



Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Villamosmérnöki és Informatikai Kar
Automatizálási és Alkalmazott Informatikai Tanszék

Szabó Mihály

KÉZI GM CSÖVES DOZIMÉTER KÉSZÍTÉSE

KONZULENS

Kiss Ágoston

BUDAPEST, 2023

Tartalomjegyzék

1 Specifikáció.....	3
2 Fizikai háttér	4
3 Hardver.....	5
3.1 Tápellátás és bekapcsoló elektronika.....	6
3.2 Mikrokontroller illesztése	8
3.3 Nagyfeszültségű tápegység.....	10
3.4 Geiger Müller csőből érkező jelek feldolgozása.....	12
3.5 Periféria kezelés	13
4 Szoftver	14
5 PCB tervezés.....	16
6 Burkolat	17
7 Összefoglalás.....	19
8 Irodalomjegyzék.....	20

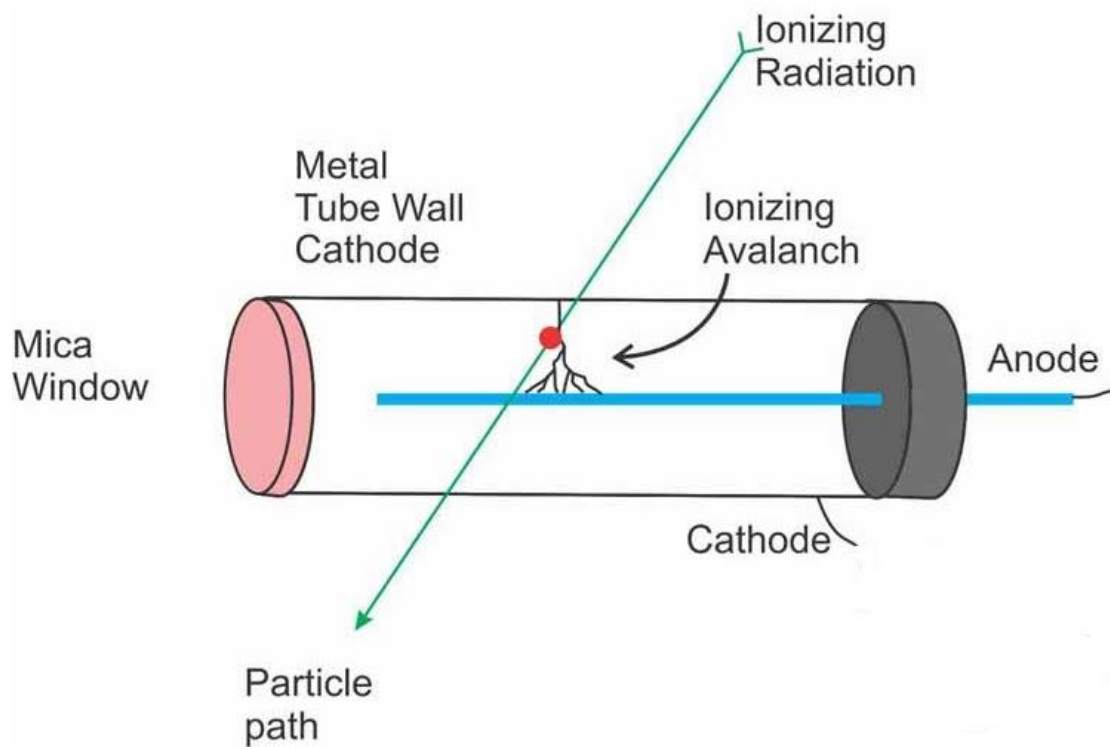
1 Specifikáció

A félév során a doziméter tervezésekor az alábbi feladatokat kellett implementálni kompakt formában:

- A GM cső számára szükséges nagyfeszültségű tápegység tervezése/integrálása
- Akkumulátoros tápellátás kezelése
- A GM csőből érkező jelek feldolgozása, tárolása
- Nyomtatott áramkör tervezése a szükséges kiegészítő áramkörökkel
- A mért adatok megjelenítése kijelzőn
- Minimum 8 órás üzemidő

2 Fizikai háttér

A Geiger Müller cső anódja és a katódja közé nagy feszültséget kapcsolunk (típustól függően 300-1000V). A csőben speciális nemesgáz (általában Argon) található, ez akadályozza meg az ioncsatorna kialakulását az alapállapotban. Amint egy ionizáló részecske (γ -foton) áthalad a Geiger-Müller csövön így létrehozva az ionlavinát, ekkor a cső a szakadás állapotából vezetés állapotába lép. Ezt az átmenetet tudjuk detektálni és ebből már képesek vagyunk dózisteljesítményt számítani.

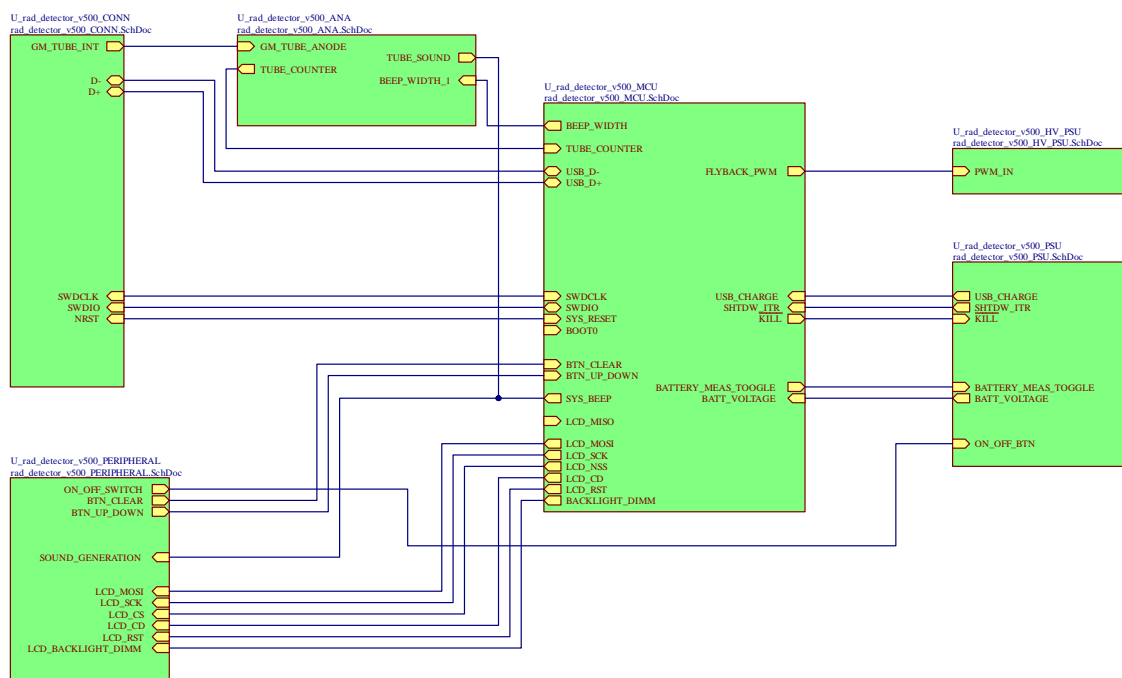


2-1. ábra Geiger Müller cső működése [1]

3 Hardver

Ebben a fejezetben áttekintem a rendszer hardveres felépítését, majd a megvalósításhoz szükséges hardveres elemek csoportjait. A kapcsolási rajz elkészítésekor az egyes részeket a funkciójuk szerint külön-külön lapokon helyeztem el, ezzel is biztosítva a külső szemlélő számára a jobb megértést. Az egyes lapokon található áramkörti elemek közti kapcsolatot a MAIN lap teremti meg. Ezek alapján 6 különböző részegységet különítettem el különálló lapokra:

- Mikrokontroller illesztése
- Tápegység és kikapcsoló elektronika
- Nagyfeszültségű tápegység
- Perifériakezelés
- Analóg jelfeldolgozás
- Csatlakozók a külvilág felé



3-1. ábra Projekt főoldala

3.1 Tápellátás és bekapcsoló elektronika

Ez a részegység az egész eszköz talán legsarkalatosabb pontja, mivel a többi részegység jó működéséhez elengedhetetlen egy stabil, jól terhelhető tápegység megléte. Mivel az eszközünk akkumulátorról fog üzemelni, ezért ennek töltését is meg kell oldanunk. Az akkumulátoros üzemből, valamint a specifikációban említett adattárolásból következik, hogy egy olyan be- és kikapcsolási módra lesz szükségünk, amivel biztosíthatjuk, hogy elég idő legyen a mikrokontroller számára az adatok elmentésére.

Az első lépés, hogy megbecsüljük a várható áramfelvételt, hogy ehhez tudjuk méretezni magát az akkumulátort és az integrált tápáramkört.

$$I_{\text{össz}} = I_{MCU} + I_{HVPSU} + I_{ANA} + I_{\text{periféria}}$$
$$I_{\text{össz}} = 20 \text{ mA} + 30 \text{ mA} + 10 \text{ mA} + 20 \text{ mA} = 80 \text{ mA}$$

A tervezés második lépése az akkumulátor típusának meghatározása. Sok típus közül választhatunk, viszont az egyszerűség kedvéért egy Li-Po akkumulátor mellett döntöttem az alábbi okok miatt:

- Nagy energiasűrűség (kis méretben is viszonylag nagy kapacitás érhető el)
- Alacsony ár
- Töltőcéláramkörök nagy választéka
- Cellafeszültsége számunkra ideális (3.5-4.2V)

A specifikációban meghatározott üzemidő és a becsült áramfogyasztást alapul véve az LP602945 típusú Li-Po akkumulátort választottam. Ennek az akkumulátornak 750 mAh a kapacitása ami ideális esetben 9.3 órás üzemidőt enged meg. [2]

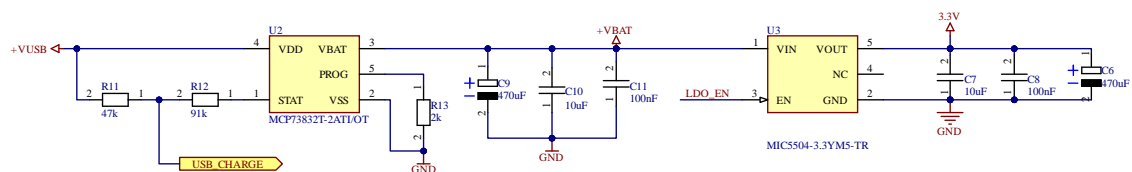
Harmadik lépés az akkumulátor töltő integrált áramkör kiválasztása. Én egy a Microchip által gyártott MCP73832T típust választottam az alábbi okokból:

- Programozható töltőáram (max 500 mA)
- Töltés visszajelzés
- Integrált védelmek
- Könnyen forrasztható tokozás

[3]

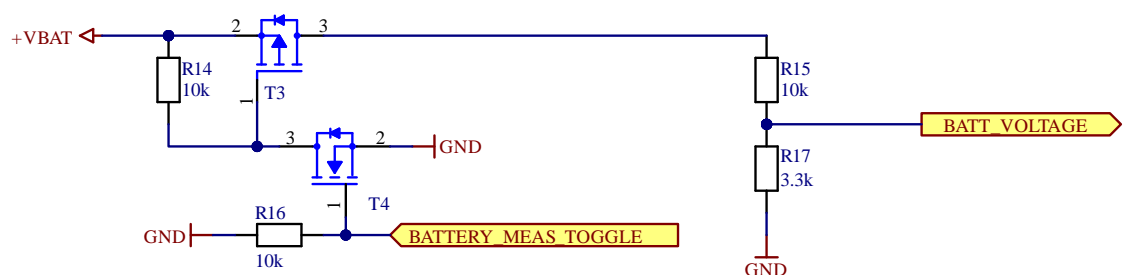
Ezek után ki kell választanunk a rendszernek tápfeszültséget előállító áramkört. Itt három fő paramétert kell figyelembe vennünk: a kimeneti feszültséget, a bemeneti feszültségtartományt és a kimeneti áramot.

A kimeneti feszültséget 3.3V-nak választottam meg. Figyelembe véve, hogy akkumulátoros táplálást alkalmazunk, egy olyan integrált áramkörre van szükségünk ami képes 3.5-4.2V közötti feszültségből képes stabil 3.3V-ot előállítani minimum ~100 mA terhelőáram mellett. Ezen paraméterek alapján MIC5504-3.3YM5-TR típusú LDO-t választottam, ami megfelel a fentebb felsorolt paramétereknek. [4]



3-2. ábra Akkumulátor töltő és LDO integrált áramkörök bekötése

Annak érdekében, hogy az akkumulátort ne méríthessük túl (ezzel kárt okozva benne) szükséges a feszültségének mérése. Ezt a legegyszerűbben úgy tehetjük meg, hogy egy feszültségosztón keresztül a mikrokontroller A/D átalakítóját használva mérjük meg. Mivel az akkufeszültséget nem szükséges folyamatosan mérni, elég körülbelül percenként megtenni, ezért a mikrokontroller bemenetére az alábbi kapcsolás segítségével lehet a feszültséget juttatni. Így az áramkörünk fogyasztása csökkenthető növelve az üzemidőt.

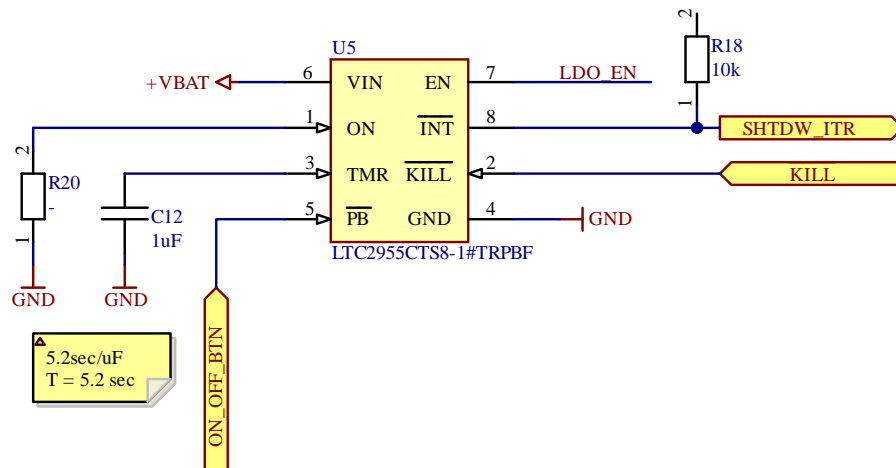


3-3. ábra Akkumulátor monitorozó áramkör

Mivel az LDO áramkörünk rendelkezik egy engedélyező bemenettel, ezért célszerű a be- és kikapcsolásnál ezt vezérelni. A vezérléshez az LTC2955 típusú On-off kontrollert választottam. Az áramkör a következőképpen működik: PB negált bemenetre kötött gomb megnyomásának hatására a INT kimenetén a mikrokontroller felé egy impulzust küld. Ennek az impulzusnak a hatására a mikrokontroller eltárolja a szükséges

adatokat majd az on off controller KILL negált bemenetét földre húzva tudja állítani a kimenetet, ezáltal kikapcsolva az eszközt.

Az alap funkción felül a TMR bemenetre kötött kondenzátorral pedig azt tudjuk befolyásolni, hogy meddig kell nyomva tartani a nyomógombot, hogy a controller reagáljon. Ezzel megelőzve a véletlen ki- és bekapcsolásokat. [5]



3-4. ábra Ki- és bekapcsolást vezérlő áramkör

3.2 Mikrokontroller illesztése

A mikrokontroller kiválasztásánál az alábbi szempontokat vettem figyelembe:

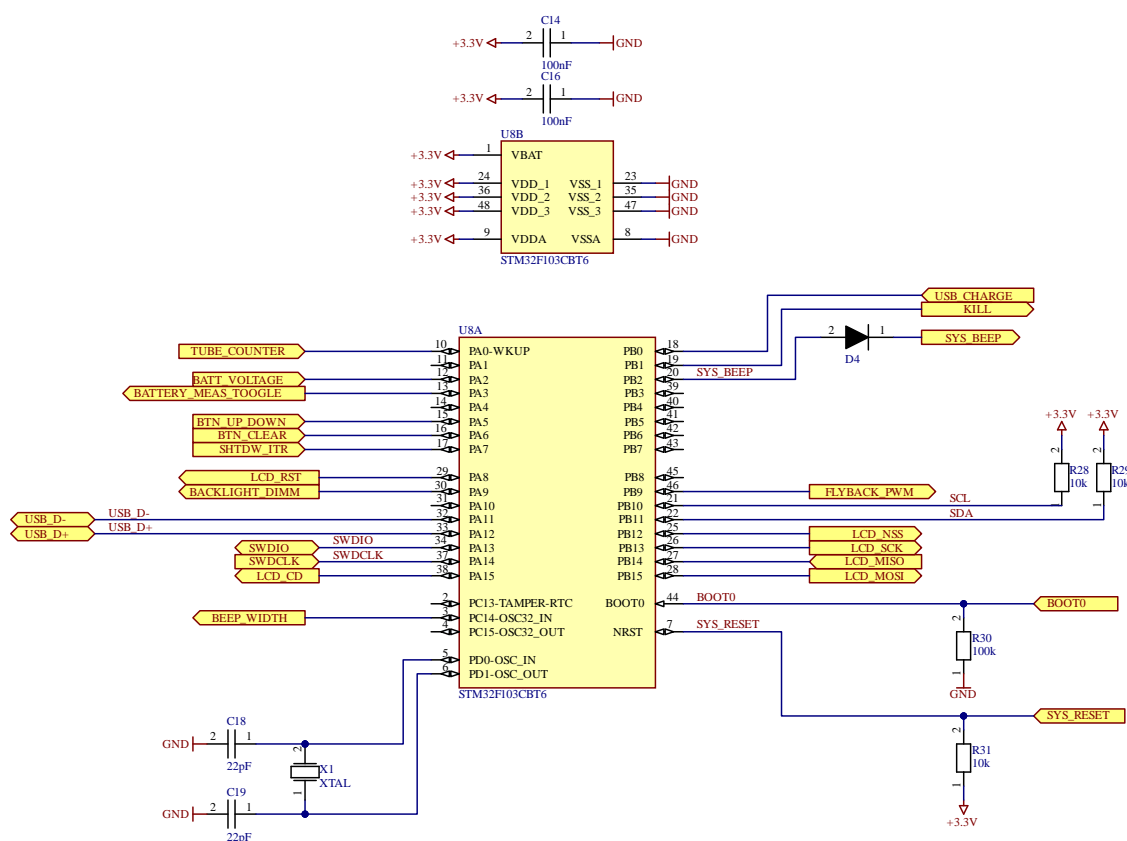
- Minimum 20 GPIO láb
- SPI, I²C interfészek
- Minimum 8 kByte RAM 32 kByte FLASH
- A/D átalakító
- Könnyű programozhatóság

Ezen követelmények alapján az STM32F103C8T6 mikrokontrollert választottam ami az alábbi paraméterekkel rendelkezik

GPIO	37
FLASH	64 kByte
RAM	20 kByte
Időzítők	3

SPI	2
I ² C	2
USB	1
A/D átalakító	2

A mikrokontroller órajelét egy 8 MHz-es kristályoszillátor fogja szolgáltatni. A mikrokontroller közvetlen közelében 2 darab 100 nF-os hidegítő kondenzátort helyeztem el. A programozást Serial Wire Debug és USB interfészen keresztül fogom végezni. A BOOT0 és az NRST lábakat a mikrokontroller adatlapjának megfelelően földre és tápra kötöttem. Az I²C interfészt 100 kHz-es órajel frekvencián fogom használni, így az SDA és SCL vonalakra 10-10k Ω felhúzóellenállást választottam. [6]



3-5. ábra STM32F103C8T6 illesztése

3.3 Nagyfeszültségű tápegység

Nagyfeszültségű tápegységnek egy Flyback topológiájú konvertert választottam. Habár ez a fajta konverter topológia lehetővé teszi, hogy a bemeneti és kimeneti feszültséget galvanikusan elválasszuk egymástól, esetünkben ezt nem tesszük meg, mivel a feladat szempontjából nem lényeges viszont az áramkört feleslegesen megbonyolítaná.

A Flyback topológia lényegében egy Buck-Boost topológia, azzal a különbséggel, hogy benne egy transzformátor található, így a kimeneti feszültségének képlete is hasonló a Buck-Boost topológiához, attól csak egy szorzótényezőben tér el, ez pedig a transzformátor menetátítétele.

$$U_{ki} = a_T \cdot U_{be} \cdot \frac{d}{1-d}$$

Ahol a_T a transzformátor menetátítétele, d pedig a kapcsolóelem vezérlésének kitöltési tényezője. Transzformátornak az FT2810-1L transzformátort választottam a nagy menetátítétele és kis mérete miatt. Így már csak a kitöltési tényező meghatározására van szükségünk amit az előző egyenlet átrendezésével kaphatunk meg:[12]

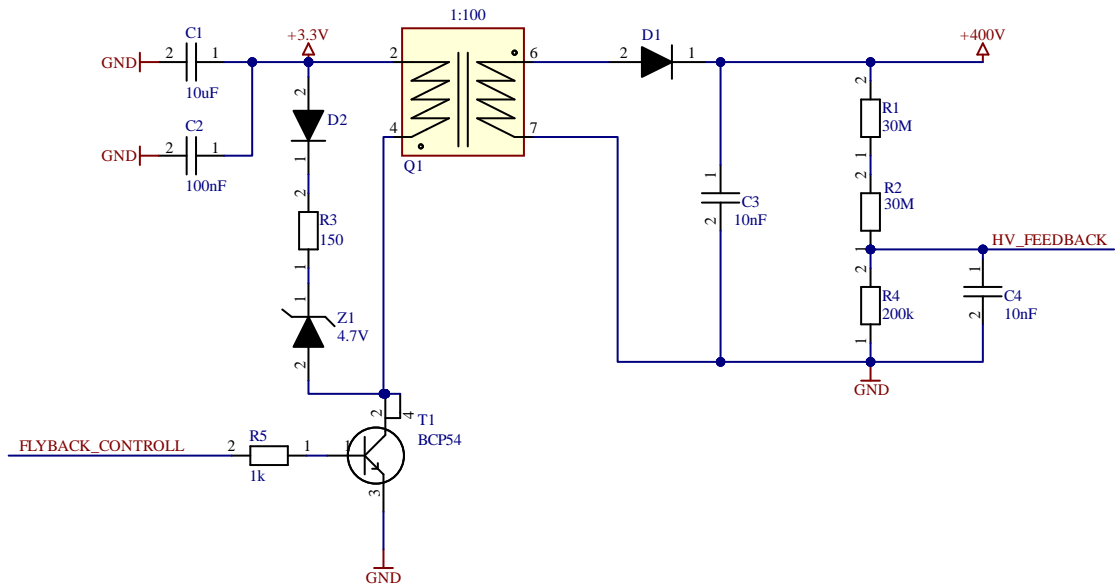
$$d \geq \frac{U_{ki}}{a_T \cdot U_{be} + U_{ki}}$$
$$d \approx \frac{400V}{100 \cdot 3.3V + 400V}$$
$$d \approx 0.548$$

Tehát körülbelül 55%-os kitöltési tényezőt kell alkalmaznunk a kívánt feszültség elérése érdekében. A kapcsolóelem védelmét a primer oldalon egy D-Z áramkör látja el. Ennek célja, hogy megakadályozza, hogy a kapcsolóelemen túlfeszültség alakuljon ki. A Zener dióda értékét az alábbi képlettel számíthatjuk:

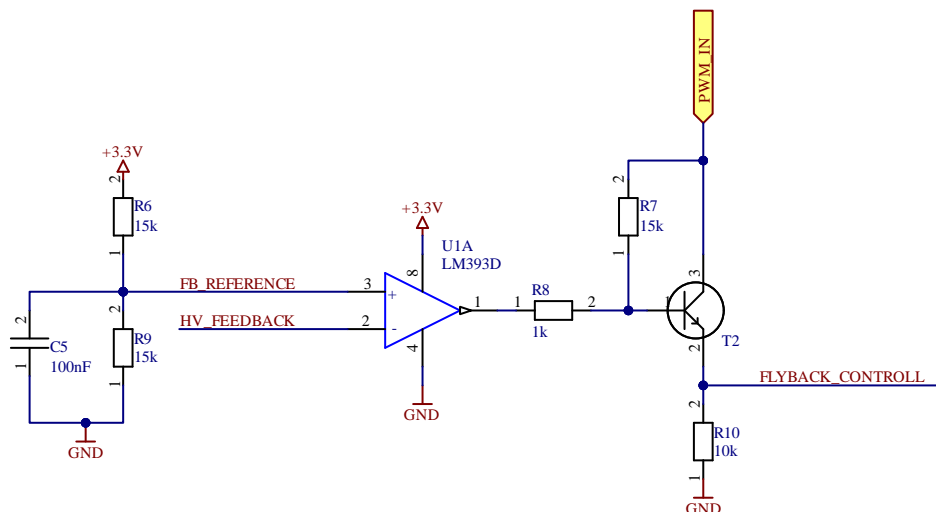
$$U_z > U'_{ki} = \frac{U_{ki}}{a_T}$$
$$U_z > \frac{400V}{100} = 4V$$

Tehát a Zener dióda feszültségének 4V-nál nagyobbak kell lennie, így egy 4.7V zener beépítésével eleget teszünk ennek a feltételnek.[11]

Ezen felül be kell építenünk egy szabályzó tagot, mivel a GM cső ellenállása szélsőséges értékek között változik (rövidzár <-> szakadás), ezért az áramfelvétel se konstans, ami feszültségnövekedéshez vezet, ami akár károsíthatja a GM csövet. Ennek elkerülése végett a konverter kimeneti feszültségét visszacsatoljuk egy komparátorra ami tiltja a vezérlő PWM jelet amennyiben a kimeneti feszültség egy bizonyos szint felé emelkedik.



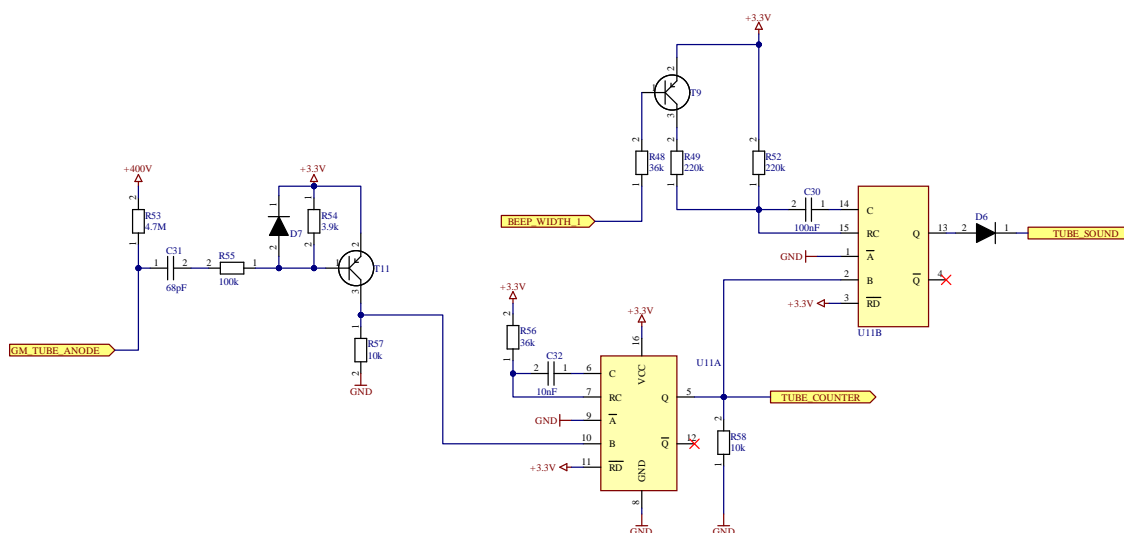
3-6. ábra Flyback konverter



3-7. ábra Flyback szabályzó kör

3.4 Geiger Müller csőből érkező jelek feldolgozása

A Geiger-Müller cső esetünkben úgy működik mint egy kapcsoló. Mivel nagyfeszültségről üzemeltetjük a csövet, ezért direkt nem lehet rákötni a mikrokontroller bemenetére. Ezért a csőből érkező jelet átvezetjük egy felüláteresztő szűrőn, így az élváltásból egy impulzus lesz. Az impulzus nagyságát a D7, R54 és a T11 segítségével 3.3V-ban maximalizáljuk. Egy impulzus beérkezése után a csőre jellemző ideig (holtidő) nem várunk új impulzust, ez alatt esetlegesen beérkező impulzusok zajnak tekintendők. Azért, hogy a zavarjeleket a mikrokontroller figyelmen kívül hagyja az eredeti impulzust egy monostabil multivibrátorral fogom elnyújtani 100 us-ra ami az általam választott Geiger-Müller cső holtideje. Ezek után a mikrokontroller egyik időzítő bemenetére kötöm a monostabil multivibrátor kimenetét. A hangkeltéshez a jelet még egyszer meg kell nyújtani, hogy a „kattogások” jól hallhatók legyenek, akkor is ha kevés beütés van. Viszont ha a sok beütés, akkor az időelnyújtás miatti átlapolódás miatt nem tudnánk megkülönböztetni a beütéseket. Így szükséges az elnyújtási időt futásidőben módosítani. Ezt a T9 és az R49, R52 ellenállás segítségével lehet változtatni. Monostabil multivibrátornak a 74HCT123-at használtam. [9]



3-8. ábra Analóg jelkondicionáló áramkör

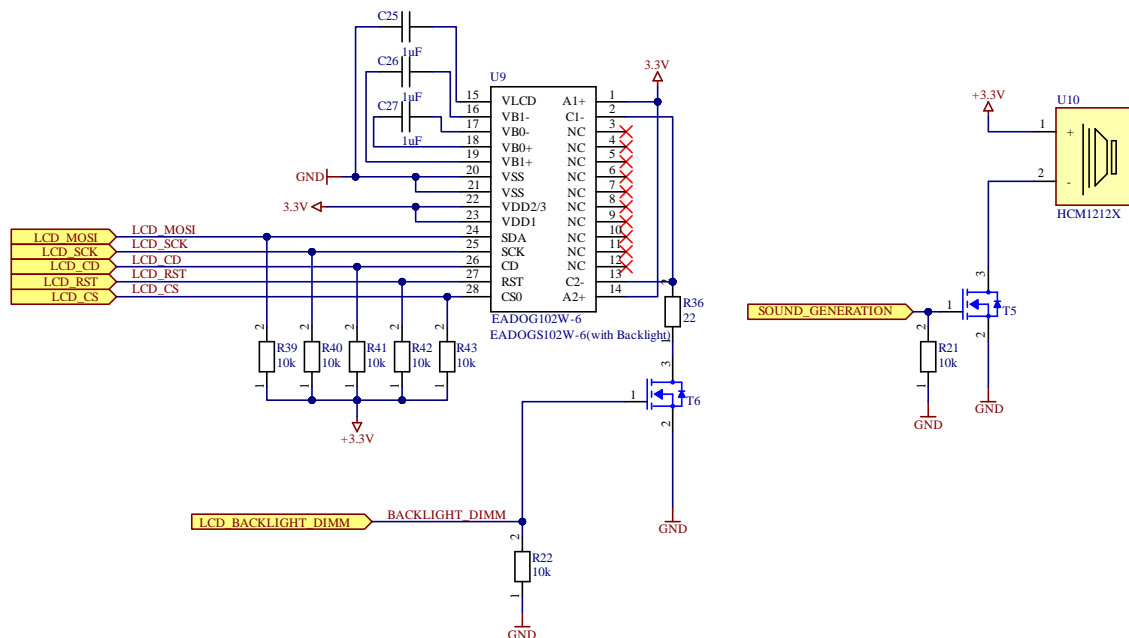
3.5 Periféria kezelés

A felhasználót két módon fogjuk tájékoztatni a mért adatokról:

- Grafikus kijelzőn keresztüli adatmegjelenítés
- Hangimpulzusok keltése γ -fotonok detektálásakor

Kijelzőnek az EADOGS102W-6-ot választottam. Ez egy 102x64 pixel felbontású karakteres kijelző. A gyártó különféle színű (piros, zöld ,narancssárga) háttérvilágítási modulokat árul a kijelzőhöz viszont a kijelzőn háttérvilágítás nélkül is megjeleníthető adat. A feladat elvégzéséhez narancssárga háttérvilágítást választottam. Magát a kijelzőt SPI interfészen keresztül lehet vezérelni, a háttérvilágítást a mikrokontroller által előállított PWM jellel fogom meghajtani, így a felhasználó személyre szabhatja a kijelző fényerejét.

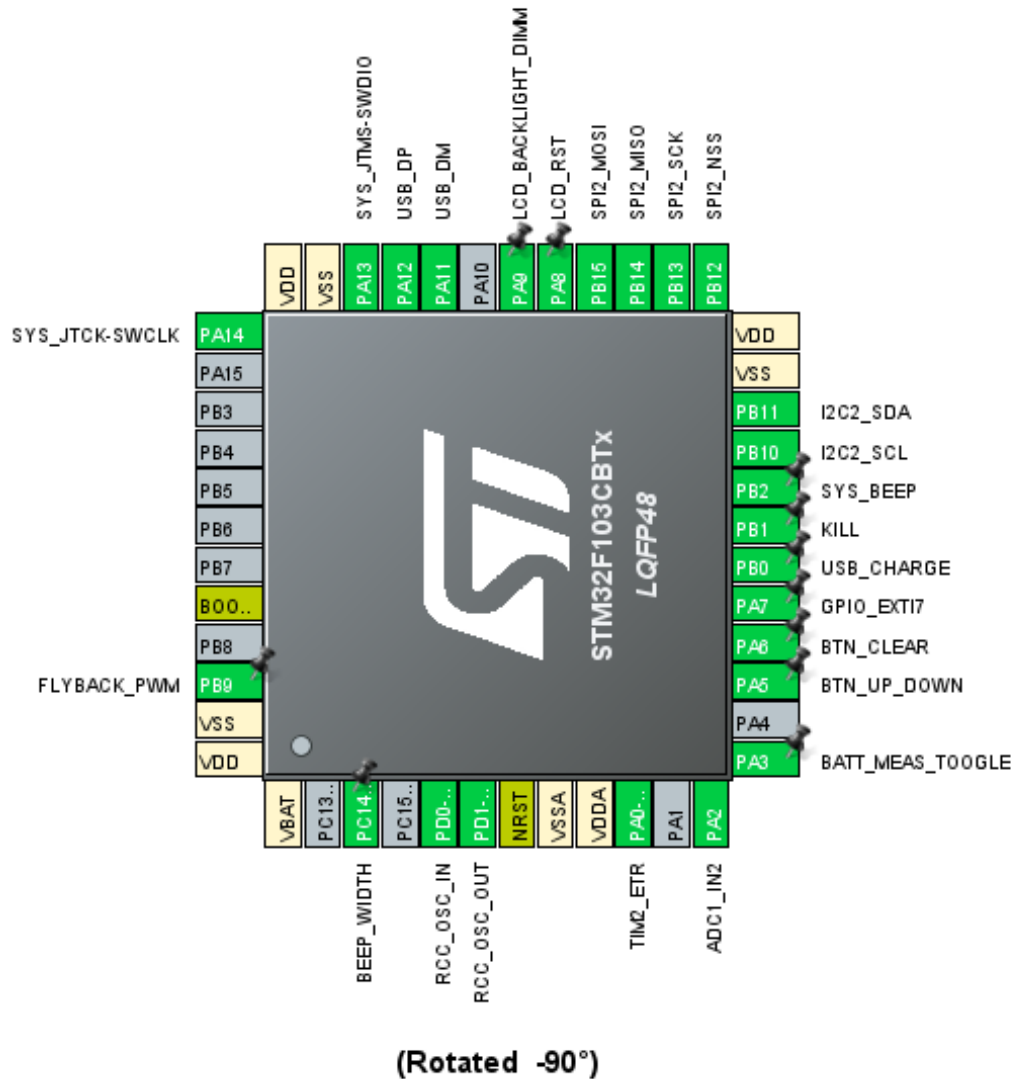
A hangimpulzusokat egy beépített oszcillátoros Buzzer segítségével fogom kelteni. A Geiger Müller csőről érkező impulzusokat a feldolgozás után egy FET-en keresztül hajtja meg a Buzzeráramkört. Így minden egyes γ -foton becsapódásakor a filmekből jól ismert „kerregő” hangot fogja adni. [7][8]



3-9. ábra Perifériák meghajtóáramkörei

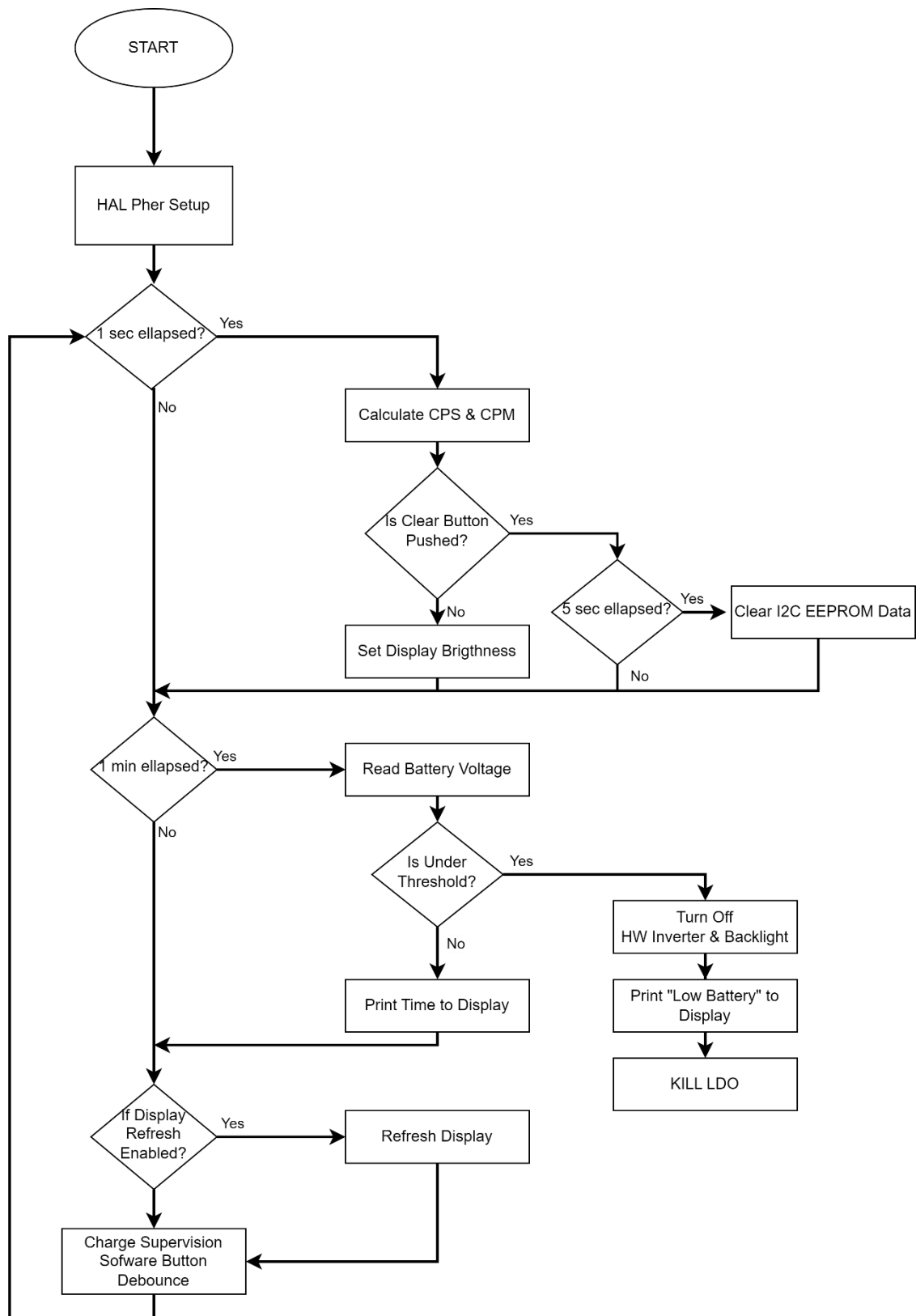
4 Szoftver

A mikrokontrollerre írt szoftvert az STMCubeIDE keretrendszerben fejlesztettem, mivel a fejlesztést jócskán megkönnyíti a grafikus fejlesztői környezet amivel a mikrokontroller perifériáit lehet könnyedén konfigurálni.



4-1. ábra STMCubeIDE grafikus felülete

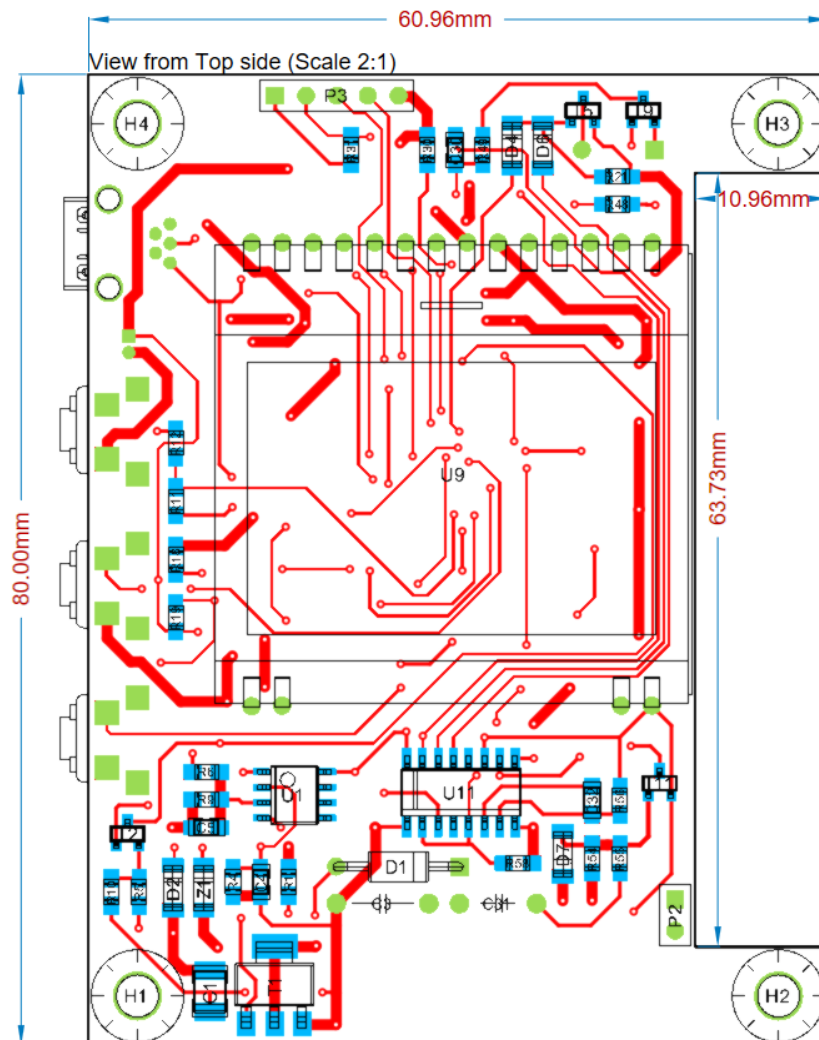
A grafikus perifériakonfiguráció után megkezdődhet a szoftver fejlesztése. Az STM32CubeIDE-ben mind C, mind C++ programot is fejleszthetünk. Én a C-ben való programozást preferáltam a projektben. Az alábbi ábra mutatja be a szoftver felépítését:



4-2. ábra Mikrokontrolleren futó program blokkvázlata

5 PCB tervezés

Az áramkör méretei úgy kerültek kialakításra, hogy minél kompaktabb legyen az őt és a többi elektronikai komponenst védő burkolat. Az alkatrészelhelyezés és a huzalozás során az egyes blokkokat igyekeztem egymástól jól elkülöníteni egymástól, hogy a Flyback konverter minél kevesebb zajt okozzon. Mivel a különböző nagysebességű buszokat (SPI,USB) csak rövid távolságokon kell elvezetni, ezért impedanciaillesztésnek nem láttam szükségességét (USB interfészen a D+,D- vonalakon egy egy 22Ω-os soros ellenállás került beiktatásra a reflexiók megakadályozására). Így elég kétrétegű nyomtatott áramköri lapon huzalozni, ami jócskán csökkenti a költségeket.



5-1. ábra Nyomtatott áramköri lap

6 Burkolat

Manapság a 3D nyomtatás egy igen elterjedt technológia a prototípus fejlesztés során. A folyamat kezdeteként egy 3D CAD szoftverben kell megterveznünk a kívánt testeket. A CAD szoftvernek a Fusion 360-at választottam, mivel könnyű kezelni és diákoknak ingyenes. Ezek után a modellt .stl fájlként kiexportáljuk, majd egy szeletelő program segítségével a nyomtató számára értelmezhető .gcode fájlt készítünk belőle.

A nyomtatás megkezdése előtt el kell döntenünk milyen anyagból fogunk nyomtatni. A piacon számos anyag érhető el, ezek közül a 3 legnépszerűbb anyag:

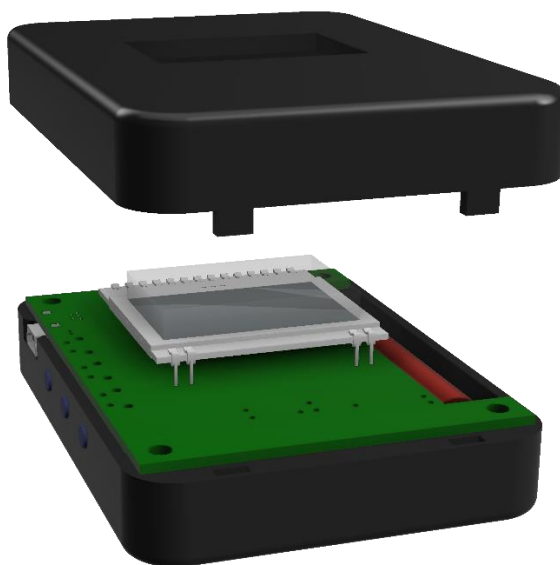
- **ABS (Akrilnitril-Butadién-Sztirol):** Előnye, hogy strapabíró anyag és acetonnal könnyen lehet a végső felületkezeléseket elvégezni. Hátránya, hogy magas az olvadási hőmérséklete.
- **PLA (Polylactic Acid):** Előnye, hogy olvadási hőfoka alacsonyabb, mint az ABS-é emiatt könnyebb is nyomtatni vele. Hátránya, hogy kevésbé strapabíró és a felületkezelése nehezebb.
- **PETG (Glycol Modified version of Polyethylene Terephthalate):** Ötvözi az ABS-t és a PLA-t. Előnye, hogy strapabíró anyag és viszonylag könnyű vele a nyomtatás.

Mivel az eszköznek a környezeti elemekkel szemben ellenállónak kell lennie, ezért egy fekete PETG műanyagot választottam. [10]

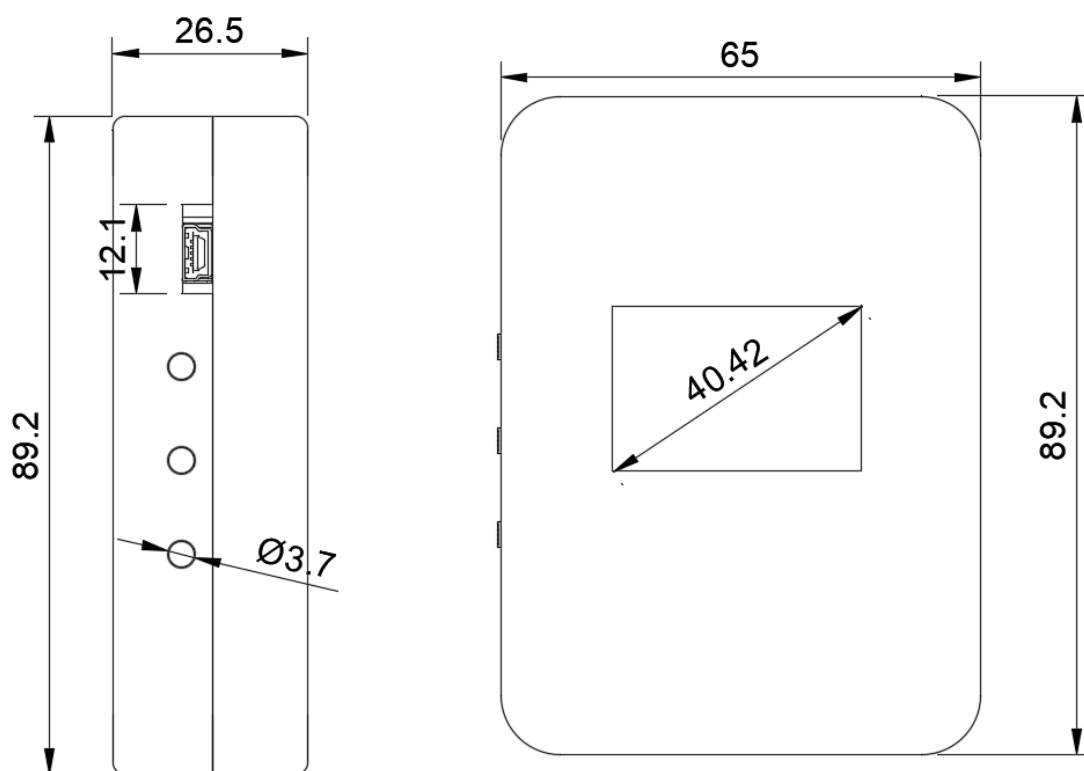
Rétegvastagság	0.2 mm
Sebesség	60 mm/s
Fúvóka hőfok	240 °C
Asztal hőfok	90 °C

6-1. ábra 3D nyomtatás beállításai

Esetünkben a burkolat 2 egységből fog állni. Az alsó részben foglal helyet a Li-Po akkumulátor és a Geiger-Müller cső. A PCB-t 4 darab M3-as csavarral rögzítjük a az alsó részhez. A felső rész 4 darab „foggal” rögzül az alsó részhez az alábbi módon:



6-2. ábra 3D nyomtatott burkolat összeállítása



6-3. ábra 3D nyomtatott doboz fizikai méretei

7 Összefoglalás

Az élesztés során pár kisebb hiba merült fel, ezek a hardverelemek minimális módosításával kiküszöbölhetőek voltak. Ezek a hibák a következők voltak:

- A Flyback konverter transzformátora nagy zajt keltett a referencia feszültségen, ezért a kimeneti nagyfeszültség instabil lett. A megoldás a referenciafeszültséget előállító ellenállások kisebb értékűre cserélése volt
- A PCB tisztítása során KontaktPCC tisztítófolyadékot alkalmaztam, a tisztítás után az addig működő nagyfeszültségű táp nem működött. Ennek oka az volt, hogy tisztító folyadék a transzformátor tekercselésének szigetelését megoldotta így zárlatot okozva. Megoldás a transzformátor cseréje volt.

Véleményem szerint a feladat megvalósítása sikeresnek tekinthető, a felmerült problémákat sikerült orvosolni és a feladat kezdetekor kitűzött specifikációkat sikerült megvalósítani.



7-1. ábra Az elkészült eszköz

8 Irodalomjegyzék

- [1] <https://www.imagesco.com/articles/geiger/fig2.jpg>
- [2] <https://www.chipcad.hu/Image/GetDocument/en/3272/1p602945.pdf>
- [3] <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MCP73831-Family-Data-Sheet-DS20001984H.pdf>
- [4] <https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/MIC5501-02-03-04-300mA-Single-Output-LDO-in-Small-Packages-DS20006006B.pdf>
- [5] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/2955fa.pdf>
- [6] <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>
- [7] <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/291470/JLWORLD/HCM1212X.html>
- [8] <https://www.lcd-module.com/eng/pdf/grafik/dogs102-6e.pdf>
- [9] https://assets.nexperia.com/documents/data-sheet/74HC_HCT123.pdf
- [10] [https://hu.wikipedia.org/wiki/Filament_\(3D_nyomtat%C3%A1s\)](https://hu.wikipedia.org/wiki/Filament_(3D_nyomtat%C3%A1s))
- [11] https://www.aut.bme.hu/Upload/Course/VIAUMA19/hallgatoi_jegyzetek/Teljesitmenyatalakitok_I.pdf
- [12] <https://www.coilcraft.com/getmedia/6651db01-d153-47d9-8a27-4758c28bff0d/fl.pdf>