

Univerza v Ljubljani

Fakulteta za elektrotehniko

GEIGER-MÜLLERJEV ŠTEVEC

Projektna naloga pri predmetu Seminar

Avtor:

Matija Podhraški

64070281

Mentor:

doc. dr. Marko Jankovec, univ. dipl. inž. el.

Ljubljana, april 2012

1 Ključne besede · Keywords

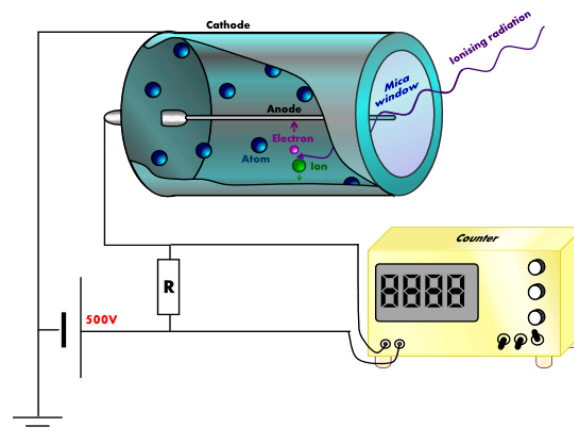
Geiger-Müllerjev števec, Geiger-Müllerjeva cev, indikator radioaktivnosti, dozimeter, stikalni pretvornik navzgor, mikrokrmilnik

Geiger-Müller counter, Geiger tube, radioactivity indicator, dosimeter, step-up converter, microcontroller

2 Uvod

Po lanski (2011) katastrofi elektrarne v Fukušimi sem se odločil raziskati možnosti lastne izdelave merilnika radioaktivnega sevanja. Zelo razširjena naprava, ki zaznava ionizirajoče sevanje, še vedno ostaja Geiger-Müllerjeva cev, priključena na Geigerjev števec, čeprav je bila razvita že v začetku 20. stoletja¹. Razlog za to je dostopnost cevi, ki zaznava razpade jeder, kot tudi relativna enostavnost elektronike, ki omogoča določanje jakosti radioaktivnega sevanja.

2.1 Delovanje Geigerjevega števca



Slika 1: k opisu delovanja (vir ²)

Geigerjeva cev je napolnjena z mešanico plinov, ki v normalnih razmerah ne prevaja električnega toka. Na njeni sredini je tanka anoda, ki skupaj s katodo – plaščem cevi – tvori nekakšen valjasti kondenzator. Ko cev preleti visokoenergijski delec oziroma visokoenergijski foton, se nekaj molekul plina ionizira – njihovi elektroni se ločijo od matičnih atomov, ki postanejo pozitivno nabiti ioni: kationi. Te močno električno polje znotraj kondenzatorja pospeši proti negativno nabiti katodi, iz njih izbije elektrone pa proti anodi. Dobijo zadostno energijo, da med potovanjem ionizirajo še nove plinske molekule in končno se kondenzator izprazni. Govorimo o plazovnem preboju.²

Števec predstavlja vezje, ki je sposobno šteti omenjene razelektritve Geigerjeve cevi. Da cev pravilno deluje, mora biti napetost, na katero je priključena, zadosti visoka. V tem napetostnem območju ena ionizacija, ki jo povzroči delec, zadošča za plazovno ionizacijo celotnega plina v cevi.

Geigerjeve cevi ločimo glede na vrste radioaktivnega sevanja, ki so jih sposobne zaznavati. Cev z okencem iz kvarca lahko zazna tudi alfa delce, vendar je močno občutljiva na poškodbe. Večina robustnejših cevi bo zaznavala le gama in beta sevanje, če imajo delci več kot približno 2,5 MeV energije. Jasno pa je, da so občutljivejše cevi tudi dražje.

Ključni del Geigerjevega števca očitno predstavlja prav Geigerjeva cev, ki je zaradi zahtevane zrakotesnosti in polnjenja s kompleksnimi plinskimi mešanicami ni ravno enostavno izdelati. Cena novih je tudi temu primerna. Na srečo pa obstajajo bogate sovjetske vojaške zaloge z novimi lastniki, ki z veseljem razprodajajo svoje blago tudi kupcem onstran nekdanje železne zaves. Prek E-baya sem tako zlahka prišel do cevi SBM-20, lahko pa bi uporabil tudi katero drugo.

3 Specifikacije naprave

- baterijsko 9 V napajanje
- prenosnost
- štetje razpadov na minuto in približen preračun v sieverte/h
- možnost priklopa na računalnik za spremljanje radioaktivnosti v daljšem časovnem obdobju prek okolja LabView
- možnost delovanja kot dozimeter

Preostale lastnosti naprave določajo tehnični podatki uporabljene Geigerjeve cevi:

Oznaka cevi	SBM-20
Priporočen anodni upor	5.1 M Ω
Priporočena napajalna napetost	400 V DC

Podatkovni list cevi SBM-20 navaja tudi občutljivost na sevanje in področja delovanja glede na izpostavljenost sevanju, kar pa je glede na to, da nimamo na voljo kakršnih koli sevalnih normal za kalibracijo, niti nobenih močnih virov sevanja, nemogoče upoštevati pri izdelavi.

4 Časovni in finančni plan

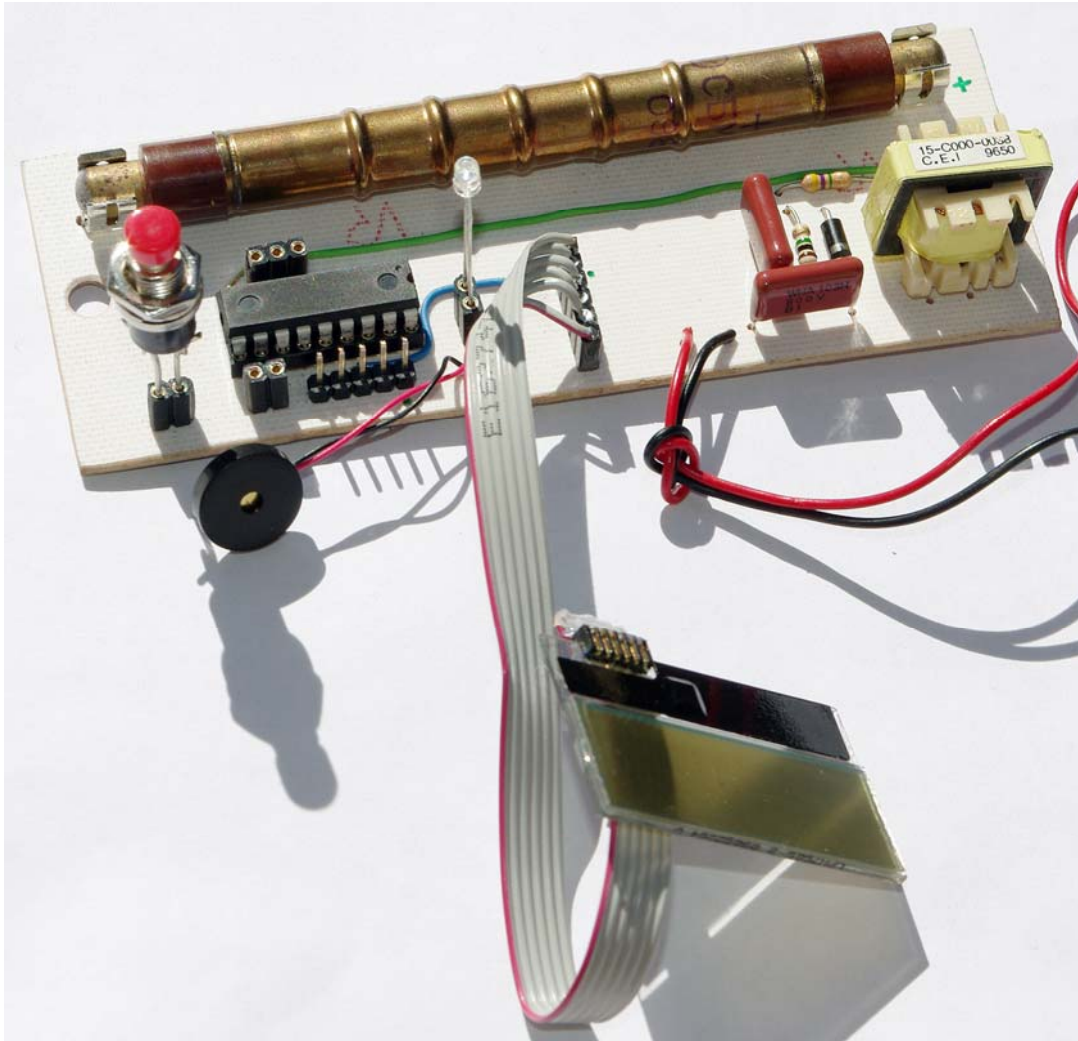
4.1 Časovni plan

Št.	Opis	Predviden čas
1	Pregled virov in obstoječih rešitev	5,00
2	Zasnova koncepta naprave	2,00
3	Načrtovanje električne sheme	7,00
4	Izbira komponent (Farnell)	3,00
5	Izdelava prototipa na preizk. plošči, programiranje	25,00
6	Izdelava LabView inštrumenta	10,00
7	Risanje komponent v Altiumu	2,00
8	Načrtovanje tiskanega vezja	7,00
9	Načrtovanje vgradnje v ohišje	1,00
10	Izdelava tiskanine	2,00
11	Polaganje komponent in spajkanje	2,00
12	Vgradnja v ohišje, preizkus delovanja	2,00
	VSOTA	68,00

4.2 Finančni plan

Št.	Opis	Cena
1	Elektronske komponente in ohišje	50,00
2	Tiskano vezje (domača izdelava)	2,00
3	68 ur dela po 7 € (dejansko 77)	476,00
	VSOTA	528,00

5 Zasnova naprave



Slika 2: naprava pred vgradnjo v ohišje



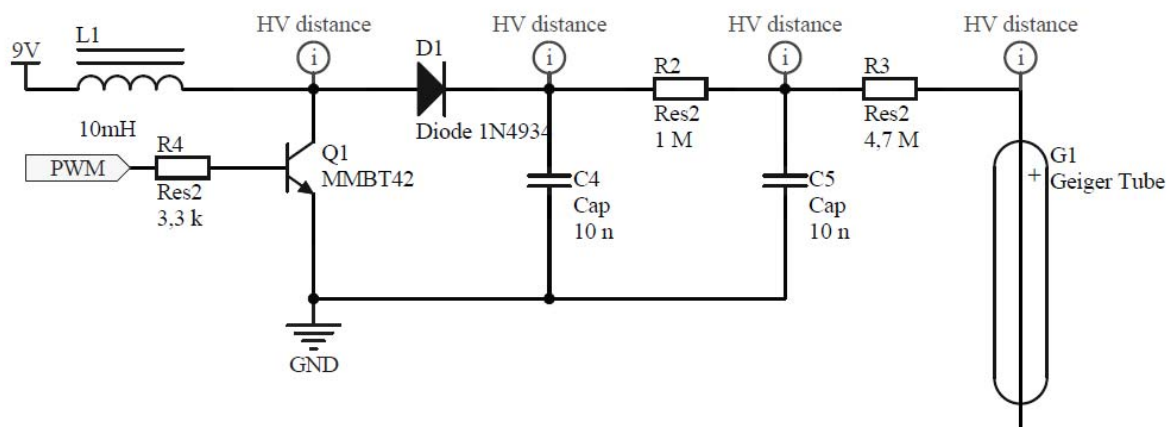
Slika 3: spodnja stran pospajkanega in sestavljenega tiskanega vezja

5.1 Napajalnik

Vezje napaja 9 V baterija. Mikrokrmilniški del deluje na napetosti 5 V, ki jo zagotavlja linearni regulator iz družine 78xx, vhod visokonapetostnega dela pa je vezan neposredno na baterijo. Vezje je varovano z 2,2 Ω uporovno »varovalko«.

5.2 Stikalni preklopnik navzgor

Osnovno shemo sem našel na internetu³, vendar sem jo poenostavil tako, da je vir PWM signala za krmiljenje regulatorja mikrokrmilnik, delovni cikel in frekvenca pa sta fiksno nastavljena. To se sicer po podrobnejši analizi osnovnega vezja ni izkazalo za najboljšo idejo, saj je pri njem, zaradi regulacije preklopne točke glede na maksimalni tok skozi tuljavo, izhodna visoka napetost neodvisna od vhodne napetosti baterije. Če sem želel delovanje tudi pri izpraznjeni bateriji, sem moral nastaviti zadosti visok delovni cikel, kar pa pri delovanju pri višjih napetostih baterije prinese tudi višjo porabo.

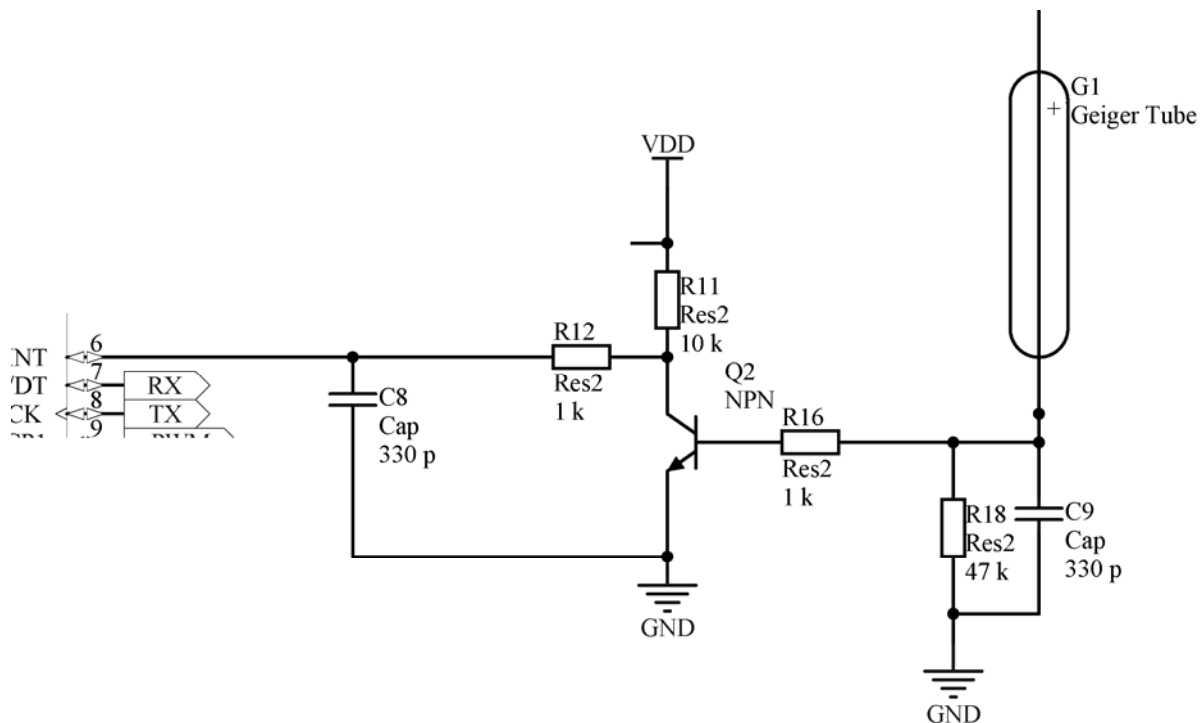


Slika 4: Stikalni preklopnik

Ko je tranzistor odprt, je napetost prek tuljave konstantna ($u_L = U_{CC}$), njen desni pol je sklenjen na maso (če zanemarimo padec na tranzistorju), in njen tok linearno narašča. Ko se zgodi prekop, se njena napetost naenkrat spremeni (njen desni pol je vezan na C4, torej je $u_L = U_{CC} - u_{LZH}$, če zanemarimo padec na diodi). Tok tuljave je zvezen, a začne upadati zaradi polnjenja C4, ki se kmalu napolni (ker ima breme ogromno upornost) in tok doseže 0. Regulator deluje v ti. *discontinuous mode*. Cikel se ponavlja: z vsako novo ponovitvijo je napetost na kondenzatorju večja, saj tok vanj priteka vedno znova. Čez čas se vzpostavi ravnovesno stanje, ki ga določajo maksimalni tok skozi tuljavo ($I_{max} = L V_{CC} / t_{on}$) in toki, ki praznijo C4. Ker je zaradi izjemno majhnega bremenskega toka delo z enačbami zahtevno, je enostavnejša pot načrtovanje s pomočjo orodja SPICE. Uporabil sem paket LTSpice IV.

Vezje kljub opisanim pomanjkljivostim zadovoljivo deluje, zato ga nisem spreminjal. Ob morebitni novi različici vezja pa bo to zagotovo prvi spremenjeni del. Bistveno boljše rezultate bi najbrž dosegel že z uporabo emitorskega upora pri Q1, na katerem bi meril napetost in glede na to prilagajal delovni cikel PWM regulatorja.

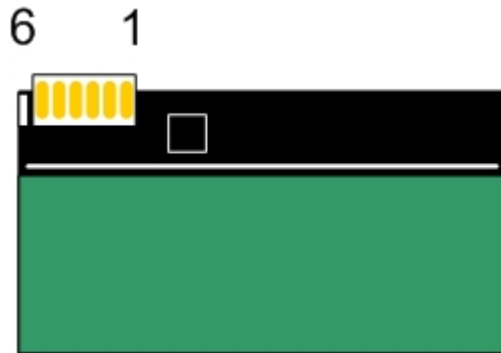
5.3 Vezje za zaznavo pulzov



Slika 5: vezje za zaznavo pulzov

Ko v Geigerjevi cevi pride do razelektritve, med njeno anodo in katodo steče tok. Ta tok ustvari napetostni padec na R18, ki odpre tranzistor Q2, kar povzroči prehod vhodne sponke mikrokrmilnika iz visokega v nizko stanje. Upor ne sme biti premajhen, saj z preduporom Geigerjeve cevi, ki ima 4,7 MΩ, tvori delilnik, premajhen padec napetosti na njem pa ne bi zadoščal za odprtje Q2. Poleg tega zadostna upornost tudi preprečuje poškodbe cevi zaradi prevelikega razelektritvenega toka. Vir⁴ priporoča razmerje katodnega in anodnega upora najmanj 1:45. Po viru Kondenzatorja C8 in C9 služita oblikovanju pulza, da ga mikrokrmilnik zagotovo zazna. Njuni vrednosti ne smeta biti preveliki, saj bi s tem onemogočili zaznavanje hitrih zaporednih pulzov. 5-kratna RC konstanta za polnjenje upora na vhodni sponki mikrokrmilnika znaša $5 \cdot 330 \text{ pF} \cdot 11 \text{ k}\Omega = 18 \text{ }\mu\text{s}$, kar bi teoretično omogočilo preštetje več kot 3 milijonov pulzov na minuto.

5.3.1 Zaslón



Št	Ime	Opis
1	VLCD	5 V napajanje
2	GND	masa
3	VLOGIC	2,8 V napajanje logike
4	VLOGIC	
5	SDATA	I ² C podatki
6	SCLK	I ² C ura

Slika 6: zaslon iz GA628, vir⁵

Uporabil sem zaslon iz starega mobilnega aparata Ericsson GA628, ker sem jih imel doma veliko, gonilnik zanj pa sem napisal že pred časom.

Ker logika zaslona deluje na nižji napetosti, sem moral v vezje vgraditi uporovne delilnike.

5.4 Mikrokrmilnik

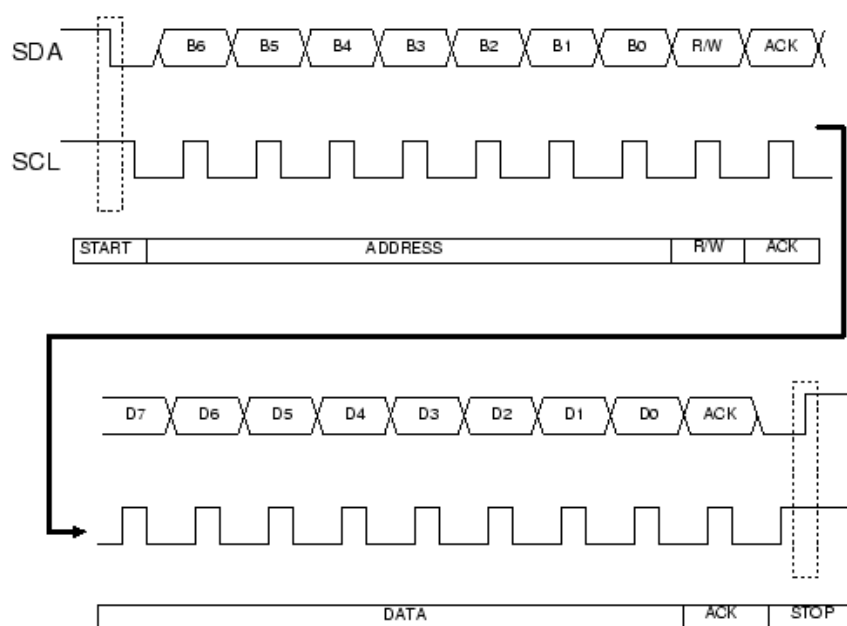
Uporabil sem Microchipov PIC 16F628A. Na njegov vhod zunanjih prekinitiev sem priključil vezje za zaznavanje pulzov, za pulznoširinsko krmiljenje stikalnega pretvornika pa sem prav tako uporabil vgrajeni modul. Na mikrokrmilnik sta priključeni še dve tipki za upravljanje s funkcijami števca, piezo zvočnik ter svetleča dioda. Uporabljen je tudi UART modul za pošiljanje rezultatov meritev na računalnik. Poleg tega je na vezju še konektor ICSP za programiranje prek standardnega vmesnika. Uporabljal sem ICD2 klon programator.

Uporabljen je notranji oscilator, ki teče pri 4 MHz.

5.5 Program

Program, ki teče v mikrokrmilniku, sem napisal v okolju mikroC v jeziku C, za prenos programa v vezje pa sem uporabljal Microchipovo okolje MPLAB. Za osnovno funkcionalnost je treba le nastaviti prekinitve, inicializirati vhodno/izhodne funkcije in napisati funkcijo, ki generira zvočni signal in utripe LED ob pulzih. Zastavica INTF se postavi ob spremembi stanja na sponki RB0 in v njej se poveča vrednost spremenljivke *beep*, ki v glavni zanki programa sproži približno 40-milisekundno vključitev LED diode in pisk s približno frekvenco 1 kHz.

Če želimo izpis števila pulzov na minuto na zaslonu, moramo najprej omogočiti delo z LCD zaslonom. Komunikacija poteka po vodilu I2C, ki ga sestavljata dve liniji – SCL (ura) in SDA (podatki). Na vodilo je lahko priključenih več naprav, vedno pa je ena od njih glavna - *master*. V tem primeru je to mikrokrmilnik. Shemo komunikacije prikazuje slika.

Slika 7: prenos po I2C vodilu, vir ⁶

Da se prenos po vodilu začne, mora biti to najprej v mirovanju – v visokem stanju. Nato mora podatkovni signal SDA pasti, ko je ura SCK visoka, nato pa mora pasti še ura. Začne se postopek oddaje bitov (sprejemnik vzorči, ko je ura visoka, oddajnik pa bite nastavlja, ko je nizka). Ko se vseh 8 bitov prenese, sledi še potrditveni bit (sprejemnik odda 0). Komunikacijo vedno začnemo s naslovnim bajtom, s katerim *master* sporoči, s katero napravo na vodilu želi komunicirati, z njegovim najnižjim (LSB) bitom pa pove, ali želi iz naprave pisati ali brati. Če želimo prenos zaključiti, ob visokem stanju ure dvignemo signal SDA, in vodilo ohranimo v tem stanju.

Sprejem *master* sproži s pošiljanjem naslovnega bita, katerega LSB je enak 1. Postopek vzorčenja je enak kot pri oddaji, le da sta vlogi zamenjani. Prenese se več bitov zaporedoma. V tej aplikaciji zaslon nikoli ničesar ne pošilja, zato je LSB naslovnega bajta vedno enak 0.

Funkcije za delo z zaslonom in softverska izvedba (saj mikrokrmilnik hardverskega I2C vmesnika ne podpira) I2C se nahajajo v knjižnici *ga628.h*. Približna frekvenca delovanja je 15 kHz.

Ker je razmik med prihodom pulzov, ki jih zaznava detektor, popolnoma naključen, je to dokajšnja težava za digitalni prikaz. Da dobimo kakršnekoli smiselne rezultate, je za določanje števila razpadov na minuto potrebno dolgotrajnejše povprečenje nekega vzorca, kadar njegova aktivnost ni dokaj visoka. Tega nikakor ne moremo pričakovati, saj na vzorce z visoko radioaktivnostjo le redkokdaj naletimo (če pa, smo v nevarnosti): v povprečnem okolju lahko pričakujemo, da bo detektor zaznal kakih 20-30 razpadov na minuto. Program sem napisal tako, da detektor prešteje razpade v polovici sekunde in z njimi osvežuje pet vzorcev dolgo tekoče povprečje, prikaz na zaslonu pa osveži vsake pol sekunde. Timer 1 je nastavljen na periodo polovice sekunde. Ko ta mine, se postavi zastavica TMR1IF, v kateri se ciklično spreminja indeks *Aindex* številskega niza *Apulses*[5]. Ob prekinitvi INT program prišteva enico v ustrezno spremenljivko znotraj niza, ki odgovarja indeksu ter postavi spremenljivko, ki v glavni zanki osveži še prikaz na zaslonu.

V glavni zanki poteka tudi branje tipk. Izvedeno je z *while* zankama, v kateri vstopimo, če je katera od tipk pritisnjena. Glede na dolžino pritiska, ki jo določimo s povečevanjem interne spremenljivke zanke, se izvede odgovarjajoča funkcija: prikaz meritev dozimetra ali 2 minuti trajajoče merjenje sevanja ozadja oziroma vira.

Delovanje dozimetra temelji na stalnem seštevanju pulzov v spremenljivki *pulses* tipa *long int*. Seštevanje se izvede ob prekinitvi INT. Ob vsaki drugi prekinitvi TMR1I pa se poveča število sekund. Če je izbran prikaz dozimetra (tipka B2), je na zaslonu prikazan čas merjenja v minutah in količina (tisoči) prešteti pulzov. Vnovičen pritisk na tipko B2 preklopi enote prikaza, daljši pritisk pa ponastavi dozimeter.

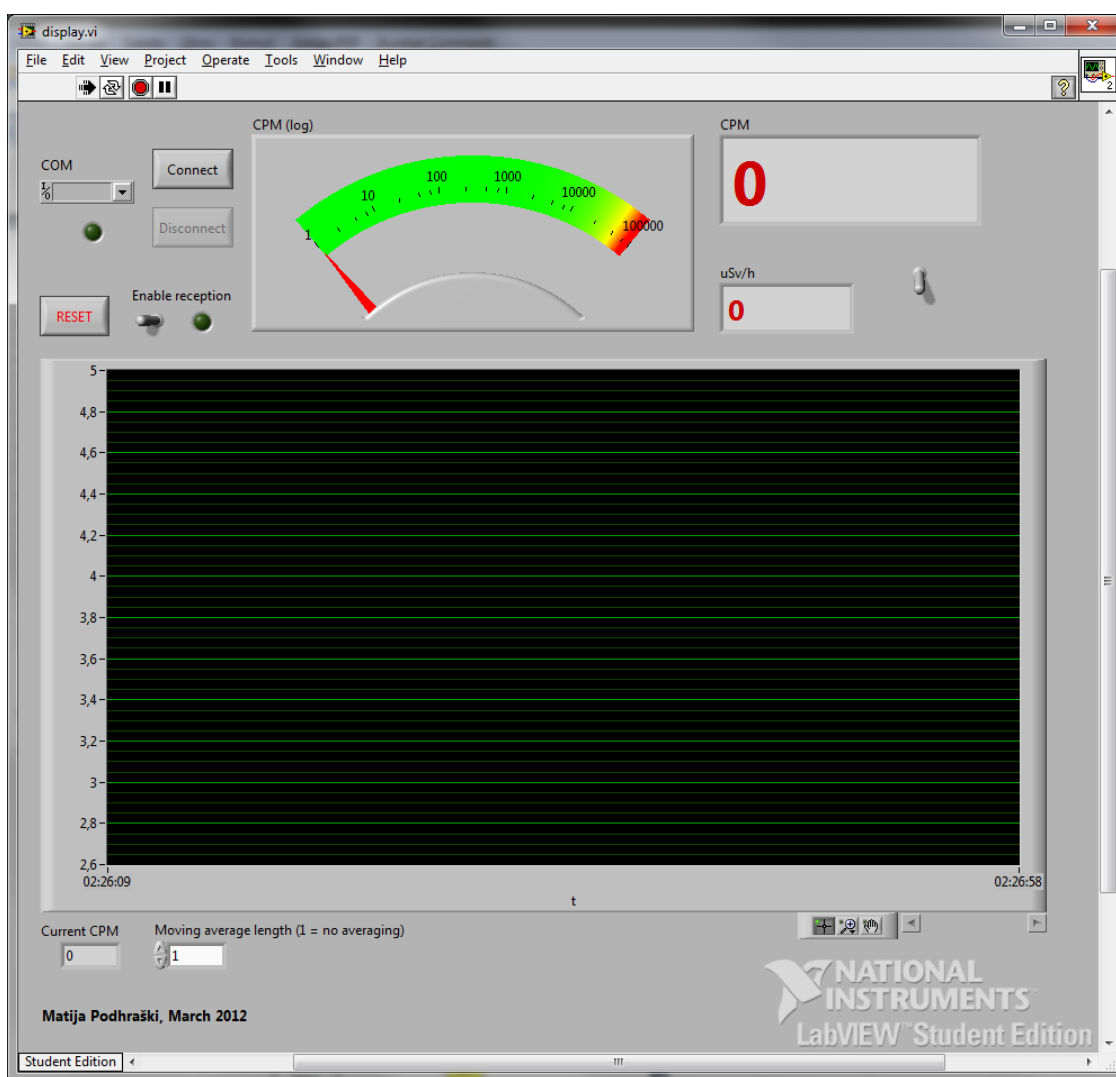
Če je izbrano merjenje sevanja ozadja (daljši pritisk na tipko B1), naprava dve minuti (odmeri jih s povečevanjem spremenljivke *bgr_count* v prekinitveni rutini TMR1F) šteje pulze v spremenljivki *bgr_pulses* v prekinitveni rutini INT, na koncu pa prešteto število pulzov, preračunano na minuto, prikazuje na zaslonu, dokler ni pritisnjena katera od tipk.

Krajši pritiski na B1 premikajo enote prikaza: ciklično se spreminja spremenljivka *units*.

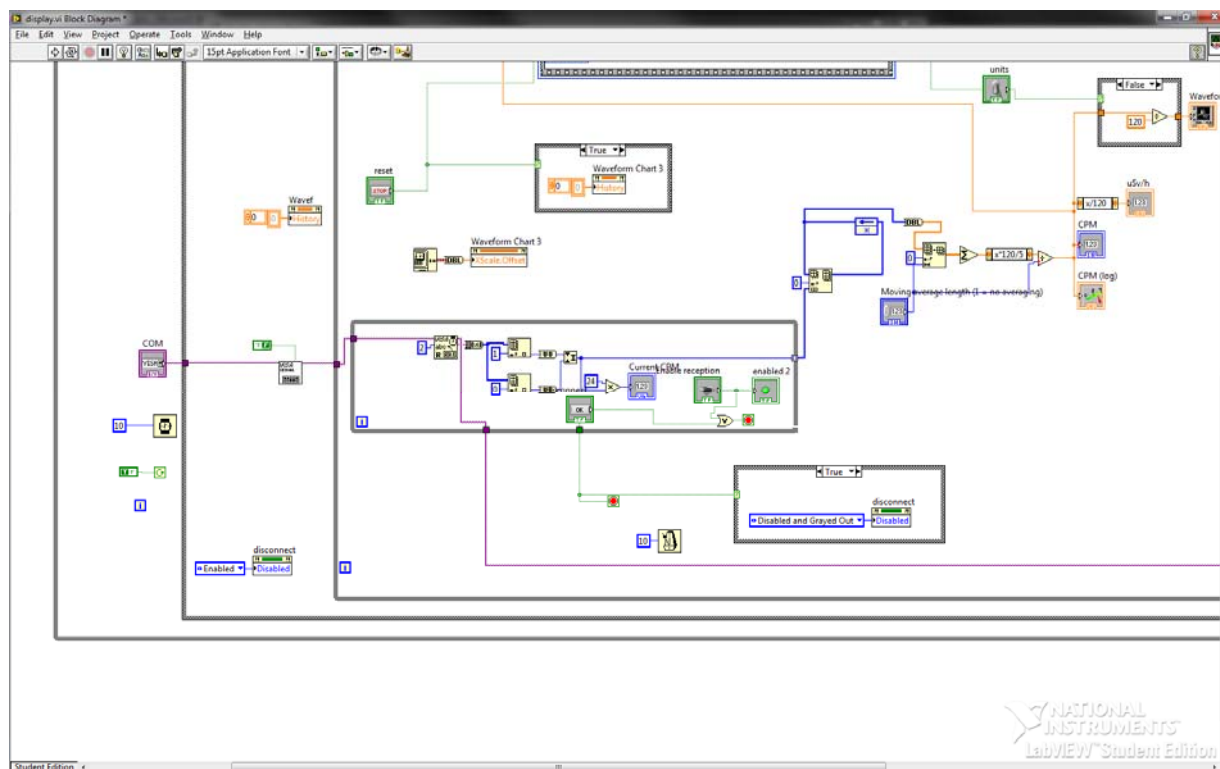
Če je pravi čas (minilo je pol sekunde, kar nakazuje spremenljivka *show*, različna od 0), se v okviru glavne zanke izvede prikaz na zaslon. Vsebina niza *Apulses* se sešteje v spremenljivko *sum* in naslednje mesto v nizu, glede na indeks *Aindex*, se pobriše. Prekinitve se pred tem postopkom za kratek čas izključijo. Vrednost spremenljivke *sum* pomnožimo s 120, ker je osnova prikaza števca v pulzih na minuto (CPM), program pa jih prešteva v polsekundnih segmentih, ter delimo s 5 zaradi dolžine povprečevalnika. Izračunano vrednost program pošlje po UART vodilu z vpisom spodnjega bajta spremenljivke *sum* v register TXREG, potem ko se prenos izvede (zastavica PIR1.TXIF je počiščena), pa na enak način prenese še zgornji bajt. Nato sledi (glede na to, ali smo s kratkim pritiskom na B2 prešli v dozimetrski način še oblikovanje prikaza v dveh funkcijah: *screen()* in *dosimeter_screen()*.

5.6 LabView virtualni inštrument

Da bi se bolje naučil dela z okoljem LabView, sem se odločil tudi za izdelavo preprostega vmesnika, ki iz UART vodila prebere poslane podatke (povprečje petih vsot vzorcev v polsekundnih intervalih), in jih po želji še enkrat povpreči, da je prikaz na grafu bolj gladek. Nato jih izriše na zaslon. Zaradi navajenosti na klasičen tekstovni programerski pristop sem imel pri navajanju na delo z LabViewom kar nekaj težav, vendar sem na koncu uspešno izvedel vse zastavljene cilje. Program podatke tudi ureja v tabelo s pripadajočim časom, kar pomeni, da je pripravljena tudi osnova za njihov zapis v datoteko, kar bom morda dodal kdaj kasneje.



Slika 8: Okno LabView virtualnega inštrumenta



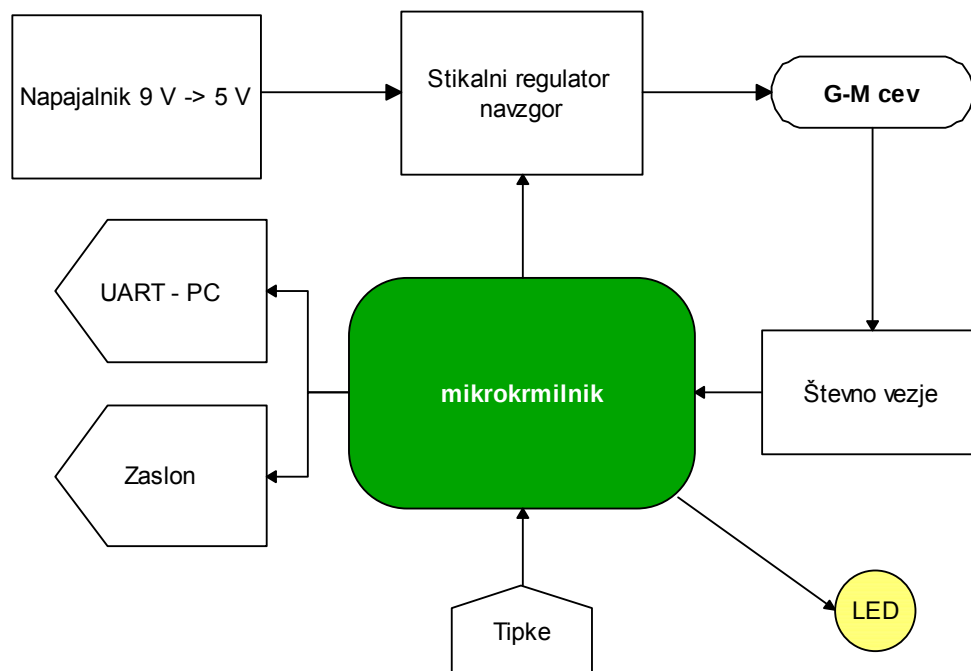
Slika 9: Glavni del bločne sheme inštrumenta

Program za delo s serijskim vmesnikom uporablja VISA komponento. Ta v zanki ciklično prebira po dva bajta iz vmesnika, jih združi v število, ki predstavlja število pulzov na minuto, ter ga doda na vrh (mesto 0) petelementnega polja. Ker se vpisovanje izvaja v zanki, je treba uporabiti povratno vezavo (*feedback node*) ali pomikalni register.

6 Načrti

Shemi vezja in tiskanine (vključno z montažnim tiskom), sta v priloženih PDF datotekah.

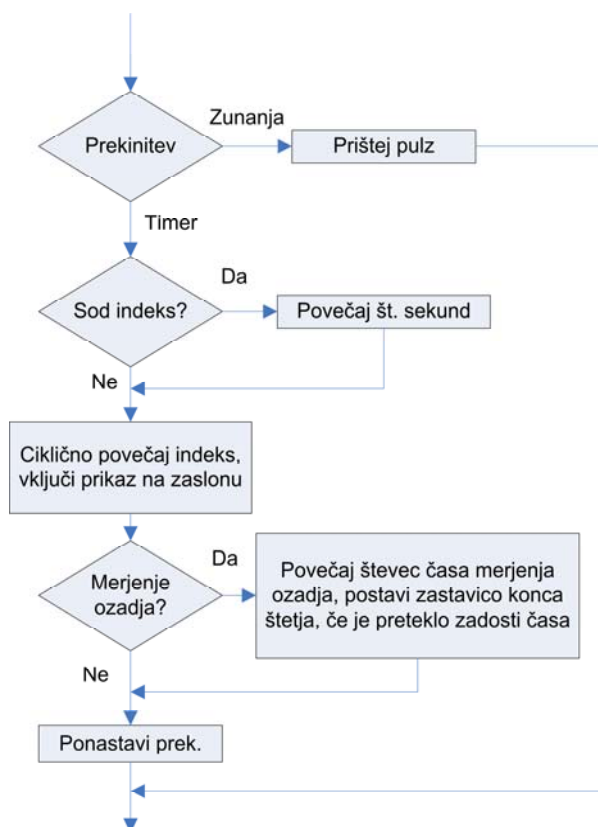
6.1 Bločna shema



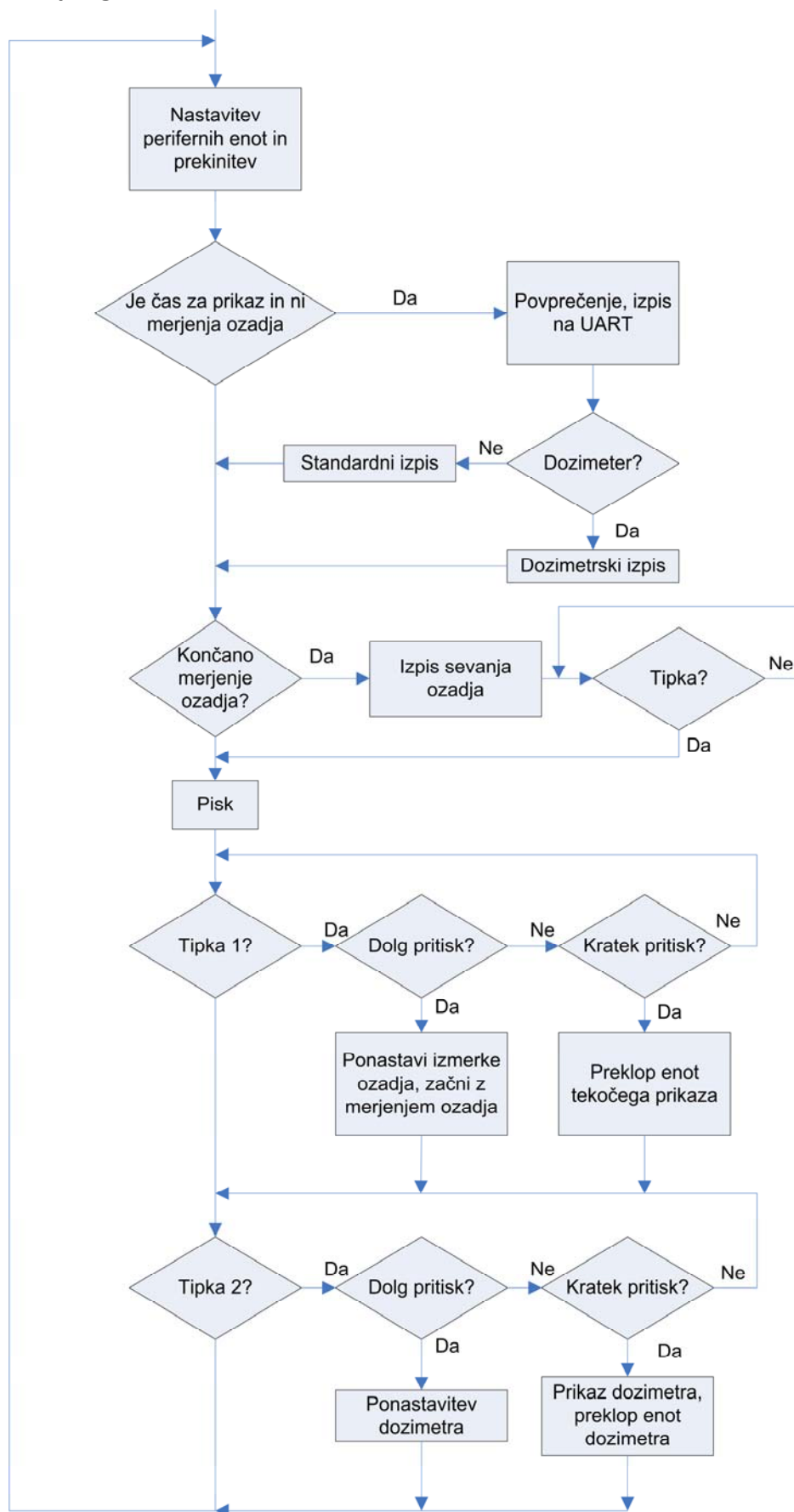
Slika 10: bločna shema naprave

6.2 Bločna shema programa

6.2.1 Prekinitvena rutina



6.2.2 Glavni program



7 Kosovnica

Oznaka	Ohišje	Količina	Vrednost / opis	Proizvajalec	Dobavitelj	Farnell koda	Cena/enoto	Cena
C2, C3, C6, C7	0805 R	4	100 n, 330 p		ebay		0,01	0,04
C8, C9	0805 R	2	100 n, 330 p		ebay		0,01	0,02
C4, C5	AXIAL-0.5	2	10 n	Panasonic	Farnell	1854927	0,28	0,56
R1	0805 R	1	2,2 R		ebay		0,01	0,01
R6	0805 R	1	470		ebay		0,01	0,01
R5, R20, R12, R16	0805 R	4	1 k		ebay		0,01	0,04
R9, R8, R13, R14	0805 R	4	1,5 k		ebay		0,01	0,04
R7, R22	0805 R	2	2,2 k		ebay		0,01	0,02
R4	0805 R	1	3,3 k		ebay		0,01	0,01
R10, R11, R15, R17, R19, R21	0805 R	6	10 k		ebay		0,01	0,06
R18	0805 R	1	47 k		ebay		0,01	0,01
R2, R3	AXIAL-0.5	2	1 M, 4,7 M		ebay		0,1	0,2
C1	CAPPR2-5x6.8	1	10 u	Multicomp	Farnell	9451153	0,046	0,046
L1	custom	1	10mH	Panasonic	Farnell	1749157	1,16	1,16
D1	DIO10.46-5.3x2.8	1	1N4937	Multicomp	Farnell	1624990	0,067	0,067
G1		1	GM Tube SBM-20		ebay		18	18
LS1		1	piskač	Kingstate	Farnell	1193640	0,85	0,85
D2	HDR1X2	1	LED, letvica, ženska 2,5 mm		ebay		0,04	0,04
D2		1	LED dioda, rdeča	Kingbright	Farnell	2001637	0,084	0,084
S1, S2	HDR1X2	2	tipka, letvica, ženska 2,5 mm		ebay		0,04	0,08
S1, S2		2	tipka za ohišje	Multicomp	Farnell	1634684	0,59	1,18
P4	HDR1X3	1	UART, letvica, ženska 2,5 mm		ebay		0,06	0,06
P4		1	3,5 mm jack vtičnica za ohišje	Lumberg	Farnell	1267385	0,62	0,62
P2	HDR1X5	1	ICSP, letvica, moška 2,5 mm		ebay		0,1	0,1
P3	HDR1X6	1	LCD, letvica, ženska 2,5 mm		ebay		0,12	0,12
P3		1	LCD zaslon		?		8	8
U2	PDIP300-P18	1	PIC16F628A-I/P	Microchip	Farnell	9760423	1,82	1,82
U1	SO8_M	1	L78L05ABD	STM	Farnell	1087098	0,22	0,22
Q1	SOT95P240-3RN	1	MMBTA42	Fairchild	Farnell	9846735	0,072	0,072

Q2	SOT95P240-3RN	1	BC847	NXP	Farnell	1081230	0,108	0,108
		1	stikalo za vklop	Multicomp	Farnell	9562273	0,95	0,95
		1	ohišje G418	Multicomp	Farnell	1526736	2,96	2,96
		1	Drobni material (vijaki, žice, ...)				3	3
			SKUPAJ					40,557

8 Merilni rezultati, postopki testiranja in kalibracije

Napravo je zaradi razumljive nedostopnosti kakršnihkoli referenčnih radioaktivnih virov običajnemu uporabniku brez sodelovanja z ustreznimi institucijami nemogoče umeriti. Tako sem se moral pri prikazu omejiti na izpis v preštetih pulzih/minuto, za zelo približno pretvorbo v ekvivalentno dozo v sievertih pa sem uporabil faktor $1 \mu\text{Sv/h} = 120 \text{ CPM}$, ki sem ga za podobno Geigerjevo cev zasledil na internetu, velja pa za kalibracijski vzorec cezija Cs137⁷.

Izvesti pa sem moral nastavitve delovnega cikla pulznoširinske modulacije pretvornika navzgor, da sem dosegel delovanje pri zadosti nizki baterijski napetosti. Napravo sem priključil na tako nizko napetost, da razpadov ni zaznavala, nato pa sem napetost zviševal, dokler se ni število zaznanih pulzov ustalilo. Glede na števno karakteristiko v odvisnosti od napetosti napajanja to napetostno območje imenujemo plato⁴. Začel sem s 50% delovnim ciklom, ki sem ga programsko zviševal, dokler nisem dosegel delovanja pri približno 7 V napajalne napetosti, kar se je zgodilo pri ~35%. Ker je območje platoja v karakteristiki široko tudi napetost polne baterije še ne povzroči pojava, ko pri previsoki napetosti začne število pulzov močno nelinearno naraščati.

9 Tehnične specifikacije

Napajanje	9 V blok baterija
Zaznane vrste sevanja	Gama, višje energijsko beta
Maksimalno število pulzov / minuto	Ni znano
Parametri UART prenosa podatkov	9600 baud, 8 bit, 1 stop bit, no parity

10 Navodila za uporabo



Slika 11: Izdelana naprava

OPOZORILO: Naprava je namenjena zgolj ljubiteljski uporabi – prikazani podatki o radioaktivnosti so zgolj orientacijski. Uporabljena cev ne zaznava delcev alfa. V bližini virov sevanja upoštevajte vse varnostne predpise.

Za interakcijo z uporabnikom ima naprava:

- stikalo za vklop
- levo tipko
- desno tipko
- zaslon
- LED diodo in zvočnik

Napravo vklopimo s preklopom stikala za vklop. Na zaslonu se prikaže izpis CPM, kar pomeni pulze na minuto. Ob zaznavi radioaktivnega razpada se prižge svetleča dioda in oglasi zvočni signal. S pritiskom na desno tipko ciklično preklapljamo med enotami (CPM – CPS (pulzi na sekundo) – $\mu\text{Sv/h}$). Daljši pritisk na desno tipko sproži dvominutno merjenje sevanja ozadja, ki se po preteku merilnega časa v obliki CPM izpiše na zaslon. Pritisk na katerokoli tipko preide v tekoči način prikaza.

Ob vklopu naprava začne delovati kot dozimeter. Ob pritisku na desno tipko se na zaslon izpišeta število pretečenih minut in sprejeta doza. Nadaljnji pritiski na levo tipko izvedejo preklap med prikazom v tisočih preštetih pulzov (kP) in v mikrosievertih (μSv). Dozimeter ponastavimo z daljšim pritiskom na levo tipko. Iz dozimetrskega v tekoči način prikaza preidemo s pritiskom na desno tipko.

10.1 Navodila za uporabo LabView virtualnega instrumenta

Zaženemo program. Najprej v spustnem meniju izberemo serijska vrata (COM), na katere je priključena naprava. Nanjo se povežem s pritiskom gumba *Connect*. Preverimo, če poleg gori zelena lučka, ki signalizira stanje povezave. Za začetek sprejemanja podatkov mora biti vključeno tudi stikalo *Enable reception*. Sprejeti podatki se vnašajo v graf števila pulzov v odvisnosti od časa, se izpisujejo na kazalčnem prikazovalniku in v tekstovni obliki. Glede na stanje stikala ob prikazovalniku lahko izberemo enote grafa v $\mu\text{Sv/h}$ ali CPM. Grafični prikaz ponastavimo s tipko RESET. Po končanem delu prekinemo povezavo s tipko *Disconnect*.

11 Časovna in finančna rekapitulacija

Št.	Opis	Predviden čas	Porabljen čas
1	Pregled virov in obstoječih rešitev	5,00	3,00
2	Zasnova koncepta naprave	2,00	2,00
3	Načrtovanje električne sheme	7,00	8,00
4	Izbira komponent (Farnell)	3,00	2,00
5	Izdelava prototipa na preizk. plošči, programiranje	25,00	30,00
6	Izdelava LabView inštrumenta	10,00	20,00
7	Risanje komponent v Altiumu	2,00	1,00
8	Načrtovanje tiskanega vezja	7,00	5,00
9	Načrtovanje vgradnje v ohišje	1,00	1,00
10	Izdelava tiskanine	2,00	1,00
11	Polaganje komponent in spajkanje	2,00	2,00
12	Vgradnja v ohišje, preizkus delovanja	2,00	2,00
	VSOTA	68,00	77,00

Št.	Opis	Cena	Dejanska cena
1	Elektronske komponente in ohišje	50,00	40,50
2	Tiskano vezje (domača izdelava)	2,00	2,00
3	68 ur dela po 7 € (dejansko 77)	476,00	539,00
	VSOTA	528,00	581,5

12 Reference

1. http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Geiger_counter&oldid=472486338, pridobljeno 15. 2. 2012
2. http://en.wikipedia.org/w/index.php?title=Geiger%E2%80%93M%C3%BCller_tube&oldid=472982617, pridobljeno 15. 2. 2012
3. <http://dl.dropbox.com/u/3572198/Geiger%20Kit%20Schematic%20v3.png>, pridobljeno 16. 3. 2012
4. http://www.centronic.co.uk/downloads/Geiger_Tube_theory.pdf, pridobljeno 17. 3. 2012
5. http://www.module.ro/ericsson_lcd.html, pridobljeno 17. 3. 2012
6. <http://www.best-microcontroller-projects.com/i2c-tutorial.html>, pridobljeno 17. 3. 2012
7. http://www.blackcatsystems.com/GM/converting_CPM_mRhr.html, pridobljeno 20. 3. 2012

Priložene datoteke

- Načrti vezja in tiskanine (sch in pcb)
- Koda programa
- Izhodne datoteke za izdelavo tiskanine - Gerber
- Vrtalni načrt – NC-dril, Excellon
- Prezentacija

Kazalo slik

SLIKA 1: K OPISU DELOVANJA (VIR ²)	3
SLIKA 2: NAPRAVA PRED VGRADNJO V OHIŠJE	6
SLIKA 3: SPODNJA STRAN POSPAJKANEGA IN SESTAVLJENEGA TISKANEGA VEZJA	6
SLIKA 4: STIKALNI PREKLOPNIK	7
SLIKA 5: VEZJE ZA ZAZNAVO PULZOV	8
SLIKA 7: PRENOS PO I2C VODILU, VIR ⁶	10
SLIKA 8: OKNO LABVIEW VIRTUALNEGA INSTRUMENTA	12
SLIKA 9: GLAVNI DEL BLOČNE SCHEME INSTRUMENTA	13
SLIKA 10: BLOČNA SCHEMA NAPRAVE	14
SLIKA 11: IZDELANA NAPRAVA	18

Kazalo

1	KLJUČNE BESEDE · KEYWORDS	3
2	UVOD	3
2.1	DELOVANJE GEIGERJEVEGA ŠTEVCA	3
3	SPECIFIKACIJE NAPRAVE	4
4	ČASOVNI IN FINANČNI PLAN	5
4.1	ČASOVNI PLAN	5
4.2	FINANČNI PLAN	5
5	ZASNOVA NAPRAVE	6
5.1	NAPAJALNIK	7
5.2	STIKALNI PREKLOPNIK NAVZGOR	7
5.3	VEZJE ZA ZAZNAVO PULZOV	8
5.3.1	<i>Zaslon</i>	9
5.4	MIKROKRMILNIK	9
5.5	PROGRAM	9
5.6	LABVIEW VIRTUALNI INSTRUMENT	12
6	NAČRTI	13
6.1	BLOČNA SCHEMA	14
6.2	BLOČNA SCHEMA PROGRAMA	14
6.2.1	<i>Prekinitvena rutina</i>	14
6.2.2	<i>Glavni program</i>	15
7	KOSOVNICA	16
8	MERILNI REZULTATI, POSTOPKI TESTIRANJA IN KALIBRACIJE	18
9	TEHNIČNE SPECIFIKACIJE	18
10	NAVODILA ZA UPORABO	18
10.1	NAVODILA ZA UPORABO LABVIEW VIRTUALNEGA INSTRUMENTA	19
11	ČASOVNA IN FINANČNA REKAPITULACIJA	20
12	REFERENCE	20
	PRILOŽENE DATOTEKE	20
	KAZALO SLIK	21
	KAZALO	21