Általános információk

A diplomaterv szerkezete:

1. Diplomaterv feladatkiírás
2. Címoldal
3. Tartalomjegyzék
4. A diplomatervező nyilatkozata az önálló munkáról és az elektronikus adatok kezeléséről
5. Tartalmi összefoglaló magyarul és angolul
6. Bevezetés: a feladat értelmezése, a tervezés célja, a feladat indokoltsága, a diplomaterv felépítésének rövid összefoglalása
7. A feladatkiírás pontosítása és részletes elemzése
8. Előzmények (irodalomkutatás, hasonló alkotások), az ezekből levonható következtetések
9. A tervezés részletes leírása, a döntési lehetőségek értékelése és a választott megoldások indoklása
10. A megtervezett műszaki alkotás értékelése, kritikai elemzése, továbbfejlesztési lehetőségek
11. Esetleges köszönetnyilvánítások
12. Részletesés pontos irodalomjegyzék
13. Függelék(ek)

Felhasználható a következő oldaltól kezdődő Diplomaterv sablon dokumentum tartalma. Ügyeljen a tanszék, a hallgató, a konzulens nevét és a beadás évét jelölő szövegdobozokra, mert azokra külön ki kell adni a frissítést. A mezők tartalma a sablonban a dokumentum adatlapja alapján automatikusan kerül kitöltésre (Fájl/Információ/Tulajdonságok/Speciális tulajdonságok).

A diplomaterv szabványos méretű A4-es lapokra kerüljön. Az oldalak tükörmargóval készüljenek (mindenhol 2.5cm, baloldalon 1cm-es kötéssel). Az alapértelmezett betűkészlet a 12 pontos Times New Roman, másfeles sorközzel.

Minden oldalon - az első négy szerkezeti elem kivételével - szerepelnie kell az oldalszámnak.

A fejezeteket decimális beosztással kell ellátni. Az ábrákat a megfelelő helyre be kell illeszteni, fejezetenként decimális számmal és kifejező címmel kell ellátni. A fejezeteket decimális aláosztással számozzuk, maximálisan 3 aláosztás mélységben (pl. 2.3.4.1.). Az ábrákat, táblázatokat és képleteket célszerű fejezetenként külön számozni (pl. 2.4. ábra, 4.2 táblázat vagy képletnél (3.2)). A fejezetcímeket igazítsuk balra, a normál szövegnél viszont használjunk sorkiegyenlítést. Az ábrákat, táblázatokat és a hozzájuk tartozó címet igazítsuk középre. A cím a jelölt rész alatt helyezkedjen el.

A képeket lehetőleg rajzoló programmal készítsék el, az egyenleteket egyenlet-szerkesztő segítségével írják le.

Az irodalomjegyzék szövegközi hivatkozása történhet a Harvard-rendszerben (a szerző és az évszám megadásával) vagy sorszámozva. A teljes lista névsor szerinti sorrendben a szöveg végén szerepeljen (sorszámozott irodalmi hivatkozások esetén hivatkozási sorrendben). A szakirodalmi források címeit azonban mindig az eredeti nyelven kell megadni, esetleg zárójelben a fordítással. A listában szereplő valamennyi publikációra hivatkozni kell a szövegben. Minden publikáció a szerzők után a következő adatok szerepelnek: folyóirat cikkeknél a pontos cím, a folyóirat címe, évfolyam, szám, oldalszám tól-ig. A folyóirat címeket csak akkor rövidítsük, ha azok nagyon közismertek vagy nagyon hosszúak. Internet hivatkozások megadásakor fontos, hogy az elérési út előtt megadjuk az oldal tulajdonosát és tartalmát (mivel a link egy idő után akár elérhetetlenné is válhat), valamint az elérés időpontját.

Fontos:

* a szakdolgozat készítő/diplomatervező nyilatkozata (a jelen sablonban szereplő szövegtartalommal) kötelező előírás Karunkon, ennek hiányában a szakdolgozat/diplomaterv nem bírálható és nem védhető!
* mind a dolgozat, mind a melléklet maximálisan 15 MB méretű lehet!

Jó munkát, sikeres szakdolgozat készítést ill. diplomatervezést kívánunk!

FELADATKIÍRÁS

A feladatkiírást a **tanszék saját előírása szerint** vagy a tanszéki adminisztrációban lehet átvenni, és a tanszéki pecséttel ellátott, a tanszékvezető által aláírt lapot kell belefűzni a leadott munkába, vagy a tanszékvezető által elektronikusan jóváhagyott feladatkiírást kell a Diplomaterv Portálról letölteni és a leadott munkába belefűzni (ezen oldal HELYETT, ez az oldal csak útmutatás). Az elektronikusan feltöltött dolgozatban már nem kell megismételni a feladatkiírást.



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Konzulens

BUDAPEST, 2024

Tartalomjegyzék

[Összefoglaló 7](#_Toc167438284)

[Abstract 8](#_Toc167438285)

[1 Bevezetés 9](#_Toc167438286)

[2 Specifikáció 10](#_Toc167438287)

[3 Fizikai áttekintés 11](#_Toc167438288)

[3.1 Fizikai ismertető 11](#_Toc167438289)

[3.2 Szcintillátor kiválasztása 11](#_Toc167438290)

[3.3 Szcintillátor tesztelése 11](#_Toc167438291)

[3.4 Szcintillátor hatásfokának számítása 11](#_Toc167438292)

[3.5 Detektor kiválasztása 11](#_Toc167438293)

[4 Hardver 12](#_Toc167438294)

[4.1 Hardver blokkvázlat 12](#_Toc167438295)

[4.2 Tápegység 14](#_Toc167438296)

[4.2.1 Akkumulátor töltő 14](#_Toc167438297)

[4.2.2 Digitális tápegység 17](#_Toc167438298)

[4.2.3 Analóg bemeneti fokozat tápegysége 18](#_Toc167438299)

[4.2.4 Detektor tápegység 21](#_Toc167438300)

[4.3 Analóg bemeneti fokozat 25](#_Toc167438301)

[4.3.1 Terv 25](#_Toc167438302)

[4.3.2 Szimuláció 25](#_Toc167438303)

[4.3.3 Mérési eredmények 25](#_Toc167438304)

[4.4 Be- és kikapcsolást vezérlő áramkör 26](#_Toc167438305)

[4.4.1 Terv 26](#_Toc167438306)

[4.4.2 Szimuláció 27](#_Toc167438307)

[4.4.3 Mérési eredmények 27](#_Toc167438308)

[4.5 Digitális áramköri elemek 28](#_Toc167438309)

[4.5.1 Mikrovezérlő 28](#_Toc167438310)

[4.5.2 Periféria illesztés 30](#_Toc167438311)

[4.5.3 Kijelző 31](#_Toc167438312)

[4.5.4 SD kártya illesztése 33](#_Toc167438313)

[4.5.5 USB kommunikáció illesztése 34](#_Toc167438314)

[4.6 Hőmérséklet mérése 35](#_Toc167438315)

[4.6.1 Terv 35](#_Toc167438316)

[4.6.2 Szimuláció 36](#_Toc167438317)

[4.6.3 Mérési eredmények 36](#_Toc167438318)

[4.7 Detektorkártya tervezése 36](#_Toc167438319)

[4.7.1 Onboard detektor illesztése 36](#_Toc167438320)

[4.7.2 Adapterkártya külső detektorhoz 36](#_Toc167438321)

[4.8 Fóliatasztatúra tervezése 36](#_Toc167438322)

[5 Beágyazott szoftver 37](#_Toc167438323)

[6 PC alkalmazás 38](#_Toc167438324)

[7 Burkolat tervezése 39](#_Toc167438325)

[7.1 Felhasználható alapanyagok 39](#_Toc167438326)

[7.2 Tervezés 39](#_Toc167438327)

[7.3 Nyomtatási beállítások 39](#_Toc167438328)

[7.4 Kész burkolat bemutatása 39](#_Toc167438329)

[8 Élesztés 40](#_Toc167438330)

[9 Mérési eredmények 42](#_Toc167438331)

[9.1 Cs137 izotópos mérés 42](#_Toc167438332)

[9.1.1 Mérési összeállítás 42](#_Toc167438333)

[9.1.2 Mért eredmények 42](#_Toc167438334)

[9.1.3 Konklúzió 42](#_Toc167438335)

[9.2 Co60 izotópos mérés 42](#_Toc167438336)

[9.2.1 Mérési összeállítás 42](#_Toc167438337)

[9.2.2 Mért eredmények 42](#_Toc167438338)

[9.2.3 Konklúzió 42](#_Toc167438339)

[9.3 Am241 izotópos mérés 42](#_Toc167438340)

[9.3.1 Mérési összeállítás 42](#_Toc167438341)

[9.3.2 Mért eredmények 42](#_Toc167438342)

[9.3.3 Konklúzió 42](#_Toc167438343)

[9.4 Energia kalibráció 42](#_Toc167438344)

[10 Összefoglalás 43](#_Toc167438345)

[11 Utolsó simítások 44](#_Toc167438346)

[Irodalomjegyzék 45](#_Toc167438347)

Hallgatói nyilatkozat

Alulírott **Szabó Mihály**, szigorló hallgató kijelentem, hogy ezt a szakdolgozatot/ 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, 2024. 05. 24.

...…………………………………………….

Összefoglaló

Ide jön a ½-1 oldalas magyar nyelvű összefoglaló, melynek szövege a Diplomaterv Portálra külön is feltöltésre kerül.

Abstract

Ide jön a ½-1 oldalas angol nyelvű összefoglaló, amelynek szövege a Diplomaterv Portálra külön is feltöltésre kerül.

# Bevezetés

Már középiskolás korom óta érdekel az atomenergetika, ezáltal a különböző ionizáló sugárzások mérése is. A középiskolai tanulmányaim alatt volt szerencsém egy Geiger-Müller csöves dozimétert, majd BSc szakdolgozatnak egy számítógéphez csatlakoztatható gamma spektrométert építeni.

A radioaktív izotópokat manapság számos iparágban használnak, az alábbiakban felsorolok pár ilyen területet a teljesség igénye nélkül:

* Nukleáris ipar
* Kohászat
* Orvostechnológiai alkalmazások
* Régészet (karbon kormeghatározás)
* Katonai alkalmazások
* Katasztrófavédelem

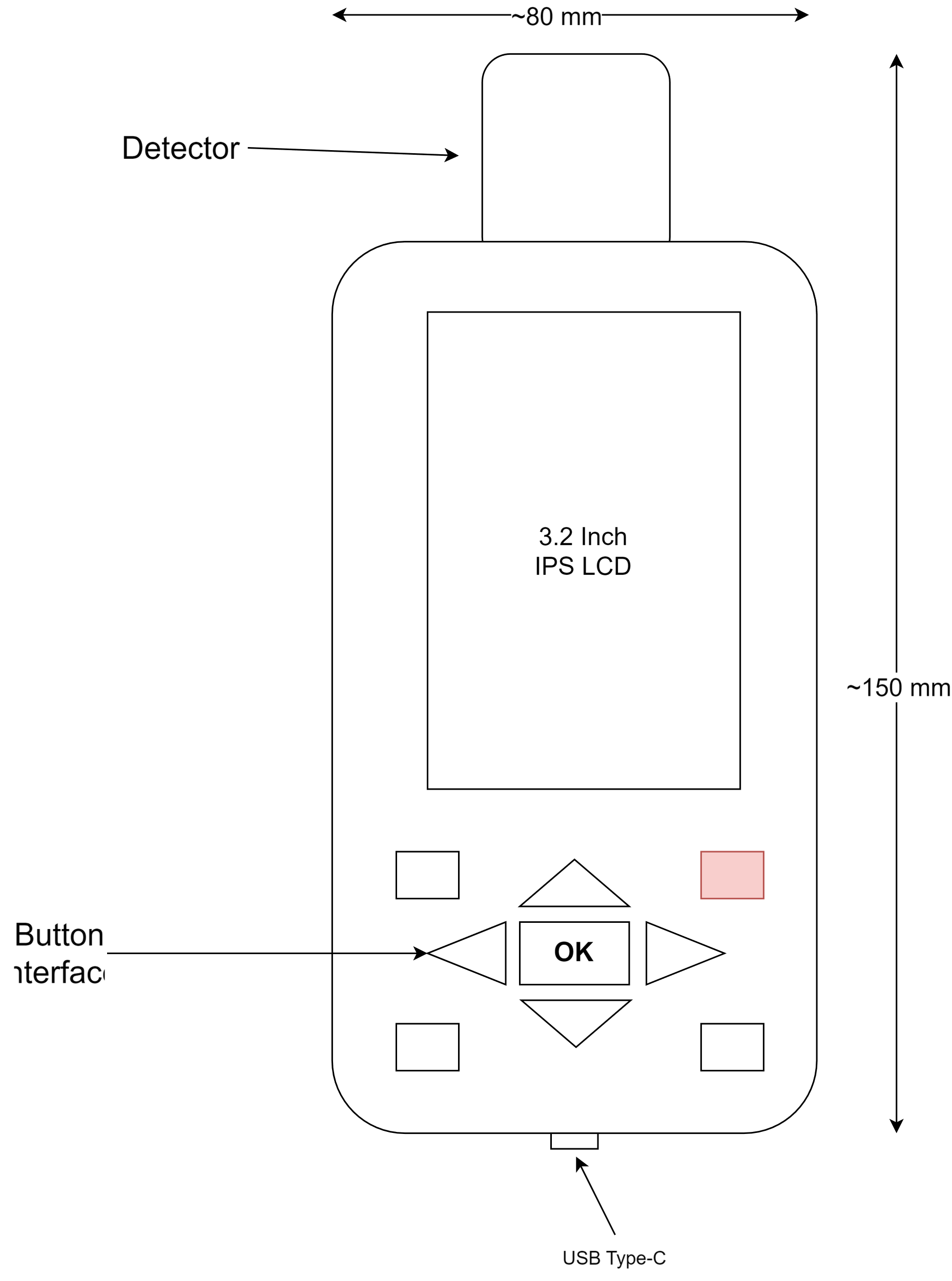
A fenti felsorolásból is látszik, hogy az életünk számos területén használunk radioaktív izotópokat, így a megfelelő azonosításuk kulcsfontosságú.

Jelen dolgozat célja egy hordozható kézi műszer megvalósítása a BSc szakdolgozat továbbfejlesztésével, ami képes a gamma spektrum vizsgálatára, valamint a pár kitüntetett izotóp azonosítására is.

# Specifikáció

**HASONLÓ ESZKÖZÖK BEMUTATÁSA**

A fejlesztés kezdetekor megfogalmazódott célom egy olyan hordozható készülék létrehozása volt, ami képes külső berendezések segítsége nélkül (például PC) a γ spektrum vizsgálatára. A koncepció kidolgozása után a készülék vázlatos kinézetét terveztem meg. Erre, azért volt szükség, hogy mind a kapcsolási rajzot, mind a nyomtatott áramköri tervet már ezen koncepció szerint legyen tervezve, utólagos nagy módosítások ne legyenek szükségesek.



2‑1. ábra Vázlatos látványterv

**SPECIFIKÁCIÓ**

# Fizikai áttekintés

## Fizikai ismertető

## Szcintillátor kiválasztása

## Szcintillátor tesztelése

## Szcintillátor hatásfokának számítása

## Detektor kiválasztása

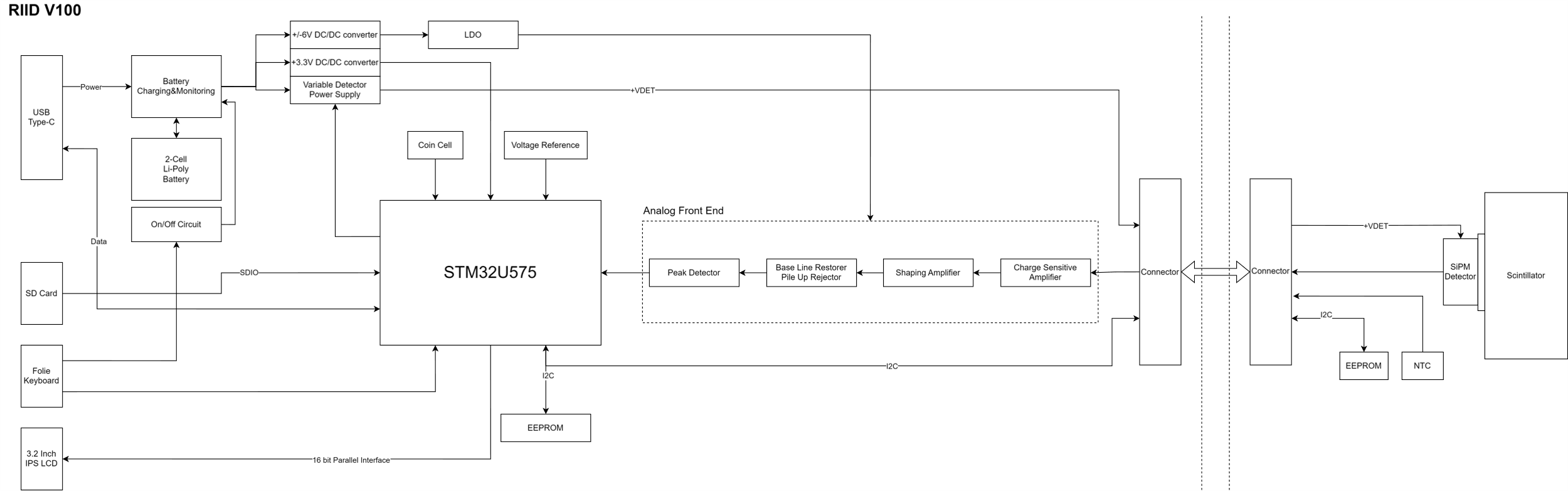
# Hardver

Ebben a fejezetben ismertetem az eszköz hardveres felépítését, sorra veszem az egyes részegységek tervezését, alkatrészeinek kiválasztását, indokolt esetben a szimulációjukat valamint a megvalósításukat.

## Hardver blokkvázlat

Az eszközben 4 darab nyomtatott áramkör helyezkedik el, ezek az alábbiak:

* MainBoard: főpanel, az elektronika nagy része itt található
  + Akkumulátor kezelés
  + Tápellátás
  + Analóg feldolgozó egység
  + Mikrokontroller
  + SD kártya interfész
  + USB csatlakozó
  + Kijelző
* DetectorBoard: γ fotonok detektálása itt történik
  + SiPM fotonsokszorozó
  + NaI(Tl) szcintillátor
  + EEPROM kalibrációs célból
* AdapterBoard: kompatibilitás biztosítása az előző generációs detektorkártyával
* Folie\_KeyBoard: Fóliatasztatúrás kezelői felület.



4‑1. ábra A tervezett készülék blokkvázlat

## Tápegység

Az eszköz egyik legfontosabb részegysége a tápegység, mivel ennek a részegységnek a helyes működése elengedhetetlen a többi számára. A tápegységnek biztosítania kell az akkumulátor töltését, a digitális és analóg áramkörök valamint a detektor tápellátását. Az analóg és digitális földeket a tervezés során külön kezeltem, azokat csillagpontosan kötöttem össze a keletkezési helyüknél.



4‑2. ábra Tápstruktúra

### Akkumulátor töltő

Mivel az eszközünk hordozható, ezért a tápellátás biztosítása érdekében valamilyen akkumulátort kell alkalmaznunk. A töltőáramkör kiválasztása előtt meg kell határoznunk az akkumulátor típusát és a cellák számát. Akkumulátor típusnak a Li-ion akkumulátort választottam, mivel energiasűrűsége magas és napjainkban az egyik legelterjedtebb akkumulátor típus, ezért a sok integrált töltő megoldás létezik a félvezető gyártók részéről.

A minél hosszabb üzemidő biztosítása érdekében úgy döntöttem, hogy nem egy cellát fogok használni hanem 2S1P (2series1parallel) konfigurációban 2 darabot. Mivel az eszközt USB-n keresztül fogjuk tölteni (5V), ezért olyan megoldást kell választanunk ami képes a két sorba kapcsolt akkumulátort feltölteni (8.4V). Látható, hogy valamilyen módon az USB feszültségét meg kell emelnünk, hogy tölteni tudjuk az akkumulátorokat. Erre kézenfekvő megoldás lenne, hogy egy boost konverter segítségével ~9V körüli feszültséget hozunk létre, majd innen az akkumulátor töltő áramkörre bíznánk a töltést. Ennek a megoldásnak a hátránya, hogy a legtöbb akkumulátor töltő integrált áramkör lineáris nagy disszipációt, így rossz hatásfokot eredményezne. Ez a gyakorlatban a következőket jelentené majdnem teljesen lemerült esetben 1A töltőáram mellett:

Ez a disszipáció olyan nagy mértékű amit a töltő áramkörök nem viselnének el. Megoldás lehetne a töltőáram csökkentése, így viszont a töltési idő növekedne meg ami szintén nem szerencsés. Ezen okok miatt egy kapcsolóüzemű boost topológiás akkumulátor töltő áramkört kerestem a különböző gyártóknál. Az eredményeket az alábbi táblázatban gyűjtöttem :

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Név | Max.áram [A] | Bemeneti fesz.[V] | Vezérlés | USB detektálás | Tokozás |
| BQ25882 | 2 | 3.9-6.2 | I2C | D+/D- | WCSP-25 |
| BQ25886 | 2 | 4.2-6.2 | Passzív RC | D+/D- | QFN-24 |
| MAX77960 | 3 | 3.5-25.4 | I2C | - | FC2QFN |
| BQ25887 | 2 | 4.2-6.2 | I2C | PSEL | QFN-24 |

1. táblázat Akkumulátor töltő áramkörök

A választás a Texas Instruments által gyártott BQ25886 típusra esett, mivel paraméterei alapján ezt ítéltem a feladat megvalósítása szempontjából a legcélszerűbbnek. Maximális kimeneti árama 2A, ami lehetővé teszi az akkumulátorok gyors töltését. Bemeneti feszültségtartománya számunkra éppen az ideális tartományban van, így nem igényel semmilyen közbenső átalakítót maga és az USB csatlakozó közé. Vezérlése különböző értékű ellenállásokkal történik, így ezt szoftveres oldalról már nem kell kezelni, ezzel egyszerűsítve a fejlesztést. Az USB BC1.2 protokoll segítségével képes az USB Host-tól lekérdezni a maximális áramot amit az adott interfészen keresztül szolgáltatni tud a Host, így elkerülve annak túlterhelését. Az áramkör egyetlen hátránya, hogy VQFN24 a tokozása, így forrasztása nehezebb, mint az átlagos integrált áramköröké.[1]



4‑3. ábra BQ25886 bekötése

Mivel az akkumulátorokat 2S1P struktúrában használom, ezért gondoskodni kell az akkumulátorok feszültségének kiegyenlítéséről. Erre azért van szükség, mivel a gyártási szórások miatt az egyes akkumulátorok kapacitásai egymástól eltérőek lehetnek, ezért szélsőséges esetekben előfordulhat, hogy az egyik akkumulátort túltöltjük. Ez az akkumulátor élettartamának csökkenéséhez, szélsőséges esetekben a tönkremenetelhez vezethet. Ennek elkerülésére egy kiegyenlítő elektronikát kell beépíteni a cellák közé. Erre a probléma sok félvezetőket gyártó vállalatnak van megoldása. Én a Texas által gyártott BQ29209 áramkört választottam, mivel nyugalmi árama kicsi (1 uA), így kikapcsolt állapotban sem terheli az akkumulátort. Valamint minimális külső alkatrészek használatával 15 mA-es kiegyenlítő áramot tud létrehozni az egyes cellák között. Ezt elegendőnek éreztem, mivel a két cella ugyan azon gyártó terméke, ezért csak a gyártási szórásaikat kell kompenzálnunk.[2]



4‑4. ábra Akkumulátor töltéskiegyenlítő kapcsolási rajza

### Digitális tápegység

A digitális részegségek számára egy +3.3V-os tápfeszültséget fogok előállítani. Ebben az esetben mindenképp célszerű kapcsoló üzemű átalakítót használni. A kapcsoló üzemű átalakító kiválasztása előtt egy nagyságrendi becslést készítettem, hogy az egyes komponensek mennyi áramot fognak felvenni:

* Mikrokontroller: ~ 50 mA
* Kijelző: ~100 mA
* SD kártya írás: ~100 mA
* Egyéb áramköri komponensek: ~20 mA

Ezen áramokat összegezve arra számítok, hogy az áramfelvétel a +3.3V-os sínen 270 mA környékén fog alakulni. A biztonság kedvéért a konvertert 300 mA kimeneti áramra fogom méretezni, hogy elégégséges tartalék maradjon a rendszerben.

Konverternek a Texas által gyártott TPS560430XF szinkron buck konvertert választottam, mivel paraméterei kiválóan alkalmassá teszik a feladatra. A kiválasztás főbb paramétereit táblázatos formában az alábbiakban foglalom össze:

|  |  |
| --- | --- |
| Bemeneti feszültségtartomány [V] | 4-36 |
| Maximális kimeneti áram [mA] | 600 |
| Hatásfok (8V@300mA) [%] | 92 |
| Kapcsolási frekvencia [MHz] | 1.1 |
| Tokozás | SOT-23-6 |

4‑5. ábra TPS560430XF főbb paraméterei

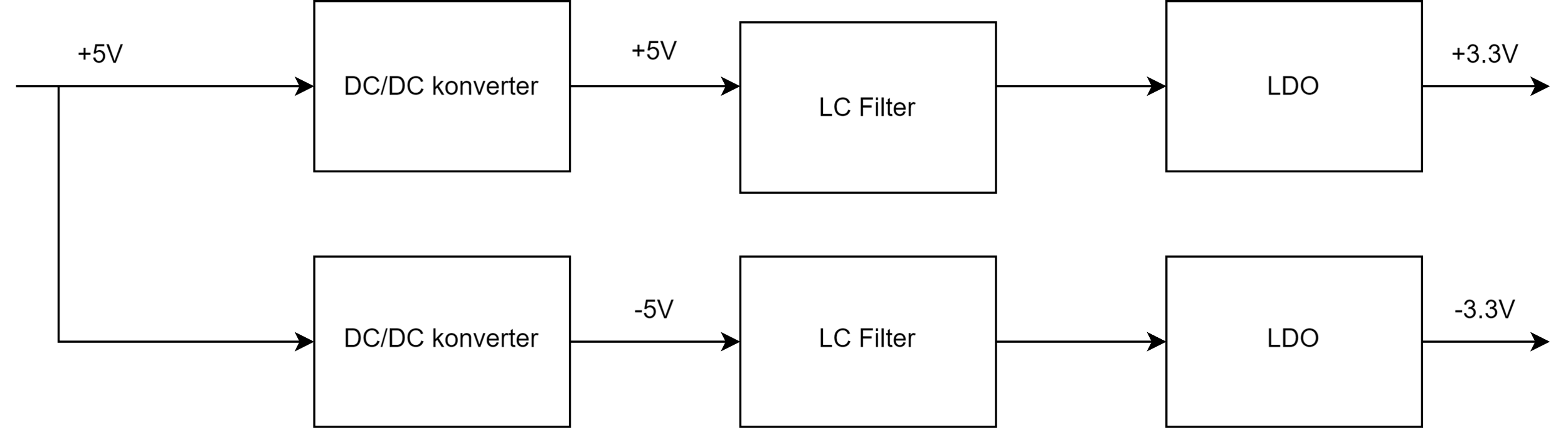
A tokozás kis mérete és a magas kapcsolási frekvencia (kisebb induktivitás -> kisebb méret) ideálissá teszi hordozható alkalmazásokban való használatát. A kiegészítő alkatrészeket az adatlap alapján határoztam meg.[3]



4‑6. ábra +3.3V-ot előállító áramkör kapcsolási rajza

### Analóg bemeneti fokozat tápegysége

Az analóg bemeneti fokozatnak szüksége van a pozitív mellett negatív tápfeszültségre is. A negatív tápfeszültségre, azért van szükség, mivel a detektorról érkező áramimpulzust negatív előjelű feszültségimpulzussá alakítjuk át. A szimmetrikus tápsín előállításához szükségünk lesz valamilyen DC-DC átalakítóra, viszont ezen átalakítók jelentős zajt okozhatnak, ami esetünkben nem szerencsés, mivel az érzékeny analóg áramköri részegységet tápláljuk meg. Emiatt gondoskodnunk kell a DC-DC konverter kimenetének szűréséről. Ennek a megvalósítása, úgy fog történni, hogy a DC-DC konverter kimenetére egy LC szűrő kerül, az LC szűrő kimenetére pedig egy-egy lineáris stabilizátort kötök, ezzel biztosítva a minél kisebb zajt az analóg tápsínen. Ezen felül a mikrokontroller A/D és D/A átalakítójának is elő kell állítani egy pontos referenciafeszültséget.



4‑7. ábra Analóg tápstruktúra

**DC-DC átalakító:**

Mivel a rendelkezésre álló hely kicsi, ezért egy integrált DC-DC átalakító modult kezdtem el keresni. Ezen modulokra jellemző, hogy galvanikus izolációt biztosítanak a be- és kimeneteik között, viszont ezt ebben az esetben nem fogom kihasználni, mivel a feladat jellege nem indokolja. Fontos paramétere, hogy bemeneti +5V-os feszültségből a kimeneten +/-5V-os feszültséget állítson elő és legalább +/-100 mA terhelő árammal lehessen terhelni. Ez az áramterhelhetőség bőven elég lesz, hiszen erről a tápegységről csak az analóg részegységek fognak üzemelni, amik nem vesznek fel nagy teljesítményt.

A választás a Texas által gyártott DCPA10505DP modulra esett. A modul főbb paraméterei az alábbiak:[4]

|  |  |
| --- | --- |
| Bemeneti feszültségtartomány [V] | 4.5-5.5 |
| Maximális kimeneti áram [mA] | +/-100 |
| Hatásfok (8V@300mA) [%] | ~70 |
| Kapcsolási frekvencia [kHz] | 425 |

4‑8. ábra DCPA10505DP modul főbb paraméterei

**LC szűrő:**

Az szűrő tervezésénél a legfontosabb paraméter amit figyelembe kell vennünk a DC-DC átalakító kapcsolási frekvenciája. Ökölszabályként elmondható, hogyha a LC szűrő kiemelési frekvenciáját a kapcsolási frekvencia 1/10 (vagy ennél alacsonyabb) értékre választjuk meg, akkor már jó eredményt fogunk kapni. Ezen felül érdemes figyelembe venni az eddig felhasznált alkatrészeket (kondenzátor, tekercs), hogy ezekből a fenti paramétereknek megfelelő szűrőt tudunk-e építeni, így egyszerűsítve az ültetést. A fenti paramétereket figyelembe véve egy 22uH-is tekercset és egy 10uF-os kondenzátorból alakítottam ki a szűrőt. Ezen értékű alkatrészekkel az alábbi kiemelési frekvenciát kaptam:

**Lineáris szabályzó:**

Az utolsó fokozatot egy-egy lineáris szabályzó fogja adni. Ezeknek a szerepe a minél nagyobb zajelnyomás biztosítása. A kiválasztási folyamatban a minél nagyobb PSRR érték, a fizikai méret, valamint az játszott szerepet, hogy mind a pozitív, mind a negatív tápfeszültséget előállító stabilizátor egy termékcsalád tagja legyen. Erre, azért van szükség, hogy mindkét tápfeszültség zajparaméterei egymáshoz hasonlóak legyenek. A nagy alkatrészdisztribútoroknál végzett keresgélés után a Texas által gyártott TPS7A49 és TPS7A30 stabilizátorokra esett a választás. Ezen áramköröket maga a gyártó is DC-DC átalakítók utáni szűrésre ajánlja az érzékeny analóg elektronika (műveleti erősítők, D/A, A/D átalakítók) tápellátására. A két általam választott áramkörnek a jellemzője a nagy PSRR érték, valamint az alacsony kimeneti zaj. [5][6]

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Típus | TPS7A49 | TPS7A30 |
| Bemeneti feszültség tartomány [V] | 3-36 | -3 - -35 |
| Kimeneti feszültség tartomány [V] | 1.194-33 | -1.18 - -33 |
| Maximális kimeneti áram [mA] | 150 | 200 |
| PSRR [dB] (120 Hz) | 72 | 72 |
| PSRR [dB] (10 Hz – 400 kHz) | >52 | >52 |
| Zaj [uVrms] (10 Hz – 100 kHz) | 15.4 | 15.1 |

4‑9. ábra Lineáris stabilizátorok főbb paraméterei

**Referencia feszültség előállítása:**

A félvezető gyártók számos integrált megoldást kidolgoztak erre a problémára. A kiválasztásnál a hőfüggést, a pontosságot, a dropout feszültséget és a kimeneti zajt vettem figyelembe. A kiválasztás során nem ítéltem szükségesnek a legpotensebb alkatrészeket választani, mivel az alkalmazás jellege ezt nem indokolja, így költségcsökkentési okokból a „középkategóriás” referenciák között kutattam. Ezek alapján a REF3333 integrált áramkört választottam. [7]

|  |  |
| --- | --- |
| Maximális bemeneti feszültség [V] | 7.5 |
| Dropout feszültség [mV] | 110 |
| Hőfüggés [ppm/°C] | 30 |
| Kimeneti zaj (0.1Hz – 10Hz) [uVpp] | 35 |

4‑10. ábra REF3333 referencia főbb adatai

**Analóg és digitális földek összekötése:**

Az eszközben az analóg és digitális részegységekhez tartozó földek külön vannak kezelve. Ennek oka, hogy az analóg részegységeket minél jobban elhatároljuk a digitális részegységektől, amik jelentős zaj kibocsájtók lehetnek. Ezért ezen két föld összekötése csillagpontosan történt, a csillagpontba kötésnél sorosan ferriteket felhasználva, ezzel a nagyfrekvenciás zavarkomponenseket szűröm ki.



4‑11. ábra Analóg tápfeszültség előállítása

### Detektor tápegység

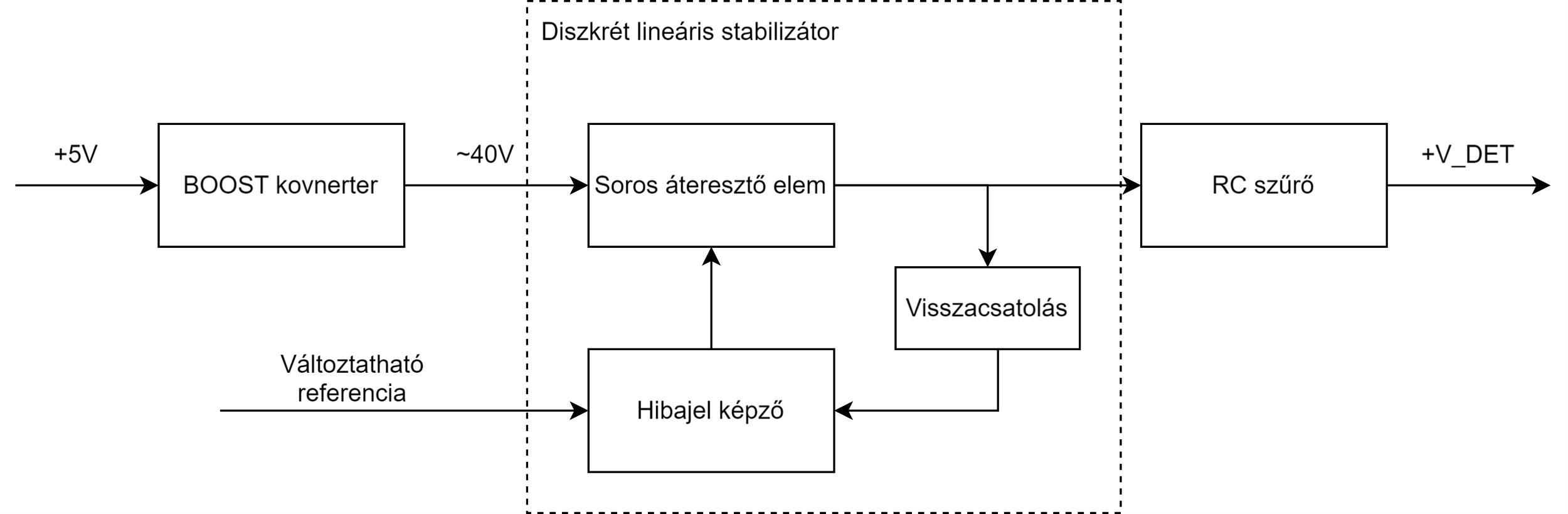
Ennek a tápegységnek a feladata, hogy szoftveresen konfigurálható tápfeszültséget hozzon létre. Erre, azért van szükség, mivel az SiPM erősítése a letörési feszültsége felett egyenes arányban áll az SiPM feszültségével. Az SiPM-ek letörési feszültsége és maximális túlfeszültség értéke típusonként változik, viszont általánosságban elmondható, hogy a letörési feszültség 25-30V-os, míg a maximális túlfeszültség értéke 0-10V-os tartományban mozog. Ezen detektorok áramfelvétele kicsi, tapasztalati méréseim szerint környezeti fényviszonyok mellett (ez a lehetőség üzemszerű működésnél nem fordulhat elő) ~5 mA. A fentebb kifejtett okok miatt, az SiPM tápegységét úgy kell megtervezni, hogy feszültségét a lehető legstabilabban tartsa minimális áram mellett is.

#### Terv

Mivel az eszközben az összes feszültségszint kisebb, ezért a szükséges feszültségszint előállításához valamilyen boost konvertert kell alkalmaznunk. Az egyszerűség kedvéért egy kész integrált áramkört fogok alkalmazni, ez viszont felvet pár problémát:

* Nehézkes elérni a változtatható kimeneti feszültséget (SiPM miatt szükséges az állítható erősítés miatt)
* A kimeneti feszültség feszültséghullámzása nem kívánt erősítsés ingadozást okozhat az SiPM erősítésében

Célszerű megoldás lenne, ha a kimeneti feszültséget egy RC,LC,RLC szűrő segítségével szűrnénk meg. Ez a második problémára megoldást ad, viszont az első problémát még meg kell oldanunk. A megoldás egy diszkrét alkatrészekből épített lineáris áteresztő tranzisztoros kapcsolás. Ennek a megoldásnak az az előnye, hogy könnyen építhetünk olyan megoldást aminek külsőleg lehet szabályozni a kimeneti feszültségét, valamint a DC-DC átalakítóból származó kapcsolási zaj elnyomásában is segít. A maximális hatás érdekében a lineáris szabályzó kimenetére egy RC aluláteresztő szűrőt is tervezek, így biztosítva, hogy az SiPM feszültsége a legzajmentesebb legyen.

****

4‑12. ábra Detektor tápegységének blokkvázlata

**Boost konverter:**

A boost konverter kiválasztásánál a legfontosabb szempontok a megfelelő be- és kimeneti feszültségtartományok voltak. Ez már a kellőképpen leszűkítette a használható integrált áramkörök körét. Figyelembe vettem még a kapcsolási frekvencia nagyságát, mivel minél nagyobb azonos áramnál fizikailag kisebb tekercsek közül válogathatunk, így jelentős helymegtakarítást elérve. Ezen paraméterek alapján az LT3467 és az LT3461 áramkörök maradtak. Mindkettő ára hasonló és a kapcsolási frekvenciájuk is megegyezik, viszont az LT3461 integrált Schottky diódával rendelkezik, így még több helyet takaríthatunk meg. [8]



4‑13. ábra Detektor tápegység első fokozata

**Lineáris szabályzó:**

A lineáris szabályzó egy egyszerű soros áteresztő tranzisztoros kapcsolás kiegészítve egy hibajel erősítővel. Ennek előnye, hogy a kimenet szabályzását egyszerűen bonyolult szoftveres szabályzás nélkül meg tudjuk oldani.

A képen diagram, sor, Tervrajz, Műszaki rajz látható

Automatikusan generált leírás

4‑14. ábra Lineáris stabilizátor elvi felépítése[9]

A kimeneti feszültség az alábbiak szerint alakul ennek a szabályzó struktúrának az esetében:

Mivel a kimeneti feszültségnek szabályozhatónak kell lennie, ezért a fenti képlet valamely paraméterébe való beavatkozással fogjuk tudni szabályozni a kimenetünket. Lehetőségünk van az ellenállás értékek változtatására például digitális potenciométer segítségével, viszont ezen integrált áramkörök drágák és a felbontásuk sem éri el a kívánalmakat (8-10 bit). Ezért úgy döntöttem, hogy a referencia feszültség állításával fogom a kimeneti feszültséget szabályozni. Ehhez szükségünk van egy D/A átalakítóra, ami a digitális potenciométerekkel egy árkategóriába esik, szerencsére manapság már a mikrovezérlők nagy része beépített D/A átalakítóval rendelkezik. Az általam választott vezérlő (lásd Mikrokontroller fejezet) egy darab 12 bites beépített D/A átalakítóval rendelkezik.

Manapság már az olcsóbb árkategóriájú műveleti erősítők is olyan gyors működésűek, hogy „kapcsolóüzemű” működés elkerülése érdekében lassítanunk kell az áramkörünk működésén. Ezt egy ellenállás és kondenzátor alábbi módon való bekötésével tudjuk elérni. Lineáris stabilizátor esetében fontos kiszámolnunk a maximális várható disszipáció értékét, hogy méretezni tudjuk az áteresztő tranzisztort. Ebben az esetben ezt az alábbi paraméterekkel becsültem meg:[9]



4‑15. ábra Diszkrét lineáris szabályzó

#### Szimuláció

**SZIMULÁCIÓ A HŐM.DRIFT HATÁSÁRÓL**

**STABILITÁS**

**FESZ.UGRÁS**

#### Mérési eredmények

**LINEARITÁS (INL,DNL)**

**STABILITÁS**

**FESZ.UGRÁS**

## Analóg bemeneti fokozat

### Terv

### Szimuláció

### Mérési eredmények

## Be- és kikapcsolást vezérlő áramkör

Ennek az áramköri egységnek a feladata, hogy egy gomb nyomva tartásának hatására engedélyezze a bekapcsolást, valamint bekapcsolt állapotban a hosszú nyomva tartás hatására kikapcsolja az eszközt. Követelmény még, hogy az áramfelvétele a lehető legminimálisabb legyen, valamint az ára is kedvező legyen, valamint az akkumulátor feszültség megszakítása előtt jelezni kell a mikrovezérlőnek, hogy az adatok mentésére elegendő idő álljon rendelkezésre.

### Terv

A piacon elérhető számos megoldás, de nem sikerült olyan megoldást találni ami minden kívánalmat maradéktalanul kielégítene, ezért úgy döntöttem, hogy diszkrét alkatrészekből tervezem meg az áramkörnek ezen részét. Az áramkör működése a következő: A nyomógomb folyamatos nyomva tartásával a kondenzátort feltöltjük, egy bizonyos töltöttségi szint elérése után a Schmitt trigger áramkör átbillen. Ez a jel egy újabb késleltető blokkon keresztül jut el egy D flip flop órajel bemenetére, ahol az impulzus hatására a D flip flop bemenete mintavételezi a saját negált kimenetét. Így minden egyes felfutó élnél a kimeneti jel invertálódik. Ezt a jelet felhasználhatjuk az akkumulátor feszültség csatlakoztatásához/megszakításához a többi főáramköri elem felé. Az egyetlen probléma, hogy a Schmitt triggerek és a D flip flop maximális üzemi feszültsége kisebb, mint az akkumulátor feszültség, így közvetlenül nem lehet rákötni. Ezért egy olyan lineáris stabilizátort kerestem aminek önfogyasztása kicsi. Ezek alapján az alábbi alkatrészeket választottam:

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Név | Megnevezés | Fogyasztás |
| SN74AHC1G14DBVR | Schmitt trigger | 10uA |
| SN74AHC1G14DBVR | Schmitt trigger | 10uA |
| SN74LVC2G74DCUR | D flip flop | 10uA |
| NCV8711ASN330T1G | LDO stabilizátor | 3uA |
| **Össz fogyasztás.** |  | **33uA** |

Ezzel a merítőárammal egy-egy cellás 2500mAh akkumulátor lemerítése több mint 8 évig tartana, így a tervezési feltételeknek megfelel a kidolgozott áramkör.



4‑16. ábra Be- és kikapcolást vezérlő áramkör kapcsolási rajza

### Szimuláció

### Mérési eredmények

## Digitális áramköri elemek

Ebben a fejezetben kerülnek bemutatásra a főbb digitális elektronikai komponensek valamint azok egymáshoz illesztése, kitérve a különböző nagysebességű buszoknál használt tervezési megoldásokra (impedance matching, delay matching).

### Mikrovezérlő

A mikrovezérlő kiválasztása a projekt talán egyik legnagyobb körültekintést igénylő része, mivel egy esetleges rossz paraméterű vezérlő választása az egész fejlesztést akadályozhatja.

#### Mikrokontroller kiválasztása

A mikrokontroller választásnál alapvető szempont a szükséges memória mennyisége. A memória használat mértékét célszerű még a kiválasztás előtt megtenni, jóllehet nem tudhatjuk pontosan mennyi memória fog kelleni de a nagyságrendeket megbecsülve, kellő ráhagyással elkerülhetőek a kellemetlen meglepetések. Ebben az esetben a két legnagyobb memóriahasználó a mintatároló, valamint a kijelző lesz. A kijelzőnél feltételezzük, hogy a felbontása maximum 320x240 pixel és a képpont formátuma RGB565(5 bit piros, 6 bit zöld, 5 bit kék). Ezen adatokból az alábbi módon számítható szükséges memória mennyisége:

A mintatároló puffer helyigényét 12 és 14 bites esetekre is kiszámoltam, mégpedig úgy, hogy minden egyes A/D csatornához 4 byte adat tartozik:

Ahhoz, hogy fejlesztés során a memória ne okozzon gondot olyan mikrovezérlőt kerestem, amiben elfér egy kijelző és két 14 bites mintatároló puffer, valamint elég hely marad a forráskód egyéb részeinek. Ezeket figyelembe véve a minimális memória mennyiségét 512 kbyte-ban határoztam meg.

Fontos szempont volt, hogy a mikrovezérlő rendelkezzen legalább 12 bites beépített A/D átalakítóval. Szerencsére a mai modern mikrovezérlőkben már a 14 bites átalakítók is megtalálhatók. További fontos szempont volt, hogy az átalakító konverziós sebessége minél nagyobb legyen, mivel minél nagyobb sebességű annál kisebb lesz a holtideje a rendszerünknek, így több detektorból érkező mintát tudunk feldolgozni. Előny még a továbbiakban, hogy ne csak egy átalakítóval rendelkezzen a vezérlő, hogy az egyes egyéb mérésekkel (akkumulátor feszültség, hőmérséklet mérés) ne kelljen megosztani a detektor jeleit feldolgozó A/D-t.

Mivel a detektor tápfeszültségének szabályzását a referencia feszültségre vezettük vissza, célszerű, hogy a mikrovezérlő tartalmazzon egy D/A átalakítót. Ezzel helyet, pénzt és időt megtakarítva ami egy külső D/A integrálásával járt volna.

Az eszköz által mért adatok megjelenítését egy TFT kijelzővel fogom megoldani. Ezeket a kis felbontású (240x320 px) kijelzőket általánosságban vagy soros SPI vagy párhuzamos 8080/6800 interfészeken keresztül lehet vezérelni. Az SPI interfész nagy előnye, hogy 3+1 adatvonal segítségével megoldható a kijelző vezérlése így a PCB huzalozása is jóval egyszerűbb, hátránya, hogy ugyan olyan órajel frekvencia mellett jóval lassabb. A párhuzamos interfészek nagy előnye, hogy egy órajel ciklus alatt akár 8/16 bit is továbbításra kerülhet, így sebessége jóval nagyobb. Hátránya, hogy az adatvezetékek száma jóval nagyobb, ezért a huzalozásnál jóval nagyobb körültekintést igényel az egyenlő hosszúságú vezetők huzalozása. A ma kereskedelmi forgalomban kapható nagyteljesítményű mikrovezérlők nagy része rendelkezik olyan memóriavezérlő áramkörökkel amik rendelkeznek akkora flexibilitással amik képessé teszik őket kijelzők vezérlésére. Ezért a mikrovezérlő kiválasztásánál egy ilyen periféria megléte is kívánatos volt.

Az eszköznek a mért adatok tárolásáról is gondoskodnia kell. Ezt a legpraktikusabban egy SD kártya illesztésével tudjuk megvalósítani. Az SD kártyák nagy részére képesek vagyunk SPI interfész segítségével adatot menteni, viszont ennek sebessége jócskán elmarad az erre a célra dedikált interfészektől mint például az SDMMC vagy az SDIO. Így a kiválasztásnál a felsoroltak közül valamelyik megléte is preferencia volt.

Az eszköznek képesnek kell lennie egy PC-vel való kommunikációra. Mivel az akkumulátorok töltésére már rendelkezésre áll egy USB csatlakozó, emiatt célszerű ezt a kapcsolatot USB-n keresztül megvalósítani. Ebben az esetben két lehetőségünk van: az első, hogy a mikrovezérlő soros portját egy dedikált integrált áramkör segítségével átalakítjuk. Ennek hátránya, hogy plusz komponenseket igényel, valamint sebessége alacsonyabb mint a dedikált USB buszhoz képest. Ez a szempont is figyelembe lett véve a kiválasztási folyamat során.

Manapság már szinte az összes nagyobb félvezető gyártó vállalat (Microchip, Infineon, Texas Instruments, NXP, ST, SiLabs) kínál valamilyen fajta mikrovezérlőt. A fejlesztést megkönnyítendő, célszerű olyan gyártó termékei között elkezdeni a keresgélést, amit az ember már használt. Így esetemben az ST termékpalettáján kezdtem meg a keresést. A keresés végén sikerült kiválasztani az STM32U575VGT6Q típusú vezérlőt, ami az alábbi paraméterekkel rendelkezik:[10]

|  |  |
| --- | --- |
| Architektúra | Cortex-M33 |
| RAM | 786 kB |
| FLASH | 1024 kB |
| A/D bitszám | 1 darab 14 bites, 2 darab 12 bites (2.5 MSPS) |
| D/A bitszám | 1 darab 12 bites |
| Kijelző vezérlő interfész | FSMC |
| SD kártya vezérlő | SDMMC |
| USB | Full Speed |
| GPIO szám | 79 |

2. táblázat Mikrokontroller adatai[10]

#### Mikrokontroller bekötése

#### Külső memória illesztés

### Periféria illesztés

### Kijelző

Az eszköz hordozhatóságának egyik eleme, hogy segédberendezések nélkül is használható legyen a terepen, így elengedhetetlen valamilyen kijelzővel felszerelni.

#### Kijelző kiválasztása

Mivel sok mért adatot kell megjeleníteni (grafikon, aktuális dózisegyenérték, egyéb rendszeradatok), egy viszonylag a készülék méretéhez képest nagy mérető és felbontású kijelző kiválasztását tűztem ki célul. Fontos szempont, hogy a kijelző fényereje minél nagyobb legyen így biztosítva, hogy változó fényviszonyok mellett is olvashatóak maradjanak az adatok. Az utolsó szempont pedig, hogy párhuzamos porton keresztül lehessen vezérelni. Sajnálatos módon ezen kijelző modulokból abban az árkategóriában amiben én kerestem kevés kijelző közül lehetett válogatni így kompromisszumokat kellett tenni főleg a fényerő tekintetében. A kiválasztott kijelző az EastRising által gyártott ER-TFT032IPS-3.2-4334 típus lett.

|  |  |
| --- | --- |
| Átló méret | 3.2 inch |
| Felbontás | 240x320 |
| Kijelző vezérlő | ST7789V2 |
| Interfész | 16 bites párhuzamos |
| Panel típusa | IPS |
| Fényerő | 280cd/m2 |

4‑17. ábra Kijelző fontosabb adatai[11]

A képen szöveg, elektronika, Elektronikus eszköz, Áramköri elem látható

Automatikusan generált leírás

4‑18. ábra ER-TFT032IPS-3.2-4334 kijelző[11]

#### Kijelző bekötése

A kijelző mikrovezérlőhöz való csatlakoztatása párhuzamos interfészen keresztül történt. Ahhoz, hogy a nagysebességű adatátvitel működése jó legyen, valamint a többi áramköri részt se zavarja az alábbi intézkedéseket tettem:

* Adatvonalak 50Ω-ra való illesztése
* Adatvonalak hosszkülönbségének 100 mil-ben való maximalizálása
* 22Ω-os ellenállások elhelyezése mikrovezérlőhöz közel

Az FSMC vezérlőhöz való illesztést az ST által biztosított kapcsolási rajzok és ajánlások segítségével tudtam megtervezni A párhuzamops porton kívül a kapcsolási rajzon látható, hogy SPI busz is bekötésre került, erre azért volt szükség, mivel a kijelzőn található egy SD kártya foglalat, amit fel fogok használni grafikai elemek tárolására. [12]**[13]**



4‑19. ábra Kijelző bekötése

### SD kártya illesztése

Az SD kártya illesztéséhez SDMMC interfészt használtam. Ez az interfész 4 darab adat, 1 radab command és egy darab órajel vezetéket tartalmaz. Mivel ez a busz is nagysebességű hasonlóan a párhuzamos buszhoz, itt is az ott alkalmazott intézkedéseket tettem meg. [13]



4‑20. ábra SD kártya bekötése

Ezen felül az SD kártyának külön tápstruktúrát hoztam létre egy ferrittel és pár nagyértékű puffer kondenzátorral, mivel írás és olvasás során az SD kártya igen nagy (akár 100 mA) nagyságú nagyfrekvenciás áramokat vehet fel ami miatt jelentős zaj jelentkezhet a tápvonalakon.



4‑21. ábra SD kártya tápellátását szűrő passzív elemek

### USB kommunikáció illesztése

Mivel a mikrovezérlő képes a natív USB kommunikációra, ezért ennek részegységnek a kapcsolási rajza egyszerű, viszont pár alkatrészre itt is szükségünk van. Valamint a nyomtatott áramkörön az USB vonalakat 90Ω-os hullámimpedanciával differenciálisan kell vezetni a legjobb teljesítmény elérése érdekében. [13]

Az USB csatlakozó előtt még egy tranziens túlfeszültségtől védő áramkört építettem be, valamint a D+ adatvonalat +3.3V-ra kötöttem, mivel ezzel tudjuk jelezni a buszon, hogy az USB Device-al csatlakozunk a buszra.



4‑22. ábra USB csatlakozó és védelmek bekötése

Az egyetlen probléma, hogy az USB adatvonalait az akkumulátor töltő áramkör is használja, hogy meg tudja állapítani a maximális töltőáramot. Szerencsére ez az USB kábel csatlakoztatásától számított 1 másodpercen belül befejeződik, így ezek után használhatjuk a mikrovezérlővel a buszt. Sajnálatos módon viszont nem lehet a két eszközt rákötni az USB buszra, ezért valamilyen multiplexert kell alkalmaznunk. Erre számos megoldás létezik, én a Texas által gyártott TS3USB30EDGSR típust választottam.[14]



4‑23. ábra USB multiplexer bekötése

## Hőmérséklet mérése

A működés szempontjából a készülék két fontos hőfüggő komponenst tartalmaz:

* Szcintillátor (fényhozama hőmérséklettől is függ)
* SiPM sötét árama

Ahhoz, hogy ezeket a hatásokat kompenzálni legyen esélyem, mindenképpen szükséges a készülék belső hőmérsékletét mérni.

### Terv

Az egyszerűsége miatt a hőmérsékletet NTC termisztorokkal fogom megmérni. A termisztorokon egy áramtükör segítségével konstans áramot folyatok keresztül és a rajtuk eső feszültséget pedig a mikrovezérlő A/D átalakítójával mérem meg.



4‑24. ábra Hőmérséklet mérés

### Szimuláció

### Mérési eredmények

## Detektorkártya tervezése

### Onboard detektor illesztése

### Adapterkártya külső detektorhoz

## Fóliatasztatúra tervezése

# Beágyazott szoftver

# PC alkalmazás

# Burkolat tervezése

## Felhasználható alapanyagok

## Tervezés

## Nyomtatási beállítások

## Kész burkolat bemutatása

# Élesztés

Annak érdekében, hogy a nyomtatott áramkör gyártása előtt minél több hibát ki tudjak küszöbölni, mindenképp javasolt az újdonságot jelentő komponensek tesztelése, amennyiben erre lehetőség van. A félév során a kijelző és az FSMC periféria összekötését teszteltem. Ehhez írnom kellett egy drivert ami vezérli az FSMC perifériát. A cél az volt, hogy megbizonyosodjak mind a kijelző működőképességéről, mind az összekötés helyességéről. A teszteket egy NUCLEO-F429ZI fejlesztőkártya segítségével végeztem el.

A képen elektronika, Számítógép-alkatrész, Számítógépes hardver, Elektrontechnika látható

Automatikusan generált leírás

8‑1. ábra Kijelző tesztelése NUCLEO-F429ZI-vel

Látható, hogy a kijelző színét sikerül beállítani a meghatározott színre (a sárga négyzet direkt van létrehozva a programban, az nem hiba), így ellenőrizve, hogy a kijelző nem hibás, valamint az összeköttetések helyességét is.-

Az új szcintillátor tesztjére is sor került (még a BSc-s hardver segítségével). Itt a kezdeti eredmények bíztatóak voltak (a szcintillátor valószínűleg ép), de a teljes bizonyosághoz további mérésekre van szükség.

A képen Háztartási vasáru, csap, lámpa látható

Automatikusan generált leírás

8‑2. ábra Teszt detektor NaI(Tl) szcintillátorral

A képen szöveg, képernyőkép, Diagram, szám látható

Automatikusan generált leírás

8‑3. ábra Detektorkártyáról érkező jel

Az első tapasztalat, hogy a műanyag BC412 szcintillátorhoz képest az NaI(Tl) szcintillátor fényhozama jóval kisebb, így a detektorból érkező jel amplitúdója is sokkal alacsonyabb értékű, tehát jóval nagyobb erősítésre lesz szükségünk, valamint látható, hogy a jelünk jelentősen terhelt különböző zajoktól. Ennek szűréséről is gondoskodni kell az analóg fokozatban.

# Mérési eredmények

## Cs137 izotópos mérés

### Mérési összeállítás

### Mért eredmények

### Konklúzió

## Co60 izotópos mérés

### Mérési összeállítás

### Mért eredmények

### Konklúzió

## Am241 izotópos mérés

### Mérési összeállítás

### Mért eredmények

### Konklúzió

## Energia kalibráció

# Összefoglalás

Az első félév során sikerült elkészíteni a kapcsolási rajzolatot, valamint sikerült megtervezni a nyomtatott áramkört. Így a vizsgaidőszak alatt elkezdődhet az áramkör gyártása, valamint összeszerelése. A félév során sikerült új, kritikus komponensek tesztelése így csökkentve a hibalehetőségeket.

|  |  |
| --- | --- |
| A képen elektronika, Elektrontechnika, Elektronikus alkatrész, Áramköri elem látható  Automatikusan generált leírás  10‑1. ábra Nyomtatott áramköri terv felülnézete | A képen elektronika, áramkör, Elektronikus alkatrész, Elektrontechnika látható  Automatikusan generált leírás  10‑2. ábra Nyomtatott áramköri terv alulnézete |

# Utolsó simítások

Miután elkészültünk a dokumentációval, ne felejtsük el a következő lépéseket:

* Kereszthivatkozások frissítése: miután kijelöltük a teljes szöveget (Ctrl+A), nyomjuk meg az F9 billentyűt, és a Word frissíti az összes kereszthivatkozást. Ilyenkor ellenőrizzük, hogy nem jelent-e meg valahol a "Hiba! A könyvjelző nem létezik." szöveg.
* Dokumentum tulajdonságok megadása: a dokumentumhoz tartozó meta adatok kitöltése (szerző, cím, kulcsszavak stb.). Erre való a Dokumentum tulajdonságai panel, mely a Fájl / Információ / Tulajdonságok / Dokumentumpanel megjelenítése úton érhető el.
* Kinézet ellenőrzése PDF-ben: a legjobb teszt a végén, ha PDF-et készítünk a dokumentumból, és azt leellenőrizzük.

Irodalomjegyzék

1. BQ25866 2 Cell Li-ion charger <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq25886.pdf?ts=1716463176615&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FBQ25886>
2. BQ29209 Battery balancer  
   <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/bq29209.pdf?ts=1716536846435&ref_url=https%253A%252F%252Fhu.mouser.com%252F>
3. TPS560430 buck converter  
   <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps560430.pdf?ts=1716527801150&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTPS560430>
4. DCPA10505d-u700 Isolated DC/DC converter  
   <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/dcpa10505d.pdf?ts=1716537039060&ref_url=https%253A%252F%252Fhu.mouser.com%252F>
5. TPS7A49 LDO positive voltage regulator  
   <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps7a49.pdf?ts=1716457743654&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.li%252F>
6. TPS7A30 LDO negative voltage  
   <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps7a30.pdf?ts=1716536078359&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.mouser.ch%252F>
7. REF3333 3.3V voltage reference <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ref3333.pdf?ts=1716454843546>
8. LT3461 boost converter datasheet <https://hu.mouser.com/datasheet/2/609/3461Afa-3123928.pdf>
9. Dr. Balogh Attila , Dr. Hermann Imre,: *Teljesítményátalakítók I. kötet*, <https://www.aut.bme.hu/Upload/Course/VIAUMA20/hallgatoi_jegyzetek/Teljesitmenyatalakitok_I.pdf>   
   Letöltve (2024.05.24)
10. STM32U575VGT6Q mikrovezérlő   
    <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32u575vg.html>
11. ER-TFT032IPS-3.2-4334 kijelző adatai  
    <https://www.buydisplay.com/3-2-inch-240x320-ips-tft-lcd-module-for-arduino-and-raspberry-pi>
12. “Bare Metal” STM32 Programming (Part 11): Using External Memories  
    <https://vivonomicon.com/2020/07/26/bare-metal-stm32-programming-part-11-using-external-memories/>
13. Layout Design Guide <https://docs.toradex.com/102492-layout-design-guide.pdf>
14. TS3USB30E 2:1 USB multiplexer  
    <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/ts3usb30e.pdf?ts=1716453949149&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.ti.com%252Fproduct%252FTS3USB30E%253FHQS%253Dti-null-null-verifimanuf_manuf-manu-pf-octopart-wwe>