

Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Szabó Mihály

**Nagyfeszültségű tápegység fejlesztése gamma spektrométerhez**

Konzulens

Dr. Balogh Attila

BUDAPEST, 2023

Tartalomjegyzék

[1 Specifikáció 3](#_Toc137145676)

[2 Fizikai háttér 4](#_Toc137145677)

[3 Hardver 5](#_Toc137145678)

[3.1 Tápellátás és bekapcsoló elektronika 6](#_Toc137145679)

[3.2 Mikrokontroller illesztése 8](#_Toc137145680)

[3.3 Nagyfeszültségű tápegység 10](#_Toc137145681)

[3.4 Geiger Müller csőből érkező jelek feldolgozása 12](#_Toc137145682)

[3.5 Periféria kezelés 13](#_Toc137145683)

[4 Szoftver 14](#_Toc137145684)

[5 PCB tervezés 16](#_Toc137145685)

[6 Burkolat 17](#_Toc137145686)

[7 Összefoglalás 19](#_Toc137145687)

[8 Irodamoljegyzék 20](#_Toc137145688)

# Specifikáció

Feladatomnak azt választottam, hogy egy gamma spektrométer detektorául szolgáló fotoelektronsokszorozó cső tápegységét készítem el. Az ötlet onnan ered, hogy a BSc szakdolgozatom alatt egy (bár más detektorral) gamma spektrométert fejlesztettem és a bemérés során a Nukleáris Technika Intézettől sikerült egy nagyobb már selejtezésre ítélt fotoelektronsokszorozós detektort szereznem.

A képen fedett pályás, padló, fal, Padlóburkolat látható

Automatikusan generált leírás

‑. ábra A detektor

A detektor szétszedése után arra a következtetésre jutottam, hogy a főbb alkotóelemek: a szcintillátor és a fotoelektronsokszoró cső (PMT) épek, rajtuk külső sérülés nem látható, így csak az elektronikát kell lecserélni. A feladatot bonyolítja, hogy fotoelektronsokszoró csőről nem találtam elérhető adatlapot így a specifikáció során a tápegység paramétereit viszonylag széles tartományon kellett meghatározni, valamint biztosítani kell, hogy a kimenő feszültség könnyen állítható legyen ezzel megkönnyítve a detektor élesztését.

A különböző gyártók által rendelkezésre bocsájtott adatlapokat böngészve a nagyfeszültségű tápegység specifikációit az alábbiakban határoztam meg:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |
|  |  |
|  |  |
|  |  |

A nagyfeszültségű tápegység mellett a mérőkártyán elhelyeztem a szakdolgozatban használt kisfeszültségű tápegység módosított verzióját is. Ennek specifikációja az alábbi:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

A két tápegység felhelyezésének oka, hogy Diplomatervezésnek szeretném a szakdolgozat alatt készített spektrométert továbbfejleszteni.

# Fizikai háttér

Az ionizáló sugárzások mérésére több módszer is létezik, az általam birtokolt detektorok mind szcintillációs elven működnek. A szcintilláció során a radioaktív bomlás során létrejövő γ fotonokat rövid kis intenzitású fényimpulzusokká alakítjuk, majd ennek intenzitását erősítjük és elektromos jellé alakítjuk.

A fotoelektronsokszorozó-csőben ezeket a szcintillátorról beérkező fotonokat a fotokatód által fotoelektronokká alakítja. Ezek a fotoelektronok kis számuk miatt detektálásra alkalmatlanok, ezért dinódák segítségével megsokszorozzák őket. Ezek után az anód kivezetésre kerülnek, ahol már mérhető (bár még mindig igen kicsi) áramjelek lesznek.

Ahhoz, hogy a dinódák a fotoelektronokat megsokszorozzák, nagy feszültséget kell rájuk kapcsolni, ezért igényelnek (típustól függően) 800-2000V közötti tápfeszültséget. [1]

A képen szöveg, képernyőkép, Betűtípus, Grafika látható

Automatikusan generált leírás

‑. ábra Fotoelektronsokszorzó felépítése és működése [2]

# Hardver

Ebben a fejezetben áttekintem a rendszer hardveres felépítését, majd a megvalósításhoz szükséges hardveres elemeket. A kapcsolási rajz elkészítésekor az egyes részeket a funkciójuk szerint külön-külön lapokon helyeztem el, ezzel is biztosítva a jobb áttekinthetőséget. Ezen részegységek az alábbiak:

* Mikrokontrolleres vezérlés
* Flyback konverter
* Lineáris tápegység
* Tesztterhelés
* Csatlakozók a külvilág felé



## Flyback konverter

A kimeneti nagyfeszültség előállítására flyback konvertert fogok használni. Azért a Flyback topológiát választottam, mivel egyszerű kevés alkatrész felhasználásával elkészíthető. A konverter felépítéséből adódó galvanikus elválasztást nem fogom igénybe venni az egyszerűség kedvéért a primer és a szekunder földje meg fog egyezni. Ebből logikusan következne, hogy ha nincs galvanikus leválasztás nyugodtan használhatnánk egy egyszerűbb boost kapcsolást is. Ez viszont csak elméletileg lenne, kivitelezhető, mivel a gyakorlatban boost kapcsolással 3 nagyságrenddel nagyobb kimeneti feszültséget nem tudnánk előállítani.

A klasszikus flyback áramkört a további részegységekkel egészítettem ki:

* Bemeneti feszültség és árammérés
* Flyback kapcsolóelemének meghajtófokozata
* Flyback kimenetén egy feszültségkétszerező kapcsolás

Transzformátornak a Coilcraft által gyártott FL2810-et választottam. Ennek paraméterei (kis méret, nagy menetáttétel) ideálissá teszik erre az alkalmazásra. Egyetlen egy probléma, hogy a szekunder oldali maximális feszültség (1500V) kisebb mint a specifikációban előírt kimeneti feszültség. Ezt úgy küszöböltem ki, hogy a transzformátor kimenetén egy feszültség kétszerezőt helyeztem el. Így a konverterünk kimeneti feszültségének csak fele akkorának kell lennie mint a specifikációban meghatározott kimeneti feszültség, viszont a konverter kimeneti áramának kétszer nagyobbnak kell lennie mint a specifikációban szereplő.

FLYBACK SZÁMÍTÁS

A bemeneti feszültségmérést egy egyszerű feszültségosztóval oldottam meg kiegészítve egy Zener diódával, ami megvédi a mikrokontroller A/D bemenetét abban az esetben amennyiben a bemeneti feszültség túl magas lenne.

A flyback konverter árammérését az INA180 magasoldali árammérő integrált áramkörrel oldottam meg. Az áramkör altípustól függően különböző fix erősítéssel (ez esetemben A=50) rendelkezik és analóg kimenetet szolgáltat, amit a mikrokontroller A/D átalakítójával fogok mintavételezni. A flyback konverternél végzett számításokból látható mekkora áram fog várhatóan átfolyni a sönt ellenálláson. Ezeket figyelembe véve a sönt ellenállás értékét 100mΩ-nak méreteztem.

A FET meghajtó áramkört egy-egy NPN és PNP tranzisztor alkotja amit a mikrokontroller által előállított PWM jel vezérli.



A FET\_DRV jel logikai magas szintje alatt a T1 tranzisztor kinyit, így a T2 MOSFET Gate lába ~9V-ra kerül. Logikai alacsony szintnél T3 tranzisztor kinyit és T1 zár, így a Gate-et földre húzva. Ennek a megoldásnak az előnye a direkt mikrokontrolleres hajtással szemben, hogy a magasabb VGS feszültség miatt a csatornaellenállás csökken, valamint a MOSFET belső kapacitásai is gyorsabban feltöltődnek illetve sülnek ki ezáltal a be- és kikapcsolási idők csökkenek.



## Kisfeszültségű tápegység

A szakdolgozatom alatt használt félvezető alalpú fotonsokszorozó tápegységét, hivatott leváltani. A cél itt is egy szoftveresen szabályozható tápegység létrehozása 25-40V közötti feszültségtartományban maximális ~10 mA terhelő áram mellett. Fontos követelmény, hogy a kimeneti feszültség stabilitása minél nagyobb legyen.

Célszerű megvalósítás lehetne egy soros áteresztő tranzisztoros megoldás, viszont a maximális kimeneti áram olyan kicsi, hogy azt akár egy jobb műveleti erősítő is ki tudja adni, így a kapcsolás is egyszerűbb lesz.

A műveleti erősítő neminvertáló bemenetére a mikrokontroller D/A kimenetét kötöm egy aluláteresztő szűrőn keresztül. Az erősítő kimenete és az invertáló bemenet között történik az erősítés állítása. Annak ellenére, hogy a félvezető alapú detektor fogyasztása kicsi szükséges pufferkondenzátorokat elhelyezni, viszont a műveleti erősítők jellemzően ettől begerjedhetnek. A megoldás egy kis értékű soros ellenállás a műveleti erősítő kimenete és a pufferkondenzátorok között. Természetesen a kimeneti feszültséget itt is mérem a mikrokontroller A/D átalakítójával így lehetőségünk van az erősítési hibát futásidőben kompenzálni.



## Mikrontrolleres vezérlés

A mikrokontroller kiválasztásánál az alábbi szempontokat vettem figyelembe:

* Legalább 4 db 12 bites A/D csatorna legalább 1 us mintavételi idő
* Legalább 1 db 12 bites D/A átalakító
* UART és I2C buszok a vezérléshez
* PWM csatornák

Ezen paraméterek alapján az STM32F301K6T6 típusú mikrokontrollert választottam ami 15 darab A/D csatornával rendelkezik. Egy csatorna konverziós ideje 0.2 us. Rendelkezik egy darab D/A átalakítóval és egy belső komparátorral. A mikrokontrollerben 9 időzítő található, mindegyik képes PWM előállításra. A mikrokontrollert SWD buszon keresztül lehet programozni, ehhez külső programozók az interneten már 1000 Ft-tól beszerezhetőek és használhatók az STMCubeIDE ingyenes fejlesztői környezettel.



# PCB tervezés

Mivel az áramkört egy demonstrációs mérőpanelnek készítem, ezért prioritás volt a minél könnyebb összeszerelhetőség valamint , hogy minél könnyebb legyen a validációs mérések elvégzése. Ebből következően az áramkör minél kisebb méretre való tervezése nem volt prioritás, természetesen az ésszerű mérethatárokat betartva. A megtervezett PCB egy 90\*65 mm-es 2 rétegű panel lett, amit a JLCPCB-től rendeltem meg. A tervezésnél az áramköri rajzolatot megpróbáltam úgy kialakítani, hogy a TOP rétegen legyen az alkatrészek és a vezetősávok nagy hányada, a BOTTOM rétegen pedig nagyrészt egybefüggő föld legyen. Ezen kívül a nagyfeszültségű részegységeknél az alapértelmezett vezetők közti távolságot a 10x értékre emeltem. [3]

A képen szöveg, diagram, Betűtípus, térkép látható

Automatikusan generált leírás

‑. ábra PCB TOP oldal

A képen szöveg, képernyőkép, Grafika, áramkör látható

Automatikusan generált leírás

‑. ábra PCB BOTTOM oldal

# Szoftver

A szoftvert az STMicroelectronics integrált fejlesztői környezetében az STMCubeIDE-ben készítettem el. A szoftver 3 fő komponensből áll, a nagyfeszültséget előállítást vezérlő komponensből, a kisfeszültség előállítást vezérlő komponensből valamint egy kommunikációt biztosító komponensből.

## Perifériák konfigurálása

A perifériák konfigurálását a fejlesztői környezet által biztosított grafikus felületen keresztül lehet elvégezni ezzel a folyamatot jelentősen egyszerűsítve. A feladathoz használt perifériák konfigurálása:

A képen szöveg, képernyőkép, szoftver, Számítógépes ikon látható

Automatikusan generált leírás

‑. ábra STMCubeIDE grafikus konfigurációs felülete

A konfiguráció során először a megfelelő órajelet kell beállítani a mikrokontroller számára, majd a Debug interfész beállítása után már tölthetünk is fel kódot a mikrokontrollerbe tesztelve a működést.

A képen szöveg, diagram, képernyőkép, szám látható

Automatikusan generált leírás

‑. ábra Mikrokontroller órajelhálózatának beállítása

Miután megbizonyosodtunk a helyes működésről elkezdhetjük a perifériák konfigurálását és az általuk elvégzendő funkciók implementálását.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| ‑. ábra A/D átalakító konfigurálása | | ‑. ábra D/A átalakító konfigurálása |
|  |  | |

|  |  |
| --- | --- |
| ‑. ábra Timer1 konfigurálása PWM előállítására | ‑. ábra Timer2 konfigurálása 50kHz frekvenciájú megszakítás előállítására |

## Kisfeszültségű tápegység vezérlése

## Nagyfeszültségű tápegység vezérlése

# Mérési eredmények

# Irodamoljegyzék

1. D. Bódizs, Atommagsugárzások méréstechnikái,  
   Budapest, Typotex, 2006, pp. 95-121. ISBN-13:978-963-9664-31-9
2. Qwerty123uiop, PhotoMultiplierTubeAndScintillator.svg 30. November 2013.. https://tinyurl.com/bddkc85h (2022.11.04)
3. <https://jlcpcb.com/>