



**XXXII. OTDK
2015**

*Fizika, Földtudományok és
Matematika Szekció*



Henger és téglatest alakú NaI szcintillációs kristállyal szerelt detektorok összehasonlítása radiográfiai vizsgálatoknál.

Készítette:

Bátor Péter

Mechatronikai Mérnök BSc, III. évfolyam

Témavezető:

Dr. Kovács Tibor

Egyetemi docens

Radiokémiai és Radioökológiai Intézet

Mérnöki Kar

Pannon Egyetem

Veszprém

1.	Bevezetés, célkitűzés	1
2.	Elméleti háttér	2
2.1	Roncsolás mentes anyagvizsgálati módszerek	2
2.1.1	<i>Ultrahangos vizsgálat</i>	2
2.1.2	<i>Akustikus emissziós vizsgálat</i>	2
2.1.3	<i>Röntgen vizsgálat</i>	3
2.1.5	<i>Radiográfiai vizsgálat</i>	4
2.2	Radioaktív sugárzás és anyag kölcsönhatása.....	5
2.3	Nukleáris mérés technika	7
2.3.1	<i>A szcintillációs detektorok</i>	8
2.3.1.1	<i>Szcintillátor</i>	9
2.3.1.2	<i>Fotoelektron-sokszorozó</i>	11
2.4	Analóg digitális átalakítók.....	13
2.4.1	<i>Szüksesszív approximáció elvén működő ADC</i>	14
2.4.2	<i>Az A/D konverterek hibái</i>	15
2.5	LabVIEW és Mérésadatgyűjtés	17
2.5.1	<i>LabVIEW rendszer tervező szoftver</i>	17
2.5.2	<i>Mérésadatgyűjtés</i>	18
2.5.3	<i>USB-6008 típusú mérésadatgyűjtő kártya</i>	20
3.	Kísérleti rész.....	22
3.1	Az általam használt mérési rendszer bemutatása.....	22
3.1.1	<i>A mérési modell</i>	23
3.1.2	<i>A mérés során használt sugárforrás</i>	23
3.1.3	<i>A mérés során vizsgált anyagok</i>	24
3.1.4	<i>A mérés során használt detektorok</i>	26
3.1.4.1	<i>Szögletes alakú detektor</i>	26
3.1.4.1	<i>Henger alakú detektor</i>	26
3.1.5	<i>A kiértékelő egység és a nagyfeszültségű tápegység</i>	27
3.1.6	<i>Adatgyűjtés</i>	33
3.1.7	<i>Jelfeldolgozás</i>	33
3.2	Mérés menete.....	38
3.2.1	<i>Kiértékelő egység működésének tesztelése</i>	39
3.2.2	<i>Nulla mérés</i>	40
3.2.3	<i>Különböző sűrűségű anyagok mérése</i>	40
4.	Eredmények.....	41
4.1	<i>A kiértékelő egység tesztelésének eredményei</i>	41
4.2	<i>Nulla mérés eredményei</i>	43
4.3	<i>Különböző anyagok mérési eredményei</i>	44
5.	Összefoglalás.....	45
7.	Függelék.....	49

1. Bevezetés, célkitűzés

A többnyire zárt vagy nehezen megközelíthető és veszélyes berendezések belső felépítésének feltérképezésére kevés hatásos technika ismert. Ezen kevés technikák közé tartozik a vizsgálandó szerkezet radioaktív sugárforrással történő átvilágítása, azaz radiográfiai vizsgálata. [1]

Az iparban roncsolás mentes anyagvizsgálati módszerként használják a radiográfiai vizsgálatokat például hegesztési varratok zárványmentességének ellenőrzésére, csöveken repedések, lyukak után kutatva. [2] Ezt a vizsgálati módszert az orvostudományban is széles körben alkalmazzák a háromdimenziós tomográfia elterjedésének ellenére is, mely annak köszönhető, hogy ezen eljárások nem túl költségesek és mégis magas felbontóképességgel rendelkeznek. [3]

E technika fejlesztése azért fontos mert, így képet kaphatunk a vizsgálni kívánt tárgy belső felépítéséről és sűrűségeloszlásáról. Kimutathatjuk az alkalmazott technológiai folyamatok során például kéményekben, kolonnákban keletkező szennyeződéseket, lerakódásokat a szerkezetek belsőfalán, melyek a tökéletes működés hatásfokát nagyban csökkenthetik. Mind ezt szétszerelés, szétvágás nélkül és lehetőleg üzemi körülmények között végezve. Viszont az idegen anyagok helyzetét csak akkor tudjuk pontosan meghatározni, ha ismerjük a tárgy eredeti belső felépítését. Egy esetleges szervizelés vagy nagyobb karbantartási munkálat előtt ez a vizsgálati módszer kulcsfontosságú információkat adhat az üzemeltetők számára.

Az ipari radiográfiai vizsgálatoknál eddig elterjedten használt detektortípusok a *GM* csövek és proporcionális számlálók kiváltására több módszer is ismeretes. Ilyen megoldást kínál az előbb említett detektoroknál jobb felbontású *NaI* szcintillációs detektorok alkalmazása. Azonban ezeknek a detektoroknak az alkalmazása számos kérdést és megoldandó problémát vet fel. Az egyik ilyen a forgalomban kapható detektorok fotoelektron-sokszorozó csövének hengeres kialakítása miatt elsősorban körszimmetrikus szcintillációs kristályokat alakítanak ki. Azonban a képalkotáshoz előnyösebb lenne a szögletes kialakítású detektorok alkalmazása.

A TDK munkám során célul tűztem ki a PE-RRI intézetében egy olyan radiográfiai modellberendezés mérés technikai módszer kialakítását, amely szögletes *NaI* egykristály detektorral van ellátva. A munka során meg kell valósítani a laboratóriumi modellelrendezés megtervezését, kialakítását, a kör és négyzet keresztmetszetű detektor kristályok összehasonlítását, valamint az ehhez szükséges elektronika és szoftverfejlesztést.

2. Elméleti háttér

2.1 *Roncsolás mentes anyagvizsgálati módszerek*

Fontos megemlíteni, hogy a radioaktív izotópokkal végzett munka állandó sugárveszélyt jelent, tehát sugárzásukat nem lehet megszüntetni, mint például a röntgen berendezéseket. Viszont a sugárforrások igen kis méretekben is elkészíthetők, valamint üzemeltetésük és karbantartásuk is számottevően olcsóbb. Szintén előnyt jelenthet a sugárforrások használata terepi mérések alkalmával, hiszen külön tápellátást nem igényelnek ezért sokkal könnyebben mozgathatóak. [4].

2.1.1 *Ultrahangos vizsgálat*

A 20Hz-nél alacsonyabb frekvenciájú hanghullámokat infrahangnak, míg a 20.000Hz-nél magasabbakat ultrahangnak nevezzük. Az emberi fül érzékelési tartománya e két határ (20-20.000Hz) közé esik. Az ultrahang alkalmazása az utóbbi évtizedekben különösen az orvosi vizsgálatok során terjedt el. A módszer nagy előnye, hogy az ionizáló sugárzásokkal ellentétben (az eddigi ismereteink alapján) az alkalmazható frekvencia és intenzitás tartományában nincs semmilyen egészségkárosító hatása.

A módszer működésének elve, hogy a kibocsájtott ultrahang az egyes határfelületekről különbözőképpen verődik vissza és a visszavert hullámok mérésével az egyes szervek, szövetek kontúrja kép formájában megjeleníthető. A vizsgálat során a vizsgálandó anyag felszínén kell végig húzni egy piezoelektromos kristályt, mely egyszer az ultrahangforrás, másszor a detektor szerepét tölti be. A vizsgáló frekvencia növelésével az áthatolás csökken viszont a felbontás nő. [5]

2.1.2 *Akusztikus emissziós vizsgálat*

Az akusztikus emissziós vizsgálat kilóg a hagyományos értelemben vett anyagvizsgálati módszerek közül. Amíg más eljárások elvégzésének során a szerkezetek egyes részeit, terheletlen állapotban vizsgáljuk, addig az akusztikus emissziós vizsgálat a kérdéses szerkezet egészéről add képet, melynek alapvető feltétele a megszokott üzemi terhelésen túlmenő terheltségi állapot.

A vizsgálat alapja az anyagok képlékeny alakváltozásának mechanizmusában, azaz a diszlokációk mozgásában keresendő. Amíg a terhelés hatására a szerkezet csak a rugalmassági határon belül alak változik, addig az anyagban vándorlás nem történik. Amikor a terhelés mértéke elér egy olyan szintet, ahol a szerkezeti anyag részlegesen megfolyik, tehát képlékeny

alakváltozást szenved, akkor a deformálódott zónában az atomelmozdulás diszlokációseregek vándorlását eredményezi. A diszlokációknak mozgásuk során le kell győzniük a rács hibáit, idegen atomokat, kiválásokat stb. Ezeknek az akadályoknak a legyőzése során 100 kHz-800 kHz frekvencia sávba eső rugalmas hullámok keletkeznek, amiket érzékelők segítségével észlelni lehet. Több érzékelő alkalmazásával a hullámok keletkezési helye is meghatározható. Szivárgás esetén a kis réseken kiáramló közeg turbulenciájából adódó zajokat mérni és a helyüket lokalizálni is lehet. [6]

2.1.3 Röntgen vizsgálat

A röntgen vizsgálat az egyik legfontosabb és ezért legelterjedtebb hibakereső roncsolás mentes anyagvizsgálati módszer. A röntgensugárzást mesterségesen úgy állíthatjuk elő, hogy légritkított térben lévő elektródákra nagyfeszültséget kapcsolunk, melynek hatására a katódból kilépő elektronok nagysebességgel az anódba csapódnak. Ekkor pedig létre jön a röntgensugárzás. [7]

Alapvető feladata az anyagban rejlő belső inhomogenitások kimutatása. Elve, hogy a létrehozott röntgensugárzás az anyagokon áthaladva veszít intenzitásából még pedig az anyagvastagság és minőség függvényében. Ezt az intenzitás különbséget leggyakrabban fényérzékeny filmmel detektálják. A kisebb mértékben gyengített sugárzás a film anyagát nagyobb mértékben, míg a nagyobb mértékben gyengített sugárzás kevésbé változtatja meg a film anyagszerkezetét. Így a hiba helyén nő vagy csökken a feketébb vagy a fehérebb folt mértéke. [2]

2.1.5 Radiográfiai vizsgálat

A radiográfiai vizsgálat elveiben megegyezik a röntgenvizsgálatokkal. Itt is a vizsgált anyagon átmenő sugárnyaláb intenzitásának keresztmetszeti eloszlásának mérést értjük. Radiometriai vizsgálat során ez a detektálás sugárzásmérő készülékekkel történik, jelen esetben szcintillációs detektorral. Az elemzés során láthatóvá válnak a vizsgált anyag szerkezetének hibái és ennek számos gyakorlati alkalmazása ismert (például az iparban hegesztési varratok, csövek falán keletkezett repedések és más anyag folytonossági hibák meghatározása). [8] A vizsgálat abban különbözik a röntgenvizsgálattól, hogy az izotópok által keltett gamma sugárzás hullámhossza lényegesen kisebb (kb. 1pm), ezért rendkívüli áthatoló képességgel rendelkezik.

A mérés ipari alkalmazása során mindig mesterséges radioaktív anyagokat használnak. Melyek leggyakrabban a *Co-60* és az *Ir-192*. A nagyobb áthatolóképeséggel rendelkező γ – sugárzások használatának magyarázata, hogy az iparban leginkább alkalmazott szerkezeti elem az acél és mivel az α és β sugárzások kisebb áthatolóképeséggel rendelkeznek, így ezeket a sugárzásokat többnyire nem alkalmazzák, mert az nagyban meghatározná a vizsgálandó anyag maximálisan detektálható keresztmetszeti értékét. Viszont, ha igen vékony és kis sűrűségű anyagok vizsgálata a cél, akkor minden további nélkül alkalmazhatóak. [9]

A radioaktív izotópos méréstechnikán alapuló inhomogén sűrűség eloszlások felderítése elsősorban érintkezésmentes jellege miatt a legtöbb esetben jelentős előnyt kínál, sőt nemegyszer ez az egyetlen üzembiztos megoldás.

2.2 Radioaktív sugárzás és anyag kölcsönhatása

Sugárzás keletkezhet természetes, valamint mesterségesen előállított radioaktív anyagok stabilabb állapotba történő átmenete közben. A mesterséges izotópokat úgy állítják elő, hogy a kiválasztott elemet atomreaktorban neutronsugár nyalábjába helyezik és a folyamat során az atommag neutronokat vesz fel. Majd az így keletkezett izotóp instabil állapotba kerül, és a stabil állapotba történő törekvése közben felesleges energiáját sugárzás alakjában adja le. Három főbb sugárzási fajtát különböztethetünk meg. Ezek az α , β és γ sugárzás. Mivel ezeknek a sugárzásoknak tömege, töltése, energiája és más jellemzői meglehetősen különböznek egymástól, ezért kölcsönhatásuk az útjukba helyezett anyaggal szintén más és más. A sugárzás és az útjába helyezett anyag kölcsön hatásának mértékét a hatáskeresztmetszettel jellemezzük, az 1. egyenlet szerint: [10]

$$-d\phi = \phi \cdot \sigma \cdot N \cdot dx, \quad (1)$$

ahol:
 $d\phi$: a fluxus változása [$s^{-1} \cdot m^{-2}$]
 ϕ : az abszorbersre eső fluxus [$s^{-1} \cdot m^{-2}$]
 σ : az abszorbers anyagi minőségére jellemző hatáskeresztmetszet [m^2]
 N : a dx vastagságú abszorbers egységnyi térfogatában elhelyezkedő és a sugárzást módosítani képes atomok, atommagok száma. [m^{-3}]
 dx : az abszorbers anyag vastagsága [m]

Homogén közegen áthaladó kollimált sugárzás gyengülése az abszorbers után az 1. egyenlethez hasonlóan írható le a 2. egyenletben, ha I az abszorbersre ráeső sugárzás intenzitása, annak változása (ahol, μ : a lineáris sugárgyengítési együttható [m^{-1}]): [10]

$$dI = I \cdot \mu \cdot dx \quad (2)$$

Állandónak tekintett σ és μ esetén az előző két kifejezés könnyen integrálható az x vastagság szerint, majd a 3. és 4. egyenlet szerint írható fel a fluxus és az intenzitás: [10]

$$\phi(x) = \phi_0 \cdot e^{(-\sigma \cdot N \cdot x)} \quad (3)$$

$$I(x) = I_0 \cdot e^{(-\mu \cdot x)} \quad (4)$$

ahol:
 ϕ_0 : az abszorbersre ráeső sugárzás fluxusa
 I_0 : az abszorbersre ráeső sugárzás intenzitása

A kifejezésből jól látszik, hogy a közeggel való kölcsönhatás miatt bekövetkező sugárintenzitás-csökkenés, mely adott sugárzásnál és anyagi minőségénél a $\rho \cdot \mu$ felületi sűrűségtől függ, a közeg számos tulajdonságának mérésére ad módot.

- ha a vastagságmérése a cél, akkor azt állandó μ és ρ feltételek mellett tehetjük meg.
- állandó anyagi minőség és vastagság mellett pedig a közeg sűrűségének meghatározására nyílik mód.

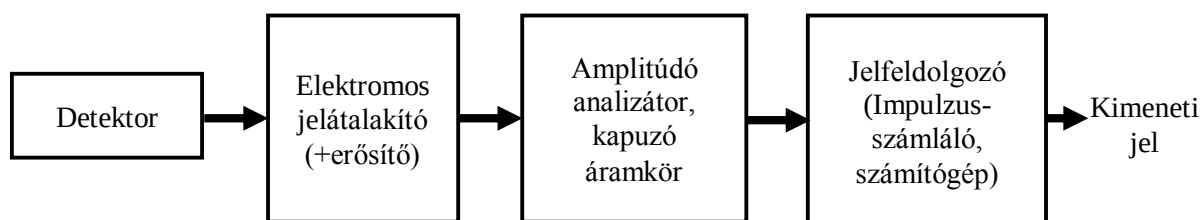
2.3 Nukleáris mérés technika

Mérések során meghatározhatjuk a sugárzás fajtáját, a forrás intenzitását, energiáját, intenzitásának időbeli csökkenését. Megkülönböztetünk az alkalmazás célja szerinti nukleáris méréseket, melyek lehetnek intenzitásmérés, energiaanalízis és dózismérés.

A sugárzás leggyakrabban a környezet atomjait ionizálja. Ennek következménye lehet az anyag elektromos tulajdonságainak megváltozása. Ezt a változás elektromos mérőberendezéssel mérhető. A legelterjedtebb detektor típusok az ionizáció elve alapján működnek, melyek a gáz-ionizációs detektorok.

A félvezető technológia fejlődése a nukleáris mérés technika területén is számos új lehetőséget hozott. Az úgynevezett félvezető detektorok működésének elve mondhatni megegyezik az ionizációs kamrák működésével. Ez a detektor típus egyszerre valósítja meg az ionizációs és szcintillációs detektorok előnyeit. Mert szilárd fázisban válik lehetővé a töltések szétválasztása és a rekombináció lefutása gyorsnak (10^{-12}) mondható. A detektorban egy p és egy n típusú félvezető réteg található, mely záró irányban van előfeszítve. Így a két félvezető találkozásánál egy kiürített réteg alakul ki, ennek szélessége a záró-irányú feszültség nagyságának mértékétől függ. A sugárzás ebbe a kiürített rétegbe érkezik. Ahol ionizálja a kristályt, melynek következtében töltések áramlanak a kristályban.

A nukleáris mérőberendezések alapvető funkcionális egységeit a 1. ábrán láthatjuk:

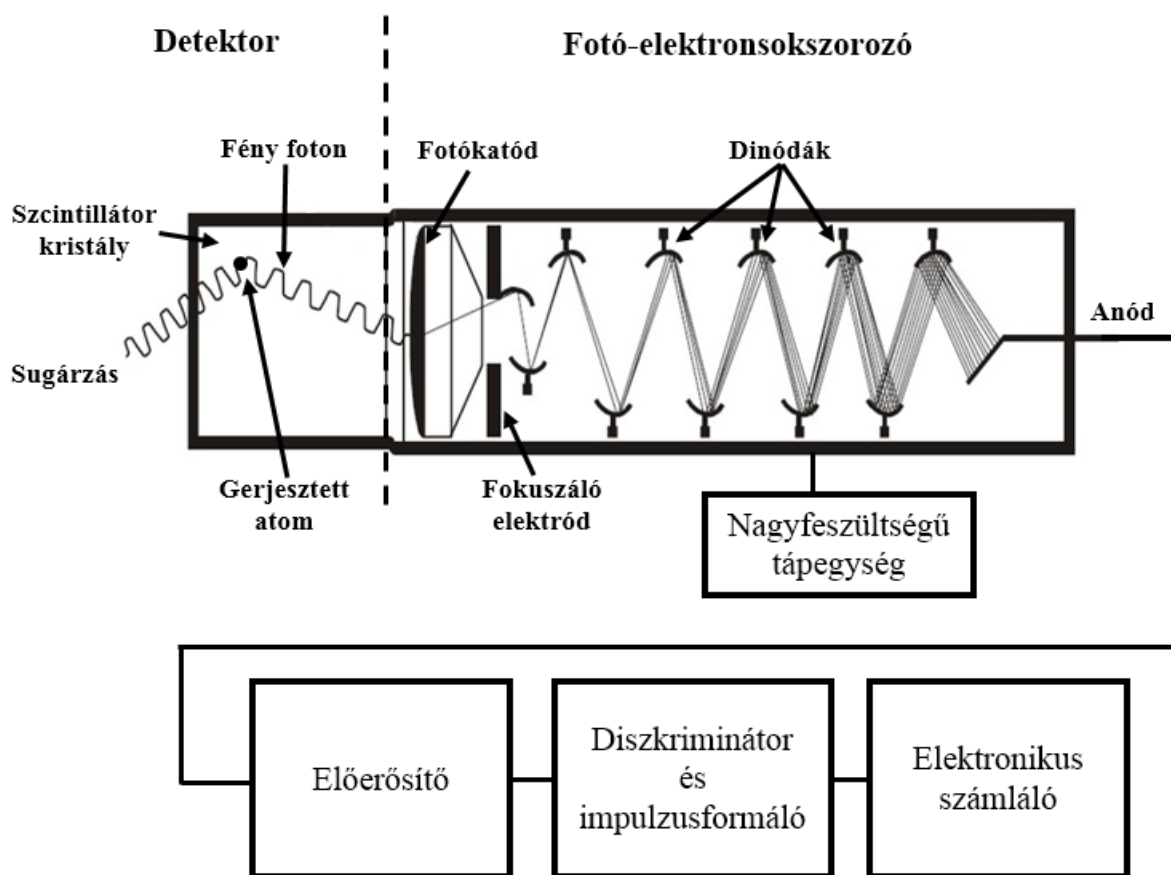


1. ábra: A nukleáris mérőberendezések alapelemei

A detektorokból kilépő impulzusok nagysága többnyire arányos a sugárreszecskek energiájával, időegységre eső száma a sugárzás intenzitásával, sőt egyes detektorok esetén a μ s időtartamú impulzus alakja is fontos információt hordozhat. A feszültségimpulzust erősítővel felnagyítjuk, formáljuk. Az analízátor feladata a jelek nagyság szerinti osztályozása, a számláló pedig a megadott időtartam alatt mért impulzusok számát adja meg.[11]

2.3.1 A szcintillációs detektorok

A szcintillációs detektorok működési elve, hogy a sugárzások közvetlenül, illetve az ionizációs folyamat során keletkezett elektronok és ionok anyaggal történő kölcsönhatása olyan gerjesztett állapotú atomokat, avagy molekulákat hozhat létre, melyek az ultraibolya vagy a látható fény tartományába eső fotonokat sugároznak ki. Ezeket a fotonokat mikroszkóp használatának segítségével, vagy egy úgynevezett fotoelektron-sokszorozó közbeiktatásával elektronikusan mérhető jellé alakíthatók.[12] Egy szcintillációs detektor főbb elemei láthatóak a 2. ábrán.



2. ábra: Szcintillációs detektor alap építőelemei

A detektor működésének elve. Első lépésben a szcintillátor kristályba belépő sugárzás kinematikus energiája fényenergiává alakul. Következő lépésben a fotoelektron-sokszorozó a keletkezett fény fotonokat elektromos impulzusokká alakítja. Ezek az impulzusok az elektronikus segédberendezéseken áthaladnak és közben erősödnek, szétválogatódnak és regisztrálódnak. [12]

A szcintillációs detektorok előnyei a GM-csővel szemben [13]:

- A szcintillátor anyaga a GM-csőhöz viszonyítva nagy sűrűségű, ennek köszönhetően a nagy áthatoló képességű sugárzást is jó hatásfokkal lehet vele detektálni.
- Azonos árnyékolások alkalmazása mellett háttere egy nagyságrenddel kisebb.
- A Feloldási ideje meglehetősen rövid 1-0,01 μ s, ami sokkal nagyobb számlálási sebességet tesz lehetővé.
- GM-csővekkel ellentétben, a sugárzás energia-eloszlása, tehát spektruma is regisztrálható. A karakterisztika görbéje nem független a sugárzás minőségétől és energia-eloszlásától.

2.3.1.1 Szcintillátor

A szcintillátor anyagát úgy választják meg, hogy a szcintillációs folyamat során a fény hullámhossza 450nm körül legyen. Azért fontos, hogy a fotonok hullámhosszúságai ezen érték környékén legyenek, mert a fotoelektron-sokszorozóban használt fotókatód érzékenységi maximuma is itt van. A szcintillátorok halmazállapotukat tekintve lehetnek szilárdak vagy folyékonyak. [14]

Szilárd szervetlen szcintillátorok:

- Talán a leggyakrabban használt szervetlen szilárd szcintillátor a $NaI(Tl)$ egykristály. Energia hasznosításának hatásfoka 8-10% körül van. Lecsengési ideje 250ns. A keletkező fotonok hullámhosszúsága 440-450 nm. Viszonylag könnyen készíthető belőle optikailag tiszta egykristály, még akár több kilógramm tömegben is. Kiválóan alkalmazható γ – sugárzások energia-eloszlásának mérésére 50keV-től 5 MeV-ig. Nagy hátrányuk a magas higroszkóposság, ennek következtében csak is légmentesen lezárt tokozásokban használhatóak. A kristályokat fémedénybe helyezik, a fémedények belső falát a fényvesztés csökkentésének érdekében Al_2O_3 -dal, MgO -dal vagy más jól reflektáló anyaggal töltik ki. A kristály egyik felületén egy kilépő ablakot helyeznek el, melyen keresztül kiléphetnek a keletkezett fény fotonok. A kristály és a kilépő ablakot összeszerelés előtt immerziós folyadékkal vonják be, hogy a totálreflexió szögét minél inkább csökkentsék. [14]
- $CsI(Tl)$ egykristály 7-8%-os energiahasznosítási hatásfokkal rendelkezik. Lecsengési ideje 10^{-7} s-nál kisebb. A keletkező fotonok hullámhosszúságának értéke körülbelül megegyezik a $NaI(Tl)$ kristályéval. Nagy előnye hogy higroszkóposságának mértéke

elhanyagolható. Hátránya viszont, hogy még nem sikerült nagyobb egykristályt növeszteni belőle. [14]

Szilárd szerves szcintillátorok:

Talán a leggyakrabban használt szilárd szerves szcintillátor az antracén. Hatásfoka 5-6% környékén van, valamint lecsengési ideje 10^{-8} - 10^{-7} s. A keletkező fotonok hullámhossza 447 nm. Kis rendszámának köszönhetően kiválóan alkalmas β – sugárzás detektálására és energia-eloszlásának mérésére. Még α – sugárzás detektálására is alkalmazható, bár ekkor vastagsága néhányszor 0,1mm. [14]

Szilárd műanyag szcintillátorok:

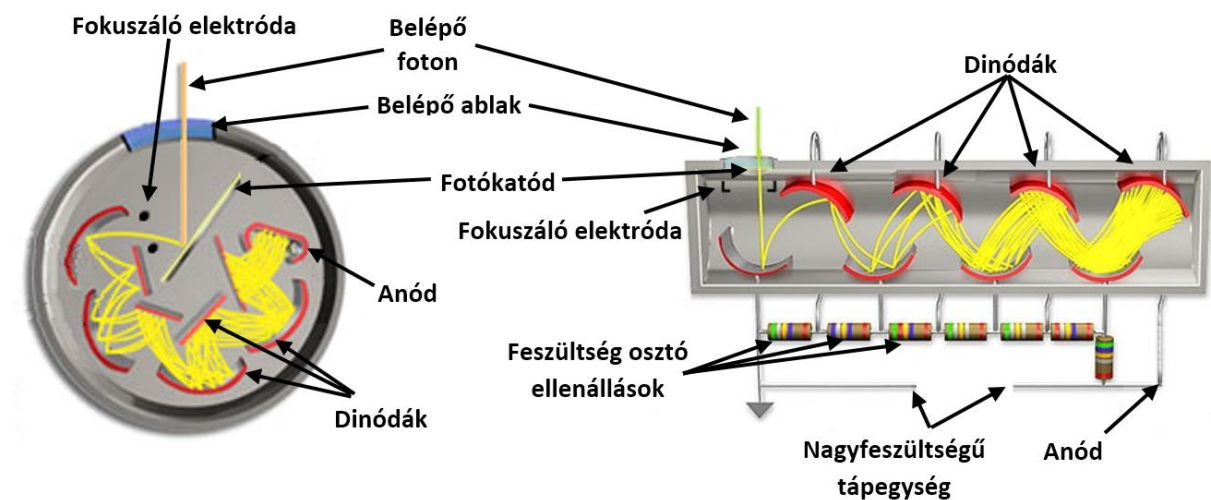
Fontos külön pontban megemlíteni a műanyag szcintillátorokat, viszonylag egyszerű kialakíthatóságuk miatt. A polimerizációra képes aromás oldószerekben szcintillátor anyagokat oldanak fel, majd tetszőleges formákba egy nagy táblává öntve polimerizálják. Az így kapott üveghez hasonló tulajdonságokkal rendelkeznek nedvességre érzéketlenek, színtelenek, ellenben nem törékenyek. Ezek az átlátszó műanyagok könnyedén darabolhatóak és forgácsolhatóak. Fényhasznosítási hatásfokuk 2-3% lecsengési idejük a folyadék szcintillátorokhoz hasonlóan 10^{-9} s mértékű. [15]

Folyadék szcintillátorok:

Alkalmazásuk egyre nagyobb teret hódít a lágy β – sugárzó izotópok, mint például a ^3H és ^{14}C vizsgálatainál. Aromás oldószerekben feloldott p-terfenil, vegyületek fényhasznosítási hatásfoka 2-4%, mely természetesen függ az összetételtől. Lecsengési idejük nagyon rövid 10^{-9} s nagyságrendű. Tetszőleges alakú és méretű tartályok alakíthatók ki. Ennek következtében a legkülönbözőbb feladatok elvégzésére adnak módot. [14]

2.3.1.2 Fotoelektron-sokszorozó

A szcintillációs detektorok legérzékenyebb, legfontosabb és legkényesebb részének a fotoelektron-sokszorozót tekintjük. Mert ez az elem alakítja át a fotonokat mérhető elektromos jellé. Felépítésükben a korszerű katódsugárcsőekre emlékeztetnek. A 3. ábrán látható a fotoelektron-sokszorozó főbb alkotóelemei. [11]



3. ábra: Különböző alakú fotoelektron-sokszorozók és elemeik

A beérkező foton útját végig követve nézzük meg az egyes elemek szerepét.

- Belépőablak:

A fény fotonok számára biztosít bejutási lehetőséget a sokszorozó belsejébe.

- Fotókatód:

Egy félígáteresztő réteg anyaga majdnem mindig $SbCs_3$ -Cs, mely kis termikus elektron-emisszióval és jó kvantumhatásfokkal rendelkezik. Spektrális érzékenysége 450-500nm körül van, mely függ a készítmény technológiájától.

- Fokuszáló elektróda:

Az első dinódára a fotókatódból kilépő elektronokat egy fókuszáló rendszer segítségével irányítjuk. Potenciálja a fotókatódhoz képest + 100-200V. Ennek alkalmazásával a fotókatódból kilépő elektronok akár 98-99% is elérheti a dinódát.

- Dinódák:

Ezek alkotják az úgynevezett sokszorozó rendszer. Alkalmazása azért szükséges, mert a fényfelvillanások által keltett pár 100 elektronok detektálhatósága meglehetősen nehézkes feladat. Ha viszont ezt a pár 100 elektront több nagyságrenddel megnöveljük, akkor azok detektálása már sokkalta egyszerűbbé válik. A fotoelektron-sokszorozók átlagos erősítése 10^6 - 10^8 nagyságrendű. A nagyfeszültségű tápegység által biztosított potenciál különbséget úgy osztjuk, le az ellenállások segítségével, hogy az egymást követő dinódák között 100-150V legyen a feszültség különbség. Az elektronok ezeknek a gyorsító feszültségnek a hatására kinetikus energiára tesznek szert. A dinóda anyagába becsapódva abból, az elektron kinetikus energiájának nagyságától és a dinóda anyagi minőségétől függő számú szekunder elektront taszít ki. (Egy elektron általában két - három szekunder elektront lök ki.) Ezek a szekunder elektronok az következő dinóda felé veszik útjukat és közben felgyorsulnak az ott is jelen lévő gyorsító feszültség miatt, majd a dinódába ütköznek. A dinódák számától és a nagyfeszültség nagyságától nagyban függ az erősítés mértéke, de számuk általában 10-15 között van, a nagyfeszültség pedig 500V-1500V közötti érték.

2.4 Analóg digitális átalakítók

A detektor kiértékelő áramköröm kimenetén egy a detektált sugárzás intenzitásának megfelelő analóg feszültséget kaptam. A mért adatok további feldolgozása miatt, az analóg jelet digitalizáltam, majd ezt követően egy személyi számítógépnek kellett továbbítanom.

Tehát az úgynevezett analóg-digitál átalakító (A/D konverter, ADC) feladata, hogy a bemenetére adott feszültséggel arányos digitális értéket adjon a kimenetére. Alapvetően három elméletben eltérő megoldást különböztethető meg [16]:

1. a közvetlen módszert,
2. a szukcesszív approximációs módszert, valamint
3. a számlálót alkalmazó módszert.

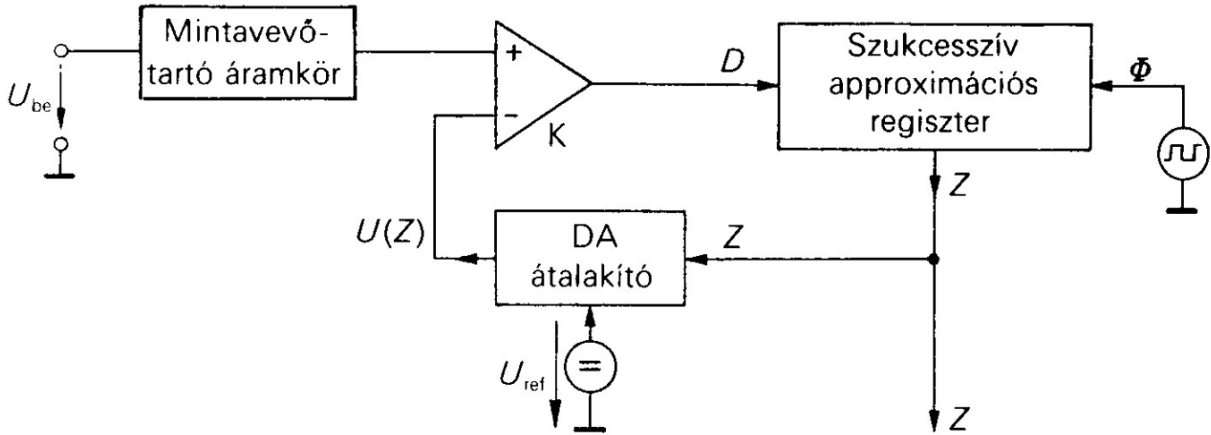
A közvetlen eljárás módszerét alkalmazva a bemeneti feszültséget kerül összehasonlításra n számú referenciafeszültséggel, majd meg kell állapítani azt, hogy melyik kettő közé esik. E módszer legnagyobb előnye hogy az átalakítás egyetlen lépésben történik, viszont emiatt az áramkör nagyon bonyolult, mert minden lehetséges számhoz egy komparátor alkalmazása szükséges. (Például: $0 \dots 100$ méréstartományban 1-es felbontáshoz $n = 100$ komparátor szükséges.)

A szukcesszív approximáció használata során az eredmény nem egyetlen lépésben kapható meg, hanem egyszerre csak a bináris szám egy helyértékéhez tartozó érték határozható meg. Az átalakítás rendszerint a legnagyobb helyérték vizsgálatával kezdődik. A vizsgálat során az figyelendő, hogy a bemeneti feszültség értéke nagyobb, avagy kisebb értékű, mint a legnagyobb helyértékhez tartozó referenciafeszültség. A következő lépésben, pedig a bemeneti feszültség maradéka hasonlítandó össze a következő helyértékkel és ez folytatódik mind addig, amíg a bemeneti feszültség értékével megegyező feszültség nem áll elő. Látható, hogy az összehasonlítási lépések száma megegyezik a helyértékek számával, és ugyanennyi referenciafeszültségre van szükség, továbbá ebből az is következik, hogy különböző értékű bemeneti feszültségek átalakítási ideje más és más lesz.

Végül a számlálót alkalmazó megoldásról pár szót. Ennél az számolandó össze, hogy hányszor kell a legkisebb helyértékű referencia feszültséget összeadni, hogy a bemeneti feszültség értéke legyen az eredmény. Végül a lépések összessége megadja az eredményt. Ennek a megvalósítása a legolcsóbb, viszont itt a lépések száma n -re nő, ezért ezek átalakítási ideje ennek a típusnak lesz a leghosszabb.

2.4.1 Szukcesszív approximáció elvén működő ADC

Azt általam használt átalakító típus a szukcesszív approximáció elve alapján működik, így ebben a dolgozatban ennek részletezésére térek ki. Egy ilyen típusú átalakító kapcsolási rajza látható a 4. ábrán. [17]



4. ábra: Szukcesszív approximáció típusú A/D konverter

Működése a következőképpen írható le. A bementre adott analóg jel egy mintavevő-tartó áramkör után a K jelű komparátor nem invertáló bemenetére érkezik. A komparátor segítségével összehasonlítom a mintavevő-tartó áramkör által tárolt mérési részeredményt a D/A átalakító kimeneti feszültségével. Majd ennek függvényében a kimenete két jól elkülönülő állapot között változhat. A mérés kezdetén a Z szám automatikusan törlődik. Ezután a legnagyobb súlyú bitet, az MSB bitet logikailag magas állapotba billenti az átalakítás vezérlő, majd megvizsgálja, hogy a bemeneti feszültség nagyobb-e, mint $U(Z)$. Ha igen, akkor a bit 1-es állapota megmarad, egyébként visszaáll 0-ra. Így az MSB bit értékének megválasztása meg is történt. Ennek analógiája szerint az összes bit állapotának vizsgálata megtörténik. Végül a legkisebb súlyú bit, az LSB bit értéke is meghatározásra kerül. Ekkor az átalakító belső regiszterében egy olyan bitminta található, mely a D/A átalakítás után olyan feszültséget hoz létre, amely U_{LSB} felbontási lépésen belül U_{be} értékével egyezik meg. Így jó közelítéssel leírható az 5. és 6. egyenlettel: [17]

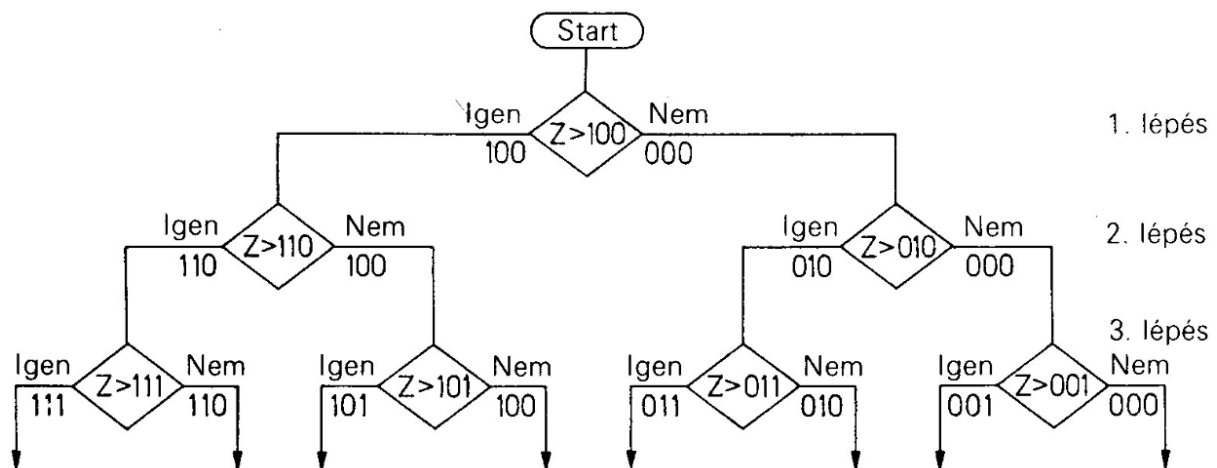
$$U(Z) = U_{ref} \cdot \frac{Z}{Z_{max}+1} = U_{be} \quad (5)$$

valamint,

$$Z = (Z_{max} + 1) \frac{U_{be}}{U_{ref}} \quad (6)$$

A mintavevő-tartó áramkör szerep a bemeneti függvény mintaértékének közbülső tárolására, erre azért van szükség, mert a bemeneti feszültség átalakítási idő alatt megváltozhat. Alkalmazása során viszont minden helyérték képzésekor ugyanazt az a bemeneti feszültség kerül összehasonlításra.

Az első három összehasonlító lépés folyamatábráját láthatjuk az 5. ábrán. [17] Megfigyelhető, hogy a már meghatározott bitek a következő lépések alkalmával változatlanok maradnak.



5. ábra: Az átalakítás folyamatábrája

Az átalakítás folyamatát a SAR az az a Szukcesszív Approximációs Regiszter vezérli. A mérések kezdetén egy törlő (reset) jel minden tárolót nulláz.

Csak különleges esetben ésszerű szukcesszív approximációs A/D átalakítót egyedileg készíteni, mert integrált kivitelben nagy választékban kapható. Az általam használt mérésadatgyűjtő kártya is integrált formában már tartalmaz egy ilyen fajta átalakító áramkört.

2.4.2 Az A/D konverterek hibái

- Statikus hibák:

Analóg jelek digitalizálása során véges számú bitet tartalmazó számmá alakítjuk, a korlátozott felbontás következtében (nem alkalmazhatunk végtelen számú bitet) szisztematikus hiba keletkezik, amit kvantálási hibának nevezünk. Ennek értéke $\pm \frac{LSB}{2}$, azaz akkora, mint a bemeneti feszültségváltozás fele, ami ahhoz szükséges, hogy a számot a legkisebb helyértéken megváltoztassuk. [16]

Ha az átalakítás során létrejövő számsorozatot egy D/A átalakító segítségével ismét feszültséggé alakítjuk, a kvantálási hiba járulékos zajként jelentkezik. Ennek effektív értéke a 7. egyenlet szerint: [17]

$$U_{Zeff} = \frac{U_{LSB}}{\sqrt{12}} \quad (7)$$

- Dinamikus hibák:

Az A/D átalakítók dinamikus hibái abból adódik, hogy jelfeldolgozásnál a bementről, időközönként mintát veszünk mintavevő-tartó áramkör segítségével. A vett mintákat digitalizálja az A/D átalakító. A keletkező $\{Z\}$ számsor csak akkor adja vissza a bemenő jelet információ veszteség nélkül, hogy ha a mintavételi tétel teljesül. Az f_m mintavételi frekvenciáknak legalább az f_{max} legnagyobb jelfrekvencia kétszeresének kell lennie. [16]

2.5 *LabVIEW és Mérésadatgyűjtés*

2.5.1 *LabVIEW rendszer tervező szoftver*

A *LabVIEW* egy olyan grafikus programfejlesztő és rendszer tervező szoftver, amit a National Instruments Corporation adott ki és immár 28 éve forradalmasítja a tesztelési, mérési és vezérlő alkalmazások fejlesztését. [18]

A program elsősorban méréstechnikai és a hozzákapcsolódó jelfeldolgozási feladatok megoldására szolgál, de alkalmas más, pl. szimulációs munkákra is. A *G* nevű grafikus programozási nyelvet használja, mely egy látványos, látszólag könnyen követhető programozási módot jelent. A programfejlesztő környezet a gyártó és a forgalmazók véleménye szerint a hagyományos programnyelveket nem ismerőknek készült. Meg kell jegyezni, hogy a programozás alapvető jellemzői (változók deklarálása, ciklusok) teljes mértékben a *C* programnyelvhez hasonlóan, illetve azzal analóg módon történnek. A *LabVIEW* mindenkinek ajánlható, aki gyorsan és egyszerűen szeretne saját mérőprogramot készíteni. [19]

A *LabVIEW* programot Virtuális Műszernek (VI – Virtual Instrument) nevezzük, mert megjelenésük és működésük valós mérőműszereket imitálnak. A környezetben történő programozás két ablakban történik az egyik a felhasználói kezelőfelület ablaka (Front Panel), míg a másik a grafikus program ablaka (Block Diagram). A Block Diagram ablakban a Front Panelen elhelyezett objektumok névvel ellátva automatikusan megjelennek, és itt történik a program tervezése. A program lefutása lényegében megegyezik, a szokásos programnyelvű (Pascal, C) programokkal, csak itt a szövegesen beírt sorok egymás utáni lefutása helyett, a grafikus jelekkel meghatározott műveletek, függvények, a köztük lévő vezetékezők alapján hajtódnak végre. [20]

Ami a program használhatóságát tovább növeli, hogy az elkészült programjainkról egy *.exe program fájl készíthető, amely futtatásához már nincs szükséges a *LabView* fejlesztői környezetére. Az *.exe program futásakor, a képernyőn az általunk megtervezett front panel jelenik meg. Ezen ablakon foglalnak helyet a programot vezérlő bemenetek (nyomógombok, kapcsolók, potenciométerek, szövegmezők), a különböző kijelzők, grafikonok [19][20].

2.5.2 Mérésadatgyűjtés

A mérésadatgyűjtő (DAQ = *Data AcQuistion*) rendszerek alapvető feladata, hogy a valós világ fizikai jeleit (feszültség, áram, hőmérséklet, nyomás, fénymennyiség, stb....) mérjék, illetve fizikai jeleket hozzanak létre a vezérlési, avagy szabályozási algoritmusnak megfelelően. Mielőtt egy számítógép alapú rendszer megmérne egy fizikai jelet, előtte számára feldolgozható információvá kell átalakítani azt. Ezt rendszerint érzékelők alkalmazásával tehetjük meg, a mérni kívánt fizikai jelet tehát villamos jellé kell alakítanunk, amely lehet áram vagy feszültség.

A PC-alapú adatgyűjtéshez moduláris hardverelemek és flexibilis szoftverelemek kombinációját használhatjuk fel arra, hogy a hagyományos laptopot vagy asztali számítógépét egy egyedi mérési vagy vezérlési rendszerré alakítsuk át. Sajnos a számítógéppel megvalósított automatikus műszerek mindegyike eltérő működésű, és a legtöbb esetben nem kapcsolhatjuk közvetlenül a fizikai jelet a mérésadatgyűjtő kártya bemeneteihez. Szükséges egy jelszűrő és szintátalakító áramkör közbeiktatása, majd ezen elemek után végezhető el az átalakítás digitális információvá. A mérésadatgyűjtő rendszerekben programmal gyűjtjük össze a nyers adatokat, programmal analizáljuk őket és programmal jelenítjük meg a számítási eredményeket.

Ha analóg jeleket mérünk egy mérésadatgyűjtő kártya segítségével, a következő tényezőket kell figyelembe venni a digitalizált jel minősítésénél: a mérési módszer kialakítását (lehet egyszeres kimenetű és lehet differenciátípusú mérés), a felbontás nagyságát, a jel erősítésének nagyságát, a mintavételezés sebességét és a zajok elnyomásának mértékét. Nézzük meg ezeket a pontokat részletesen is:

- Egy kimenetű jelek

Az egy kimenetű jelek mindegyike egy közös földponthoz képest vonatkozik. Ezt a mérési elrendezést akkor használjuk, amikor a bemeneti jel szintje nagyobb, mint 1 volt, a jelforrástól az analóg bemenetekhez kevesebb, mint 5méter huzallal vezetünk minden jelet, valamint a jelek mindegyikét egy közös földreferencia pontra csatlakoztatjuk. Ha a mérendő jel nem teljesíti ezeket a feltételeket, akkor különbségi bemeneteket elvét kell alkalmaznunk. [21]

- Különbségi bemenetek:

A különbségi vagy differenciál bemenetek megengedik, hogy minden bemenetnek különböző feszültsége legyen, amely a földhöz képest jelenik meg. A különbségi bemenetek csökkentik vagy megszüntetik a mérési zajt, mivel a vezetékekről „felvett” közös modulusú zajt a bemenetek kivonják egymásból. A struktúra egyetlen hátránya, hogy egy analóg jel vizsgálatához két analóg bemenetet kell használni a mérésadatgyűjtő kártyán. [21]

- Felbontás:

A felbontás azon a bitek száma, amelyeket a mérésadatgyűjtő analóg-digitális átalakítója használ, hogy az analóg jelet ábrázolja. Nagyobb felbontással nagyobb az adott mérési határok között a felosztások száma, így sokkal jobban megközelíthetjük az analóg bemeneti feszültség értékét. [21]

- Erősítés:

Az erősítés a mérendő jel bármilyen felerősítése vagy leosztása, amely a jel digitalizálása előtt történik. Az erősítés alkalmazásával jelentősen lecsökkenthetjük az ADC bemeneti mérési határait, így biztosítjuk, hogy az ADC a lehető legtöbb digitális osztást alkalmazza a jel ábrázolásához.

A DAQ-kártyán lehetséges mérési határok, a felbontás és az erősítés meghatározzák a legkisebb, érzékelhető bemeneti feszültség nagyságát. Ez a feszültség az átalakított digitális érték legkisebb helyi értékű bitjén (*LSB*) ábrázolt érték voltban, amelyet gyakran kódszélességnek is neveznek. [21][22]

- Mintavételezés sebessége:

A mintavételezés sebessége megadja, hogy egy analóg-digitális átalakítás milyen gyakran történjen. Nagyobb mintavételezési sebesség esetén, egységnyi idő alatt, több mérési pontot gyűjthetünk össze, a mérendő bemeneti feszültségről és ezért jobb ábrázolást valósíthatunk meg, mint kisebb mintavételi sebességet alkalmazva. A túlságosan kis sebességű mintavételezés az analóg jel egy nagyon gyenge minőségű megjelenését eredményezi.

A *Shannon*-féle mintavételezési elv szerint a bemeneti jelből a teljes visszaállíthatósághoz olyan frekvenciával kell mintát venni, ami a bejövő jel legmagasabb frekvenciájú komponensének kétszeresénél nagyobb. [23]

- Zajcsökkentés:

A nem kívánt zaj torzítja azt az analóg jelet. A zajforrás eredete lehet külső zaj, vagy a számítógépen belül keletkező zaj, vagy mind kettő egyszerre. A külső zajt mértékét korlátozhatjuk előszűrő áramkörök alkalmazásával. A zaj csökkentésének létezik szoftveres módja is. Ilyenkor a zaj hatását úgy csökkenthetjük, ha a szükségesnél nagyobb mintavételi frekvenciát alkalmazunk, és átlagoljuk a mintavételi pontokat [21]

2.5.3 USB-6008 típusú mérésadatgyűjtő kártya



6. ábra: USB-6008 DAQ kártya

Több szempont miatt választottam a 6. ábrán látható *National Instruments* által forgalmazott és gyártott *USB-6008*-as mérésadatgyűjtő kártyát, melynek blokkdiagramja megtalálható az 2. függelékben [22]:

- A cég az elmúlt 10 évben több mint 50 millió eladott be/kimeneti csatornával a *PC*-alapú mérésadatgyűjtés (*DAQ*) piacvezetője. A könnyedén használható meghajtó szoftver (*LabVIEW*) számos operációs rendszerhez áll rendelkezésre.
- A *LabVIEW* mérésadatgyűjtő könyvtára olyan *VI*-okat tartalmaz, amelyek vezérlik a National Instruments *PC*-be illeszthető *DAQ* kártyáit. Egy kártya rendszerint számos funkciót ellát, így az analóg-digitális (*A/D*) átalakítást, a digitális bemenetek és kimenetek megvalósítását és a számláló/időzítő műveletek kezelését. A *Data Acquisition* alpalettán lévő *Analog Input* alpaletta tartalmazza azokat a *VI*-okat, amelyek végrehajtják az analóg-digitális (*A/D*) átalakítást minden részét.
- Valamint szerettem volna, ha egy gyártótól származó szoftver és hardver kerül alkalmazásra.

Az USB-6008-as kártya főbb jellemzői [22]:

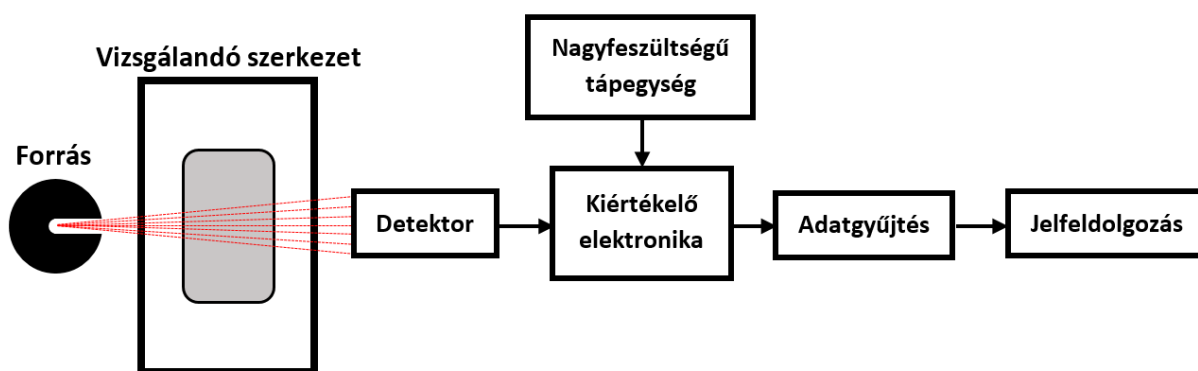
- *USB* csatlakozón keresztül kapcsolódik a kiszolgáló számítógépre.
- 8 analóg bemenet, melyek 12-bitesek, méréshatár: -10V-10V/
- 2 analóg kimenet, melyek 12-bitesek, kimentti érték: 0V- 5V / 5mA
- 12 digitális ki/bemenet, méréshatár: 0-5V, kimeneti áram: 8,5 mA
- Egy 32 bites számláló, maximális frekvencia: 5MHz
- Az *ADC* a szukcesszív approximáció elvén működik.

3. Kísérleti rész

3.1 Az általam használt mérési rendszer bemutatása

Már a célkitűzés során nyilvánvalóvá vált, hogy a laboratóriumi modell és a detektorok összehasonlításához szükséges mérések kivitelezéséhez különböző fejlesztési feladatokat kell elvégezni.

Az általam alkalmazott vizsgáló rendszer (mely a radiometriai vizsgálaton alapszik) esetében a sűrűségmérést tekintetem fő céljának. A vizsgálat során különböző sűrűségű anyagokat helyeztem egy zárt hordóba, majd átvilágítottam a szögletes és a henger alakú detektor alkalmazásával is. A detektorok rétméterként működtek, melyek az impulzusszámnak megfelelő, analógjelet adtak kimenetükön. Ennek mérési elrendezése a 7. ábrán látható.



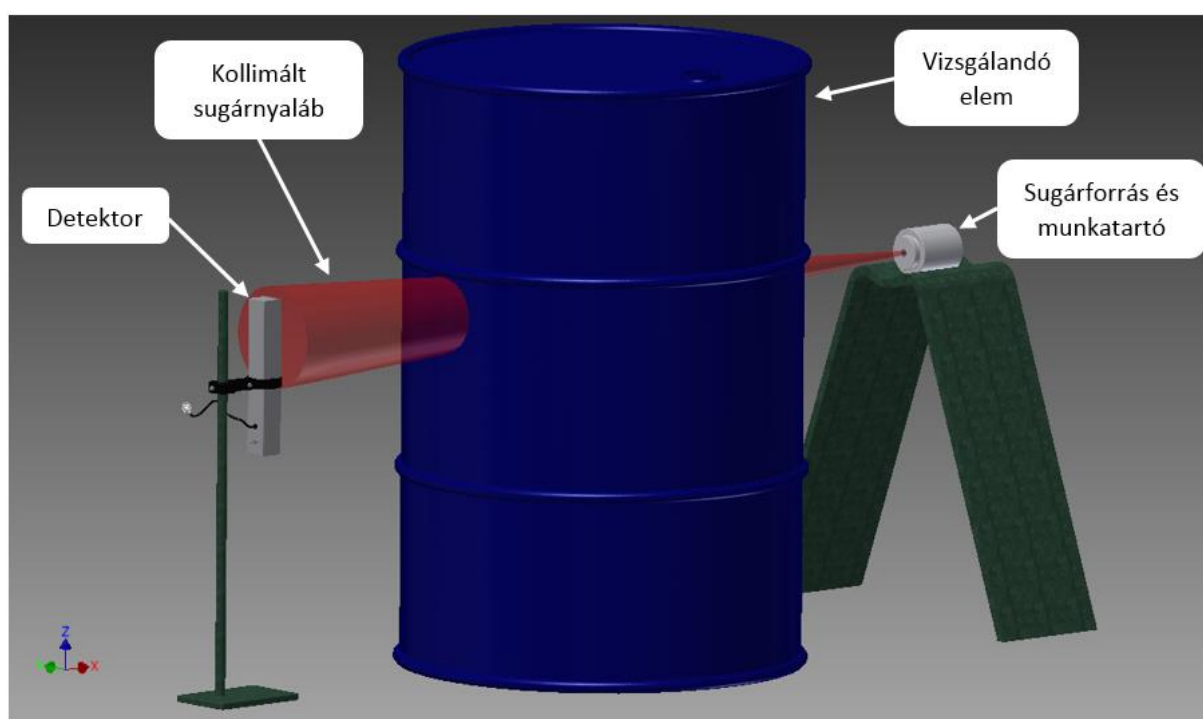
7. ábra A mérési elrendezés blokkdiagramja

A mérések során zárt gamma-sugárzó sugárforrást használtam, mely egy kollimátorral ellátott tokozásban helyezkedik el. Ebből a tokból csak egy vékony és irányított, a tartóiképzésének megfelelő nyalábon keresztül lép ki. A sugárnyaláb keresztülhalad a vizsgálandó szerkezeten, miközben a sugárzás intenzitása a kezdeti I_0 értékről I intenzitásra csökken. A nem abszorbeált sugárzás ezután a detektorba jut, melynek kimenetén megjelenő impulzusokat egy kiértékelő elektronika segítségével a kívánt jellé formálok. A detektor a nagyfeszültségű tápellátását a kiértékelő elektronikai egységen keresztül kap meg. A kiértékelő elektronika kimenetén lévő jelet ezután egy adatgyűjtő kártya segítségével regisztrálom és az adatokat egy laptopra küldöm. A laptopon pedig egy általam készített szoftverrel ezeket az adatokat feldolgozom.

A következőkben ezeken a területeken végzett fejlesztéseket és a kialakított mérési modellt mutatom be.

3.1.1 A mérési modell

Mindenek előtt a mérés elrendezéséről készítettem egy háromdimenziós modellt az *Autodesk* által kifejlesztett *Inventor Profesional* programmal HIV. A modellen a forrás, a vizsgálandó szerkezet, ami jelen esetben egy fémlemez hordó és a benne elhelyezett különböző sűrűségű anyagok, valamint a szögletes alakú detektor látható. Mivel a detektor csak egyetlen egy vezetékkel csatlakozik a többi egységhez, így a mérés fizikai elrendezését az elektronikus készülékek (kiértékelő, adatgyűjtő) nem befolyásolják. Ezért azokat nem helyeztem el ezen a modellen. A 8. ábrán látható az *Autodesk Inventor Profesional* programmal készített, majd szintén ennek a programnak a segítségével ki exportált modell képe:



8. ábra A mérés három dimenziós modellje

3.1.2 A mérés során használt sugárforrás

A mérések során γ – sugárzást kibocsájtó sugárforrást kell alkalmaznom a vizsgálandó szerkezetek fizikai kiterjedései, és anyagi jellemzőik alapján. Ezért a Co-60 –as radioaktív izotópot választottam.

Az izotóp főbb jellemzői:

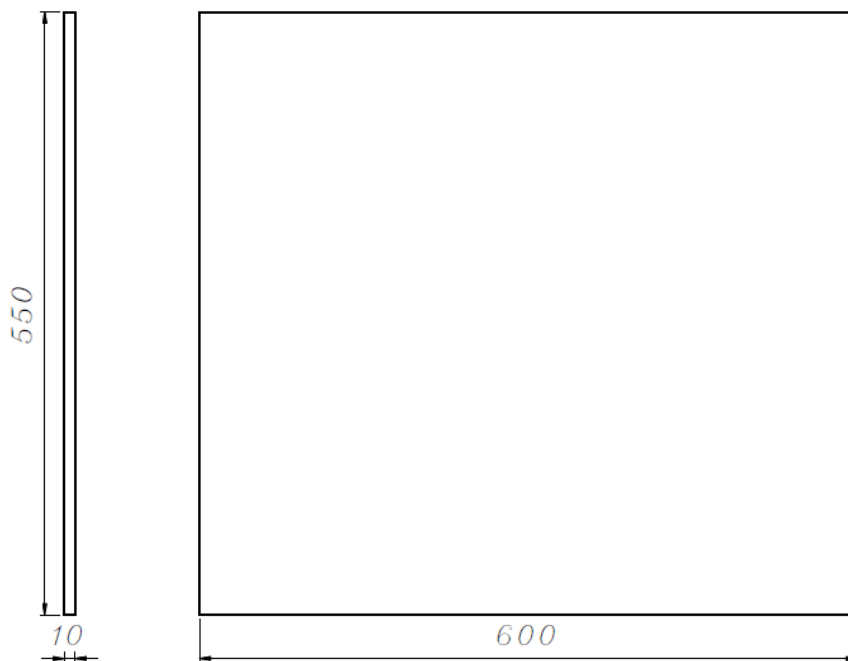
- Izotóp Jelzése: Co-60
- Az izotóp felezési ideje: 5,2714 év
- Gyártás ideje: 2009. 08. 13.
- Gyártáskor mért aktivitás: 40,7 MBq
- Fizikai méretei: $0,7mm \cdot 4,5mm$

A tokozás jellemzői:

- Típusa: Co-S-17H
- Jelzése: 309
- Fizikai méretei: átmérő = $8mm$, magasság = $8mm$

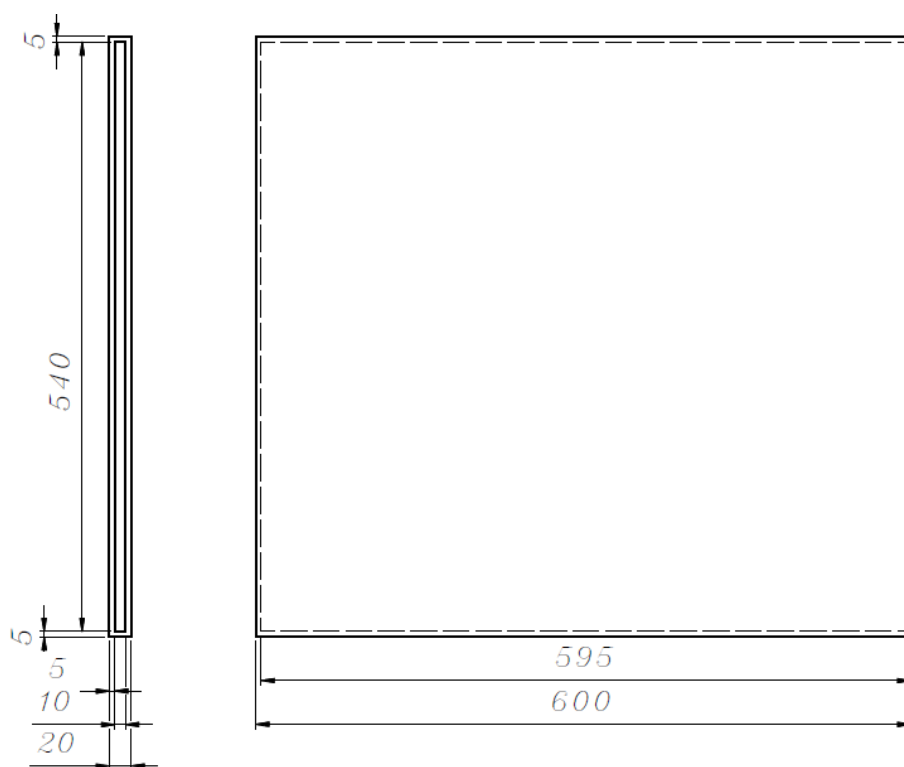
3.1.3 A mérés során vizsgált anyagok

A mérés során egy üres lemez hordóba helyeztem különféle sűrűségű anyagokat, majd az ezek okozta sugárzás intenzitás csökkenését mértem a detektorokkal. Egy vaslemez, egy alumíniumlemez, egy műanyaglemez (plexi) és egy vízzel töltött tartályt helyeztem a hordóba. A vizsgált anyagok méretei a 9. ábrán, valamint a víztartály rajza a 10. ábrán látható.



9. ábra A vaslemez, az alumínium lemez és a műanyag lemez méretei

A víz folyékony halmazállapota és a mérések összehasonlíthatósága miatt egy víztartályt készítettem, mely belehelyezhető a hordóba. A műanyag lemez anyaga plexi (*poli metil-metakrilát*) volt, ezért ilyen anyagból készítettem el a víztartályt. A vízoszlop sugárnyalábra merőleges mérete megkellet, hogy egyezzen a többi vizsgált elem méretével. Ezért két darab 550mm x 600mm x 5mm, két darab 10mm x 595mm x 5mm és egy darab 550mm x 10mm x 5mm plexi lemezeket ragasztottam össze. Így a tartály sugárzásra merőleges falvastagságának összege 10mm, mely megegyezik a plexilemezes vizsgálat során használt plexilemez vastagságával. A víztartályt azért így készítettem el, hogy annak mérésekor kapott eredményhez a sima plexilemezes mérés eredményét egyszerűen hozzáadva megkaptam a vízre vonatkoztatott mérési eredményt. A víztartály és annak méretei láthatóak a 10. ábrán.



10. ábra Víztartály és méretei

3.1.4 A mérés során használt detektorok

3.1.4.1 Szögletes alakú detektor

A detektort a Gamma Műszaki Zrt. biztosította, melyhez minden szükséges dokumentációt megkaptam. A detektor jellemzői:

- Pontos típusjelzése: 3x1 1x06x0xx
- Fizikai méretei: $33mm \cdot 33mm \cdot 229mm$
- Kristály méretei: $30mm \cdot 30mm \cdot 77mm \rightarrow V = 69,3cm^3$

Fotoelektron-sokszorozó típusa: B2xBxxx, melynek jellemzői:

- Tipikus üzemi Katód – Anód feszültsége = $700V_{DC}$
- Maximális Katód – Anód feszültsége = $1500V_{DC}$
- Spektrális érzékenysége maximuma: $400nm \pm 50nm$
- Dinódák száma: 11

A fotoelektron-sokszorozó bekötése 3. függelékben látható, melyen szerepel, a nagyfeszültséget leosztó ellenállás lánc is. Az láncban lévő $5M\Omega$ –os potenciométer segítségével lehetőség nyílik a cső pontos nagyfeszültségének beállítására. Ennek akkor van jelentősége, ha ugyan arra a nagyfeszültségű tápegységre több fotoelektron-sokszorozó is kapcsolódik, mert így külön-külön be lehet állítani az egyes csövek legideálisabb nagyfeszültségértékét.

3.1.4.1 Henger alakú detektor

A Gamma Műszaki Zrt. által forgalmazott, ND jelzésű detektor család tagját használtam. Ez a detektor hengeres kialakítású. A külső fémtokozás alatt található a fotoelektron-sokszorozó, a nagyfeszültséget leosztó ellenállás hálózat, valamint egy földelt emitteres erősítő fokozat. A mérőkörök kialakítása során megpróbáltam minél egyformább kapcsolástechnikákat alkalmazni a két különböző detektornál. Ennek okán a következő módosítást végeztem el ezen a hengeres detektoron. A földelt emitteres erősítő fokozatot leforrasztottam az elektroncsőről és az ellenállás láncról, természetesen a nagyfeszültségű leválasztást végző kondenzátort meghagytam, majd az itt kilépő jelet pedig szintén az általam készített kiértékelő áramkörrel dolgoztam fel.

A hengeres alakú detektor főbb jellemzői:

- Pontos típusjelzése: ND-13x/x
- Fizikai méretei: $40\text{mm} \cdot 315\text{mm} + \text{kristály}$
- Kristály méretei: $30\text{mm} \cdot 75,5\text{mm} \rightarrow V = 53,34\text{cm}^3$

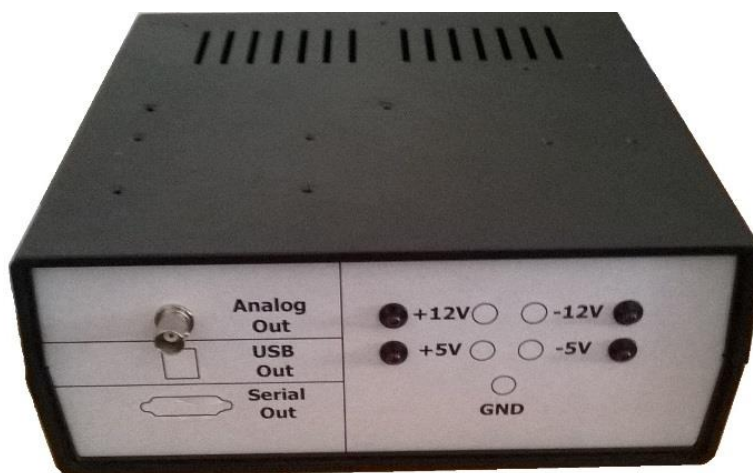
Fotoelektron-sokszorozó típusa: ExI x52xBx, melynek jellemzői:

- Tipikus üzemi Katód – Anód feszültsége = 1050V_{DC}
- Maximális Katód – Anód feszültsége = 2000V_{DC}
- Spektrális érzékenysége maximuma: $400\text{nm} \pm 50\text{nm}$
- Dinódák száma: 11

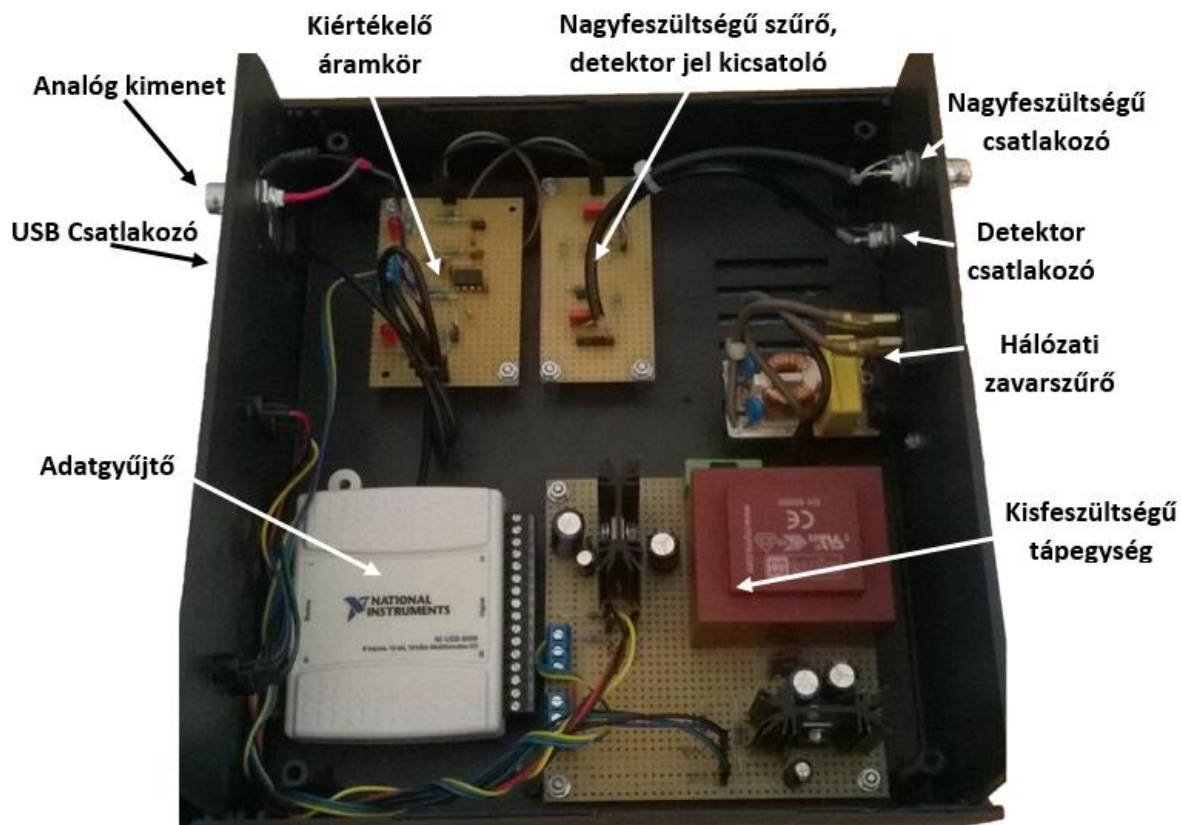
A fotoelektron-sokszorozó bekötése szintén látható a 4. függelékben, amin bejelöltem, hogy hol forrasztottam le az emitteres erősítő fokozatot. A detektorokban használt kristályok mérete, valamint az fotoelektron-sokszorozók típusa sem egyezik meg. Ezért a fotoelektron-sokszorozók nagyfeszültségét úgy állítottam be, hogy erősítésük megegyezzen, ezeket a feszültség értékeket az adatlapokban szereplő erősítési görbéről tudtam meghatározni. Így a szögletes alakú detektornál a munkaponti nagyfeszültség értéke: 720V lett, míg a hengeres alakú detektor esetében ugyanakkora erősítés beállításához 860V feszültséget kellett beállítani. Viszont kristályok geometriájából adódó különbségeket nem lehet kiküszöbölni.

3.1.5 A kiértékelő egység és a nagyfeszültségű tápegység

A rendelkezésre álló detektorhoz nem volt gyári kiértékelő egység, ezért ehhez megterveztem és megépítettem a 11-12. ábrákon látható elektronikai egységet.



11. ábra Kiértékelő egység előlapja



12. ábra: Kiértékelő egység belseje

A kiértékelő áramkör megtervezésében segítségemre voltak a Gamma Műszaki Zrt. dolgozói.

Az egyes elemek működése és szerepe az egységen belül:

- Hálózati zavarcsűrő egység:

Ezt az elemet a hálózati feszültségre ülő zajok szűrésére használjuk. Legfőbb eleme egy úgynevezett kompenzált fojtótekercs. Ez az elem két kondenzátor segítségével végzi a szűrést. A tekercs jellegzetessége, hogy az egyes tekercseken áthaladó munkaáramok mágneses terei kioltják egymást, így azokkal szemben a tekercs jelentéktelen impedanciát mutat. Ezt az egységet készen vásároltam.

- Nagyfeszültségű szűrő, detektorjel kicsatoló:

Ennek az elemnek a kapcsolási rajza, valamint a megépített áramkorról készített fénykép az 5. függelékben megtekinthető. Az kapcsolási rajzon látható $R13$ -as jelölésű ellenállás valamint a $C19$ -es jelöléssel ellátott kondenzátor a nagyfeszültségű tápegység szűrését valósítja meg. Az $R10$ -es, $R11$ -es valamint az $R12$ -es $300\text{k}\Omega$ -os ellenállások a $J9$ -es bemenetre adott nagyfeszültség értékét osztják le a detektor számára. Ezen ellenállások helyettesíthetőek egyetlen darab $900\text{k}\Omega$ értékű ellenállással. Én a kapcsolás áramköri lapon való kialakítása miatt alkalmaztam a három darab sorba kötött ellenállást. A $C18$ -as Jelzésű kondenzátor a detektorból érkező negatív impulzusok leválasztását

valósítja meg a nagyfeszültségű DC – szintről mely ezután a J6-os csatlakozóra kerül. A henger alakú detektor alkalmazása esetén viszont ez a kondenzátor a J8-es jelű átkötéssel rövidre kell zárni, mert a detektorból kilépő jelvezetéken már a nagyfeszültségű szintről leválasztott jel jelenik meg. Természetesen a J7-es csatlakozóra a detektorból kivezetett jelvezeték, csatlakoztattam.

- Kisfeszültségű tápegység:

Az elem kapcsolási rajza, valamint a megépített áramkör fényképe a 6. függelékben megtalálható. Az egység bemenetére a *Hálózati Zavarszűrő Egység* kimenetét csatlakoztattam. Az áramkör kapcsolási rajza a függelékben megtekinthető. A bemeneten egy SW1-es jelzésű két áramkörös billenő kapcsoló található. A kapcsolóból azért választottam két áramkörös kivitelt, mert így mindkét csatlakozási pont leválasztható egyszerre a hálózatról. Az áramkör következő eleme egy cserélhető üvegbiztosíték. Melynek értéke 150mA, mely bőven kiszolgálja az összes elem teljesítmény felvételét. Az cserélhető kivitel azért előnyösebb a fix beforrasztott típusokhoz képest, mert ha egy váratlan túlterhelés miatt kiég a biztosíték így sokkal könnyebb annak cseréje. Ezután a T1-es jelzésű transzformátor kapcsolódik az eddig felsorolt áramköri elemekhez. A transzformátor egy primer tekercssel és két szekunder tekercssel rendelkezik, utóbbira a szimmetrikus tápfeszültség előállítása miatt van szükség. A szekunder tekercsek áramerőssége 1,33A, azért választottam ilyen nagy áramerősségű transzformátort, hogy az egység további fejlesztése során növekedő áramfelvétel miatt, ezt az egységet már ne keljen újra tervezni és építeni. A két szekunder tekercs egy – egy végét közösítettem, melyet ezek után a földpontként neveztem ki. A következő elem egy *Graetz* – hidas egyenirányító, melyet kiegészítettem négy darab 15nF-os kondenzátorral. Ezek a kondenzátorok tovább szűrik a *Hálózati Zavarszűrő Egység* által átengedett nagyfrekvenciás zavarokat. Az áramkör következő részeit ettől a ponttól kezdve, csak a pozitív ágon írom le. A következő elem a C5-ös jelzésű 35V-os 4x0μF-os kondenzátor, mely az egyenirányítóból kilépő lüktető egyenfeszültség pufferelesét végzi el. A kondenzátor pozitív fegyverzetén +16,9V feszültség mértem a földponthoz viszonyítva. Ezek után az U1-es jelű Lx78xx-es típusú 12V fixkimeneti feszültségű és 1A terhelhetőségi határral rendelkező feszültség stabilizáló integrált áramkört helyeztem. A feszültség stabilizátorra ugyan csak a zavarszűrés miatt további két kondenzátor csatlakozik. A C7-es és C8-as 10x0nF, melyeknek 1x0nF a kapacitásuk. A stabilizátor a bemenetére adott feszültséget egy fix feszültség értékre stabilizálja, mely a kimenetén jelenik meg. A stabilizálás csak abban az esetben lesz tökéletes, ha az integrált áramkör

bemenetére minimum 2.6V-val magasabb feszültséget csatlakoztatunk, mint a kimeneti értéke. Jelen esetben ez 14.6V lenne, de ebben az áramkörben ez körülbelül 17V. A stabilizátor tokozása lehetővé teszi, hogy hűtőbordát szerelhessünk az elemre. Az áramkör megépítése során a *SK 104*-es típusú *11W/K* termikus ellenállású, hűtőbordát szereltem. Mely az elektronikai elem hő leadó képességét nagyban megnöveli. Fokozott hőképződéssel akkor kell számolnunk, ha a stabilizátor kimenetét jobban megterheljük körülbelül 200mA feletti terhelő áram esetén, illetve ha a bemeneti feszültség 20-35V között van ami, így jóval nagyobb, mint a kimeneti feszültség értéke. A *C11*-es jelzésű kondenzátor következik, ez a *C5*-öshöz hasonlóan 470 μ F kapacitás értékkel rendelkezik, viszont ennek feszültség értéke 16V. Azért nem tettem ide is 35V-os megengedett maximális feszültségű kondenzátort, mert ezen a ponton már nincs szükség ilyen „nagyfeszültségű” kondenzátorra, hiszen ennek pozitív fegyverzetén megjelenhető feszültség érték maximális értéke csak is 12V lehet, köszönhetően a feszültség stabilizátornak. Ezzel a kondenzátorral puffereljük a fix 12V-ra stabilizált feszültséget. Erre a pontra csatlakozik a kisfeszültségű tápegység kimenetének pozitív csatlakozója. Valamint, még erre a pontra csatlakozik egy visszajelző egység, amely egy fénykibocsájtó diódából és egy vele sorba kapcsolt ellenállásból áll. Ennek segítségével láthatóvá válik, ha az áramkörünk ezt a feszültséget nem kapja meg. Az *R1*-es ellenállás értéke 3.6k Ω , mely korlátozza a dióda feszültségét és áramát. Az ellenállás hatására tehát, a *LED*-en átfolyó áram körülbelül 3mA. Az egység negatív tápfeszültségű felének felépítése megegyezik a pozitív oldaléval és az ott leírtakkal, annyi különbséggel, hogy a feszültség stabilizátor típusa *Lx7x1x*.

- Kiértékelő áramkör:

Az elem kapcsolási rajza, valamint a megépített áramkör fényképe megtalálható az 7. *függelékben*. A *J3*-as csatlakozón az áramkör megkapta a kisfeszültségű tápegység által elő állított ± 12 V-os szimmetrikus feszültséget. A szimmetrikus tápfeszültségre, azért van szükség, mert az áramkörben található egy integrált áramkör, ami az *U3*-as jelöléssel van ellátva. A típusa pedig *xx0x2*. Ez egy két műveleti erősítőt tartalmazó nyolc kivezetéssel rendelkező *DIP (Dual In Line)* tokozású áramköri elem. Ennek tápellátása a 4. és 8. lábain történik, ahol utóbbira a pozitív 12V, előbbire pedig a negatív 12V van csatlakoztatva. Itt is megfigyelhető két tápfeszültség szűrő kondenzátor, amik a *C14*-es és *C16*-os pozíció számot kapták és szintén a tápfeszültség vonalakon előforduló esetleges nagy frekvenciás zajok csillapítását végzik. A detektorból a kondenzátor segítségével kicsatolt jelet a *J4*-es bemenetre csatlakoztatta. A bemenetre érkező jel negatív impulzusok sorozatából áll,

ezek az impulzusok körülbelül 250-300ns-os felfutási idővel, valamint 2-3 μ s-os lefutási idővel rendelkeznek. A bemeneten található egy egyenirányító és egy feszültségkétszerező rész, amit a *D1*-es, *R3*-as, *D2*-es, és *C13*-as valamint a kicsatolást végző kondenzátor valósítanak meg. A bemenetre érkező jelek csak akkor tudnak a következő fokozatra lépni, ha amplitúdójuk nagysága eléri a *D2*-es dióda nyitófeszültségét, ami 0,6-0,7V körül van, mivel a dióda alapanyaga szilícium. Az ezt követő rész az *U3*-as műveleti erősítő *A*-része, aminek bemenetére kapcsolódik az egyenirányított lüktető feszültség. Az *R7*-es és az *R8*-as ellenállások egymással sorba vannak kapcsolva és a negatív tápfeszültségre csatlakoznak, az ellenállás sor másik pontja pedig az *U3*-as műveleti erősítő *B* – részének invertáló bemenetére, tehát 6. lábára. Ami így ezt a pontot mindig pár mV-os negatív feszültségre húzza. Ennek hatására a műveleti erősítő kimenete pár mV-os pozitív potenciálon lesz a földponthoz viszonyítva. Ez a további jelfeldolgozó elektronika számára előnyös. Mert az *R7*-es és *R8*-as ellenállás használata nélkül a műveleti erősítő bemenete (6. láb) pozitív potenciálra is kerülhet, ennek következtében pedig negatív kimeneti feszültség kerülhet a műveleti erősítő 7. lábára, ami össze zavarhatja a jelfeldolgozó egységet. A második műveleti erősítő egy egyszeres erősítésű és $TI = R6 \cdot C17 = 100k\Omega \cdot 220nF = 22ms$ integrálási idővel rendelkező integráló műveleti erősítő alkapcsolás. Az áramkör kimenetén pedig egy a bemeneti impulzusok számától és nagyságától függő 0,052V-tól 10,35V-ig változó analóg jelet kaptam.

- Nagyfeszültségű tápegység:

A mérések során egy külső nagyfeszültségű tápegységet használtam, hogy megápláljam a fotoelektron-sokszorozókat. A nagyfeszültségű tápegység képe látható a 13. ábrán, melynek típusa: *Tennelec TC 950A*, a tápegység 0 és pozitív 5kV között fokozatmentesen szabályozható az egység közepén lévő potenciométer segítségével.



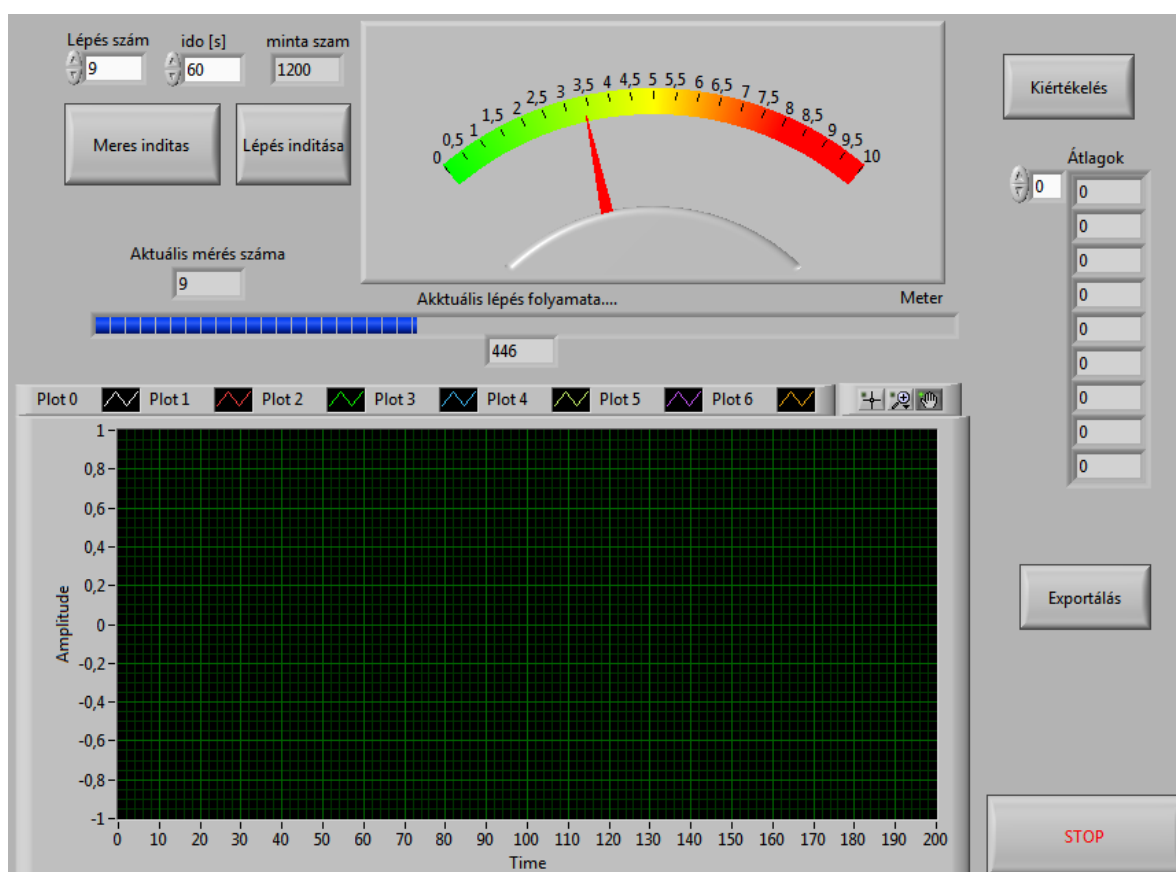
13. ábra Tennelec TC 950A típusú nagyfeszültségű tápegység

3.1.6 Adatgyűjtés

Az adatok regisztrálását a már ismertetett *USB-6008*-as *DAQ* kártyával valósítottam meg. Az adatgyűjtő kártyát is a *Kiértékelő Egység* belsejében helyeztem el. A kártyát a *LabVIEW* szoftver segítségével könnyedén lehet programozni. A mérés során az *AIO*-ás analóg bementett használtam. Még pedig egy kimenetű üzemmódban. A mérés határ pedig 0-10V közé állítottam be. Az adatokat pedig egy tömbben tároltam. Az adatgyűjtést és a jelfeldolgozást is egyazon program végzi, ezért ennek a programrésznek a leírására is majd a jelfeldolgozás című részben térnék ki.

3.1.7 Jelfeldolgozás

A mért, majd regisztrált adatok feldolgozását szintén a *LabVIEW* szoftverrel valósítottam meg. Az egyik mérés során készített képernyőkép, látható a 14. ábrán, amin az általam készített program *Front Paneljéről* készült.



14. ábra Az elkészített program *Front Panelje*

A Front Panelen látható elemeinek magyarázata:

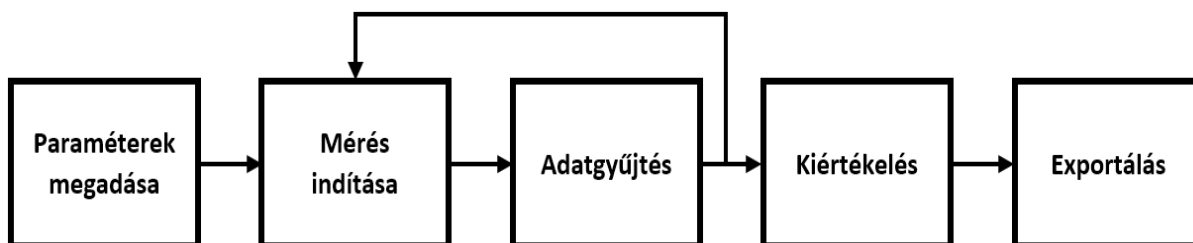
Egy mérési állapotról készült képernyőkép látható a 16. ábrán. A jobb felső sarokban található a *Lépés szám* elnevezésű *Numerikus Kontrol*, amivel a lépések számát tudjuk megadni. E mellett az *Idő* elnevezésű ugyancsak *Numerikus Kontrol*. Aminek segítségével beállíthatjuk az egyes lépések mérési idejét, valamint a mérés során vett minták száma *Numerikus Indikátoron* olvasható le. A lépés lefutásának állapota egy *Vízszintes Szintjelzőn*, valamint egy vele együtt növekvő *Numerikus Indikátoron* követhető. A panelen látható még egy rétméterhez hasonló analóg mutatós készülék is. Ezen nyomon követhető az A/D konverter által mért feszültség értéke. Az aktuális mérés sorszámát is egy *Numerikus Indikátor* segítségével követhető nyomon. A *Front Panel* jobb oldalán látható egy *Kiértékelés* nyomógomb, mely az adott számú lépés lefutása után válik aktívvá, azt lenyomva pedig az egyes lépések mérési eredményei kaphatók meg. Ezt követően a *Front Panel* baloldalán látható *Exportálás* nyomógomb válik aktívvá, melyet lenyomva az adatok kimenthetőek táblázatos formában a további feldolgozás számára. A *Front Panelen* helyet foglal a *STOP* feliratú gomb is, melynek segítségével a mérés bármikor megszakítható és újra indítható, paraméterezhető.

A program használta lépésekben:

1. Az alkalmazás elindítása.
2. A *Lépés szám* mezőbe, bekell írni a kívánt lépések számát.
3. Az *Idő* mezőbe, bekell írni a lépések kívánt mérési idejét.
4. Rá kell kattintani a *Mérés Indítása* nyomógombra.
5. Rá kell kattintani a *Lépés Indítása* nyomógombra, ha a lépések száma egynél nagyobb, akkor az első mérés lefutása után ismételten a *Lépés Indítása* nyomógombra kell kattintani, ezt annyiszor kell megismételni ahány lépést megadtunk a 2. pontban.
6. Rá kell kattintani a *Kiértékelés* nyomógombra.
7. Rá kell kattintani az *exportálás* nyomógombra.
8. Majd a felugró ablakban ellenőrizhető a mentés helye és neve, amennyiben ez megfelel, akkor a mentés gombra kattintva az adatok kimentése befejeződött.

A program felépítésének és működésének leírása:

Az általam készített program öt fő részre osztható fel, ennek blokkdiagramja a 15. ábrán látható. A *Block Diagram* futását próbálom meg részletesen bemutatni a következő néhány mondatban.



15. ábra A program blokkdiagramja

Az egész program egy *While* ciklusban addig fut, amíg a *Front Panelen* található *STOP* gombot meg nem nyomjuk. A *While* cikluson belül az egész program *Even-Case* struktúrára építettem fel. Ami annyit jelent, hogy a *Front Panelen* található nyomógombok más és más program részek lefutását idézik elő. Így négy egymástól különböző „eseményt” hoztam létre.

- Nullás esemény, paraméterezés:

A program elindítása után ez az esemény automatikusan végrehajtódik. Itt történik a paraméterezés, valamint a programom ebben a részben számítja ki a minta számot. Az *A/D* konverter úgy van inicializálva, hogy 50ms-onként vételezzon mintát. A megadott időt ezzel az értékkel elosztottam, így megkaptam a mintaszámot, amit egy numerikus indikátor segítségével kijeleztem.

- Egyes esemény, mérés:

Ezt az eseményt a *Mérés Indítása* nyomógomb váltja ki. Itt adjuk át ennek a programrésznek az előzőekben definiált paramétereket. Ebben az eseményben található egy *For* ciklus, melynek lefutását a *Lépés Indítása* nyomógommbal tudunk elindítani. A *For* ciklus az egyes lépések mérését hajtja végre. a ciklus lefutásának számát a mintaszám határozza meg. Majd a mérési eredményeket egy *shift regiszter* segítségével tömbben helyeztem el. A *For* ciklus lefutását követően vissza a program vissza tér a struktúra elejére, hogy ha még van vissza lemérendő lépés. Majd ismételten mind addig vár, amíg lenem nyomjuk a mérés indítása nyomógombot.

- Kettes esemény, kiértékelés:

Ez az esemény a Kiértékelés nyomógomb lenyomásakor váltódik ki és hajtódik végre. Itt átadjuk az előbbi mérés során kapott eredményeket ennek a programrésznek. A mérési adatokat tartalmazó tömb annyi oszlopot tartalmaz ahány lépésszámot adtunk meg, valamint sorainak száma megegyezik az előzőekben kiszámított mintaszámmal. A mérési adatok kiértékelése külön-külön oszloponként történik. A kiértékelés első lépése hogy az oszlopban található elemeket növekvő sorrendbe rendeztem, majd a mintaszám 10%-át kivontam az oszlop elejéből és végéből is. Ezzel a módszerrel a mérési eredményekből a kiugró adatokat kitudtam szűrni. Ezután a maradék adatokból egy átlagot számoltam. Ezt az eljárást az A/D konverter hibáinak csökkentése miatt alkalmaztam. Ennek egy lehetséges példáját láthatjuk az 1. táblázatban. Ahol egy 10 elemből álló tömbnek határoztuk meg az átlagát. Megfigyelhető, hogy a mérési adatokban szerepel két adat amik „kiugranak” a többi mintához képest, ezek értéke 7,95 és a 9,9. A táblázatban két átlag szerepel az *Átlag* a levágott mintából készült az *Átlag2* pedig az eredeti mintából, látható, hogy a két átlag végeredménye között számottevő eltérés van. Az átlagok képzése és kijelzése után ennek az eseménynek a lefutása befejeződik.

Elem szá m	Mért értékek	Sorba rendezés	Elem szám 10%-a	10%-ok levágás utáni eredmény	Átlag	Átlag 2
1	8,32	7,95	1	8,25	8,293 8	8,42
2	8,29	8,25		8,28		
3	9,9	8,28		8,29		
4	8,28	8,29		8,3		
5	8,3	8,3		8,32		
6	7,95	8,32		8,33		
7	8,23	8,33		8,35		
8	8,35	8,35		8,23		
9	8,25	8,23				
10	8,33	9,9				

1. táblázat A/D konverter hibájának csökkentése

- Hármas esemény, exportálás:

Az esemény akkor fog aktiválódni, ha a *Front Panelen* lenyomjuk az *Exportálás* nyomógombot. Majd a program az előbb kiszámolt átlagokat tartalmazó tömböt kiexportálja *.txt kiterjesztésű fájlba. A *File Dialog* beépített VI – segítségével a kiexportált fájl nevét, dátumát, kiterjesztését, valamint alapértelmezett mentési helyét határoztam meg, így ezekkel a felhasználónak már nem kell bajlódni. Majd végső lépésként a program vissza tér a legelső eseményre. A program addig forog ebben a végtelen ciklusban, amíg a *STOP* gombot meg nem nyomjuk vagy be nem zárjuk az alkalmazást.

3.2 Mérés menete

A mérés több egymástól elkülönülő szekcióra bontható, melyeket a következő pontokban mutatok be. A mérés során összekötött rendszer képei láthatóak a 16-17. ábrán.



16. ábra Mérési elrendezés



17. ábra A detektor, a hordó és a sugárforrás helyzete

3.2.1 Kiértékelő egység működésének tesztelése

Mivel a Kiértékelő Egység több egymástól jól elkülönülő egységekből áll. Ezért legelőször ezeket az elemeket teszteltem le.

1. Kisfeszültségű tápegység tesztelése:

Az áramkör a már fentebb ismertetett szimmetrikus tápfeszültséget állítja elő.

Az elvégzett tesztelés három részre bontható:

- a. Első lépésben a *LED*-eket állapotát vizsgáltam.
- b. Második lépésben az előállított feszültségek pontos értékét egy kézi digitális multiméterrel ellenőriztem.
- c. A tesztelést pedig a tápfeszültség terhelt működésének vizsgálatával zártam.
A tápfeszültség pozitív és föld, valamint negatív és föld pontjai közé különböző értékű terhelő ellenállásokat kötöttem, majd figyeltem a feszültség változás mértékét.

2. Nagyfeszültségű szűrő, detektor jel kicsatoló áramkör tesztelése:

- a. Első lépésben az áramkör bemenetére a nagyfeszültség helyett életvédelmi szempontok miatt a *kisfeszültségű tápegység* pozitív 12V-os kimenetét csatlakoztattam. A *J8*-as csatlakozó két pontja között (természetesen az átkötés nélkül) kialakuló potenciál különbséget mértem a kézi digitális multiméter segítségével terhelés nélkül, valamint egy 10M Ω -os terhelő ellenállást helyezve a Detektor Jel csatlakozóra, mellyel a fotoelektron-sokszorozót helyettesítettem.
- b. A tesztelés második szakaszában a multimétert először a *J6*-os kimeneti csatlakozóra helyeztem, majd az ott mérhető feszültség érték felírását követően a kisfeszültségű tápegységet és a terhelő ellenállást leválasztottam az áramkörről utóbbi helyére pedig egy impulzus generátort csatlakoztattam. Így a bemenetre adott változó amplitúdójú jelet egy oszcilloszkóp segítségével mértem.

3. Kiértékelő áramkör tesztelése:

- a. A tesztelés első lépéseként a tápfeszültséget csatlakoztattam az áramkörre. Majd leellenőriztem, hogy mindenhol a megfelelő potenciál különbség jelenik meg a földponthoz képest.

- b. A tesztelés következő részében. A J4-es bemeneti csatlakozóra higany generátor segítségével előállított különböző amplitúdójú impulzus jeleket kapcsoltam. Majd a kézi digitális multiméter segítségével mértem a kimeneti feszültség amplitúdójának változását.
- c. Az áramkör tesztelésének utolsó lépéseként a bemeneti impulzusok frekvenciáját változtattam. A kimeneti feszültséget pedig szintén a kézi digitális multiméter segítségével mértem.

3.2.2 Nulla mérés

Az első tényleges mérés egy nulla mérés volt. Itt a detektor és a forrás távolságát 10cm-től 200cm-ig 10cm-es lépés-közzel, majd minden mérési pontban 600 másodpercig mértem a kiértékelő elektronika kimenetén megjelenő analóg feszültséget. A detektor és a forrás között levegőn kívül más anyag nem volt, ami elnyelje a sugárzást. Ezt a mérést elvégeztem mind két detektorral. Erre azért volt szükség, hogy megkapjuk az intenzitás változásának értékeit a távolság függvényében

3.2.3 Különböző sűrűségű anyagok mérése

Ebben a mérésben a detektor és a forrás helyzete rögzített, egymástól 200cm-re helyeztem el őket.

A mérés két részre bontható:

- a. Első részében az üres hordót helyeztem a forrás és a detektor közé. Majd 600 másodpercig gyűjtöttem a feszültség adatokat.
- b. A mérés második részében a már fentebb ismertetett anyagokat helyeztem a hordó belsejébe. Ezeket szintén 600 másodpercig regisztráltam a detektorok által kiadott jeleket. Ezt a mérési sorozatot 5-ször elvégeztem majd az 5 eredményt átlagoltam, ezzel a módszerrel vizsgáltam a mérések reprodukálhatóságát.

4. Eredmények

4.1 A kiértékelő egység tesztelésének eredményei

A tesztelések során minden elem az elvártaknak megfelelően működött. Így ezek után az elemeket egy közös műszerdobozba szereltem. Most nézzük meg részletesen a tesztelési eredményeket.

1. Kisfeszültségű tápegység tesztelési eredményei:

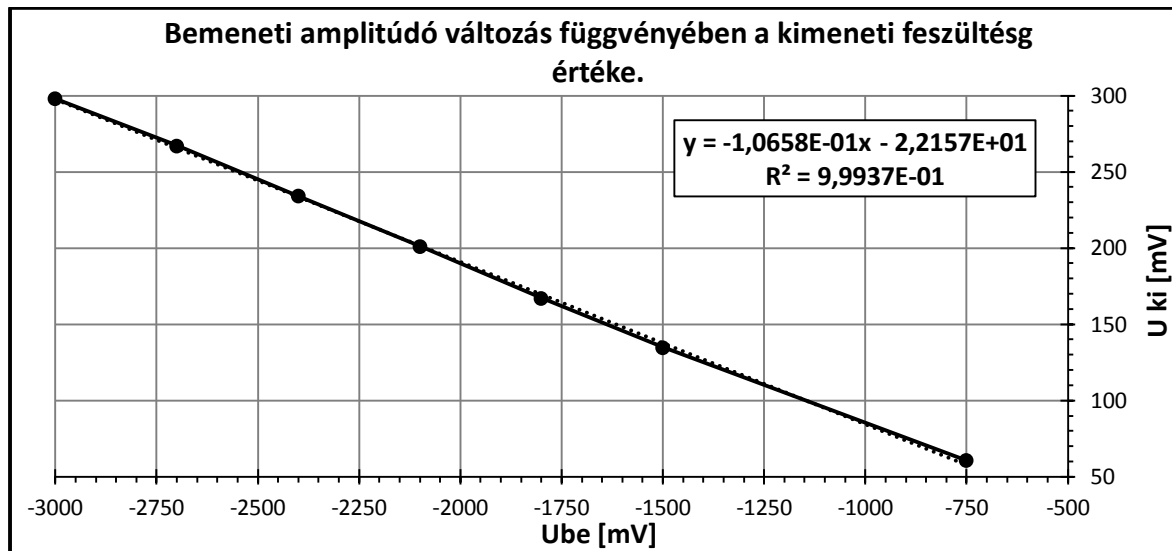
- a. A LED-ek az első bekapcsolás pillanatától kezdve világítottak.
- b. A pozitív ágon mérhető feszültség: +12,05V, a negatív ágon: -11,9V ezek az értékek a stabilizátorok adatlapjában szereplő stabilizálási határértékek között vannak, ezért ezeket az adatokat elfogadtam.
- c. A tápfeszültség pozitív ágán lévő 15,2Ω-os ellenállás a kimeneti feszültség értékét 10,6V-ra csökkentette. Ekkor az ellenálláson átfolyó áram értéke 697,37mA volt. Terhelésként kapcsolt 118,2Ω-os ellenállás hatására a kimeneti feszültség 11,9 voltra csökkent le. A negatív tápfeszültséget előállító ág a terhelés hatására hasonlóan reagált. Mivel a többi áramkör összeteljesítménye ezt a terhelési értéket nem haladja meg. Ezért a tápegység normál üzemű állapotban is biztosítani képes a megfelelő tápfeszültség értékét. A teljes mérés eredménye a 8. függelékben látható.

2. Nagyfeszültségű szűrő, detektor jel kicsatoló áramkör tesztelése:

- a. Első lépésmérési eredményeként mivel a J7-es csatlakozó melegpontja nagy impedanciás állapotban volt „lógott a levegőben” ezért ott a J9-es csatlakozóra kapcsolt tápfeszültség volt mérhető, aminek értéke 12V. A 10MΩ-os helyettesítő ellenállás hatására a J8-as csatlakozón 10,9V-os feszültség volt mérhető. Ez azt jelentette, hogy az áramkörben kisfeszültségű szempontból rövidzárlat nincs.
- b. A tesztelés második szakaszának eredménye, hogy a bemenetre adott impulzusok mérhetőek voltak a J6-os kimeneten. Viszont a kisfeszültségű tápegység által előállított DC feszültség nem. Tehát elmondható, hogy a kicsatoló kondenzátor is működőképes.

3. Kiértékelő áramkör tesztelésének eredményei:

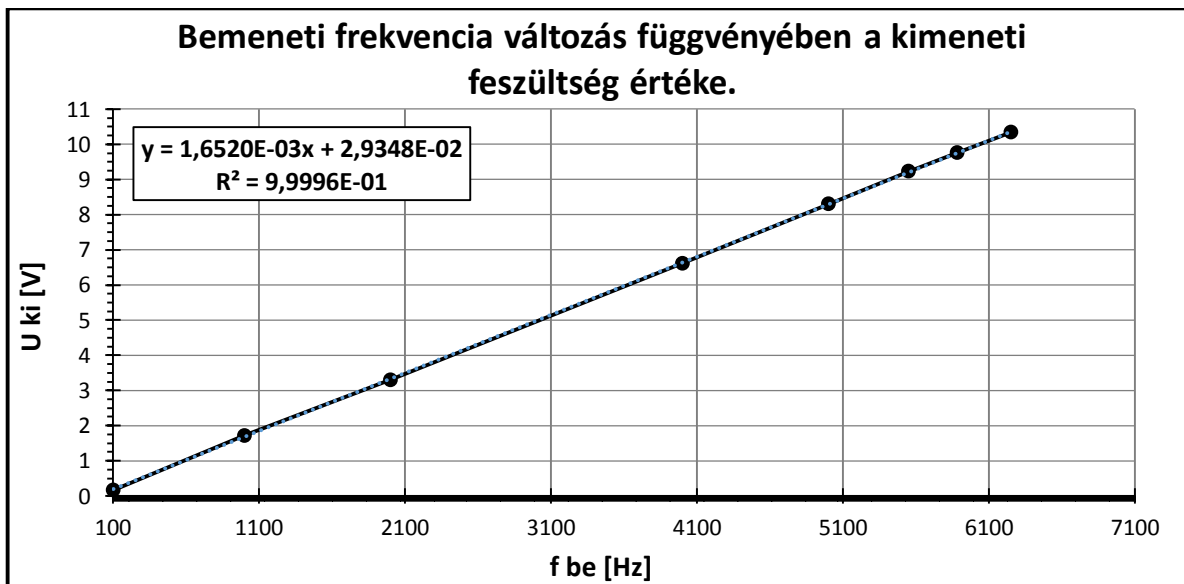
- a. A tesztelés első lépésekor, minden tápfeszültség értéket rendben találtam. Majd rá kapcsoltam a bemenetre a vizsgáló jeleket.
- b. Az első mérés során azonos frekvenciájú, felfutási és lefutási idejű, de különböző amplitúdójú impulzusokra adott válaszát figyeltem a kiértékelő áramkörnek. Melynek mérési eredményeiből készített grafikon a 20. ábrán látható. Az eredményeket tartalmazó táblázat pedig a 9. függelékben megtalálható.



18. ábra Az első mérés eredménye

Az grafikonon ábrázolt adatokra egyenest illesztettem melynek egyenlete a diagramon látható, az eredmények alapján elmondható, hogy a kiértékelő áramkör kimeneti feszültségének amplitúdói és a bemenetére adott impulzusok amplitúdói között lineáris kapcsolat van.

- c. Az áramkör bemenetére ebben a tesztelési fázisban azonos amplitúdójú, de különböző frekvenciájú impulzusokat jutattam. A kimeneti feszültséget adataiból pedig a 19. ábrán látható grafikont kaptam.



19. ábra A második mérés eredménye

A görbére illesztett egyenesből szintén látható, hogy a bemeneti frekvencia változásával is lineáris kapcsolatban van a kimeneti feszültség értékének változása.

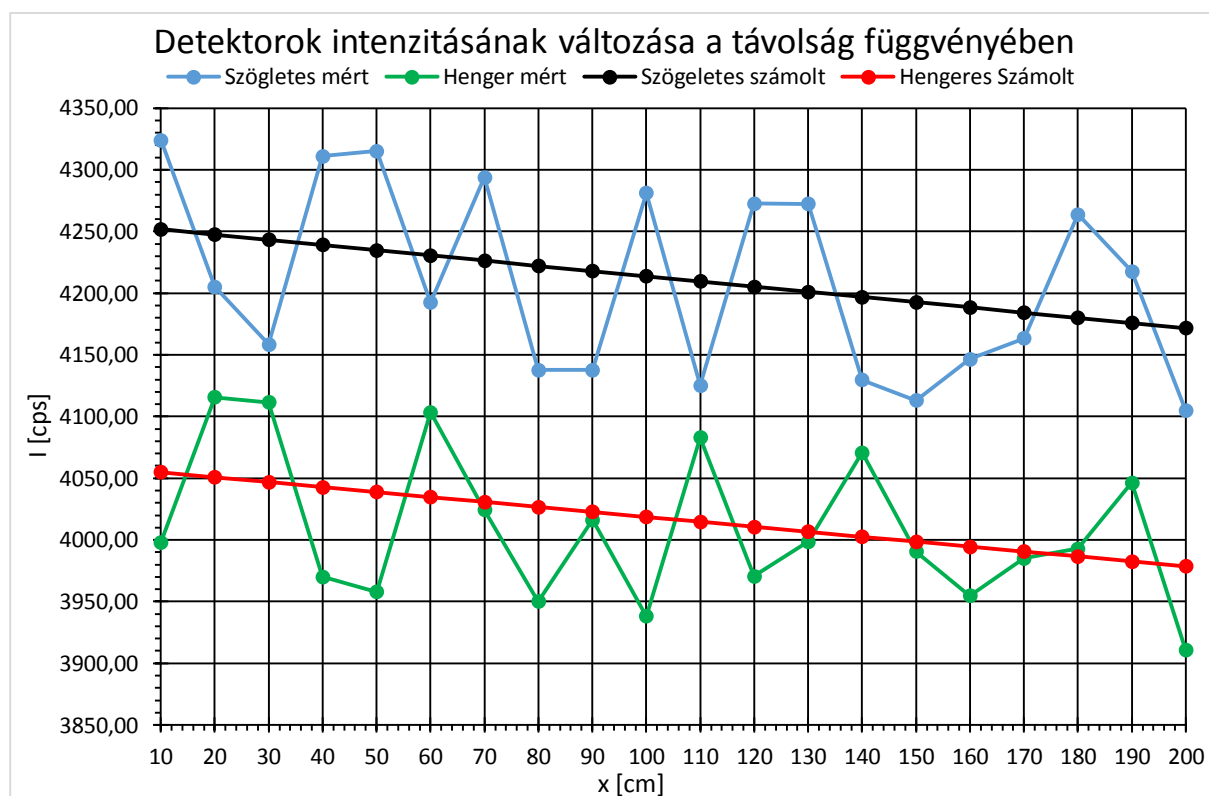
A tesztelés végeredményeként elmondható, hogy minden elem az elvártaknak megfelelően viselkedett. Így az elemek várhatóan összehuzalozva a közös műszerdobozban is működőképesek lesznek. A mérés eredményeit a 10. függelék tartalmazza.

4.2 Nulla mérés eredményei

A 4.1-es tesztelési eredmények 3. pontjának C-részében a grafikonra illesztett egyenes egyenletéből kiszámíthatók a bemeneti jelek periódus ideje. Az Intenzitás értékei pedig a következő képlet alapján számolható.

$$I = \frac{1}{\text{periodus idő}} [\text{cps}]$$

A kapott I intenzitás értékeket számolással is meghatározható, amivel a mérő berendezés működése ellenőrizhető. A mért valamint a számított értékekből grafikont rajzoltam, mely a 20. ábrán látható. Az intenzitások számításos meghatározásánál az I_0 intenzitás értékét 0cm-es detektor és sugárforrás távolság mellett 6000 másodperces mérésekkel határoztam meg. melyek értékei $I_{0\text{Hengeres}}=4095 \text{ cps}$, valamint $I_{0\text{Szögletes}}=4256 \text{ cps}$.

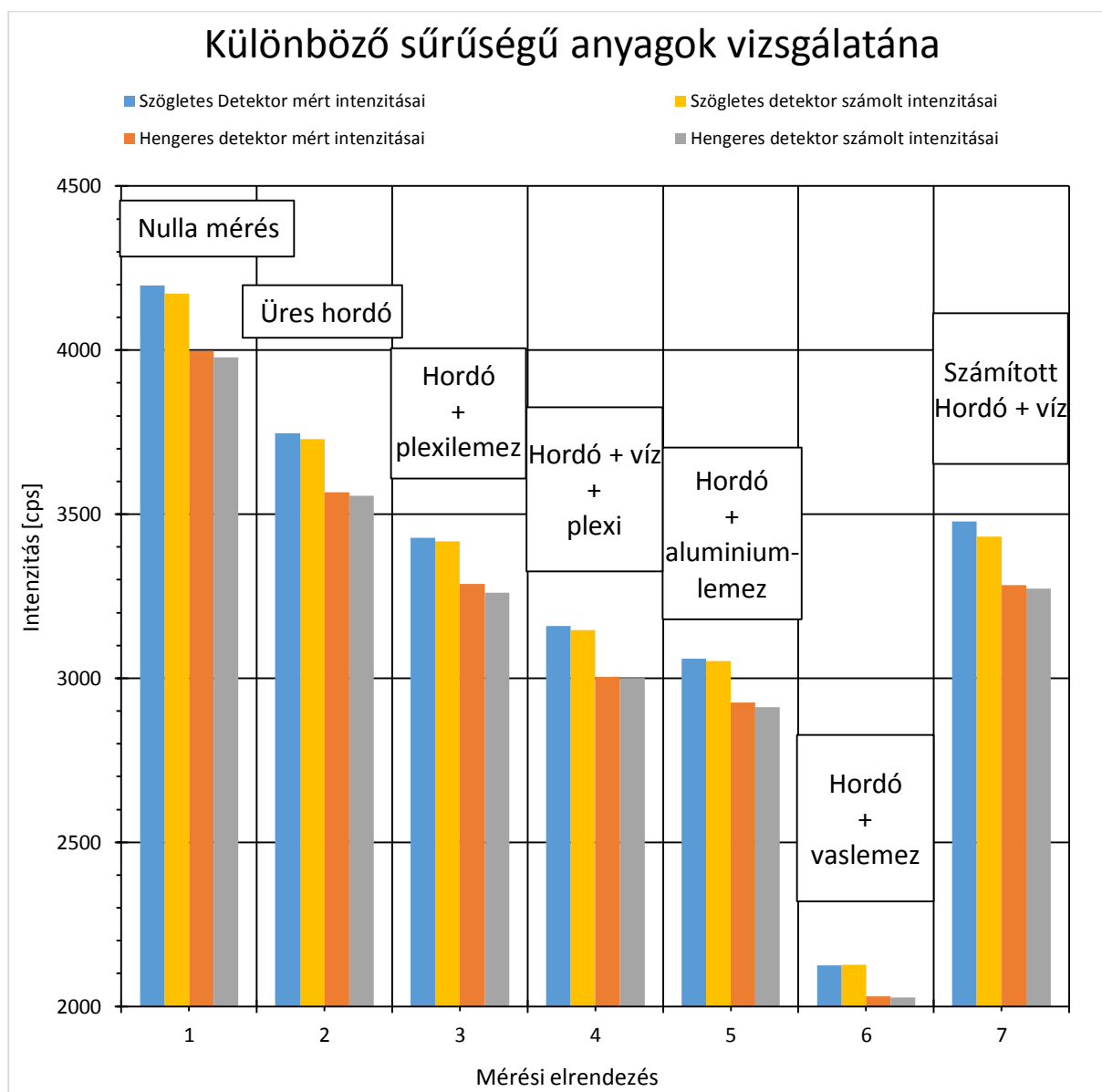


20. ábra A kör és négyzet keresztmetszetű detektorok intenzitásának változása a távolság függvényében

A mérési eredményekből és a számított eredményekből képzett hiba értékek $\pm 2\%$ között mozognak, Ami többek között a sugárzás statisztikus volta miatt lehetségesek. A mérési és számítási eredmények a 11. függelékben láthatóak.

4.3 Különböző anyagok mérési eredményei

A mérést a fent ismertetett módon elvégeztem, majd a kapott eredményekből a 21. ábrán látható grafikont kaptam.



21. ábra Különböző sűrűségű anyagok

A grafikonon jól látszik, hogy a különböző sűrűségű anyagok mennyire befolyásolják a mért intenzitás értékének értékét. A grafikon 7. mérési elrendezéshez tartozó oszlopaiban a számított Hordó + víz elrendezéshez tartozó impulzus értékek láthatóak. A számításokat a 4. és a 3. mérési elrendezéshez tartozó eredmények segítségével tudtam elvégezni. A mérési eredmények pedig a 12-13. függelékben találhatóak meg. A táblázatban szereplő mérési eredményekből megmutatkozik, hogy az általam konstruált rendszer által szolgáltatott mérések reprodukálhatóak.

A számítások során használt paraméterek a 14-15. függelékben láthatóak.

5. Összefoglalás

A TDK munkám során célul tűztem ki a PE-RRI intézetében egy olyan radiográfiai modellberendezés méréstechnikai módszer kialakítását, amely szögletes NaI egykristály detektorral van ellátva.

1. A munkám során megterveztem és megépítettem egy az iparban alkalmazott desztilláló kolonnához hasonló méretarányos egyszerű modellt. A 3 dimenziós modellt *Autodesk, Inventor Professional* szoftverrel terveztem. A gyakorlati kivitelezéshez 200 literes fémhordót és különböző sugárgyengítési együtthatójú (plexi, víz, acél) testeket használtam.
2. A detektorok összehasonlíthatóságának vizsgálata érdekében megterveztem és megépítettem a kiértékelő egységet, amelyhez a következőket valósítottam meg.
 - a. Megterveztem és megépítettem a nagyfeszültségű szűrő, detektorjel kicsatoló és kisfeszültségű tápegység áramköröket.
3. Az általam megépített mérési eredményeket kiértékelő áramkör és a mérési eredményeim igazolták, hogy a kiértékelő áramkör kimeneti feszültségének amplitúdói és a bemenetére adott impulzusok amplitúdói, valamint frekvenciái között, lineáris kapcsolat van.
4. A mérési adatok feldolgozására LabVIEW szoftverben grafikus felületű segédsoftverre írtam.
5. A kialakított mérőrendszert sikeresen teszteltem és méréseket végeztem az általam fejlesztett kiértékelő rendszerrel ellátott szögletes alakú detektorral, valamint az ND-130/E típusú henger alakú detektorral.
 - a. A radiometriai vizsgálatok fejlesztéséhez, ahol a három dimenziós kép alkotást tekintjük fő célunknak, ott a szögletes alakú kristály sokkal alkalmazhatóbb. Ez a szögletes kialakításának köszönhető, mert így az egymás mellé pixelszerűen elhelyezett detektorok hézag mentesen összeilleszthetők. Míg a henger kialakítású detektorok során ez az összeillesztés korántsem mondható hézagmentesnek.

- b. A szcintillációs detektorok működési elvéből adódó jobb hatásfokuk, valamint energiaszelektivitásuk, miatt számos lehetőség nyílik meg a korábbi GM csöves alkalmazásokkal szemben. A nagyobb érzékenységnek köszönhetően kisebb intenzitású sugárforrás alkalmazása esetén is ugyan azt az eredményt kaphatjuk, mely sugárvédelmi szempontból egyáltalán nem elhanyagolható.
6. Az mérési eredmények alapján megfigyelhető, hogy a szögletes alakú detektor ugyan azon mérési paraméterek mellett, több beütést regisztrált. Ez részben a henger alakú detektor kisebb kristály méretének köszönhető. Viszont az elmondható, hogy szögletes alakú detektorban használt fotoelektron-sokszorozó korszerűbb, a hengeres detektorban lévő PMT-hez képest. Ezt alátámasztja, hogy a hengeres detektornál sokkal nagyobb anód-katód feszültséget kellett alkalmazni ugyan akkora erősítés érték eléréséhez. Ha a két detektor Anód-katód közötti potenciál különbségek értékei megegyeztek volna, akkor még nagyobb eltérést lett volna tapasztalható a mért intenzitás értékekben.
7. A jövőben mindenféleképpen kidolgozandó egy több Szögletes alakú detektorból álló mérési rendszer, mellyel a Szögletes alakú detektorokból alkotott mátrix képfeldolgozásban lévő felhasználhatósága elemezhető.

6. Irodalom jegyzék

- [1] http://www.att.bme.hu/oktatas/BMEGEMTAGM5/letoltes/roncsolasmentes_jegyzet.pdf
- [2] Dr. Tóth László: Roncsolásmentes Vizsgálatok Azok Megbízhatósága és Következményei. Kiadó: Miskolci egyetem, Miskolc, 1999
- [3] Prof. Bogner Péter: Az orvosi képalkotás fizikája. Medicina Könyvkiadó Zrt. ,Budapest, 2014
- [4] Pogonyi István: Roncsolásmentes vizsgálati módszerek. Hibakereső vizsgálatok. Kiadó: Nemzeti Szakképzési és Felnőttképzési Intézet, Budapest, 2008
- [5] Dr. Cselényi József, Hegedűs Csaba: Ultrahangos berendezések alkalmazása változó hőmérsékletű próbatestek vizsgálatára; Kalibrálási görbék alkalmazása. Fiatal Műszakiak Tudományos Konferencia előadás, Kolozsvár, 2000. március 24-25.
- [6] http://www.omikk.bme.hu:8080/cikkadat/bitstream/123456789/1366/1/2002_10bol9.pdf
- [7] http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0033_SCORM_GEFIT6102/sco_1_1_05.htm
- [8] http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/Roncsolasmentes_anyag_vzsg.pdf
- [9] http://www.muszeroldal.hu/measurenotes/roncsolasmentes_anyagvizsg.pdf
- [10] Kanyár Béla, Németh Zoltán – Anyagszerkezeti vizsgálatok radioaktív sugárzással, Veszprémi Egyetemi Kiadó, Veszprém, 1999
- [11] Bódizs Dénes: Atommag-sugárzások méréstechnikái. Typotex kiadó, Budapest, 2006
- [12] Dr. Keszthelyi Lajos: Szcintillációs ó Számlálók, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1964
- [13] David Sirajuddin, Nick Krupansky, Yongpin Qiu: Geiger Mueller Counting. 2003
- [14] Nagy Lajos György – Radiokémia és izotóptechnika, Második kiadás, Tankönyvkiadó, Budapest, 1989
- [15] F.T. Porter, M.S. Freedman, F. Wagner Jr., I.S. Sherman: Response of NaI, anthracene and plastic scintillators to electrons and the problems of detecting low energy electrons with scintillation counters. Nuclear Instruments and Methods, 39, 35–44, 1966

- [16] Dr. Hainzmann János: Analóg-digitális átalakítók jellemzői és vizsgálatuk. 2004
- [17] U. Tietze, Ch. Schenk: Analóg és Digitális áramkörök, 5., javított kiadás, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1993
- [18] <http://hungary.ni.com/>
- [19] National Instruments (1998), G Programming Reference Manual
- [20] National Instruments (1998), Function and VI Reference Manual
- [21] Dr. Szeifert Ferenc, Chován Tibor, Dr. Nagy Lajos, Almásy Gedeon: Rendszermodellek – rendszeranalízis, kiadó: Veszprémi Egyetem, 1994
- [22] <http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/hu/nid/201986>
- [23] Dr. Hrivnák István: Digitális-Analóg (D/A) és Analóg-Digitális (A/D) átalakítók. BME, Közlekedésautomatikai tanszék, 1995

7. Függelék

1. *Függelék: A témavezetőtől kapott saját kutatási részfeladataim és azok megoldása*

- A szakirodalom és a megvalósított egység áttanulmányozása után a problémák áttekintése
- A mérőkör felépítésének megtervezése
- A 3dimenziós modell megtervezése és megépítése
- A detektorok jeleit feldolgozó elektronikai elemek megtervezése és megépítése
- A detektorok összehasonlítása

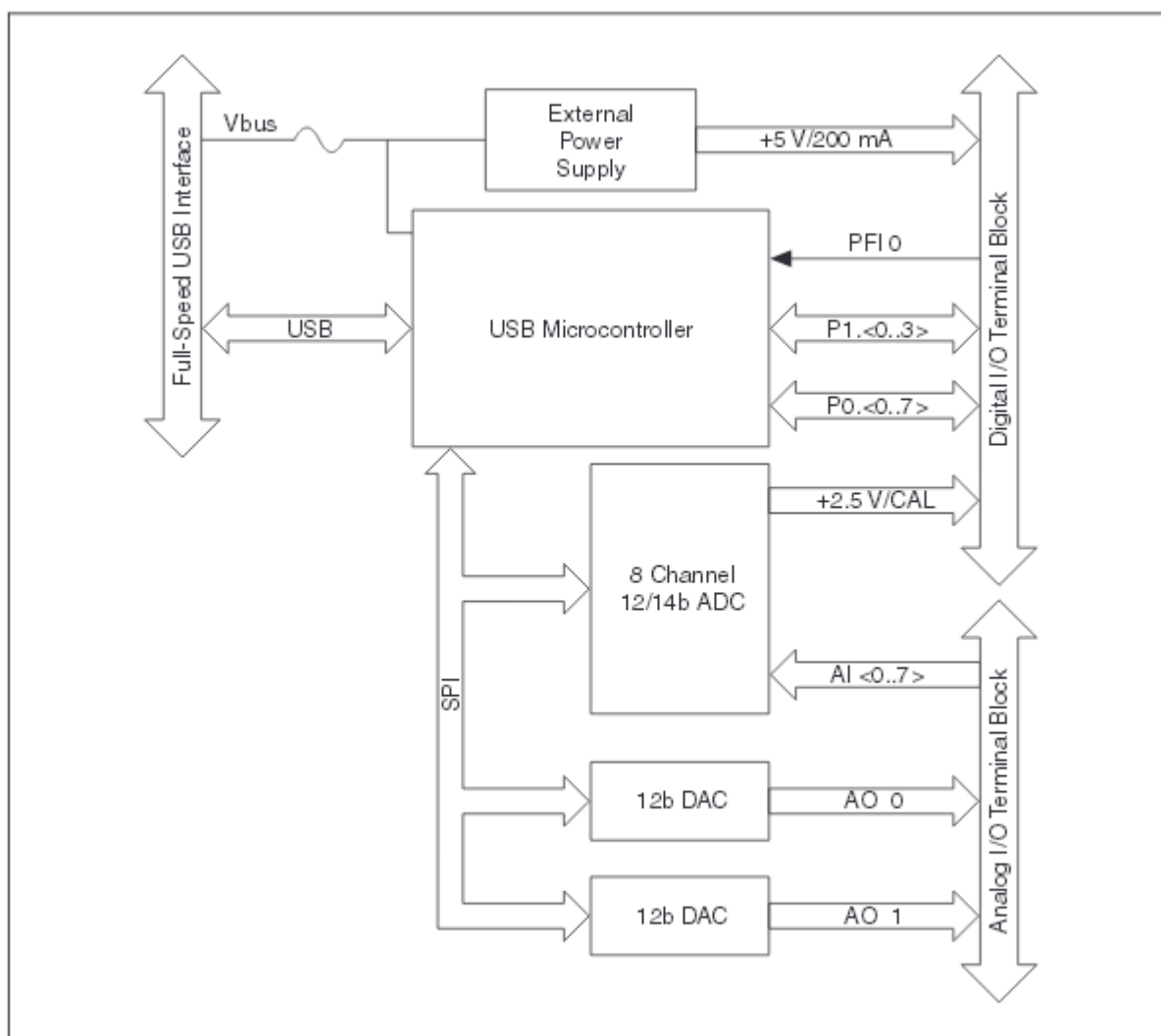
A szakirodalmak megfelelő áttekintése után sikerült teljes betekintést nyernem az egész rendszer működéséről és felépítéséről.

A mérőkört, valamint a különböző elektronikai elemeket megterveztem, majd működésüket szimulációs programok segítségével leellenőriztem. A megfelelő paraméterek megválasztása után az áramköröket és a 3dimenziós modellt saját kezűleg az intézetben készítettem el.

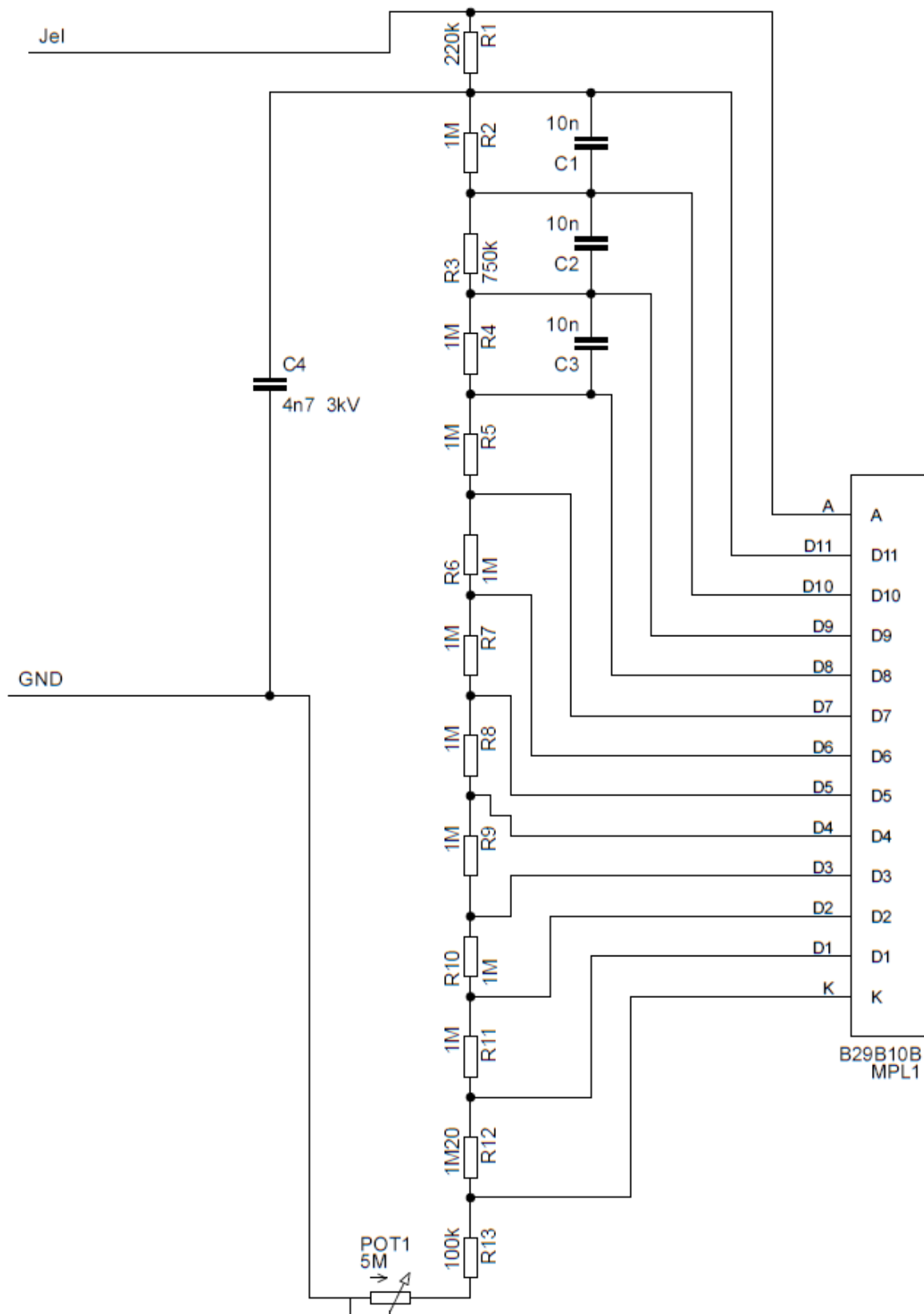
Az elemeket azért terveztem és készítettem el saját kezűleg, hogy a két különböző alakú detektor minél jobban összehasonlítható legyen.

A detektorok összehasonlítását különböző mérési sorozatok elvégzésével végeztem el. Az eredmények is mutatják, hogy a rendszer rendkívül reprodukálható lett.

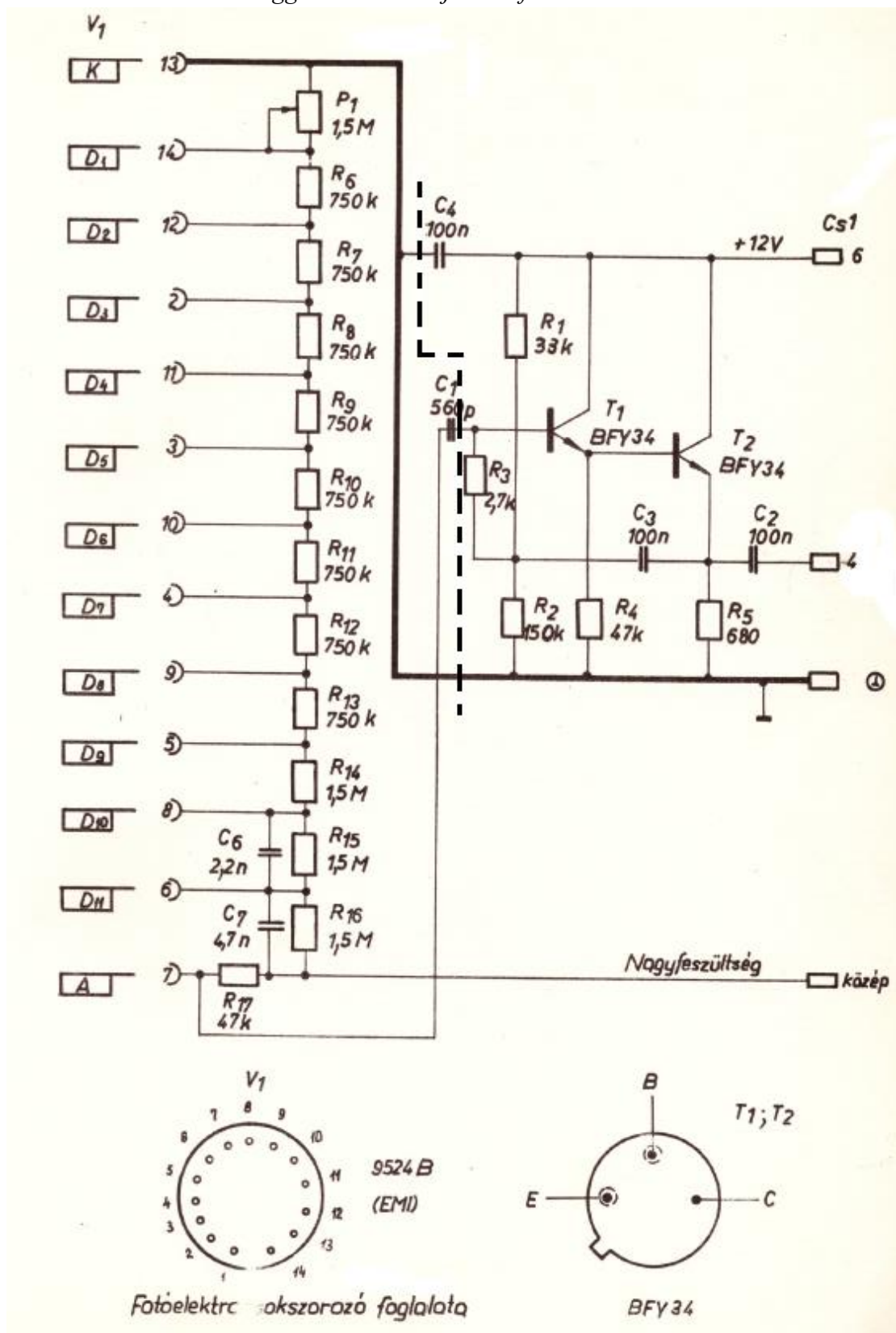
2. Függelék: Az USB-6008-as adatgyűjtő kártya blokkdiagramja



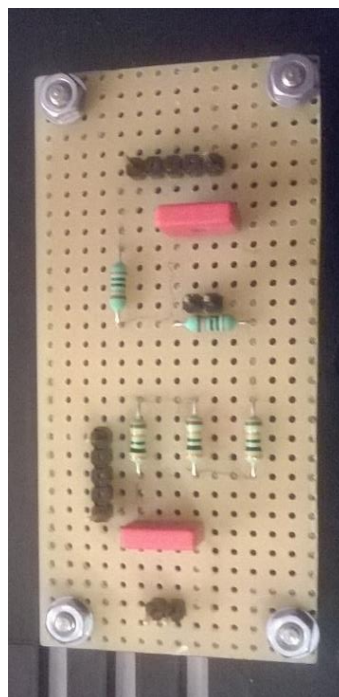
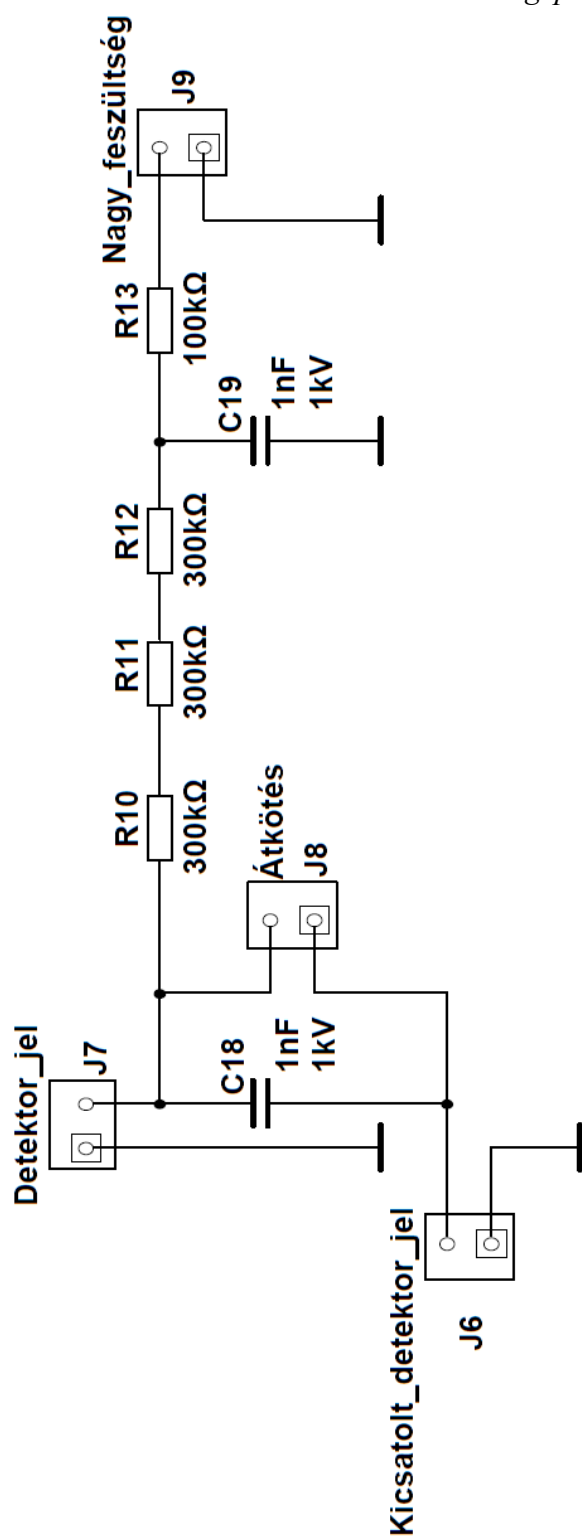
3. Függelék: A szögletes detektorban használt fotelektron-sokszorozó bekötése:



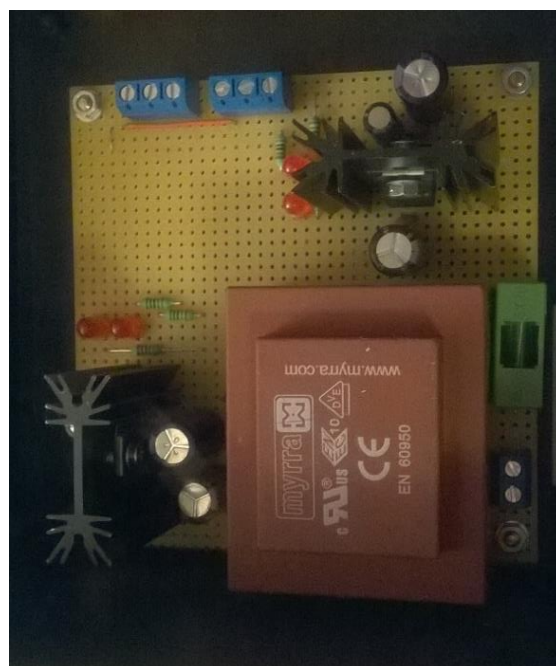
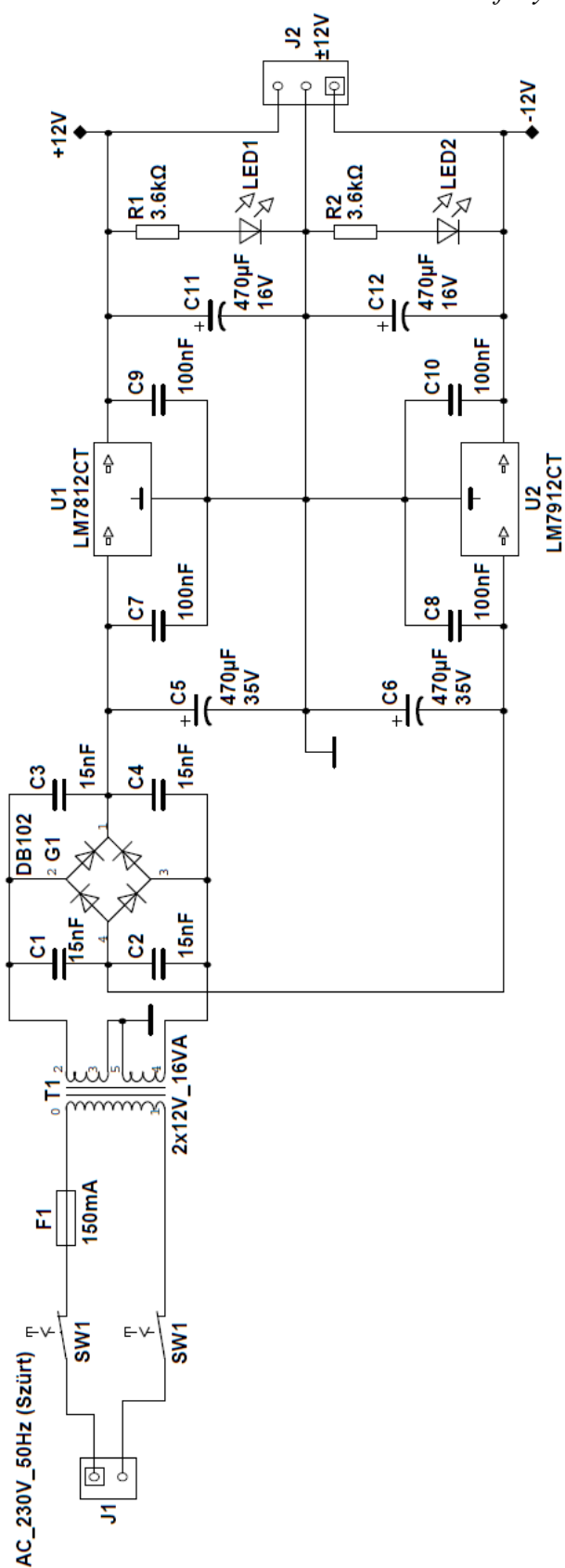
4. Függelék: A hengeres detektorban használt fotelektron-sokszorozó bekötése, valamint a szaggatott vonallal jelölt leforrasztott rész:



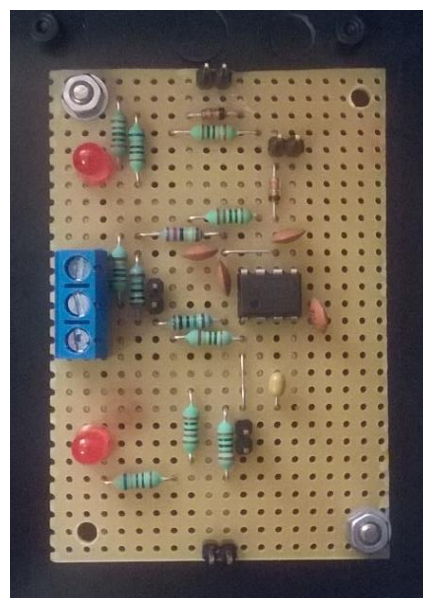
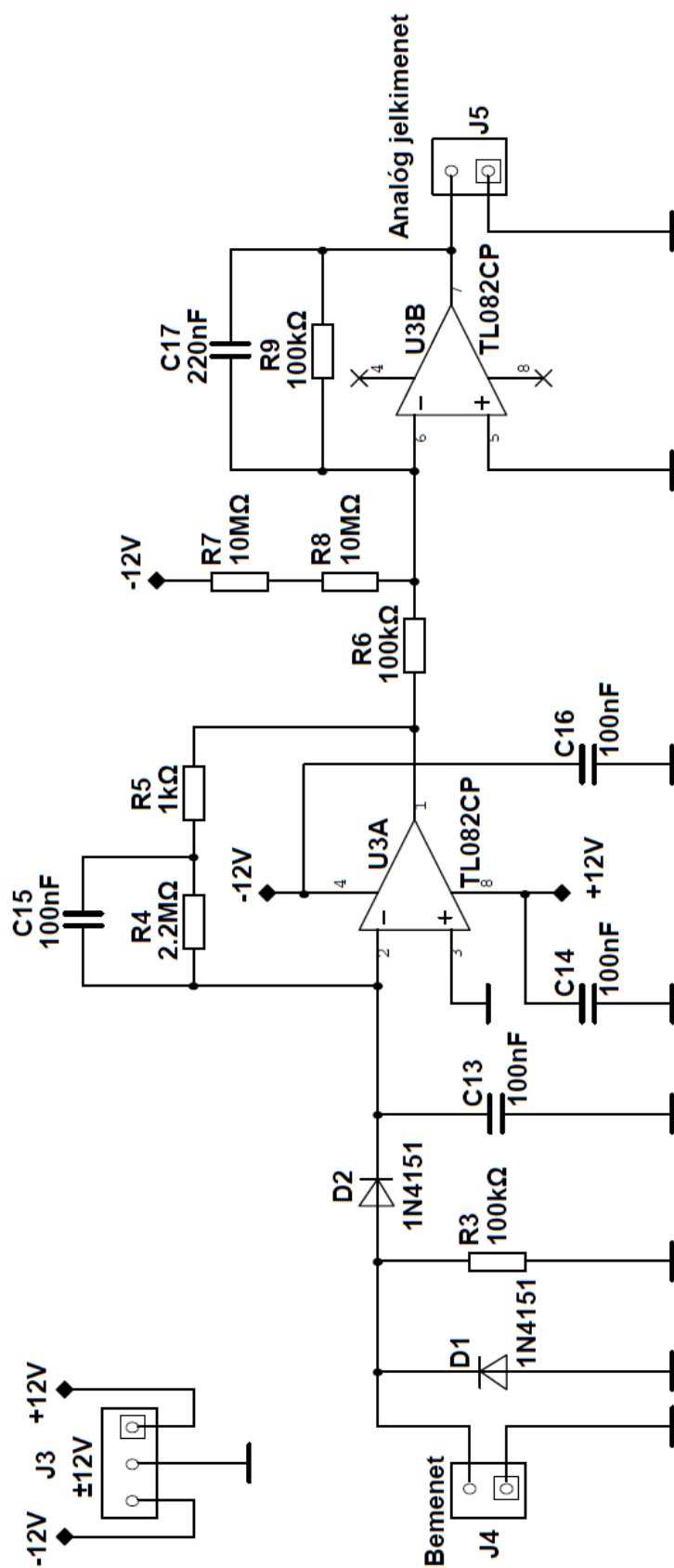
5. Függelék: A nagyfeszültségű szűrő. detektorjel kicsatoló áramkör kapcsolási rajza, valamint a megépített áramkör fényképe:



6. Függelék: A kisfeszültségű tápegység kapcsolási rajza, valamint a megépített áramör fényképe:



7. Függelék: A kiértékelő áramkör kapcsolási rajza, valamint a megépített áramkörről készült fénykép:



8. A kisfeszültségű áramkör terhelt állapotának mérési eredményei:

Mérési pont	Várt I _{ki} [mA]	Várt U _{ki} [V]	Terhelő ellenállás értéke [Ω]	Ellenállások szükséges teljesítménye [W]	Mért ellenállás érték [Ω]	Mért I _{ki} [mA]	Mért U _{ki} [V]
1	800	12	15	9,6	15,2	697,37	10,6
2	600	12	20	7,2	19,8	560,61	11,1
3	400	12	30	4,8	30,5	373,77	11,4
4	200	12	60	2,4	60,8	192,43	11,7
5	100	12	120	1,2	118,2	100,68	11,9
6	50	12	240	0,6	239	50,21	12
7	5	12	2400	0,06	2369	5,08	12,03

9. Függelék: A kiértékelő áramkör első tesztelésének eredményei:

Bemenet					Kimenet (mV)
f (Hz)	rise time (ns)	fall time (μs)	amplitúdó (mV)		
0	0	0	0		55,2
50	300	2,06	-450		55,3
			-600		56,1
			-750		60,7
			-1500		134,9
			-1800		167,3
			-2100		201,3
			-2400		234,2
			-2700		267,1
			-3000		298,1

10. Függelék: A kiértékelő áramkör második tesztelési lépésének eredményei

Bemenet				Kimenet (V)
periodus idő (μs)	f (Hz)	amplitúdó (V)		
0	0	0		0,0547
10000	100	-1,42		0,1645
1000	1000			1,7137
500	2000			3,3047
250	4000			6,6147
200	5000			8,2947
180	5550			9,2247
170	5880			9,7547
160	6250			10,3347
125	8000			10,5047

11. Függelék: A nulla mérés eredményeit összefoglaló táblázat:

x[cm]	Mért intenzitás szögletes [cps]	Mért intenzitás hengeres [cps]	$\mu \cdot x$	Számolt intenzitás szögletes [cps]	Számolt intenzitás hengeres [cps]
10	4324,026	3998,174	0,001	4251,746	4054,943
20	4205,022	4115,704	0,002	4247,497	4050,890
30	4158,386	4111,591	0,003	4243,251	4046,841
40	4311,073	3970,026	0,004	4239,010	4042,796
50	4315,234	3957,981	0,005	4234,773	4038,756
60	4192,466	4103,309	0,006	4230,540	4034,719
70	4293,933	4024,237	0,007	4226,312	4030,686
80	4137,646	3950,151	0,008	4222,088	4026,658
90	4137,728	4016,197	0,009	4217,868	4022,633
100	4281,071	3938,240	0,01	4213,652	4018,612
110	4125,252	4082,844	0,011	4209,441	4014,596
120	4272,517	3970,477	0,012	4205,233	4010,583
130	4272,448	3998,561	0,013	4201,030	4006,575
140	4129,682	4070,614	0,014	4196,831	4002,570
150	4112,976	3990,572	0,015	4192,636	3998,569
160	4146,561	3954,627	0,016	4188,446	3994,573
170	4163,338	3984,993	0,017	4184,260	3990,580
180	4263,679	3992,970	0,018	4180,077	3986,592
190	4217,658	4046,329	0,019	4175,899	3982,607
200	4104,978	3910,990	0,02	4171,726	3978,626

12. Függelék: A Különböző sűrűségű anyagok mérésének összefoglaló táblázatai:

Szögletes Detektor Intenzitás értékei							Számított t
Mérések sorszáma	Intenzitás mérési elrendezése						
	nulla [cps]	üres hordó [cps]	Hordó+ple xi [cps]	Hordó+víz+pl exi [cps]	Hordó+alumíniu m [cps]	Hordó+v as [cps]	Hordó+V íz [cps]
1	4255,1 6	3765,5 7	3479,50	3177,52	3113,83	2146,85	3463,59
2	4250,9 9	3780,4 9	3363,29	3174,37	3000,87	2093,71	3591,56
3	4165,0 5	3787,9 4	3452,16	3095,72	3013,09	2140,89	3431,50
4	4113,3 2	3735,7 5	3486,34	3208,98	3055,82	2089,46	3458,38
5	4205,1 0	3664,9 1	3359,87	3141,02	3113,83	2148,97	3446,06
Mérések átlagai	4197,9 2	3746,9 3	3428,23	3159,52	3059,49	2123,98	3478,22
Abszorbens re eső sugárzás Intenzitása [cps]	4256,00						
μ·x	0,02	0,13	0,22	0,30	0,33	0,69	0,21528
Számolt intenzitás [cps]	4171,7 3	3728,2 9	3417,98	3146,06	3052,77	2125,59	3431,68

13. Függelék: A Különböző sűrűségű anyagok mérésének összefoglaló táblázatai:

Hengeres Detektor Intenzitás értékei							Számított t
Mérések sorszáma	Intenzitás mérési elrendezése						
	nulla [cps]	üres hordó [cps]	Hordó+ple xi [cps]	Hordó+víz+pl exi [cps]	Hordó+alumíniu m [cps]	Hordó+v as [cps]	Hordó+V íz [cps]
1	4058,2 0	3619,7 2	3311,93	3030,44	2861,97	1992,74	3338,23
2	3910,9 9	3498,8 3	3321,71	3060,44	2969,70	2063,69	3237,56
3	3914,9 7	3591,2 7	3292,37	2949,43	2966,78	1998,82	3248,33
4	4042,2 8	3623,2 8	3305,41	2952,43	2864,88	2055,58	3270,29
5	4058,2 0	3498,8 3	3207,61	3030,44	2963,87	2043,42	3321,65
Mérések átlagai	3996,9 3	3566,3 8	3287,80	3004,63	2925,44	2030,85	3283,21
Abszorbens re eső sugárzás Intenzitása [cps]	4059,00						
μ·x	0,02	0,13	0,22	0,30	0,33	0,69	0,21528
Számolt intenzitás [cps]	3978,6 3	3555,7 2	3259,77	3000,43	2911,47	2027,20	3272,84

14. Függelék: A Különböző sűrűségű anyagok mérésének összefoglaló táblázatai:

Mérési elrendezés	x távolság					
	levegő [cm]	plexi [cm]	víz [cm]	alu [cm]	vas [cm]	$\mu \cdot x$
nulla	200	0	0	0	0	0,02
Üres hordó	199,8	0	0	0	0,2	0,13238
Hordó+plexi	198,8	1	0	0	0,2	0,21928
Hordó+víz+plexi	197,8	1	1	0	0,2	0,30218
Hordó+alumínium	198,8	0	0	1	0,2	0,33228
Hordó+vas	198,8	0	0	0	1,2	0,69428
Hordó+víz	198,8	0	1	0	0,2	0,21528

15. Függelék: A Különböző sűrűségű anyagok mérésének összefoglaló táblázatai:

μ [1/cm]	Levegő	Plexi	Víz	Alumínium	Vas
anyag	0,0001	0,083	0,087	0,2	0,562

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretném köszönetemet kifejezni **Dr. Kovács Tibor** egyetemi docensnek, aki témavezetőmként a dolgozat tárgyául szolgáló kutatásokba bevezetett, valamint szakmai tanácsaival, tapasztalataival segítséget nyújtott szakdolgozatom elkészítésében.

Köszönettel tartozom továbbá a Pannon Egyetem Radiokémiai és Radioökológiai Intézet, valamint a Gamma Műszaki Zrt. minden dolgozójának

Köszönöm!

Veszprém, 2014. december 21.

.....

Bátor Péter