



M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Szélessávú Hírközlés és Villamosságtan Tanszék

Pápay Levente

GSE BERENDEZÉS FEJLESZTÉSE A SMOG-1 HALLGATÓI MŰHOLD KVALIFIKÁCIÓS TESZTJEINEK TÁMOGATÁSÁRA

KONZULENS

Dudás Levente

dr. Gschwindt András

dr. Seller Rudolf

BUDAPEST, 2016

Tartalomjegyzék

Összefoglaló	4
Abstract.....	5
1 Bevezetés	6
2 A Smog-1 fedélzeti rendszer ismertetése	8
2.1 Mechanikai szerkezet.....	8
2.2 Magas szintű rendszerterv	9
2.3 Funkcionális rendszerterv	9
2.4 Részletes rendszerterv.....	10
2.5 A fedélzeti számítógép felépítése	12
2.6 A kommunikációs és spektrummonitorozó alrendszer felépítése.....	13
2.7 Antennák	15
2.8 Az alrendszerek közötti kommunikáció.....	17
3 Az áramkör funkcionális terve	18
4 A tervezés részletes leírása	21
4.1 A kapcsolási rajz	21
4.2 Az NYHL megtervezése	31
5 Következő lépések	34
6 Ábrajegyzék.....	35
Irodalomjegyzék.....	36

HALLGATÓI NYILATKOZAT

Alulírott **Pápay Levente**, 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, 2016. 05. 26.

.....
Pápay Levente

Összefoglaló

Diplomatervem témája egy GSE (Ground Support Equipment) rendszer fejlesztése a Smog-1 hallgatói műhold számára. Egy olyan hardvert, és hozzá tartozó szoftvert kell fejlesztenem, mely alkalmas a műhold egyes alrendszereit letesztelni, hogy azok megfelelnek-e a műholdba történő beépítésre, valamint összeszerelés után is tudjon kommunikálni a fedélzeti számítógéppel.

Dolgozatom első részében ismertetem a műhold felépítését. Részletesen kitérek az egyes alrendszerek kommunikációs megoldásaira, és az energiaellátási módjukra. Ezeket azért részletezem külön, mert ezek azok a perifériák, amiket nekem összeszerelés előtt tesztelnem kell, így ezek megismerése elengedhetetlen a feladat megvalósításához.

A tervezés leírásában bemutatom, hogy hogyan épül fel a tesztelő alrendszer, azt lebontva az elemi modulokra, és kitérve azok működésére. Ugyancsak ebben a fejezetben mutatom be, és értékelem a mérési eredményeket is.

Első lépésben a tesztelő rendszer felépítését kellett kigondolni, hogy az alkalmas legyen az összes kívánt feladat végrehajtására. Miután ezzel megvoltam, és a fejlesztőcsapat többi tagjával és konzulensemmel is egyeztettem, álltam neki az áramkör megtervezésének. Miután ezzel elkészültem, újabb konzultációkat követően terveztem meg a nyomtatott huzalozású lemezt. A gyártást követően az élesztés következett, ahol az egyes logikailag elkülöníthető blokkokat a megfelelő sorrendben ültettem be, és ellenőriztem azok helyes működését.

A fejlesztés utolsó lépésében a szükséges mögöttes tesztelő szoftvert fogom elkészíteni. Ennek feladata, hogy kiválasztva az áramkörre kapcsolt alrendszert azon egy teljes funkcionális tesztet automatikusan le tudjon futtatni, és az előre definiált határértékek tükrében kiértékelve a mérési eredményeket meg tudja állapítani, hogy megfelelően működik-e az adott eszköz. A mérésen túl feladata a szoftvernek, hogy a mért adatokat archiválja, így a későbbiekben is megtekinthetővé tegye a mért eredményeket.

Abstract

The topic of my thesis is the development of a GSE (Ground Support Equipment) for the Smog-1 student satellite. I have been inventing both hardware and a software solution which can test the satellite subsystems and decide that they are suitable for the integration to the satellite.

The first part of the thesis is a description of the satellite structure focusing on the communication of subsystems and power supply solutions. These cognitions are indispensable to create an appropriate device to test the subsystems before integration.

As for the designing process, my project is first considered as an independent subsystem. Measurements will be presented and evaluated in Chapter I.

The first step was to specify the structure of the test system to be suitable for all required tasks. After this I will consult with the other developer and consultant, and I will start to design the system. After the design the PCB layout will be created. When the PCB is ready, the components will be soldered, and the correct operation will be checked.

In the last part of the development I will design the embedded software. After choosing the actual subsystem, a full functional test will run and from the pre-defined values it can be decided that the subsystems is working properly. The other task of the software is to save the measured values to evaluate the results later.

1 Bevezetés

A Masat-1, Magyarország első műholdja egy 10 cm x 10 cm x 10 cm-es élhosszúságú kocka alakú pikoműhold, mely 2012. február 13-án állt pályára. A műhold majdnem három évig üzemelt tökéletesen, mely után a fizikai élettartam lejárta miatt megsemmisült a légkörben.

A műholdfejlesztés ez után sem állt le, két különböző irány indult el a Masat-1 sikerei után. Az egyik az ipari irány, melynek során a csapat egy része szerződve az ESA-val (European Space Agency – Európai Űrügynökség) különböző alrendszereket fejlesztett, illetve fejleszt. A másik az oktatási vonal, a Smog-1 fejlesztése, mely főként hallgatók által fejlesztett műhold elkészítését tűzte ki célul. Ez egyben egy új technológiai kísérlet is.

Túlságosan sok érteleme nem lenne egy olyan műholdat létrehozni, ami semmi új mérési eredményeket nem szolgáltat számunkra, csak az alap telemetria adatokat tudjuk megfigyelni. Műholdunk küldetése a világűrbe kijutó földfelszíni forrású elektromágneses sugárzás vizsgálata a televízióadások frekvenciasávjában (430 – 860 MHz). Előzetes magaslégköri ballonos kísérletek alapján ebben a sávban jelentős feltérképezetlen sugárzás hagyja el bolygónkat, ami az űrbe kijutva elektroszmozogot képez. (Innen a műholdunk neve.) Mérési eredményeinket a későbbi antennatervezésben felhasználva csökkenthető ez a fölöslegesen kisugárzott energia.

Tehát műholdunk fő küldetése a fedélzeten elhelyezett UHF (Ultra High Frequency) sávban működő spektrumanalizátorral méréseket végezni, amellyel a digitális földfelszíni TV adók jelének szintjét fogjuk monitorozni a Föld körüli pályán való keringés során. A mérési adatok segítségével rádiófrekvenciás szennyezettségi térképet szeretnénk készíteni a Föld körüli térségtől.

SMOG-1 egy PocketQube szabvány méretű (50×50×50 mm) kisműhold, amelynek megtervezését és megépítését a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem hallgatói, oktatói és külsős kutatók végzik hasonlóan a MASAT-1 építéséhez. Egy PocketQube osztályú műhold új rekordot jelent az emberiség számára, mivel ilyen méretben még nem került fel működő műhold a világűrbe.

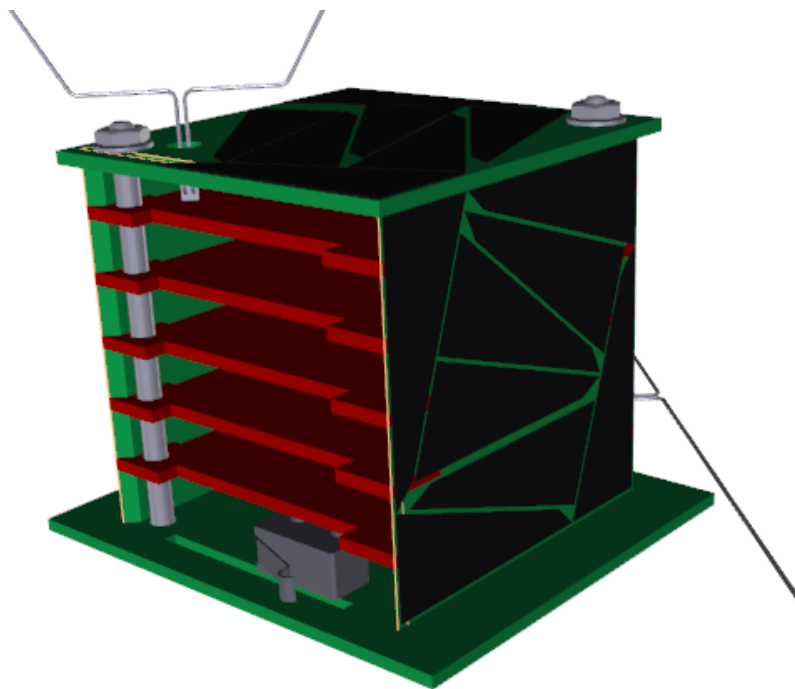
Dolgozatom témája egy olyan rendszer kifejlesztése, ami képes tesztelni az egyes alrendszereket a felélesztés után, és megállapítja, hogy azok tökéletesen működnek-e, és készen állnak-e a műholdba történő beillesztésre. Ezen felül olyan feladatokat is el kell látnia, hogy az összeszerelt műhold fedélzeti számítógépeivel tudjon kommunikálni, és azon keresztül további diagnosztikai felületet biztosítson a tesztek során, valamint a tesztek után az akkumulátort is képes legyen tölteni. Erre azért van szükség, mert a műhold elkészítését követően még hosszú idő telhet el adott esetben az integrálásig, valamint a felbocsájtásig, és mindenképpen arra kellene törekedni, hogy az akkumulátor teljesen feltöltött állapotban legyen, amikor a műholdunk működésbe lép.

2 A Smog-1 fedélzeti rendszer ismertetése

Ahhoz, hogy a megfelelő tesztelő áramkört tudjam elkészíteni, először is a műholdon található alrendszerek kommunikációjával, valamint az energiaellátó és elosztó rendszer működésével kellett alaposan megismerkednem. Ehhez nagy segítségemre voltak a témában készült TDK-k ([8], [9]), önálló laboratórium munkák ([5], [7], [9]), diplomatervek ([3], [6]) és egyéb publikációk ([1], [2]).

2.1 Mechanikai szerkezet

A műhold mechanikai vázszerkezete kritikus pontja az eszköz tervezésének. A rendkívül kicsit méretek és a kísérlethez és működéshez szükséges redundáns elektronika helyigénye miatt célszerű minden helyet kihasználni. Így adódott, hogy a szerkezet FR4-es anyagból legyen. Minden oldal, illetve belső lemez az említett anyagból készült el, így minden belső felületre kerülhet elektronika. A belső lemezek stabilitásáért az oldallemezen található bevágások, az oldallemezek stabilitásáért az alsó és felső lemezen található vágások felelnek. A szerkezet a nagyobb stabilitás érdekében további két menetes szárral lett ellátva a 2.1.1-es ábrának megfelelő módon.

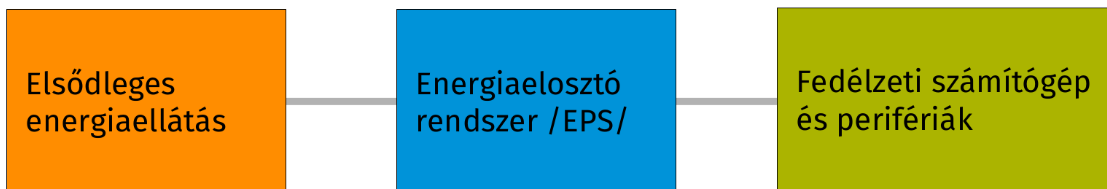


2.1.1. ábra: A Smog-1 mechanikai vázszerkezetének modellje [3]

Itt jegyzem meg, hogy a 2.1.1-es ábrán látható modell nem a végleges, mivel az antennák elhelyezése még kérdéses, de a mechanikai felépítést a kép jól tükrözi.

2.2 Magas szintű rendszerterv

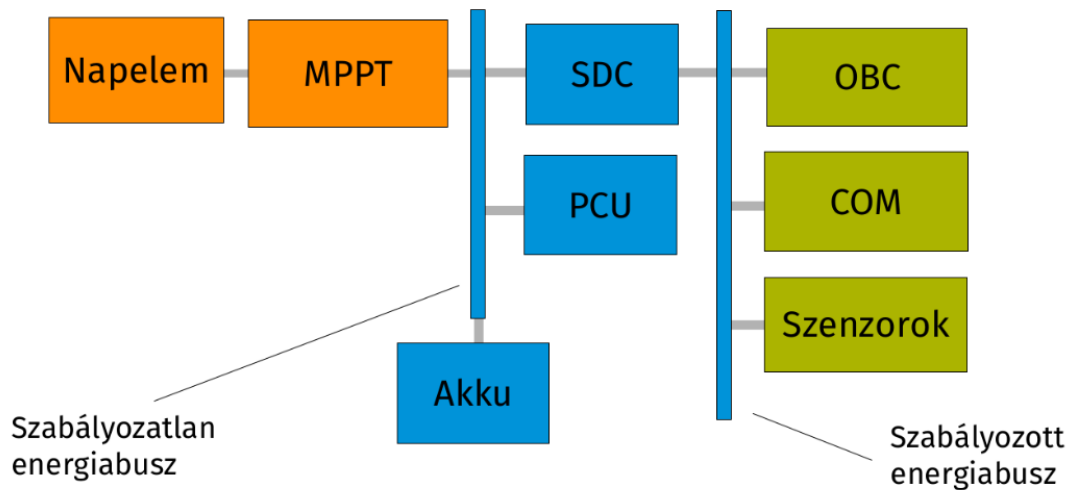
A műhold alapvetően három jól elkülöníthető egységből épül fel, amelyet az 2.2.1 ábrán is láthatunk. Az elsődleges energiaellátásért a műhold oldalain lévő napelemek felelősek, melyek MPPT (Maximum Power Point Tracker) áramkörrel ellátva táplálják a Smog-1-et. Az így bejövő energiát kezeli, tárolja, és alakítja át az energiaelosztó rendszer (EPS – Electric Power System). Ez állítja elő azokat a feszültség szinteket, amik szükségesek az egyes alrendszerek működéséhez.



2.2.1. ábra: Magas szintű rendszerterv [8]

2.3 Funkcionális rendszerterv

Az energiaelosztó rendszer tartalmaz egy akkumulátort az energia tárolására, egy PCU (Power Control Unit) egységet a programozott logikák megvalósítására és egy step-down konvertert, amely a fedélzeti számítógép és perifériái részére állít elő megfelelő feszültséget. Ezen áramkörök mindegyike megfelelő védelemmel (túláram és túlfeszültség, redundancia, stb.) vannak ellátva. A 2.3.1 ábrán (a redundáns párhuzam nélkül) látható a műhold blokkvázlata a lényeges funkcionális egységekkel.

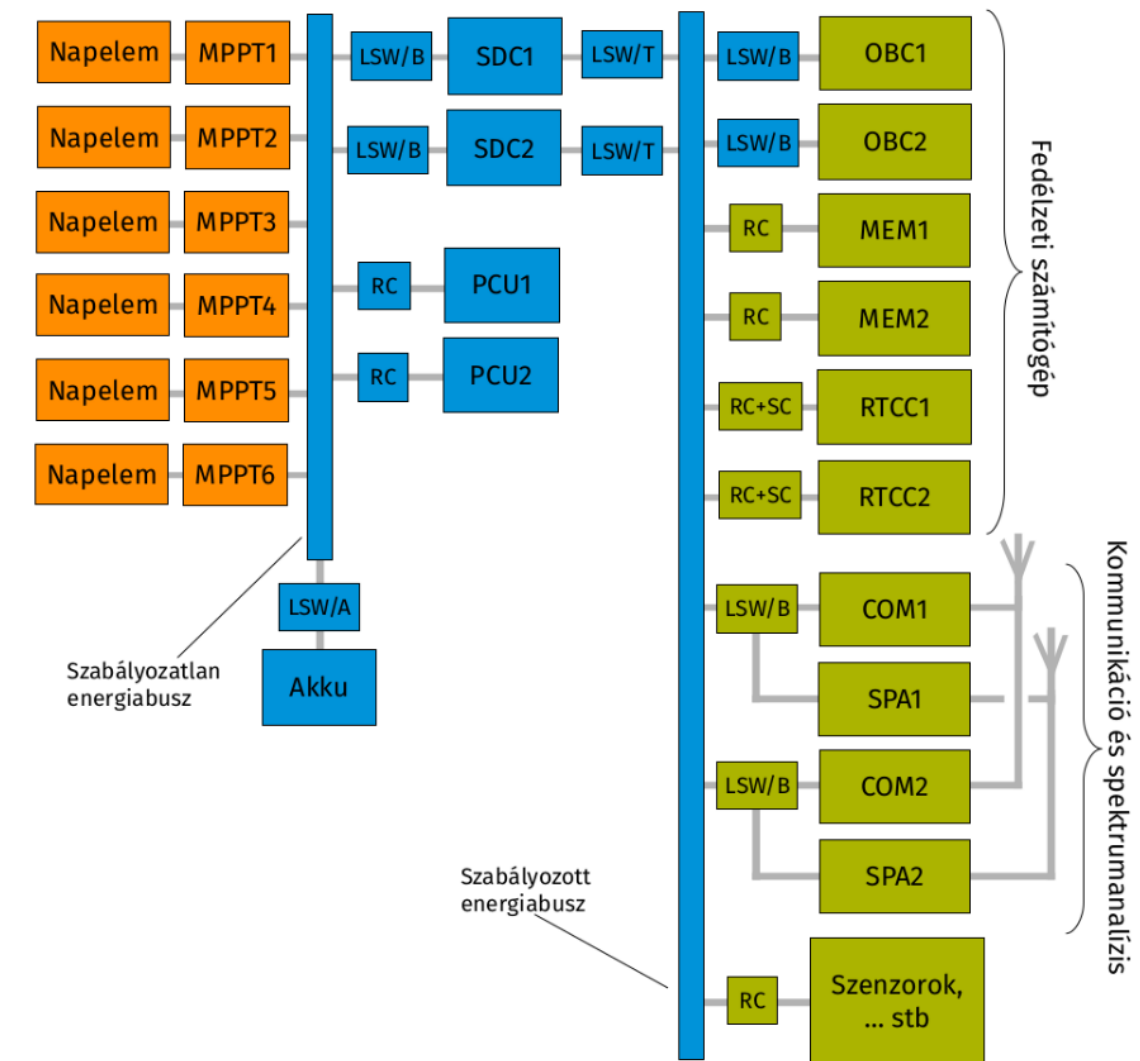


2.3.1. ábra: Funkcionális rendszerterv [8]

2.4 Részletes rendszerterv

A napelemek és az akkumulátor egy úgynevezett szabályozatlan energiabuszra vannak rákötve. Erről a buszról üzemel a PCU és az SDC (Step-Down Converter) is, ami már egy szabályozott energiabuszt hajt meg a kimenetén. A szabályozatlan energiabusz feszültsége tág határok között mozog az akkumulátor töltöttségi szintjétől függően (2,4 – 4,2 V). Ezzel szemben a szabályozott energiabuszra már csak olyan feszültség kerülhet, amit az egyes alrendszerek is jól tudnak kezelni (2,4 – 3,3 V).

A 2.3.1-es ábrát tovább bontva jutunk el a részletes rendszertervhez, ami a 2.4.1 – es ábrán látható.



2.4.1. ábra: Részletes rendszerterv [8]

Itt már figyelembe kell venni a redundáns párokat és a védelmi kapcsolókat is.

Ezekből többfélét különböztetünk meg: Az LSW/A az akkumulátor védelmét szolgálja a túl-, és alulfeszültség, valamint a túlárammal szemben. Az LSW/B egy áramkorlátozó kapcsoló, az LSW/T pedig azt akadályozza meg, hogy a szabályozott energiabuszra a megengedettnél nagyobb feszültség juthasson ki. Az alacsony fogyasztású rendszereket áramkorlátozó helyett csak RC tagokkal kötjük a buszra. Így ezek meghibásodása esetén sem fogják bedönteni a szabályozott buszt, mivel a soros ellenállás úgy van méretezve, hogy ez ne történhessen meg. Az ábrán látható RTCC (Real Time Clock and Calendar – Valós idejű óra és naptár) folytonos energiaellátásának biztosítására még szuperkapacitásokat is használunk, ezt jelöli az RC+SC rövidítés.

Az OBC-t (On-Board Computer – Fedélzeti Számítógép) alrendszert is szét lehet bontani még különböző részekre funkcionalitásuk szerint. Ezek a mikrokontrollerek, a hozzájuk tartozó flash típusú memória, valamint az előbb említett RTCC. Ilyen módon a kommunikációs és spektrummonitorozó alrendszer is tovább bontható COM (Communication – Kommunikációs) és SPA (SPectrum Anayzer – Spektrumanalizátor) részegységekre. Ezek közül az első a földi állomással történő kommunikációért felelős, a második pedig a műhold elsődleges kísérlete, a spektrummonitorozó áramkör. Itt az összetartozó COM és SPA redundáns párok egy közös antennát használnak. Ezek az antennák egymásra ortogonálisan helyezkednek el, hogy a minél inkább körsugárzó kommunikációs antenna iránykarakterisztikáját ne befolyásolja a spektrummonitorozásért felelős antenna.

2.5 A fedélzeti számítógép felépítése

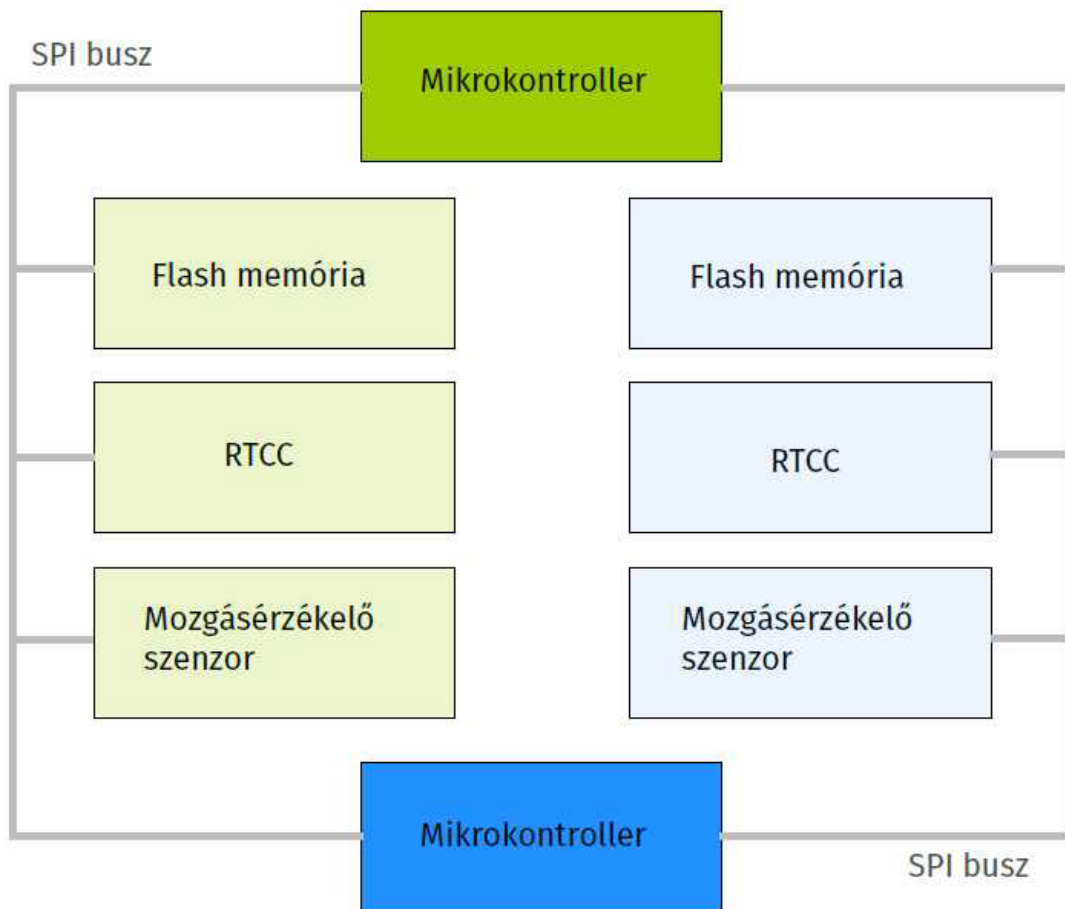
A műholdon a fedélzeti számítógép felelős a feladatok ütemezéséért, a mérési adatok feldolgozásáért, tárolásáért, valamint a földi állomástól kapott parancsok elvégzéséért. Ez a műhold központi egysége, minden alrendszer valamilyen kommunikációs csatornán elérhető számára. Ezek nagy része fél-duplex üzemű UART protokollt alkalmaz, melyhez elegendő alrendszerenként egy-egy mikrokontroller lábat használni, mert a használt kontroller hardveresen támogatja ezt. Ez redundancia szempontjából is kedvező, mert meghibásodás esetén nem hiúsul meg a kommunikáció a másik alrendszer felé.

Ahhoz, hogy a földi állomáson megfelelő pontossággal tudjuk kezelni a mérési eredményeinket, azokat időbélyeggel kell ellátni. Mivel ilyen körülmények között nem áll rendelkezésünkre GPS-t használni, így a nagy pontosságot az RTCC modul fogja biztosítani számunkra.

Háttértárolónak egy flash memóriát használunk, melyben 8 MB adatot tudunk rögzíteni. Ez elegendő egy napi mérés tárolására, így ha éppen aznap nem halad át a műholdunk a földi állomás fölött, akkor sem veszik el mérési adat.

Ezen kívül az OBC-n helyet foglal egy mágneses szenzort tartalmazó IC is. Ez arra szolgál, hogy a műhold orientációjára tudjunk következtetni, és a mért eredményeket az antenna iránykarakterisztikának megfelelően tudjuk súlyozni.

A felsorolt rendszerekkel a kommunikáció SPI-on keresztül történik, buszosított topológiában. Ennek felépítése látható a 2.5.1-es ábrán.



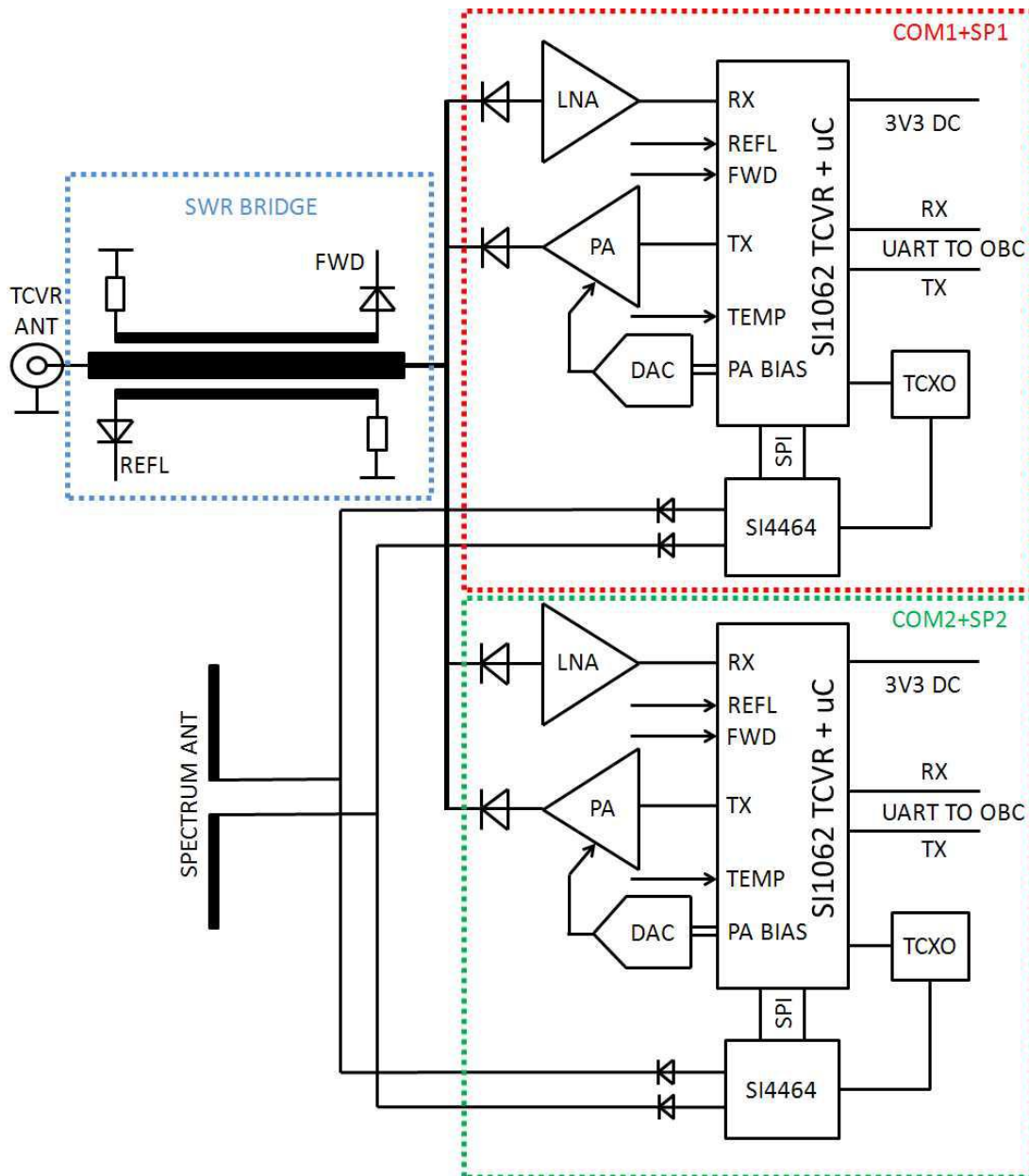
2.5.1. ábra: A fedélzeti számítógép kommunikációs blokkvázlata [8]

Az alrendszeren belüli kommunikáció tesztelésére, illetve monitorozására nem kellett az általam fejlesztett eszközt felkészíteni, de ennek ismerete szükséges a későbbi mérések elvégzéséhez.

2.6 A kommunikációs és spektrummonitorozó alrendszer felépítése

A kísérlet szempontjából legfontosabb részegységként a spektrumanalizátort (SP) emelném ki a műhold fedélzetéről. Ez az az alrendszer, amely az ötletből kialakult kísérletet elvégzi, vagyis a spektrumanalizist. Az összes többi alrendszer azért szükséges, hogy e modul működése zavartalan legyen.

A műszer egy si4464 típusú rádió adó-vevőn alapszik. Ez képes a DVB-T sávú műsorszórók frekvenciatartományában folytonosan hangolni a belső oszcillátorát, illetve képes a bejövő teljesítmény mérésére egy RSSI regiszteren keresztül 8 bites felbontással. Ezt az értéket rögzíti a fedélzeti számítógép a memóriába és küldi el a kommunikációs rendszer (COM) a földi állomásnak, amikor a műhold a földi állomásunk felett halad el.



2.6.1. ábra: A kommunikációs alrendszer blokkvázlata [3]

A COM feladata a földi állomással való kommunikáció megvalósítása a 70 cm-es amatőrsávban, azon belül is 437 MHz-en, lévén a Smog-1 egy rádióamatőr műhold. A feladatot egy, a spektrumanalizátorként használt IC-hez hasonló, de programozható

mikrokontrollert is tartalmazó IC-vel (Si1062) oldottunk meg. Ez fogadja a vezérlőparancsokat, sugározza a telemetria adatokat és mérési eredményeket, azonban a parancsok dekódolását, illetve végrehajtását már az OBC végzi el.

A redundáns COM blokkvázlata az 2.6.1-es ábrán látható. A redundáns pár ugyanarra a két antennára csatlakozik PIN diódákon keresztül, illetve az adóantenna elé egy csatolt tápvonal struktúrájú állóhullámarány-mérő került a kimenő és a reflektált teljesítmény mérése érdekében. Ez arra is szolgál, hogy a mért állóhullám arányból következtetni tudunk arra, hogy az antennanyitás sikeres volt-e. A vevő oldalon egy kiszajú előerősítő, adó oldalon pedig egy DAC által vezérelt teljesítményerősítő található. A belső szintézerhez szükséges órajelet az RF IC-k számára páronként egy TCXO biztosítja. Az OBC-vel való kommunikáció UART protokollon történik.

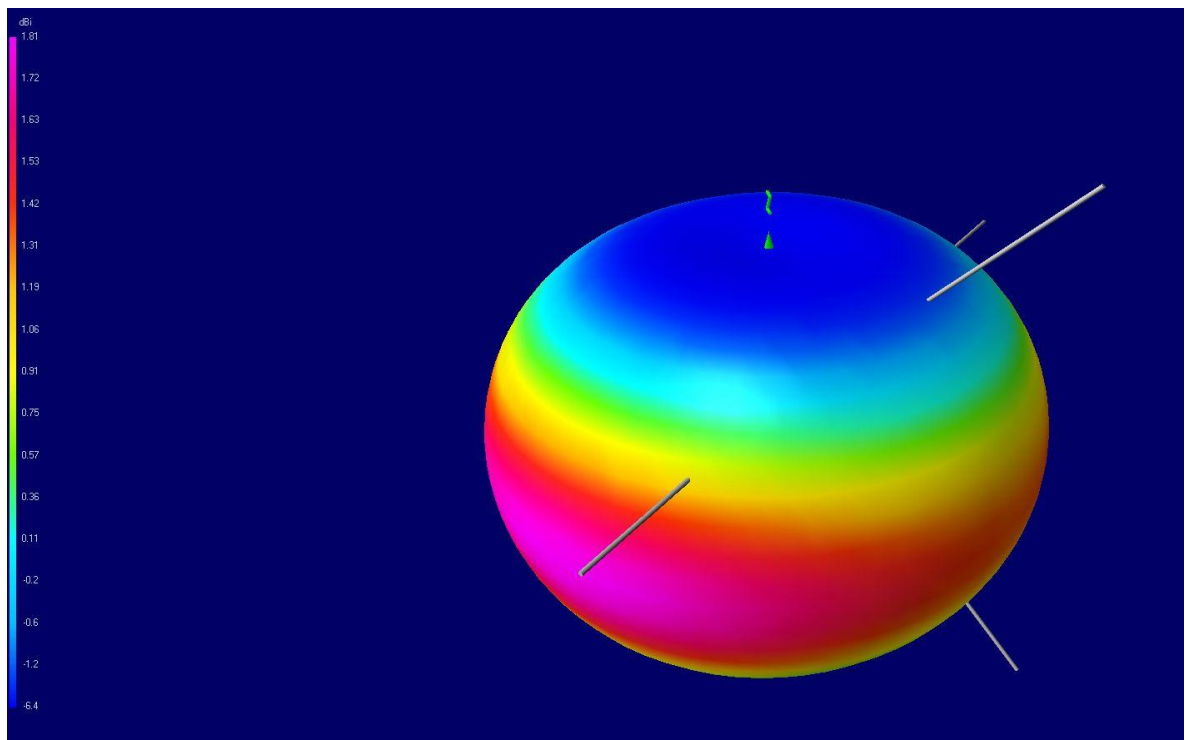
2.7 Antennák

A mérési kísérlet elvégzésére, valamint a földi állomással történő kommunikációra 1-1 külön antennát terveztünk a műholdra. Ezeknek számos elvárásnak kell megfelelniük. Az egyik ilyen a mechanikai igénybevétel. Mivel nem lehet tudni pontosan, hogy az összeszerelést követően a műhold mikor kerül felbocsájtásra, nem tudhatjuk, hogy addig hány napot kell az antennának becsukott állapotban töltenie. Tehát mindenképpen olyan anyagot kellett választanunk, ami hosszú tárolást követően is megőrzi a rugalmasságát, és képes felvenni a nyitást követően a kívánt alakját. Antennanyításra azért van szükség, mert a szállítást, és kiengedést végző pod-ban három műhold fog helyet kapni egymás fölött, és ezek egymás felületét nem sérthetik meg. Tehát az antennáknak mindenképpen csukott állapotban kell lenniük. Az optimális megoldás a szuperelasztikus Nikkel-Titán ötvözetből készült nitinol használata. Ennek kétféle változata is létezik. Az egyik a szuperelasztikus, másik pedig a „memóriával” rendelkező. Az emlékező nitinol 400-500 °C-on tanítható, és lehűlés után formázható meg a kívánt alakra. Ezt követően a betanított alakját 40-50 °C-ra történő felmelegítés után nyeri vissza. Az általunk választott másik, szuperelasztikus anyag főbb tulajdonsága az extrém kicsi hajlítási sugár, amelytől még nem szenved maradó alakváltozást. Ezt kihasználva az antennát a műhold köré, vagy annak vázába tekerhetjük, és damillal rögzíthetjük, melyet nyitáskor könnyedén elolvaszthatunk. A mechanikai elvárásokon kívül az antennáknak egyéb tulajdonságoknak is meg kell

felelniük, melyek a két antenna esetében nagymértékben különböznek. Az egyik antenna a tudományos mérést fogja szolgálni. Ennek a 400-800 MHz-es sávban kell használható talpponti impedanciát adnia, hogy hitelesek legyenek a mérési eredmények.

A kommunikációs antenna legfontosabb paramétere az iránykarakteristikája. Ennél törekedni kell arra, hogy a lehetőleg nullhely nélküli legyen, és minimális legyen a fluktuációja. Erre azért van szükség, hogy a műhold bármilyen orientációjában tudjon kommunikálni a földi állomással. Erre egy megfelelően kialakított V antennát használunk.

Az antennák elhelyezését úgy kell megoldani, hogy azok ortogonálisak legyenek egymásra. Erre részben azért van szükség, hogy az egyik ne hangolja el a talpponti impedanciáját a másiknak, valamint hogy ne torzítsák egymás iránykarakteristikáját. Erre a kommunikációs antenna a kényesebb, mivel ennek tervezésénél legfőbb paraméter a minél inkább izotróp iránykarakterisztika. Ezek figyelembe vételével kétféle antennaelrendezés került kiválasztásra.



2.7.1 ábra: A mérőantenna szimulált iránykarakteristikája [9]

2.8 Az alrendszerek közötti kommunikáció

Az összes alrendszer a fedélzeti számítógéppel kommunikál kizárólag, mivel ez felelős az adatgyűjtésért, és egyéb vezérlés kiadásáért, tehát elengedhetetlen, hogy ne tudjon minden alrendszerről információkat. Ez a kommunikáció a legtöbb esetben „one-wire” fél-duplex UART összeköttetéssel valósul meg. A redundancia biztosításáért minden redundáns alrendszer össze van kötve mind a kettő OBC egységgel, így összesen 4 független vonal van kiépítve.

Egyetlen alrendszer, ami kivételt képez ez alól a megoldás alól, az a COM. Ennek az az oka, hogy itt lényegesen több üzenet halad keresztül, mint a többi alrendszer felé, mivel a mért adatokat is el kell küldeni az OBC-nek, ami azok tárolását, feldolgozását, csomaggá alakítását végzi, majd visszaküldi a COM-nak, hogy az lesugározza a földi állomásnak. Ezen alrendszerek között megmaradt így a duplex UART, csak annyi módosítással, hogy kettő szál dróton van minden megoldva a redundáns alrendszerek között. Ez a megfelelő diódák és védőellenállásokkal van biztosítva, így bármelyik rendszer tönkremenetele esetén folytatódhat a kommunikáció ugyan azon a vonalon a másik, még működő rendszerrel.

A másik probléma, amit meg kellett oldani, hogy egyik alrendszer se táplálhasson meg egy olyan alrendszert a kommunikációs vonalon, aminek üzemszerűen nem kellene működnie. Mivel az integrált áramkörök általában minden bemenetükön rendelkeznek ESD védelemre szolgáló diódákkal, így a táp felé lévő dióda ki tud nyitni, amennyiben a lábán egy nyitófeszültségnivel nagyobb a feszültség, mint az IC tápja. Tehát kikapcsolt esetben az I/O lábán keresztül kaphat akkora feszültséget az IC, hogy elinduljon. Ez pedig nem kívánatos eseményeket idézhet elő. Ezért kellett minden alrendszerénél a megfelelő FET-es leválasztást alkalmazni.

Ugyan ez a probléma felmerült a COM rendszerrel történő összekötés során is. Ennek hozományaként egy olyan megoldás született, ami invertálja a TX vonalat. Ez az invertálás az OBC oldalán szoftveresen kezelhető, tehát nem szükséges semmilyen hardveres kompenzálást alkalmazni. Így a COM a ponált logikából TX oldalon inverzét képez, illetve az OBC által negáltan küldött adat a hardveres invertálásnak köszönhetően ismét ponált lesz. Tehát az OBC mind adás, mind vétel oldalon negált logikával dolgozik, amihez a COM oldalán a normál, ponált logika illeszkedik.

A kívánt intervallum végül a 2,4 - 4,2 V lett. Az alsó határ onnan adódott, hogy üzemszerűen ennél lejjebb semmiképpen sem engedjük meríteni az akkumulátort. Mivel a szabályozott busz tápegysége SDC kialakítású, így amennyiben a szabályozatlan busz feszültsége a kívánt érték alá csökken, az SDC-ben található FET folytonos vezetés állapotba megy át, és így a szabályozott buszra az akkumulátor feszültsége jut. Tehát ekkora feszültség még üzemszerű állapotban is ki tud jutni a buszra.

A felső, 4,2 V-os határt onnan kaptam, hogy a rendszeremnek alkalmasnak kell lennie arra is, hogy a szabályozatlan buszt szimulálva a PCU alrendszert táplálja. Így ez a felső korlát az akkumulátorcella maximális feszültsége.

Ez a tartomány lett végül felosztva 32 részre, ami az 5 adatvonalon állítható be. Ebből adódóan a lépésköz:

$$dU = \frac{4,2-2,4}{32} = 56,25 \text{ mV} \quad (1)$$

Ekkora felbontás elégnek adódott, hogy a szükséges funkcionális tesztek el tudjuk végezni az alrendszereken.

Körbenézve a piacon, egyik nagyobb gyártónál sem találtam olyan integrált áramkört, ami a kívánt tartományban digitálisan beállítható kimenettel rendelkezne. Alternatívaként még felmerült digitális potenciométer alkalmazása is a visszacsatoló ágban, de ugyancsak nem rendelkeztek annyira kecsegtető paraméterekkel, hogy felhasználjam őket. Így jutottam arra, hogy akkor egy normál, visszacsatolással rendelkező SDC-t egészítsek ki olyan kapcsolóelemekkel, amelyekkel a visszacsatoló hálózat osztásviszonyát tudom állítani. Erről részletesen majd a 4.2. fejezetben írok.

Az előállított feszültségeket azért mindenképpen célszerű visszamérni, mert az alkatrészek szórásából adódhatnak pontatlanságok. A másik mérendő paraméter az alrendszer által felvett áram. Ebben az esetben már találtam megfelelő áramkört, ami árammérésre lett tervezve.

Az előállított feszültséget külön-külön ki kell tudnom adni minden egyes alrendszernek, amelyik éppen rá van csatlakoztatva a GSE berendezésre. Ezt a blokkot jelöli a 3.1-es ábrán a SW doboz. Ez olyan kapcsoló FET-eket tartalmaz, aminek segítségével a fenti művelet elvégezhető.

Az egész rendszer vezérlését egy Raspberry Pi 2 végzi. Ez rendelkezik annyi GPIO (General-Purpose Input/Output) lábbal, amivel a szükséges vezérlőjelek

kiadhatók. Ezen felül hardveresen tudja a hagyományos, két vezetékes UART kommunikációt is kezelni. Mivel az alrendszerek többségével az OBC fél-duplex kommunikációt használ, így adódott, hogy azokat az egy szál vezetékeket érdemes majd úgy multiplexálni, hogy mindig a kívánt buszra legyen kötve a Raspberry. Ehhez viszont még szükség van egy olyan átalakítóra is, ami megoldja az áttérést a kétvezetékes és az egyvezetékes rendszer között. Ez található a 2W-1W blokkban. Hasonlóra van szükség a COM rendszer és a multiplexer között is. Azonban az mégsem ugyan ez a kapcsolat, mivel az előzőleg olvasható, ott vannak szükségmegoldásként FET-es inverterek is beiktatva.

A multiplexer vezérlése analóg címvezetéseken keresztül történik. Ahhoz, hogy minden alrendszerrel függetlenül alakíthassak ki összekötést, minimum 16 kimenettel rendelkező multiplexert kellett választanom. Ehhez tartozik a négy vezérlőláb.

A GSE rendszernek rendelkeznie kell olyan funkcióval is, hogy miután a műhold teljesen elkészült, és összeszerelt állapotban van, további diagnosztikai feladatokat, valamint az akkumulátor töltését is el tudja végezni. A diagnosztika az OBC-n keresztül fog történni, mivel ez az alrendszer van minden mással összekötve. A teljes tesztelhetőség érdekében mind a kettő OBC-vel ki lesz építve kommunikációs vonal, így a teljes rendszer tesztelhető marad. Ennek a bekötése is a már említett multiplexeren keresztül valósul meg.

Az akkumulátor töltésére egy külön Li-Ion, Li-Polimer töltésére szolgáló IC-t használok. A választott IC rendelkezik egy olyan bemenettel, ami lehetővé teszi, hogy a megfelelő ellenállást a láb, és a föld közé kapcsolva be tudjuk állítani a kívánt töltőáramot. A dinamikusabb felhasználás érdekében itt megint nem egy darab, fix ellenállást használtam, hanem az előbbi megoldással egyező módon, 3 vezérlő vonalon keresztül kapcsolókkal tudom beállítani, hogy az IC mekkora eredő ellenállást lásson a föld felé, így 8 lépésben szabályozható a töltőáram.

Az áramok, és feszültségek digitalizálására egy SPI buszon keresztül vezérelhető 8 csatornás, 10 bit felbontású ADC-t választottam.

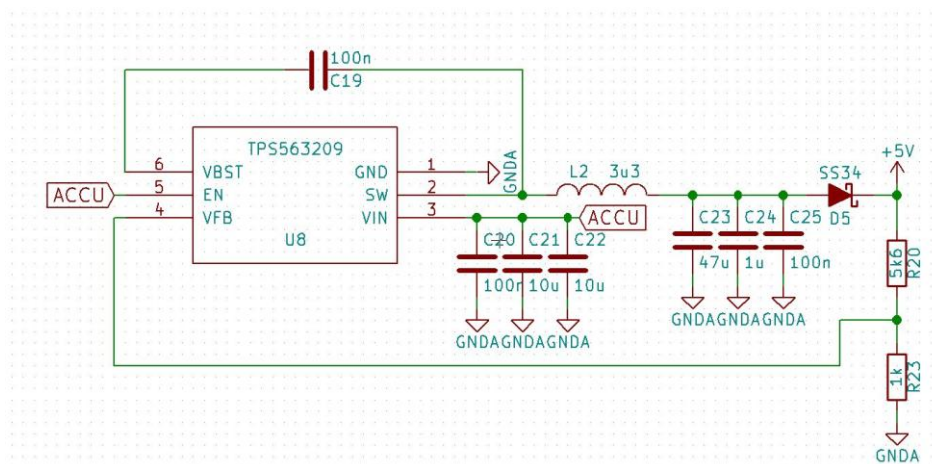
4 A tervezés részletes leírása

Az előző fejezetben már kifejtettem, hogy milyen blokkokból építem fel a hardveremet, és hogy hogyan jutottam el addig. Ebben a fejezetben az egyes blokkokat fogom ismertetni, kitérve a működésükre, és az adott megvalósításokra.

4.1 A kapcsolási rajz

Az egész áramkört a KiCAD [4] NYÁK-tervező programmal végeztem. Ez egy ingyenes, nyílt forráskódú szoftver, melyet a csapat többi tagja is használ. Mivel a program igen dinamikusan fejlődik, így érdemes volt a használatra.

Az áramkörrel szemben követelmény volt az is, hogy bizonyos funkciókat szigetüzemben is el tudjon látni. Ez annyit jelent, hogy ha nem áll rendelkezésre hálózati feszültség, akkor is például egy akkumulátortöltést, vagy monitorozást végre tudjon hajtani. Ezért szükség volt egy olyan tápegységre is, amelyik viszonylag tág bemenő feszültségből elő tud állítani a rendszer működése szempontjából elengedhetetlen 5 V-ot. Ennek kapcsolási rajza a 4.1.1-es ábrán látható



4.1.1. ábra: Az 5 V-ra szabályozó tápegység

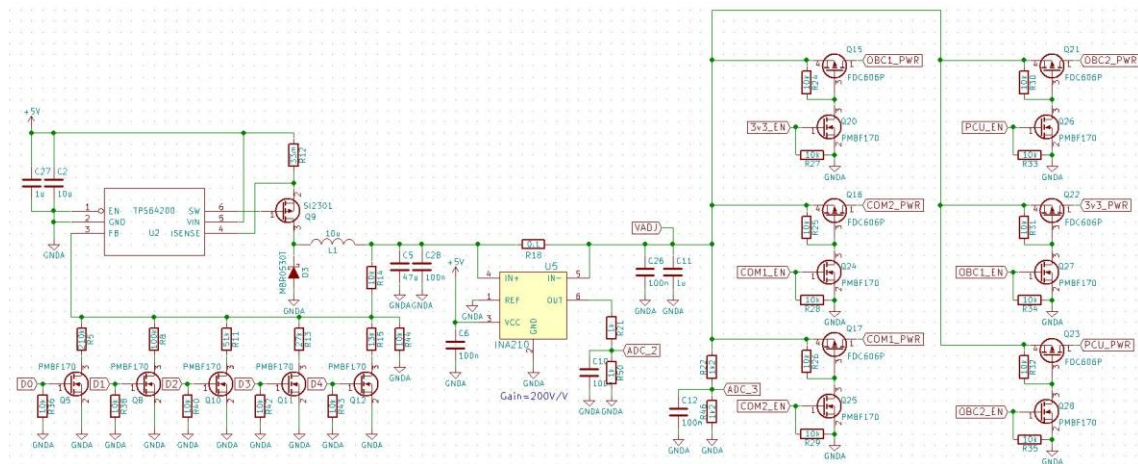
Erre a célra a Texas Instruments által gyártott TPS563209-es típusú integrált áramkört választottam. Ez az adatlapja szerint 3 A-es kimenő áramot képes kiadni magából, ami már bőven elegendő a Raspberry, valamint a kiegészítő áramkörök számára. Az IC rendelkezik beépített kapcsoló FET-ekkel, és egy szinkron Buck kapcsolást valósít meg. Ezzel a megvalósítással jó hatásfok érhető el, így az egész

áramkör egy SOT23-6-os tokba kapott gyárilag helyet. Az adatlapja szerint a maximális bemenő feszültség, amit elvisel 17 V, így adott esetben az elterjedt 12 V-os ólomakkumulátorról is képes üzemelni.

Az IC a felső félhíd kapcsolónak is N-FET-et használ, ezért van szükség a C19-es, Bootstrap kapacitásra, hogy az is ki tudjon nyitni.

Mivel az adatlap nem nyilatkozott arról, hogy mi történik az IC-vel, ha az nem a VIN lábán keresztül, hanem adott esetben máshonnan kap feszültséget, így szükségét éreztem a D5-ös dióda használatának. Erre a célra kis nyitófeszültségű Schottky diódát választottam. De mivel a terhelés függvényében ezen is jelentkezik különböző nagyságú feszültségesés, így a visszacsatoló áramkört a dióda után kötöttem be, ezzel kikompenzálva a nem kívánatos feszültségesést.

A másik tápegység, ami helyet kapott az áramkörön, a már említett szabályozható kimeneti feszültségű egység. Itt olyan tápegységet választottam, ismét a TI-tól, amilyen a műholdon is helyet kapott, ezzel bizonyítva, hogy alkalmas a feladatra. Ennek kapcsolási rajza látható a 4.1.2-es ábrán.



4.1.2. ábra: A szabályozható tápegység, az árammérő, és a kapcsoló FET-ek

Ez nem tartalmazza a kapcsolóeszközt, ezt egy külön P csatornás FET-tel kell megoldani. Mivel egy kimenettel rendelkezik, ez nem tudja megvalósítani a szinkron üzemet, így az induktívitás áramának folytonosságát biztosító eszköz egy Schottky dióda lett.

A választott FET-et az adatlap ajánlotta ehhez a teljesítménytartományhoz. Mivel eléggé jó paraméterekkel rendelkezett, így nem éreztem szükségességét, hogy

másikat keressek. A választott dióda ismét olyan típusú, ami a Smog-1-es PCU-ban már bizonyított.

A tápegység kimeneti feszültsége igen dinamikus szabályozható a visszacsatoló hálózat segítségével, adatlap szerint 1,8–VIN feszültségtartományban. Ennél fogva én is úgy oldottam meg a kimeneti feszültség digitális beállítását, hogy ez említett visszacsatoló áramkörbe tudok beavatkozni kapcsoló FET-ek segítségével, amiket a Raspberry vezérel. Erre a célra nem volt szükséges extra jó paraméterekkel rendelkező FET-eket választani. Ez alatt azt értem, hogy nem kell, hogy nagyon gyorsan át tudjuk kapcsolni őket, mivel úgylát a statikus feszültség fog számítani. Ezen felül a bekapcsolt állapotban 3 V Gate-Source feszültség hatására kialakuló Drain-Source csatornaellenállás 10Ω alatt marad, ami nagyságrendekkel kisebb, mint a visszacsatolásban használt ellenállások.

A visszacsatolt pont, és a test közötti kapcsolt ellenállások úgy vannak méretezve, hogy a teljes állapottér normálisan kihasználható legyen, azaz a 32 kapcsolási állapotban kialakuló kimeneti feszültség egyenletesen oszoljon el a kívánt feszültségtartományon.

A felhasznált induktivitást ismét az adatlap ajánlotta. Ennek fő paramétere a telítési áram, valamint az alacsony soros ellenállás. Ugyan itt már töredék akkora áramokkal kell dolgozni, mint az előző fokozatnál, mivel az alrendszerek lényegesen kevesebbet fogyasztanak, mint a Raspberry, de az előző tápegységnél bevált induktivitás típust alkalmaztam itt is.

A tápegységet követi egy sönt rendszerű árammérő, aminek segítségével az alrendszerek áramát tudjuk monitorozni. Ezt az INA210-es IC-t is a TI cég gyártja kimondottan áramméréshez. A széria több különböző erősítésű típussal rendelkezik, ezek közül a választott erősítése 200 V/V. Ez annyit jelent, hogy a sönt ellenálláson eső feszültséget 200 szorosára erősíti. Ez egy olyan optimumnak tűnt, aminek az erősítése még nem túlzottan nagy, tehát nem lesz nagyon zajos a kimenet, de mégis kellően kicsi sönt ellenállás használata is megfelelő, így nem lesz azon nagy feszültségesés.

Mivel most csak egy irányú áramokat szeretnénk mérni, az IC REF lábát célszerű a testre kötni. Az integrált áramkör kimenetére még elhelyeztem egy feszültségosztó és LPF (Low-Pass Filter, aluláteresztő szűrő) áramkört is, hogy az ADC-re a megfelelő szintű jel kerüljön. Az LPF-re azért van szükség, hogy egy

bizonyos értéknél nagyobb frekvenciájú zajokat kiszűrje, így az már ne juthasson el az ADC bemenetére. A szűrő töréspontjánál ügyelni kellett arra is, hogy azért az áramkör működése szempontjából fontos tranzienseket ne mossa el. A szűrő törésponti frekvenciája a következő:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi(R_{21} \times R_{50})C_{10}} = \frac{1}{2\pi(1k\Omega \times 1k\Omega) * 100nF} = 3183 \text{ Hz} \quad (2)$$

Ez megfelelő, hogy a nem kívánt zajokat kiszűrje, de az általunk hasznos tartományba eső jeleket átengedje.

A buszfeszültség monitorozása is az árammérő után van kialakítva, hogy a sönt ellenálláson eső feszültség még benne legyen a mérésben, hogy minél pontosabban tudjuk az alrendszerekre jutó feszültséget visszamérni. Ennél a mérésnél is az előzőekben tárgyalt szűrőt és feszültségosztót használok.

Ezt követi a kapcsolóhálózat, ami az egyes alrendszereknek tudja a tápfeszültségét kapcsolni. Ebben az esetben már nem volt annyira egyszerű a kapcsolóelemek kiválasztása. Itt a legfontosabb szempont az volt, hogy a bekapcsolt állapotban minél kisebb legyen a FET csatornaellenállás, hogy minimalizáljuk az eső feszültséget. Mivel itt felső kapcsolásról van szó, és nem nagyon áll rendelkezésünkre lényegesen nagyobb feszültség szint, mint a kapcsolni kívánt, így P csatornás FET-eket választottam. Ezek csatornaellenállás paramétere valamivel gyengébb, mint hasonló kialakítású N csatornás társaiké. A másik fontos paraméter a Gate-Source nyitófeszültség volt, hogy ilyen nagyságrendben is már megfelelően ki tudjuk nyitni az eszközt. A választott FET az FDC606P lett.

Amint az a 4.1.2-es kapcsolási rajzon is látható, a Gate meghajtása nem közvetlenül a Raspberry-ről történik, hanem egy további szintillesztő FET is közbe van iktatva. Erre azért van szükség, mert a Raspberry a GPIO lábain maximum 3,3 V-ot képes kiadni. Amennyiben a szabályozható tápegységünk kimenetén a maximális feszültség, 4,2 V van, akkor a 3,3 V-os magas szinttel is előáll 0,9 V-os Gate-Source feszültség. Mivel a FET threshold feszültsége adatlap szerint a 0,4 V-ot is elérheti gyártási szórástól függően, így a 0,9 V-os feszültségre már elképzelhető, hogy lenne annyira kicsi a csatornaellenállása, hogy egy alrendszer már el tudna indulni a rá eső feszültségtől. Ezért volt indokolt a szintillesztő fokozat használata. További előnye, hogy az egy fokozattal járó invertálás is így ki lett küszöbölve, mondjuk nem mintha szoftveresen ez nagy feladat lett volna.

Mint említettem már, az összeszerelt műhold esetén is az én általam fejlesztett rendszernek kell különböző diagnosztikai feladatokat ellátnia, valamint az akkumulátort töltenie, ha az szükséges. Erre a célra a Microchip által gyártott MCP73831-es típusú vezérlő áramkört választottam. Ez kimondottan Li-Ion, Li-Polymer akkumulátorokhoz lett fejlesztve. Ennél fogva olyan töltési eljárást alkalmaz, ami a legjobb az akkumulátornak. Ennek állapotgépe a 4.1.3. ábrán látható.

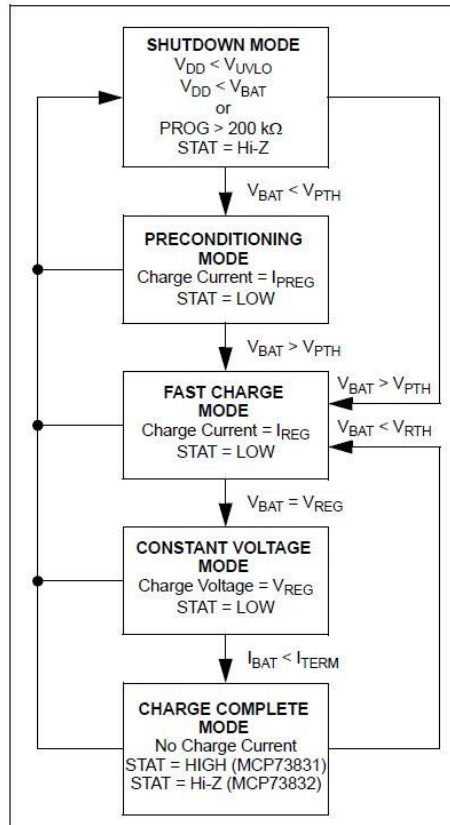
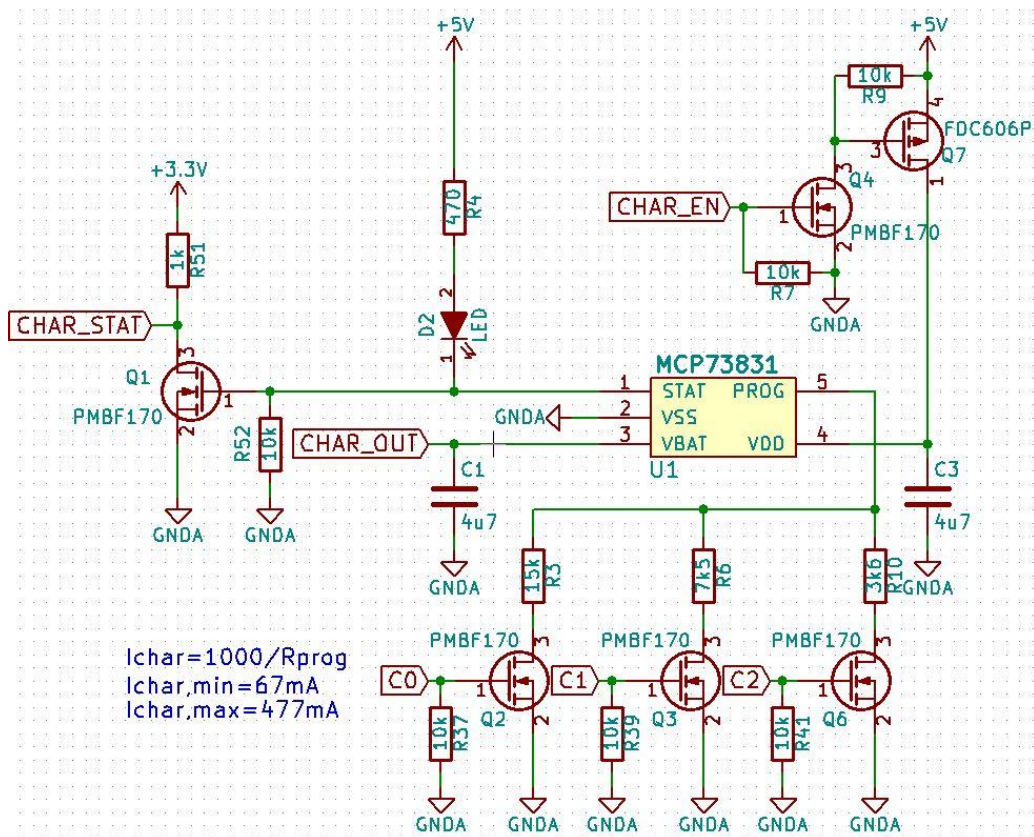


FIGURE 4-1: Flowchart.

4.1.3. ábra: Az akkumulátortöltő állapotgépe [11]

A töltés megkezdése előtt monitorozza az akkumulátor feszültségét, és megnézi, hogy nem merült-e le túlságosan. Amennyiben igen, akkor kis árammal kezdi el tölteni az akkumulátort. Ez feltétlenül szükséges, mert ha egyből az üzemi töltőáramát kapná meg, akkor az lényegesen rövidíteni az akkumulátor élettartamát. Ha elérte a szükséges szintet, akkor kezdi meg a CC (Constant Current, állandó áramú) töltést. Ezt az áramot lehetőségünk van nekünk beállítani egy külső ellenállás megfelelő méretezésével. Ahhoz, hogy minden helyzetben optimálisan tudjuk az akkumulátort tölteni, nem egy darab fix ellenállást helyeztem el a láb, és a test közé, hanem hasonlóan a szabályozható tápegységénél alkalmazott megoldáshoz, kapcsoló FET-ek segítségével tudom a vezérlővel digitálisan beállítani a töltőáramot. Itt most három kapcsolóelemet, és

hozzájuk tartozó ellenállást helyeztem el, így összesen 8 különböző töltőáramot tudok létrehozni. A teljes töltő kapcsolási rajz a 4.1.4-es ábrán látható.



4.1.4. ábra: Az akkumulátortöltő kapcsolási rajza

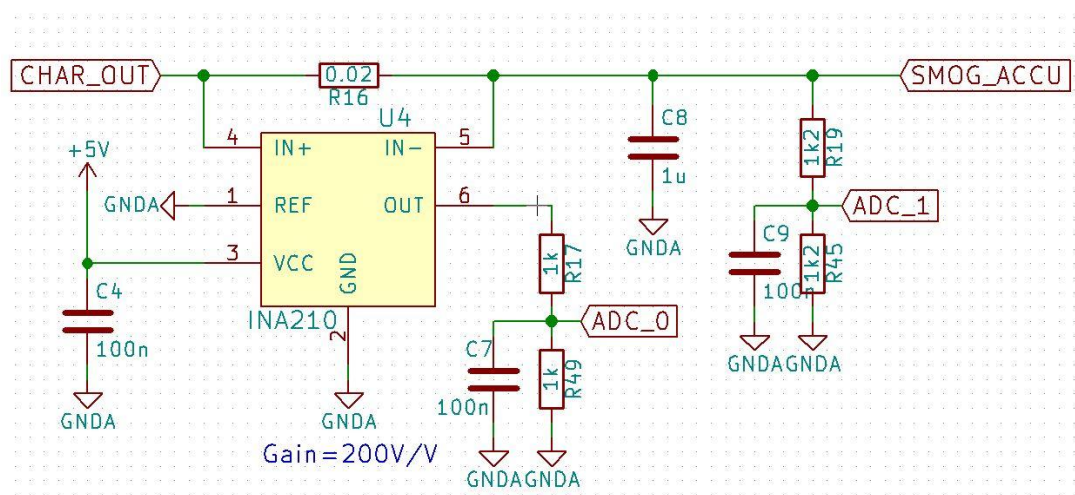
A konstans áramú töltést követően az IC automatikusan átvált CV (Constant Voltage, állandó feszültség) üzemi töltésre. Egészen addig, amíg az áram egy bizonyos szint alá nem csökken, az IC ebben az állapotban marad. Ezt követően az akkumulátor már feltöltöttnek tekinthető, és az IC leállítja a töltést. A tervezésnél az is szempont volt, hogy a töltést mi magunk is bármikor megszakíthassuk. Erre elvileg az IC is kínál egy lehetőséget, miszerint ha nincsen a PROG és a test közé ellenállás kötve, akkor a töltőáram is nullára csökken. Ennek ellenére egy vészmegoldásként úgy alakítottam ki a töltő tápfeszültségre kötését, hogy azt a Raspberry egyik GPIO lábával bármikor lekapcsolhassuk. Erre a már használt struktúrát alkalmaztam.

Az IC rendelkezik egy olyan kimenettel is, ami a töltés állapotát jelzi. Ezt egy megfelelő szintillesztővel a Raspberry-re kötöttem. Itt azért volt szükség szintillesztőre, mert a töltőáramkör a tápfeszültségéig húzza a kimeneti lábat, ellenben a Raspberry maximálisan csak 3,3 V-ot tűr el a bemenetén. Ezt a lábat kiegészítettem még egy

további LED-del is, hogy optikai tartományban is visszacsatolást szerezhessünk a töltés állapotáról.

Mivel a töltőáramkör nem közvetlenül az akkumulátorra csatlakozik majd, hanem a szabályozatlan buszra, így az azon található túlfeszültség, túláram védelmek is még képesek megvédeni az akkumulátort bármiféle meghibásodás esetén.

Mivel a STAT kimenet csak bináris információval szolgál nekünk, azaz csak annyit mutat, hogy befejeződött-e a töltés, vagy még nem, így egy további monitorozó áramkörrel egészítettem ki a töltőt. Ez figyeli az aktuális töltőáramot, és a szabályozatlan busz feszültségét. Így a töltés közben is van lehetőségünk nyomon követni az aktuális állapotot. Erre a 4.1.5-ös ábrán látható kapcsolást használtam.

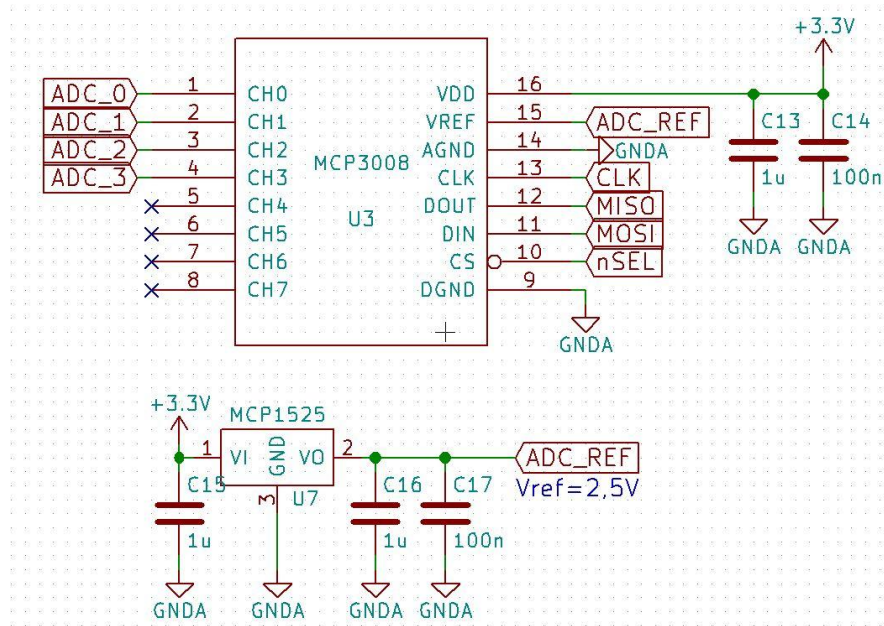


4.1.5. ábra: Az akkumulátor töltőáram mérésére szolgáló áramkör

Ez a már szokásos, alrendszerek által felvett áram mérésére szolgáló kapcsolás, ugyan úgy kiegészítve a megfelelő RC feszültségosztókkal és szűrőkkel. A feszültségmérés itt is az árammérő után van bekötve, hogy közvetlenül a szabályozatlan busz feszültségét mérhessük.

Itt is ugyan olyan típusú árammérőt használok, mint az előbbi esetben, csak valamivel kisebb értékű sönt ellenállást kellett használnom, mivel az akkumulátor töltőárama nagyobb is lehet, mint a legnagyobb fogyasztású alrendszeré.

A következő egység az analóg-digitális átalakító. Ennek segítségével digitalizálom az előbb említett feszültség és áram értékeket. Ennek bemeneteire természetesen már csak feszültségértékek jutnak. Az egység kapcsolási rajza a 4.1.6. ábrán látható.



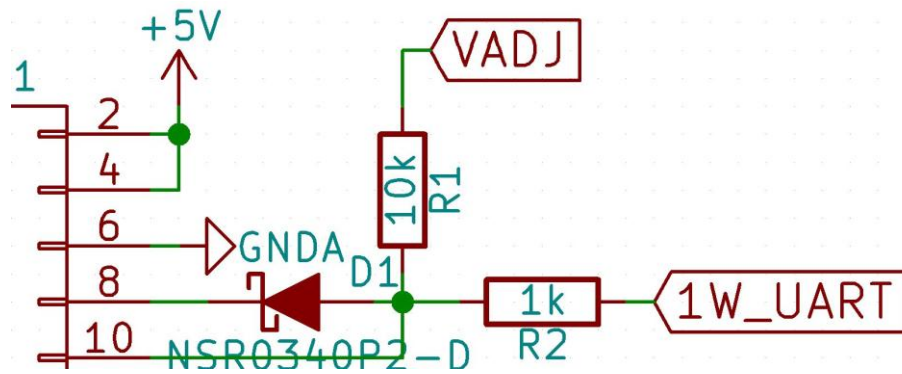
4.1.6. ábra: Az ADC és a feszültségreferencia bekötése

A választott típus egy Microchip által gyártott MCP3008. Ez 8 csatornával rendelkezik, és 10 bit felbontású. Mindkét paraméter tökéletesen elegendő számunkra. A mintavételi frekvencia a mi esetünkben nem annyira jelentős, mivel nem célunk a jelrekonstrukció. Amit tudnia kell, hogy a rövidebb, tranziens jellegű áramokat meg tudja mérni. Ilyen például a COM esetén egy csomag elküldése, amikor biztosan megnő annak az alrendszernek az áramfelvétele. Az adatlap szerint 5 V-os táplálás esetén a maximális mintavételi frekvencia 200 ksp/s (Kilo Sample Per Second), 2,7 V-os táp esetén 75 ksp/s. A mi esetünkben az IC 3,3 V-os táplálást kap, hogy az SPI interfész jól illeszkedjen a Raspberry szintjéhez. Ekkora feszültség mellett az adatlap nem adja meg a maximális mintavételi frekvenciát, de már a 75 ksp/s is biztosan elegendő.

Annak érdekében, hogy minél pontosabb legyen a mért érték, az ADC-hez külön feszültségreferenciát használok. Ez 3,3 V-os tápról állít elő stabil 2,5 V-ot. Ezt és az átalakító bitszámát felhasználva a felbontás a következő:

$$U_{LSB} = \frac{2,5 \text{ V}}{1024} = 2,4 \text{ mV} \quad (3)$$

Az utolsó áramkörü részlet, ami még nem mutattam be a kommunikációs vonalakat kiválasztó, és illesztő áramkör. Ennek elsődleges feladata, hogy a Raspberry normál duplex UART jeléből előállítsa a már említett fél-duplex UART jelet, hogy az illeszkedjen a műholdon kialakított kommunikációs rendszerhez. Ez a „nagy bonyolultságú” átalakító látható a 4.1.7. ábrán.

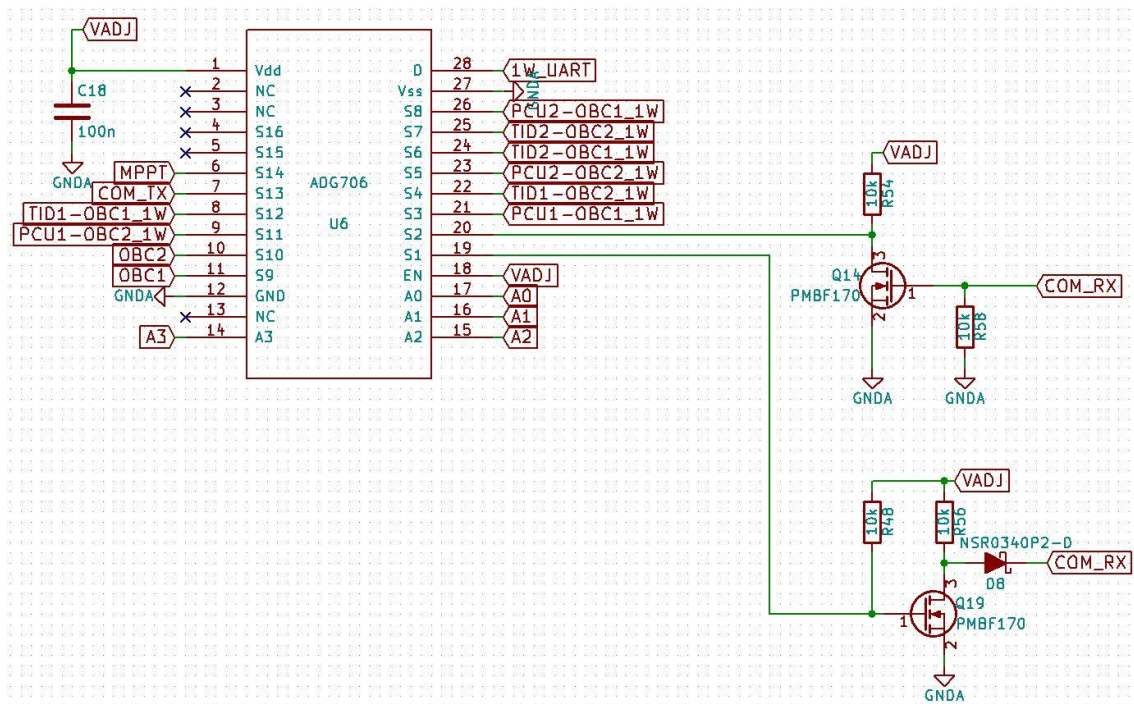


4.1.7. ábra: Duplex, fél-duplex UART átalakítás

A 4.1.7. ábrán látható kapcsolás bal oldalán látható egy részlet a Raspberry rendszerbuszából, ahol a számunkra érdekes 8-as és 10-es láb az eszköz UART TX-e, és RX-e ebben a sorrendben. Az átalakítás lényege, hogy az alaphelyzetben magas szinten lévő UART vonalat az adók csak lefelé tudják húzni, így azok nem teszik tönkre egymást. A magas szint beállításáról az R1-es ellenállás gondoskodik. Értelmes adatátvitel csak akkor lehetséges, ha a két adó nem ad egyszerre, innen is a fél-duplex elnevezés. A másik velejárója a megoldásnak, hogy az eszköz venni fogja a saját maga által küldött adatot, ezt is ilyenkor helyesen le kell kezelni.

Annak érdekében, hogy az alrendszerek az UART vonalon keresztül ne kaphassanak a tápfeszültségnél nagyobb jelszintet, az R1-es ellenállás az előállított buszfeszültségig húzza a vonalat. Mivel a Raspberry kommunikációs vonala 3,3 V-os, így a legkisebb tápfeszültség, 2,4 V is meghaladja a komparálási szintet, így ez nem okoz fennakadást. A 10 k Ω -os ellenálláson keresztül a Raspberry sem fog lényegesen több áramot befolyatni a lábain, ha a buszfeszültség meghaladja a 3,3 V-ot.

A multiplexer és a COM-OBC kommunikációs vonalra történő illesztést megvalósító áramkör a 4.1.8. ábrán látható.



4.1.8. ábra: A kommunikációs vonalak kiválasztására szolgáló multiplexer, és a szükséges átalakító a COM-OBC alrendszerekhez

Amint azt a 2.8. bekezdésben leírtam, a kommunikációs alrendszer és a fedélzeti számítógép közötti kommunikáció duplex UART vonalakon történik a nagy adatmennyiség miatt. A megfelelő buszosítás és illesztés érdekében mindkét alrendszer meginvertálja a TX vonalát. Ennél fogva ezt a tesztelő berendezésben nekem is el kellett követni. Ezt a célt látja el a 4.1.8. ábrán látható Q14 és Q19 N csatornás MOSFET. A két alrendszer között összesen két drót halad át, azok közül a COM modul RX vonalra csatlakozik az előbbi két FET, ezt jelöli a COM_RX címke. A COM TX vonalára az U6-os multiplexer 7-es lába közvetlenül csatlakozik. Ez azért megfelelő így, mert az invertálást végző FET az OBC áramkörön található.

Ha az OBC-vel beszélgetek, akkor a COM_TX vonalat én is adó vonalnak használok, és a ponált jelből az illesztő és leválasztó áramkör az OBC-n negált UART szintet generál. Az OBC mikrokontrollere úgy van konfigurálva, hogy az invertált UART-ot kezelje, így az előálló jel éppen megfelelő neki. Amennyiben az OBC küld adatokat, azt szintén invertálva teszi, ezért szükséges a Q14 használata, mely még egy inverziót elvégez, így a Raspberry számára használható jelet állít elő.

Amennyiben a COM alrendszerrel szeretnék kommunikálni, úgy az adást a COM_RX vonalra kell kiküldennem. Itt az eszköz negált logikát vár, ezt a Q19-es FET

valósítja meg. Vételre a COM_TX vonalat használjuk, ahol nem szükséges illesztést végezni.

Hamar beláthatjuk, hogy ez az egyetlen olyan kommunikációs vonal, ahol szükséges az adás és vétel között a multiplexert vezérelni, mert nem ugyan azon a vonalon történik a két esemény. E miatt a multiplexer kiválasztásánál az is fontos paraméter volt, hogy ezt a kapcsolást mennyi idő alatt tudja elvégezni. A másik fontos paraméter a kikapcsolt vonalak szivárgó árama volt. Ez azért érdekes számunkra, hogy azok az alrendszerek, akikkel éppen nem szeretnénk kommunikálni, és így tápegységet sem kapnak, véletlenül se indulhassanak el a MUX-ból kiszivárgó áram hatására.

4.2 Az NYHL megtervezése

Miután elkészültem a kapcsolási rajzzal, és egyeztettem a csapat többi tagjával is, hogy minden igényt képes-e kielégíteni, nekiláttam a nyomtatott huzalozású lemez megtervezésének. Erre a KiCAD PCBnew funkcióját használtam, azon belül is az OpenGL grafikus környezetet.

Sajnos az áramkör strukturálisan olyan felépítésű, hogy nehéz hozzá huzalozást tervezni. Ez abból adódik, hogy a rendszerbusz minden tápegység és kommunikációs vonalához hozzá kell férjek. Ugyan ez igaz a Raspberry-re is, melynek a feladat elvégzéséhez az összes GPIO lábát fel kellett használni. Tovább nehezíti a tervezést, hogy a kommunikációs és tápvonalak a rendszerbuszon nincsenek funkcionálisan egymáshoz közel elhelyezve, viszonylag szét vannak szórva. Így mindenképpen adódott, hogy szükség lesz a kétrétegű tervezésre.

Mivel ez csak egy tesztelő áramkör lesz, így nekem semmilyen méretbeli megkötésem nem volt, hogy mekkora legyen az elkészült áramkör, így ebben szabad kezet kaptam. Ennél fogva nekem sem volt célom, hogy minél kisebb helyre, adott esetben két oldalra helyezzem ez az alkatrészeket. Ehelyett inkább arra törekedtem, hogy az élesztésnél megfelelően tudjam mérni a szükséges vonalakat oszcilloszkóp vagy multiméter segítségével. Ebből is adódott, hogy megpróbáltam inkább a különálló egységeknek megfelelően elhelyezni az alkatrészeket.

Szerencsémre a felhasznált alkatrészek nagy részének footprint-je már megtalálható volt a KiCAD könyvtárakban, a buszcsatlakozó és az FDC606P FET kivételével.

A huzalozás tervezésénél próbáltam arra is ügyelni, hogy azok a vezetékek, amiken kvázi nagyobb áram folyik, tehát nem logikai szinthez szükséges áramok, legyenek minél vastagabbak, hogy minimalizáljuk a feszültségesést, valamint a veszteségeket és a melegedést.

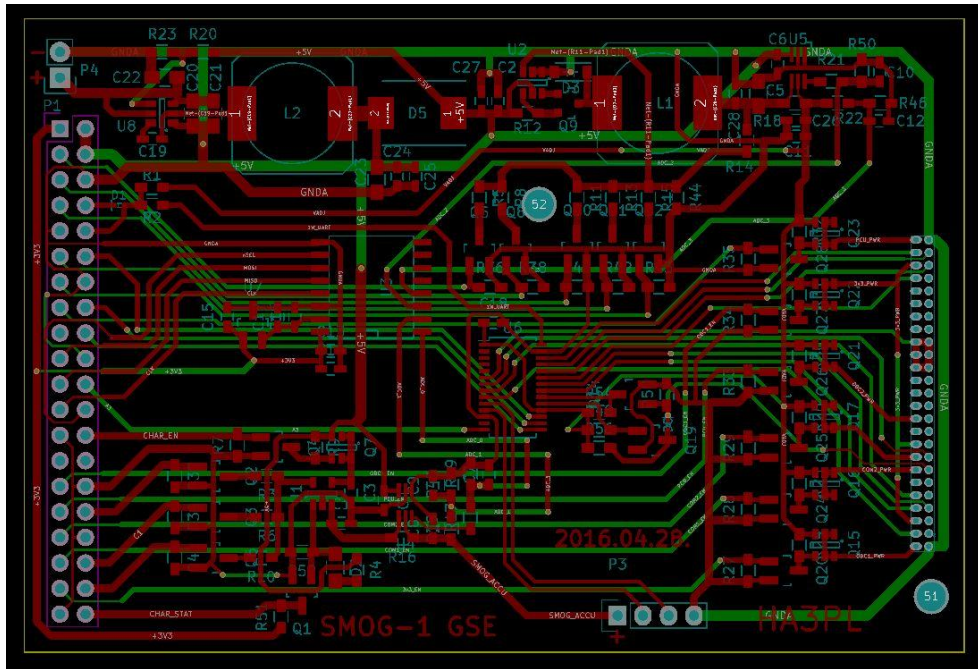
Technológiailag a legnehezebben gyártható rész a műhold rendszerbusz csatlakozójának hozzávezetései voltak, mivel a hátsó lábakhoz is hozzá kell férni, és a tűskék között mindössze 50 mil a távolság (ez 1,27 mm-nek felel meg). Természetesen a csatlakozó footprint-je is úgy lett megtervezve, hogy az első sorban nyújtott pad-eket használtunk, így azok között nagyobb lett a távolság. Így a hátsó sorról 7,87 mil-es vonallal (0,2 mm) tudtunk előre jönni, a pad és a vonal közötti távolság 0,15mm-re adódott.

A NYÁK-ra került még további két furat is, ami pontosan illeszkedik az alrendszereken található mechanikai rögzítő furatokhoz. Ennek a feladata, hogy amikor az egyes tesztelendő panelt a tesztelőre tesszük, vagy levesszük róla, akkor minél merőlegesebben tudjuk ezeket a műveleteket elvégezni, hogy a tűskesor ne sérüljön meg.

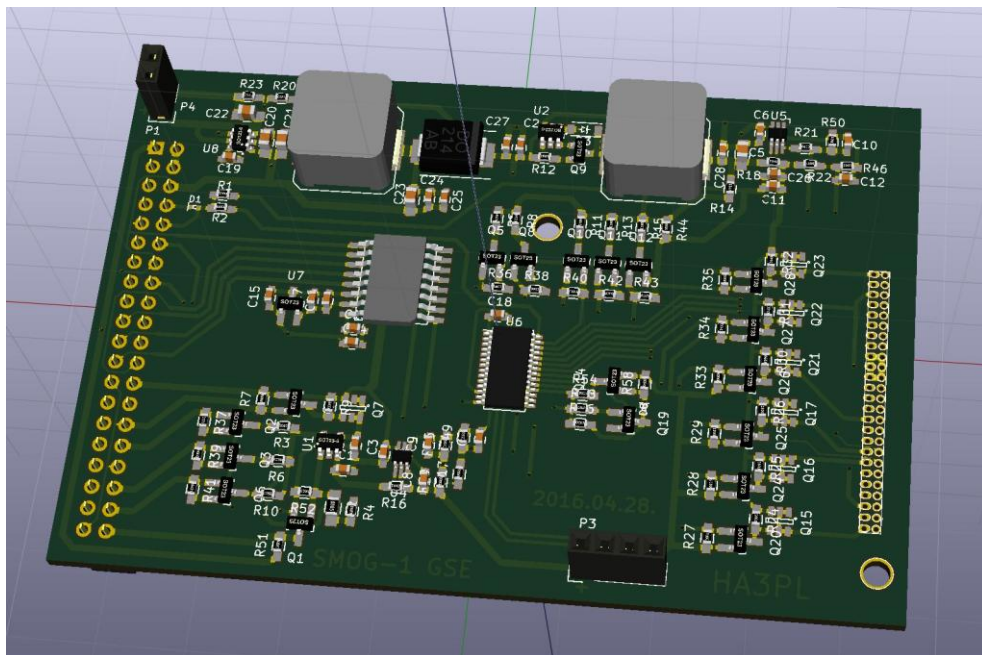
A tervezésnél még nagyban kellett figyelni arra is, hogy a kapcsolóüzemű tápegységeknél hová teszem a kapacitást. Itt mindkét esetben megpróbáltam minél jobban az adatlapban javasoltak alapján eljárni. Ez leginkább annyit takart, hogy a szűrőkondenzátorok essenek minél közelebb az IC lábaihoz. Ez főként az első tápegységnél fontos szempont, mert 650 kHz kapcsolófrekvenciánál már minden milliméter számíthat a szabályzókörnek.

Hasonlóan jártam el a feszültségreferencia, és a hozzá tartozó tápszűrések esetében is. Az összes alkatrészt a lehető legközelebb helyeztem el a táplálbakhoz, és az egész egységet közvetlenül az ADC REF bemenetéhez raktam.

A megtervezett NYÁK-ok kettő-, és háromdimenziós képe látható a 4.2.1-es és 4.2.2-es ábrán.



4.2.1. ábra: A megtervezett NYHL huzalozás



4.2.2. ábra: A NYÁK 3D képe a KiCAD segítségével

5 Következő lépések

A diplomatervezés első félévére az alrendszerek megismerését, a szükséges hardver megtervezését tűztem ki célul, melyet a félév során meg is valósítottam. A következő lépés az alkatrészek beültetését követően az áramkör felélesztése, és kalibrációja. Ebben a részben meg fogom vizsgálni a tápegységek zaját, a szabályozható kimeneti feszültségű tápegység kimeneti feszültségeit, valamint le fogom kalibrálni a visszaméréshez szükséges ADC-t. Az élesztés során vizsgálni fogom, hogy a kommunikációs vonalak elosztására illetve illesztésére megvalósított áramkör helyesen működik-e.

A hardver felélesztése és kalibrálása után állok neki a mögöttes szoftverek megírásának. Ennek során a Raspberry-n lévő UART és SPI perifériákat, valamint a GPIO lábakat kell C nyelven kezelnem. Ehhez minden fejlesztővel előre egyeztetnem kell, hogy milyen üzenetváltásokat szeretnének végezni. Amint ez megtörtént, utána tudom megvalósítani az alrendszerenként különböző, specifikus tesztek leprogramozását.

Az összeszerelt műhold teszteléséhez szükséges az OBC-1-gyel és OBC2-vel a diagnosztikai porton történő kommunikáció lefejlesztése is a többivel egy időben. Amikor már ez is helyesen működik, következhet az archiválást támogató programrész elkészítése, hogy a mért adatokat utólag is megtekinthessük, és értékelhessük.

6 Ábrajegyzék

2.1.1. ábra: A Smog-1 mechanikai vázszerkezetének modellje [3].....	8
2.2.1. ábra: Magas szintű rendszerterv [8].....	9
2.3.1. ábra: Funkcionális rendszerterv [8]	10
2.4.1. ábra: Részletes rendszerterv [8].....	11
2.5.1. ábra: A fedélzeti számítógép kommunikációs blokkvázlata [8].....	13
2.6.1. ábra: A kommunikációs alrendszer blokkvázlata [3]	14
2.7.1. ábra: A mérőantenna szimulált iránykarakterisztikája [9].....	16
3.1. ábra: A GSE rendszer blokkvázlata	18
4.1.1. ábra: Az 5 V-ra szabályozó tápegység.....	21
4.1.2. ábra: A szabályozható tápegység, az árammérő, és a kapcsoló FET-ek...	22
4.1.3. ábra: Az akkumulátortöltő állapotgépe [11]	25
4.1.4. ábra: Az akkumulátortöltő kapcsolási rajza.....	26
4.1.5. ábra: Az akkumulátor töltőáram mérésére szolgáló áramkör	27
4.1.6. ábra: Az ADC és a feszültségreferencia bekötése	28
4.1.7. ábra: Duplex, fél-duplex UART átalakítás	29
4.1.8. ábra: A kommunikációs vonalak kiválasztására szolgáló multiplexer, és a szükséges átalakító a COM-OBC alrendszerekhez	30
4.2.1. ábra: A megtervezett NYHL huzalozás	33
4.2.2. ábra: A NYÁK 3D képe a KiCAD segítségével.....	33

Irodalomjegyzék

- [1] Dudás Levente, *The Spectrum Monitoring System of Smog-1 Satellite*, MAREW 2015 konferencia
- [2] Dudás Levente, Szücs László, Gschwindt András, *A SMOG-1 kisműhold spektrummonitorozó rendszere*, 2015
- [3] Herman Tibor, *SMOG-1 Elsődleges energiaellátó rendszere*, MSc Diplomaterv, 2015
- [4] **KiCad** – *A Cross Platform and Open Source Electronics Design Automation Suite*
- [5] Géczy Gábor, *SMOG-1 Másodlagos Energiaállító Rendszere*, MSc Önálló laboratórium beszámoló, 2014 ősz és 2015 tavasz
- [6] Géczy Gábor, *SMOG-1 Másodlagos Energiaállító Rendszere*, MSc diplomaterv, 2015 ősz
- [7] Kristóf Timur, *PocketQube műhold fedélzeti számítógépének tervezése*, BSc Önálló laboratórium beszámoló, 2015
- [8] Kristóf Timur, *A SMOG-1 PocketQube műhold redundáns fedélzeti számítógépének hardver és szoftver fejlesztése*, TDK, 2015
- [9] Géczy Gábor, *SMOG-1 műhold központi energiaellátó rendszer és kísérleti doziméter tervezése*, TDK, 2015
- [10] Pápay Levente, *SMOG-1 antennanyitás*, MSc Önálló laboratórium 2, 2015 ősz
- [11] Microchip, <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/20001984g.pdf>, 2016 május