

M Ű E G Y E T E M 1 7 8 2

Budapest University of Technology and Economics

A REM-RED kísérlet elektronikai tervezése
Nagyfeszültségű tápellátás sztratoszferikus rakétán

Bényei Dániel Levente

Konzulens: Apáthy István

Budapest, 2015.

Bényei Dániel Levente: A REM-RED kísérlet elektronikai tervezése -
Nagyfeszültségű tápellátás sztratoszferikus rakétán

Copyright ©2015. All rights reserved ...

This document was typeset in L^AT_EX 2_ε.

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
1.1. A REXUS rakéta program [2]	4
1.2. A Stratos program [4]	5
1.3. A támogató intézet - MTA EK	5
1.4. A kísérlet célja	5
1.4.1. A számomra kitűzött feladat	6
2. A kísérlet tudományos és elméleti háttere	7
2.1. A sugárzási tér leírása	7
2.1.1. A felfedezés története [6]	7
2.1.2. A sugárzási tér jellemzése	8
2.1.3. A vizsgált magasságtartomány	8
2.2. A mérési elv	8
2.3. A szükséges feszültség szintek és előállításuk	10
3. Az elektronikai tervezés	11
3.1. A tervezési folyamat	11
3.2. Az áramkör működése	12
3.3. Kapcsolási rajzok tervezése	14
3.3.1. A függőleges GM-csövek tápegysége	14
3.3.2. A nagyméretű fekvő csövek tápegysége	14
3.3.3. A kisméretű csövek tápegysége	15
3.4. Nyomatott áramköri tervezés	16
3.4.1. A kisméretű, nagy GM-csöveket ellátó kártyák PCB tervei	16
3.4.2. A kisméretű GM-csövek kártyája	17
3.4.3. A nagyméretű, fekvő csövek kiszolgálása	18
4. A STRATOS rakétára tervezett kísérlet	20
5. Az áramkör tesztelése, bemérése	22
6. Összefoglalás	24
Függelék	24
A. Kapcsolási rajzok	25

Kivonat

A huszadik század egyik legnagyobb vívmánya az emberes űrrepülés megvalósulása. Jurij Gagarin óta több száz ember járt a világűrben különböző űreszközök fedélzetén. Hazánk első űrhajója, Farkas Bertalan több sikeres kísérletet is végrehajtott 1980-as repülése során. Ezek közül az egyik legfontosabb az őt érő sugárterhelés mérése volt, melyet a Pille dózismérő egység első verziójával végzett.

A kísérlet olyan jól sikerült, hogy a Pille felkerült a Mir űrállomás fedélzetére is, majd napjainkra az eszköz legújabb változata az ISS szolgálati rendszerének része lett. Az eszköz fejlesztését végző kutatócsoportnak nagy mennyiségű adat áll rendelkezésére az űrállomáson mérhető sugárzási térről, ám a felbocsajtás során elszennvedett dóziszról nincsenek pontos információink.

Az Európai Űrügynökség Oktatási Irodája számos programot működtet egyetemisták számára. Ezek közül az egyik legjelentősebb a REXUS/BEXUS, melyben több ízben is sikeresen vettek részt magyar csapatok. A MTA EK Űrdozimetriai Kutatócsoportja, a Pille fejlesztői által mentorált csapatok eddig két sikeres ballonkísérletet végeztek, de ezúttal rakétára pályáztak. A kitűzött cél a sugárzási tér vizsgálata Geiger-Müller számlálók segítségével a felszíntől számított 30-90 kilométeres magasságban. Ezt egyrészt a már említett REXUS rakéta, illetve a Delft University of Technology hallgatói által tervezett STRATOS rakéta használatával érhetjük el.

A korábbi ballonkísérletek során a Pilléhez hasonlóan termolumineszcens mérőegységeket használtak, melyekkel azonban nem lehetséges a sugárzás irányfüggésének vizsgálata. Ezt kiküszöbölendő, hat darab Geiger-Müller számlálót alkalmazunk, melyek közül három a rakéta tengelyével párhuzamosan, három pedig arra merőlegesen helyezkedik el.

A kísérlet elektronikai tervezésében vehettem részt. Pontos feladatomban a Geiger-Müller számlálók nagyfeszültségű tápellátásának megvalósítása volt. A mérőegységek eltérő mechanikai kialakítása miatt összesen háromféle kapcsolási rajz, és ezekből négyféle nyomtatott áramköri terv készült. A panelek legyártása után azok bemérésére került sor, majd a kísérlet összeszerelését követően számos egyéb tesztet végeztek a csoport tagjai, és az ESA szakértői is. Ezeken a kísérlet sikeresen átment, majd 2015. március 17-én repült az Észak-Svédországban található Esrange bázisról. Minden rendszerünk tökéletesen működött.

A STRATOS rakétára kerülő kísérlet hamarabb készült el, mert eredetileg 2014 őszén repült volna. A küldetés azonban a rakéta hajtóművének meghibásodása miatt meghiúsult, az ismétlésre várhatóan 2015. októberében kerül sor a Dél-Spanyolországban található El Arenosillo bázisról.

Dologzatom keretében bemutatom a választott áramköri elrendezést, annak működését, majd ismeretemet a tervezés folyamatát, végül foglalkozom az elkészült panelek bemérésével.

Abstract

Space travel is one of the biggest achievement of the 20th century. Hundreds followed Jurij Gagarin in his footsteps, and others will do so in the future. Hungary's first astronaut, Bertalan Farkas carried out several experiments during his travel on Salyut-6 in 1980. One of the most important of these was the usage of the Pille dosimeter, which recorded the radiation dose absorbed by the astronaut.

The equipment performed so well that later an advanced model carried out countless measurements on board Mir space station. Nowadays the latest version became part of the service system in the Russian modules of the ISS. The developer team has a large amount of data about the radiation field on the Station, but they don't know the behaviour of the field during launches.

Education Office in European Space Agency has many programs for university students. One of them is REXUS/BEXUS in which many Hungarian student team participated in the past years. The Space Dosimetry Group of Hungarian Academy of Sciences, Centre for Energy Research, with engineers who developed Pille, has mentored two successful balloon missions. This time the team applied for a rocket to carry the experiment. The main objective of the experiment is to measure cosmic radiation with Geiger-Mueller tubes at altitudes from 30 to 90 kilometers. This region can be reached by a REXUS rocket provided by ESA, SNSB and DLR, or a STRATOS rocket developed by university students at Delft University of Technology.

During the previous balloon experiments, the team used thermoluminescent dosimeters similars to those ones in Pille, but this method doesn't provide information about the direction dependence of the radiation field. In order to overcome this problem we used six Geiger-Mueller tubes, three of them are parallel with the axis of the rocket and the other three are orthogonal to the axis.

My role in the project was to plan and build a circuit that can supply the Geiger-Mueller tubes with the necessary high voltage. Due to the different mechanical outline, three different schematics were drawn for four different PCB designs. The panels were tested at the laboratory of Space Dosimetry Group after they were manufactured. The performance of the full equipment was tested many times by experts from ESA. The setup passed all tests successfully. The REXUS rocket was launched 17th March 2015 from ESRANGE base in Northern Sweden.

One of the manufactured panels was designed for the STRATOS rocket which was scheduled for launch during the autumn of 2014 from El Arenosillo launch facility in southern Spain. Due to malfunction in the rocket, the launch was postponed until October 2015.

In the present paper I introduce the chosen circuit, its principles and the design process. Finally I talk about tests performed in order to verify our design.

1. fejezet

Bevezetés

Az űr a végső határ. Az emberiséget évszázadok óta foglalkoztatja a gondolat, hogy vajon mi rejlik a bolygónk határain túl. Talán a filmek, talán a kihívás ösztönzött arra, hogy komolyabban érdeklődjek az űrkutatás iránt, s tanulmányaim során kapcsolatba kerültem a Magyar Tudományos Akadémia Energiatudományi Kutatóintézete Űrdozimetriai Kutatócsoportjával. A csoport mentorálásával végett szakmai gyakorlatom során egy dozimetriai kísérlet elektronikai tervezésében vehettem részt, melynek folyamatát és eredményeit fogom ezen dolgozat keretein belül bemutatni.

Bolygónkat folyamatosan terheli a Naptól és a távoli kozmoszból érkező kozmikus sugárzás. A Föld mágneses tere megvédi a felszínt, de a sugárzási tér leírása nagyon komplex feladat. Mindenképpen szükségesek a mérési adatok a felszíntől számított 30-90 km-es magasságtartományból.

Az elmúlt öt évtized során számtalan űrutazásra került sor, ám a személyzetet érő dózisterhelésről nincsenek pontos információink az említett magasságtartományból. A Kutatócsoport már sikeresen végzett sugárzásmérést ballonok segítségével, ám ezek nem jutottak 30 kilométernél magasabbra. A csoport kitűzte a célt, hogy olyan mérőegységet tervezzen, amely egy rakétán is kellően pontos méréseket tud végezni, így fontos adatokhoz juthat az eddig viszonylag ritkán vizsgált magasságtartomány sugárzási terére vonatkozóan.

Kísérletünk, a **R**ocket **E**xperiment to **M**easure the **C**osmic **R**adiation and **E**stimate its **D**ose **C**ontribution (**REM-RED**) célja a kozmikus sugárzás mérése a felszíntől számított 30 km-t meghaladó magasságban Geiger-Müller (GM) számlálók segítségével. A fejlesztés során figyelembe vettük a későbbi felhasználás lehetőségét is. A mérőegység egyes elemei akár önállóan is képesek végrehajtani feladatukat, így egy komplett dozimetriai egység építőköveivé válhatnak.

Először ismertetem a kísérletnek keretet és lehetőséget biztosító programokat, valamint a támogató intézetet, és bemutatom az általam megvalósított áramkört. Leírom a kapcsolás működési elvét, majd ismertetem a tervezési folyamatot, végül pedig a tesztelés és az éles helyzetben végrehajtott mérés eredményeit.

1.1. A REXUS rakéta-program [2]

Az Európai Űrügynökség (ESA) Oktatási Irodája által mentorált REXUS program lehetőséget teremt arra, hogy európai felsőoktatási intézmények hallgatói megtervezhessenek és megvalósíthassanak valamilyen kutatórakétát igénylő tudományos-technikai kísérletet. Évente két rakétát indítanak, melyek akár tíz ilyen kísérletet is hordozhatnak.

A REXUS alap gondolata az, hogy kísérleti platformot és tapasztalatot nyújtson az űrkutatás iránt érdeklődő európai egyetemi hallgatóknak. „*A tanulás iránti motiváción kívül a diákok tapasztalatot szereznek a tudományos műszerek tervezése, a csapatmunka és a menedzsment területén, melyek fontos alapot szolgáltatnak későbbi pályafutásukhoz*”. Maga a rakéta-program egy, a Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR) és a Swedish National Space Board (SNSB) közötti bilaterális szerződés keretében működik. A rakéta hasznos terhének rá eső részét az SNSB elérhetővé tette más országok hallgatói számára az Európai Űrügynökséggel történő együttműködés keretében.

A kampány menedzseléséért, valamint a rakéták működtetéséért felelős szervezet az EuroLaunch, melyben svéd oldalról az *Esrange Űrközpont*, míg a DLR oldaláról a *Mobile Rocket Base (MORABA)* vesz részt. A diákcsoportok részére a technikai támogatást a DLR, az SSC (Swedish Space Corporation), a ZARM (Center of Applied Space Technology and Microgravity) és az ESA

szakértői biztosítják. A felbocsátás az Észak-Svédországban található SSC Esrange Űrközpontból történik. [3]

1.2. A Stratos program [4]

A Stratos egy, a holland Delft University of Technology hallgatói által végzett diákprojekt. A cél, hogy végül egy teljes mértékben diákok által tervezett, hasznos teherként tudományos műszereket hordozó rakétát juttassanak a világűrbe (100 km-es magasságba). Maga a rakéta a DARE (Delft Aersopace Rocket Engineering)-n belüli különálló csoportok (Hybrid propulsion group, Capsule and Recovery group, Electronics group és Simulations group) közötti együttműködésben valósul meg.

A Stratos I rakéta 2009-es sikeres startját követően a csapat az 50 km-es magasság elérését tűzte ki célul, mint a világűr elérésének következő mérföldkövét. 2012-ben az Airbus Defense és a Space Netherlands lett a csapat két fő támogatója. 2014-ben a csapat megkísérelte elindítani a Stratos II rakétát, ez azonban a fő üzemanyagszelep befagyása miatt meghúsult. A továbbfejlesztett Stratos II+ rakéta startjára a tervek szerint 2015 októberében kerül sor Dél-Spanyolországban. Ezen csapatunk a REXUS rakétára szánt kísérlet modelljét helyezi el, erről később írok részletesen.

1.3. A támogató intézet - MTA EK

Magyar részről csapatunk támogatója az MTA EK Űrdozimetriai Kutatócsoport (továbbiakban Intézet), ahol helyet és eszközöket biztosítanak számunkra a megvalósításhoz, illetve a kutatók szakmai tapasztalatukkal segítik munkánkat. Különösen fontos, hogy konzulenseink évtizedes tapasztalatokkal rendelkeznek űreszközök fejlesztése területén. A kutatócsoport tervezésében készült számos tudományos műszer műholdakra, bolygóközi szondákra, illetve a Nemzetközi Űrállomásra (ISS). Ez utóbbi a Pille dózismérő egység, mely Farkas Bertalan űrrepülése alkalmából készült, s továbbfejlesztett változata napjainkra az ISS szolgálati rendszerének része lett. E mellett két alkalommal repült a Kutatócsoport tervezésében készült három tengelyű dózismérő egység, a TriTel.[5]

A szondákra készült műszerek közül megemlítendő a közelmúltban sikeresen lezajlott Rosetta misszió keretében fejlesztett plazma- és pormérő egység, mely elsőként végzett méréseket egy üstökös felszínén.

1.4. A kísérlet célja

Kísérletünk, a **R**ocket **E**xperiment to **M**easure the **C**osmic **R**adiation and **E**stimate its **D**ose **C**ontribution (*REM-RED*) célja a kozmikus sugárzás mérése a felszíntől számított 30 km-t meghaladó magasságban Geiger-Müller számlálók segítségével.

A REM-RED kísérletben azt tűztük ki célul, hogy az Intézet támogatásával megvalósult két korábbi ballonkísérlet (**C**ombined Tritel/Pille **C**osmic **R**ADiation and dosimetric measurements - *CoCoRAD* és Complex Balloon **T**ECHnology Platform for Advanced Cosmic Radiation and **D**OSimetric **M**Easurements - *TECHDOSE*) eredményeit kiterjesszük. Csapatunk a ballonoknál nagyobb magasság elérésére képes rakétán helyezi el az újratervezett mérési elrendezést, mivel a 30 és 90 km közötti magasságtartomány sugárzási szempontból nem eléggé kutatott.

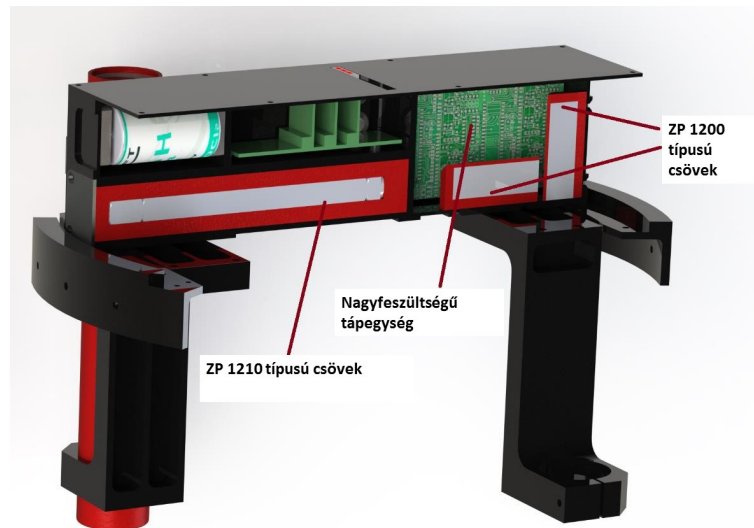
A Kutatócsoport korábbi tapasztalatai és szakirodalom alapján megállapítottuk, hogy mérésünk elvégzéséhez számos elv és eljárás áll rendelkezésre, ám rakétán történő alkalmazásuk esetén nem biztosítanak kellően finom időbeli felbontást. A repülés teljes időtartama kevesebb, mint 5 perc, tehát használható mérési eredményekhez legalább másodperces felbontású eljárást kell alkalmaznunk.

A sugárzási szint és a dózisteljesítmény meghatározásának legegyszerűbb módja Geiger-Müller számláló (GM-cső) alkalmazása. A kialakult mérési összeállításban összesen hat darab GM-csövet alkalmazunk a 1.1 és 1.2. ábrán látható elrendezésben, melyek páronként merőlegesek egymásra, ezáltal lehetőség nyílik a sugárzás irányfüggésének meghatározására. E mellett szempont, hogy az érzékelők összetérfogata, és ezáltal a mérés érzékenysége jelentősen megnő, így nagyobb eséllyel tudjuk detektálni a beérkező sugárzást. A választott számlálók holtideje, ami a legnagyobb késleltetés jelenti két mérés között, a milliszekundumos tartományba esik, tehát biztosítani tudjuk a szükséges időbeli felbontást.

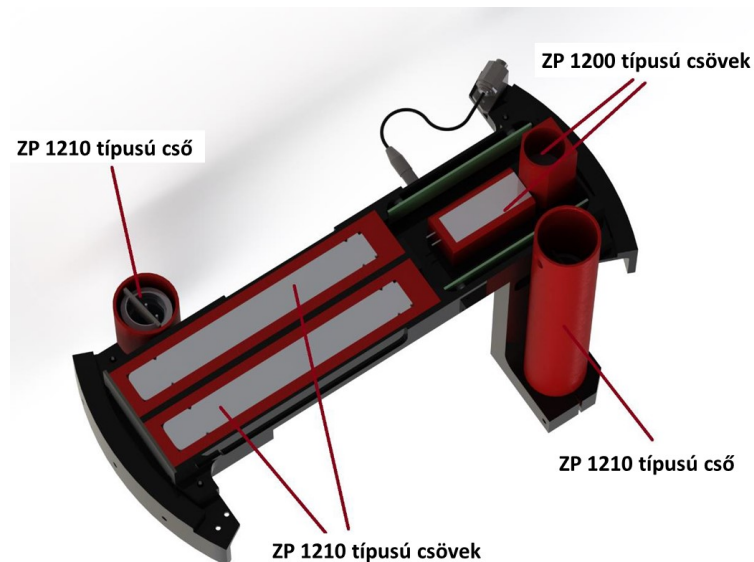
1.4.1. A számomra kitűzött feladat

A kísérlet tervezése során feladatomban a GM-csövek nagyfeszültségű tápellátó rendszerének megvalósítása volt. Olyan áramköri elrendezést kellett találnom, mely a rakéta energiaellátó rendszeréről képes az 500 V-os DC feszültség előállítására a lehető legkisebb áramfelvétel mellett, ugyanakkor elfér a rendelkezésre álló kis helyen. További megkötést jelentett, hogy a konstrukciónak ki kellett bírnia a rakéta működése során fellépő vibrációt és gyorsulást.

A tervezés előrehaladtával feladatommá vált továbbá a kísérlet alaplapjául szolgáló kártya NYÁK-tervének elkészítése is. Ez egy nagy méretű panel, ami tartalmazza az optocsatolókat, DC-DC konvertereket, vezérlő logikát és az egyes kártyák csatlakozási pontjait a szükséges illesztőáramkörökkel.



1.1. ábra. A kísérlet mechanikai modellje oldalnézetből



1.2. ábra. A kísérlet mechanikai modellje felülnézetből

2. fejezet

A kísérlet tudományos és elméleti háttere

A világűr extrém környezet. A kozmosz hőmérséklete közel van az abszolút nulla fokhoz, ugyanakkor az űreszközök napsütötte oldala akár több száz Celsius-fokra is felmelegedhet. Az űrállomások védelmet nyújtanak az űrhajósoknak a hideggel és meleggel szemben, illetve biztosítják az élethez elengedhetetlen levegőt, de a kozmikus sugárzás hatásaitól csak korlátozott mértékben védnek. Mivel az emberi test által elnyelt, a kozmikus sugárzásból adódó dózis akkumulálódik, a hosszú idejű űrrepülések esetén az űrhajósoknak komoly sugárterhelést kell elviselniük. Egy esetleges Mars-utazás esetén erre fokozottan figyelni kell, mivel bolygónk környezetét elhagyva annak mágneses tere sem nyújt védelmet.

A Föld felszínén a sugárzási környezet jóval barátságosabb. A bolygó mágneses tere és a légkör elnyeli a sugárzás túlnyomó részét, ám ez a hatás a felszíntől távolodva egyre csökken. Kísérletünkben az emberi testre igen erős hatással bíró γ sugárzás erősségét vizsgáltuk a felszíntől számított körülbeül 80 km-es magasságig.

2.1. A sugárzási tér leírása

2.1.1. A felfedezés története [6]

A XIX. és XX. század fordulóján Curie és Becquerel munkája nyomán az emeberiség megismerhette a radioaktív sugárzás fogalmát. A kezdeti mérések azt mutatták, hogy a forrástól való távolság növekedésével a sugárzási szint csökken. 1909-ben Theodor Wulf egy elektroszkóppal megvizsgálta a párizsi Eiffel-torony környezetét, és azt találta, hogy a torony tetején magasabb a sugárzási szint, mint az alapjánál.

1912-ben Victor Hess ballonkísérletet hajtott végre, mely során megállapította, hogy a sugárzás mintegy 5300 méteres magasságban negyedével erősebb, mint a felszínen. A Nap hatásának kiküszöbölése érdekében egy majdnem teljes napfogyatkozás során megismételte a mérést, és hasonló módon a magasság növekedésével erősebb sugárzást mért. Arra a következtetésre jutott, hogy ezt csak egy rendkívül erős, az atmoszférán kívülről érkező hatás magyarázhatja. 1913-14-ben Werner Kolhörster megerősítette a felfedezést kilenc kilométeres magasságig végzett méréseivel. Ezzel tulajdonképpen bizonyítottá vált, hogy az atmoszférában mérhető sugárzás elsődlegesen galaktikus eredetű, és nem a Földön megtalálható radioaktív anyagok bomlásából származik. Hess felfedezését 1936-ban Nobel-díjjal ismerték el.

Az 1958-ban felbocsátott Explorer-1 műhold mérései alapján James Van Allen vezetésével amerikai tudósok bebizonyították, hogy bolygónkat két sugárzási öv védi a kozmikus sugárzás ellen. Ezek az övek a bolygónkat körülölelő tér azon tartományai, ahol a beérkező töltött részecskék a Föld mágneses terének hatására spirális pályára kényszerülve 'összegyűlnek', elveszítik energiájuk túlnyomó részét. A sugárzási övekben az intenzitás sokkal nagyobb, mint az alacsonyabb, vagy magasabb pályák esetében.

2.1.2. A sugárzási tér jellemzése

A távoli úrból (Galactic Cosmic Ray, GCR) vagy a Napból (Solar Cosmic Ray, SCR) érkező részecskék összefoglaló neve a kozmikus sugárzás elsődleges komponense. Ezek túlnyomó többsége proton, mintegy 10 %-a He atommag, ezen kívül 1%-ban egyéb elemek, illetve 1%-ban elektronok alkotják. Másodrendű komponensnek nevezzük azokat a részecskéket, melyek a primer komponensek és a csillagközi por vagy az atmoszféra kölcsönhatásából keletkeznek.

A sugárzás jellemzésére két mértékegységet használunk. A gray [Gy] mértékegység a sugárzás energájának egységnyi tömegben elnyelt hányada (Joule/kilogramm). A vele megegyező dimenziójú sievert [Sv] ezzel szemben a biológiai szövetekben (emberben) elnyelődött sugárzás káros hatását is jellemzi. A két mértékegység közötti kapcsolatot a W , az adott sugárzástípusra és szövetfajtára jellemző súlyozó tényező adja meg:

$$1\text{Sv} = 1\text{Gy} \cdot W \quad (2.1)$$

A kísérletünk során a beérkező γ -fotonok számát tudtuk mérni, ebből tudunk következtetni az adott magasságban érvényes, illetve a teljes repülés során elnyelt dózisa.

Kísérletünk jelentősége abban áll, hogy jelenleg nincs kifinomult modellünk a mezoszférában megfigyelhető sugárzási tér leírására, illetve nem rendelkezünk hosszú időtartamot lefedő adatsopekkel a validáláshoz. Bár a hiperszonikus kereskedelmi repülés gazdaságos megvalósítása eddig nem sikerült, ehhez mindenképpen fontos lesz a sugárzási tér pontos ismerete az általunk vizsgált magasságban.

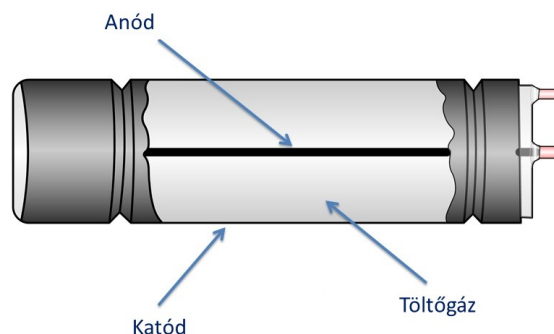
2.1.3. A vizsgált magasságtartomány

Ballonnal végzett kísérletekre tipikusan 30-40 kilométeres magasságig adódik lehetőség, a BE-XUS program keretében repülő ballonok utazási magassága 25-30 km. Nagyobb magasságok elérése már csak rakétákkal lehetséges. A technika fejlődése a második világháború idején tette lehetővé a 40-90 kilométeres magasságtartomány elérését.

A kísérletünket szállító Rexus-17 rakéta 2015. március 17-én mintegy 88 kilométeres magasságig emelkedett, ami a REXUS programban kiemelkedőnek számít. Ebben a magasságban a rakéta már az ionoszféra D régiójában tartózkodott [7].

2.2. A mérési elv

A Geiger-Müller számláló (GM-cső) egy gázionizációs lapulós sugárzásmérő detektor. Maga a mérőegység egy meghatározott összetételű, alacsony nyomású gázkeverékkel (neon és halogén) töltött cső, melynek közepén egy fémszál található (lásd a 2.1.ábra). A szál mint anód, és a katódként szolgáló csőfal közé kapcsolt 450–500 V egyenfeszültség hatására a csőben elektromos tér jön létre.



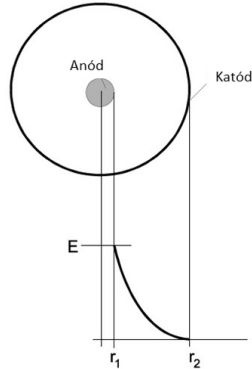
2.1. ábra. A GM-cső felépítése

A belépő töltött részecske ionizálja a csőben lévő gázmolekulákat, ezáltal vezetés jön létre az egyébként szigetelőként viselkedő gázban. Ha elég nagy az elektromos tér, a pozitív ionok és

negatív elektronok teljesen különválnak, és az elektródák felé mozognak. A katódot elérő elektronokat semlegesíti a henger pozitív töltése. Az így keletkezett áramimpulzus egy külső áramkör segítségével mérhető.

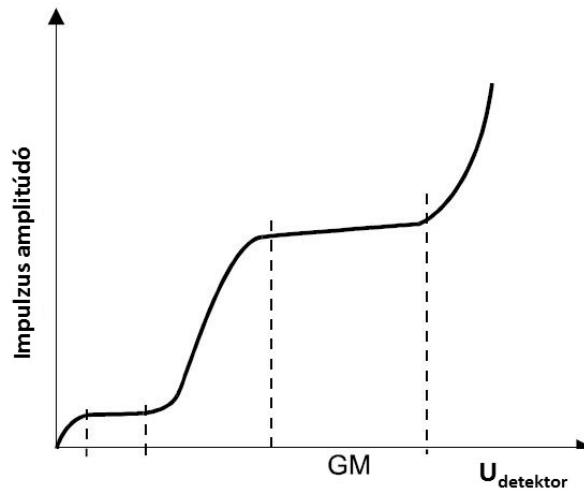
A tér és a geometria kapcsolatát a 2.2. ábra szemlélteti. Az elektromos tér az anódtól r távolságban az alábbi képlettel adható meg:

$$E = \frac{U_0}{r \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right)}, \text{ ahol } r_2 \text{ a cső, } r_1 \text{ pedig az anódszál sugara, } U_0 \text{ az előfeszítés} \quad (2.2)$$



2.2. ábra. Az elektromos tér és a geometria kapcsolata

Fontos, hogy az ionlavina a 2.3. ábrán is jelzett GM-régióban a leginkább valószínű, ezért ebben a feszültségtartományban működik jól a detektor. Az általunk választott detektorok esetében a tartomány középpértéke körülbelül 500 V.



2.3. ábra. Az érzékelt beütésszám és az előfeszítés kapcsolata

A mérés pontossága összefüggésben áll a használt GM-csövek effektív térfogatával. A minél nagyobb érzékenység és a redundancia elérése érdekében a kísérletben összesen hat darab GM-csövet alkalmaztunk. A nagyobb, *Centronic* gyártmányú, ZP1210 típusú csövek közül két darab a rakéta tengelyével párhuzamosan, két darab pedig arra merőlegesen helyezkedik el. A kisebb méretű, *National Electronics* gyártmányú, ZP1200 típusú csövekből két darabot egymásra merőlegesen a kísérlet központi részét jelentő „híd” építettünk. A mérőegységek kiválasztásánál szempont volt, hogy a 2.3. ábrán jelzett GM-régió a két típus esetén közel azonos feszültségtartományban található, így nem kellett különböző tápegységeket tervezni.

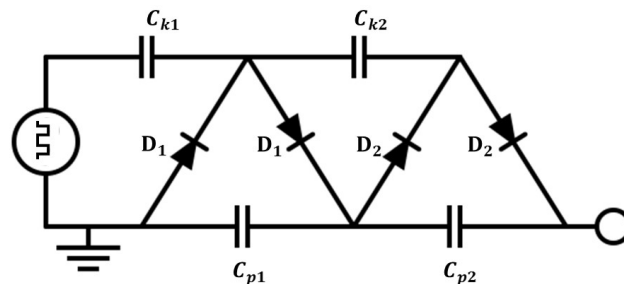
2.3. A szükséges feszültség szintek és előállításuk

Munkám során elsődleges feladatomban a GM-csövek nagyfeszültségű tápellátásának megvalósítása volt. A rakéta dokumentációjából megtudhattuk, hogy minden kísérlet egy 28 V névleges DC feszültségű sínről kapja a tápellátást. Kísérletünkben a különféle aktív áramköri elemek ellátásához 3.3 V és 5 V egyenfeszültség szükséges, így kézenfekvő volt, hogy a nagyfeszültségű tápellátás meghajtható legyen az előbbi feszültség szintek valamelyikéről.

A nagyfeszültséget előállító kapcsolás kiválasztásánál fontos szempont volt, hogy az áramkör működése során a lehető legkevesebb befolyásolja a környező alrendszereket. Olyan megoldásra volt szükségünk, mely stabilan képes a szükséges feszültség szint biztosítására, viszont bekapcsolásakor nem produkál nagy amplitúdójú zavarjeleket. Egyetemi tanulmányaim alapján az első megoldási lehetőség egy transzformátorral vagy csatolt tekercsekkel megvalósított step-up konverter lenne, ám a pontos működéshez nagyon pontos kivitelezésre lett volna szükség.

A tervezési folyamat elején egy, a telefonok vakuját meghajtó áramkörben található kis méretű és kis fogyasztású alkatrészrel kísérleteztünk, mely a nagyfeszültséget egyetlen lépcsőben állította elő [8]. Az alkatrészről rendelt mintához épített tesztáramkör bemérése során azt tapasztaltuk, hogy hosszabb idejű működés során a kimeneten megjelenő jelek tranzienst válnak, ezért az eszköz használatát elvetettük.

A felmerült problémák kiküszöbölése érdekében, hosszas keresés után döntöttünk végül a Coccoft – Walton sokszorozó használatára, melynek elvi rajza a 2.4. ábrán látható. A választott konstrukció egy, a Maxim Integrated cég által kifejlesztett kapcsolás [9] átdolgozott változata. A rendkívül alacsony áramfelvételű kapcsolás előnye, hogy a szükséges nagyfeszültséget több lépcsőben állítja elő. A bemeneten elhelyezkedő, kis amplitúdójú váltakozó feszültséget biztosító generátor nem kelt nagy tranzienst jeleket, ugyanakkor a kapcsolás segítségével akár több ezer voltos kimeneti egyenfeszültség is elérhető, és teljesen átlagos paraméterű, olcsó alkatrészekből épül fel.



2.4. ábra. A Coccoft-Walton generátor sematikus rajza

A feszültségsokszorozó áramkör N fokozat kaskád kapcsolásából áll. Minden fokozat $U_p = 2\sqrt{2}U_{eff}$ feszültségre tölti a C_p kondenzátort, amelyek soros kapcsolásával N -szeres feszültséget kapunk. A C_k kondenzátorokon át a bemeneti forrás váltakozófeszültsége minden fokozatra rákerül. Az áramkört főként nagyfeszültség előállítására használják. A kapcsolás előnye, hogy az egyes fokozatokon fellépő feszültség nem nagyobb, mint az egyutas egyenirányító áramkör kimeneti feszültsége. A kapcsolás üresjárási kimeneti feszültsége megadható az alábbi képlettel: [10]

$$U_{ki} = 2 \cdot N \cdot \sqrt{2} \cdot U_{eff} \quad (2.3)$$

ahol U_{eff} a forrás effektív feszültsége, N pedig a sokszorozó fokozatainak száma.

A gyakorlatban ennek a megoldásnak több hátránya is van. A fokozatok számának növelésével nő a kimeneti impedancia. Ha a kimeneten nagy áram folyik, a feszültség hullámossága hamar kritikussá válhat, ezért sok fokozatú Coccoft-Walton sokszorozót csak ott érdemes alkalmazni, ahol a terhelés fogyasztása kicsi. Esetünkben ez a feltétel teljesül, mivel a terhelőáram mikroamperes tartományba esik. A kimeneti jel hullámosságának kiküszöbölésére a kapcsolást egy RC-szűrővel egészítettük ki.

3. fejezet

Az elektronikai tervezés

Az Altium Designer 13 programot választottam a feladat elvégzésére. Ez egy komplex rendszer, melynek segítségével a hardvertervezés minden részfolyamata egy programon belül egyszerűen elvégezhető. Különösen előnyös, hogy a tervek komponenseit a program integráltan kezeli, így elkerülhetőek a tervezési fázisok közötti átvitelből származó hibák. A program használatához szükséges licenst a szakirányos labor keretein belül az egyetem biztosította.

Bár nem beszélhetünk a klasszikus értelemben vett úrkutatási projektről, kísérletünk tervezése során tekintettel kellett lennünk arra, hogy a kilövés során a környezeti körülmények extrémekkel lehetnek. A rakéta emelkedése során csökken a levegő sűrűsége, így csökken az átütési távolság, ami az áramkörben kritikus hibát is okozhat. Ez kiküszöbölhető az alkatrészek távolságának növelésével vagy az alkatrészek szigetelő anyaggal történő bevonásával.

A kísérlet mechanikai kialakítása miatt kis méreteket kellett alkalmazni. Az 1.1. és 1.2. ábrákon látható struktúra központi része tömör alumíniumból készült maratással, így a méretek adottak voltak. A nagyméretű GM-csövek közül kettőt a központi rész anyagába fúrt lyukban, a másik kettőt pedig az oldalsó rögzítőcsövekben helyeztük el. A kis méretű GM-csövek helye a központi rész egyik rekeszében található.

A tervezés kezdeti szakaszában felmerült, hogy a nagyfeszültségű áramkörben szereplő diódákból és kondenzátorokból álló láncot három dimenzióban helyezzük el, majd az így kapott összeállítást speciális műanyagba öntsük. Az ötlet lényege, hogy a kondenzátorokat függőlegesen helyezzük el. Az egyik kivezetésen keresztül a NYÁK-hoz forrasztjuk őket, a diódákat pedig a levegőben álló másik kivezetésre forrasztjuk. Ezáltal a nagyobb feszültségű részek távol esnek egymástól, csökkentve az átütés valószínűségét. Az elképzelés jó lenne, viszont az indítás során fellépő erőhatások eltörhetik az álló kondenzátorokat, mivel azokat nem ilyen erőhatásokra tervezik. A műanyaggal való kiöntést a Kutatócsoport korábbi rossz tapasztalatai, és az ESA szakértőinek véleménye alapján elvetettük.

3.1. A tervezési folyamat

A munka az alábbi főbb pontokra osztható:

1. Kapcsolási rajzok elkészítése
2. Alkatrészek kiválasztása
3. Kapcsolási rajzok véglegesítése
4. Nyomtatott áramköri (PCB) tervezés

A forrásként említett kapcsolást tesztelési céllal megépítettem protoboardon, így megvizsgálhatuk a működését. Az elrendezés kitűnően működött, de a későbbi felhasználáshoz fontos változtatásokat végeztünk rajta. Megváltozott a diódák típusa, a visszacsatoló lánc ellenállásainak értéke, több szűrőkondenzátort is hozzáadtam a tervhez.

A tervezőprogram számos beépített alkatrészkönyvtárral rendelkezik, ezeket azonban nem használtam fel. Ennek oka, hogy az általános felhasználásra szánt alkatrészek számos fölösleges paraméterrel rendelkeztek, míg számunkra fontosakat nem tartalmaztak. Különösen fontos tényező,

hogy a passzív komponensek többsége csupán furatszerelt kivitelben szerepelt az adatbázisban, azonban helyhiány okán ez a technológia szóba sem jöhetett.

Tanulmányaim és tapasztalataim alapján a tervezés során alapvető fontosságú az alkatrészek helyes megválasztása, illetve beszerzési forrásuk biztosítása. Mivel a CPU és Motherboard kártyák alapját a korábban az intézetben fejlesztett úreszközök (*TriTel* dózismérő) hasonló alrendszerei képezik, nem kellett teljesen az alapoktól kezdeni a rendszer felépítését. Ennek ellenére bebizonyosodott, hogy elengedhetetlen volt a kapcsolások korszerűsítése.

Konzulensemmel egyeztetve úgy döntöttem, hogy saját alkatrészkönyvtárat készítek, melyet a későbbiekben is felhasználhatok. A tervezőprogram jellegzetessége, hogy minden alkatrészt objektumként tárol, melyhez számos paraméter tartozhat a footprinten és a kapcsolási rajz szimbólumon kívül. A későbbi felhasználás megkönnyítésére minden alkatrészhez hozzáfűztem a következő paramétereiket:

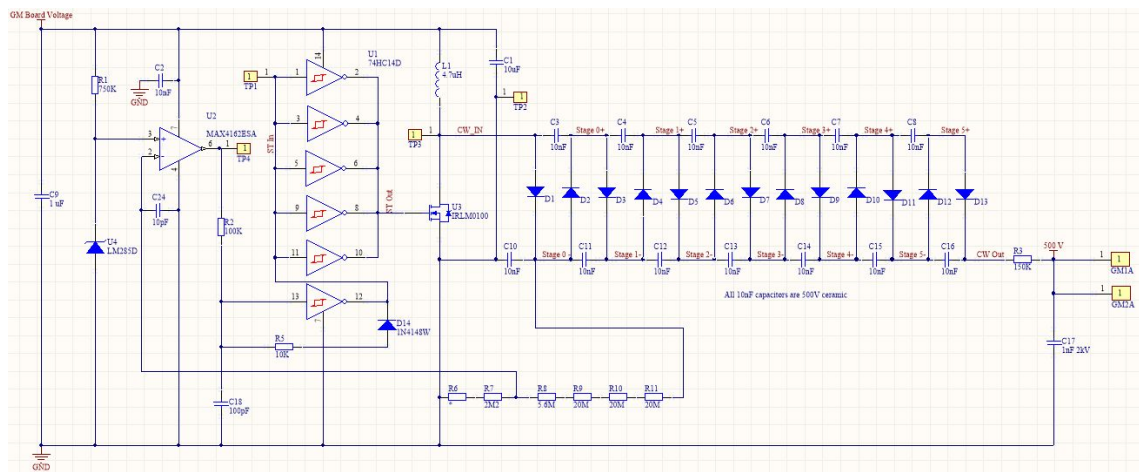
- Datasheet
- ID
- Manufacturer
- Package
- Price (HUF)
- Supplier
- Temp. Range

A passzív alkatrészek ezen felül a következő paramétereiket is tartalmazzák:

- Limit
- Precision
- Value

Tanulásként tudom kiemelni, hogy ha egy mód van rá, be kell szerezni az alkatrészek 3D-s rajzolatát, lehetőleg a programba importálható STEP formátumban. Önálló laboratóriumi munkám során hibát vétettem egy alkatrész footprintjének tervezésekor, de a pontos modell segítségével ez elkerülhető lett volna. Szerencsére a végső változatban sikerült korrigálni a hibát.

3.2. Az áramkör működése

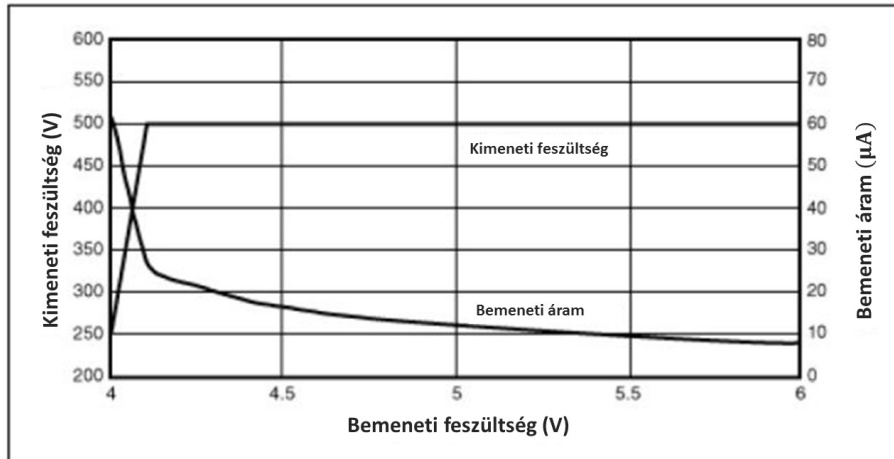


3.1. ábra. A nagyfeszítéget előállító áramkör - áttekintő ábra

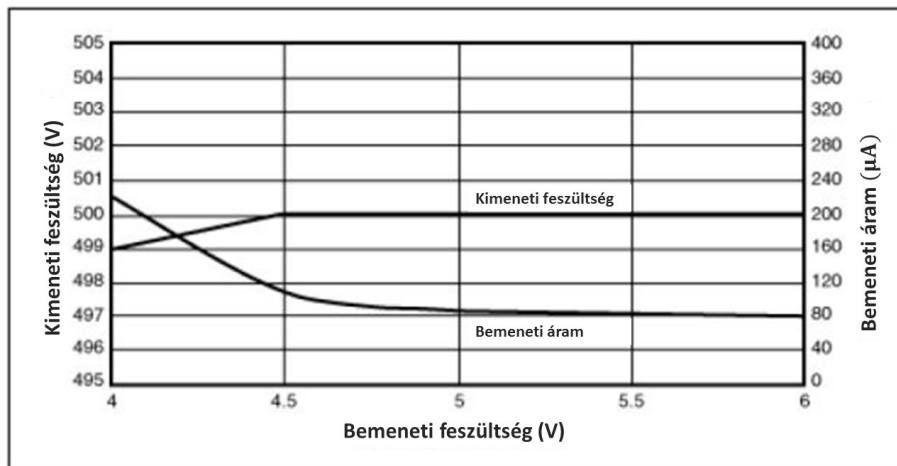
A 3.1. ábrán látható módon az 5V-os bemeneti feszültség közvetlenül táplálja a nagyfeszítésű egységet. A referenciadiódával előállított referenciazfeszültség és a nagyfeszítéssel arányos visszacsatoló feszültség a MAX4163 típusú hibajelerősítőn keresztül vezérli a 74HC14 típusú IC egyik

Schmitt-triggeres inverterével megvalósított négyszögjel-generátor kitöltési tényezőjét (és mellesleg frekvenciáját). A generátor kimeneti jele a maradék öt bufferként használt, párhuzamosan kapcsolt inverteren keresztül kerül az IRL0060-as FET gate lábára, mely az L1 induktivitás kapcsolójaként funkcionál. A kitöltési tényező meghatározza az L1-ben periódusonként felhalmozódó energia mennyiségét, és ezáltal a C1 kondenzátron keletkező feszültség – mely egyszeresmind a sokszorozó generátorának feszültsége – nagyságát.

A generátorhoz kapcsolódó, diódákból és kondenzátorokból felépülő Cocroft-Walton sokszorozó állítja elő az 500 V nagyságrendű feszültséget, mely szűrés után az anóddenálláson keresztül jut el a GM-csőhöz. A nagyfeszültségű egység áram- és feszültségviszonyai láthatók a 3.2. és a 3.3. ábrán. Látható, hogy terhelt esetben az egység fogyasztása az 5 V-os tápfeszültségről mindössze $200 \mu A$, tehát a kidolgozott kapcsolás teljesíti a fogyasztásra vonatkozó kritériumokat is.



3.2. ábra. Az áramköri elrendezés bemeneti feszültség - kimeneti áram - kimeneti feszültség diagramja terheletlen esetben [9]



3.3. ábra. Az áramköri elrendezés bemeneti feszültség - kimeneti áram - kimeneti feszültség diagramja $10 M\Omega$ terhelésnél [9]

A bemeneten lévő hibajel-erősítő negatív bemeneti lábára történő visszacsatolás kapcsolás fontos része. A nyugalmi fogyasztás jelentős része a visszacsatoló ellenállás-láncon lép fel. A lehető legkisebb fogyasztás elérése érdekében extrém értékű és kivételű ellenállások kellene alkalmazni, melyek kívül esnek a maximum $22 M\Omega$ -os standard készleten. Az általunk is használt elrendezés hatalmas előnye, hogy a visszacsatolás az első fokozatról történik, így átlagos alkatrészekből felépíthető a kapcsolás, ráadásul a nyugalmi fogyasztás jelentősen csökken. [9]

Emiatt azonban az alkalmazott diódák nyitófeszültségének áram- és hőmérsékletfüggése miatt a kimeneti feszültség nem tökéletesen arányos a hibajellel. Ez nem jelent problémát számunkra,

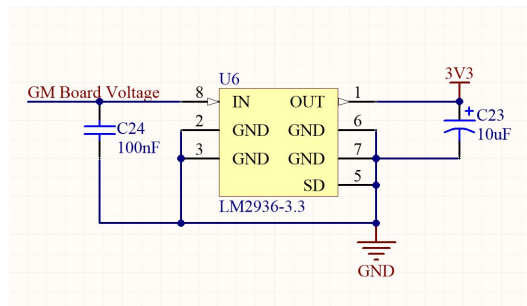
mert az alkalmazott GM-csövek széles bemeneti feszültségtartománya sok tíz voltos nagyságrendű tartományban lehetővé teszi a helyes működést.

A kapcsolás hátrányaként meg kell említeni, hogy érzékeny a bemeneti feszültség felfutására. Ha ez nem elég gyors, a Schmitt-trigger inverter tranziens működésbe kezd, mely a kimeneten is hibás jelalakot eredményez. Ennek kiküszöbölésére a nagyfeszültségű generátort nem közvetlenül az őt meghajtó LT3008ETS8-5 típusú feszültségstabilizátor /SHDN lábán keresztül hozzuk működésbe, hanem a már bekapcsolt feszültségstabilizátor kimenetére helyezett, gyors felfutást biztosító kapcsolón keresztül hajtjuk meg.

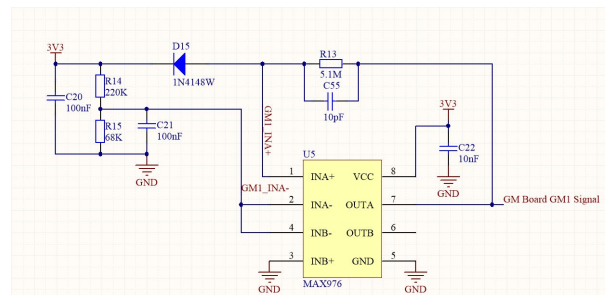
3.3. Kapcsolási rajzok tervezése

3.3.1. A függőleges GM-csövek tápegysége

A legkisebb méretű tápegység kártyák a függőleges helyzetű, nagy méretű GM-csöveket tartalmazó, azok mechanikai burkolatául szolgáló alumínium csövekben helyezkednek el. A 32 x 64 mm méretű kártyákon a nagyfeszültségű tápellátást biztosító kapcsoláson kívül egy MAX976 típusú kettős komparátor, valamint tápfeszültségének előállításához szükséges LM2936-3.3 típusú LDO található, ahogy az a 3.4. és 3.5. ábrákon látható. Az eddig ismertetett kapcsolás alapján készítettem el a többi áramkört is.



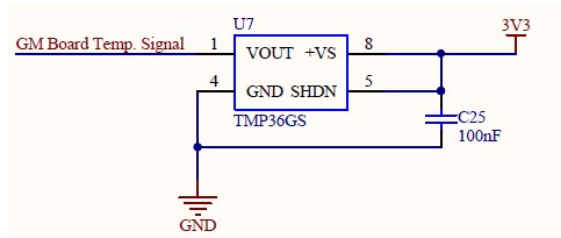
3.4. ábra. A 3.3V-ot előállító LDO és bekötése



3.5. ábra. A MAX976-os bekötése

3.3.2. A nagyméretű fekvő csövek tápegysége

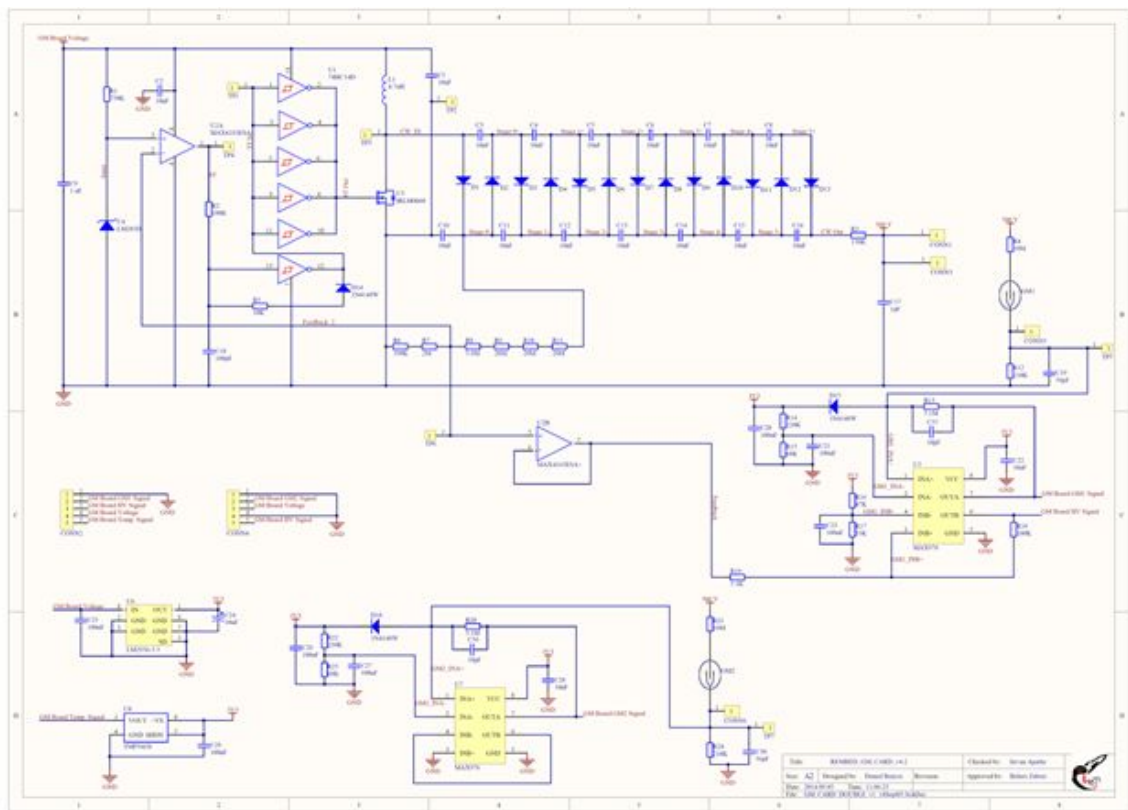
A két ZP1210 típusú fekvő GM-cső a mechanikai struktúrát biztosító tömör alumíniumba fúrt lyukakban helyezkedik el (1.2. ábra). A kiszolgáló áramkörti kártya a felettük lévő kimart rekeszben kapott helyet. A kapcsolás alapja a fentebb ismertetett áramkör, kiegészítve két TMP36GS típusú hőmérő IC-vel. A kártyán található két független áramkör topológiailag egymás tükörképe. A kapcsolási rajz a függelékben található.



3.6. ábra. A TMP36GS bekötése

3.3.3. A kisméretű csövek tápegysége

A kisebb, ZP1200 típusú GM-csőket egyetlen generátor látja el tápfeszültséggel, melyhez azonban két komparátor csatlakozik a 3.7. ábrán látható módon (a részletes kapcsolási rajzot lásd a Függelékben). Mivel ezek a GM-csővek jóval kisebbek, kevesebb energiát igényel a meghajtásuk.



3.7. ábra. A kisméretű csövek ellátása - áttekintő ábra

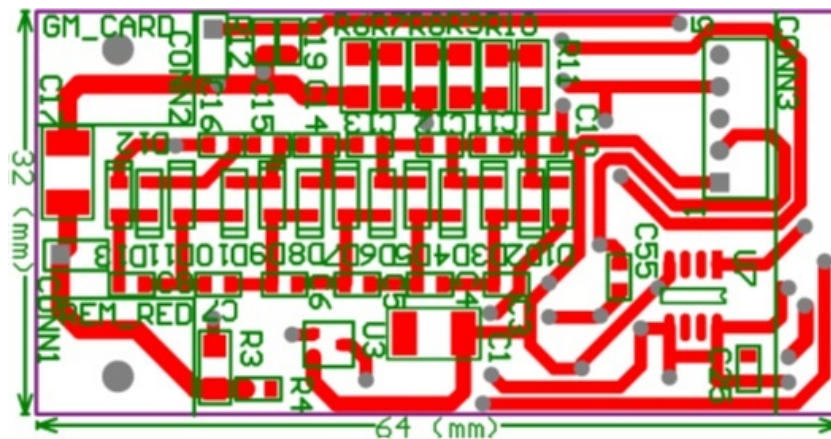
E mellett itt nem kritikus a redundancia, így a nagyfeszültség előállítására egyetlen generátor elegendő. A GM-csővek jeleinek fogadására ezen a kártyán két komparátort alkalmaztunk.

3.4. Nyomtatott áramköri tervezés

A nyomtatott áramkör tervezésekor külön figyelmet kellett fordítani a konverter és sokszorozó topológiájának kialakítására annak érdekében, hogy a nagy meredekségű négyszögjelek és a sokszorozó nagyfeszültségű impulzusainak vezetői ne szórjanak rá a nagyimpedanciájú szabályzójelekre. Minden kártya esetén a kapcsolás egyes részeit igyekeztem a lehető legjobban elkülöníteni.

A nagyfeszültséget előállító kártyák kivétel nélkül kétrétegű, FR4-es alapanyagú kivitelben készültek. Az elkészült paneltervek alapján a gyártás az Intézettel meglévő együttműködés alapján a BME Elektronikai Technológia Tanszékén történt. Az alkatrészek beültetését az Elszertech Kft. végezte. Az egyes kártyák méretei közötti különbség jelentősen befolyásolta a tervezési lehetőségeket, a következőkben ezt részletezem.

3.4.1. A kisméretű, nagy GM-csőveket ellátó kártyák PCB tervei



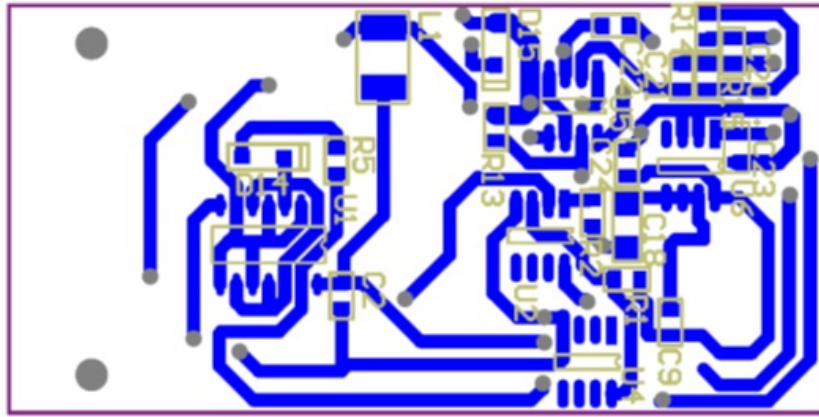
3.8. ábra. A kisméretű kártyák felső rétege

A méretbeli korlátozások miatt a GM-kártyák közül talán ez jelentette a legnagyobb kihívást. Maga a kész panel 32x64 mm méretű (lásd a 3.8.ábra), melynek a hosszanti éle mentén vett felső öt milliméteres sávján, valamint az alsó részen két oldalt nem helyezhető el alkatrész, ugyanis itt fogja a rögzítőcsín a panelt. A kialakult terven a nagyfeszültségű pont a panel rögzítőfuratok felőli végén található, mivel ez a rész esik legközelebb a GM-csőhöz.

A kártya felső rétegén található a hőmérő IC, a Cocroft-Walton sokszorozó, a visszacsatoló ellenálláslánc, a FET, a kimeneti feszültséget szűrő nagyméretű kondenzátor, valamint egyéb alkatrészek. Az elrendezés során fontos volt, hogy a visszacsatoló ellenálláslánc a Cocroft - Walton sokszorozó állandó feszültségű kondenzátorlánc felőli oldalán kapjon helyet, míg a nagy áramot folyatató L1, C1, U3 kör a sokszorozó váltakozó feszültségű oldalához közel helyezkedjen el.

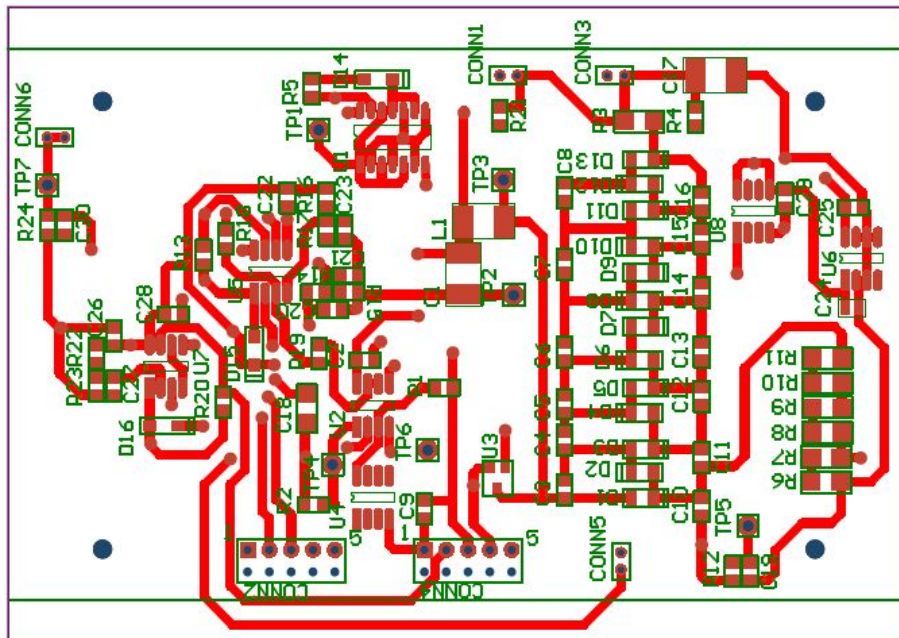
Különösen fontos volt az utóbb említett kör vezetékhozzainak csökkentése. Ennek érdekében került C1 a felső, míg L1 az alsó rétegre oly módon, hogy csatlakozó kivezetéseik között a galvanikus összeköttetést forraszanyaggal kitöltött furat biztosítja. A alsó rétegen helyezkedik el az oszcillátor, ettől a lehető legnagyobb távolságban a referenciadióda, a vezérlő műveleti erősítő, a bemeneti LDO, illetve a komparátor. Az alkatrészek elhelyezésekor fontos volt, hogy a funkcionálisan összetartozó alkatrészek fizikailag is közel legyenek egymáshoz. Így alakultak ki nagyobb alkatrészblokkok, melyeket a tervezés során egyszerre mozgattam és helyeztem el. Ez a gyakorlat különböző áramkörök tervezésekor máskor is hasznos lehet.

Az alkatrészek elhelyezése után a huzalozás már egyszerűbb feladatnak ígérkezett. Ennek során fokozottan figyeltem az éles sarkok mellőzésére és a különböző potenciálú vezetékek közötti távolságra. Ügyeltem arra, hogy a nagyobb áramot folyatató vezetékek, illetve a földvezetékek a lehető legszélesebbek legyenek.



3.9. ábra. A kisméretű kártyák alsó rétege

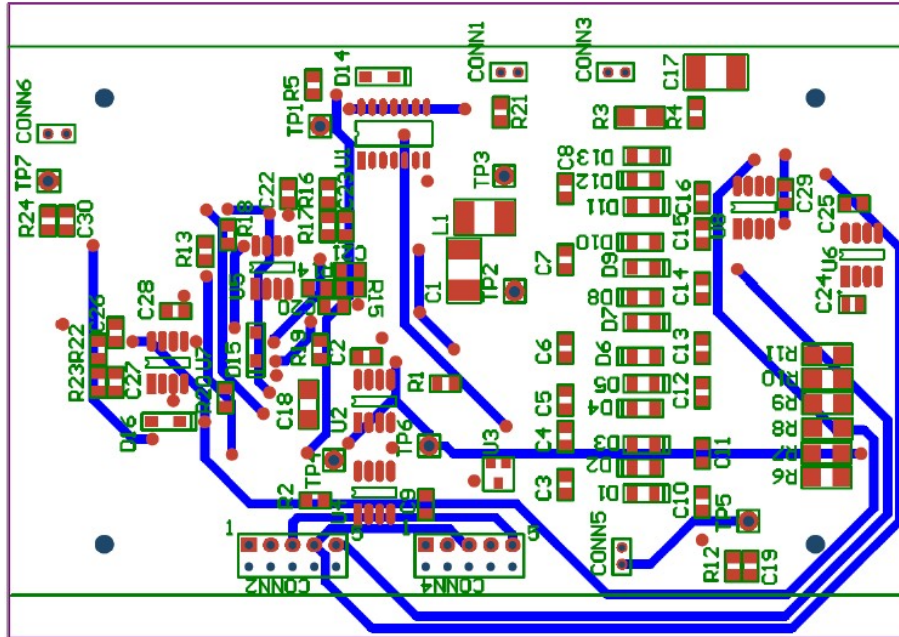
3.4.2. A kisméretű GM-csövek kártyája



3.10. ábra. A kisméretű GM-csövek kártyájának felső rétege

A következő elkészült terv a kisméretű GM-csövekhez tartozó panel volt. A 105x74 mm-es kártya egy oldalról ültetett, két oldalról fémezett, mechanikai rögzítése négy furaton és két tartósínen keresztül történik. Utóbbiaknak a panel hosszanti oldalán 5mm-es alkatrészmentes sávra van szüksége, ami a 3.10. és a 3.11 ábrán látható.

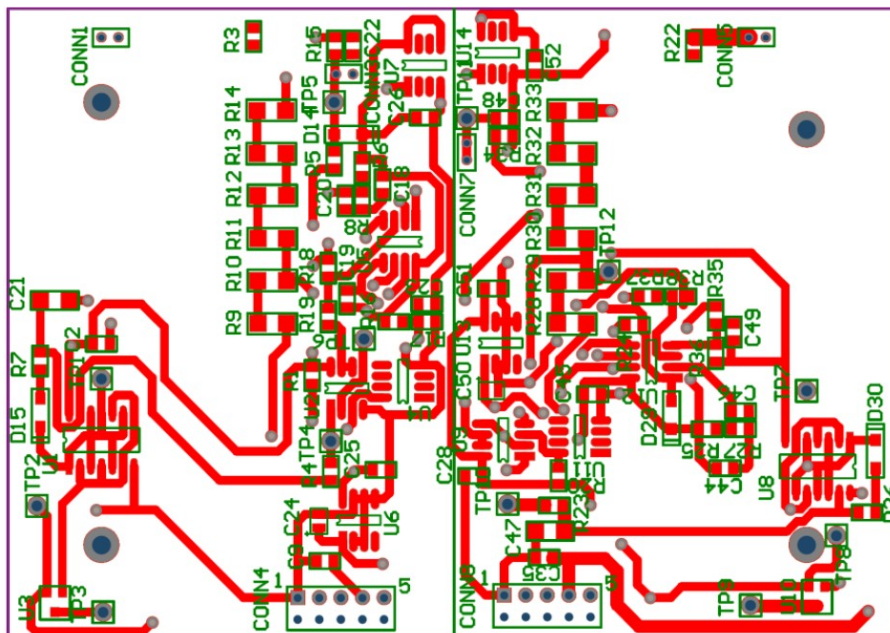
Mint már említettem, a kisméretű csövek közös áramkorról kapják a szükséges nagyfeszültséget, így a panelen sok hely állt rendelkezésre a megvalósításhoz. A legjelentősebb zajforrások hatását itt is igyekeztem kiküszöbölni, ezért a már említett kritikus alkatrészeket a lehető legközelebb helyeztem egymáshoz.



3.11. ábra. A kisméretű GM-csövek kártyájának huzalozása az alsó rétegen

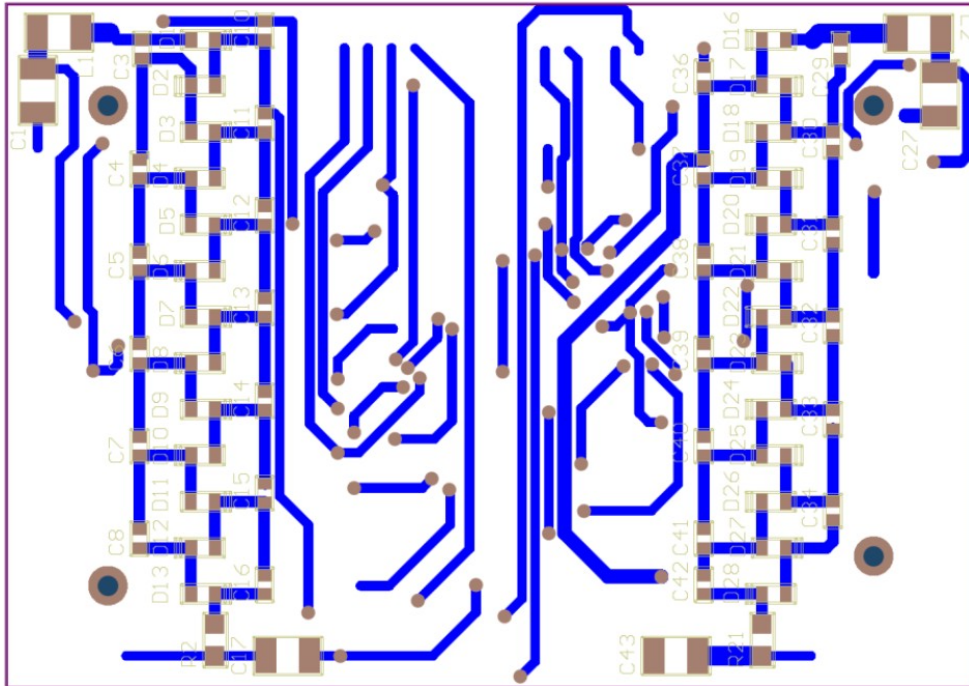
3.4.3. A nagyméretű, fekvő csövek kiszolgálása

A kísérletnek helyet adó „hídban” fekvő két, nagyméretű, ZP1210 típusú GM-cső ellátása ugyanarról a panelről történik, ám erre két független egységet kellett terveznem, mely új schematic tervet is igényelt (ez csupán annyiban különbözik az előzőektől, hogy kétszer szerepel rajta az oszcillátorral meghajtott Cocroft-Walton generátor). A kártya mérete szintén 105x74 mm, s fizikailag a kisméretű csövek ellátását szolgáló kártyával átellenesen helyezkedik el. A két különálló tápegység miatt a rendelkezésre álló hely több ugyan, mint a legkisebb kártyák esetén, de így is szűkösen bizonyult. Az egyszerűbb tervezés érdekében a panelt kettéosztottam egy, a hosszanti oldalra merőleges vonallal, ahogy a 3.12. ábrán látható. A panel így két oldalról fémezett, két oldalról ültetett.



3.12. ábra. A nagyméretű, fekvő csövek kártyájának felső rétege

A korábbiakhoz hasonlóan itt is a sokszorozó lánc került elsőként az alsó rétegre, valamint a már említett L1 tekercs és C1 kondenzátor (illetve a panel szimmetrikus oldalán L2, C27), hogy így az U3-as (illetve a panel szimmetrikus oldalán U10) FET-tel alkotott kör vezetékei rövidek legyenek.

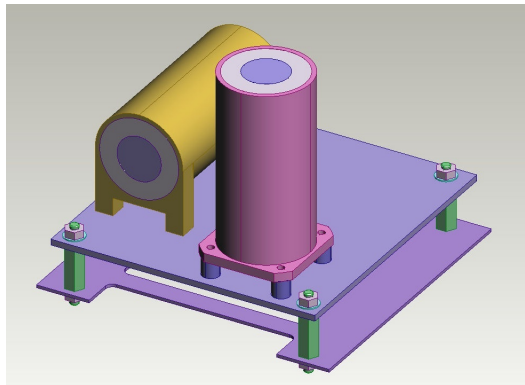


3.13. ábra. A nagyméretű, fekvő csövek kártyájának alsó rétege

4. fejezet

A STRATOS rakétára tervezett kísérlet

Először 2012. őszén jártam az Intézetben, körülbelül ekkor kezdődött az együttműködés a DARE csapatával is. A STRATOS rakétára mindig is egy kisméretű, kompakt összeállítást terveztünk, mivel a rakéta CubeSat szabvány [12] szerint készült hasznos terhek befogadására képes. A szabvány megkövetelése közül számunkra a legfontosabb a mechanikai méretek korlátja, ezért a kísérleti elrendezésünk csupán a legszükségesebb elemeket tartalmazza. A két áramköri kártya közül az egyikben található a GM-csőveket ellátó kapcsolás, a másikon a rakéta rendszereivel kapcsolatot teremtő illesztőáramkörök és a beütéseket tároló memóriaegység. A mechanikai elrendezés a 4.3. ábrán látható.

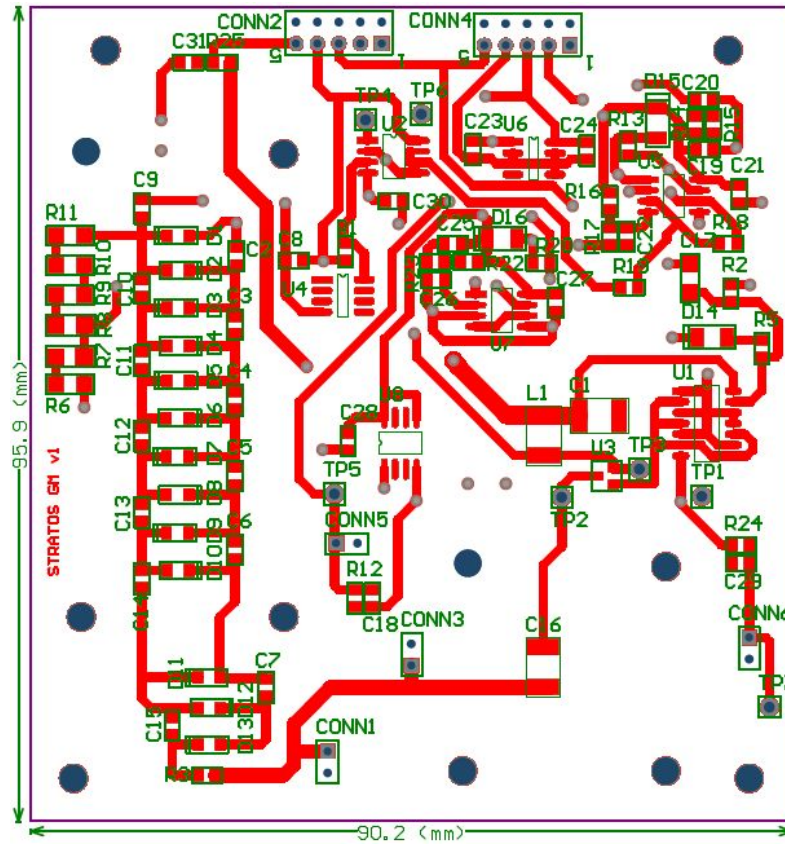


4.1. ábra. A Stratos-kísérlet mechanikai modellje

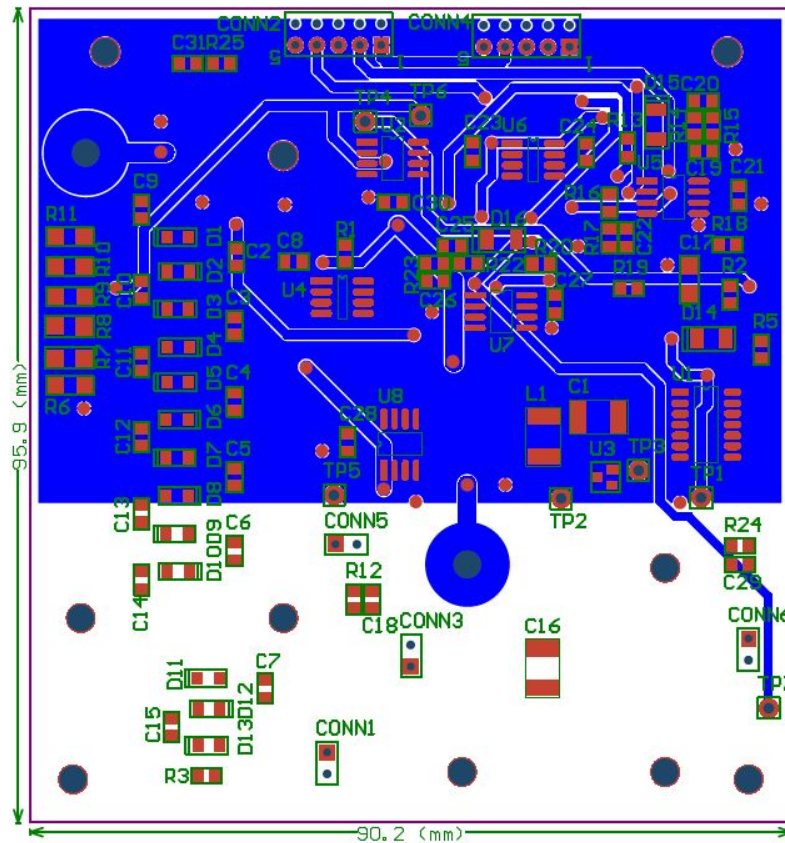
A kísérlet akár a REXUS rakétára kerülő változat előképének is tekinthető, feladatomban itt is a GM-csővek nagyfeszültségű ellátásának megoldása volt. Az elvi kapcsolási rajz teljesen azonos a kisméretű REXUS-kártyáéval, de a nyomtatott áramköri tervet külön készítettem el. Mivel az eredeti startot a delfti csapat több halasztás után 2014. őszére tervezte, ezt a panelt kellett először repülésre kész állapotba elkészíteni.

Az elkészült kártya 90.2 x 95.9 mm-es, egy oldalról ültetett, két oldalról fémezett. A kártya méretéből adódóan meglehetősen nagy a rendelkezésre álló terület azzal együtt is, hogy a két GM-csővet is a NYÁK-on kellett elhelyezni. Ezzel lehetőség nyílt az egyes áramköri elemeket lazán telepíteni, így az esetleges interferenciát is minimalizálni. A kész terven a Ccroft-Walton sokszorozó a fekvő cső tokja alá került, az oszcillátort pedig vele átellenesen helyeztem el. A zajra érzékenyebb alkatrészek – mint a komparátor, a hőmérő és az LDO – a kapcsolás más részeitől jól elkülönülve a panel közepén találhatóak.

A mérőegységeket hőszigetelő és rezgéscsökkentő hab veszi körül, ami a rögzítő fémhengereket is kitölti. A terezéskor felmerült, hogy jó lenne a hengerek földelését megszakítható módon kialakítani. Ebből a célból a hengerek egyik lábát rögzítő furat köré fémezés készült az alsó rétegen, ami egy nyúlványt is tartalmaz egy furattal. E mellett tallható egy másik furat a nyúlványon kívül, ami a nagy kiterjedésű földkiöntéshez csatlakozik, így bármikor összeköthetők.



4.2. ábra. Az elkészült panelterv felső rétege

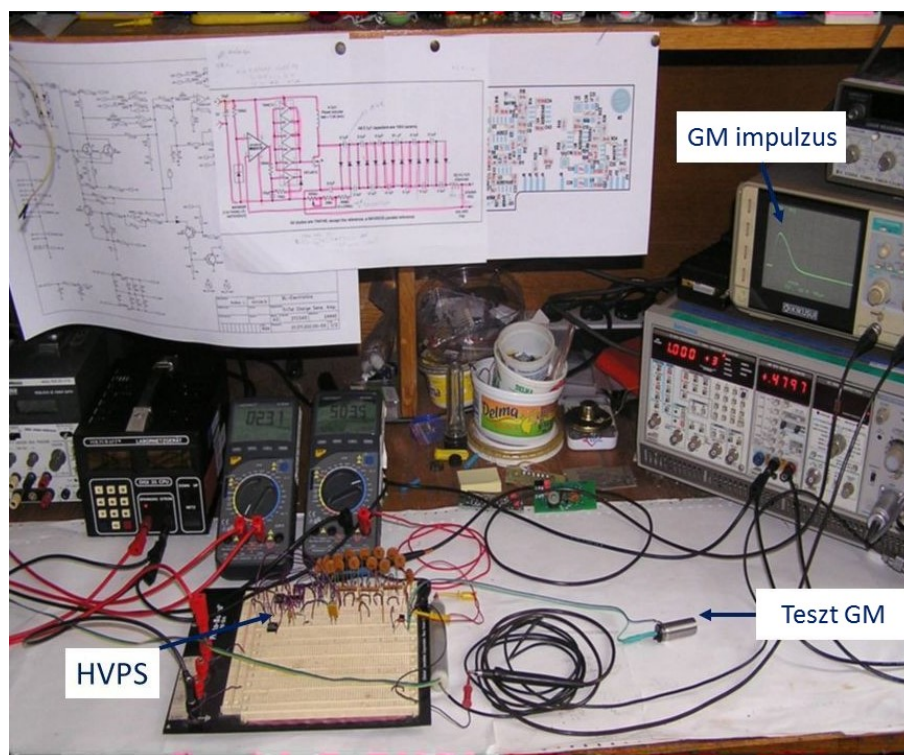


4.3. ábra. Az elkészült panelterv alsó rétege

5. fejezet

Az áramkör tesztelése, bemérése

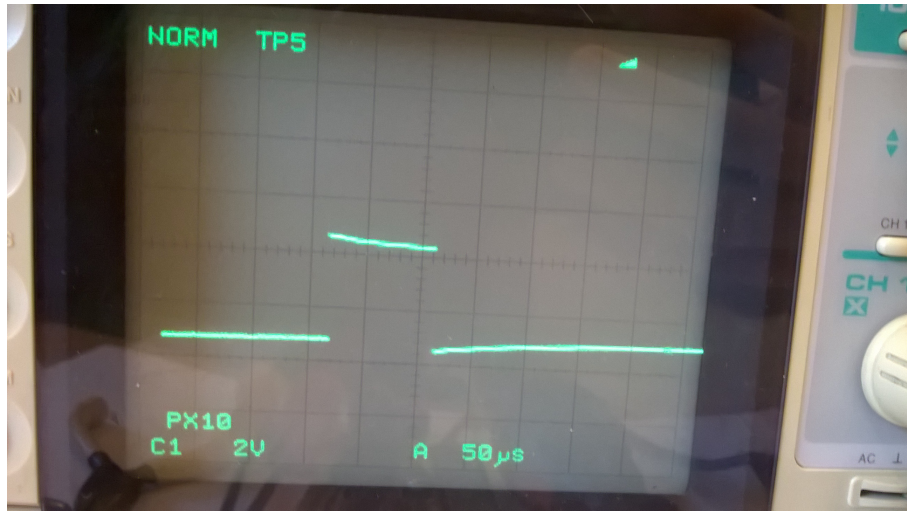
Mint már említettem, a tervezési folyamat legelején protoboardon megépítettem a kapcsolást, melyet az Intézet laborjában ki is próbáltam az alábbi összeállításban:



5.1. ábra. Az első teszt mérési összeállítása

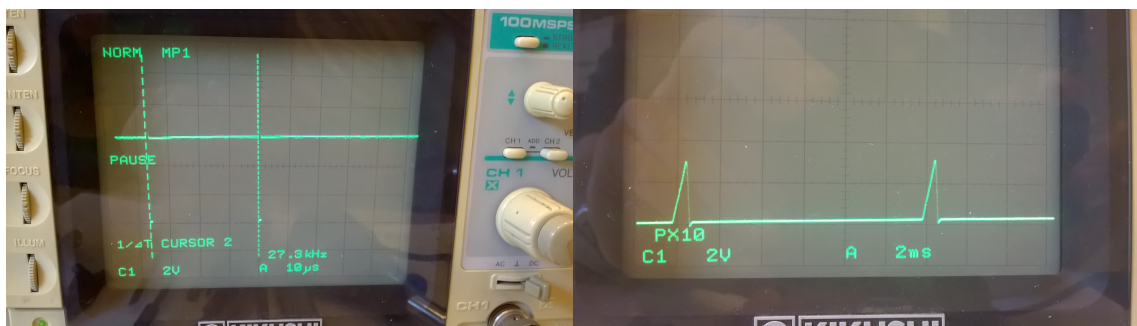
Az ábrán látható, hogy a megépített kapcsolás képes a kisebb méretű, ZP1210 típusú GM-cső ellátására, mely az oszcilloszkópon látható kimeneti jelet produkálta egy véletlenszerű beütés után. Rendelkezésre áll tehát a GM-csövek kiszolgálására alkalmas kapcsolás, mely bizonyította az előzetes terv helyességét.

Az első panelek elkészülte után ismét megvizsgáltuk a kapcsolás működését. A mérést a kisméretű GM-csőveket ellátó kártyán végeztük el, mert ezen tudtunk tesztpontokat kialakítani. Elsőként a komparátorok kimenetén megjelenő jelet vizsgáltuk. Az 5.2. ábrán látható, hogy a jel négyzög jellegű, de a komparátorban a kis fogyasztás érdekében használt nagy értékű ellenállások miatt nem teljesen szabályos formájú. További vizsgálatok során bebizonyosodott, hogy a kísérletet vezérlő controller ezt tökéletesen fel tudja dolgozni.



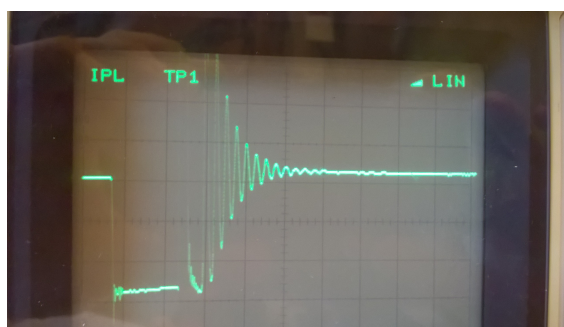
5.2. ábra. A komparátor kimeneti jele

Ez után a nagyfeszültségű generátor hibajel-erősítőjének kimenetén mérhető háromszögjel vizsgáltam. A 5.3. ábrán látható, elvárásainknak megfelelő, 27,3 kHz frekvenciájú háromszögjel vezérli a Schmitt-trigger invertert.



5.3. ábra. A Schmitt-trigger IC bemenete

A Cocroft-Walton sokszorozó bemenetén látható négyszögjel visszafutó „éle” az induktivitás hatása miatt cseng le ennyire tranzienzen.



5.4. ábra. A Cocroft-Walton generátor bemenete

A repülési engedélyhez a helyes működést többször is bizonyítani kellett. Az ESA szakértői számára elsősorban azt kellett igazolni, hogy a kísérlet nem zavarja a rakéta működését, illetve nem befolyásolja a többi kísérletet sem. Az áramkörök 2014 szeptemberében készültek el végleges formájukban, majd ezt követően két elfogadási lépés következett, melyeket sikeresen teljesítettünk. Ezekre a Scientific Payload Integration Week keretében 2014 decemberében Brémában, majd a Bench Test keretében a DLR Oberpfaffenhofenben található bázisán 2015 januárjában került sor. A Bench Test után a kísérleten semmilyen módosítást nem hajthattunk végre, onnantól a szervezők feladata volt a kísérletek eljuttatása az ESRANGE bázisra.

6. fejezet

Összefoglalás

A tervezési folyamat során részt vettem egy kísérleti eszköz elektronikai tervezésében. Ez a tapasztalat megerősített abban, hogy a jövőben több tudással felvértezve hasonló projektekkel foglalkozzam. A kezdeti bizonytalanságok után megtanultam az Altium Designer használatát, ezzel fontos készségekre tettem szert. Külön kiemelném az integrált szemléletű tervezés fontosságát.

A kísérlet előkészítése során nagy figyelmet fordítottuk az alkatrészek helyes kiválasztására. A forrásként szolgáló kapcsoláson végzett változtatásokat elsősorban az indokolta, hogy az ott szereplő alkatrészek működési tartományai kockázatosak tették a nagy hidegben és alacsony nyomáson történő alkalmazásukat. E mellett szempont volt az alkatrészek megfelelő tokozása is.

Eljárásaink helyességét bizonyítja, hogy a repülés során a kísérlet hibátlanul működött, minden előzetesen kijelölt célt teljesített. A mérési eredmények publikációja a dolgozat leadásának idején folyamatban van. [11]

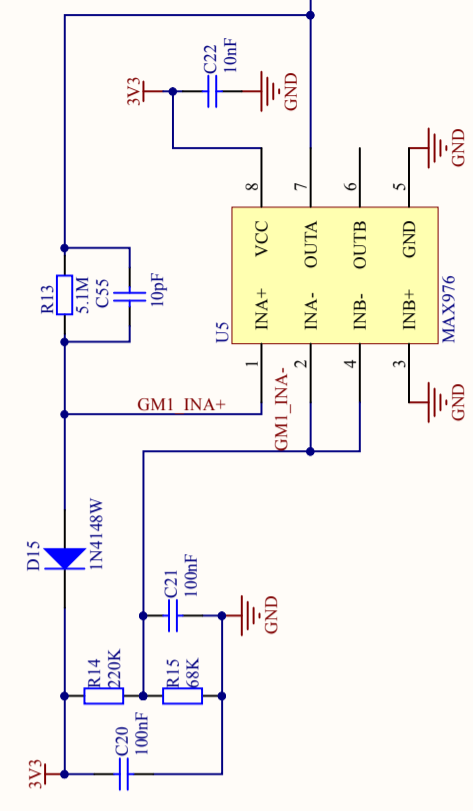
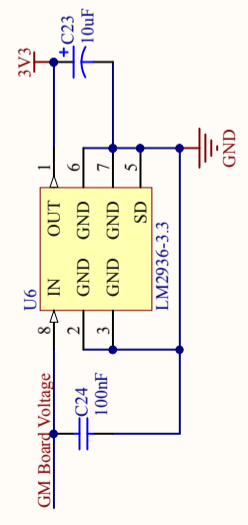
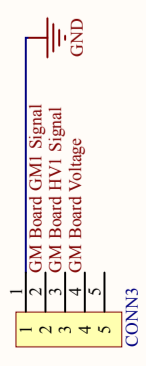
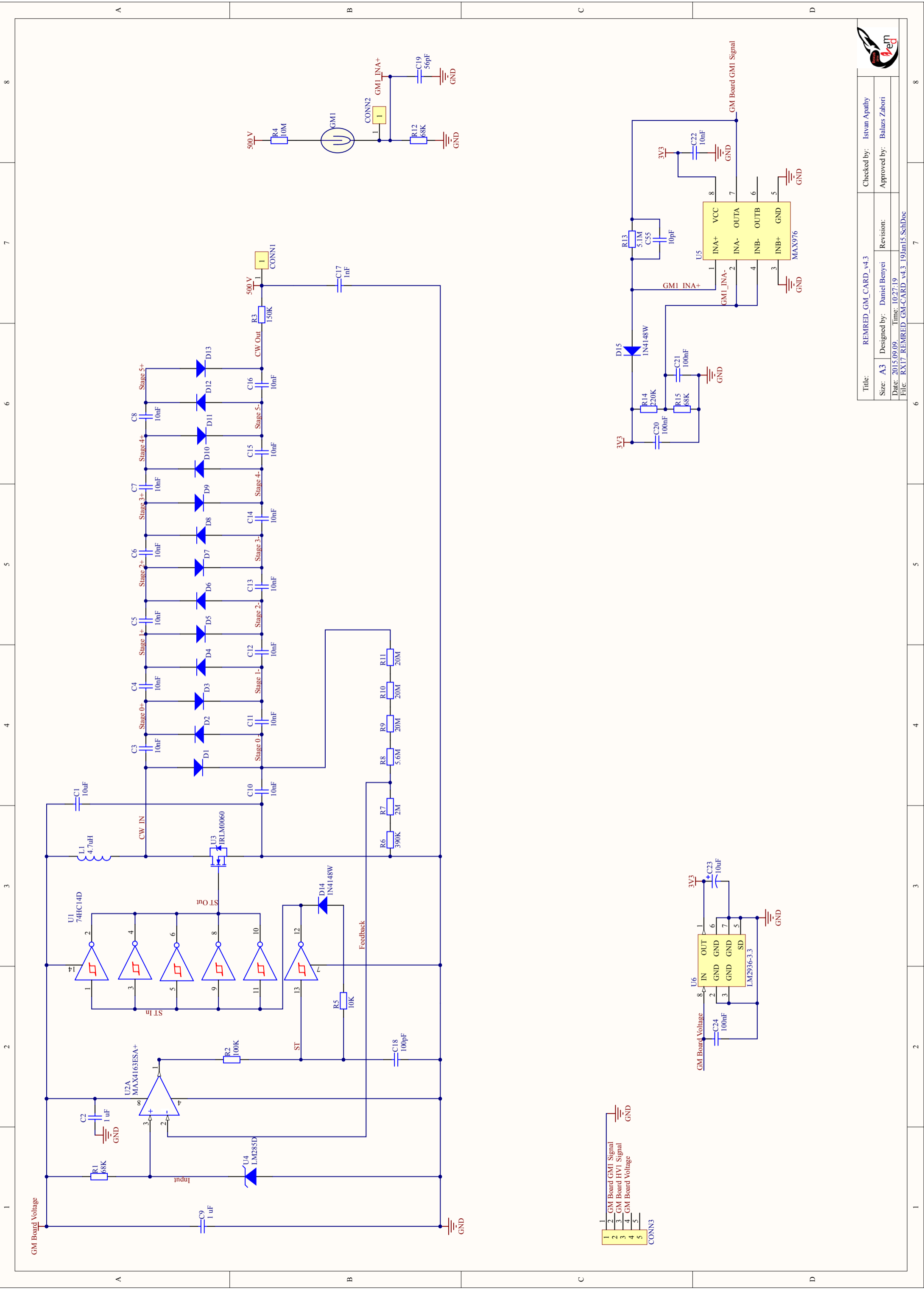
Ezúton is szeretném megköszönni a Kutatócsoport, Apáthy István, Cseri Sándor, Hirn Attila és Zábori Balázs segítségét, támogatását.

A. Függelék

Kapcsolási rajzok

A kinagyított kapcsolási rajzok sorrendje:

- A nagyméretű GM-csőeket elátó, kis méretű kártyák terve
- A kisméretű GM-csőeket ellátó kártya terve, azonos a STRATOS rakétára kerülő kísérlet tervével



Title:	REMRED_GM_CARD_v4.3	Checked by:	Istvan Apathy
Size:	A3	Designed by:	Daniel Benyei
Date:	2015.09.09	Time:	10:27:19
File:	RX177_REMRED_GM-CARD_v4.3_19Jan15.SchDoc	Revision:	Balazs Zabori



Irodalomjegyzék

- [1] R. Prince , R. Kalaivani, "DC-DC Converter Based On Cascade Cockcroft-Walton Voltage Multiplier for High Voltage Gain without Using Transformer", *International Journal of Engineering Science and Innovative Technology (IJESIT)*, Volume 2, Issue 2, March 2013
- [2] www.rexusbexus.net/rexus/ Utolsó megtekintés: 2015.10.10.
- [3] www.sscspace.com/esrange-space-center-3 Utolsó megtekintés: 2015.10.10.
- [4] www.dare.tudelft.nl/ alapján. Utolsó megtekintés: 2015.09.30.
- [5] www.urvilag.hu/a_pille Utolsó megtekintés: 2015.10.10.
- [6] https://en.wikipedia.org/wiki/Cosmic_ray#Discovery alapján. Utolsó megtekintés: 2015.09.20.
- [7] [https://hu.wikipedia.org/wiki/Ionoszféra](https://hu.wikipedia.org/wiki/Ionoszf%C3%A9ra) alapján Utolsó megtekintés: 2015.09.20.
- [8] <https://www.maximintegrated.com/en/products/power/switching-regulators/MAX8622.html> alapján
- [9] <http://www.maximintegrated.com/en/app-notes/index.mvp/id/3757> Utolsó megtekintés: 2015.10.10.
- [10] U. Tietze - Ch. Schenk Analóg és digitális áramkörök - Integrált és diszkrét félvezetők kapcsolástechnikája 2., javított kiadás, Műszaki Könyvkiadó. Budapest, 1974 - 44. oldal
- [11] Zábori B., Gerecs A., Hurtonyné, Gy.Á., Bényei, D., Náczi F., Hurtony, T., **REM-RED cosmic radiation experiment on-board the REXUS-17 sounding rocket**, Proceedings of the 22nd ESA Symposium on European Rocket and Balloon Programmes and Related Research (ESA SP-730, A006, October 2015), 2015
- [12] http://www.cubesat.org/images/developers/cds_rev13_final2.pdf 3.1 szakasza