

Universitatea
Transilvania
din Brașov

FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ
ȘI ȘTIINȚA CALCULATOARELOR

PROIECT DE DIPLOMĂ

Conducător științific:

prof. dr. ing. Petre Lucian OGRUȚAN

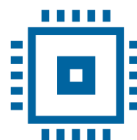
Absolvent:

Brumariu Cosmin-Nicușor

BRAȘOV, 2024



Universitatea
Transilvania
din Brașov



Universitatea
Transilvania
din Brașov

FACULTATEA DE INGINERIE ELECTRICĂ
ȘI ȘTIINȚA CALCULATOARELOR

Departamentul Inginerie Electrică și Știința Calculatoarelor
Programul de studii: Electronică Aplicată

Brumariu Cosmin-Nicușor

Măsurarea radiației nucleare cu contor Geiger, achiziția și transmisia datelor

Conducător științific:
prof. dr. ing. Petre Lucian OGRUȚAN

Brașov 2024

Cuprins

Listă de figuri, tabele și coduri sursă	7
Listă de acronime.....	9
1 Introducere.....	10
1.1 Scopul proiectului.....	10
1.2 Structura lucrării	10
1.3 Obiective principale.....	11
1.3.1 Obiective hardware.....	11
1.3.2 Obiective software	11
2 Stadiul actual în domeniu	12
2.1 Radiația ionizantă.....	12
2.1.1 Unități de măsură.....	12
2.2 Detectoare de radiație ionizantă	14
2.3 Contorul Geiger-Müller.....	15
2.3.1 Înăbușirea(Quenching)	16
2.3.2 Principi de funcționare	18
2.4 Implementări	21
3 Arhitectura Hardware	25
3.1 Preproiectare Contor Geiger	25
3.1.1 Sursă de alimentare.....	25
3.1.2 Generator de tensiuni înalte.....	27
3.1.3 Tub GM.....	28
3.1.4 Amplificator	29
3.1.5 Procesor & Display.....	31
3.1.6 Asamblare finală.....	33
3.1.7 Curent necesar funcționări	36
3.2 Proiectare Contor Geiger.....	36

3.2.1	Sursă de alimentare.....	39
3.2.2	Generator de tensiuni înalte.....	39
3.2.3	Tub GM.....	42
3.2.4	Amplificare.....	42
3.2.5	Procesor & Display.....	43
3.2.6	Asamblare finală.....	43
3.3	Experimente.....	44
3.4	Îmbunătățiri	49
3.5	Simulare SIMULINK.....	51
4	Arhitectura Software	54
5	Concluzii	57
6	Bibliografie	58
	Rezumat	62
	Abstract	63

LISTĂ DE FIGURI, TABELE ȘI CODURI SURSĂ

FIGURI

Figură 1:Un semnal tipic de detector de tip puls[5]	14
Figură 2:Circuitul utilizat pentru înăbușirea externă a unei contor GM [5]	17
Figură 3:Schema bloc a modulelor esențiale dintr-un contor Geiger [5]	18
Figură 4: Schematica de circuit a modulului generator de înaltă tensiune pentru un contor Geiger[11]	19
Figură 5:Schema de circuit a modulului de amplificare a impulsului pentru un contor Geiger[11]	20
Figură 6:Schematica de circuit a modulului de procesare&display pentru un contor Geiger[11].	21
Figură 7:Poza cu Radhound de pe un site al producătorilor[8]	23
Figură 8:Poza cu GMC-320 Plus de pe un site al producătorilor[9].....	24
Figură 9:Poza cu RadEye G20-ER10 X-Ray Plus de pe un site al producătorilor[10].....	24
Figură 10: Testarea modulului OKY3501-5 cu alimentare de la acumulatori	26
Figură 11:Schema modulului de alimentare	27
Figură 12:Poza cu modulul[15]	27
Figură 13:Testarea modulului de tensiuni înalte.....	28
Figură 14:Poza cu STS-5 , Philips-18504 împreună cu o sonda și SBM-20	29
Figură 15:Schema modulului de HW, tub GM și amplificare	30
Figură 16: Poza cu modulul OLED funcțional	32
Figură 17:Schema modulului de Procesare&Display.....	33
Figură 18:Schema prototip cu toate modulele	33
Figură 19:Poza cu prima versiune a prototipului -fata	33
Figură 20:Poza cu prima versiune a prototipului -spate	34
Figură 21:Poza cu versiunea 2 a prototipului.....	35
Figură 22: Poza cu PCB-ul comandat -fata	37
Figură 23: Poza cu PCB-ul comandat -spate	38
Figură 24:Schema PCB-ului realizată în KiCad	38
Figură 25: Schema modulului de alimentare.....	39
Figură 26: Schema modulului de generare a tensiunii mari	41
Figură 27: Schema modulului Tub GM și Amplificare	42
Figură 28: Schema modulului de Procesare&Display	43
Figură 29: Schema versiune finală cu toate modulele	44
Figură 30:Poza cu contorul funcțional , unde se afișează numărul de impulsuri 50	45
Figură 31:Poza cu contorul funcțional , unde se afișează numărul de impulsuri 27	46
Figură 32: Schema circuitului de alimentare dublă [40]	50
Figură 33: Poza cu circuitului de alimentare dublă.....	50

Figură 34:Simulare SIMULINK pentru procesul de preluare și prelucrare a impulsurilor	51
Figură 35:Impulsurile ideale cu "timpul mort" realizat de generatorul Poisson si cel de pulsuri. 52	
Figură 36:Impulsurile unde a fost adăugat zgomot.....	52
Figură 37:Impulsurile amplificate si saturate	53
Figură 38:Impulsurile numărate la detecția lor	53

TABELE

Tabel 1:Factorii de greutate WR pentru doza echivalentă[7]	13
Tabel 2: Tensiune înaltă necesară pentru anumite detectoare comune de radiați[5]	18
Tabel 3: Măsurători pentru radiația de fundal cu un SBM-20 si echivalentul lor în $\mu\text{Sv/h}$	44

CODURI SURSĂ

Cod 1: Funcția intrerupereSensor	54
Cod 2: Funcția loop	54
Cod 3: Funcția actualizareImpulsuri.....	55
Cod 4: Funcția actualizareJurnalImpulsuri.....	55
Cod 5: Funcția transmiteDateBluetooth.....	56

LISTĂ DE ACRONIME

CPM (Counts per Minute) = numărări pe minut

CPS (Counts per Second)= numărări pe secundă

CPH(Counts per Hour) = numărări pe oră

PWM(Pulse Width Modulation) = Modulația în lățime de puls

Tub GM = Tub Geiger-Muller

1 INTRODUCERE

Trăim într-o perioadă ,când conflictele dintre diverse țări devin din ce în ce mai intense și amenințarea unui război chiar la granițele noastre pare tot mai reală, devine vital să fim pregătiți să ne apărăm împotriva diverselor riscuri care ar putea apărea într-un conflict armat. Unul dintre cele mai semnificative pericole în acest context este reprezentat de radiații, rezultate în urma utilizarea armelor nucleare, dar și a altor tipuri de armament convențional[1], care poate duce la contaminarea radioactivă a mediului, ceea ce subliniază importanța monitorizării și gestionării acestora în mod eficient.

În acest proiect de licență am realizat un sistem de măsură a radiațiilor cu contor Geiger-Müller, acest gen de contor are abilitatea de a măsura emisii de radiații beta și gamma/X.

1.1 SCOPUL PROIECTULUI

În această lucrare sunt prezentate principalele aspecte legate de realizarea unui sistem de măsurare a radiațiilor folosind un contor Geiger-Müller. Acest tip de contor are capacitatea de a măsura emisiile de radiații ionizate, precum beta și gamma/X.

Partea practică a acestui sistem este alcătuită dintr-un modul care poate efectua măsurătorile de radiații și să le afișeze printr-un display. Acest modul poate emite semnale sonore prin intermediul unui buzzer pentru a indica nivelul de radiație detectat. De asemenea, sistemul este dotat cu tehnologie Bluetooth, permițând transmiterea datelor măsurate către alte dispozitive.

Principalele funcții realizate de sistem sunt :

- Prelevarea radiațiilor beta și gamma din mediu folosind un tub Geiger-Müller;
- Procesarea datelor și afișarea lor prin display;
- Emiterea unor semnale sonore la întâlnirea radiațiilor
- Transmiterea informațiilor prin Bluetooth ;
- Monitorizarea de la distanță a sistemului;
- Realizarea unui PCB;

1.2 STRUCTURA LUCRĂRII

Lucrarea este structurată pe mai multe capitole, urmărind prezentarea detaliată a funcționării sistemului, precum și metodele alese pentru implementarea sa fizică. De asemenea, sunt abordate situațiile limită la care sistemul a fost supus în timpul testelor, constatarea și

rezolvarea erorilor de funcționare apărute în timpul proiectării, precum și variantele de îmbunătățire care pot fi aduse în viitor.

Structura lucrării se împarte în următoarele capitole :

- Capitolul 1 prezintă tema, scopul și obiectivele proiectului.
- Capitolul 2 exprimă stadiul actual și comercial în domeniul măsurării radiațiilor.
- Capitolul 3 prezintă arhitectura hardware.
- Capitolul 4 prezintă arhitectura software.
- Capitolul 5 reprezintă concluziile.
- Capitolul 6 reprezintă bibliografia.

1.3 OBIECTIVE PRINCIPALE

În acest subcapitol sunt enumerate principalele obiective urmărite pentru a înțelege și implementa un sistem de măsurare a radiațiilor folosind un contor Geiger-Müller .

1.3.1 Obiective hardware

Secțiunea aceasta abordează obiectivele fizice pe care modulele le vor îndeplini:

- Proiectarea a unui modul cât mai compact și eficient;
- Realizarea alimentării și comunicației Bluetooth;
- Capacitatea de a afișa numeric radiația prin intermediul unui display și emite semnale sonore prin intermediul unui buzzer pentru a indica nivelul de radiație detectat ;
- Realizarea unei interfețe cât mai simple pentru o utilizare intuitivă;
- Realizarea unui PCB realizat cu SMD-uri

1.3.2 Obiective software

Secțiunea abordează algoritmi și metodele folosite pentru programarea microcontrolerului .

- Afișarea corectă a valori numerice a radiației întâlnite pe display;
- Preluarea impulsurilor de la tubul GM, prelucrarea acestora și transmiterea prin metoda Bluetooth ;
- Procesarea datelor și compararea acestora cu parametrii setați;
- Realizarea conexiunii la distanță cu un device;

2 STADIUL ACTUAL ÎN DOMENIU

2.1 RADIAȚIA IONIZANTĂ

Radiația ionizantă este alcătuită din particule subatomice sau unde electromagnetice care posedă suficientă energie pentru a desprinde electroni de la atomi sau molecule, producând ionizare. Gradul de ionizare a materiei depinde de energia particulelor sau undelor cu efect negativ, în loc de numărul lor. Un flux mare de astfel de particule sau unde nu duce la ionizare, în cazul în care nu au destulă energie pentru a fi ionizante.

În esență, particulele sau fotonii cu o energie mai mare de câțiva electroni-volt (eV) sunt ionizante. Particulele ionizante includ particulele alfa, beta și neutroni. Capacitatea undelor electromagnetice (fotonilor) de a ioniza atomii sau moleculele depinde de frecvența acestora. Radiațiile cu undă scurtă ale spectrului electromagnetic, precum radiația ultravioletă, radiațiile X și radiațiile gamma cu frecvențe mari, sunt ionizante.

Radiația ionizantă se găsește în materiale radioactive, tuburi cu radiații X, acceleratoare de particule și în mediul înconjurător. Este invizibilă și nu poate fi detectată prin intermediul simțurilor umane, astfel fiind necesare instrumente precum contorul Geiger pentru a detecta prezența acesteia. În unele cazuri, poate duce la producerea unor emisii secundare de lumină vizibilă în urma interacțiunii cu materia, precum în cazul radiației Cerenkov și a radioluminescenței. Radiația ionizantă are mai multe utilizări practice în medicina, cercetare, construcții și alte domenii, dar reprezintă un pericol dacă nu este utilizată corespunzător.[2]

Expunerea la radiații poate cauza daune țesuturilor vii, rezultând în arsuri cutanate, otrăvire cu radiații și deces în cazul unor doze foarte mari, precum și cancerul, tumori și deteriorări genetice la doze mai mici.[3] Diferite forme de radiații ionizante pot proveni de la o varietate de surse, dezintegrarea radioactivă, fisiunea nucleară, fuziunea și acceleratoarele de particule sunt câteva exemple.[4]

2.1.1 Unități de măsură

Unitățile de măsură folosite pentru cuantificarea radiațiilor ionizante sunt complexe. Radiația ionizantă este măsurată prin unități de expunere.

- **Coulomb pe kilogram (C/kg)** este o unitate de măsură din Sistemul Internațional (SI) utilizată pentru a cuantifica expunerea la radiații ionizante. Această unitate exprimă cantitatea de radiație necesară pentru a produce o sarcină electrică de un coulomb (cu două polarități) într-un kilogram de materie.

- **Roentgen**, o unitate de măsură mai veche și mai puțin utilizată, reprezenta cantitatea de radiație necesară pentru a elibera o sarcină electrică de un ESU (unitate electrostatică de sarcină sau statcoulomb - statC) cu ambele polarități în interiorul unui centimetru cub de aer uscat. O unitate de roentgen este echivalentă $2.58 \times 10^{-4} \text{ C/kg}$. [43]

Cantitatea de daune cauzate materiei de către radiațiile ionizante este mai legată de energia depozitată decât de sarcină. Această cantitate se numește doză absorbită și se măsoară în gray (Gy) în sistemul SI, care este echivalentul a 1 joule de energie depozitată într-un kilogram de materie. În sistemul tradițional, doza absorbită este măsurată în rad (doză absorbită roentgen), în care 100 rad corespund unui Gray.

Diferite tipuri de radiații de energii diferite cauzează cantități diferite de daune țesuturilor vii, de exemplu, 1 Gy de radiație alfa produce aproximativ 20 de ori mai multe daune decât 1 Gy de radiație X. Prin urmare, a fost introdusă noțiunea de doză echivalentă, care ia în considerare și efectul biologic al radiației. Aceasta se calculează înmulțind doza absorbită cu un factor de greutate w_R , care este specific fiecărui tip de radiație.

Tabel 1: Factorii de greutate W_R pentru doza echivalentă [7]

Radiație	Energie	W_R
Radiații X, radiații gamma, electroni, pozitroni, muoni		1
Neutroni	<1 MeV	$2.5 + 18.2e^{-[\ln(E_n)]^2/6}$
	1 MeV to 50 MeV	$5.0 + 17.0e^{-[\ln(2E_n)]^2/6}$
	>50 MeV	$2.5 + 3.25e^{-[\ln(0.04E_n)]^2/6}$
Protoni	>2 MeV	2
Particule alfa, fragmente de fisiune, nuclei grei		20

Unitățile de măsură pentru doze echivalente sunt:

Sievert (Sv) este unitatea de doză echivalentă. Deși are aceleași unități ca și Gray (Gy) în J/kg, sievertul măsoară ceva diferit, este doza unei anumite tipuri de radiații în Gy care are același efect biologic asupra unui om ca și 1 Gy de radiații X sau gamma.

- Rem (roentgen echivalent în om) este unitatea tradițională a dozei echivalente. 1 Sievert este egal cu 100 de rem. Din cauza faptului că rem este o unitate relativ mare, doza

echivalentă tipică se măsoară în milirem (mrem) sau în microsievert (μSv). 1 mrem este egal cu $10 \mu\text{Sv}$.

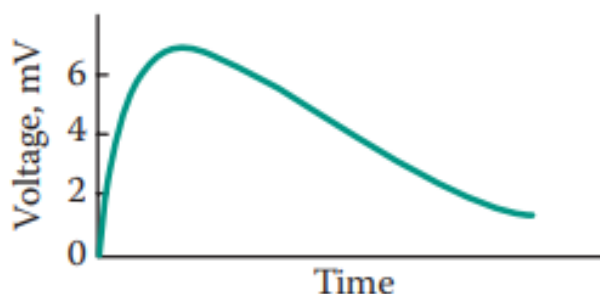
- **Bret** (radiație de fond echivalentă în timp) este o unitate folosită uneori pentru dozele mici de radiație. Aceasta reprezintă numărul de zile de expunere la radiația de fond obișnuită care este echivalentă cu o doză. Această unitate nu este standardizată și depinde de valoarea folosită pentru doza de radiație de fond. Folosind valoarea UNSCEAR din 2000, un bret este egal cu 6,6 microsievert.

Este important de menționat că doza obișnuită a radiației de fond naturale pe care o primește omul este în jur de 2,4 milisievert (240 mrem) pe an. Doza corporală letală de radiație pentru un om este în jur de 4-5 sievert (400-500 rem).

2.2 DETECTOARE DE RADIAȚIE IONIZANTĂ

Detectoare de radiații ionizante sunt clasificate în două tipuri, în funcție de metoda de funcționare. **Sistemele de tip puls** generează impulsuri de tensiune pentru fiecare particulă detectată, în timp ce **sistemele de tip curent** oferă o valoare medie rezultată din detectarea mai multor particule.[5]

Funcția principală a unui detector este să genereze un semnal pentru fiecare particulă detectată, iar acestea funcționează prin interacțiunea radiației cu materia. Există diverse tipuri de detectoare, printre care se numără detectoare umplute cu gaz, detectoare cu scintilație, detectoare cu semiconductori și altele. Majoritatea detectoarelor produc un impuls de tensiune ca semnal de ieșire (Fig. 1), însă unele pot produce o schimbare de culoare sau o urmă fotografiabilă.



Figură 1: Un semnal tipic de detector de tip puls[5]

Un detector ideal de tip puls ar trebui să îndeplinească anumite cerințe, cum ar fi detectarea fiecărei particule care intră în el și producerea unui impuls de ieșire mai mare decât

zgomotul electronic al unității care îl acceptă. Durata impulsului trebuie să fie scurtă pentru a permite detectarea rapidă a particulelor consecutive, iar înălțimea impulsului trebuie să aibă o relație cunoscută cu energia particulei pentru măsurarea precisă a acesteia. De asemenea, impulsurile corespunzătoare trebuie să aibă aceeași înălțime pentru particulele care depun aceeași energie în detector, asigurând o rezoluție energetică bună.

Nu există un detector care să satisfacă în totalitate toate cerințele, însă în practică se alege un detector care să le îndeplinească cât mai mult posibil, iar corecțiile corespunzătoare sunt aplicate la datele măsurate în funcție de obiectivul experimentului.

2.3 CONTORUL GEIGER-MÜLLER

Un dispozitiv Geiger-Müller, este utilizat pentru măsurarea radiațiilor ionizante, în special a particulelor beta și a radiației gamma, dar unele modele pot detecta și particule alfa. Componenta principală a unui contor Geiger-Müller este un tub Geiger-Müller sau tub GM, care poate detecta o singură particulă de radiație ionizantă și produce un sunet scurt pentru fiecare particulă detectată. Acest tub a fost denumit în onoarea lui Hans Geiger, care a inventat dispozitivul împreună cu Ernest Rutherford în 1908 (dispozitivul inițial detecta doar particule alfa), iar ulterior a fost îmbunătățit de către Walther Müller în 1928 pentru a detecta o varietate mai mare de radiații ionizante. Este un tip de detector de ionizare gazoasă care funcționează la un anumit voltaj pe un "platou Geiger" (un platou al tensiunii de funcționare ușor înclinat, deoarece tubul GM este mai sensibil la radiațiile de energie mai mică).

Un tub GM este alcătuit dintr-un tub umplut cu un gaz inert la aproximativ 0,1 atmosfere, cum ar fi heliul, neonul sau argonul (în mod obișnuit argonul), sau în unele cazuri un amestec Penning, și un vapor organic sau un gaz halogen. În tub este prezenta o tensiuni de sute de volți, însă nu circulă curent electric. Pereții tubului sunt fie din metal sau acoperiți cu metal pe interior pentru a forma catodul, în timp ce anodul este un fir care trece prin centrul tubului.[6]

Când radiația ionizantă trece prin tub, unele molecule ale gazului sunt ionizate, creând ioni pozitivi și electroni. Câmpul electric puternic creat de electrozii tubului accelerează ionii către catod și electronii către anod. Ionii și electronii câștigă suficientă energie pentru a ioniza și alte molecule ale gazului într-un proces de coliziune, creând o avalanșă de particule încărcate electrostatic. Acest proces generează un impuls scurt și intens care se deplasează de la electrozii negativi la cei pozitivi și este măsurat sau numărat. Majoritatea detectoarelor conțin, de

asemenea, un amplificator audio care produce un sunet scurt la fiecare descărcare. Numărul de impulsuri pe secundă măsoară intensitatea câmpului de radiație.

Unele contoare Geiger afișează o rată de expunere, de exemplu mR-h (mili razi pe oră), dar aceasta nu se corelează ușor cu o rată de dozare, deoarece aparatul nu distinge între radiații de diferite energii. Forma obișnuită a unui tub GM este un tub cu fereastră la un capăt, prin care radiația ionizantă poate pătrunde ușor. Celălalt capăt conține de obicei conectori electrici. Există două tipuri de tuburi cu fereastră la un capăt: cele cu manta de sticlă și cele cu fereastră din mica (un strat de minerale de silicat sau polisilicat, cu atomi aranjați în forma hexagonală). Tuburile cu fereastră din sticlă nu detectează radiații alfa, deoarece acestea nu pot pătrunde prin sticlă, dar sunt mai ieftine și detectează în general radiații beta și radiații X. Fereastră din mica poate detecta radiații alfa, dar este mai fragilă.

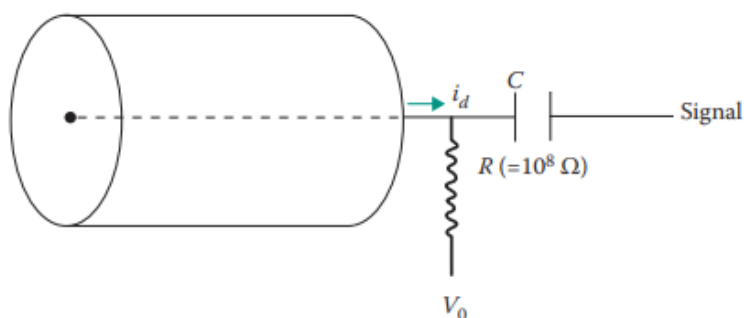
Majoritatea tuburilor detectează radiații gamma și, în general, radiații beta cu energii mai mari de aproximativ 2,5 MeV (mega electron-volți). Tuburile GM nu detectează, de obicei, neutroni, deoarece aceștia nu ionizează gazul din interior. Cu toate acestea, pot fi produse tuburi sensibile la neutroni care au pereții interiori acoperiți cu bor sau conțin trifluorură de bor sau heliu-3 ca gaz. Neutronii interacționează cu nucleele de bor, producând particule alfa sau cu nucleele de heliu-3, producând hidrogen sau ioni de tritium sau electroni. Aceste particule încărcate declanșează apoi procesul normal de avalanșă.

2.3.1 Înăbușirea(Quenching)

Tubul GM trebuie să genereze un singur impuls atunci când o singură particulă intră în el, este esențial să nu creeze impulsuri false și să revină rapid la starea inactivă. Din nefericire, ionii pozitivi de argon care pot să intre în contact eventual cu catodul se transformă în atomi neutri de argon excitați prin captarea electronilor de la catod. Acești atomi excitați revin la starea de bază prin emiterea de fotoni, care pot declanșa avalanșe și, implicit, impulsuri false. Reducerea acestor fenomene este crucială, deoarece dorim ca fiecare particulă care intră în tub să fie detectată printr-o singură descărcare. Astfel, tubul nu poate detecta o altă particulă până când descărcarea nu încetează și este important să evităm deteriorarea tubului cauzată de descărcările prelungite.

Înăbușirea externă, implică utilizarea unor componente electronice externe pentru a reduce tensiunea mare dintre electrozi. În cazul înăbușirii externe, tensiunea de funcționare a

contorului este redusă, după începerea descărcării până când ionii ajung la catod, la o valoare pentru care factorul de multiplicare a sarcinii este neglijabil. Această reducere a tensiunii se realizează printr-un circuit RC ales în mod corespunzător (Fig. 2). Rezistența R este atât de mare încât căderea de tensiune pe ea, datorată curentului generat de descărcare (i_d), reduce tensiunea contorului sub pragul necesar pentru ca descărcarea să înceapă (tensiunea netă este $V_0 - i_d R$). Constanta de timp RC , unde C reprezintă capacitatea dintre anod și masă, este mult mai mare decât timpul necesar pentru colectarea ionilor. Ca urmare, contorul este inoperant pentru o perioadă inacceptabil de lungă, adică timpul său mort este prea mare. Există și tuburi cu auto-înăbușire sau înăbușire internă, care opresc descărcarea fără ajutor extern și conțin o mică cantitate de vapor poliatomic organic, cum ar fi butanul sau etanolul, sau alternativ, bromura sau clorura.

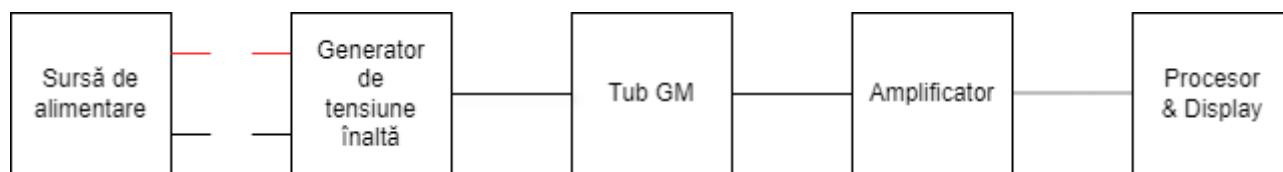


Figură 2: Circuitul utilizat pentru înăbușirea externă a unei contor GM [5]

Atunci când gazul diatomic (agentul de înăbușire) este introdus în tub, ionii pozitivi de argon, în timpul mișcării lor către catod, interacționează în mod repetat cu moleculele gazului de înăbușire, transferând încărcarea și o parte din energie. Astfel, atomii neutri de argon ajung la catod, ionii gazului de înăbușire ajung la catod, captează electroni și devin excitați. Aceste molecule excitate își pierd energia nu prin emiterea de fotoni, ci prin separarea în molecule neutre ale agentului de înăbușire, astfel încât să nu se producă impulsuri false.

2.3.2 Principi de funcționare

Un sistem de măsură a radiațiilor cu contor Geiger este format din următoarele module esențiale (Fig. 3):

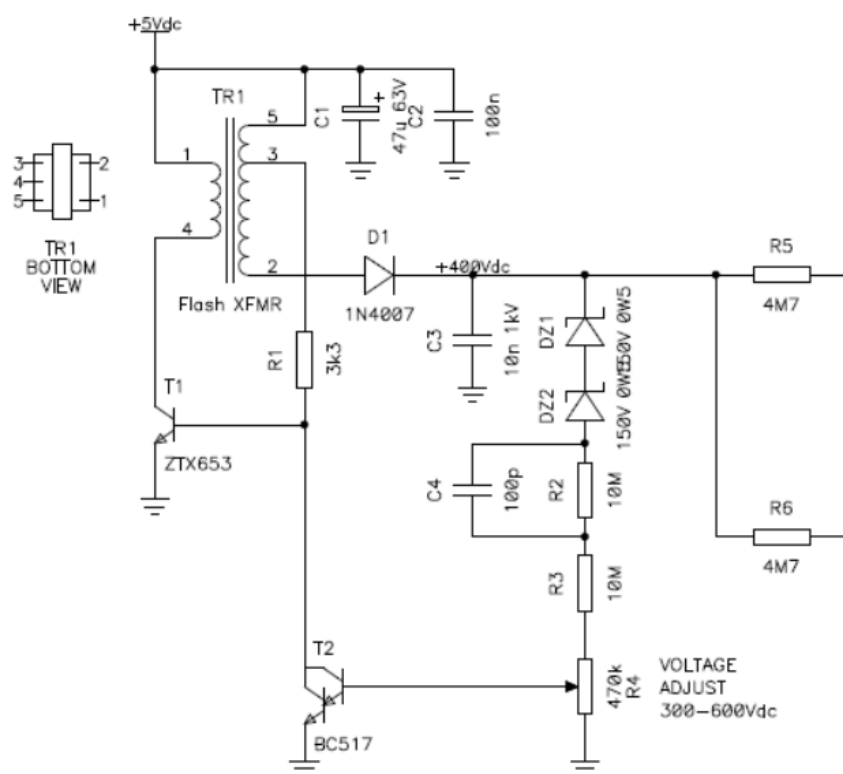


Figură 3: Schemă bloc a modulelor esențiale dintr-un contor Geiger [5]

- **Sursa de alimentare:** Acest modul este cel care va alimenta generatorul de tensiune înaltă și celelalte module. Aceste surse pot varia în funcție de configurația dispozitivului, trecând de la baterii pentru modelele portabile, până la alimentarea prin cablu USB sau chiar direct de la priză.
- **Generator de tensiune înaltă:** Are rolul de a crea tensiuni înalte, atât pozitive, cât și negative, esențiale pentru polarizarea corectă a tubului Geiger-Müller. Aceste tensiuni se situează într-un interval cuprins între 400 și 1500 de volți, pentru detectoarele GM (Fig. 4).

Tabel 2: Tensiune înaltă necesară pentru anumite detectoare comune de radiații [5]

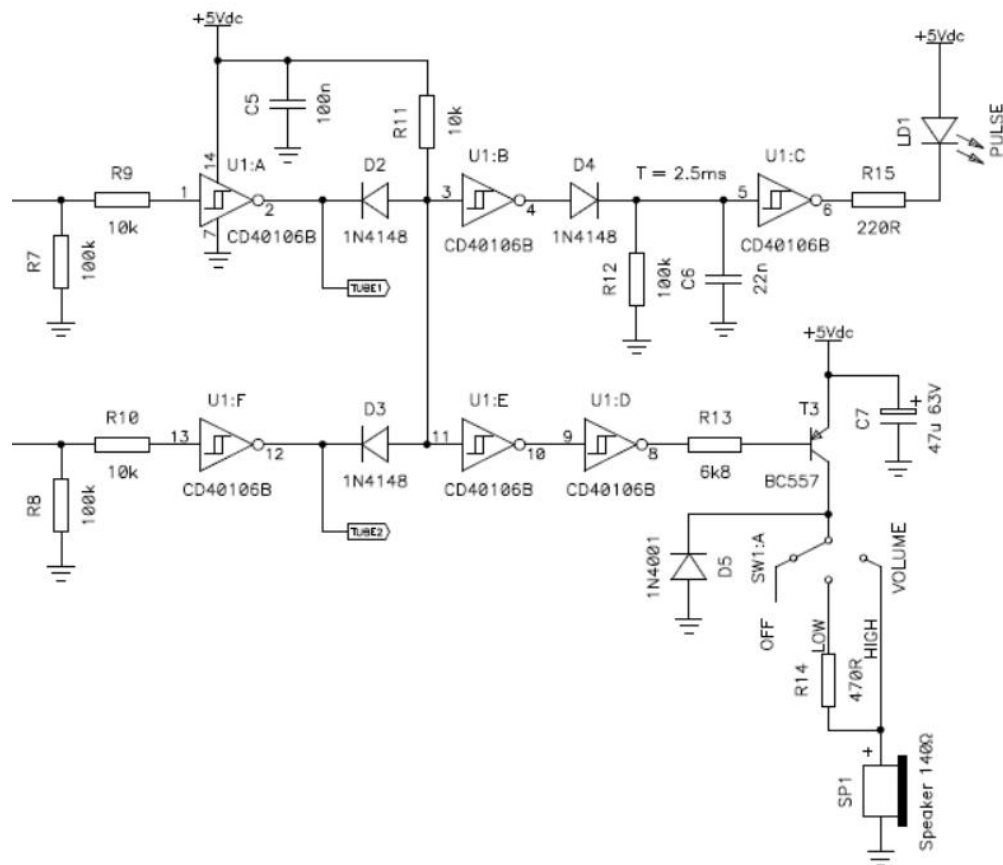
Detectoare	Tensiune înaltă (V)
Detector de ionizare	Tensiune înaltă < 1000
Detector proporțional	500 < Tensiune înaltă < 1500
Detector GM	400 < Tensiune înaltă < 1500
Scintilatoare	750 < Tensiune înaltă < 1250
Detector de neutroni	1000 < Tensiune înaltă < 2000



Figură 4: Schematica de circuit a modului generator de înaltă tensiune pentru un contor Geiger[11]

Circuitul funcționează prin utilizarea unui oscilator de blocare pentru a genera un impuls de înaltă tensiune. Transformatorul (TR1) este componenta cheie a circuitului, el se pornește și se oprește rapid, ceea ce face ca curentul din înfășurarea primară a transformatorului să crească și să scadă rapid. Acest lucru induce un impuls de înaltă tensiune în înfășurarea secundară a transformatorului. Tensiunea de ieșire este redresată de dioda (D1) și apoi filtrată de condensatori (C3, C4) pentru a furniza o tensiune continuă.

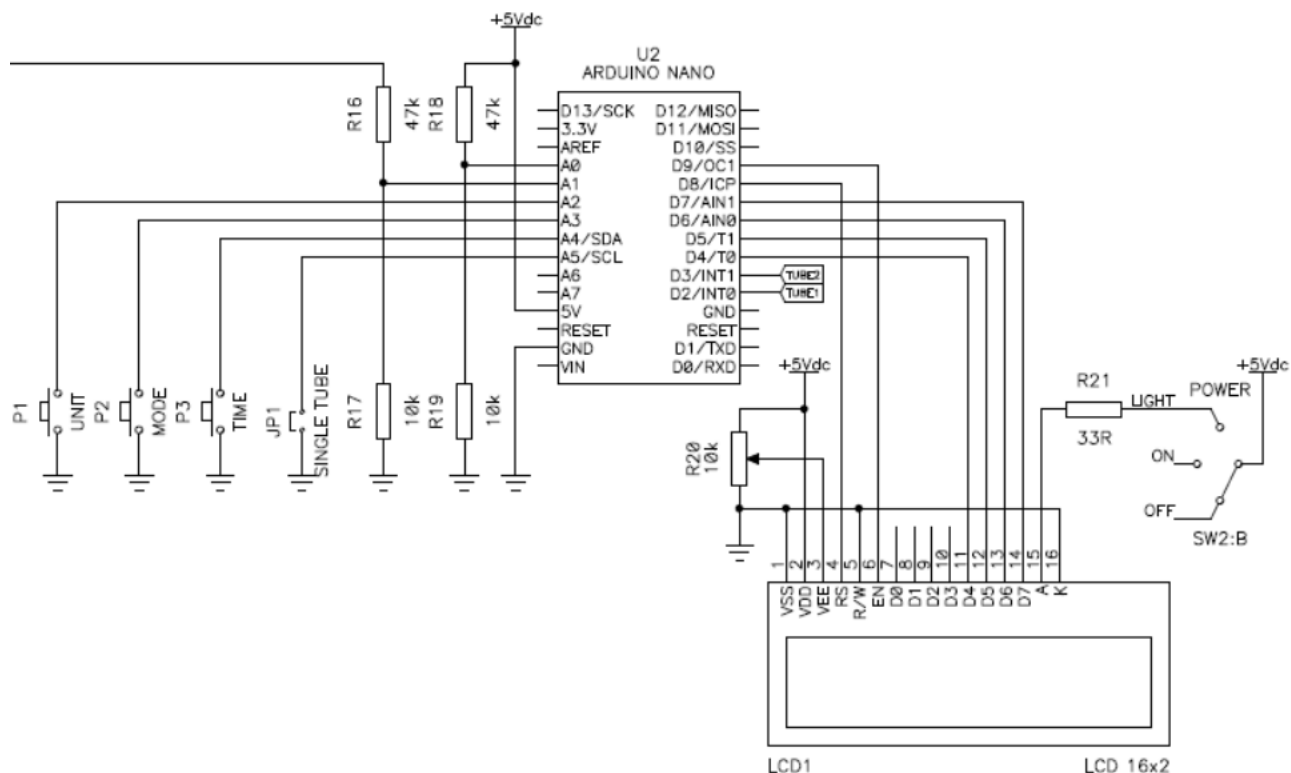
- **Tub GM:** Tubul Geiger-Müller, cunoscut și sub numele de tub Geiger-Müller, este elementul esențial în detectarea radiațiilor ionizante. De obicei, acesta este conectat la anod cu o rezistență de valori variabile (de ordinul $M\Omega$).
- **Amplificator:** Are rolul de a amplifica semnalul, de obicei semnalul provenit din detector este extrem de delicat, măsurat în milivolți (mV). Pentru a putea fi înregistrat corespunzător, acesta necesită o amplificare cu cel puțin o mie de ori sau chiar mai mult. În era modernă, amplificatoarele comerciale sunt capabile să transforme semnalul inițial într-un maxim de 10 volți, indiferent de intensitatea și amplificarea inițială a semnalului de intrare.



Figură 5: Schema de circuit a modului de amplificare a impulsului pentru un contor Geiger[11]

Impulsurile mici de tensiune de la tuburile Geiger sunt introduse în rezistențele R7 și R8. Aceste rezistențe limitează curentul care poate intra în circuit și previn deteriorarea celorlalte componente. Semnalul de la rezistențe este apoi introdus în două invertoare Schmitt trigger (U1:A și U1:F). Aceste invertoare amplifică semnalul și îl convertesc într-un semnal digital cu muchii ascuțite. Acest lucru este important pentru microcontroler, care trebuie să poată număra cu precizie impulsurile. Circuitul include, de asemenea, un etaj opțional de modelare a impulsurilor (U1:B și U1:C). Acest etaj poate fi utilizat pentru a prelungi durata impulsurilor. Ieșirea circuitului este un semnal digital care este compatibil cu microcontrolerul.

- Procesor si Display:** Acest modul are în compoziția lui un microcontroler adaptabil în funcție de cerințe, care este folosit pentru a programa funcționalitatea celorlalte componente ca și display-ul, necesare pentru a putea valorifica numeric valoarea radiației detectată.



Figură 6: Schematica de circuit a modului de procesare & display pentru un contor Geiger [11]

În această schemă sunt primite niște impulsuri de la tub, ele sunt introduse în două linii de întrerupere (D2 și D3) ale lui Arduino Nano, care are un microcontroler ATmega328, mai departe el este programat să numere aceste impulsuri și să efectueze calcule pe baza lor. Rezultatele calculate, cum ar fi numărul de contoare pe minut (CPM) sau microsievert pe oră ($\mu\text{Sv/h}$), sunt afișate pe un ecran LCD cu 16 caractere și 2 linii. De asemenea, unitatea poate transmite aceste date către un computer prin intermediul portului serial.

2.4 IMPLEMENTĂRI

De la primele descoperiri ale radiației în secolul al XIX-lea, utilizarea ei s-a extins rapid într-o varietate de domenii. Inițial, descoperită ca o forță misterioasă care părea să penetreze materialele obișnuite, radiația a devenit rapid subiectul unor cercetări intense. În medicină, radiografia a revoluționat diagnosticul și tratamentul bolilor, permițând medicilor să vadă în interiorul corpului fără a-l deschide. În paralel, industria nucleară a explorat capacitățile sale pentru generarea de energie și producerea de materiale nucleare.

Cu trecerea timpului, radiația a devenit și mai prezentă în domeniul protecției mediului și al siguranței publice. Detectoarele de radiații au devenit un instrument vital în monitorizarea

contaminării și a radiațiilor în diverse medii, de la sol și apă la materiale și aer. Acestea au evoluat din dispozitive masive și complicate în instrumente portabile și ușor de utilizat.

Radhound, un monitor de radiații digital multifuncțional, este un exemplu ilustrativ al acestor progrese tehnologice. Conceput pentru a satisface cerințele de monitorizare a contaminării și protecție împotriva radiațiilor, Radhound îmbină performanța de vârf cu ușurința de utilizare.

Echipat cu un ecran LCD clar și iluminat, Radhound afișează ratele de contorizare a radiațiilor în numere mari și pe o scară de bare, asigurând o citire rapidă și precisă. Funcția sa de histogramă permite identificarea rapidă a surselor de radiații și distingerea între diferitele tipuri de radiații, cum ar fi alfa, beta și gamma/X.

Radhound dispune de o serie de caracteristici avansate, printre care se numără:

- Funcția de temporizare a contorului, care permite realizarea de sondaje și măsurători precise în diverse medii și condiții.
- Alarmer complet reglabil, care permite utilizatorilor să configureze avertismente personalizate în funcție de nivelurile de radiație detectate.
- Conectivitatea extinsă, inclusiv opțiuni pentru conectarea la calculatoare și alte dispozitive, pentru analiza și stocarea datelor.
- Design ergonomic și portabil, care facilitează transportul și utilizarea în diferite locații și situații.
- Radhound este, de asemenea, rezistent la substanțe chimice și poate fi curățat cu șervețele alcoolizate, făcându-l potrivit pentru utilizare în medii variate.

Principalele specificații includ:

- Detectare radiații: Alpha, Beta, Gamma și Raze X
- Interval de măsurare: Tipic între 0 și 99999 de conturi pe secundă (intervalul și unitățile sunt selectabile prin software în funcție de sonda utilizată)
- Timp de răspuns: 0.5 secunde
- Funcționalitate: Rate, histogramă, contorizare temporizată, contorizare la timp, timp rămas până la doză, discriminare alfa beta (în funcție de sonda utilizată)
- Tensiune înaltă: Selectabilă între 350 și 1200V din meniu (poate fi blocată)
- Medie: 'Smart Averaging' furnizează o schimbare fluidă a numărului, menținând totodată un timp de răspuns ajustabil între lent, mediu și rapid



Radhound Multi-Purpose Digital Radiation Meter

\$1,440.00

THE SIMPLE YET VERSATILE DIGITAL RATE-METER

The Radhound bench-top monitor is a powerful, general purpose ratemeter, suitable for use by anyone, from professional health physicists to basic users. They are currently finding use within a large range of sectors, including the nuclear industry, hospitals, research facilities and NDT labs. A broad selection of Geiger, sodium iodide and plastic scintillator based probes covers the whole spectrum of contamination and dose rate measurement requirements.

Figură 7: Poza cu Radhound de pe un site al producătorilor[8]

Monitorul de radiați **GMC-320 Plus Geiger Counter** este un dispozitiv portabil și convenabil, proiectat pentru detectarea și monitorizarea radiațiilor. Echipat cu semnale auditive și vizuale incorporate pentru nivelul de radiație detectat, acesta poate fi utilizat atât în interior, cât și în exterior, în diverse medii similare.

Principalele specificații includ:

- Detectare radiații: Beta, Gamma și Raze X
- Interval de energie detectabil: 0.1~3.0 MeV
- Fondul propriu: 0.2 impulsuri/s
- Tensiune de lucru: 3.2~4.0V
- Putere de lucru: 0.045W - 0.2W
- Alimentare: Baterie 3.6V/3.7V / Alimentare USB

Modul text oferă informații maxime despre date, precum CPM, Data, Ora, Timpul trecut, uSv/h, mR/h etc., în timp ce modul grafic în timp real oferă modificări vizuale ale radiației în timp real, permițând observarea ușoară a acestora. Controlul iluminării din spate permite setarea acesteia ON/OFF și a timpului de inactivitate, pentru a economisi energie. Indicatorul de încărcare a bateriei și nivelul acesteia, selecția tipului de baterie în software pentru reîncărcabil sau ne-reîncărcabil, controlul ON/OFF al difuzorului și setarea alarmei sunt alte caracteristici importante. De asemenea, unitatea oferă funcții precum calibrare pe trei puncte, mod de economisire a energiei și mod de salvare a datelor.

GMC-320Plus GMC-320 Plus Geiger counter radiation monitor

Price:

US\$116.00 CAD\$160.08 Euro€110.2 GBP£98.6

List Price US\$149.00 ~ You save US\$33.00
Visits: 272953

1

add to shopping basket

Add to wish list



Figură 8: Poza cu GMC-320 Plus de pe un site al producătorilor[9]

RadEye™G20-ER10 X-Ray and Gamma Survey Meters este un dispozitiv avansat pentru măsurarea și monitorizarea radiațiilor, conceput pentru a satisface cerințele din diverse domenii, cum ar fi apărarea civilă, serviciile de pompieri, spitalele, industria nucleară și farmaceutică.

Acesta vine echipat cu un detector tip pancake GM cu filtru multi-element, asigurând o sensibilitate ridicată și o precizie excelentă în măsurătorile de radiație. Cu o gamă largă de energie, de la 17 keV până la 3 MeV conform standardului IEC 60846-1 (2009), și cu un interval de măsurare cuprins între 0.01 $\mu\text{Sv/h}$ și 100 mSv/h, acest dispozitiv este capabil să detecteze și să măsoare o varietate de surse de radiații gamma și raze X.

- **Sensibilitate:** 0.01 $\mu\text{Sv/h}$ până la 2 mSv/h
- **Limită superioară a ratei de doză:** 100 mSv/h (10 rem/h)
- **Interval de energie:** 17 keV până la 3 MeV ($\pm 30\%$)
- **Interval de temperatură de operare:** -20°C până la +50°C
- **Tipul de detector:** GM tip pancake cu filtru multi-element
- **Linearitate:** +/- 10% în intervalul de măsurare
- **Limita de rată a dozei:** 100 mSv/h (10 rem/h)



Thermo Scientific™ RadEye™ G20-10 and G20-ER10 X-Ray and Gamma Survey Meters

Protect nuclear medicine personnel and nuclear facility employees with gamma survey meters for continuous monitoring of external or ambient ionizing radiation fields.

\$2240.00 - \$2580.00

Specifications

Sensitivity	0.01 $\mu\text{Sv/h}$ to 2 mSv/h
Certifications/Compliance	Designed to meet and exceed IEC 60846-1.
Energy Range	17 keV to 3 MeV ($\pm 30\%$); 17 keV to 3.0 MeV according to IEC 60846-1 (2009)
Display Type	Backlit LCD
Battery Type	2 AAA

[View More Specs](#)

Figură 9: Poza cu RadEye G20-ER10 X-Ray Plus de pe un site al producătorilor[10]

3 ARHITECTURA HARDWARE

3.1 PREPROIECTARE CONTOR GEIGER

Într-o primă etapă, am început să realizez proiectul pas cu pas, pentru a mă asigura că voi avea un rezultat practic și funcțional pentru lucrarea de licență. Am decis să pornesc de la un concept cât mai simplu, pe care să-l dezvolt și să-l îmbunătățesc treptat. În continuare, voi descrie modul în care am realizat fiecare modul în parte pentru prototip, conform Figuri 3.

3.1.1 Sursă de alimentare

Pentru acest modul, am dorit să fie portabil și independent de alimentarea de la priză, deși aceasta ar fi simplificat obținerea tensiunilor mari necesare polarizării tubului GM. Astfel, l-am conceput să funcționeze pe baterii.

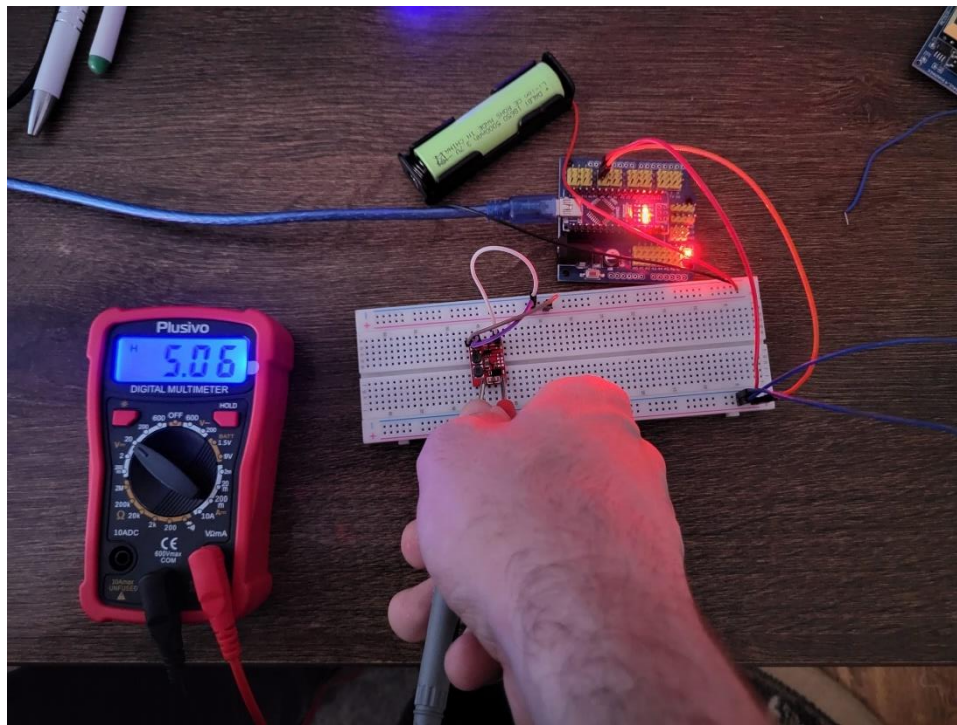
Am ales să folosesc un acumulator LiPo 18650 de 3,7 V și 5000 mAh[12], în locul bateriilor AAA obișnuite sau a unei baterii de 9 V. Acest acumulator oferă un compromis perfect între dimensiuni compacte și capacitatea mare de 5000 mAh, ideal pentru un modul portabil. Astfel, contorul poate funcționa pentru perioade lungi de timp fără a necesita reîncărcări frecvente, asigurând o utilizare eficientă și de lungă durată.

Pentru încărcarea acestui acumulator, am ales să folosesc un modul TP4056[13]. Acesta este capabil să alimenteze în regim de curent constant, urmat de regim de voltaj constant până la atingerea tensiunii de 4.2V. Printre funcțiile sale se numără reglarea termică, protecția acumulatorului, reîncărcarea automată și monitorizarea stării de încărcare. Modulul de asemenea se remarcă prin dimensiunile reduse și compatibilitatea cu USB-C pentru alimentare.

Următoarea componentă din acest modul este ridicătorul de tensiune MT3608[14]. Acesta este un convertor step-up folosit deoarece toate celelalte componente din modul necesită o alimentare stabilă de 5V. MT3608 este capabil să crească tensiunea de la o valoare de intrare cuprinsă între 2V și 24V la o tensiune de ieșire ajustabilă de până la 28V. De asemenea, include protecție la subtensiune (Under Voltage Lockout), limitare de curent și protecție la supratemperatură, fiind capabil să ofere până la 2A.

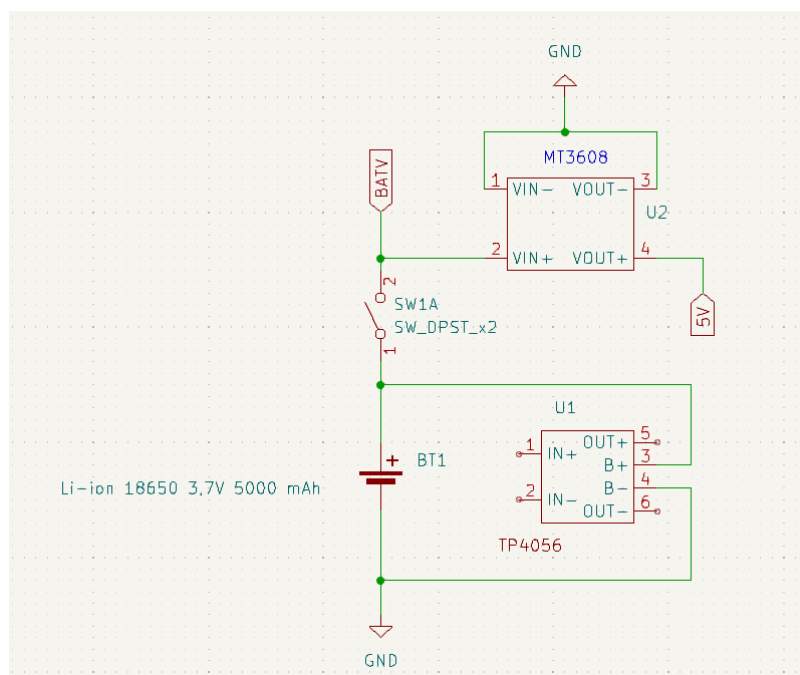
Inițial, am considerat OKY3501-5 ca o alternativă pentru MT3608. OKY3501-5 este un convertor step-up capabil să ridice o tensiune de intrare între 2.5V și 15V la o tensiune stabilă de 5V. Cu toate acestea, am decis să folosesc MT3608 deoarece acesta poate furniza până la 2A, în timp ce OKY3501-5 oferă doar până la 600mA.

Figură 10: Testarea modului OKY3501-5 cu alimentare de la acumulator



Pe lângă aceste componente, modulul mai dispune de un switch on/off pentru a putea porni și opri alimentarea, precum și de un suport de baterii compatibil cu acumulatorul 18650.

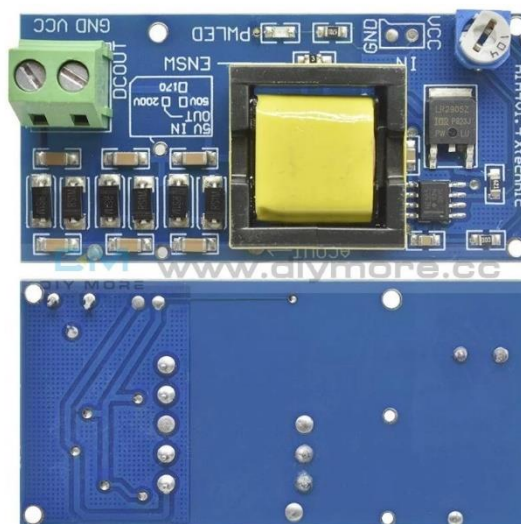
BATV reprezintă un semnal ce este luat mai departe la Arduino pentru a putea vedea cât de plin este acumulatorul.



Figură 11: Schema modului de alimentare

3.1.2 Generator de tensiuni înalte

Următorul modul important din proiect este cel responsabil pentru generarea tensiunilor înalte. Pentru aceasta, am ales să folosesc un modul DC-DC High Voltage Boost Converter, care poate transforma tensiuni de la 3-5 V până la 1 kV. Deoarece nu este disponibil un datasheet pentru acest modul, a trebuit să deduc singur principiul general de funcționare.



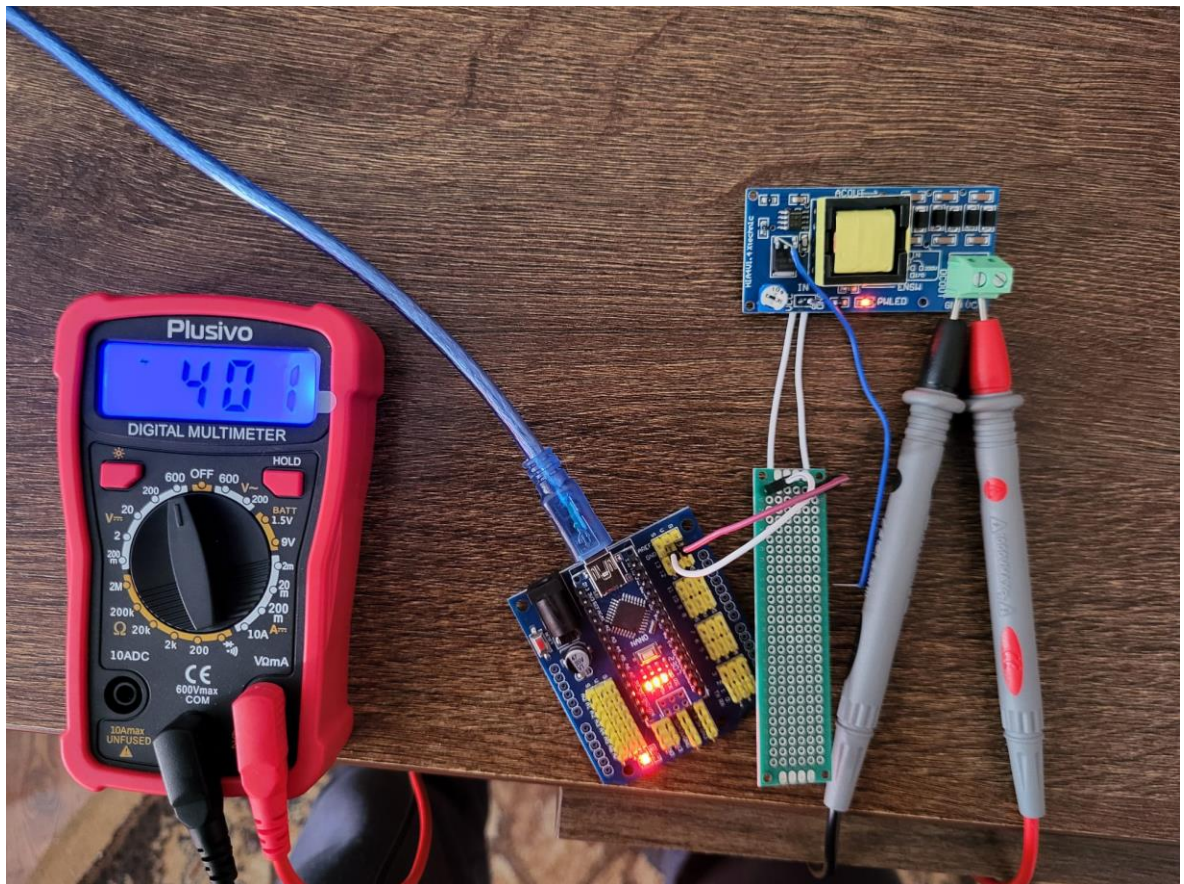
Figură 12: Poza cu modulul [15]

Obținerea tensiuni finale se realizează prin câțiva pași, un oscilator NE555 este setat să funcționeze în mod astabil, ceea ce înseamnă că va produce un semnal pătrat continuu la o

anumită frecvență în funcție de valorile R_1 , R_2 și C_1 . Oscilatorul va produce un semnal oscilant la pinul 3, unde semnalul oscilează între două niveluri logice la o anumită frecvență. Oscilatorul este aplicat la un tranzistor LR2905 cu ajutorul unei rezistențe.

Tranzistorul LR2905 acționează ca un switch care este aprins și stins de semnalul oscilant al NE555. Când este închis, lasă curentul să treacă prin înfășurarea primară a unui transformator QS-500. Când curentul trece prin aceste înfășurări, acesta creează un câmp magnetic variabil care induce tensiune în înfășurarea secundară. Tensiunea indusă este crescută datorită raportului de transformare al QS-500 și este adusă la circuitul de multiplicare a tensiunii.

Acest circuit folosește 6 diode și 6 condensatori în topologia Cockcroft-Walton pentru a mări tensiunea. Tensiunea înaltă este redresată și adusă pe un condensator unde se stochează. Această tensiune stocată este adusă la alt condensator cu ajutorul unei diode care crește tensiunea. Acest proces continuă pentru cele 6 etape adăugând tensiune până se ajunge la tensiunea de 400V-1000V.



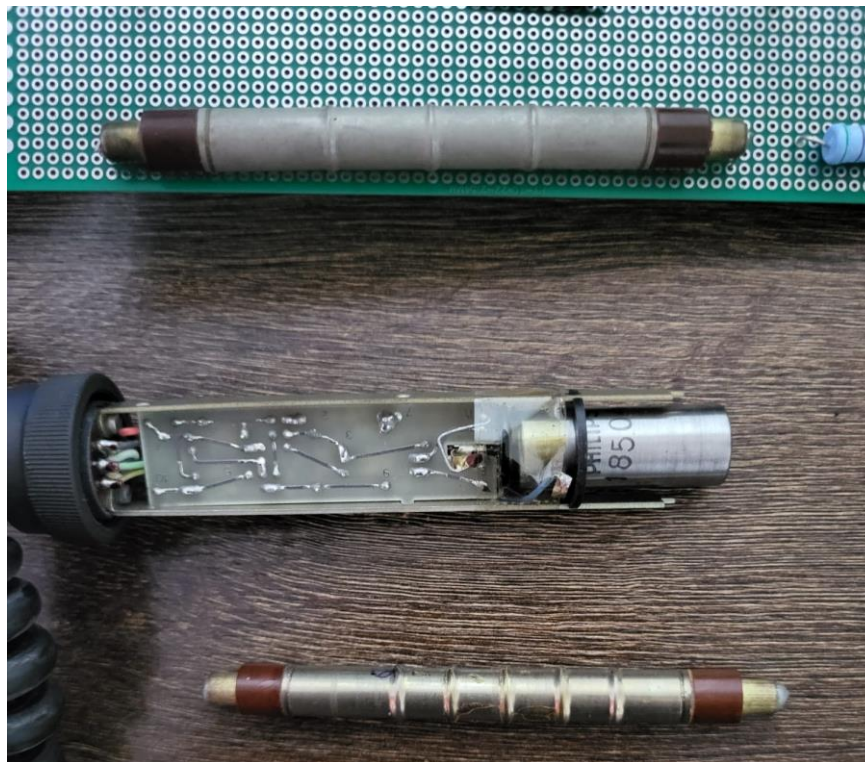
Figură 13: Testarea modului de tensiuni înalte

3.1.3

Tub GM

Pentru acest proiect, am decis să fac măsurători pe trei tipuri diferite de tuburi: STS-5, SBM-20 și Philips-18504. Toate aceste tuburi necesită o alimentare între 360 și 450 V, împreună cu o rezistență anodică cu valori între 5.1[19] și 10[20] M Ω .

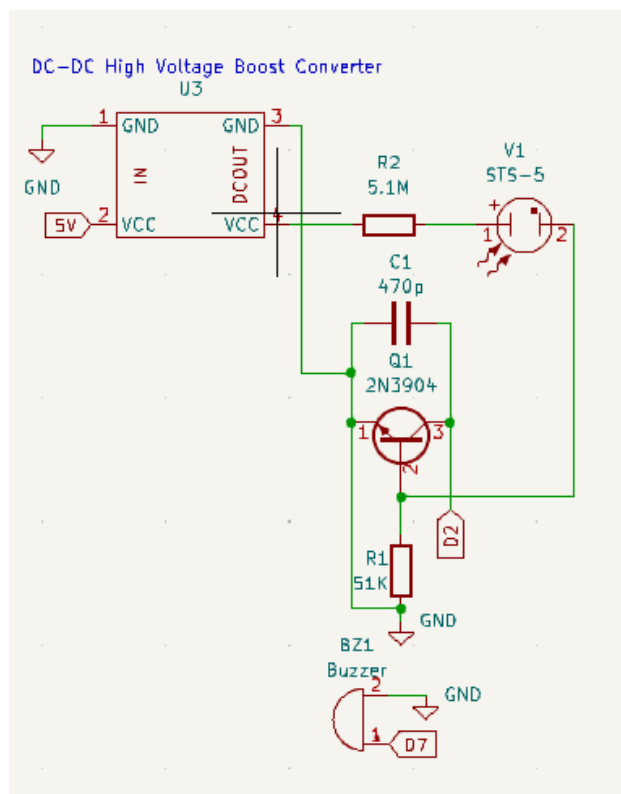
Pentru a testa funcționalitatea unui tub, se folosește de obicei un osciloscop, dar, deoarece nu am avut unul la dispoziție, am recurs la o altă metodă. O alternativă pentru a verifica funcționarea tubului este utilizarea unui cablu audio jack de la o pereche de căști. Atunci când tubul este alimentat, se conectează jack-ul la anodul tubului și, dacă acesta funcționează corect, impulsurile vor fi auzite în căști. Am aplicat această metodă și astfel am putut determina dacă tuburile funcționează.



Figură 14: Poza cu STS-5, Philips-18504 împreună cu o sonda și SBM-20

3.1.4 Amplificator

Deoarece tubul Geiger-Müller nu se poate conecta direct la Arduino Nano, am folosit un circuit cu un condensator, tranzistor și rezistență pentru a prelucra semnalul astfel încât să poată fi recunoscut de Arduino.



Figură 15: Schema modului de HW, tub GM și amplificare

Condensatorul ceramic de 470 pF, cu o tensiune de 50 V, este utilizat pentru filtrarea impulsurilor scurte de tensiune generate de tubul GM atunci când detectează radiații, permițând doar trecerea impulsurilor de tensiune utile.

Tranzistorul NPN 2N3904[21] acționează ca amplificator de semnal și comutator electronic. El amplifică impulsurile de tensiune de la tubul GM și le transformă în semnale suficiente pentru a activa buzerul și pentru a fi citite de Arduino Nano.

În ceea ce privește **rezistența**, având în vedere că folosesc o rezistență de 5.1 MΩ (R1) pentru tub și doresc ca la Arduino Nano să ajungă cel puțin 3,6 V (V_{D2}) pentru a putea fi detectat, a fost necesar să calculez valoarea acestei rezistențe.

$$V_{D2} = V_{in} * \frac{R1}{R1+R2} \quad (1)$$

unde:

- V_{in} este tensiunea de intrare (tensiunea generată de tubul GM, care este de 400 V).
- R1 este rezistența de la baza tranzistorului la masă (care trebuie calculată).
- R2 este rezistența de la tubul GM la baza tranzistorului (5 MΩ).
- V_{D2} valoarea minima pentru high(3,6V)

$$3.6V = 400V * \frac{R1}{R1+5M\Omega} \quad (2)$$

$$\frac{R1}{R1+5M\Omega}=0.009(3)$$

$$3.6(R1+5000000)=400R1(4)$$

$$3.6R1+18000000=400R1(5)$$

$$18000000=396.4R1(6)$$

$$R1 \approx 45407.67\Omega (7)$$

$$R1 \approx 45K\Omega(8)$$

Dar din moment ce nu am aceasta valoare la dispoziție o sa folosesc o rezistenta standard de 51k Ω , deoarece :

$$V_{out} = V_{in} * \frac{R1}{R1+R2}(9)$$

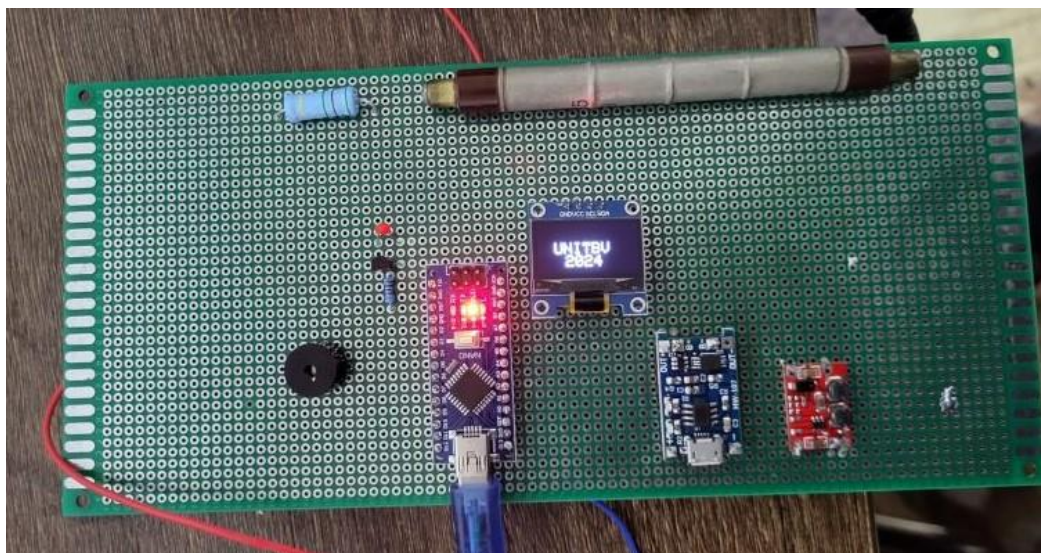
$$V_{out} = 400V * \frac{51k\Omega}{51K\Omega+5000K\Omega}(10)$$

$$V_{out} = 4.04V(11)$$

3.1.5 Procesor & Display

Pentru această secțiune a proiectului, am ales să utilizez un Arduino Nano, care dispune de un microcontroller ATmega328. Acest microcontroler mi-a permis să implementez următoarele funcționalități:

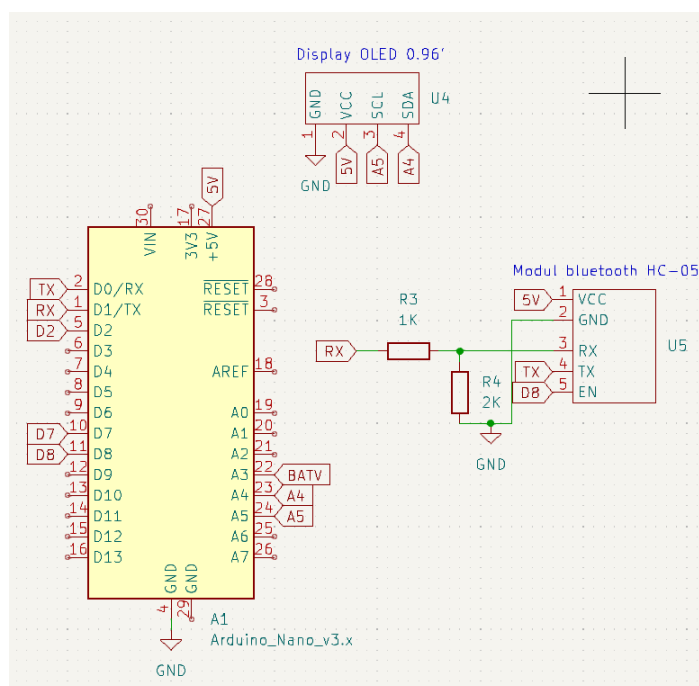
- Afișarea numerică a impulsurilor primite de la tub pe un ecran OLED de 0.96"[23], precum și a nivelului de energie a acumulatorului.
- Generarea unui sunet la detectarea unui impuls folosind un buzzer.
- Transmiterea datelor culese de la tub către o aplicație de telefon prin intermediul unui modul Bluetooth HC-05[24].



Figură 16: Poza cu modulul OLED funcțional

OLED-ul este conectat folosind interfața I2C, cu pini SDA și SCL conectați la A4 și A5 pe Arduino. Modulul Bluetooth HC-05 este alimentat cu 5V și GND de la Arduino. Comunicarea se face prin intermediul pinilor RX și TX, pinul de EN este conectat direct la pinul D8 de la Arduino. TX al HC-05 este conectat direct la RX pe Arduino, iar pinul RX al HC-05 care necesită un divizor de tensiune deoarece funcționează la 3.3V, este conectat la TX de la Arduino, printr-un divizor de tensiune format din R3 și R4. BATV este conectat la A3 pentru a măsura tensiunea bateriei prin modulul TP4056, care gestionează încărcarea bateriei.

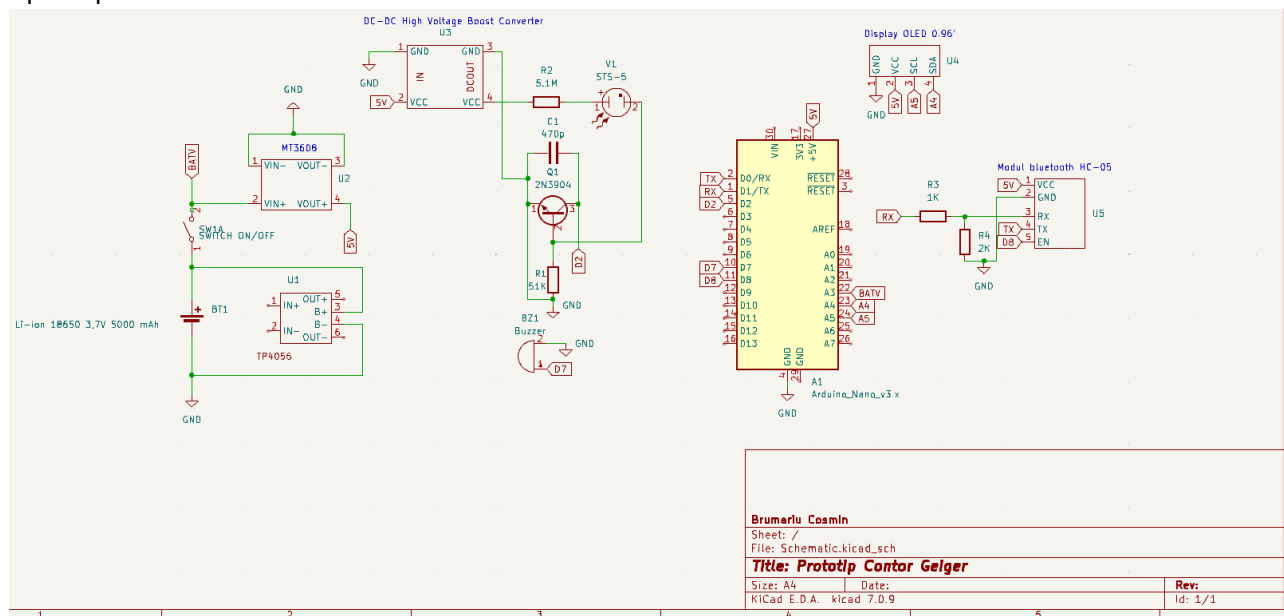
Pinul D2 este folosit pentru a primi impulsurile de la tub prelucrate, iar D7 este folosit pentru a controla buzerul. Modulul Bluetooth va transmite datele pe un o aplicație numită arduino Bluetooth controller



Figură 17: Schema modului de Procesare & Display

3.1.6 Asamblare finală

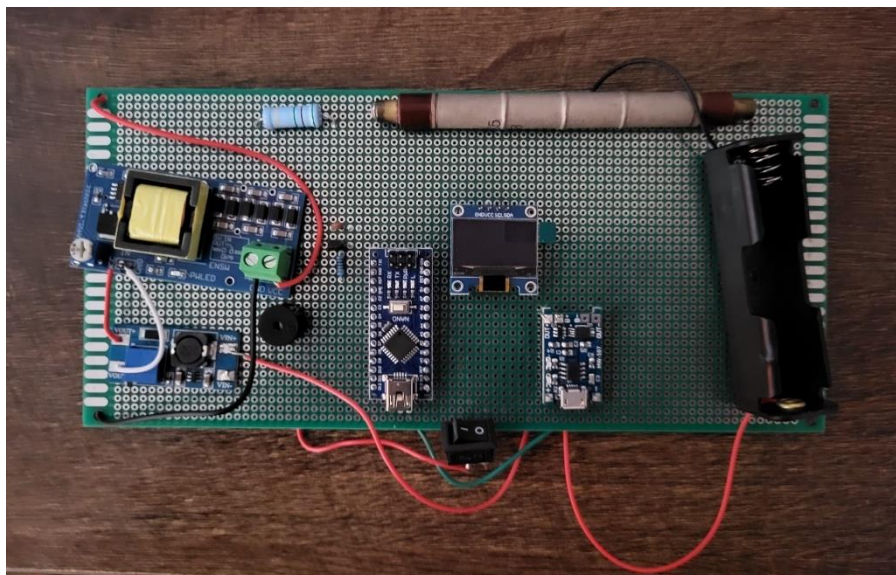
Într-o prima faza , după ce am stabilit schema si am testat modulele, am început sa lipesc toate componentele direct pe un PCB , nu am folosit un breadboard deoarece el nu este optim pentru tensiuni înalte.



Figură 18: Schema prototip cu toate modulele

Prima versiune a prototipului a fost realizată folosind componente through-hole, iar conexiunile au fost făcute cu fire izolate pentru stabilitate și siguranță. Din păcate, această primă versiune a fost un eșec deoarece am asamblat circuitul fără să verific mai întâi modulele.

Figură 19: Poza cu prima versiune a prototipului -fata

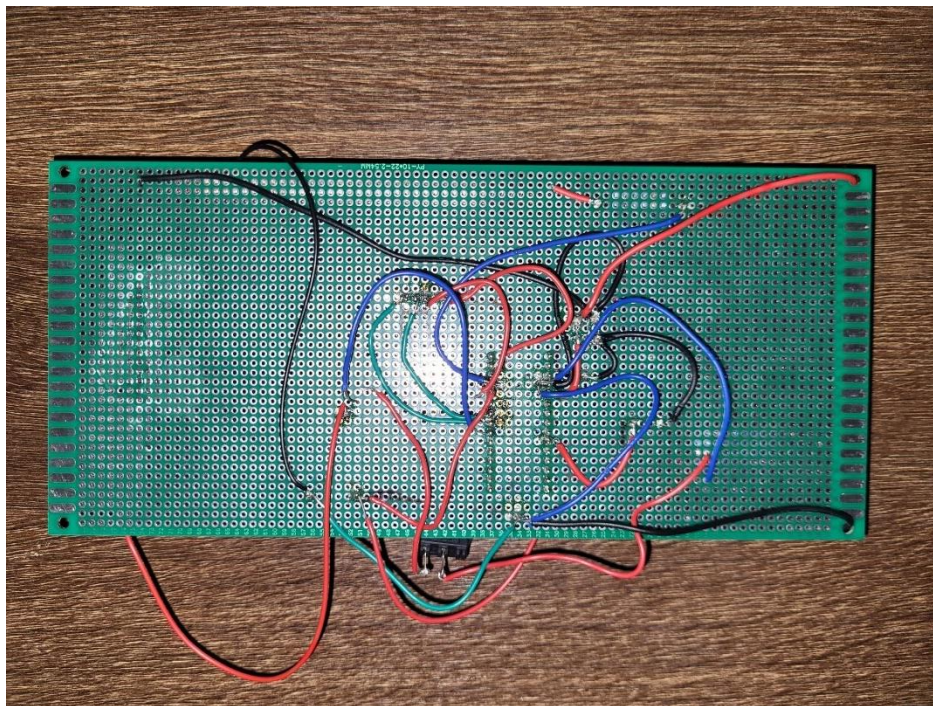


Pentru această versiune, am realizat direct lipiturile și, după ce am alimentat circuitul, acesta a funcționat pentru câteva momente, totul părând să fie corect funcțional. Cu toate acestea, circuitul s-a oprit brusc și am simțit un miros de ars. Inițial, am crezut că modulul de ridicare a tensiunii MT3608 era setat la o valoare mică implicit și am considerat că este acceptabil să-l reglez în timpul alimentării, după, măsurând tensiunea de ieșire, am realizat că aceasta era de aproximativ 15-16 V, ceea ce a ars aproape instantaneu modulul generator de tensiuni înalte și Arduino Nano.

In a doua versiune a prototipului, am decis să nu mai pierd timp cu lipituri și să folosesc un breadboard pentru conectarea componentelor cu ajutorul firelor jumper. De asemenea, pentru a realiza măsurători și a testa și modifica mai ușor codul, am decis să alimentez circuitul direct de la un Arduino Nano. După ce am realizat conexiunile, totul părea să funcționeze, dar displayul OLED nu se aprindea.

Figură 20: Poza cu prima versiune a prototipului -spate

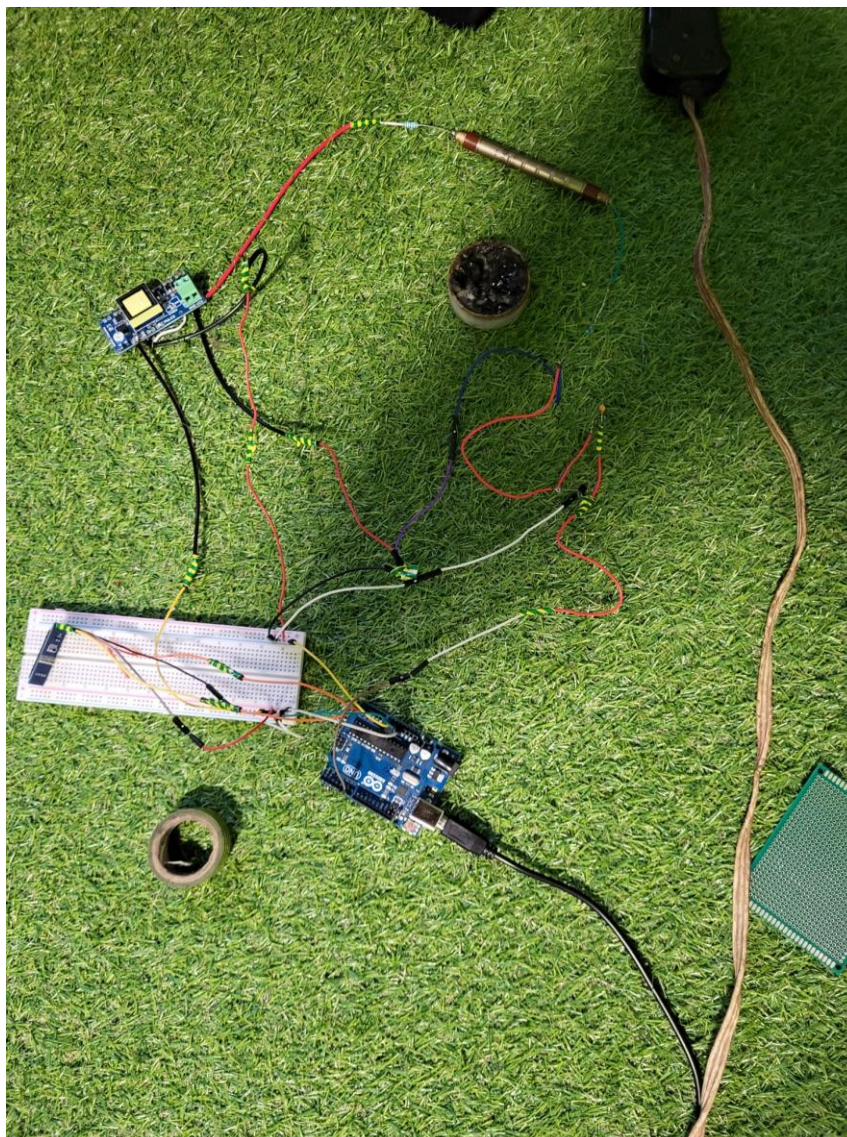
Am verificat continuitatea firelor și valorile de alimentare cu un multimetru și am ajuns la



concluzia că Nano nu poate alimenta întregul circuit. Astfel, am decis să încerc cu un Arduino Uno, unde totul funcționa perfect. După ce am realizat conexiunea și s-a aprins OLED-ul, am întâmpinat o nouă problemă: tensiunea de pe pinul D2 era mult prea mică pentru a fi recunoscută, aproximativ 200 mV. Am schimbat valorile rezistenței R1 de la 10K la 51K și apoi la 100K, dar tensiunea nu s-a schimbat semnificativ.

Soluția care ne-a venit în minte a fost să folosim un amplificator AD620[41], MICROVOLT, 3-12VDC, care îl aveam la îndemână, el fiind capabil de o amplificare de la 1.5 până la 1000 ori. După montarea amplificatorului și ajustarea potențiometrului, am constatat că acesta nu putea amplifica tensiunea dorită de noi, reușind să amplifice doar de 13-14 ori,

obținând o tensiune de aproximativ 3V, insuficientă pentru necesitățile noastre. Am ajuns la concluzia că amplificatorul era probabil defect fie de la început, fie în timpul lipirii pinilor.



Figură 21: Poza cu versiunea 2 a prototipului

După acest eșec, am decis să verificăm încă o dată fiecare conexiune a circuitului și să măsurăm valoarea tensiunilor la diverse componente. Când am ajuns la circuitul pentru detectarea și prelucrarea impulsurilor și am analizat tranzistorul, ne-am dat seama că ceva nu era în regulă. După câteva măsurători, am concluzionat că tranzistorul nu era conectat corect, emitorul și colectorul fiind inversate. După ce am corectat această eroare, am reușit în final să obținem un semnal suficient de mare pentru a fi recunoscut de Arduino.

Datorită faptului că am lăsat montajul pornit pentru câteva ore în timp ce realizam diverse măsurători și efectuăm modificări la cod, am observat că, în momentul în care am reușit să-l fac funcțional și să număr impulsurile, acesta a funcționat doar pentru o perioadă scurtă de timp. La un moment dat, afișajul a încetat brusc să mai înregistreze creșterea impulsurilor. După

o verificare atentă a circuitului, am ajuns la concluzia că tranzistorul folosit s-a defectat. După înlocuirea acestuia, proiectul ar trebui să funcționeze din nou corect.

3.1.7 Curent necesar funcționări

În acest circuit cam acesta ar fi consumul aproximativ componentelor conform specificațiilor:

- Generarea unui sunet la detectarea unui impuls folosind un buzzer.
- MT3608 = 2.2 mA (curentul maxim la PWM)
- TP4056 = 0.5 mA(în mod de încărcare ,worst-case scenario)
- Arduino Nano V3 = 19 mA(aproximativ în mod activ)
- Display OLED = 20mA
- Bluetooth Module HC-05 = 40mA(curentul maxim în pairing)
- Buzer pasiv = 20mA
- Tubul STS-5 , tranzistorul și switch-ul au un consum foarte mic , aproape nesemnificativ

Adunându-le pe toate obținem:

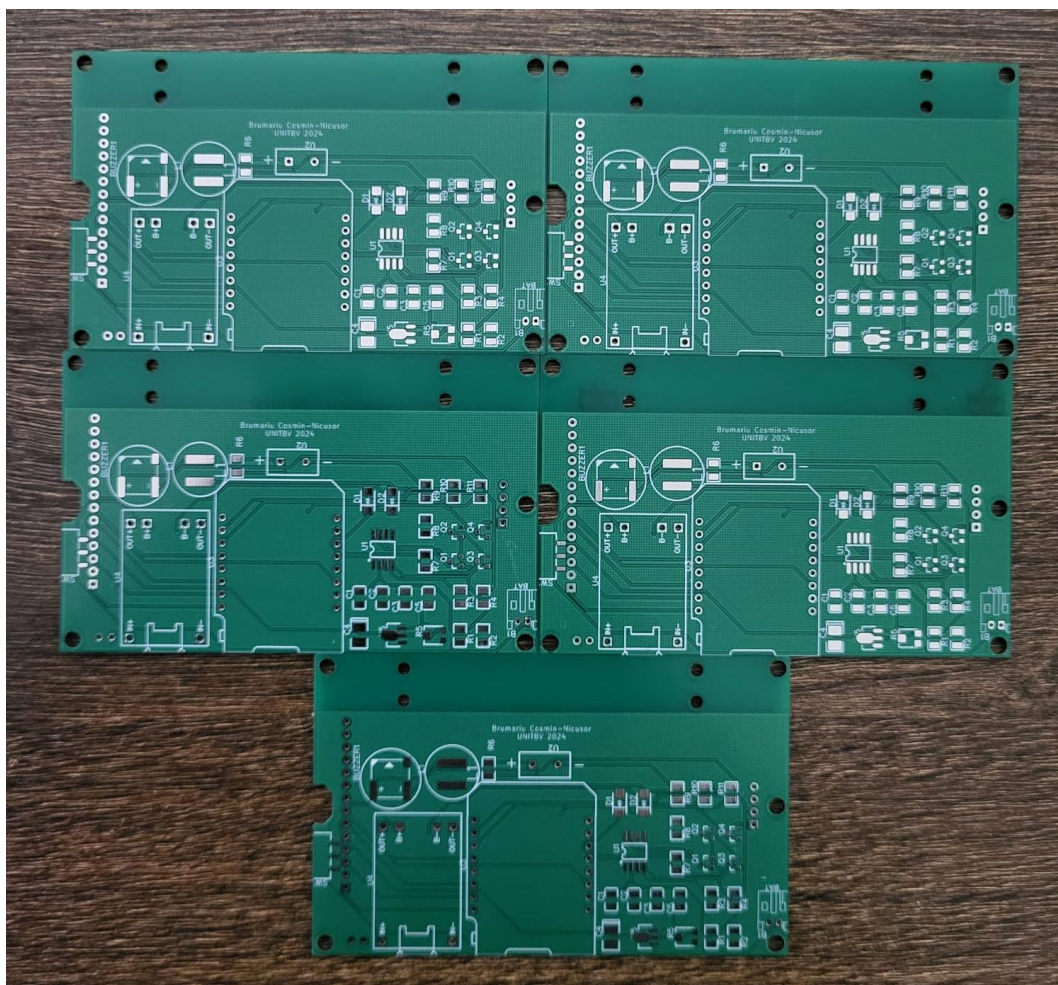
$$2.2\text{mA}(\text{MT3608}) + 0.5\text{mA}(\text{TP4056}) + 19\text{mA}(\text{ArduinoNano}) + 20\text{mA}(\text{DisplayOLED}) + 40\text{mA}(\text{BluetoothHC-05}) + 20\text{mA}(\text{BuzzerPasiv}) = 101.7\text{mA}$$

Durata de funcționare poate fi calculată în următorul fel:

$$\text{Durata(ore)} = \frac{\text{Capacitatea acumulatorului(mAh)}}{\text{Curentul consumat(mA)}} \quad (12)$$

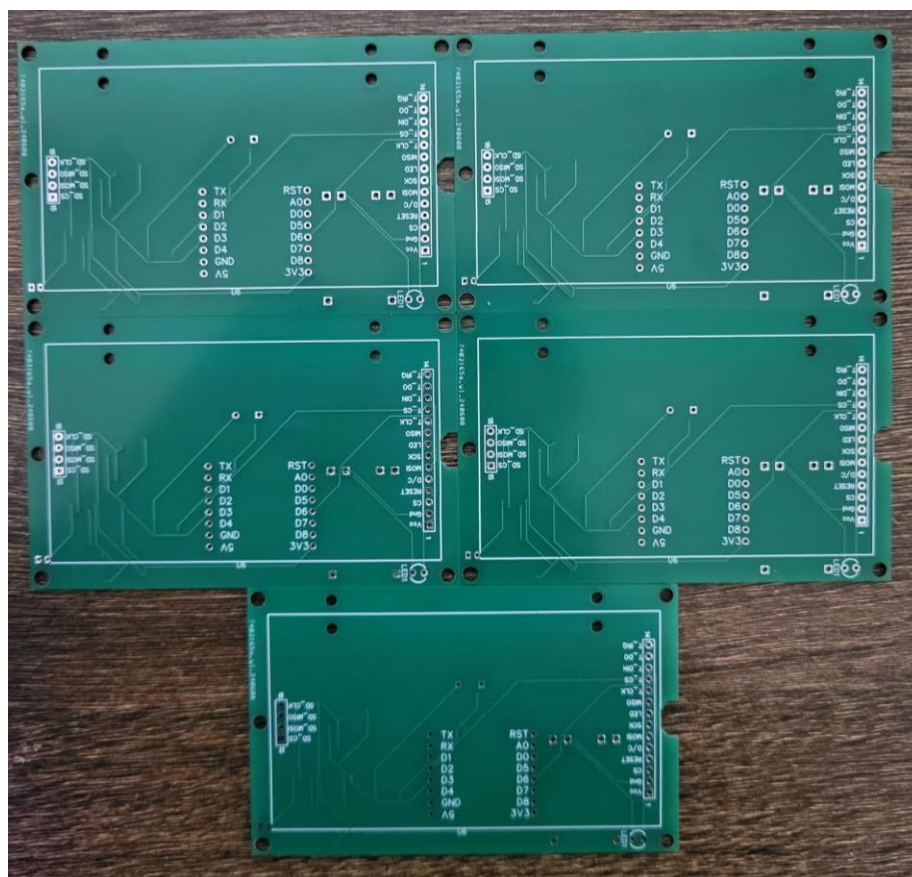
$$\text{Durata(ore)} = \frac{5000\text{mAh}}{101.7\text{mA}} \approx 49.15 \text{ ore} \quad (13)$$

3.2 PROIECTARE CONTOR GEIGER



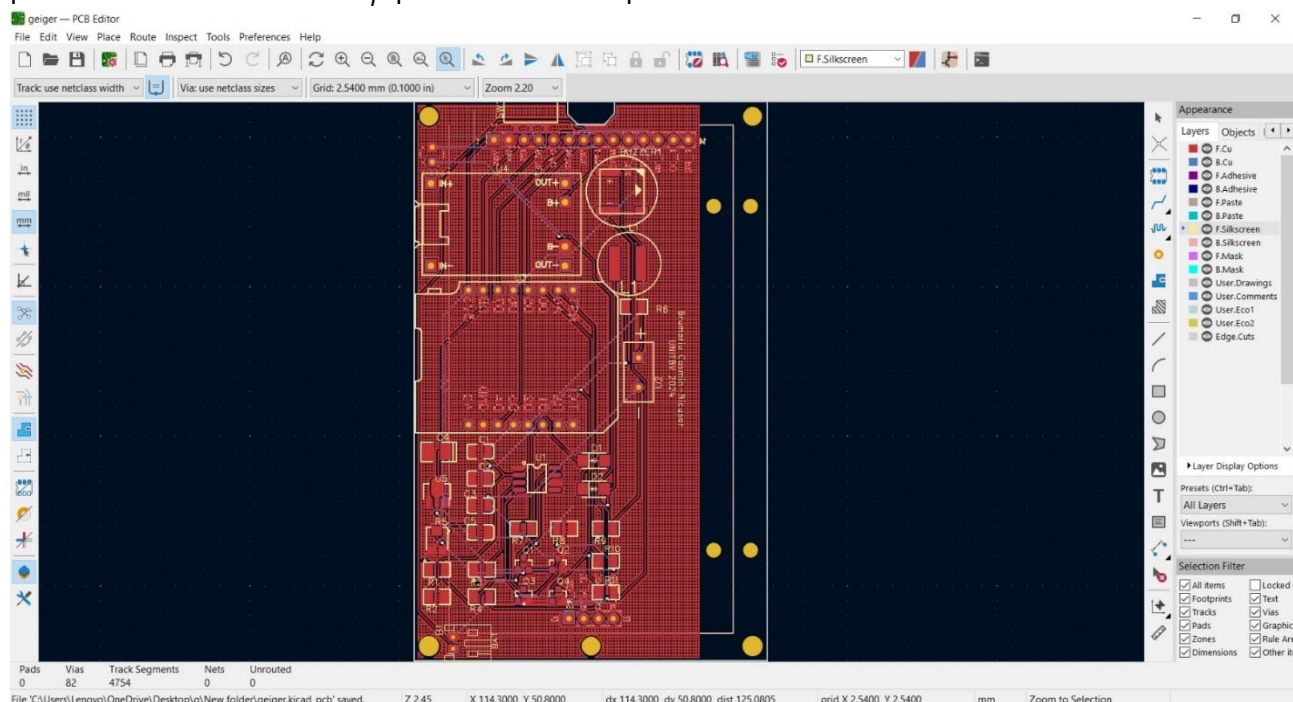
Figură 22: Poza cu PCB-ul comandat -fata

Pentru versiunea finală a acestui proiect, am ales să folosesc un PCB comandat de la JLCPCB, de această dată cu componente SMD, pentru a face modulul cât mai compact, eficient și estetic plăcut.



Figură 23: Poza cu PCB-ul comandat -spate

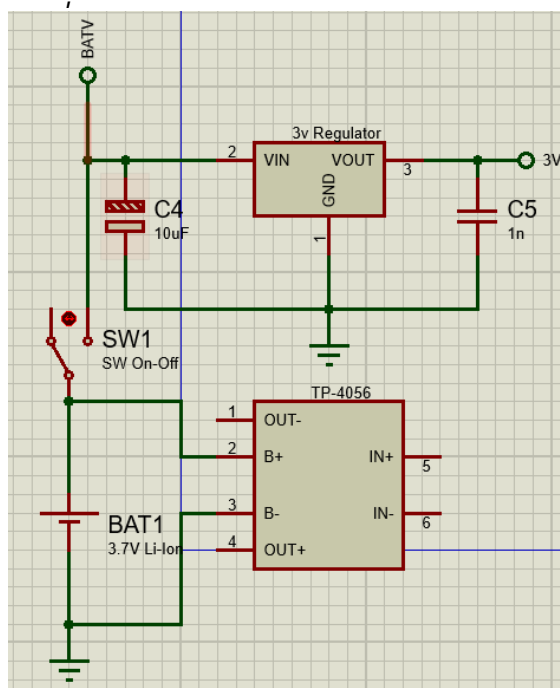
Schema PCB-ului a fost realizată în KiCad, un program pe care îl prefer datorită experienței anterioare în proiectarea de PCB-uri și datorită funcționalităților sale extraordinare pentru crearea de scheme și plăci de circuit imprimate.



Figură 24: Schema PCB-ului realizată în KiCad

3.2.1 Sursă de alimentare

Sursa de alimentare la versiunea finala , e foarte asemănătoare cu cea de la prototip diferența fiind ca aici am folosit un circuit integrat care poate regla tensiunea de la acumulatorul Li-ion 18650[12] care oferă 3,7 V la 3 V[25] si adăugarea a 2 condensatori[26][27] pentru filtrarea zgomotului si a fluctuațiilor frecventelor.



Figură 25: Schema modului de alimentare

3.2.2 Generator de tensiuni înalte

Pentru acest modul am încercat sa îl realizez eu, folosind ca inspirație modulul ce l-am folosit la prototip[15][11] si exemplul dat mai sus.

Ca si in modulul de la prototip am folosit un oscilator TLC555[28] , in configurație astabila el funcționează ca un oscilator care generează un semnal PWM (modulat în lățime de puls) continuu pe pinul de ieșire (OUT). În această configurație, nu există o stare stabilă, iar circuitul comută continuu între cele două stări instabile, producând astfel o formă de undă de ieșire.

La începutul ciclului, ieșirea (OUT) este la tensiune joasă (aproape de 0V). C1[26] începe să se încarce prin R2[29] și R4[30], iar tensiunea pe C1 crește exponențial. Când tensiunea pe C1 atinge 2/3 din VCC, comparatorul intern al TLC555 schimbă starea ieșirii (OUT) la tensiune înaltă (aproape de VCC), iar pinul DISCH se conectează la masă (GND), permițând descărcarea lui C1 prin R4. Când tensiunea pe C1 scade la 1/3 din VCC, un alt comparator intern schimbă starea

ieșirii (OUT) înapoi la tensiune joasă, pinul DISCH se deconectează de la masă, iar C1 începe un nou ciclu de încărcare.

Pentru calculul **frecvenței de oscilație** folosim următoarea formula:

$$f = \frac{1.44}{(R_2 + 2 \cdot R_4) \cdot C_1} \quad (14)$$

Unde $R_2 = 220k\Omega$, $R_4 = 1k\Omega$ și $C_1 = 1nF$

$$f = \frac{1.44}{(220k\Omega + 2 \cdot 1k\Omega) \cdot 1nF} \quad (15)$$

$$f = \frac{1.44}{(220k\Omega + 2k\Omega) \cdot 1nF} \quad (16)$$

$$f = \frac{1.44}{(222k\Omega) \cdot 1nF} \quad (17)$$

$$222k\Omega \cdot 1nF = 222 \cdot 10^3 \cdot 10^{-9} = 222 \cdot 10^{-6} = 222\mu F \quad (18)$$

$$f = \frac{1.44}{222\mu F} \approx 6.49kHz \quad (19)$$

Timp de încărcare t_{on}

$$t_{on} = 0.693 \times (R_2 + R_4) \times C_1 = 0.693 \times (220k\Omega + 1k\Omega) \times 1nF = 0.693 \times 221k\Omega \times 1nF \approx 153.153\mu s \quad (21)$$

Timp de descărcare t_{off}

$$t_{off} = 0.693 \times R_4 \times C_1 = 0.693 \times 1k\Omega \times 1nF = 0.693 \times 1k\Omega \times 1nF \approx 0.693\mu s \quad (22)$$

Perioada totală T:

$$T = t_{on} + t_{off} \approx 153.153\mu s + 0.693\mu s \approx 153.846\mu s \quad (23)$$

Ciclul de lucru D:

$$D = \frac{t_{on}}{T} = \frac{153.153\mu s}{153.846\mu s} \approx 99.55\% \quad (24)$$

După în continuare, bobina L1[31] stochează energie magnetică atunci când curentul trece prin ea, când tranzistorul Q1[32] este în starea on, curentul trece prin bobină și aceasta stochează energie, iar când Q1 este în starea off, energia stocată în bobină este transferată către condensatorul de ieșire C2[33] și sarcină, crescând astfel tensiunea.

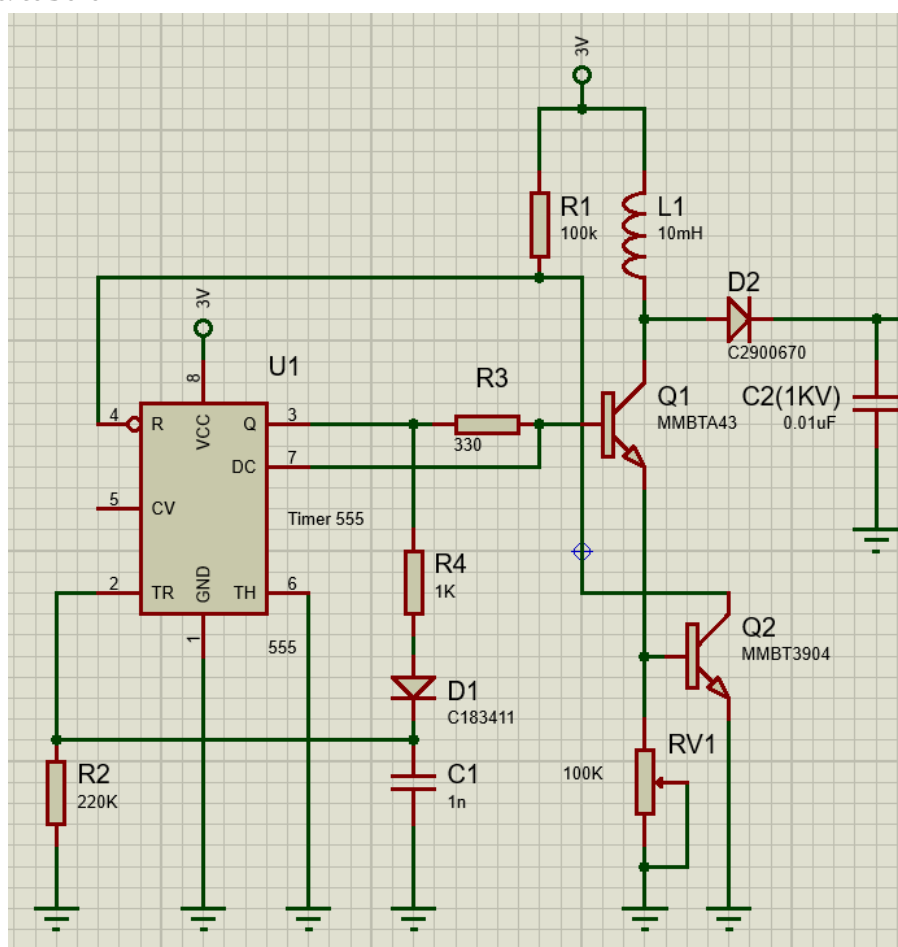
Q1 este principalul comutator în acest circuit de boost, când este activat, curentul trece prin bobină și aceasta se încarcă, iar când este dezactivat, energia stocată în bobină este eliberată către ieșire. Q2[34] este folosit pentru a amplifica semnalul de la ieșirea TLC555 pentru a controla baza lui Q1, asigurând că Q1 primește suficient curent de bază pentru a comuta rapid între stările on și off.

Mai departe ,D2[35] permite curentului să curgă doar într-o singură direcție, de la bobină către condensatorul de ieșire C2 și sarcină; când Q1 se dezactivează, dioda D2 devine conducătoare, permițând energiei stocate în bobină să se transfere către C2 și împiedicând curentul să se întoarcă în bobină atunci când Q1 este în starea on. C2 filtrează tensiunea de ieșire, reducând zgomotul și fluctuațiile, asigurând astfel o tensiune de ieșire mai stabilă și stocând energie pentru a furniza un curent constant către sarcină atunci când Q1 este în starea off; capacitatea sa mare și tensiunea de lucru înaltă sunt necesare pentru a gestiona și stabiliza tensiunea ridicată la ieșire. R3[36] limitează curentul de bază al tranzistorului Q2, protejând ieșirea TLC555 împotriva curenților excesivi care ar putea deteriora circuitul integrat și asigurând că Q2 primește suficient curent de bază pentru a comuta rapid.

Tensiunea de ieșire ideală ar trebui să fie :

$$V_{out} = \frac{3V}{1-0.9955} = \frac{3V}{10.0045} \approx 666.67V(25)$$

Deci realist , ar trebui să pot obține măcar o tensiune între 360 și 440 de V necesară pentru polarizarea tubului.



Figură 26: Schema modului de generare a tensiuni mari

3.2.3 Tub GM

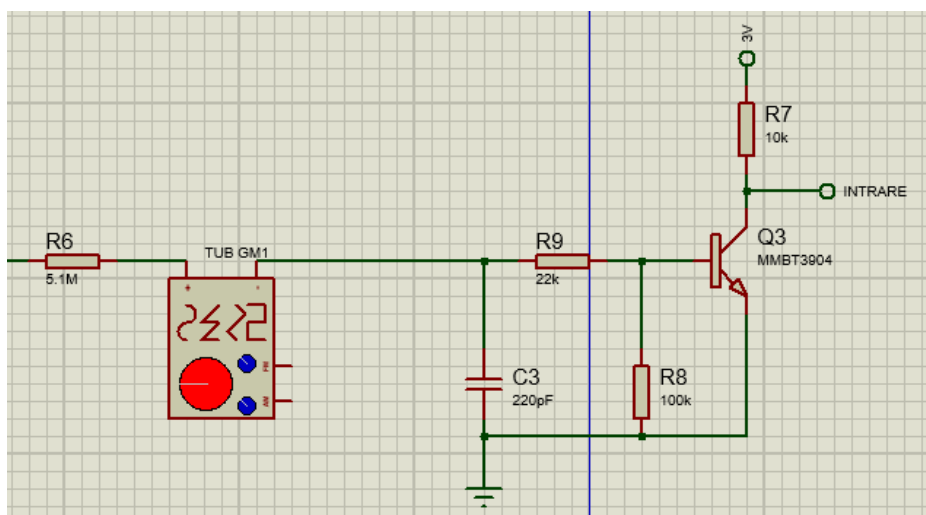
Pentru această versiune, am ales să utilizez un tub SBM-20, deoarece dispun de două astfel de tuburi și există o multitudine de informații disponibile online care mă pot ajuta cu calibrarea acestuia..

3.2.4 Amplificare

Pentru acest modul, iarăși nu m-am complicat foarte mult, asemenea la prototip, semnalele sunt luate de la tub și prelucrate puțin pentru a putea fi citite mai departe de ESP8266.

C3 filtrează zgomotul de înaltă frecvență și stabilizează tensiunea de alimentare a tubului, ajutând la formarea impulsurilor detectate de circuit; valoarea de 220pF este aleasă pentru a filtra zgomotul de înaltă frecvență și pentru a gestiona corect semnalele tranzitorii. R9[37] este un rezistor de limitare care controlează curentul prin baza tranzistorului Q3, menținând curentul de bază într-un interval sigur și eficient pentru comutare; valoarea acestuia asigură un curent de bază adecvat pentru Q3[34] fără a supraîncărca circuitul. R8[38] este un rezistor de tragere la masă (pull-down) care menține baza tranzistorului Q3 la masă în absența impulsurilor de la tubul SBM-20, prevenind comutația accidentală a tranzistorului;

R7[39] este un rezistor de sarcină pentru colectorul tranzistorului Q3, limitând curentul prin tranzistor și definind nivelul de tensiune la ieșirea INTRARE atunci când tranzistorul este on; valoarea aceasta oferă o rezistență adecvată pentru a limita curentul de colector și a permite formarea unui semnal de ieșire clar. Q3 (MMBT3904) funcționează ca un comutator activat de impulsurile de curent produse de tubul SBM-20, comutând și generând un semnal de ieșire la INTRARE atunci când un impuls este detectat; Q3 este un tranzistor NPN care comută între stările on și off în funcție de curentul de bază, generând un semnal digital clar pentru indicarea detectării unui impuls.

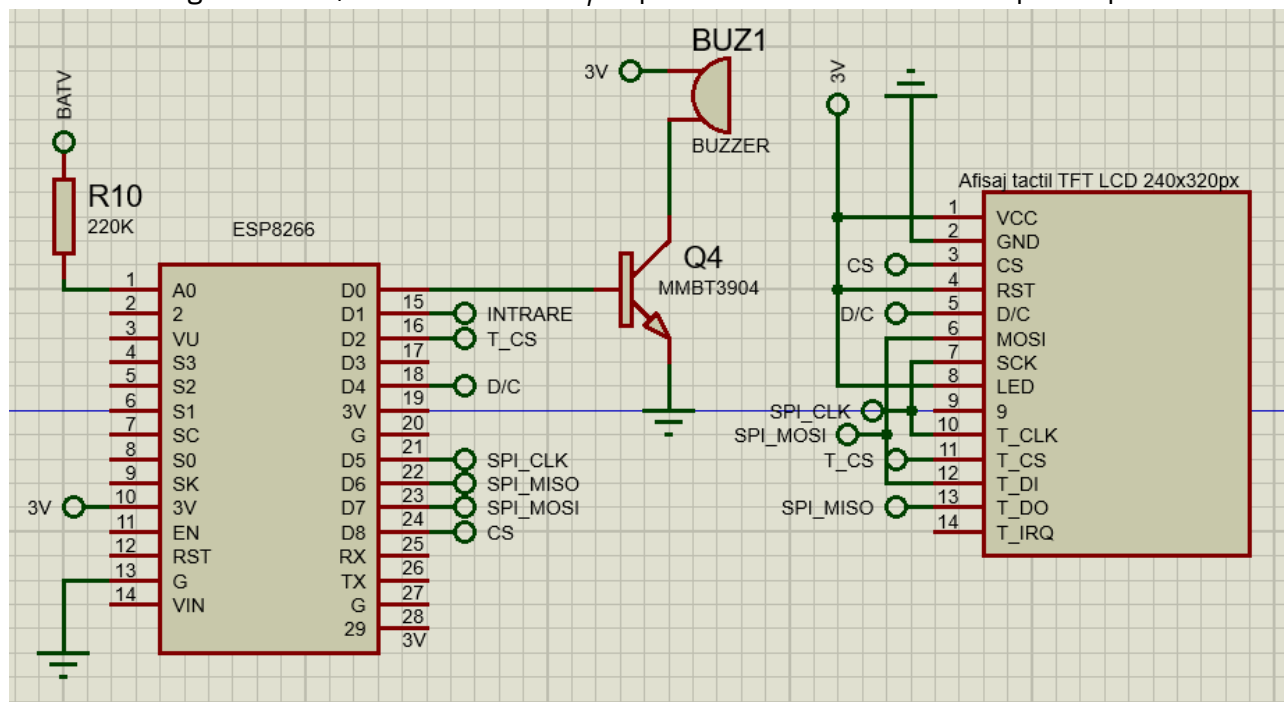


Figură 27: Schema modului Tub GM și Amplificare

3.2.5 Procesor & Display

Pentru acest modul, am decis să folosesc un ESP8266 împreună cu un ecran tactil TFT de 2.4", oferind astfel o alternativă la Arduino Nano utilizat în prototip. Am ales ESP8266 datorită conectivității Wi-Fi, care îmi permite să trimit datele către o platformă IoT, cum ar fi ThingSpeak, unde acestea pot fi vizualizate în timp real pe diverse grafice. Ecranul tactil adaugă funcționalități suplimentare în comparație cu un ecran OLED simplu, oferind o interfață mai interactivă și mai versatilă.

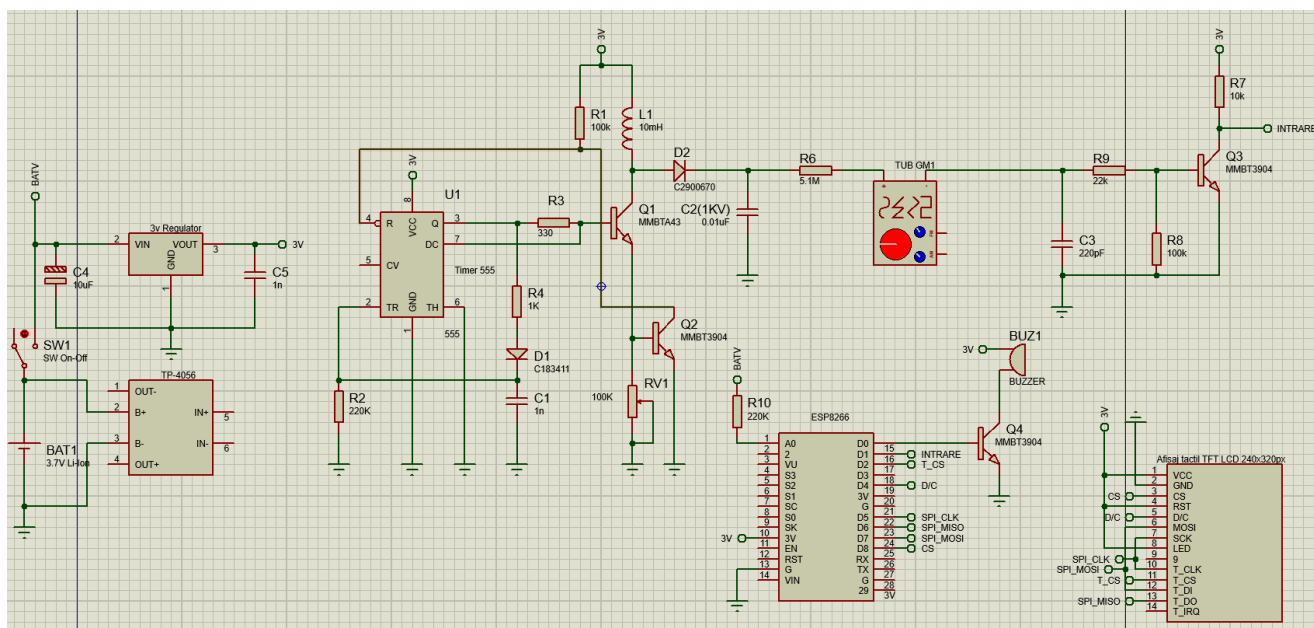
Pe lângă acestea, mai există și funcțiile pentru baterie și buzzer ca la prototip.



Figură 28: Schema modului de Procesare&Display

3.2.6 Asamblare finală

Acest PCB a fost comandat de pe JLCPSB iar componentele au fost cumpărate de pe LCSC Electronics și Farnell, lipiturile fiind făcute de mine. Am avut multe probleme la acest PCB, chiar și comandatul fost complex, întrucât a fost necesar să completez multiple documente pentru vamă. Dar cea mai greșeală a fost faptul că nu am comandat direct asamblate SMD-urile pe PCB, le-am comandat separat crezând că iese mai ieftin la preț, dar a fost chiar opusul, am ajuns să plătesc și mai mult și a trebuit să mă ocup de lipitul SMD-urilor.



Figură 29: Schema versiune finală cu toate modulele

3.3 EXPERIMENTE

În acest experiment se urmărește următoarele scopuri:

- Măsurarea numărului de impulsuri pentru un minut
- Calibrarea în mai multe unități de măsură

Pentru experimentul descris, s-a utilizat un cronometru setat la 60 de secunde, alături de un contor Geiger funcțional, dotat cu un tub SBM-20. Acesta din urmă a fost alimentat la o tensiune stabilă de 400 de volți. Acesta a fost conectat la o sursă de tensiune de 400 de volți, iar valorile înregistrate au fost monitorizate atent pe display-ul dispozitivului. Am luat 10 seturi de măsurători, pentru a avea o mai bună precizie, unde la sfârșit se va realiza o medie aritmetică.

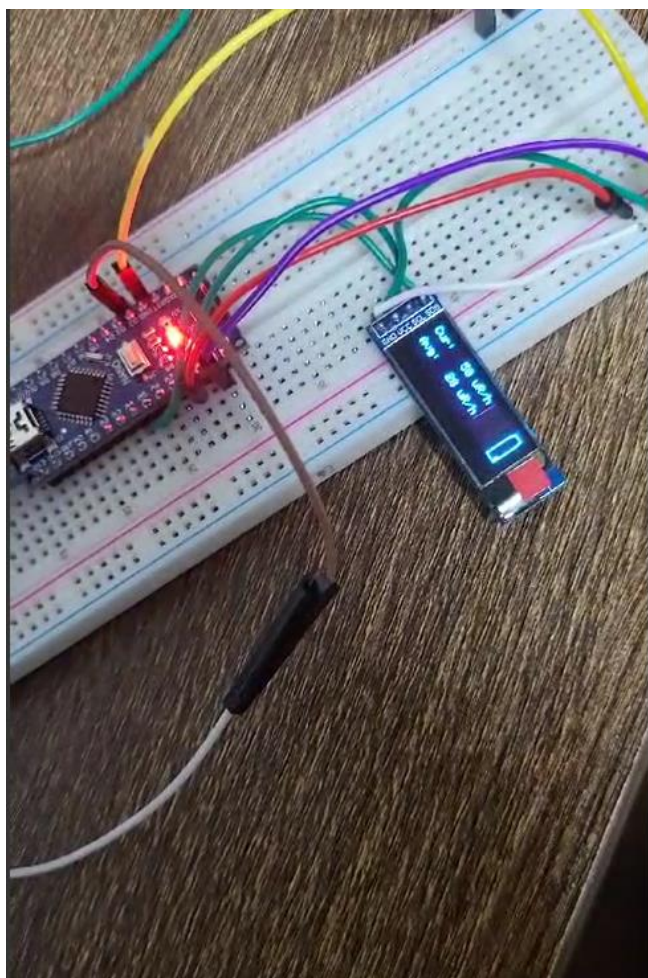
Tabel 3: Măsurători pentru radiația de fundal cu un SBM-20 și echivalentul lor în $\mu\text{Sv/h}$

Numărul Măsurători	CPM	Valori ale radiației de fundal($\mu\text{Sv/h}$)	Valoare CPM Medie	Valoarea Medie ($\mu\text{Sv/h}$)
1	54	0.43848	$\frac{522}{10}=52,2(26)$	$\mu\text{Sv/h}\approx 0.424$
2	52	0.42224		
3	52	0.42224		
4	51	0.41412		
5	49	0.39788		
6	52	0.42224		
7	53	0.43036		

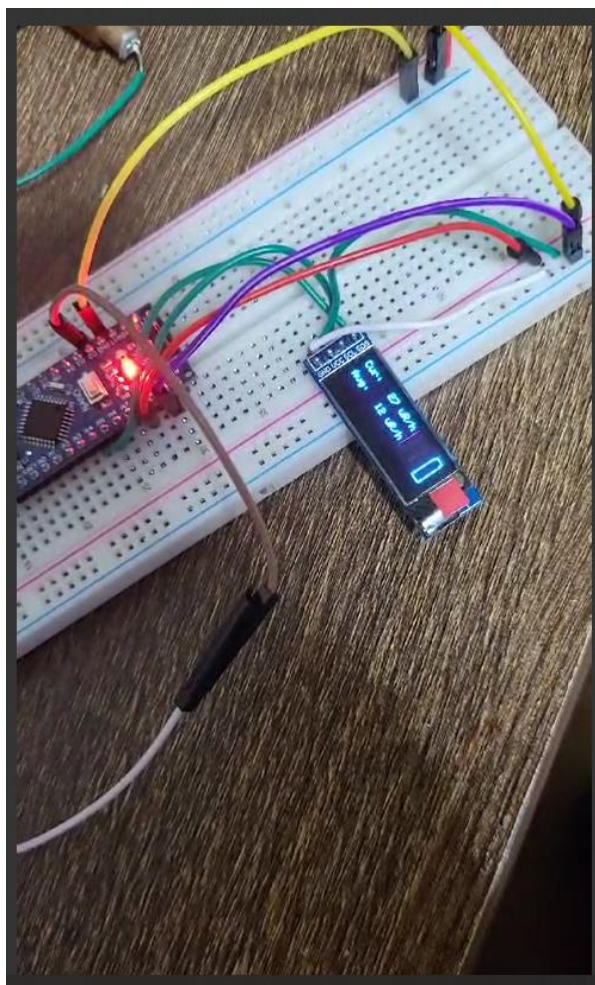
8	52	0.42224		
9	53	0.43036		
10	54	0.43848		

Conform datasheetului tubului: "

- Tip de radiație ionizantă: Gamma și beta dur
- Interval de lucru: 0.004 $\mu\text{R/s}$... 40 $\mu\text{R/s}$ (0.014 mR/h ... 140 mR/h)
- Sensibilitate gamma (226Ra): 420 cps ± 20 cps la 4 $\mu\text{R/s}$ (29 cps/(mR/h))
- Sensibilitate gamma (60Co): 315 cps la 4 $\mu\text{R/s}$ (22 cps/(mR/h))
- Sensibilitate gamma (137Cs): 240 cps ... 280 cps la 4 $\mu\text{R/s}$ (18 cps/(mR/h))
- Fundal inerent al tubului: < 1 cps"[42]



Figură 30: Poza cu contorul functional, unde se afiseaza numarul de impulsuri 50



Figură 31: Poza cu contorul funcțional, unde se afișează numărul de impulsuri 27

Un video cu contorul funcțional : <https://youtu.be/os6zo8WTCFc>

În aceste poze CUR reprezintă CPS iar AVG poate fi ignorat, el fiind pus acolo doar ca în viitor să fie înlocuit cu o unitate de doză echivalentă.

Conform informațiilor prezentate în datasheet, rata de numărare pentru radiația de fundal este de 1 CPS, ceea ce echivalează cu 60 CPM

$$1 \text{ CPS} \times 60 \text{ secunde} = 60 \text{ CPM (27)}$$

Din măsurătorile efectuate anterior, valoarea medie obținută a fost de 52,2, reprezentând aproximativ 87% din valorile teoretice menționate pentru tubul SBM-20 în condiții ideale, conform datasheet-ului.

$$\left(\frac{52.2}{60}\right) * 100 = 87\% (28)$$

Aceasta indică faptul că dispozitivul a detectat aproximativ 87% din radiațiile așteptate sub condițiile ideale specificate.

Iar dacă înmulțim aceasta valoare de 52,2 la 60 secunde, putem obține CPH, care ar fi 3132. Mai putem calcula și CPS care este egal cu 0,87

$$\left(\frac{52.2}{60}\right)=0,87 \text{ CPS}(29)$$

Pentru realizarea calibrări de la CPM la o unitate de măsura pentru doza absorbită , ea poate fi realiza în următorul fel. Prima oară , pentru o mai bună precizie vom lua media aritmetică a CPM-ului la 2 elemente , ^{226}Ra și ^{60}Co , care rezulta 25,5 CPS

$$\left(\frac{29+22}{2}\right)=25.5 \text{ CPS}(30)$$

Multiplicând aceasta valoare la 60 putem obține 1530 CPM

$$25.5 \times 60 \text{ secunde} = 1530 \text{ CPM}(31)$$

Pentru a putea calcula factorul de conversie la o sursă ca și Cs-137 , trebuie să ne întoarcem la datasheet , unde putem vedea că CPS la $4 \mu\text{R/s}$ de la o sursă de Cs-137 este între 240 și 280 de impulsuri pe secundă [44]:

Prima oară se va calcula CPS mediu la $4 \mu\text{R/s}$ de la sursa de Cs-137 .

$$\frac{240 + 280}{2} = 260 \text{ CPS} / \mu\text{R/s}(31)$$

Mai departe se va converti valorile în CPS la $1 \mu\text{R/s}$

$$\frac{260}{4} = 260 / 4 = 65 \text{ CPS} / \mu\text{R/s}(32)$$

Se va converti la CPS pentru 1 mR/s , apoi la 1 mR/h

$$65 * 1000 = 65000 \text{ CPS} / \text{mR/s}(33)$$

$$\frac{6500}{3600} = 18 \text{ CPS} / \text{mR/h}(34)$$

Apoi se va converti la CPM pentru 1 mR/h și după la $1 \mu\text{Sv/h}$

$$18 * 60 = 1080 \text{ CPM} / \text{mR/h}(35)$$

$$\frac{1080}{10} = 108 \text{ CPM} / \mu\text{Sv/h}(36)$$

$$1 \text{ CPM} = \frac{1}{108} \mu\text{Sv/h}(37)$$

Calculăm valoarea la un CPM:

$$\frac{1}{108} = 0,00926(38)$$

Astfel, pentru a converti impulsurile înregistrate de tubul SBM20 într-un minut în $\mu\text{Sv/oră}$, se va folosi formula:

$$\mu\text{Sv/h} = \text{CPM} * 0.00926(39)$$

Aceasta reprezintă valoarea dozei echivalente de radiații înregistrate de senzor – tubul SBM20.

Pentru a estima doza echivalentă de energie absorbită de corpul uman, se bazează pe modelul fantomă uman, care facilitează calculul factorilor de conversie necesari pentru a transforma o valoare în alta.

În contextul tubului SBM20, producătorul oferă specificații pentru sursa de Cs-137, indicând o sensibilitate la radiațiile gamma de 18 CPS/mR/h. În procesul de conversie, CPS este transformat în CPM pentru 1 mR/h, recalculând pentru claritate:

$$18 * 60 = 1080 \text{ CPM/mR/h}(40)$$

Aceasta valoare este apoi convertită pentru a reprezenta CPM pentru 1 R/h, rezultând 1080000 CPM/R/h. Se calculează apoi doza de expunere per CPM pentru R/h, care este de

$$\frac{1}{1080000} = 0,0000009259259259(41)$$

Se procedează la calculul kermei aeriene (Ka, energia cinetică eliberată per unitate de masă în materie) folosind formula

$$K_a [\text{Gy}] = 0.00877 [\text{Gy/R}] * \text{expunere} [\text{R}](42)$$

unde 0.00877 este coeficientul de absorbție a radiațiilor pe modelul fantomă pentru energii fotonice între 100 keV și 3 MeV.

Rezultatul este convertit în Ka[μSv],

$$0,00000000812037037 * 1000000 = 0,00812037037 \text{ Ka}[\mu\text{Sv}](43)$$

Astfel, formula pentru doza echivalentă de radiații absorbită de corpul uman pentru tubul Geiger-Muller SBM20, la o sensibilitate de 18 CPS/mR/h la radiațiile gamma de Cs-137, este:[45]

$$\mu\text{Sv/h} = \text{CPM} * 0,00812 (44)$$

unde 0,00812 μSv/h reprezintă valoarea unei numărări, iar CPM indică numărul de numărări pe minut.

Mai departe as dori să mă folosesc de acest factor de conversie și să deduc în funcție de procentul rezultat de la radiația de fundal, care ar fi valoarea care aș putea să o obțin la contorul meu.

Media valorilor de sensibilitate pentru Cs-137 este cum am calculat mai sus 260 CPS, vom converti aceasta valoare la CPM multiplicând cu 60, unde CPM va rezulta 15600. Acum aplicând formula determinată mai sus va rezulta ca :

$$\mu\text{Sv/h} = 15600 * 0,00812 \text{ (44)}$$

$$\mu\text{Sv/h} = 126.672 \text{ (45)}$$

Acum ca stim valoarea teoretică pentru Cs-137 la 4 $\mu\text{R/s}$ este de 126.672 $\mu\text{Sv/h}$. Folosind procentul de 87% pentru a ajusta la performanța contorului, valoarea ajustată este:

$$126.672 \mu\text{Sv/h} * 87/100 = 110.205 \mu\text{Sv/h} \text{ (46)}$$

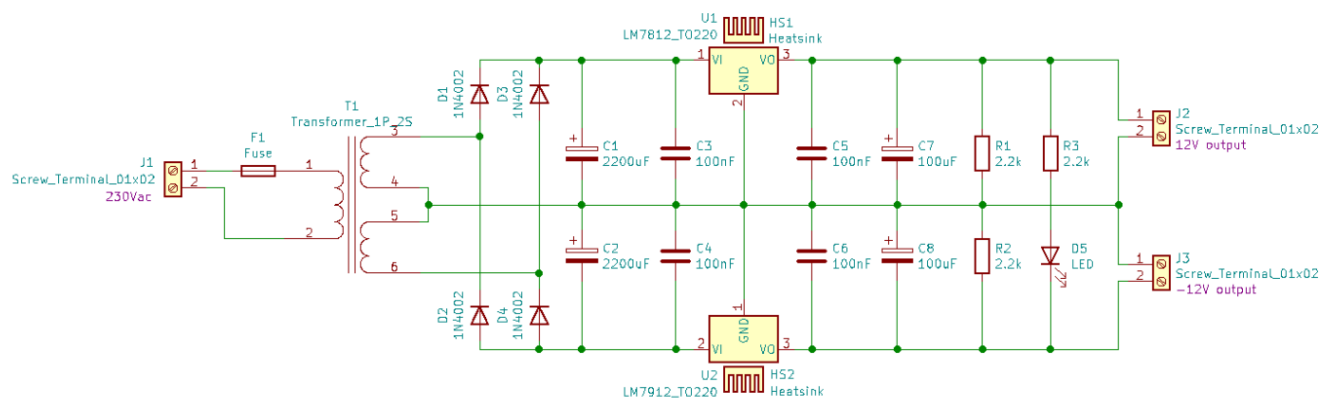
Astfel considerând ca contorul realizat poate înregistra 87% din radiația teoretică, înseamnă că atunci când este expus la Cs-137 la o rată de 4 $\mu\text{R/s}$, va înregistra aproximativ 110.205 $\mu\text{Sv/h}$.

3.4 ÎMBUNĂTĂȚIRI

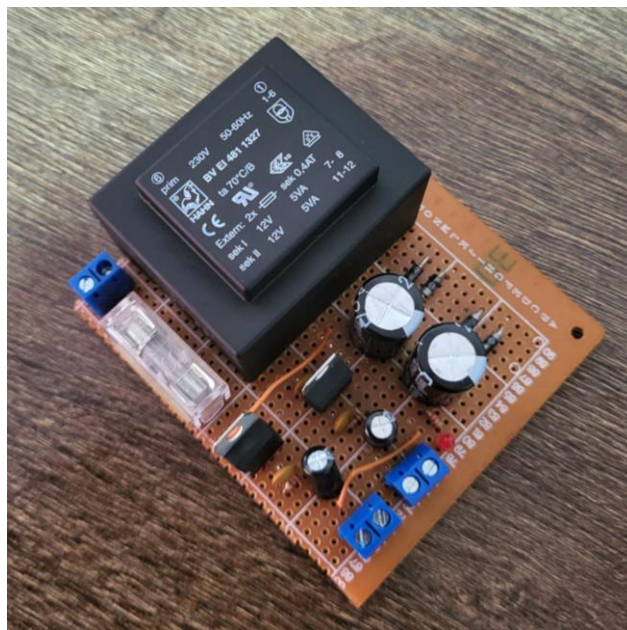
Alimentare de la priza

Ambele versiuni ale contorului sunt alimentate prin baterii, pentru a permite portabilitatea acestora. Dar ce se întâmplă dacă se dorește alimentarea de la priză? În acest context, vreau să prezint un alt proiect realizat în anul 2 de facultate, în colaborare cu ingineri de la Preh. Este vorba despre un circuit de alimentare dublă, care convertește tensiunea alternativă de la priză la +12V și -12V. Componentele au fost achiziționate și lipite de mine, conform schemei furnizate de inginerii de la Preh.

Acest modul furnizează 12V, însă acest lucru nu reprezintă o problemă, deoarece prototipul care necesită 5V, se poate utiliza modulul OKY3501, care poate transforma o tensiune cuprinsă între 2.5V și 12V într-o tensiune stabilă de 5V. La fel, pentru versiunea finală, regulatorul de 3V poate converti tensiuni de 12V la 3V fără dificultăți.



Figură 32: Schema circuitului de alimentare dublă [40]



Figură 33: Poza cu circuitului de alimentare dublă

Transmisia LoRa

O alternativă pentru acest sistem ar putea fi utilizarea tehnologiei LoRa, unde va exista un modul master de control și contoare slave. În această configurație:

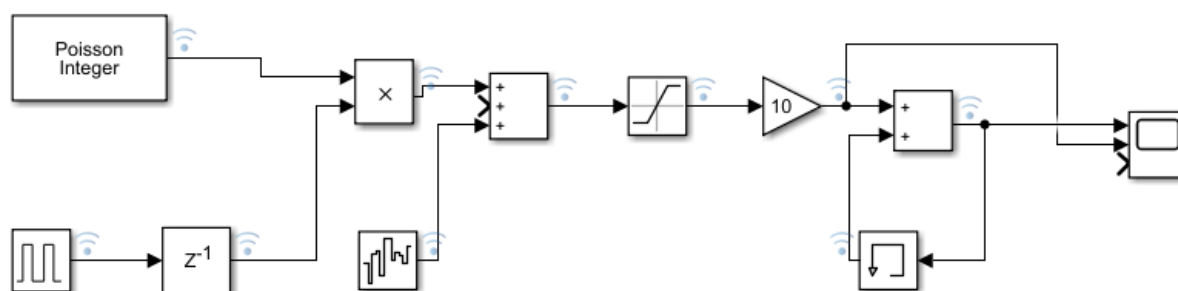
- **Modulul Master:** Acest modul central preia toate datele de la contoarele slave și le transmite mai departe către o platformă IoT, cum ar fi ThingSpeak, sau către o aplicație de calculator/telefon. Modulul master ar putea, de asemenea, să gestioneze și să sincronizeze comunicarea dintre contoarele slave.
- **Modulele Slave:** Contoarele slave vor efectua măsurători și vor transmite datele periodic către modulul master. Aceste module pot fi programate să trimită date la intervale de timp specificate, economisind astfel energie.

Niște avantaje pentru implementarea acestuia ar fi :

- **Transmiterea pe distanțe mari:** LoRa permite transmiterea datelor pe distanțe mari fără necesitatea unei conexiuni la internet.
- **Eficiență energetică:** Modulele slave pot fi configurate să intre în modul de consum redus între transmisiile, prelungind astfel durata de funcționare pe baterie.
- **Scalabilitate:** Sistemul poate fi ușor extins prin adăugarea mai multor contoare slave, fiecare transmițând date către același modul master.
- **Flexibilitate:** Datele colectate pot fi trimise către diverse platforme IoT, cum ar fi ThingSpeak, sau integrate în aplicații personalizate pentru monitorizare și analiză.

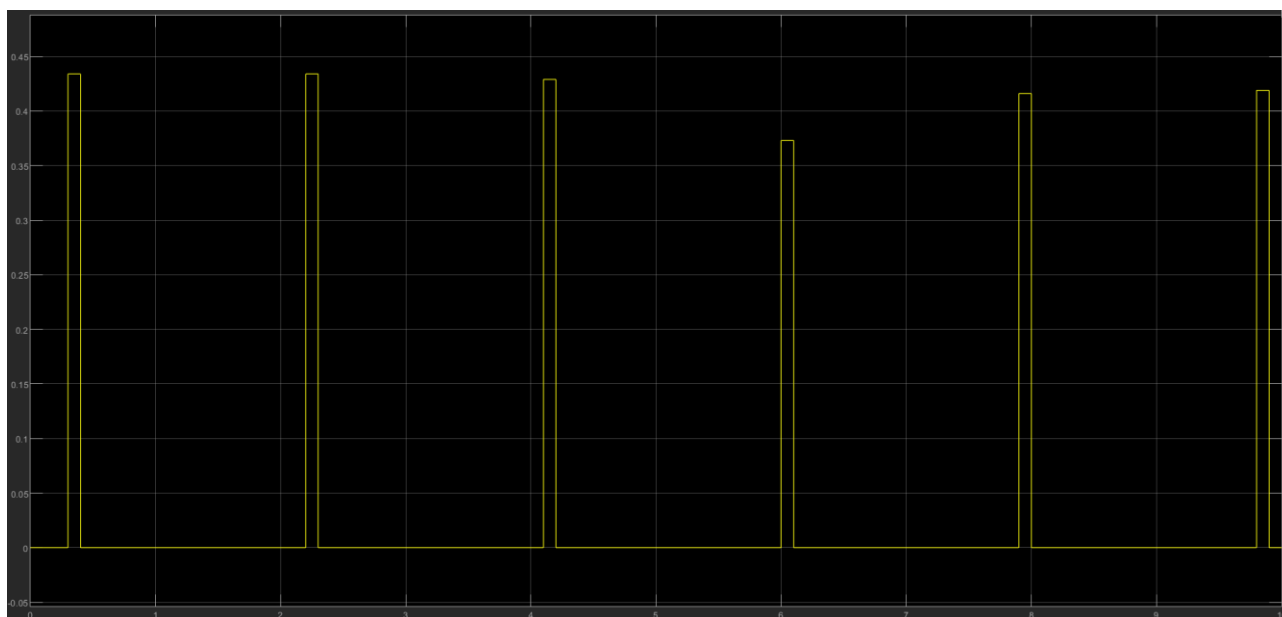
3.5 SIMULARE SIMULINK

În această simulare, am reprezentat o parte din funcționarea contorului Geiger, concentrându-ne pe procesul de preluare și prelucrare a impulsurilor (Fig. 7). Scopul a fost să simulez modul în care un tub Geiger generează un impuls în momentul detectării radiațiilor și modul în care acesta este amplificat ulterior.



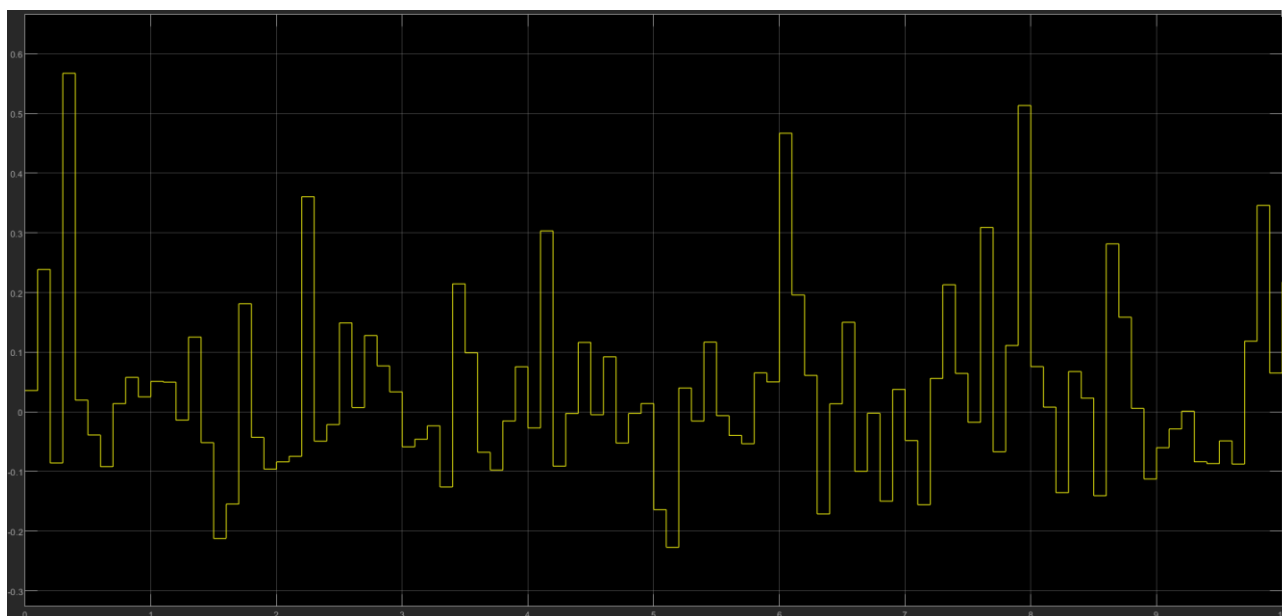
Figură 34: Simulare SIMULINK pentru procesul de preluare și prelucrare a impulsurilor

Pentru generarea impulsurilor, am utilizat un generator de integrale aleatoriu Poisson, deoarece acesta, împreună cu un generator de pulsuri, poate genera impulsuri cu valori variate, replicând astfel comportamentul unui tub Geiger în momentul detectării radiațiilor. Într-o primă fază, am încercat să realizăm acest generator de impulsuri folosind un generator de semnal sinusoidal și unul de pulsuri, dar acesta nu oferea variabilitatea dorită a impulsurilor.



Figură 35: Impulsurile ideale cu "timpul mort" realizat de generatorul Poisson și cel de pulsuri

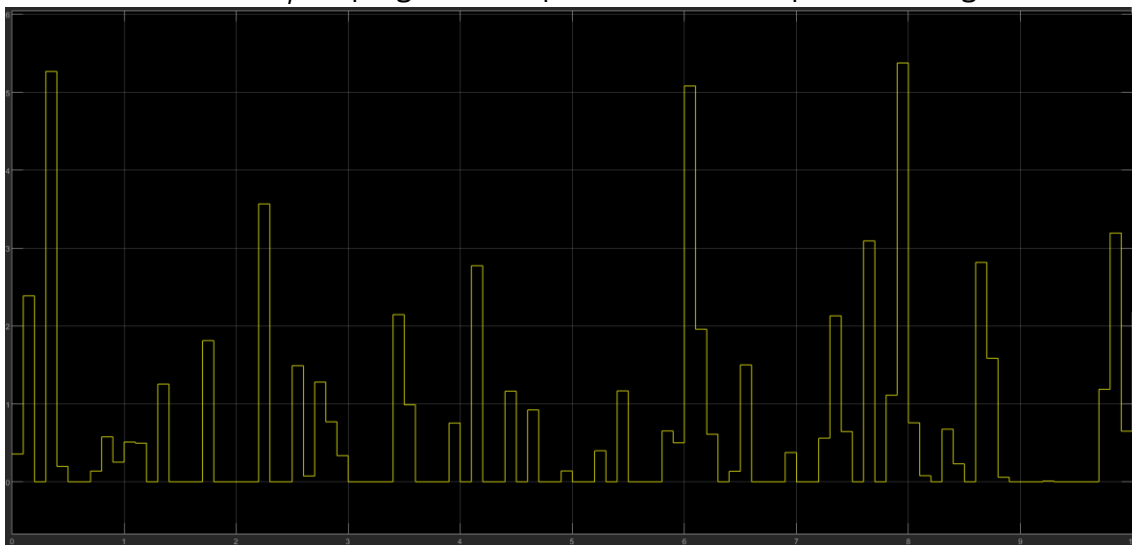
Pentru parametrul Poisson, am setat o valoare de 420, pentru a simula reacția unui tub Geiger la detectarea izotopului ^{226}Ra , unde un tub SBM-20 ar avea o rată de contorizare de 420 cps. Acest bloc își manifestă capacitatea de a genera un "seed" distinct la fiecare rulare a simulării, ducând la apariția unor valori diferite în rezultat. Pentru a emula timpul mort al tubului, am adăugat un bloc de întârziere în circuit (Fig.8). Am setat amplitudinea generatorului de impulsuri la 0.001 pentru a reflecta faptul că semnalele emise de tub sunt de dimensiuni reduse.



Figură 36: Impulsurile unde a fost adăugat zgomot

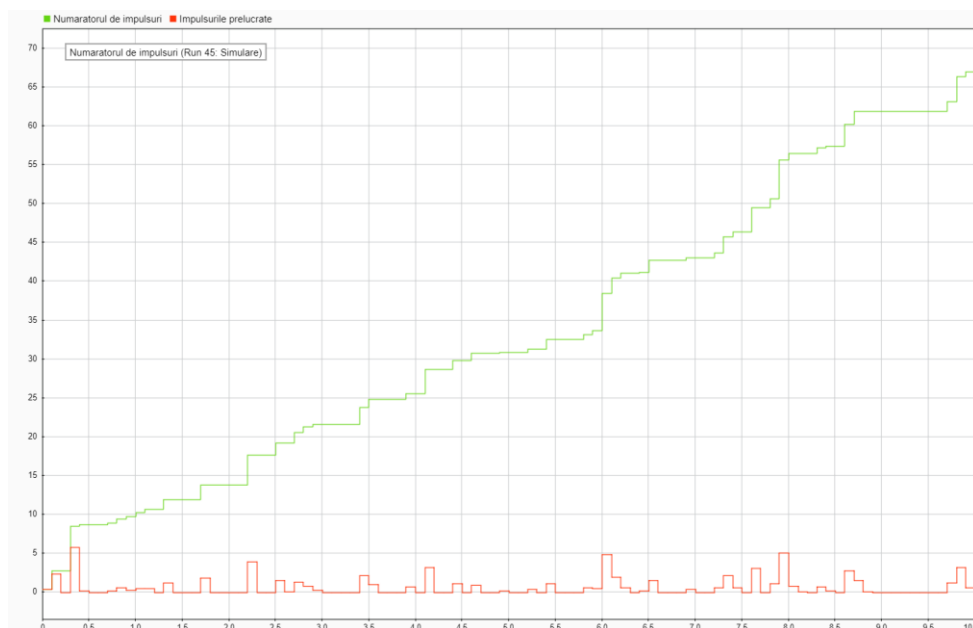
Am mai adăugat un bloc de zgomot, pentru a conferi semnalului o similitudine mai profundă cu realitatea, și un bloc de saturație, care are rolul de a elimina componenta negativă a

impulsurilor.(Fig.9) Ulterior, aceste impulsuri sunt direcționate către un amplificator, care le aduce la nivelul dorit al voltilor, pregătindu-le pentru a fi ulterior prelucrate(Fig.10).



Figură 37:Impulsurile amplificate si saturate

Partea a doua a simulării este construită utilizând un bloc "Add" și un bloc "Memory", care lucrează împreună pentru a număra numărul de impulsuri. Această etapă a simulării este dedicată simulării comportamentului unui microcontroler, care trebuie să rețină și să proceseze numărul de impulsuri primite. Blocul "Add" este folosit pentru a aduna impulsurile primite în timpul simulării, în timp ce blocul "Memory" reține și actualizează constant rezultatul adunării(Fig.11).



Figură 38:Impulsurile numărate la detecția lor

4 ARHITECTURA SOFTWARE

Pentru acesta parte o sa descriu câteva funcții mai importante din cod:

■ intrupereSensor

```
void intrerupereSensor() {  
    unsigned long oraCurentaImpuls = micros();  
    if (oraCurentaImpuls - ultimaOraImpuls > 1500) { // Debounce de 1.5 ms  
        noiImpulsuri++;  
        ultimaOraImpuls = oraCurentaImpuls;  
    }  
}
```

Cod 1: Funcția intrerupereSensor

Aceasta este funcția de întrerupere care este apelată de fiecare dată când senzorul detectează un impuls. Funcția utilizează `micros()` pentru a obține timpul curent în microsecunde, implementând un debounce de 1 ms pentru a evita detectarea multiplă a aceluiași impuls, contorizează impulsurile detectate și actualizează timpul ultimului impuls.

■ loop

```
void loop() {  
    unsigned int _noiImpulsuri = noiImpulsuri;  
    noiImpulsuri = 0;  
  
    actualizareImpulsuri(_noiImpulsuri);  
    actualizareJurnalImpulsuri();  
    citireTensiune();  
  
    boolean areNoiImpulsuri = (_noiImpulsuri > 0);  
  
    actualizareAfisaj(areNoiImpulsuri);  
    activareBuzzer(areNoiImpulsuri);  
  
    // Transmite datele prin Bluetooth  
    transmiteDateBluetooth();  
}
```

Cod 2: Funcția loop

Aceasta este funcția principală de buclă care rulează continuu, preia numărul de noi impulsuri detectate și resetează contorul de impulsuri noi, actualizează numărul de impulsuri, jurnalul de impulsuri și citește tensiunea bateriei, actualizează afișajul OLED și starea buzzerului în funcție de impulsurile detectate, și transmite valorile numerice ale impulsurilor și valoarea calculată în $\mu\text{Sv/h}$ prin Bluetooth.

■ actualizareImpulsuri

```

void actualizareImpulsuri(unsigned int valoareNoua) {
    impulsuriPeSecunda += valoareNoua;
    numarareImpulsuri += valoareNoua;

    #if DEBUGARE
        if(valoareNoua > 0) {
            Serial.print(millis());
            Serial.print(" ");
            Serial.print(valoareNoua);
            Serial.print(" ");
            Serial.println(numarareImpulsuri);
        }
    #endif
}

```

Cod 3: Funcția actualizareImpulsuri

Această funcție actualizează numărul de impulsuri detectate pe secundă și numărul total de impulsuri; dacă este activată debugarea, valorile sunt afișate pe serială.

■ actualizareJurnalImpulsuri ()

```

void actualizareJurnalImpulsuri() {
    if(!esteTimpul(ultimaActualizareJurnalImpulsuri, 1000)) {
        return;
    }

    if(indexJurnal < (SECUNDE_MASURARE - 1)) {
        indexJurnal++;
    } else {
        numarareImpulsuri -= jurnalImpulsuri[0];
        sumaJurnalNumarareImpulsuri -= jurnalNumarareImpulsuri[0];

        for(byte i = 1; i <= indexJurnal; i++) {
            jurnalImpulsuri[i - 1] = jurnalImpulsuri[i];
            jurnalNumarareImpulsuri[i - 1] = jurnalNumarareImpulsuri[i];
        }

        jurnalImpulsuri[indexJurnal] = impulsuriPeSecunda;
        impulsuriPeSecunda = 0;

        jurnalNumarareImpulsuri[indexJurnal] = numarareImpulsuri;

        sumaJurnalNumarareImpulsuri += numarareImpulsuri;

        afiseazaMedieSerial();
    }
}

```

Cod 4: Funcția actualizareJurnalImpulsuri

Această funcție actualizează jurnalul de impulsuri la fiecare secundă; dacă indexul jurnalului nu a ajuns la limita definită (SECUNDE_MASURARE), este incrementat; dacă s-a atins limita, jurnalul este

rotit, iar primele valori sunt eliminate pentru a face loc noilor valori; actualizează jurnalul de impulsuri și calculează suma totală a impulsurilor în jurnal, afișând media impulsurilor pe serială.

■ `transmitereDateBluetooth()`

```
void transmitereDateBluetooth() {  
    Serial.print("Impulsuri: ");  
    Serial.println(numarareImpulsuri);  
  
    if (indexJurnal >= 0) {  
        float medieImpulsuri = sumaJurnalNumarareImpulsuri / (indexJurnal + 1);  
        float valoareUSvH = medieImpulsuri * FACTOR_CONVERSIE;  
        Serial.print("uSv/h: ");  
        Serial.println(valoareUSvH, 3);  
    }  
}
```

Cod 5: Funcția transmitereDateBluetooth

Această funcție transmite valorile numerice ale impulsurilor și valoarea calculată în $\mu\text{Sv/h}$ prin Bluetooth, utilizând comunicarea serială, care poate fi recepționată de un dispozitiv Bluetooth conectat.

5 CONCLUZII

Proiectul de diplomă a reușit să îndeplinească obiectivele propuse prin dezvoltarea unui prototip funcțional de măsurare a radiației nucleare utilizând un contor Geiger-Müller, având capacitatea de achiziție și transmisie a datelor. Printre realizările semnificative se numără:

Realizarea unui prototip și a unei versiuni finale pentru un contor Geiger, care permite măsurarea radiațiilor beta și gamma din mediu folosind un tub Geiger-Müller. Sistemul permite transmiterea datelor prin Bluetooth, permițând astfel monitorizarea la distanță și facilitând utilizarea în diverse medii.

Optimizarea resurselor și reducerea consumului energetic prin implementarea unui modul de alimentare eficient, bazat pe un acumulator LiPo 18650 de 3,7 V și un convertor step-up MT3608, asigurând o utilizare de lungă durată fără necesitatea reîncărcărilor frecvente.

Integrarea unui ecran OLED pentru afișarea numerică a valorilor măsurate, precum și a unui buzzer pentru semnalizarea sonoră a nivelului de radiație detectat. De asemenea, sistemul include un modul Bluetooth HC-05 pentru transmiterea datelor către alte dispozitive.

Realizarea unor experimente practice pentru calibrarea contorului Geiger și verificarea funcționalității sale. Rezultatele obținute au fost comparate cu valorile teoretice, care estimează ca precizia poate fi peste 80% în detectarea radiațiilor.

Proiectarea și realizarea unui PCB compact și eficient, utilizând componente SMD pentru a asigura un design estetic și funcțional. PCB-ul a fost proiectat în KiCad și fabricat de JLCPCB, cu componente achiziționate de la LCSC Electronics și Farnell.

Analiza curentului necesar pentru funcționarea optimă a circuitului, calculând o durată de funcționare de aproximativ 49,15 ore pentru un acumulator de 5000 mAh, demonstrând eficiența energetică a sistemului.

În concluzie, proiectul de diplomă a demonstrat succesul în realizarea unui sistem de măsurare a radiațiilor eficiente și precise, capabil de transmiterea datelor prin Bluetooth.

6 BIBLIOGRAFIE

- [1] VIČAR, Dušan, et al. Nuclear, radiological and chemical weapons, radiation and chemical accidents. 2021.
- [2] Lucio Cerrito, et al. Radiation and Detectors: Introduction to the Physics of Radiation and Detection Devices, Springer, 2017,
- [3] D. Becker, A. Kumar, A. Adhikary, and M. D. Sevilla, in DNA Damage, DNA Repair and Disease: Volume 2, ed. M. Dizdaroglu, R. S. Lloyd, M. Dizdaroglu, and R. S. Lloyd, The Royal Society of Chemistry, 2020, ch. 31, pp. 426-457.
- [4] United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation , SOURCES, EFFECTS AND RISKS OF IONIZING RADIATION , UNSCEAR 2020/2021 Report to the General Assembly with Scientific Annexes, VOLUME II Scientific Annex B
- [5] TSOULFANIDIS, Nicholas; LANDSBERGER, Sheldon. *Measurement and detection of radiation*. CRC press, 2021.
- [6] D. Arbutina and A. Vasić-Milovanović, "Improving the Geiger Müller Counter Characteristics by Optimizing the Anode and Cathode Radius Dimensions," in IEEE Transactions on Nuclear Science, vol. 67, no. 10, pp. 2231-2237, Oct. 2020, doi: 10.1109/TNS.2020.3018785. keywords: {Radiation detectors;Anodes;Cathodes;Electric breakdown;Electric fields;Distribution functions;Detectors;Geiger counters},
- [7] ICRP, 2007. The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 103. Ann. ICRP 37 (2-4).
- [8] LABORATORY TECHNOLOGIES,INC. , Radhound Multi-Purpose Digital Radiation Meter , <https://store.labtechinc.com/index.php/product/radhound-radiation-meter/>
- [9] GQ Electronics, Monitorul de radiati GMC-320 Plus Geiger Counter , https://www.gqelectronicsllc.com/comersus/store/comersus_viewItem.asp?idProduct=4579
- [10] fisher scientific, RadEye™G20-ER10 X-Ray and Gamma Survey Meters, <https://www.fishersci.com/shop/products/radeye-g20-10-g20-er10-x-ray-gamma-survey-meters/p-4531284>
- [11] Iacopo Giangrandi , A twin tube Geiger counter , <https://www.giangrandi.org/electronics/twin-tube-geiger/twin-tube-geiger.shtml#datasheet> , 2017
- [12] Dalbi , Rechargeable Li-ion 18650 Micro USB 5000mAh Datasheet, <https://docs.rs-online.com/3fb5/A700000009567702.pdf>
- [13] NanJing Top Power ASIC Corp, TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8 Datasheet, <https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>
- [14] Arosemi, MT3608 AROSEMI High Efficiency 1.2MHz 2A Step Up Converter Datasheet, <https://www.olimex.com/Products/Breadboarding/BB-PWR-3608/resources/MT3608.pdf>

- [15] DiyMore, DC-DC High Voltage Boost Converter Input 3V-5V Output 1000V Power Supply Module, <https://www.diy-more.cc/products/high-voltage-dc-dc-boost-converter-step-up-to-output-300v-1200v-400v-900v-1000v-adjustable-power-psu-module-board-input-3v-5v>
- [16] pocketmagic, STS-5, <https://www.pocketmagic.net/tube-sts-5-ctc-5-geiger-tube/>
- [17] gstube ,SBM-20, <https://www.gstube.com/data/2398/>
- [18] Philips, Philips-18504 , <https://danyk.cz/phi18504.pdf>
- [19] VISHAY, High Ohmic / High Voltage Metal Glaze Leaded Resistors, https://www.tme.eu/Document/801471c4233c0895e05a67fc3df7a302/VISHAY_vr68.pdf
- [20] VISHAY, High Ohmic / High Voltage Metal Glaze Leaded Resistors, https://www.tme.eu/Document/ee2c7da96e443591efe4935fafaeb995/VISHAY_vr37.pdf
- [21] ONSEMI, General Purpose Transistors NPN Silicon 2N3903, 2N3904, <https://www.onsemi.com/pdf/datasheet/2n3903-d.pdf>
- [22] ATMEL , ATMEGA328P Datasheet, <https://pdf1.alldatasheet.com/datasheet-pdf/view/241077/ATMEL/ATMEGA328P.html>
- [23] SOLDERED, DISPLAY OLED I2C 0.96" SSD1306, https://www.mouser.com/datasheet/2/1398/Soldered_333099-3395096.pdf
- [24] ITEADSTUDIO, HC-05 -Bluetooth to Serial Port Module, https://components101.com/sites/default/files/component_datasheet/HC-05%20Datasheet.pdf
- [25] MicrOne, 500mA, Low Quiescent, Low Dropout LDO Linear Regulators ME6210 Series, https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_1810251721_MICRONE-Nanjing-Micro-One-Elec-ME6210A30PG_C98226.pdf
- [26] Fenghua Advanced Technology (Holding) CO. , LTD, 50V 1nF Multilayer Ceramic Capacitors MLCC - SMD, https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2304140030_FH--Guangdong-Fenghua-Advanced-Tech-1206CG102J500NT_C1885.pdf
- [27] XIANGYEE, CA45, https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2304140030_Hunan-Xiangyee-in-S-T-CA45-B025K106T_C119050.pdf
- [28] HGSEMI, CMOS general purpose timer, https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_1912111437_HGSEMI-TLC555M-TR_C383061.pdf
- [29] UNI-ROYAL, Thick Film Chip Resistors, https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2206010145_UNI-ROYAL-Uniroyal-Elec-1206W4F2203T5E_C17956.pdf

- [30] UNI-ROYAL, Thick Film Chip Resistors,,
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2206010216_UNI-ROYAL-Uniroyal-Elec-1206W4F1001T5E_C4410.pdf
- [31] CJIANG, WIRE WOUND SMD POWER INDUCTORS,
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2304140030_cjiang--Changjiang-Microelectronics-Tech-FNR6045S103KT_C168108.pdf
- [32] Hottech, MMBTA44 BIPOLAR TRANSISTOR (NPN),
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2205060945_Guangdong-Hottech-MMBTA44_C181174.pdf
- [33] YAGEO, SURFACE-MOUNT CERAMIC MULTILAYER CAPACITORS High-Voltage NP0/X7R,
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2304140030_YAGEO-CC1206KKX7RCBB103_C107192.pdf
- [34] SHIKUES Technology, MMBT3904 NPN Silicon,
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_1810251916_Shikues-MMBT3904_C111113.pdf
- [35] Blue Rocket Electronics,RS1A~RS1M,
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2110081930_Foshan-Blue-Rocket-Elec-RS1A_C2900670.pdf
- [36] Ralec, Thick Film Resistors,
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2304140030_RALEC-RTT063300FTP_C104763.pdf
- [37] UNI-Royal , Thick Film Chip Resistors,
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2206010045_UNI-ROYAL-Uniroyal-Elec-1206W4F2202T5E_C25830.pdf
- [38] UNI-Royal , Thick Film Chip Resistors,
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2206010145_UNI-ROYAL-Uniroyal-Elec-1206W4F1003T5E_C17900.pdf
- [39] Guangdong Fenghua Advanced Tech,Thick Film Chip Resistors,
https://www.lcsc.com/datasheet/lcsc_datasheet_2304140030_FH--Guangdong-Fenghua-Advanced-Tech-RS-06K1002FT_C140407.pdf
- [40] Circuit de alimentare dublă , Preh ,
<https://elearning.unitbv.ro/2022/mod/resource/view.php?id=148567>
- [41] ANALOGIC DEVICES , Low Cost Low Power Instrumentation Amplifier AD620
, <https://www.sigmanortec.ro/modul-amplificator-semnal-tensiune-ad620-microvolt-3-12vdc>
- [42] gstube, SBM-20 , <https://www.gstube.com/data/2398/>
- [43] Princeton University , "Princeton Radiation Safety Guide, Appendix E: Roentgens, RADs, REMs, and other Units",
https://web.archive.org/web/20150222005351/http://web.princeton.edu/sites/ehs/radsafeguide/rsg_app_e.htm

[44] AUTOMES , radiation-quantities-and-units

<https://web.archive.org/web/20230402162906/https://www.automess.de/en/service/radiation-quantities-and-units>

[45]iot-devices , <https://iot-devices.com.ua/en/technical-note-how-to-calculate-the-conversion-factor-for-geiger-tube-sbm20/>

REZUMAT

Lucrarea de diploma are ca obiectiv principal dezvoltarea unui sistem eficient pentru detectarea și monitorizarea radiațiilor ionizante folosind un contor Geiger-Müller. Sistemul dezvoltat măsoară radiațiile beta și gamma din mediul înconjurător și transmite datele obținute prin Bluetooth către alte dispozitive pentru monitorizare la distanță.

Proiectul a fost structurat în mai multe etape, pornind de la realizarea unui prototip și culminând cu dezvoltarea unei versiuni finale. În prima etapă, s-a proiectat un modul portabil alimentat de un acumulator LiPo de 3,7 V și 5000 mAh, utilizând un convertor step-up MT3608 pentru a asigura tensiunea necesară de 5V. Ulterior, s-a adăugat un generator de tensiuni înalte pentru polarizarea tubului Geiger-Müller.

Sistemul include un microcontroler Arduino Nano pentru procesarea semnalelor, un ecran OLED pentru afișarea valorilor măsurate și un buzzer pentru alerte sonore. Datele sunt transmise prin intermediul unui modul Bluetooth HC-05 către o aplicație de telefon, facilitând astfel monitorizarea la distanță.

În cadrul experimentelor practice, contorul Geiger a fost calibrat și verificat pentru a asigura precizia măsurărilor. Rezultatele estimează ca precizia poate fi peste 80% în detectarea radiațiilor, conform valorilor teoretice.

Versiunea finală a proiectului a inclus realizarea unui PCB compact și eficient, utilizând componente SMD pentru un design estetic și funcțional. Proiectarea PCB-ului a fost realizată în KiCad, iar fabricația a fost executată de JLCPCB.

Proiectul a reușit să îndeplinească toate obiectivele propuse, demonstrând eficiența și precizia sistemului de măsurare a radiațiilor.

ABSTRACT

The main objective of the thesis is to develop an efficient system for detecting and monitoring ionizing radiation using a Geiger-Müller counter. The developed system measures beta and gamma radiation from the environment and transmits the obtained data via Bluetooth to other devices for remote monitoring.

The project was structured in several stages, starting with the creation of a prototype and culminating in the development of a final version. In the first stage, a portable module powered by a 3.7V, 5000mAh LiPo battery was designed, using an MT3608 step-up converter to ensure the necessary 5V supply. Subsequently, a high voltage generator was added for polarizing the Geiger-Müller tube.

The system includes an Arduino Nano microcontroller for signal processing, an OLED screen for displaying measured values, and a buzzer for sound alerts. Data is transmitted via a Bluetooth HC-05 module to a phone application, thus facilitating remote monitoring.

During practical experiments, the Geiger counter was calibrated and verified to ensure measurement accuracy. The results estimate that the accuracy can be above 80% in detecting radiation according to theoretical values.

The final version of the project included the creation of a compact and efficient PCB, using SMD components for an aesthetic and functional design. The PCB design was carried out in KiCad, and the manufacturing was performed by JLCPCB.

The project successfully met all proposed objectives, demonstrating the efficiency and accuracy of the radiation measurement system.