eredményeire

A javasolt elemértékek alapján katalógusból kellett választani. A kis értékű kondenzátorok és ellenállások választásánál nem merül fel probléma, de a C_{in} , C_{out} és az L elemeknél meg kell vizsgálni, hogy a kínálatból mi felel meg. C_{in} és C_{out} -nál a feszültség igénybevétele 5 V alatti, így a szabványos 6,3 V-os, vagy afeletti szabványos feszültségű kondenzátorok felelnek meg. Az ajánlásban nagyon kis ESR értékű kondenzátorokat javasolnak (néhány mΩ), de ezek ára nagyon magas, költség szempontjából, és mivel kísérleti példányról van szó, ezért ennél magasabb ESR értékűek is megfelelőek lesznek, azonban így nem érjük a 99 %-os hatásfokot. Az induktivitás választásánál figyelembe kell venni a szaturációs áram nagyságát. A katalógusban a tekercs maximális áramára 1,8 A-t adtak meg, a választott tekercsnek ennél nagyobb szaturációs áram paraméterrel kell rendelkeznie, a BH görbe telítettségének elkerülése miatt. A tekercs soros ellenállásának kis értékűnek kell lennie a veszteségek minimalizálása érdekében. Ezek alapján a választás Taiyo Yuden gyártmányú NRS8030T sorozatú 10 μH-s 2,4 A szaturációs áramú 0,033 Ω soros ellenállású induktivitásra esett.

Töltőforrás-választó áramkör megtervezése

Az akkumulátort napelemről és Micro USB-ről is lehet tölteni, de egy időben csak az egyikről. Kapcsolók beépítésével lehet kiválasztani, hogy honnan szeretnénk tölteni. Esetünkben a Micro USB-n való töltés kiválasztásához a kapcsoló egy dióda, mert az USB kimenet mindig 5 V-ot ad, ezért megengedhető a 0,7 V körüli nyitófeszültség-veszteség. A napelemes töltéshez egy MOSFET-es kapcsoló tűnt a legmegfelelőbbnek, amelynek be kell kapcsolnia akkor, ha az USB-n nincs feszültség, illetve ki kell kapcsolnia, ha megvan az 5 V. A MOSFET-tel szemben támasztott követelmények (a kis feszültségesés ($\cong 0,1$ V) érdekében) az alacsony csatorna-ellenállás, viselje el a napelem 230 mA-es maximális leadott áramát, és legyen minél kisebb a küszöbfeszültsége. Mindezek alapján egy P-típusú MOSFET alkalmazható, amely akkor fog kinyitni, ha a Gate-en alacsonyabb feszültség van, mint a Source-on, tehát ha az U_{GS} értéke negatív.

Megvizsgálva a katalógusokat a fenti követelményeknek eleget téve a RTQ025P02 típusra esett a választás. Erre a típusra jellemző tipikusan a 140 m Ω -os csatorna-ellenállás, maximális Drain-árama 2,5 A, és az $U_{GS(th)} = -0,7 \dots -2$ V. [8]

Az USB-ből leosztott feszültséget előállító osztót úgy kell méretezni, hogy az 5 V megléte esetén a FET biztosan lezárjon, viszont amikor nincs meg az 5 V, akkor biztosan kinyisson. A fent leírtak alapján az $U_{GS(th)}$ feszültség kisebb, mint -0,7 V, a napelem maximális üresjárási feszültsége 4,80 V, ezért elegendő, ha az $U_G = 4,5$ V értékre van megválasztva. Mivel:

$$U_{GS} = 4,5 \text{ V} - 4,8 \text{ V} = -0,3 \text{ V}$$

így a FET nem fog kinyitni, mert nem éri el a -0,7 V-os küszöbfeszültséget, ezért a töltés az USB-ről fog megvalósulni. Abban az esetben, ha a napelemről működtetjük a készüléket, és az USB csatlakozó üres, az osztó felső ellenállását nem kell figyelembe vennünk, mert a Micro USB oldalán lévő lába lebeg. Az alsó ellenállás lehúzza a Gate-t 0 V-ra, így:

$$U_{GS} = 0 \text{ V} - U_{\text{napelem}} = -U_{\text{napelem}}$$

tehát a FET kinyit, és a töltés a napelemről történik abban az esetben, ha a napelem feszültsége meghaladja a 0,7 V-ot.

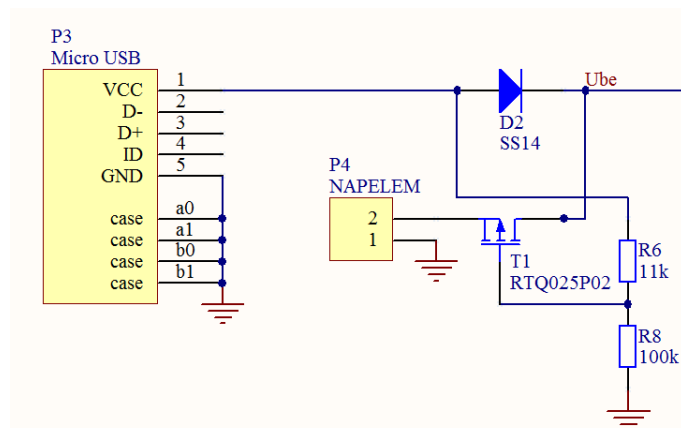
Az U_G beállításához egy feszültségosztóra van szükség, aminek a méretezése az alábbi módon történt:

$$U_G = 4,5 \text{ V} = 5 \text{ V} \cdot \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

ahol R_1 az osztó alsó tagja, R_2 pedig a felső. Innen:

$$\frac{R_1}{R_1 + R_2} = 0,9 \rightarrow R_1 = 9 \cdot R_2$$

$R_1 = 100 \text{ k}\Omega$ választása esetén: $R_2 = 11 \text{ k}\Omega$ adódik. Az áramkör végleges kapcsolása az alábbi ábrán látható.



24. ábra A bemeneti feszültségválasztó kapcsolása

Akkumulátor feltöltöttség-figyelés

Túltöltöttség nem valósulhat meg, mivel 4,2 V-os feszültségre van beállítva a töltőáramkör. Az áramkör azért szükséges, hogy visszajelzést kapjunk arról, hogy fel van-e már töltve az akkumulátor.

Ez a feladat megoldható például egy komparátorral és egy feszültség referenciával, amelynek a feszültségét össze tudjuk hasonlítani az éppen aktuális töltöttségi szinttel, és azt ki tudjuk jelezni egy LED-en. A komparátorral szemben támasztott elsődleges követelmények a kis fogyasztás (mivel állandóan terheli az akkumulátort), kis bemenő áram (így az ellenállásosztó tagjait nagy értékűre választhatjuk). Ezen kívül fontos, hogy működjön alacsony feszültségről (2,85..4,2 V), ugyanakkor fontos még az ára és a mérete is. A komparátor választás az egyik legnevesebb gyártó (Texas Instruments) honlapján lévő parametrikus kereső használatával történt, ahol a fenti paraméterek szerint szűkítve néhány típus maradt csak. Ezek közül ár és méret alapján a TLV3401-re esett a választás.

A referencifeszültséggel szemben támasztott követelmények a kis áram (minimálisan terhelje az akkumulátort), működnie kell az akkumulátor feszültségéről akkor is, ha az akkumulátor a teljes kisütés határán van (kb. 3 V). A kimeneti feszültség értékének 1-2 V körülinek kell lennie, mert a 3 V körüli tápfeszültség esetünkben korlátoz. A választás itt is parametrikus keresés alapján történt. A legmegfelelőbb típusnak az LM4041A12 tűnt. Ez a típus már 45 μ A átfolytatott áram hatására is működik, kimeneti feszültsége pedig 1,225 V. [9]

A referencia forrás előtét ellenállásának méretezésénél figyelembe kell venni, hogy legkisebb akkumulátor feszültségénél is biztosan átfolyjon rajta a működéséhez szükséges minimális áram. Az akkumulátor kisütési végfeszültsége 2,85 V, a minimális áram 45 μ A, így az előtét ellenállás maximális értéke:

$$R = \frac{2,85 \text{ V} - 1,225 \text{ V}}{45 \mu\text{A}} = 36,1 \text{ k}\Omega$$

A biztos működés érdekében ennél kisebb ellenállás választása szükséges, a szabványos ellenállássort figyelembe véve $R=27 \text{ k}\Omega$.

Ahhoz, hogy a referencia feszültséghez viszonyítani tudjuk az akkumulátor feszültségét, egy feszültségosztót kell méretezni, amely a feltöltött állapothoz tartozó feszültséget a referencia feszültség értékére osztja le. Feltöltöttnak mondható az

akkumulátor, ha a maximális kapacitásának legalább 90 %-át eléri. Az interneten kutatva az alábbi formulát találtam a töltöttség és a cellafeszültség kapcsolatára.

$$\text{Töltöttség}[\%] = 100 \% \cdot [0,1966 + \sqrt{(0,0387 - 1,4523 \cdot (3,7835 - U_{\text{cella}}))}]$$

Ebbe a behelyettesítve a 90%-ot, a cella feszültségre 4,1 V adódik. A feszültségosztót ezek alapján a következőképpen kell méretezni:

$$1,225 \text{ V} = 4,1 \text{ V} \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Ebből $R_1 = 2,3445 R_2$ összefüggés adódik, ahol R_1 az osztó alsó tagja, R_2 pedig a felső. Az ellenállásosztó tagjai nagy értékűre választhatóak, mivel a komparátor bementi árama elhanyagolható (max. 1,5 nA). Ha az ellenállásosztó felső tagját 1 MΩ-ra választjuk, akkor az alsó tag értéke 426,5 kΩ lesz, az ehhez legközelebb eső szabványos érték a 430 kΩ.

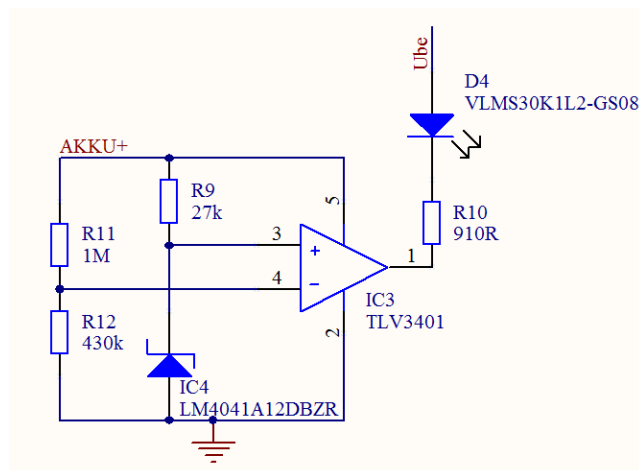
A választott műveleti erősítő kimenete Open Drain-es, ezért a visszajelző LED-et csak tápfeszültség felé lehet bekötni, így akkor fog bekapcsolni, amikor a műveleti erősítő kimenete alacsony szintre (0 V-ra) megy. Ugyancsak az Open Drain kimenet ad lehetőséget arra, hogy a terhelést (LED-et), ne az akkumulátor felé, hanem a bemeneti feszültségre kössük, így nem az akkumulátort meríti. (Képzeljük el azt az esetet, hogy az akkumulátort töltjük, elérjük a 4,1 V-os feszültséget, ekkor a töltöttséget jelző LED bekapcsol. A töltés tovább folytatódik 4,2 V-ig, a LED továbbra is bekapcsolva marad. Amikor már nem töltjük az akkumulátort (nem süt a Nap és nincs USB feszültség), a LED továbbra is bekapcsolva marad, ha az akkumulátorra van rákötve. Mindaddig világít, ameddig ki nem sűti 4,1 V-ig az akkumulátort, így "elpazarolja" annak kb. 10% kapacitását.)

A LED-et akkor akarjuk bekapcsolni, ha az akkumulátor leosztott feszültsége nagyobb lesz, mint a referencia feszültség, így a referencia feszültséget a nem invertáló, a leosztott feszültséget pedig az invertáló bementre kell kötni. (Abban az esetben, ha a leosztott feszültség meghaladja a referencia értéket, akkor a kimenet földre (0 V) megy, így bekapcsol a LED.)

A LED fogyasztásának minimalizálásának érdekében kisáramú típust kell választani, ilyen például a VLMS30K1L2, amely legalább 7,1 mcd intenzitást ad 2 mA nyitóáramnál. [10]

$$R = \frac{3,85 \text{ V} - 1,8 \text{ V}}{2 \text{ mA}} = 1,025 \text{ k}\Omega$$

Az előtét ellenállás értékét ebből kifolyólag 910 Ω-ra választottam. Az akkumulátor feszültség figyelőjének megvalósítása:



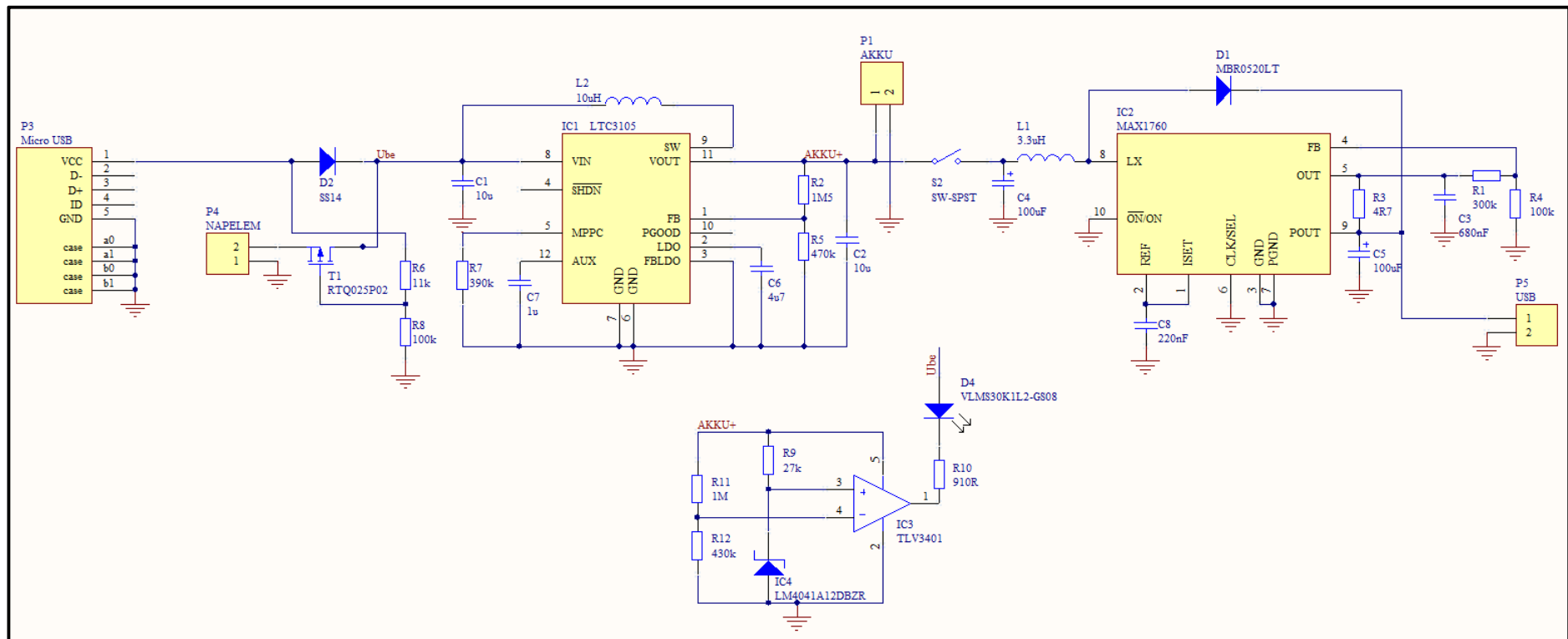
25. ábra A töltöttség-figyelő áramkör

Bár eddig sem a blokkvázlatban sem a tervezés leírása során nem esett szó róla, de felmerült az ötlete egy olyan kapcsoló alkalmazásának, amely üzemen kívüli állapotban leválasztja az 5 V-ot előállító step-up konvertert az akkumulátorról. Mivel a step-up konverter és minden más áramköri rész kikapcsolt állapotban is fogyaszt, így a mi esetünkben különösen ügyelni kell ennek a felesleges fogyasztásnak a megakadályozására. Míg más áramköri részek az tápegységről veszik fel a tápáramukat, a konverter az akkumulátort fogja terhelni. Ezzel a leválasztással megelőzhetjük azt, hogy kikapcsolt állapotban feleslegesen merítsük az akkumulátort.

A katalógus szerint terhelés nélkül 185 μA -t venne fel a MAX1760. Az akkumulátort terheli a step-up konverter, a referencia feszültség forrás, a komparátor, a komparátor feszültségosztója és a napelem töltő áramkörének feszültségosztója. Az összes terhelő áram a számítás részletezése nélkül 120 μA -re adódik. Ellenőrző mérések végzésekor a step-up konverter kikapcsolásakor az akkumulátorból felvett áram 126 μA , bekapcsolásakor pedig 293 μA . Abban az esetben, ha a konverter bekapcsolva maradna, 28 napra lenne szükség, hogy az akkumulátor kapacitásának 10%-át elveszítse. Ha ki van kapcsolva, akkor ugyanez az idő 71 napra adódik, amely teljes mértékben elfogadható.

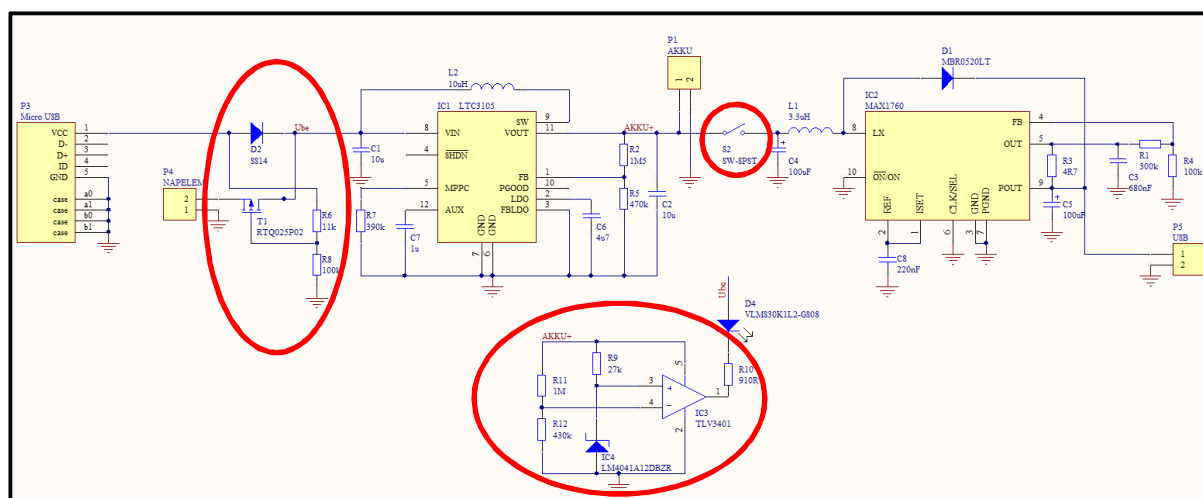
A teljes kapcsolási rajz az alábbiakban látható.

A teljes kapcsolási rajz



Mikrovezérlő alkalmazásával kiváltható áramköri részek

A kapcsolási rajzon pirossal bekeretezett áramköri részek vezérlésének illetve kiváltásának megvalósítása könnyen kivitelezhető egy mikrovezérlő használatával.



A bemenetválasztó áramköri rész T1 FET-jének vezérlése a mikrovezérlő egy portlábával oldható meg. A bemeneti feszültség szintjének vizsgálata elvégezhető A/D átalakítóval, vagy beépített komparátorral. Az első esetben az A/D átalakítóval mintavételezhetjük az USB csatlakozón a bemeneti feszültséget, és amennyiben jelen van az 5 V, akkor a T1 FET-et kikapcsoljuk, hogy ezáltal a napelemtől leválasszuk a bemenetről. Ha az USB csatlakozón nem érkezik meg az 5 V, akkor pedig a napelemtől próbáljuk meg tölteni a belső akkumulátort, ehhez a T1 FET-et be kell kapcsolni. A második esetben komparátorral vagy összehasonlítjuk a napelem és az USB csatlakozó feszültségét, és a nagyobbik feszültségről végezzük el a töltést, vagy pedig az USB csatlakozón beérkező feszültséget vizsgáljuk, és amennyiben beérkezik az 5 V-os feszültség, akkor kikapcsoljuk a FET-et. Ez utóbbi megoldáshoz szükséges egy referencia feszültség, amely előállítható külső alkatrészekkel is, vagy a mikrovezérlőben esetlegesen megtalálható feszültség-referencia modullal. Mikrovezérlő alkalmazása esetén lehetőség van arra is, hogy például egy LED-en kijelesszük, ha a töltés USB-ről történik.

A feltöltöttség jelzését is meg lehet oldani a mikrovezérlőbe beépített A/D átalakító felhasználásával. Ekkor mérni kell az akkumulátor feszültségét, és a mért feszültség értékéből, illetve két egymást követő mérés közötti megváltozás mértékéből következtethetünk az akkumulátor töltöttségi szintjére. Mivel lehetőségünk van rá, hogy folyamatosan figyelemmel kövessük az aktuális értéket, a töltöttségi szintet akár több lépcsőben is ki tudjuk jelezni (pl. 60 – 80 – 100%).

Mikrovezérlővel vezérelt esetben az S2 kapcsoló FET-tel való kiváltása szükséges a digitális működtetés érdekében. A mikrovezérlőhöz szükséges egy nyomógombot csatlakoztatni, amelynek megnyomásakor a mikrovezérlő a FET bekapcsolásával elindítja a töltést. A töltés leállítása a következő esetekben történhet:

- időkorlát letelte (előre meghatározott töltési idő)
- kimeneti töltőáram lecsökkenése (külső eszköz feltöltése után, lecsökken a kimeneti áram, amely külső ellenálláson mérhető, majd a töltőkészülék kikapcsol)
- a belső akkumulátor túlmelegedése (a minimális kapocsfeszültség elérésekor kikapcsol)
- újabb gombnyomás (felhasználói beavatkozás)

Mikrovezérlő választásánál fontos szempont az alacsony fogyasztás (rendelkezzen valamilyen energiatakarékosságot támogató funkcióval), valamint az akkumulátoros működtetés miatt az alacsony tápfeszültség. Sebességben, funkcionalításban nincs különösebb igény, kivéve a fent leírtak szerint A/D modul vagy komparátor modul.

A mikrovezérlővel megvalósított funkciók az alábbiak lehetnek:

- Bemenet-választó FET vezérlése (1 db digitális kimenet)
- USB feszültségének mérése (1 db analóg bemenet vagy komparátor)
- Akkumulátor feszültségének mérése (1 db analóg bemenet vagy komparátor)
- Nyomógomb érzékelése (1 db digitális bemenet, lehetőleg külső megszakítás lábon)
- Kimeneti FET vezérlése (1 db digitális kimenet)

A mikrovezérlő választást nem részletezem, mivel ez a megoldás nem került megvalósításra. A fenti követelményeknek eleget tesz például a Microchip PIC12LF1501 típus.

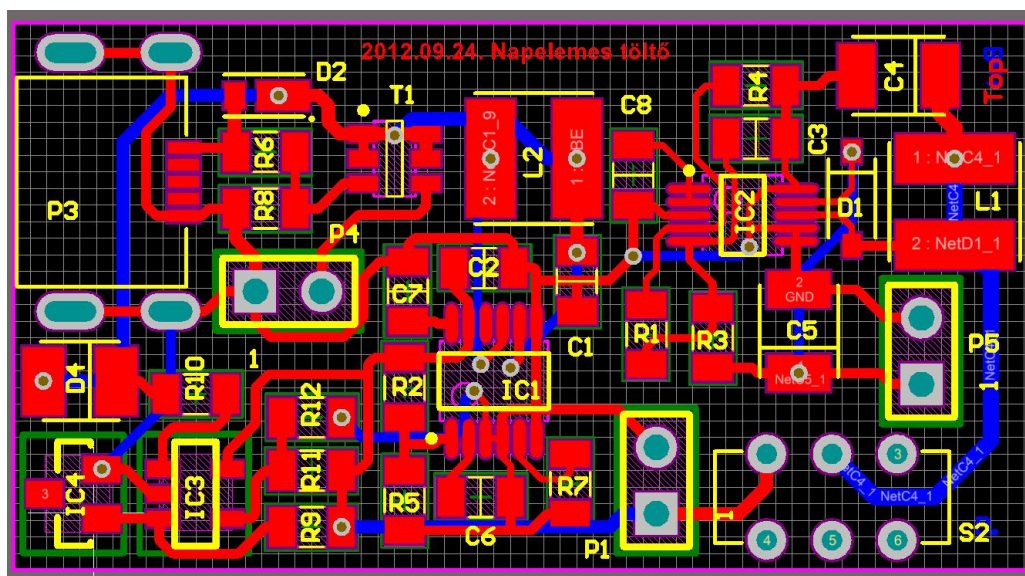
A Microchip PIC12LF1501 mikrovezérlő rendelkezik a készülék számára szükséges erőforrásokkal:

- 6 db I/O láb
- 10 bites A/D (multiplexálható)
- Belső feszültség-referencia modul
- 1 db külső megszakítás-láb
- Belső órajel
- Sleep üzemmód
- Alacsony tápfeszültség (min. 1,8 V)

4. Nyomtatott áramkör tervezésének szempontjai

Mechanikai szempontból figyelembe kell venni, hogy kézi forrasztással történik a beültetés, így elegendő helyet kell hagyni a beforrasztáshoz. Ettől függetlenül arra kell törekedni, hogy minél kisebb legyen az áramkör terjedelme. Abban az esetben, ha egy oldalra történik az alkatrészek tervezése, a későbbiekben lehetőség lesz arra, hogy a másik oldalánál fogva könnyen rögzíthessük, ragaszthassuk akár a napelem hátuljára. Törekednünk kell arra, hogy a csatlakozások és kivezetések lehetőleg a nyomtatott áramkör szélére kerüljenek, hiszen ezzel rendezettebb hatást érünk el. A kapcsoló elhelyezését lehetőleg a nyomtatott áramkör szélén kell megoldani, a választás egy furatszerelt kapcsolóra esett, mert ez stabilabb rögzítést eredményez.

Elektromos szempontból lényeges a vezetősávok méretezése, a nagyáramú vezetéseket a lehető legvastagabbra kell tervezni. Ilyenek például a Micro USB és a napelem tápvezetékei, a kapcsolóüzemű áramkörök (pl.: töltő, feszültség-konverter) kapcsolókörei és az akkumulátor vezetékei. Ezeken a területeken a viák átmérőjére is figyelni kell. Ugyanakkor elmondható az, hogy igazán nagy áramok nincsenek, de a kapcsolókövekben több száz mA-es, esetleg 1 A nagyságrendű áramok is előfordulnak. Kerülni kell az egymáshoz túl közel lévő vezetősávok alkalmazását, amely a gyárthatóság miatt is fontos: „kényelmesen” kb. 0,2 mm-es vezetősávok és szigetelések gyártathatóak le. A vezetéseket a lehető legrövidebbre kell megtervezni, ez a zavar kibocsátás és a zavarérzékenység miatt fontos. A nyomtatott áramkör terve Altium Designer tervezőprogramban készült.



26. ábra A napelemes töltő nyomtatott áramköri terve

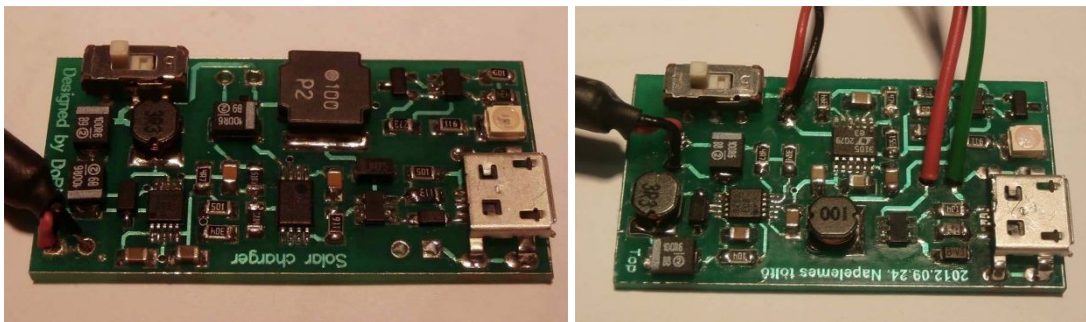
5. Beültetés, bemérés

Beültetés

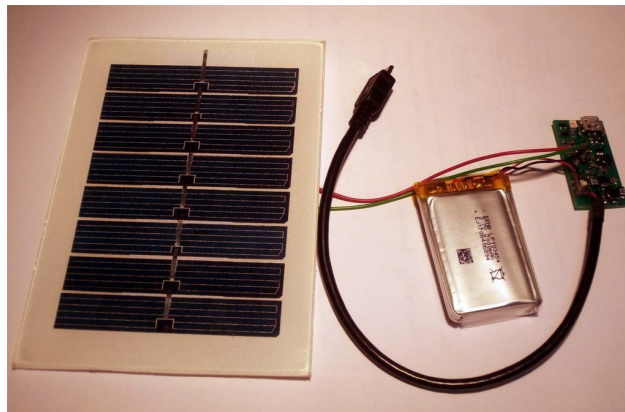
Az alkatrészek beforrasztása kézi úton történt, külön-külön funkcionális egységenként. Ez azért volt így célszerű, mert közvetlenül a beültetés után a bemérés is megtörténhetett minden egység esetében. Mivel első példányról van szó, így volt rá reális esély, hogy egyes áramköri részek nem, vagy nem megfelelőképpen működnek, így a hibakeresés leegyszerűsödött. Az áramkört az alábbi funkcionális egységekre bontottam és az összeállításuk és bemérésük a következő felsorolás szerinti sorrendben történt:

- step-up konverter (5 V-os)
- komparátor és feszültség referencia
- USB vagy napelemes töltés-átkacsoló
- akkumulátortöltő áramkör

A kész beültetett áramkörökről, illetve a teljes elektronikáról készült felvételeket az alábbi képeken láthatjuk.



27. ábra A megvalósított áramkörök (balra-SPV1040, jobbra-LTC3105)



28. ábra A teljes készülék-elektronika

A következőkben ezen egységek bemérésének folyamata kerül ismertetésre.

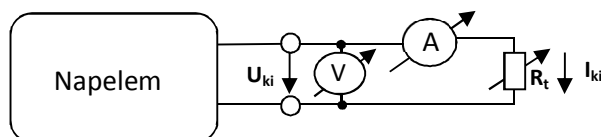
A napelem karakterisztikájának felvétele

Bár a katalógusban a napelemnek minden adata meg van adva, néhány ok miatt érdemes felvenni a karakterisztikáját. Ezek a következők:

- mivel a gyakorlatban napelemes alkalmazással nem volt tapasztalatom, ezért kísérleti céllal érdemes volt megvizsgálni a karakterisztika alakulását

- az adott példány konkrét paramétereire vagyunk kíváncsiak, mert a katalógusban adott paraméterek a sorozatban gyártott termékek legrosszabb mérési eredményeit tartalmazzák azért, hogy a felhasználó számára az elvárt értékeknek mindenképpen eleget tegyenek
- bár kicsi a valószínűsége, de ki kell zárni, hogy az adott termék a gyári paramétereket nem teljesíti

Ahhoz, hogy fel tudjuk venni a kimeneti feszültséget a kimeneti áram függvényében és meghatározni a maximális teljesítményű pontot, a következő kapcsolásra van szükség:



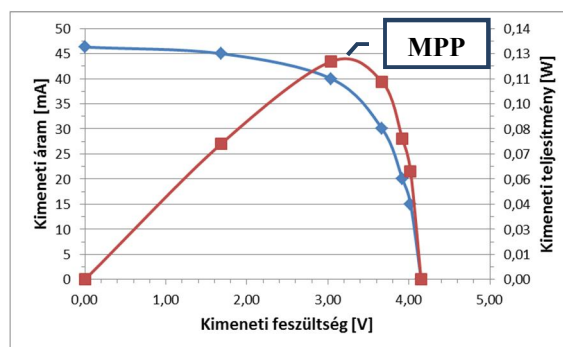
29. ábra A napelem karakterisztikájának felvétele

A mérés során a terhelő ellenállás nagyságának változtatásával előre meghatározott kimeneti áramokat állítottam be, és az ezekhez a pontokhoz tartozó kimeneti feszültségeket rögzítettem a táblázatban.

Az árammérő egy MY64 típusú, a feszültségmérő pedig egy Agilent U1252A kézi digitális multiméter volt. Terhelésként egy Ganz gyártmányú TE0.4 típusú 268 Ω -os tolóellenállás állt rendelkezésre. A mérést két környezetben végeztem el. Az első mérés egy zárt szobában történt, 60 W-os izzóval (OSRAM CONCENTRA) megvilágítva a napelemet kb. 50 cm távolságról, kizárva a külső fényt. A másik esetben a mérést verőfényes napsütésben végeztem el (2012.10.05. 14.45-14.55 között), a napsugárzásra merőlegesen beállított napelemnél.

A zárt térben végzett mérések eredményei:

U _{ki} [V]	I _t [mA]	P _{ki} [W]
4,15	0	0
4,02	15	0,06
3,92	20	0,078
3,67	30	0,11
3,04	40	0,122
1,68	45	0,076
0,00	46,3	0

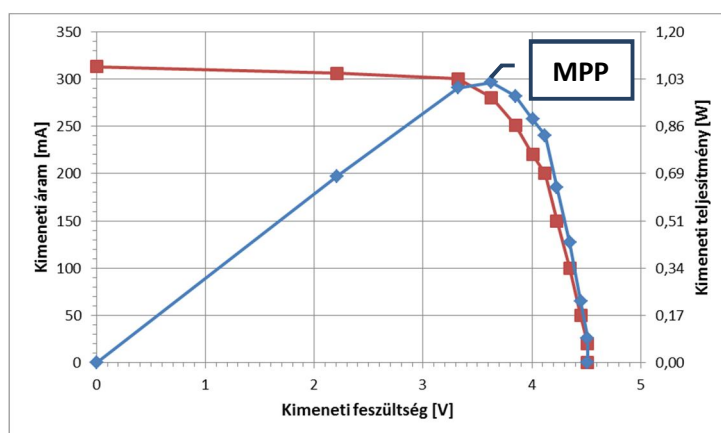


30. ábra A lámpafény mellett végzett mérés eredményei

A vízszintes tengelyen a kimeneti feszültség látható V-ban, a baloldali függőleges tengely a kimeneti áramot ábrázolja mA-ban, a jobboldali függőleges tengelyen pedig a kimeneti teljesítmény olvasható le W-ban. A piros görbe a kimeneti teljesítmény, a kék pedig a kimeneti áram a kimeneti feszültség függvényében. Mind az LTC3105, mind az SPV1040 alkalmas ennek a bemeneti feszültségnek és áramnak a hasznosítására, azonban ez a teljesítmény igen csekélynek tűnik, olyan hosszú töltési idő adódna, amely a beltéri alkalmazást lehetetlenné teszi.

A napfényben végzett mérési eredmények az alábbiakban láthatóak:

U_{ki} [V]	I_{ki} [mA]	P_{ki} [W]
0	313	0
2,21	306	0,676
3,32	300	0,996
3,63	280	1,016
3,85	251	0,966
4,01	220	0,882
4,12	200	0,824
4,23	150	0,635
4,35	100	0,435
4,45	50	0,223
4,51	20	0,091
4,51	0	0



31. ábra A napfényben végzett mérések eredményei

A vízszintes tengelyen a kimeneti feszültség látható V-ban, a baloldali függőleges tengelyen a terhelő áram olvasható le mA-ben, a jobboldali függőleges tengelyen pedig a kimeneti teljesítményt ábrázoltam W-ban. A piros görbe a kimeneti teljesítmény, a kék pedig a kimeneti áram a kimeneti feszültség függvényében. A grafikonon tisztán leolvasható a maximális teljesítményű pont és a hozzá tartozó feszültség- és áramértékek. A katalógus adataival szemben a maximális teljesítmény 0,8 W helyett 1 W feletti, a maximális teljesítményű pont pedig hozzávetőlegesen 280 mA terhelés mellett tapasztalható. Az előző méréshez képest az üresjárási feszültség 4,15 V-ról 4,51 V-ra növekedett, a rövidzárási áram pedig 46,4 mA-ról 313 mA-re. A maximális teljesítmény 0,12 W-ról 1,02 W-ra emelkedett.

Amint azt már a 4. ábra is mutatta a napelem modelljében szerepel egy, a kimenettel sorosan kapcsolódó ellenállás, amely hatására a kimeneti áram növekedése a kapocsfeszültség csökkenését fogja okozni. Ennek hatása jól látszik a 31. ábra U_{ki} - I_{ki} (piros) karakterisztikáján. A mért eredmények alapján ez a soros ellenállás R_s meghatározható. Az R_s értékének meghatározására az alábbi táblázatot készítettem:

U_{ki} [V]	I_{ki} [mA]	ΔU_{ki} [V]	ΔI_{ki} [mA]	R_s [Ω]
4,45	50			
		0,1	50	2
4,35	100			
		0,12	50	2,4
4,23	150			
		0,11	50	2,2
4,12	200			

Az R_s három kiszámított értékét átlagolva 2,2 Ω -ot kaptunk.

Step up konverter bemérése és hatásfokának vizsgálata

A katalógusban leírtak alapján a MAX1760 viszonylag magas hatásfokkal rendelkezik, ennek igazolására végeztem el egy vizsgálatot. A mérési sorozat úgy lett felvéve, hogy meghatározott akkumulátor feszültség-szinteknek megfelelő bemeneti feszültséget adtam a bemenetre, a kimeneti oldalt pedig egy tolóellenállással terhelve mértem a bementi áramot, a kimeneti áramot, és a kimeneti feszültséget. A mérés elrendezését az alábbi ábra mutatja:



32. ábra A MAX1760 hatásfokának mérése

A bemeneti feszültség beállításához egy olyan tápegységet használtam, amely beépített digitális áram- és feszültségmérővel rendelkezik (Instek PST-3201). Emiatt nem kellett a bementi oldalra külön áram- és feszültségmérőt alkalmazni. A kimeneti oldalon digitális multimétereket használtam, árammérőként Keithley 2000 típust, feszültségmérőként pedig Agilent U1252A-t. A hatásfokot az alábbi képlet alapján számoltam ki:

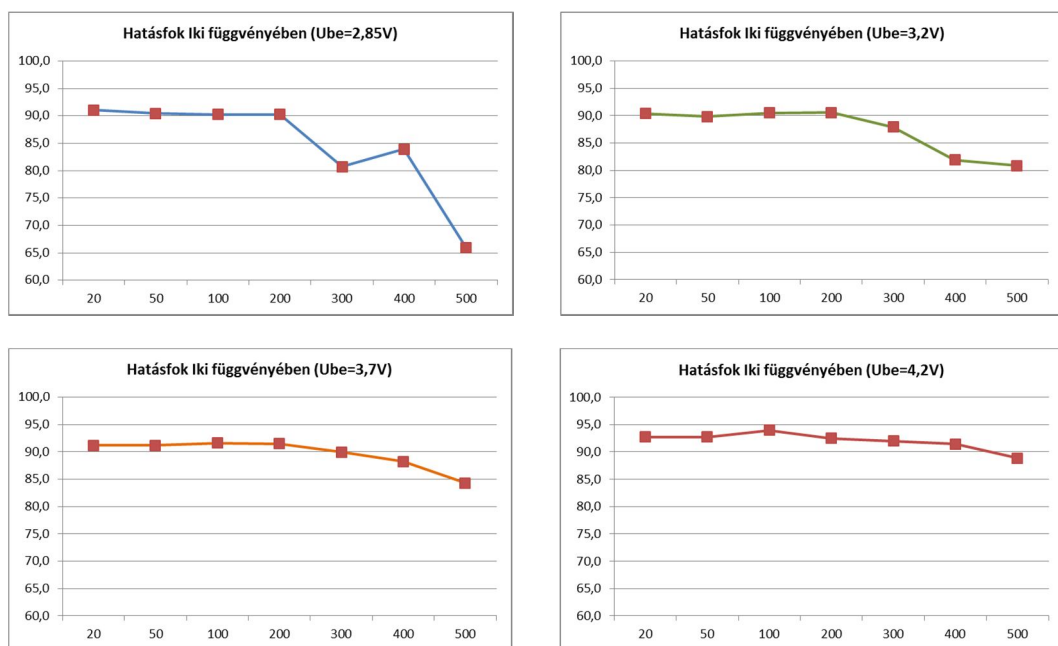
$$\eta = \frac{P_{ki}}{P_{be}} = \frac{U_{ki} \cdot I_{ki}}{U_{be} \cdot I_{be}}$$

A mérési eredményeket az alábbi táblázat mutatja:

U_{be} [V]	I_{be} [A]	P_{be} [W]	U_{ki} [V]	I_{ki} [A]	P_{ki} [W]	η [%]
2,85	0,039	0,111	5,06	0,02	0,1012	91,05
	0,098	0,279	5,05	0,05	0,2525	90,40
	0,196	0,559	5,04	0,1	0,504	90,23
	0,388	1,106	4,99	0,2	0,998	90,25
	0,648	1,847	4,97	0,3	1,491	80,73
	0,826	2,354	4,94	0,4	1,976	83,94
	1,31	3,734	4,92	0,5	2,46	65,89
3,2	0,035	0,112	5,06	0,02	0,1012	90,36
	0,088	0,282	5,06	0,05	0,253	89,84
	0,174	0,557	5,04	0,1	0,504	90,52
	0,345	1,104	5	0,2	1	90,58
	0,531	1,699	4,98	0,3	1,494	87,92
	0,757	2,422	4,96	0,4	1,984	81,90
	0,953	3,050	4,93	0,5	2,465	80,83

3,7	0,03	0,111	5,06	0,02	0,1012	91,17
	0,075	0,278	5,06	0,05	0,253	91,17
	0,149	0,551	5,05	0,1	0,505	91,60
	0,296	1,095	5,01	0,2	1,002	91,49
	0,45	1,665	4,99	0,3	1,497	89,91
	0,609	2,253	4,97	0,4	1,988	88,23
	0,709	2,623	4,96	0,5	2,48	94,54
4,2	0,026	0,109	5,06	0,02	0,1012	92,67
	0,065	0,273	5,06	0,05	0,253	92,67
	0,128	0,538	5,05	0,1	0,505	93,94
	0,259	1,088	5,03	0,2	1,006	92,48
	0,389	1,634	5,01	0,3	1,503	91,99
	0,52	2,184	4,99	0,4	1,996	91,39
	0,666	2,797	4,97	0,5	2,485	88,84

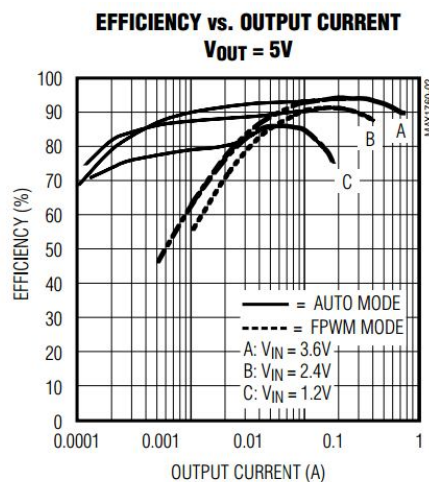
Különböző bemeneti feszültségek (2,85 V, 3,2 V, 3,7 V, 4,2 V) mellett ábrázoltam a hatásfokot a kimeneti áram függvényében, a kapott eredmények az alábbi ábrán láthatóak.



33. ábra Különböző bemeneti feszültségek esetén mért kimeneti áram-hatásfok karakterisztikák az 5 V-os feszültség-átalakítónál

Diagramok elemzéséből látható, hogy 0,2 A-ig majdnem megegyeznek a mért hatásfokok, e felett mutatkoznak meg az eltérések. Az $U_{be} = 3,7$ V-nál és az $U_{be} = 4,2$ V-nál kapjuk a legjobb hatásfokot, mind a két esetben majdnem végig 90% feletti értékeket kapunk. A bemeneti feszültség csökkenésével, nagyobb terhelő

áramoknál jelentősen romlik a hatásfok. Üzemi körülmények között a lítium-ion akkumulátor kimeneti feszültsége majdnem a teljes kisütési ciklus során a 3,7 V körüli tartományban van, ott 90 % feletti hatásfokot produkál a MAX1760, ami számunkra megfelelő. A katalógusban szereplő 5 V-os kimeneti és 3,6 V bemeneti feszültséghez tartozó kimeneti áram-hatásfok diagrammal közel azonosat mértem 3,7 V-os feszültség mellett, így elmondható, hogy a járulékos alkatrészek kiválasztása megfelelő volt.



34. ábra A MAX1760 katalógusában szereplő kimeneti áram-hatásfok karakterisztika [5]

A komparátor és feszültség referencia bemérése

Másodikként ez a részegység került bemérésre, mert amíg nincs beültetve az akkumulátortöltő és a step-up konverterhez a kapcsoló, addig nem befolyásolja semmi a működésében. Az akkumulátor helyére kívülről tápegységről adtam feszültséget és 3 V-tól növelve megállapítottam a billenési feszültséget. Ez a feszültség érték 4,12 V, amely jó közelítéssel egyezik az általam kiszámolt értékkel.

A töltőáramkör bemérése

A töltőáramkör bemérésének lépései a következők voltak:

- a napelem maximális teljesítményű pontjára jellemző feszültségről (3,8 V) és áramáról (210 mA) üzemeltetve az akkumulátortöltő áramkört, megmértem az üresjárási feszültségét (így megbizonyosodhattunk arról, hogy túltöltés nem fog létrejönni, és a túltöltés miatti akkumulátor-károsodás nem lép fel)
- rákapcsolva az akkumulátort megmértem a töltőáramot
- folyamatos üzem mellett vizsgáltam a töltőáramkör alkatrészei és az akkumulátor melegedését
- végül az USB bemenetről működtetve ismét elvégeztem a fenti pontokban leírt méréseket

A tapasztalatokat a következő pontokban összegeztem:

- üresjárási feszültségre 4,21 V adódott, amely teljes mértékben megegyezett a várttal és megfelel az akkumulátor töltéséhez
- a töltőáram 169 mA volt, amely a 2000 mAh-s akkumulátort kb. 12 h alatt tölti fel
- túlzott melegedés sem az áramkörben, sem az akkumulátornál nem volt tapasztalható
- USB bemenetről működtetve az áramkört minden a vártak megfelelően működött, a töltőáram megnövekedett 205 mA-re

Összefoglalás

A dolgozat első felében áttekintettem a megújuló energiaforrásokat, melyeknek felhasználása egyre jobban jellemzi napjainkat. Sajnos a technika még mindig nem elég fejlett ahhoz, hogy ezek az energiahordozók teljes mértékben kiszorítsák a nem megújuló energiaforrásokat. A kutatás betekintést enged a megújuló energiaforrások, kiemelten a napenergia felhasználási lehetőségeibe, a napelemek működési elvébe és csoportosításába az akkumulátor-típusok felépítésébe és működésébe, valamint a napelemes töltők világába. Az előbbi felsorolásból a napelemek illetve az akkumulátorok típusainak, kínálatának áttekintése mellett a megtervezendő készülékben való alkalmazhatóságot is megvizsgáltam.

Napjaink nélkülözhetetlen kelléke a mobiltelefon, így annak feltöltéséről is gondoskodnunk kell. Erre számtalan esetben a legmegfelelőbb a napelemes telefontöltő, aminek legfőbb előnye, hogy hálózati csatlakozás nélkül is feltölthetjük készülékünket. Az elkészített napelemes töltőkészülék a napenergia vagy USB port segítségével képes saját, beépített akkumulátorának feltöltésére, és micro-USB csatlakozóval rendelkező eszközök töltésére. A beépített akkumulátor lehetővé teszi a töltést olyankor is, amikor sem hálózati feszültség, sem napsütés nem áll rendelkezésünkre.

Ismertetésre került a készülék megtervezése, alkatrészeinek kiválasztása, megépítése. A bemérés során azt a következtetést lehet levonni, hogy a készülék hibamentesen és a bizonyos korlátok mellett hatékonyan üzemel, továbbá megállapítható, hogy a készülék továbbfejlesztése szükséges. A továbbfejlesztés során főként a töltőáramkör optimalizálásának lehetőségét kell megvizsgálni, ugyanis USB bemenetről is relatív hosszú idő az akkumulátor töltési ideje. A töltési idő lecsökkentéséhez olyan, a mostani típushoz hasonló képességekkel rendelkező áramkörre van szükség, amely nagyobb töltőáramot képes szolgáltatni. További vizsgálatokat kell végezni még az optimális napelem-típus kiválasztása irányában, esetleg a méret-korlátok figyelembe vételével valamilyen módon a hasznos napelem-felületet kellene megnövelni. További fejlesztést kíván még a készülék mechanikájának megalkotása.

Eredményként említhető, hogy a napelemes töltő két működő példánya elkészült, amelyek „élőben” is kipróbálásra kerültek. Tapasztalatot szereztem az áramkör-tervezés és -megépítés, valamint -bemérés területén. A kitűzött célok nagy részét sikerült elérnem, de a fentiekben leírt továbbfejlesztés még további feladatokat ad.

Summary

The selection of the topics has contributed to the use of the renewable energy sources, that currently developing dynamically. People use these sources in every field of life, but unfortunately these renewable energy sources are still not developed enough to supersede normal, ordinary energy sources.

The first part of the essay studies the using of renewable energy sources, the history, the working methods and the categories of the solar panels. As a matter of fact we can find several similar solar chargers on the market nowadays, thus we can easily compare the details of different kind of chargers to each other and we can read about the different type of batteries.

Recently mobile phones are one of the most popular accessories in life, therefore we have to pay attention to charge the battery of the phone. The main topic of my essay is the developing and the implementation of a universal solar charger. The appliance contains a battery, which you can charge by micro-USB or the solar panel. We can efficiently use the solar charger when the weather is bad and the Sun doesn't shine or you cannot find any kind of socket, because of the built-in battery.

The implementation of the appliance consist of the planning, the choosing of the parts, and the construction. Finally, after the calibrations we can conclude that the appliance goes without mistakes, and it operates efficiently, but the solar charger need to be improved. I have to redesign the charging circuit, because the charging time is quite long from the USB input. If I wanted to decrease this charging time, I would create a similar circuit that can provide a greater amount of power. I can examine the size and the type of the solar panel too, and I have to scan the mechanics of the appliance.

As the result of my research I can mention that two universal solar charger are operating. I experienced circuit planning, constructing and calibrating. I almost could reach my goals, but the improving of the appliance gives more tasks.

Irodalomjegyzék

- [1] **Armin Räuber, „Napelem technológiák és jellemzőik,”** [Online]. Available: <http://fft.szie.hu/fizika/Turkalo/napenergiahaszn/G04%20-%20Napelem%20technologiak%20es%20jellemzoik.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 21.].
- [2] **Texas Instruments, „Understanding Photovoltaics and the Market Forces Behind Them,”** [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/an/slva448/slva448.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 05.].
- [3] **Wikipedia, „Lithium polymer battery,”** [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Lithium-ion_polymer_battery. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 09.].
- [4] **Wikipedia, „Universal Serial Bus,”** [Online]. Available: http://en.wikipedia.org/wiki/Universal_Serial_Bus. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 12.].
- [5] **Maxim, „MAX1760 Step-Up DC-DC Converter,”** [Online]. Available: <http://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX1760-MAX1760H.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 15.].
- [6] **LINEAR TECHNOLOGY, „LTC3105 data sheet,”** [Online]. Available: <http://cds.linear.com/docs/Datasheet/3105fa.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 27.].
- [7] **STMicroelectronics, „SPV1040-High efficiency solar battery charger with embedded MPPT,”** [Online]. Available: http://www.st.com/internet/com/TECHNICAL_RESOURCES/TECHNICAL_LITERATURE/DATASHEET/CD00287506.pdf. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 24.].
- [8] **ROHM, „RTQ025P02 2.5V Drive Pch MOS FET,”** [Online]. Available: <http://www.farnell.com/datasheets/25921.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 25.].
- [9] **Texas Instruments, „LM4041A PRECISION MICROPOWER SHUNT VOLTAGE REFERENCE,”** [Online]. Available: <http://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm4041a12.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 16.].
- [10] **Vishay Semiconductors, „VLMS30K1L2 Low Current SMD LED,”** [Online]. Available: <http://www.farnell.com/datasheets/524467.pdf>. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 18.].
- [11] **Innodom kft., „Napenergia,”** [Online]. Available: <http://www.innodom.hu/energiatudatossag/napenergia>. [Hozzáférés dátuma: 2012. 10. 23.].