



UNIVERZITET U NIŠU  
ELEKTRONSKI FAKULTET



**PROJEKTOVANJE I REALIZACIJA  
SAMOODRŽIVOG AUTONOMNOG  
ELEKTRONSKOG SISTEMA SA NISKOM  
POTROŠNJOM ENERGIJE ZA MERENJE  
APSORBOVANE DOZE JONIZUJUĆEG ZRAČENJA**

**MASTER RAD**

Studijski program: Elektronika i mikrosistemi

Student:

Mentor:

Laza Kostić, br. indeksa: 1007

Prof. dr Goran Ristić



Ovaj master rad urađen je u okviru projekta ELICSIR koji je finansiran od strane Horizont 2020 programa za istraživanja i inovacije Evropske Unije prema sporazumu o grantu broj 857558



[www.elicsir-project.eu](http://www.elicsir-project.eu)

Niš, oktobar 2020.

Master rad

Projektovanje i realizacija samoodrživog autonomnog elektronskog sistema sa niskom potrošnjom energije za merenje apsorbovane doze jonizujućeg zračenja

*Zadatak: Projektovati i realizovati prototip samoodrživog autonomnog elektronskog sistema sa niskom potrošnjom energije za merenje apsorbovane doze jonizujućeg zračenja. Samoodrživ aspekt prototipa rešiti obnovljivim izvorom energije. Neophodno je da prototip ima što manju potrošnju energije. Napraviti sistem tako da može da koristi različite senzore jonizujućeg zračenja, kao i da može da komunicira sa velikim brojem senzora, modula i integrisanih kola. Detaljno opisati tok projektovanja, odabira komponenti, način rada sistema i realizaciju prototipa.*

Komisija za odbranu rada:

---

Prof. dr Goran Ristić

Student:

Laza Kostić

Br. Indeksa: 1007

---

Prof. dr Dejan Milić

Datum prijave rada: \_\_\_\_\_

Datum predaje rada: \_\_\_\_\_

---

Doc. dr Ljubomir Vračar

Datum odbrane rada: \_\_\_\_\_

# Projektovanje i realizacija samoodrživog autonomnog elektronskog sistema sa niskom potrošnjom energije za merenje apsorbovane doze jonizujućeg zračenja

## SAŽETAK

Prošli vek je doneo čovečanstvu ogroman tehnološki pomak. Jedno od otkrića koje je zauvek promenilo svet je otkriće nuklearne energije. Nuklearna energija se, između ostalog, koristi i u svrhe proizvodnje električne energije. Nuklearne elektrane su jedan od najčistijih izvora električne energije koje imamo i predstavljaju odličan korak ka održivoj i čistoj budućnosti. Takođe, nuklearna energija nije prisutna samo kao proizvod ljudskog umeća, već postoji širom kosmosa. Njen uticaj u kosmosu najbolje poznaju astronauti i inženjeri koji su zaduženi za projektovanje raketa i satelita koji će ići u svemir.

Kako čovek ispituje mogućnosti nuklearne energije za bolju budućnost na ovoj, a i na drugim planetama, javlja se potreba za merenjem i kvantizacijom nuklearne energije. Odgovor se nalazi u sensorima jonizujućeg zračenja. Oni uglavnom, za neki određeni spektar jonizujućeg zračenja, na svom izlazu predaju električnu struju ili napon u zavisnosti od doze zračenja.

Jedna od primena tih senzora bi bila u sistemu za merenje apsorbovane doze jonizujućeg zračenja, negde gde je to neophodno ili poželjno. Recimo unutar i u okolini nuklearne elektrane, unutar i u okolini rudnika radioaktivnih materijala ili na području gde želimo da vršimo statistiku apsorbovane doze zračenja koristeći više senzora.

U ovom radu je prikazan i objašnjen tok, i rezultat projektovanja i realizacije prototipa takvog sistema koji koristi senzore zračenja za merenje apsorbovane doze jonizujućeg zračenja, prikuplja informacije o svojoj lokaciji preko GPS modula i šalje te informacije putem GSM modula baznoj stanici. Sistem se napaja litijumskom baterijom i punjenje baterije je obezbeđeno putem solarne ćelije i kola za punjenje baterije. Celokupna potrošnja sistema je smanjena korišćenjem kola za kontrolu potrošnje energije. Ceo sistem je jako kompaktan i modularan, pa ga je lako prilagoditi raznim namenama i uslovima.

# Self-sustaining, low-power embedded system for measuring the absorbed dose of ionizing radiation

## ABSTRACT

The last century brought mankind a huge technological leap forward. One technological discovery that changed the world forever was the discovery of nuclear energy. Nuclear energy is used, among other things, in the production of electrical energy. Nuclear power plants are one of the cleanest energy sources that we have, and are a great step forward towards a cleaner tomorrow. Nuclear energy doesn't exist only as a product of mankind, it is prevalent everywhere in space. Its affects in space are well known by astronauts and space-engineers alike.

As the possibilities of nuclear energy are tested for the task of a better future here on Earth and elsewhere in space, the need for measuring nuclear energy arises. The way this can be done is by using sensors for ionizing radiation. These sensors normally generate an electrical current or voltage potential on their output, in accordance to the ionizing radiation they absorb.

One application of this kind of sensor is in a system for measuring the absorbed dose of ionizing radiation, for where this kind of system is needed or wanted. For example inside of and around a nuclear power plant, or inside of and around a mine or quarry where radioactive materials are being resourced, or in an area where using multiple sensing units the statistics of absorbed ionizing radiation are calculated.

In this master thesis the flow and procedures of designing and realization of a prototype system for this purpose, that uses sensors for sensing doses of absorbed ionizing radiation, uses a GPS module in order to gather information about its location and uses a GSM module to send all the information to a base station is shown. The system is powered by a lithium battery, which is charged by a solar cell via a lithium battery charger circuit. The total power consumption of the system is reduced by using a power management circuit. The system as a whole is very compact and modular, hence it is easy to conform to multiple use cases and conditions.

## SADRŽAJ

1 Uvod.....	1
2 Selekcija komponenti i modula.....	3
2.1 Senzori jonizujućeg zračenja.....	3
2.2 Mikrokontroler.....	7
2.3 GSM modul.....	9
2.4 GPS modul.....	10
2.5 Kolo za kontrolu potrošnje energije.....	12
2.6 Solarna ćelija i skladištenje energije.....	15
3 Dizajn i realizacija prototipa.....	18
3.1 Povezivanje, šeme i dizajn štampane ploče (PCB).....	18
3.2 Algoritmi i programske celine.....	23
3.3 Realizacija prototipa.....	25
4 Zaključak.....	27
5 Literatura.....	29
6 Dodatak.....	31

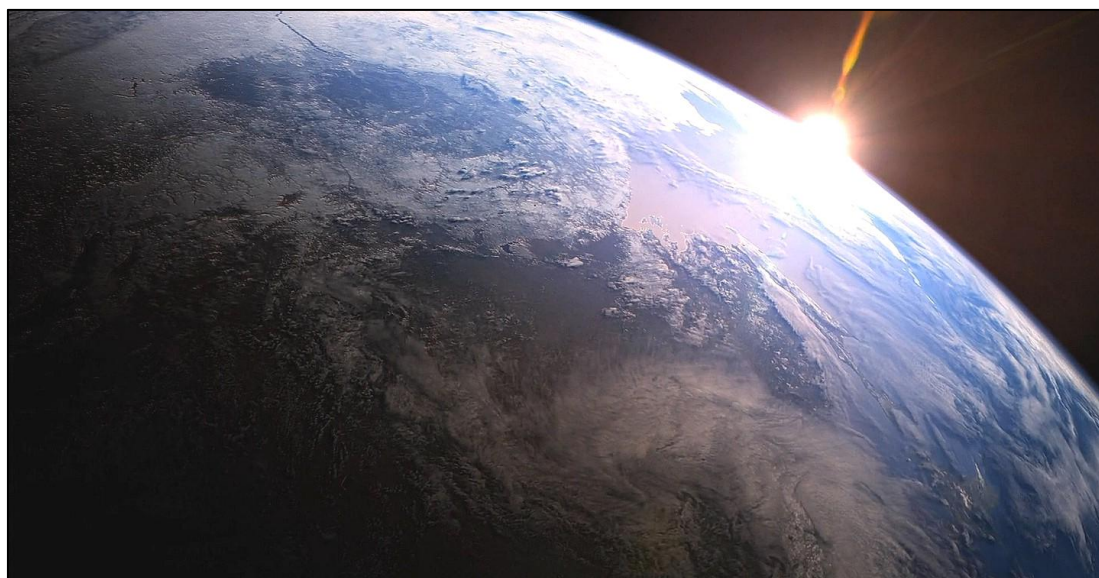
# 1 Uvod

Zadatak ovog rada je projektovanje i realizacija prototipa samoodrživog autonomnog elektronskog sistema za merenje apsorbirane doze jonizujućeg zračenja. Vrlo je jasan zadatak, ali takođe ostavlja mnogo prostora za interpretaciju ograničenja i zahteva pošto se radi o prototipu.

Navedeno je u zadatku da samoodrživ aspekt sistema podrazumeva da sistem koristi obnovljiv izvor energije. Postoji više vrsta obnovljivih izvora energije i svaki ima svoje prednosti i mane kao i situaciju i mesto gde se može koristiti. Takođe, u zadatku stoji da sistem mora podržavati rad više različitih senzora zračenja, kao i da sistem mora imati mogućnost komunikacije sa različitim sensorima, modulima i integrisanim kolima. Sva ova ograničenja daju strukturu i prizmu kroz koju treba gledati prilikom projektovanja sistema, odabira komponenti i kasnije realizacije sistema.

Vraćajući se jedan korak unazad, treba postaviti pitanje, šta se zapravo očekuje od ovog sistema? Da li će se koristiti u zatvorenom ili otvorenom prostoru? Koje doze i vrste zračenja treba sistem da meri? Koliko često sistem treba da izvrši ta merenja? Da li je sistem namenjen za rad na Zemlji ili u svemiru? Očigledno je da sudeći prema pitanjima koja se mogu postaviti, na koje nema preciznog odgovora, zadatak ovog rada nije konačan komercijalni uređaj ili uređaj u naučne svrhe, makar ne u prvom mahu. Zadatak je napraviti sistem koji će služiti kao početna tačka za dalji razvoj i usavršavanje sistema i podsistema sa preciznijom svrhom i namenom. Razlog ovog razjašnjenja zadatka i cilja rada je odabir pristupa pri njegovom projektovanju i realizaciji, odnosno odlučiti se na šta se treba fokusirati.

Prva stvar koja se mora odlučiti je da li će sistem biti projektovan za svemir ili za Zemlju.



Kako je ovaj prototip samo početna tačka za dalja istraživanja i razvoj nije neophodno odmah uvoditi složene i specijalne RAD-HARD (eng. *RADiation HARDened*) komponente i module koji su namenjeni za rad u svemiru, gde su velike doze jonizujućeg zračenja. Ideja je da se prototip izradi kao dokaz koncepta sa

komponentama koje su dostupne komercijalno, što bi značilo da prototip može da radi na većini lokacija na Zemlji.

Druga stvar koju treba znati je u okolini kojih obnovljivih izvora energije će se sistem naći i biti izložen. To je neophodno znati jer u samom zadatku rada se nalaže da treba realizovati samoodrživi prototip (obnovljivim izvorom energije). Ukoliko bi sistem bio u eneterijeru neke građevine gde postoji toplotni izvor odgovarajućeg intenziteta mogao bi se koristiti TEG (eng. *ThermoElectric Generator*) kao sredstvo napajanja sistema. Ukoliko bi se sistem nalazio u nekom rudniku ili postrojenju gde ima mnogo mehaničkih vibracija i udara mogao bi se koristiti piezoelektrični generator kao izvor napajanja. Ali ukoliko bi se sistem koristio negde na otvorenom skoro da je sigurno da će mu biti dostupna Sunčeva energija, koja se jednostavno pretvara u električnu pomoću solarnih ćelija. Ukoliko se pretpostavi da će sistem uglavnom biti korišćen u spoljašnjim uslovima onda je obnovljiv izvor energije koji je najdostupniji u toj situaciji Sunčeva energija.



Nakon odluke o korišćenju Sunčeve energije kao obnovljivi izvor energije, treba odlučiti gde će se skladištiti višak energije koji proizvede solarna ćelija tokom dana dok ima Sunca, da bi se koristila tokom noći ili u toku dana kada nema Sunca.

Takođe treba odlučiti koje senzore zračenja koristiti i da li je neophodna neka specijalna prateća elektronika za njihov rad.

Na koji način će se obrađivati informacije svakog senzora pojedinačno ukoliko jedan sistem ima više senzora, i ukoliko je neophodno da ima više sistema koji su umreženi.

O svemu ovome će biti reči u narednim poglavljima.

## 2 Selekcija komponenti i modula

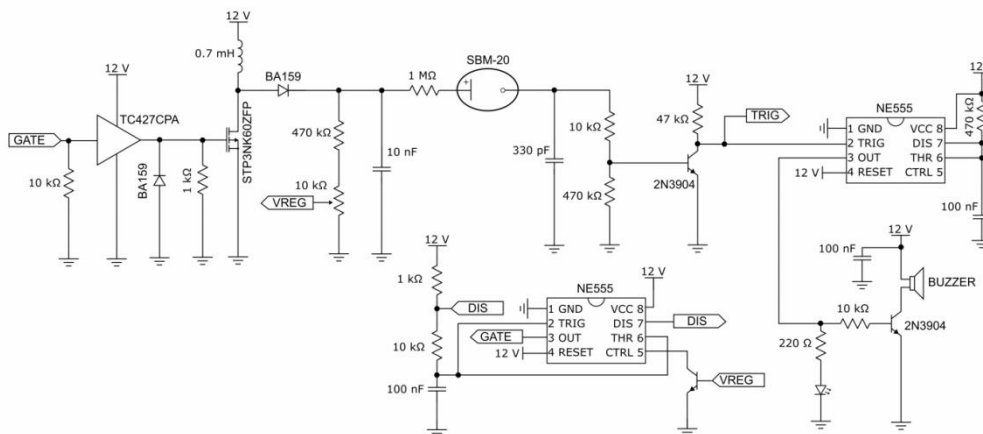
### 2.1 Senzori jonizujućeg zračenja

Postoji više načina na koji se može meriti apsorbovana doza jonizujućeg zračenja. Kako je ovaj rad proizvod Laboratorije za primenjenu fiziku (eng. *Applied Physics Laboratory* - APL) na Katedri za mikroelektroniku na Elektronskom fakultetu u Nišu, prikladno je koristiti rezultate i istraživanja prethodnih prototipa i radova o sensorima jonizujućeg zračenja, koji su takođe nastali u ovoj laboratoriji. Naime četiri senzora će biti navedena za rad sa ovim prototipom: Gajger-Miler brojač, RADFET (eng. *RADiation-sensitive Field Effect Transistor*), EPAD (eng. *Electrically Programmable Analog Device*) i PiN fotodioda.

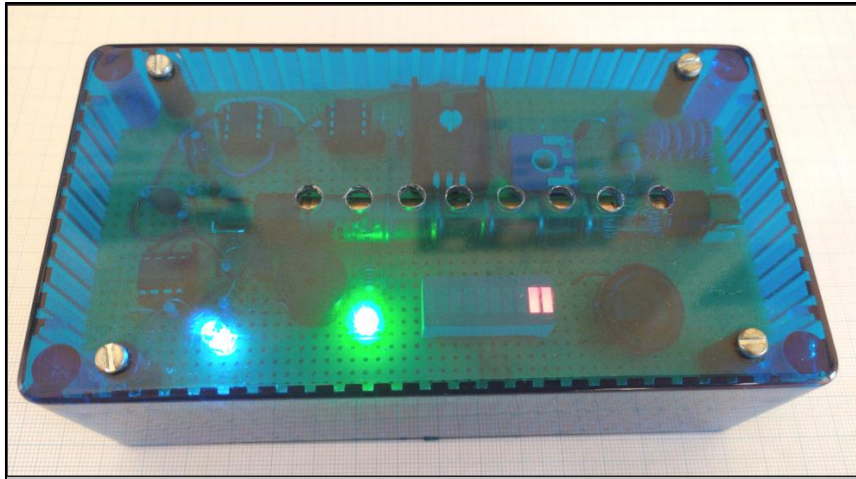
**Gajger-Miler brojač** sadrži cev u kojoj je gas i dve elektrode. Prilikom prolaska radioaktivnih čestica kroz cev gas se jonizuje. Kako je postavljeno jako električno polje između elektroda, joni gasa idu ka katodi, a elektroni ka anodi. Dolazi do protoka struje kroz cev, koja predstavlja implus koji se javlja kao posledica prisustva jonizujućeg zračenja. Brojanjem ovih impulsa dobija se intenzitet zračenja. U zavisnosti od cevi, prag osetljivosti, broj ukupnih otkucaja pre kvara cevi, napon rada i ostale karakteristike se razlikuju. Cev manjih dimenzija (dužina 108 mm, prečnik 10 mm) SBM-20 je korišćena u prototipu Gajger-Miler brojača realizovanog u APL laboratoriji. Neke od karakteristika te cevi su:

- ◆ Radni napon od 350 V do 475 V
- ◆ Radni intenzitet zračenja od 0,004 do 40 mkR po sekundi
- ◆ Broj impulsa pre kvara, minimum  $2 \cdot 10^{10}$
- ◆ Težina 10 g

Za pravilan rad cevi neophodna je prateća elektronika koja pobuđuje cev, odnosno stvara jako električno polje i registruje impulse izazvane jonizujućim zračenjem. Na slici ispod (Slika 1) se može videti šema konkretnog takvog kola, a na narednoj slici (Slika 2) i sam realizovan brojač.



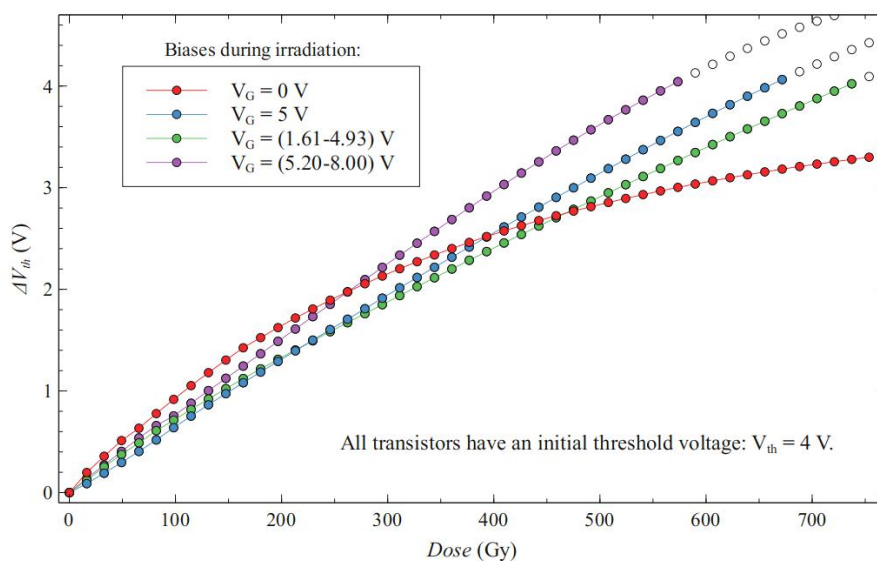
Slika 1 Šema pobudnog kola za SBM-20 Gajger-Miler cev<sup>[1]</sup>



Slika 2 Prototip Gajger-Miler brojača<sup>[1]</sup>

Među prvima u svetu, **EPAD** je korišćen kao senzor zračenja u APL laboratoriji. To je MOS struktura sa plivajućim gejtom, kojoj se može podešavati napon praga. Kada ova struktura biva ozračena jonizujućim zračenjem, napon praga MOS strukture sa plivajućim gejtom opada u skladu sa zračenjem<sup>[2][3]</sup>. Ovo predstavlja odličan način merenja apsorbovane doze zračenja jer je senzor u čvrstom agregatnom stanju (eng. Solid state) i nema fluida i pokretnih delova, pa je njegova implementacija jednostavna. Takođe mogu se vrlo jednostavno integrisati više ovih struktura na jednom čipu, uključujući i prateću elektroniku pa bi realizacija ovog načina merenja zračenja bila široko dostupna. Trenutno je u eksperimentalnom stadijumu i do sada zabeležene karakteristike<sup>[2][3]</sup> ALD1108E integrisanog kola sa EPAD strukturama su:

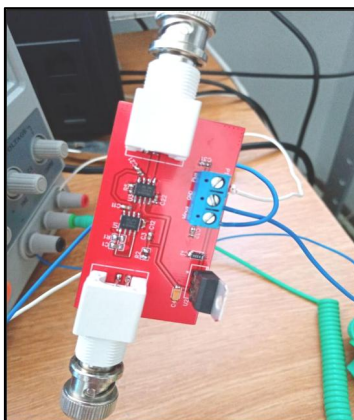
- ◆ Radni napon od 0 V do 12 V
- ◆ Radna struja 68  $\mu$ A
- ◆ Opseg izmerive apsorbovane doze zračenja do 570 Gy
- ◆ Preciznost 7,55 mV/Gy



Slika 3 Grafik dozimetarskih karakteristika EPAD, promena napona praga sa apsorbovanom dozom<sup>[3]</sup>

**PiN** fotodiode se može koristiti kao senzor jonizujućeg zračenja, na isti način kao što se koristi kao senzor elektromagnetnog zračenja nižih energija (svetlosti). Ukoliko pri inverznoj polarizaciji PiN dioda biva ozračena, u intrinzičnom delu diode stvaraju se parovi elektron-šupljina. Oni se razdvajaju pod uticajem tog električnog polja i ta pojava se registruje kao protok struje iz diode. U APL laboratoriji su vršena istraživanja koristeći komercijalno dostupne PiN fotodiode<sup>[4]</sup> i korišćeni su različiti načini merenja generisane struje<sup>[4][5]</sup>. Neke od izmerenih karakteristika<sup>[4]</sup> su:

- ◆ Radni napon inverzne polarizacije do 100 V
- ◆ Opseg izmerive apsorbovane doze zračenja od 472  $\mu\text{Gy}$  do 3,3 Gy
- ◆ Opseg struje generisane usled zračenja, od 0,5 nA do 600 nA

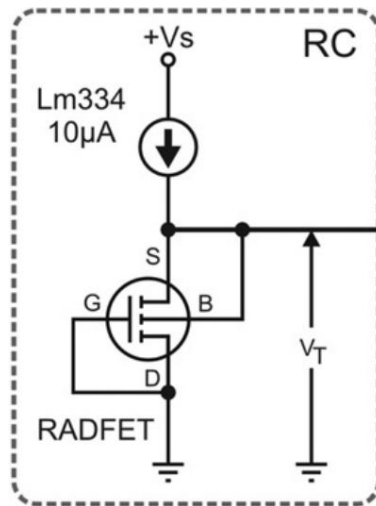


*Slika 4 Elektronski sklop za merenje malih struja, namenjeno za PiN diode kao senzore zračenja<sup>[5]</sup>*

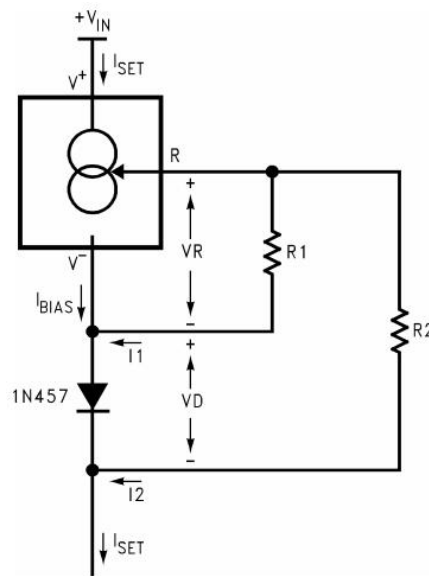
**RADFET** je PMOS tranzistor koji je osetljiv na jonizujuće zračenje. Kada je izložen jonizujućem zračenju, njegov napon praga raste<sup>[6]</sup>. Istraživanja i sistemi za merenja<sup>[7][8]</sup> RADFET-a su vršeni u APL laboratoriji i pokazali se kao jako uspešni. Kada je RADFET izložen jonizujućem zračenju, u oksidu se stvaraju parovi elektron-šupljina. Neki od tih parova se rekombinuju, a neki pod uticajem električnog polja na gejt-balk kontaktima se razdvajaju. Elektroni lako izađu iz oksida u gejt terminal, dok šupljine pošto su sporije bivaju zarobljene na spoju oksid-balk. Pošto je sada oksid-balk spoj pozitivno naelektrisan, neophodan je veći apsolutni napon na gejtu kako bi se u PMOS tranzistoru obrazovao provodni kanal, odnosno kako bi se tranzistor uključio. Ova istraživanja su mahom rađena na RADFET-ima koji su proizvod Nacionalnog instituta *Tyndall* u Irskoj. Neke od karakteristika RADFET-a su:

- ◆ Radni napon do 5 V
- ◆ Radna struja 10  $\mu\text{A}$
- ◆ Opseg izmerive apsorbovane doze do 300 Gy

Kao primer, ovaj sistem će koristiti RADFET za senzor zračenja. Šema povezivanja RADFET-a sa konstantnim izvorom struje je prikazana na narednoj slici (Slika 5). Sa povećanjem doze, napon na sors-drejnu će rasti usled konstantnog izvora struje. Korišćen je konstantan izvor struje LM334<sup>[7]</sup>.



Slika 5 Šema povezivanja RADFET-a sa konstantnim izvorom struje LM334



Slika 6 Šema povezivanja LM334 konstantnog izvora struje sa nultim temperaturnim koeficijentom

Pošto LM334 kao konstantan izvor struje ima pozitivan temperaturni koeficijent, neophodno je negirati taj koeficijent kako bi merenje bilo temperaturno stabilno. Data je šema (Slika 6) u njegovoj tehničkoj dokumentaciji<sup>[9]</sup> za rešavanje tog problema. Dioda 1N457 ima proporcionalno sličan temperaturni koeficijent i u zavisnosti od željene konstantne struje, mogu se izračunati otpornici R1 i R2 pomoću formula takođe datih u tehničkoj dokumentaciji. Takođe je bitno navesti da LM334 i dioda moraju biti u fizičkom kontaktu kako bi se osiguralno da su na istoj temperaturi.

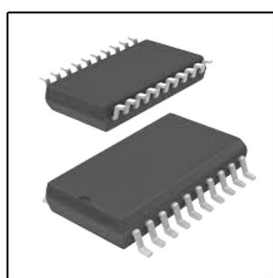
$$I_{SET} \approx \frac{0,134 V}{R_1} \quad R_1 \approx \frac{0,134 V}{10 \mu A} = 13,4 k\Omega$$

$$\frac{R_2}{R_1} \approx 10 \quad R_2 \approx 10 \cdot 13,4 k\Omega = 134 k\Omega$$

## 2.2 Mikrokontroler

Kako bi se upravljalo sensorima i merio napon na njima neophodan je mikrokontroler. Pored toga, njegova uloga je i u obradi podataka merenja kao i slanje podataka baznoj stanici putem GSM modula, o čemu će biti reči kasnije u radu.

Za svrhu ovog prototipa mikrokontroler treba da ima USART (eng. *Universal Synchronous/Asynchronous Receiver/Transmitter*), SPI (eng. *Serial Peripheral Interface*) i I2C (eng. *Inter-Integrated Circuit*) mogućnosti komunikacije kako bi mogao da komunicira sa raznim sensorima, modulima i integrisanim kolima. Uglavnom su ovi vidovi komunikacije najzastupljeniji u velikom broju komponenti. Takođe kontroler treba da ima i ADC (eng. *Analog to Digital Converter*) kako bi mogao da meri napone na izlazu senzora. Mikrokontroler koji je korišćen za ovaj prototip je ATtiny3216 (Slika 7) proizvođača Microchip.



Slika 7 Mikrokontroler ATtiny3216

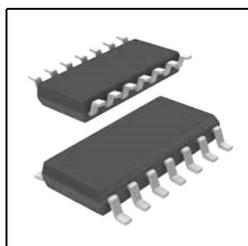
Iz tehničke dokumentacije<sup>[10]</sup> se može videti da kontroler zadovoljava potrebe ovog prototipa. Njegove karakteristike od značaja su:

- ◆ Radni napon od 1,8 V do 5,5 V
- ◆ Radni takt do 20 MHz; interni oscilator, ne zahteva eksterne komponente
- ◆ 32 KB fleš memorije, 10000 ciklusa
- ◆ 256 bajta EEPROM memorije, 100000 ciklusa
- ◆ 2 KB SRAM memorije
- ◆ Master/Slave SPI interfejs
- ◆ Master/Slave I2C interfejs
- ◆ USART interfejs
- ◆ 10 - bit ADC, 115000 uzoraka po sekundi
- ◆ 18 I/O pinova
- ◆ UPDI interfejs za programiranje kontrolera

Jedan interesantan aspekt je relativno novi UPDI (eng. *Unified Program and Debug Interface*) interfejs za programiranje ATtiny serije mikrokontrolera. On zahteva samo jedan izvod (pin) kontrolera za podatke, kao i da kontroler bude priključen na radno napajanje. Ovakav interfejs ostavlja ostale izvode kontrolera slobodne za povezivanje ulaza/izlaza internih periferija.

Kako je ovaj sistem prototip, korisno je uvesti alternativu ovako komplikovanoj komponenti - mikrokontroleru. Razlog tome je da se možda nešto previdi tokom

programiranja kontrolera ili jednostavno nije dostupan u prodaji u tom trenutku, ili možda iz nekog razloga neka nova komponenta/modul koju želimo povezati sa sistemom jednostavno ne radi sa ovim modelom mikrokontrolera. Takođe je praktično da alternativni kontroler ima drugačije kućište kako bi se još više povećala fleksibilnost prototipa. Kao alternativni mikrokontroler, korišćen je ATtiny1614 (Slika 8) iz iste serije mikrokontrolera kao i ATtiny3216. Ima jako slične karakteristike prethodnom, a najveća razlika je kućište.

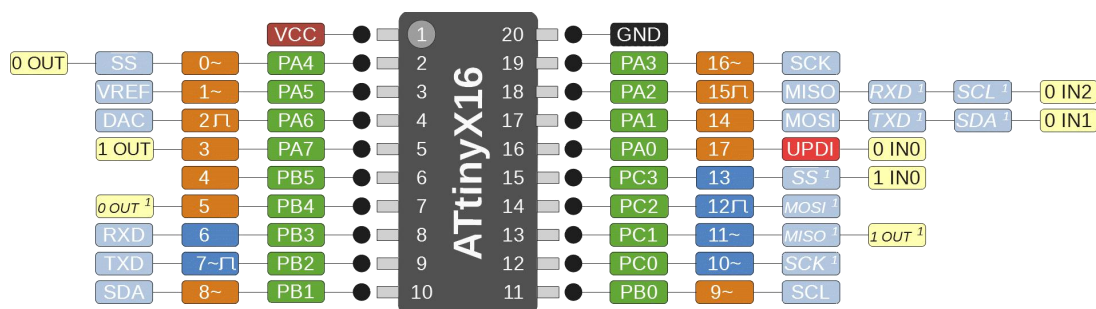


Slika 8 Mikrokontroler ATtiny1614

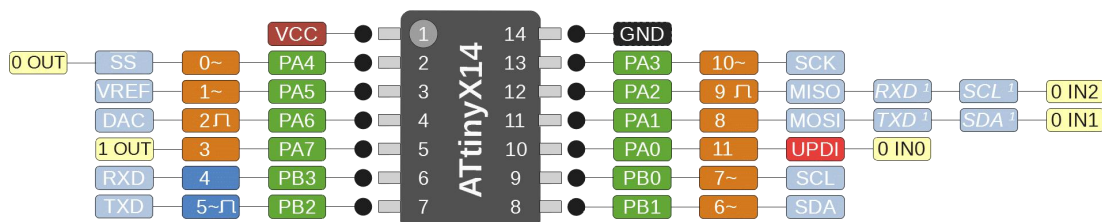
Njegove karakteristike<sup>[11]</sup> koje su od značaja, a razlikuju se u odnosu na ATtiny3216 su:

- ◆ 16 KB fleš memorije, 10000 ciklusa
- ◆ 12 I/O pinova

Razlika u kućištima u kojima se kontroleri nalaze je veličina i broj izvoda. ATtiny3216 se nalazi u 20 - pin SOIC300 kućištu, dok se ATtiny nalazi u 14 - pin SOIC150 kućištu. Pošto je ista serija kontrolera u pitanju, oba kontrolera imaju jako sličan raspored izvoda (Slika 9 i Slika 10), a najpogodnije je to što su im pinovi za napajanje na istim pozicijama što čini realizaciju prototipa za oba kontrolera lakšom.



Slika 9 Izvodi i njihove funkcije serije kontrolera ATtinyX16



Slika 10 Izvodi i njihove funkcije serije kontrolera ATtinyX14

## 2.3 GSM modul

Kao način komunikacije sistema sa baznom stanicom i/ili spoljašnjim svetom korišćen je modul sa GSM SIM800L čipom (Slika 11) proizvođača SIMCOM. GSM (eng. *Global System for Mobile communications*) je standard protokola za telekomunikaciju mobilnih uređaja, poput mobilnih telefona, tableta, laptopova i drugih uređaja. Infrastruktura i sam GSM protokol je jedan od najpouzdanijih vidova bežične komunikacije na velike razdaljine. Razlog tome je što se GSM protokol i infrastruktura koriste širom celog sveta za mobilnu telefoniju, i postoji već više od 10 godina.



Slika 11 SIM800L modul sa koaksijalnom antenom

Ovaj standard protokola omogućava prijem i slanje tekstualnih SMS (eng. *Short Message Service*) poruka, uživo prijem i slanje zvučnih signala (poziva) i GPRS (eng. *General Packet Radio Service*) razmenu podataka (“mobilni internet”). Za ovaj prototip nas zanima samo mogućnost slanja tekstualnih SMS poruka kao način slanja informacija od senzora kao i drugih informacija o sistemu. Na prethodnoj slici je prikazan modul sa koaksijalnom antenom koja mu značajno povećava domet. Takođe na poleđini poseduje držač za SIM (eng. *Subscriber Identity Module*) karticu. Neke od karakteristika<sup>[12]</sup> ovog modula su:

- ◆ Radni napon od 3,4 V do 4,4 V
- ◆ *Stand-by* potrošnja struje 18 mA
- ◆ Burst potrošnja struje prilikom povezivanja na mrežu 2 A
- ◆ Potrošnja struje u *Sleep* režimu < 1 mA
- ◆ UART komunikacija koristeći AT komande
- ◆ Podrazumevana UART brzina 9600 baud

Iz ovih karakteristika se postavljaju jako bitni uslovi za kasnije projektovanje sistema o čemu će biti više reči u narednom poglavlju. Jedna od zanimljivih karakteristika je UART komunikacija koristeći AT komande. Ove komande su donekle standard među GSM modulima i modulima mobilne komunikacije, s tim što se uglavnom razlikuju od proizvođača do proizvođača. Uglavnom su slične pa je zamena modula relativno jednostavna bez velikih izmena u samom programu i kôdu u kontroleru. Što se tiče samih AT komandi i vremena slanja SMS tekstualnih poruka (trajanje slanja SMS-a je bitno zbog energetske potrošnje sistema), više reči će biti u narednom poglavlju.

Bitno je napomenuti da modul ima i *Sleep* režim u kome protiče jako mala električna struja ( $< 1 \text{ mA}$ ), pri čemu taj režim može biti jako koristan. Da bi se modul povezoao na mrežu (ukoliko je u dometu), neophodno je nekoliko sekundi, možda čak i nekoliko minuta velike potrošnje električne struje (od  $150 \text{ mA}$  do  $2 \text{ A}$ ). Nakon povezivanja, ukoliko modul ne vrši neku bežičnu komunikaciju on troši oko  $18 \text{ mA}$  u *Stand-by* režimu. U tom režimu modul je u pripravnosti za prijem i slanje tekstualnih poruka i poziva, i internet komunikaciju. Obzirom da ovaj sistem ne očekuje prijem i slanje poruka i poziva, niti internet komunikaciju, već samo šalje tekstualne SMS poruke u određenim trenucima, modul se može isključiti u potpunosti kada je neaktivan. Ukoliko bi se modul u potpunosti isključio (fizički sa napajanja ili softverski AT komandama), on bi prilikom ponovnog uključivanja radi slanja te poruke, opet morao prvo da se poveže na mrežu i potroši veliku količnu energije. Kako želimo da izbegnemo to, modul se može postaviti u *Sleep* režim gde nije u pripravnosti za prijem i slanje, ali je i dalje povezan na mrežu. Tačno je da ukoliko bi se modul u potpunosti isključio ne bi trošio struju ( $0 \text{ A}$ ), a u *Sleep* režimu ipak troši neku struju ( $< 1 \text{ mA}$ ). Ali ukoliko sistem više od 2 do 3 puta dnevno šalje poruke sa informacijama, onda bi potrošnja GSM modula bila mnogo veća prilikom potpunog isključivanja pa uključivanja, nego da se modul postavi u *Sleep* režim. Razlog leži u tome što svaki ciklus uključivanja modula zahteva puno energije za povezivanje modula na mrežu. Dokaz za ovu tvrdnju je dat ispod.

Prosečna potrošnja jednog ciklusa isključivanja i uključivanja (on/off ciklus) modula (bez slanja SMS), ukoliko povezivanje na mrežu traje prosečno  $30 \text{ s}$ :

$$\frac{(2 \text{ A} - 150 \text{ mA})}{2} \cdot 30 \text{ s} = 1075 \text{ mA} \cdot 30 \text{ s} = 32250 \text{ mAs}$$

$$\frac{32250 \text{ mAs}}{3600 \text{ s}} \cdot 1 \text{ h} = 8.95 \text{ mAh}$$

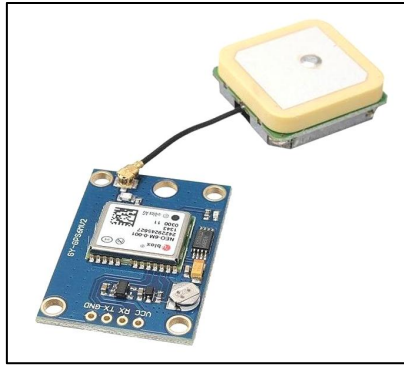
Potrošnja modula u *Sleep* režimu je  $< 1 \text{ mA}$ . Da bi modul potrošio istu količinu energije u *Sleep* režimu (bez slanja SMS) koliko i jedan on/off ciklus (bez slanja SMS), modul bi trebalo da bude u *Sleep* režimu:

$$\frac{8.95 \text{ mAh}}{< 1 \text{ mA}} = > 8.95 \text{ h}$$

Što znači da se potpuno isključivanje i uključivanje modula energetski isplati jedino ukoliko bi se modul isključivao i uključivao na više od  $8,95$  - skoro  $9$  časova. Ukoliko želimo da se GSM komunikacija češće odvija, postavljanje modula u *Sleep* režim je svakako efikasniji izbor.

## 2.4 GPS modul

Pošto je pretpostavka da će se sistem koristiti napolju, ukoliko nije adekvatno fizički fiksiran, vetar, voda, ili neka druga prirodna pojava ga može izmestiti. Ili možda će se sistem koristiti na moru, gde će ga morske struje nositi. U tom slučaju nije loše znati tačnu lokaciju sistema, i što se tiče samog modula i ako se gradi neka "toplotna" mapa izmerenog zračenja. Tačna lokacija sistema bilo gde na svetu može se otkriti GPS (eng. *Global Positioning System*) čipom ili modulom. Modul koji je korišćen koristi NEO-6M čip (Slika 12) proizvođača u-blox.



Slika 12 NEO-6M modul sa antenom

Modul na slici je prikazan sa antenom. Takođe poseduje eksterni naponski regulator i EEPROM čip koji se napaja malom punjivom litijumskom baterijom. Taj EEPROM čip služi da GPS čip u njemu skladišti trenutne podatke o satelitima tokom preračunavanja lokacije i drugih parametara ukoliko je to potrebno, a njegova glavna uloga je da se u njemu skladišti poslednja izračunata lokacija. Razlog za time je ukoliko bi se GPS čip stavio u neki režim rada gde se gube podaci u njegovom internom SRAM-u, on bi pri prelasku u standardan režim mogao da preuzme podatke o poslednjoj izračunatoj lokaciji, kako bi brže izračunao novu lokaciju. Glavne karakteristike<sup>[13]</sup> ovog modula su:

- ◆ Radni napon od 2,7 V do 3,6 V
- ◆ Potrošnja struje 45 mA
- ◆ UART komunikacija, koristeći NMEA, UBX Binary, RTCM
- ◆ Podrazumevana UART brzina 9600 baud
- ◆ Vreme nalaženja lokacije nakon što je modul bio isključen 27 s
- ◆ Brzina osvežavanja lokacije nakon prve nađene lokacije je 1 Hz (maksimum 5 Hz)

NEO-6M modul komunicira sa mikrokontrolerom koristeći UART interfejs. Standard u komunikaciji je NEMA tip rečenica. NEMA (eng. *National Marine Electronics Association*) rečenice u standardni oblik GPS informacija skoro svih GPS čipova na tržištu. U tim nizovima podataka koje se nazivaju rečenice nalaze se razne GPS informacije koje je čip pribavio, trenutna lokacija, brzina kretanja, nadmorska visina, lokalno vreme, pravac kompasa itd. GPS modul pri uključivanju automatski šalje NEMA rečenice, tako da slanje zahteva za lokaciju ili neki podatak GPS modulu nije potreban. Jedino što je neophodno je da se prihvati jedna potpuna NEMA rečenica za pribavljanje tačne lokacije.

Prvo nalaženje lokacije (ukoliko ima dovoljno satelita za povezivanje) traje najduže, 27 s. Nakon toga GPS čip skladišti tu lokaciju u eksternoj EEPROM memoriji. I ona tu ostaje sve dok EEPROM čip ima napajanje ili se napaja sa male litijumske baterije koja može da ga napaja do dve nedelje. U sledećem nalaženju lokacije, GPS čip uzima u obzir tu lokaciju, brzinu kretanja, smer i druge podatke kako bi predvideo i suzio površinu gde može biti trenutna lokacija. Za tu ograničenu površinu mu treba manje satelita sa kojima treba biti u kontaktu za izračunavanje tačne lokacije. Tako se vreme nalaženja naredne tačne lokacije smanjuje čak i na manje od 1 s. Kako GPS čip radi ovo automatski umanjena je potreba za nekim *Sleep*

režimom kao što je slučaj kod GSM modula, i modul se može u potpunosti isključiti. Tako da potrošnja GPS modula pri nalaženju lokacije u najgorem slučaju iznosi:

$$45 \text{ mA} \cdot 27 \text{ s} = 1215 \text{ mAs}$$

$$\frac{1215 \text{ mAs}}{3600 \text{ s}} \cdot 1 \text{ h} = 0,33 \text{ mAh}$$

Dok u najboljem slučaju iznosi:

$$45 \text{ mA} \cdot 1 \text{ s} = 45 \text{ mAs}$$

$$\frac{45 \text{ mAs}}{3600 \text{ s}} \cdot 1 \text{ h} = 0,01 \text{ mAh}$$

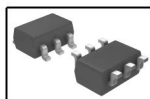
## 2.5 Kolo za kontrolu potrošnje energije

Efikasnost potrošnje energije celokupnog sistema se može rešiti softverski. Tako što će, kao što je pomenuto, kontroler postaviti GSM modul u *Sleep* režim i isključiti GPS modul sa napajanja, kao i isključiti pomoćnu elektroniku za senzor sa napajanja. To je odlično rešenje sa minimalnim brojem eksternih komponenti u sistemu. Mana ovog rešenja je da onda kontroler mora biti zadužen za svoje ponovno uključivanje. Neki kontroleri mogu da isključe sve svoje izlaze, ulaze i periferije i da uđu u neki režim u kome troše jako malo struje (nekoliko  $\mu\text{A}$ ) i da pomoću svog unutrašnjeg brojača u tom režimu broje taktove radnog takta i tako nakon nekog vremena i broja otkucaja radnog takta ponovo se uključe u potpunosti, i normalno nastave sa radom. Takav način rada predstavlja jednostavan način za ekstremno malu potrošnju sistema. Tokom 24 h pri potrošnji od 5  $\mu\text{A}$  neki kontroler bi potrošio svega:

$$24 \text{ h} \cdot 5 \mu\text{A} = 120 \mu\text{Ah} = 0,12 \text{ mAh}$$

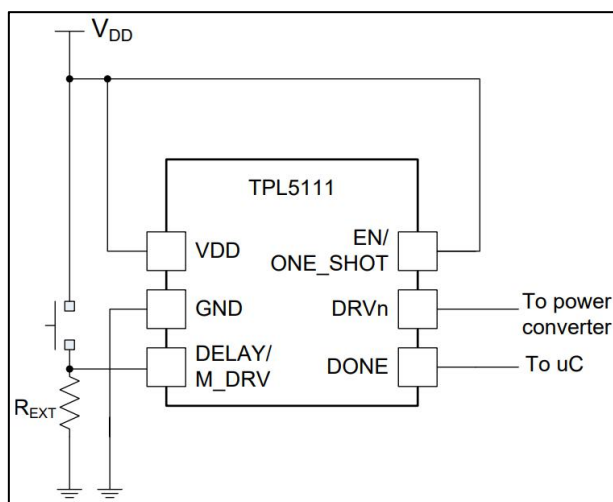
Ovo je izuzetno mala potrošnja koja bi zadovoljila veliki broj namena ovakvog sistema. Ali ukoliko način odnosno rezervoar za skladištene energije je jako jako mali (desetine ili svega nekoliko mAh) onda je ova potrošnja prevelika. Taj rezervoar može biti minijaturna litijumska baterija, integrisana baterija, super-kondenzator ili nešto drugo. Možda senzor koji će biti korišćen kasnije ili vid komunikacije su izuzetno mali potrošači, pa je elegantnije iskoristiti što manje energije u neaktivnom režimu kako kontroler ne bi bio najveći potrošač u sistemu. Takođe možda su dimenzije i zapremina sistema ograničene ili njegova težina je ograničena za neku namenu, pa se moraju koristiti načini skladištenja energije koji su relativno malog kapaciteta.

Kako bi se koristili različiti kontroleri, a potrošnja u neaktivnom režimu ostala minimalna neophodno je neko kolo za potrošnju energije koje bi odbrojavalo do sledećeg uključivanja sistema i nakon toga uključilo ceo sistem. Sa mogućnošću da nakon odrađenog merenja i slanja podataka sistem se ponovo isključi i odborjavanje ponovo otpočne sve do sledećeg "buđenja". Takvo kolo se može sačiniti pomoću TPL5111 (Slika 13) i TPS737xx (Slika 17) komponenta proizvođača Texas Instruments.



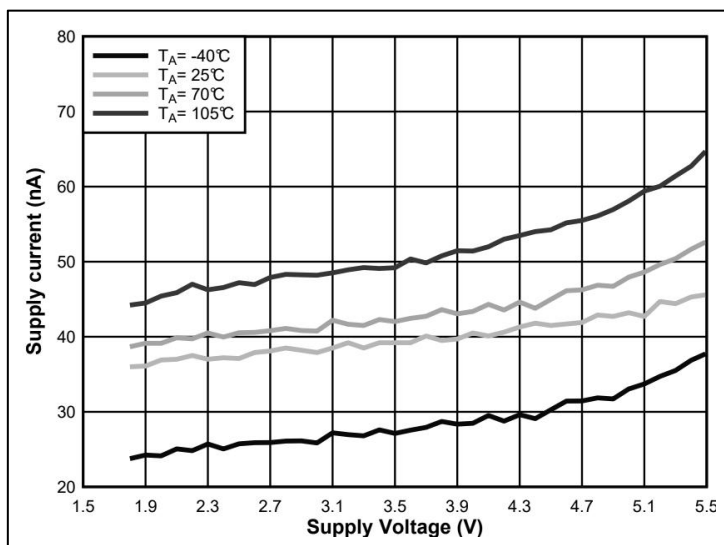
Slika 13 TPL5111 tajmer

TPL5111 je brojač sa izuzetno niskom potrošnjom energije koji nakon programiranog (koristeći jedan eksterni otpornik) vremenskog intervala na jednom svom izvodu propusti napon svog napajanja. Taj izvod bi trebalo da se poveže na *enable\_in* nekog naponskog regulatora ili sistema kako bi se izvršila regulacija ili propuštanje većih napona i struja sledećem delu kola, u slučaju ovog prototipa misli se na kontroler, senzor i module. On takođe poseduje jedan izvod na kome se može dovesti logička jedinica (recimo sa kontrolera), što naglašava tajmeru da ukine napon na svom *enable\_out* izvodu (što isključuje napajanje ostatku sistema) i ponovo započne odbrojavanje sve do novog “buđenja”. Primer ovakavog povezivanja je preuzet iz tehničke dokumentacije<sup>[14]</sup> tajmera i prikazan je na slici ispod (Slika 14).



Slika 14 Šema kola uobičajne primene TPL5111 tajmera

Rečeno je da TPL5111 tajmer ima izuzetno nisku potrošnju energije, ali ne i koliku. Na grafiku iz tehničke dokumentacije<sup>[14]</sup> (Slika 15) se vidi potrošnja struje u zavisnosti od napona napajanja tajmera i temperature okoline. Tajmer se može napajati naponom od 1,8 V do 5,5 V i u zavisnosti od temperature njegova potrošnja je od 65 nA do samo 24 nA. Ovo su izuzetno niske vredosti potrošnje struje koje zadovoljavaju uslov ovog kola. Realna prosečna potrošnja od 40 nA pri temperaturi okoline od 25 °C je čak 125 puta manja od potrošnje nekog kontrolera u režimu niske potrošnje (diskutovanih 5  $\mu$ A).



Slika 15 Grafik potrošnje TPL5111 tajmera

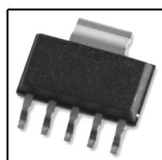
Vrednosti eksternog otpornika kojim se određuje vremenski interval “buđenja” za različite vremenske intervale su date u tabeli u tehničkoj dokumentaciji<sup>[14]</sup>. Takođe je data formula (Slika 16) po kojoj se može izračunati vrednost otpornika za bilo koji vremenski interval od 1 s do 7200 s.

$$R_{EXT} = 100 \cdot \left( \frac{-b + \sqrt{b^2 - 4 \cdot a \cdot (c - 100 \cdot T)}}{2 \cdot a} \right)$$

Za T [s]	a	b	c
1 < T ≤ 5	0.2253	-20.7654	570.5679
5 < T ≤ 10	-0.1284	46.9861	-2651.8889
10 < T ≤ 100	0.1972	-19.345	692.1201
100 < T ≤ 1000	0.2617	-56.2407	5957.7934
T > 1000	0.3177	-136.2571	34522.468

Slika 16 Formula i tabela za izračunavanje vrednosti eksternog otpornika

Kao što je već spomenuto, deo kola za kontrolu potrošnje energije je naponski regulator sa niskim padom napona TPS737xx. Poslednje dve cifre modela regulatora označavaju da li je fiksiran njegov izlazni napon ili je podešiv pomoću dva otpornika u povratnoj petlji. Model koji je korišćen u ovom prototipu će biti naveden kasnije.



Slika 17 TPS737xx naponski regulator

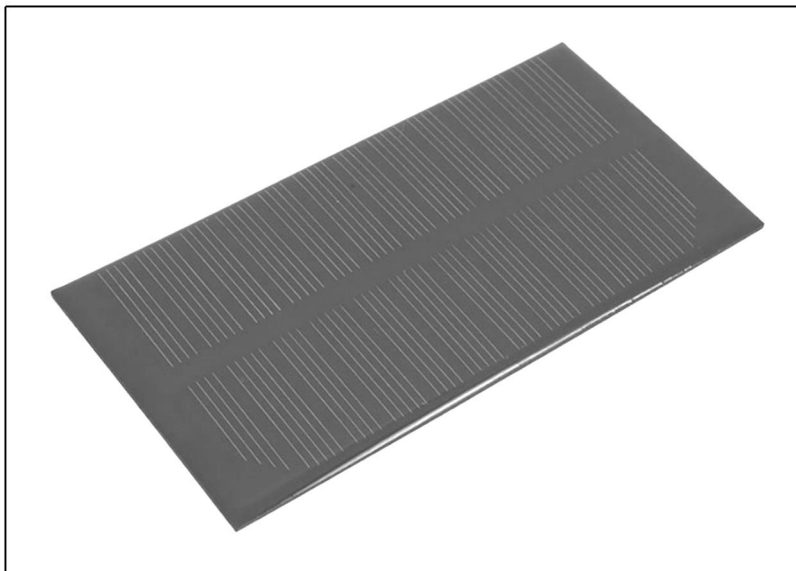
Njegove bitne karakteristike<sup>[15]</sup> su nizak pad napona sa ulaza na njegovom izlazu (tipično 130 mV), kao i mogućnost njegovog isključivanja pomoću *enable\_in* izvoda. Ulazni napon je od 2,2 V do 5,5 V u zavisnosti od modela i maksimalna izlazna struja do 1 A. Mogućnost isključivanja je razlog za korišćenje baš ovog regulatora. Kada je na njegovom *enable\_in* izvodu napon od 0 V do 0,5 V, on će na svom regulisanom izlazu dati napon od 0 V. U tom slučaju, on praktično ne konzumira nikakvu struju sa svog *enable\_in* izvoda, a sa ulaza za regulaciju napona konzumira manje od 20 nA. A kada je na njegovom *enable\_in* izvodu napon od 1,7 V do napona na njegovom ulazu, on će funkcionisati kao klasičan naponski regulator i na svom izlazu dati regulisan napon.

Pomoću TPL5111 tajmera i TPS737xx naponskog regulatora, može se napraviti kolo za kontrolu energije koje ima izuzetno malu potrošnju u režimu čekanja do sledećeg “buđenja”. Ovo kolo može da radi sa skoro bilo kojim kontrolerom i sa velikim rasponom niskih napona sa izvora napajanja sistema (od 2,2 V do 5,5 V). Zbirna potrošnja tajmera i regulatora u režimu čekanja je tipično 50 nA - 60 nA, što bi značilo da za 24 sata ovo kolo u tom režimu potroši:

$$24 \text{ h} \cdot \frac{(60 \text{ nA} - 50 \text{ nA})}{2} = 1320 \text{ nAh} = 0,00132 \text{ mAh}$$

## 2.6 Solarna ćelija i skladištenje energije

Da bi prototip bio što fleksibilniji za eksperimentisanje i istraživanje novih metoda merenja, obrade podataka i komponenti, kao i za dokaz koncepta sistema, korišćena je solarna ćelija 2 W snage (Slika 18). Napon otvorenog kola ove ćelije je 6 V.



*Slika 18 Solarna ćelija*

Ukoliko se pretpostavi da će solarna ćelija u proseku imati 4 - 5 sati svetlosti dnevno tokom godine, proizvešće u proseku 9 Wh energije dnevno. Baterija koja je korišćena je litijumska baterija nominalnog napona 3,7 V i realnog kapaciteta 1500 mAh (Slika 19), što bi značilo da ima energiju 5,55 Wh kada je u potpunosti napunjena. Razlog korišćenja ove baterije je isti kao i za solarnu ćeliju.



*Slika 19 Litijumska baterija*

Sistem (kolo za kontrolu potrošnje energije, kontroler, senzor, GPS modul, GSM modul) u proseku ukupno troši prilikom uključivanja sistema, merenja, nalaženja lokacije, obrade i slanja podataka SMS porukom, što je jedan ciklus od 10 sekundi:

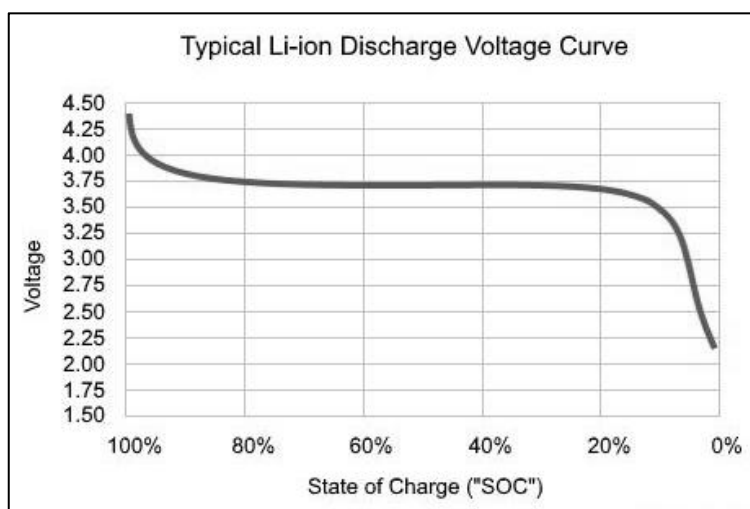
$$(60 \text{ nA} \cdot 10 \text{ s} + 10 \text{ mA} \cdot 10 \text{ s} + 10 \text{ } \mu\text{A} \cdot 1 \text{ s} + 45 \text{ mA} \cdot 5 \text{ s} + 1,075 \text{ A} \cdot 5 \text{ s}) \approx$$

$$\approx \frac{5700 \text{ mAs}}{3600 \text{ s}} \cdot 1 \text{ h} = 1,58 \text{ mAh}$$

Može se pretpostaviti da se sistem budi recimo na svakih 3590 sekundi kako bi ceo ciklus uključivanja i režima mirovanja trajao tačno 1 sat, što bi mogao da bude realan slučaj. Onda bi potrošnja jednog ciklusa celog sistema bila:

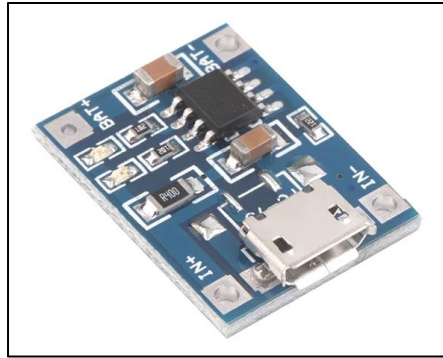
$$\frac{(60 \text{ nA} \cdot 3590 \text{ s} + 5700 \text{ mAs})}{3600 \text{ s}} \cdot 1 \text{ h} \approx 1,58 \text{ mAh}$$

Odavde se vidi da potrošnja kola za kontrolu potrošnje energije neznatno utiče na potrošnju sistema, tako da za dalje računice se može zanemariti. Tako će sistem moći da uradi veliki broj ciklusa (oko 940 ciklusa). Onda bi jedno punjenje baterije trajalo čak 37 dana. Jasno je da ova solarna ćelija i baterija višestruko zadovoljavaju energetske potrebe ovog sistema za jedan dan rada, nakon čega bi se ponovo punila baterija sa solarne ćelije. Ali je takođe jako korisno imati veće energetske mogućnosti prilikom testiranja, eksperimentisanja i istraživanja, kao što je i rečeno u početku. Ukoliko bi se za konačnu upotrebu sistema koristila solarna ćelija i litijumska baterija, trebalo bi ih prilagoditi potrošnji sistema.



Slika 20 Grafik stepena kapaciteta litijumske baterije u zavisnosti njenog napona

Takođe, neophodno je reći da litijumske baterije ne bi trebalo prazniti manje od 20% maksimalnog kapaciteta, za što duži životni vek batereije. Sa grafika se vidi (Slika 20) da je 20% kapaciteta jednoćelijske litijumske baterije kada je na njoj napon od 3,6 V. Ovaj napon predstavlja najmanji napon napajanja koji će sistem imati u toku rada. Kako je poželjan što veći radni napon sistema zbog mogućnosti povećanja napona zbog senzora, korišćen je napon od 3,3 V. Manji je od 3,6 V što je neophodan uslov za naponski regulator koji se koristi, a i postoji fiksna verzija TPS737xx regulatora za 3,3 V koja se zove TPS73733, pa eksterni otpornici u povratnoj sprezi nisu korišćeni.



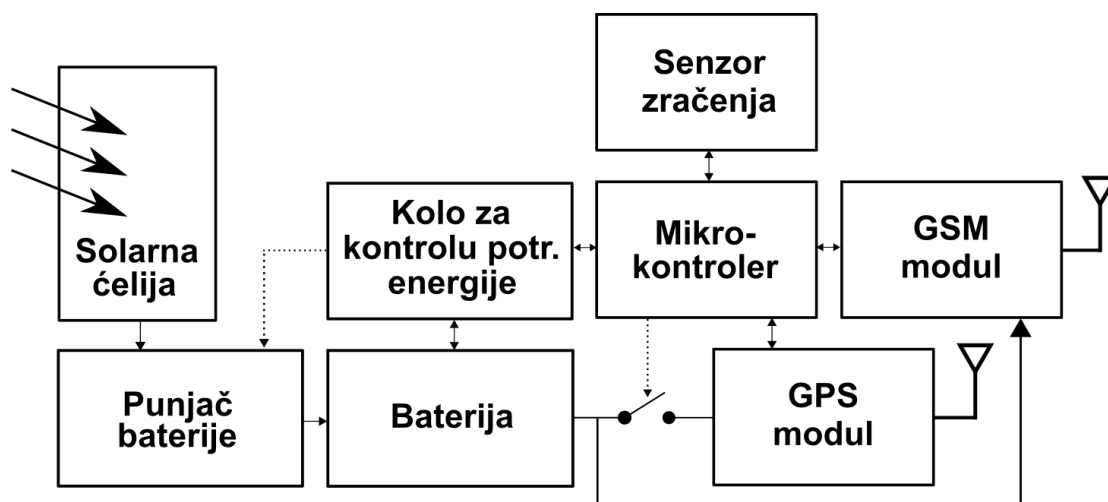
Slika 21 TP4056 čip na modulu

Solarna ćelija puni bateriju pomoću TP4056 čipa (Slika 21) koji se nalazi na modulu sa eksternim komponentama. TP4056 je punjač za jednoćelijsku litijumsku bateriju i poseduje CC/CV metodu punjenja (eng. *Constant Current Constant Voltage*), što je najbolja metoda za punjenje litijumske baterije. Maksimalna struja kojom se može puniti baterija određuje se eksternim otpornikom vezanim na jedan izvod TP4056 čipa. Preporučeno je da maksimalna struja punjenja litijumske baterije ne prevazilazi desetinu struje koju baterija može da preda u roku od jednog sata, u cilju dužeg radnog veka baterije. Znači za ovu bateriju od 1500 mAh, maksimalna struja punjenja treba biti 150 mA ili manja. U tehničkoj dokumentaciji čipa<sup>[16]</sup> su date različite vrednosti eksternog otpornika za različite maksimalne struje punjenja (Slika 22). Korišćen je otpornik od 10 k $\Omega$  za maksimalnu struju punjenja od 130 mA.

$R_{EXT}$ [k $\Omega$ ]	$I_{BATT}$ [mA]
10	130
5	250
4	300
3	400
2	580
1,66	690
1,5	780
1,33	900
1,2	1000

Slika 22 Tabela zavisnosti eksternog otpornika od maksimalne struje punjenja

### 3 Dizajn i realizacija prototipa



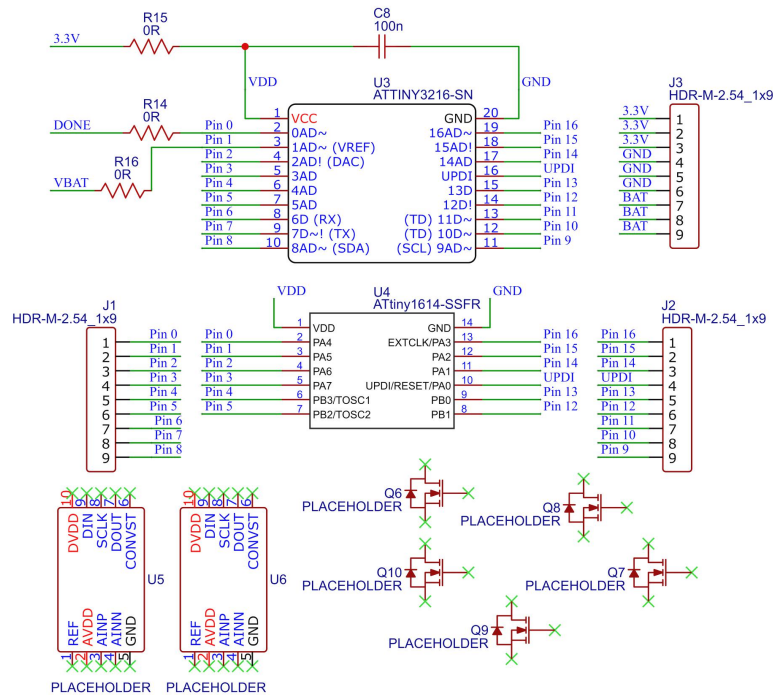
Slika 23 Blok šema sistema

Blok šema celog sistema je data na slici iznad (Slika 23). Sve komponente i moduli su prikazani, kao i odnos između njih. Veza između bloka senzora zračenja i bloka kola za kontrolu potrošnje energije nije predstavljena jer u zavisnosti od senzora koji se koristi, senzor se može napajati i izvodima mikrokontrolera.

Kratak opis rada sistema sledi, detalji su objašnjeni kasnije u tekstu. Solarna ćelija pretvara Sunčevu energiju u električnu energiju. Ta električna energija dolazi do punjača litijumske baterije TP4056 koji puni litijumsku bateriju. Ukoliko je sistem u režimu čekanja GPS modul je isključen sa napajanja. Takođe GSM modul je postavljen u *Sleep* režim rada i mikrokontroler je isključen sa napajanja. Nakon određenog vremenskog intervala kolo za kontrolu potrošnje energije istovremeno uključuje mikrokontroler i isključuje solarnu ćeliju sa punjača litijumske baterije. Razlog za to je, ukoliko je neophodno izmeriti napon baterije. Jer u suprotnom izmereni napon na bateriji bi bio onaj koji je na izlazu punjača, što može ali i ne mora biti napon koji je na bateriji. Dalje, mikrokontroler vrši merenje zračenja pomoću senzora zračenja. Nakon toga uključuje GPS modul kako bi dobio tačnu lokaciju sistema. Ukoliko dobije tačnu lokaciju ili vreme traženja lokacije istekne, mikrokontroler isključuje GPS modul. Onda, mikrokontroler GSM modul iz *Sleep* režima vraća u normalan *Stand-by* režim i putem njega šalje SMS tekstualnu poruku koja sadrži informacije o sistemu i rezultate merenja. Kako su mnoge komponente ovog sistema SMD (eng. *Surface Mount Device*) kućišta, kao i za lakše manipulisanje celim sistemom, dizajnirana je PCB (eng. *Printed Circuit Board*) štampana pločica za njihovo montiranje i povezivanje.

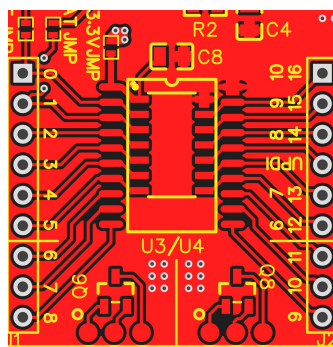
#### 3.1 Povezivanje, šeme i dizajn štampane ploče (PCB)

Prvi blok koji će biti objašnjen je blok mikrokontrolera. Njegova šema je prikazana na slici ispod (Slika 24).



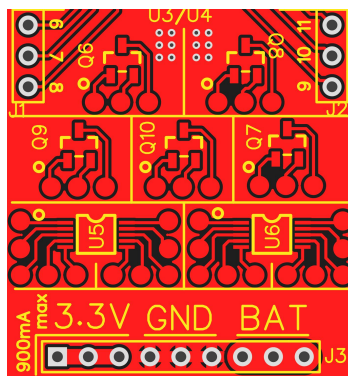
Slika 24 Šema mikrokontrolerskog bloka

Kao što je rečeno u prethodnom poglavlju, prototip će biti napravljen za dve vrste podnožja kontrolera. To su komponente U3 i U4. Njihovi izvodi su povezani na trnove koji omogućavaju lako i brzo povezivanje drugih komponenti bez lemljenja. Uz izvode za napajanje kontrolera postavljen je kondenzator C8 vrednosti 100 nF, kako bi umanjio parazitni induktivni efekat bakarnog voda od regulatora do kontrolera. Otpornici R14, R15 i R16 imaju vrednost 0 Ω. Oni služe kao kratkospojnici (eng. jed. *jumper*) za izvode napajanja, povratnog signala kolu za kontrolu potrošnje energije i naponskom razdelniku na bateriji. Korišćeni su kratkospojnici umesto neprekidnog bakarnog voda iz razloga ukoliko se koristi neki drugi kontroler u kolu, ili je neophodno da se koriste drugi izvodi kontrolera, da postoji mogućnost da se prekinu veze između 3,3 V, DONE, i VBAT izvoda i podnožja kontrolera, kako bi mogli da se povežu sa nekim drugim izvodima kontrolera. Komponente U5, U6, Q6, Q7, Q8, Q9 i Q10 nisu povezane u šemi sistema, već je njihova uloga da obezbede podnožja na PCB-u gde se kasnije mogu zalemiti razne komponente za testiranje (kućišta tipa SOT-23 i SSOP-10). Takođe postoje trnovi za napajanje sa regulatora, napajanje sa baterije i masu za lakše povezivanje eksternih komponenti i modula. Postavljeni su u ovoj blok šemi jer će na PCB-u biti blizu ostalih komponenti iz ove šeme.



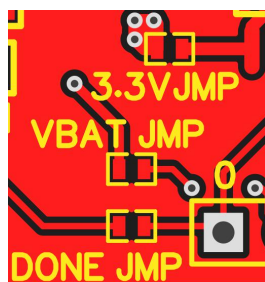
Slika 25 Podnožja oba kontrolera; "podnožje u podnožju"

Na prethodnoj slici (Slika 25) se vidi “podnožje u podnožju” mikrokontrolera što daje veću fleksibilnost prototipu. Obzirom da su ovako postavljena, moguće je imati samo jedan kontroler jednog kućišta zalemljen na PCB-u. Takođe su obeleženi brojevi ulazno/izlaznih izvoda za oba kućišta kontrolera. Na narednoj slici (Slika 26) se vide podnožja za neke komponente koje se mogu zalemiti na tim podnožjima. Svi izvodi ovih podnožja su povezani na male, okrugle bakarne kružice, na koje je jednostavno zalemiti žicu ili neku drugu komponentu. Takođe se vide obeleženi izvodi napajanja sistema.



Slika 26 Prazna podnožja za test-komponente

Na sledećoj slici (Slika 27) se vide podnožja za kratkospajanje napajanja i signala kola za kontrolu potrošnje energije. Grupisani su i jasno su obeleženi na ploči.

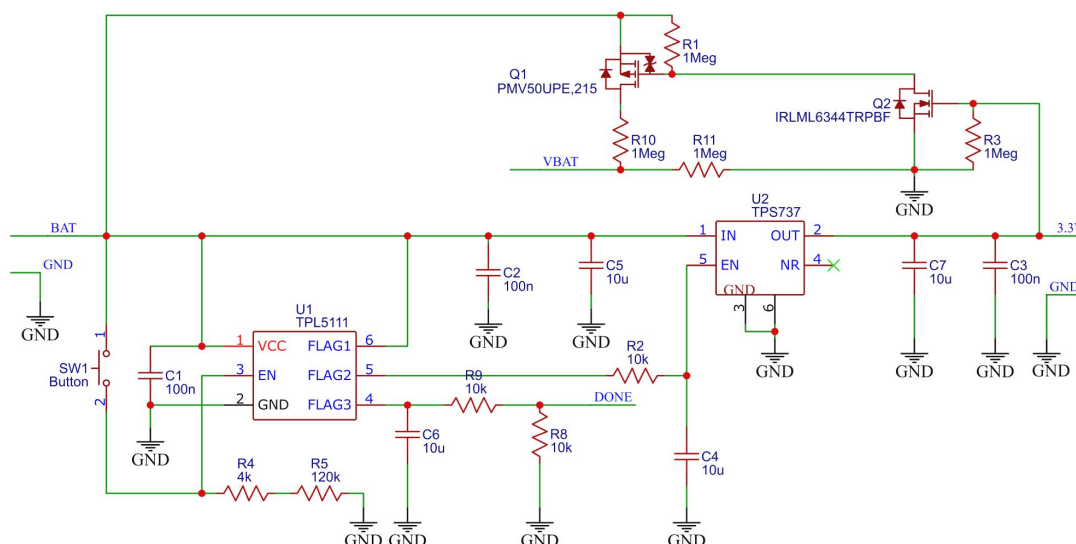


Slika 27 Podnožja za kratkospojnike

Sledeća šema je šema kola za kontrolu potrošnje energije (Slika 28). Vidi se da je *enable\_out* izvod TPL5111 tajmera vezan za *enable\_in* izvod TPS73733 regulatora. Povezani su pomoću otpornika R2 i kondenzatora C4 kako bi se obezbedilo sigurno uspostavljanje *enable* signala, bez skokovitih uspona i padova. Iz istog tog razloga su postavljeni otpornici R8, R9 i kondenzator C6 na *DONE* izvodu tajmera, sa kontrolera. Taster SW1 je tu kako bi njegovim pritiskanjem moglo manuelno da se završi režim čekanja kola, pre nego što vremenski interval istekne. Kondenzatori C1, C2 i C3 se postavljaju na izvode napajanja tajmera i regulatora kako bi umanjili uticaj parazitne induktivnosti bakarnih vodova ploče. Kondenzatori C5 i C7 su postavljeni na izvode regulatora kako bi obezbedili njegov siguran rad, sa minimalno šumova i oscilacija (preporuka iz tehničke dokumentacije regulatora). Otpornici R4 i R5 su redno vezani i oni određuju vremenski interval trajanja režima čekanja. Ovde su korišćeni sa otpornostima 4 k $\Omega$  i 120 k $\Omega$ , respektivno, za period čekanja od nekih 58 minuta, ali se vrlo lako mogu zameniti sa bilo kojim drugim vrednostima radi promene vremenskog intervala.

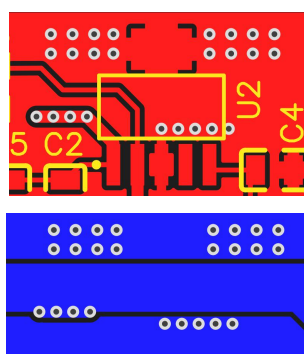
Kada se završi režim čekanja i uspostavi napon na izlazu regulatora, on uključuje NMOS tranzistor Q2. Zatim tranzistor Q2 sprovi gejt PMOS tranzistora Q1 na masu. Nakon toga vrši se povezivanje napona baterije na naponski razdelnik sačinjen

od otpornika R10 i R11 oba vrednosti 1 M $\Omega$ . Izlazni napon tog naponskog regulatora je povezan na ulaz ADC-a u mikrokontroleru, kako bi moglo da se izvrši merenje napona na bateriji. Naponski razdelnik je neophodan za ovaj kontroler, jer se kontroler napaja sa 3,3 V, a napon na bateriji može dostići i 4,2 V, što bi uništilo ulaz na kontroleru. Moguće je postaviti drugačiji odnos otpornika u razdelniku, ali za svrhe testiranja je jednostavno da napon na izlazu razdelnika bude upola manji od napona baterije.



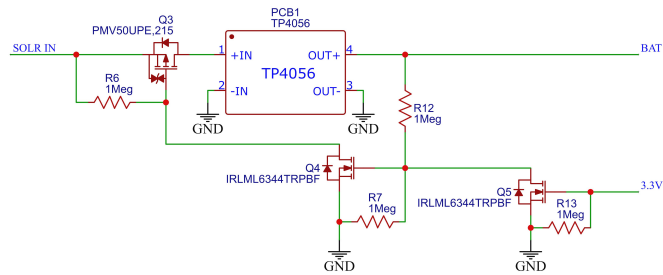
Slika 28 Šema bloka za kontrolu potrošnje energije

Bitan detalj u dizajnu ove šeme na PCB-u je hlađenje TPS73733 naponskog regulatora. Ukoliko je u nekom slučaju napon na njegovom ulazu maksimalnih 6 V i konzumira se maksimalnih 1 A iz njega, onda će izgubljena snaga koja se disipira u vidu toplote biti 2,7 W. Kako bi se što više toplote odvelo od regulatora, postoji poseban izvod za masu (izvod broj 6) koji je jako termički provodan. Razlivanjem mase u oblasti regulatora i postavljanjem nekoliko spojeva (eng. jed. *via*) između obe strane razliveno mase dvoslojne ploče obezbeđuje se termička masa od bakra, koja služi kao hladnjak (Slika 29).



Slika 29 PCB "hladnjak" naponskog regulatora; Gornja strana PCB - slika iznad, Donja strana PCB - slika ispod

Kako je TP4056 čip za punjenje litijumske baterije na svojoj posebnoj ploči u vidu modula, ceo modul se može posmatrati kao jedna komponenta sa svojim podnožjem. Na šemi (Slika 30) se vide i tri tranzistora sa pomoćnim otpornicima.

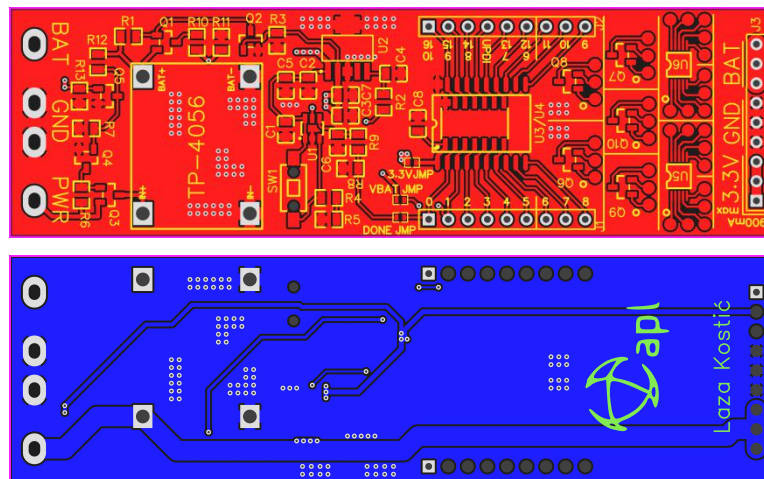


Slika 30 Šema bloka za punjenje baterije

Dok je sistem u režimu čekanja, NMOS tranzistor Q4 je uključen jer na njegovom gejtju je izlazni napon naponskog razdelnika, koji je pola od napona na bateriji. Ukoliko je baterija u radnom stanju, najmanji napon koji može biti na njoj je 2,4 V, odnosno 1,2 V na gejtju Q4. NMOS tranzistor Q5 je isključen jer je napon na njegovom gejtju napon na izlazu TPS73733 regulatora, odnosno 0 V. Usled ovoga, gejt PMOS tranzistora Q3 je povezan na masu preko NMOS tranzistora Q4. Zbog toga je Q3 uključen i on sprovodi napon sa solarne ćelije na ulaz punjača, kako bi baterija mogla da se puni, dok je sistem u režimu čekanja.

Kada istekne zadati vremenski interval kolo za kontrolu potrošnje energije se uključuje. Nakon što se uključi TPS73733 regulator i na njegovom izlazu uspostavi napon od 3,3 V, uključuje se NMOS tranzistor Q5, koji gejt NMOS tranzistora Q4 sprovodi na masu i isključuje ga. Pošto je NMOS tranzistor Q4 isključen, gejt PMOS tranzistora Q3 je na naponu koji je na solarnoj ćeliji preko otpornika R6. To znači da se PMOS tranzistor Q3 isključuje i on prekida napon od solarne ćelije do ulaza punjača. Samim tim se punjenje prekida i punjač isključuje, pa je moguće izmeriti realni napon na bateriji.

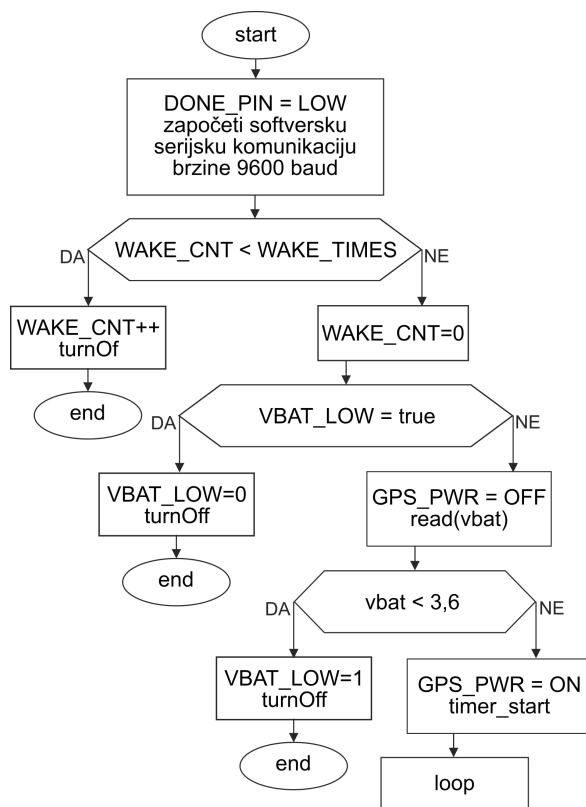
Ukoliko ova funkcija nije neophodna mogu se izostaviti sve ove komponente i izvod solarne ćelije jednostavno povezati na ulaz TP4056 modula.



Slika 31 Gornja strana celog PCB - slika iznad, Donja strana celog PCB - slika ispod

Takođe je bitno napomenuti pošto GSM modul zahteva mogućnost da trenutno povuče do 2 A, nepohodno je obezbediti bakarni vod do izvoda koji može da preda tu struju bez značajnog pada napona na njemu. Širina korišćena za ovaj vod je 100 mils (mogućnost struje do 10 A, Slika 31 - donja slika). Iako je za 2 A struje nepohodno 20 mils širine, obzirom da je bilo dovoljno mesta na ploči i da će se povezivati i druge komponente i moduli na taj izvod, neophodna je veća širina voda za struje veće od 2 A.

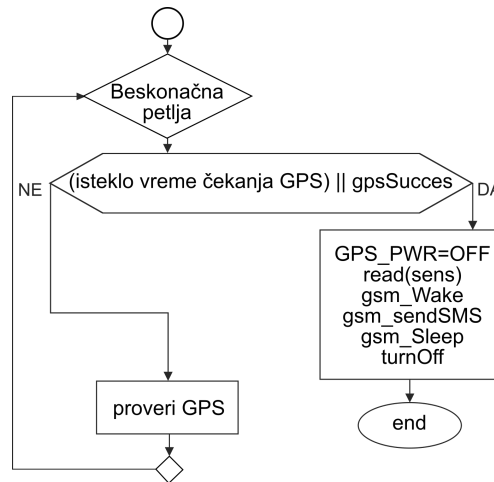
## 3.2 Algoritmi i programske celine



Slika 32 Glavni algoritam prototipa

Glavni algoritam (Slika 32 i Slika 33) po kome radi sistem je donekle objašnjen kroz tekst do sada. Odmah po uključivanju naponskog regulatora uključuje se i mikrokontroler. Neophodno je da prva stvar koju će mikrokontroler uraditi bude postavljanje *DONE* izvoda na logičku nulu odnosno 0 V. Ukoliko to kontroler ne uradi, može se desiti da se javi neki slučajni napon na *DONE* izvodu pa će se sistem neželjeno i prevremeno isključiti. Potom, inicijalizuje se softverska serijska, skraćeno SS (eng. *Software Serial*), komunikacija za GPS i GSM modul. SS komunikacija je korišćena jer postoje dva modula koja komuniciraju UART komunikacijom, a na kontroleru postoji samo jedna prava UART periferija za komunikaciju. Kako ne bi koristili multipleksere ili slične sisteme za preusmeravanje modula na jedan UART blok, SS se koristi i obične ulazno/izlazne izvode kontrolera “pretvara” u izvode za SS komunikaciju.

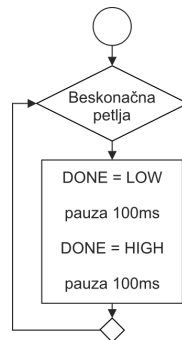
Kako kontroler ima EEPROM memoriju koja čuva podatke i nakon isključivanja kontrolera sa napajanja, jedna adresa je korišćena kao brojač buđenja kontrolera i jedna za marker kada je baterija na 20% kapaciteta. Moguće je da se u celobrojnim umnošćima vremenskog intervala kontroler budi, putem *WAKE\_CNT* brojača. Ukoliko nije dostignut broj buđenja, beleži se trenutno buđenje kontrolera i isključuje sistem. Čim se dostigne željeni broj buđenja, brojač se vraća na nulu i nastavlja se tok algoritma. Nakon toga proverava se prethodno stanje baterije. Ukoliko je prethodni put baterija bila prazna propušta se ovaj ciklus buđenja kako bi se dozvolilo da se baterija napuni. Ukoliko je baterija bila puna, proverava se napon na bateriji. Ako je sve u redu nastavlja se sa normalnim tokom algoritma.



Slika 33 Loop funkcija

Nakon toga se uključuje GPS modul kako bi imao vremena da se pokrene i počne da traži svoju lokaciju. Zatim se uključuje tajmer koji služi da broji koliko milisekundi je GPS modul uključen. Njegova uloga dolazi nakon ulaska u *loop* funkciju kôda i to je beskonačna petlja. Ukoliko GPS modul ima još vremena da pronade lokaciju, poziva se funkcija koja proverava da li je GPS modul našao lokaciju. Ukoliko je vreme isteklo, a GPS modul nije našao lokaciju prelazi se u finalni deo algoritma. Takođe, ukoliko je GPS modul našao lokaciju pre isteka vremena (marker koji označava to je *gpsSucces*), prekida se tajmer i prelazi se u finalni deo algoritma.

Sada se najpre isključi GPS modul, a zatim izmeri nivo zračenja pomoću senzora, i na kraju “budi” GSM modul iz *Sleep* režima. Nakon buđenja šalju se neophodne informacije putem SMS tekstualne poruke i GSM modul se ponovo stavlja u *Sleep* režim. Na samom kraju isključuje se ceo sistem i on prelazi u režim čekanja.



Slika 34 turnOff funkcija

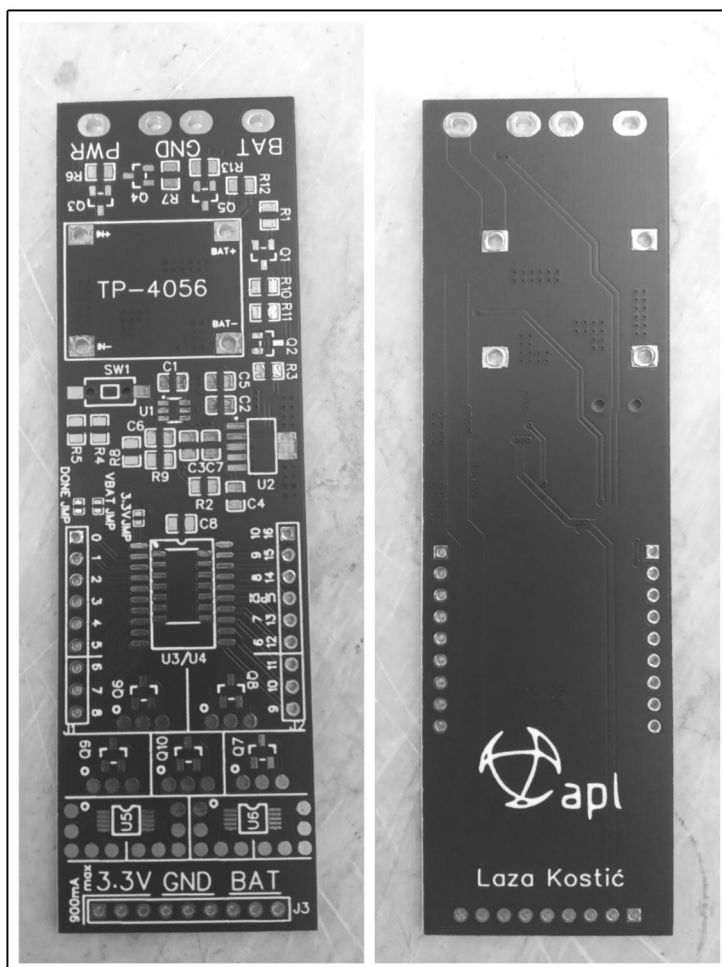
Način na koji se gasi kontroler je napravljen tako da osigura njegovo isključivanje. Obzirom da na *DONE* izvodu TPL5111 tajmera je neophodno dovesti rastuću ivicu napona sa kontrolera za isključivanje, mogu se javiti problemi. Kada bi tajmer mogao da registruje logičku jedinicu onda ne bi bilo problema, ali s obzirom da samo može da prepozna rastuću ivicu problem nastaje ukoliko kontroler napravi tu rastuću ivicu a tajmer je ne primeti. Ukoliko se to desi kontroler smatra da je isključio ceo sistem, a tajmer čeka da mu kontroler naznači da želi da se isključi. Na taj način ceo sistem ostaje uključen i “zaglavljen” sve dok se baterija ne istroši. Ovaj problem se lako rešava beskonačnom petljom (Slika 34). Na svakih 100 ms se menja stanje *DONE* izvoda kontrolera i tajmer će sigurno primetiti tu rastuću ivicu ukoliko je prvi, drugi ili neki put propusti. Nije bitno što je beskonačna petlja jer se sistem svakako

isključuje i algoritam počinje od početka. Ceo kôd prototipa dat je u dodatku ovog rada.

### 3.3 Realizacija prototipa

PCB sa zalemljenim komponentama, solarna ćelija, baterija u držaču, GSM i GPS moduli sa svojim antenama su pričvršćeni za komad akrilnog stakla radi lakšeg rada sa celim sistemom. Bitno je pomenuti da do sada nije rečeno na koji način će se uključivati i isključivati GPS modul. Na kraju je taj problem rešen jednim NMOS tranzistorom na *GND* izvodu modula ka masi. Između gejta i sorsa tog tranzistora je otpornik od 1 M $\Omega$  za sigurno pražnjenje gejta, a gejt je povezan na jedan izvod mikrokontrolera za uključivanje i isključivanje GPS modula. Tranzistor sa otpornikom je zalemljen za test-podnožja PCB-a.

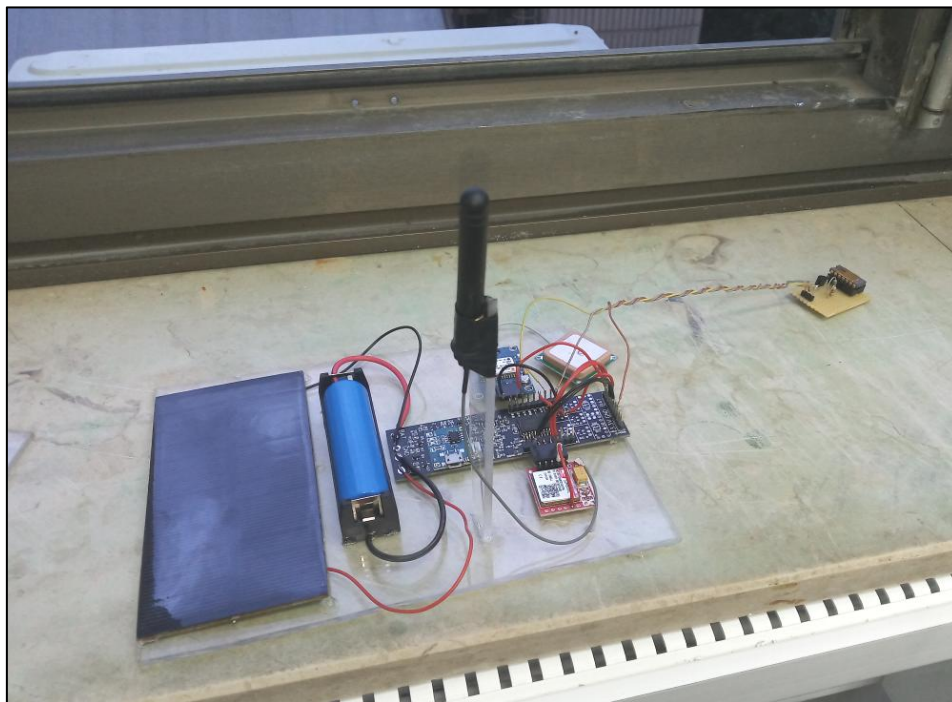
Ceo sistem je sklopljen i testiran u APL laboratoriji. Prikazane su fotografije same štampane ploče (Slika 35) i sklopljenog prototipa (Slika 36 i Slika 37). Takođe je prikazan snimak ekrana telefona, na koji je poslata SMS tekstualna poruka sa GPS lokacijom, izmerenim naponom na bateriji i izmerenim naponom na RADFET-u (Slika 38). Prikazana je i SMS poruka kada sistem nije u mogućnosti da nađe GPS lokaciju.



Slika 35 Gornja (fotografija levo) i donja (fotografija desno) strana izrađene štampane ploče (nije u 1:1 srazmeri)



*Slika 36 Fotografija celog sistema*



*Slika 37 Fotografija celog sistema sa RADFET-om*

F, [43.331218](#), L, [21.891855](#), V,  
3.85, S, 2.50

GX, V, 3.85, S, 2.50

*Slika 38 Snimak ekrana na kome se vide SMS poruke primljene od sistema*

## 4 Zaključak

U ovom radu je opisan jedan način projektovanja i realizacije samoodrživog autonomnog elektronskog sistema sa niskom potrošnjom energije za merenje apsorbirane doze jonizujućeg zračenja. Postoji više različitih načina i metoda za pristup ovakvom prototipu uređaja. Samo neki od mogućih pristupa će biti navedeni koji bi mogli da se iskoriste prilikom usavršavanja ovog prototipa, a kasnije i uređaja.

**Senzor jonizujućeg zračenja** - Iako su navedeni neki od senzora jonizujućeg zračenja, mogu se koristiti i drugi senzori za specifičnu namenu. Takođe bitno je naglasiti da se stalno usavršavaju i istražuju karakteristike senzora jonizujućeg zračenja, poput EPAD-a i RADFET-a. Mogu se i koristiti drugi senzori ili više senzora, pošto sistem dozvoljava takvu fleksibilnost.

**Mikrokontroler** - Kao što je već rečeno, sistem je projektovan tako da se mogu koristiti različiti mikrokontroleri. Postoje moderni kontroleri koji koriste podpragovski režim u CMOS tehnologiji, i oni su jako efikasni u vidu potrošnje. Takođe postoje kontroleri sa različitim periferijama za različite vidove komunikacije i obrade signala. Ukoliko je neophodna velika preciznost pri merenju napona, postoje kontroleri sa ADC-om velike preciznosti. Ili se može koristiti eksterni ADC. Pošto ima toliko kombinacija i različitih tehnologija i načina rada mikrokontrolera, u ovom segmentu je moguće najviše promeniti prezentovani sistem, i prilagoditi ga specifičnoj ili opštoj nameni.

**GPS modul** - Pošto je prototip ovog sistema namenjen da se koristi na otvorenom prostoru gde lako može doći do željene ili neželjene promene njegove lokacije, korišćen je GPS modul kako bi prosledio lokaciju sistema baznoj stanici. Naravno, postoje različiti GPS čipovi i moduli za različite namene. U ovom pogledu zavisi direktno od upotrebe i primene sistema kakav GPS modul je potreban, odnosno da li je uopšte potreban.

**GSM modul** - Mogućnosti ovog modula u ovom radu nisu u potpunosti iskorišćene. Kao recimo, GPRS razmena podataka ili prijem SMS tekstualne poruke. Obe ove funkcije se mogu koristiti za konfiguraciju sistema na daljinu. Na primer, za promenu vremena buđenja sistema, koje informacije da šalje, da li da uključuje GPS modul, da li da vrši obradu podataka i skladišti u memoriji pa samo jednom dnevno da pošalje kako ne bi trošio energiju, i tako dalje. Svakako da su mogućnosti ovog modula velike. Naravno postoje i drugi načini bežične komunikacije, kao što su *Bluetooth*, *LoRa*, *WiFi*, a koji se mogu lako implementirati. Oni takođe postoje kao integrisani blokovi u mikrokontrolerima.

**Kolo za kontrolu potrošnje energije** - Ukoliko se koristi adekvatan mikrokontroler sa odgovarajućim izvorom obnovljive energije i odgovarajućim načinom za skladištenje energije, moguće je da ovakvo kolo nije potrebno za rad takvog sistema. Takođe, TPL5111 tajmer se može koristiti za buđenje nekog mikrokontrolera na njegovom *interrupt* izvodu, bez korišćenja TPS737xx naponskog regulatora, ukoliko mikrokontroler ima odgovarajuću potrošnju u tom režimu. Dodsuš, verovatno je da je ovakvo kolo korisno za veliki broj namena zbog njegove jednostavnosti i pouzdanosti.

**Obnovljiv izvor energije** - Još na samom početku rada je diskutovano koji se obnovljivi izvor energije mogu koristiti. To pre svega zavisi od toga koji je izvor

obnovljive energije dostupan u okruženju u kojem je sistem smešten. Toplotna energija, mehanička energija, RF energija i još mnoge druge su dostupne za prikupljanje dovoljne energije (eng. *Energy harvesting*) za rad sistema.

**Način skladištenja energije** - Litijumska baterija nije jedini način skladištenja energije. U zavisnosti od primene sistema mogu se koristiti različite tehnologije baterija. Takođe mogu se koristiti kondenzatori, kao i super kondenzatori.

**Otpornost sistema na jonizujuće zračenje** - Komercijalno dostupne komponente uglavnom mogu raditi do doza od 300 Gy. Naravno, neophodno je proveriti otpornost komponenti koje se koriste, u njihovoj tehničkoj dokumentaciji, ili kontaktirati proizvođača, ili sami testirati komponente. Ukoliko će sistem raditi u okruženjima ili svemiru gde su mnogo veće doze jonizujućeg zračenja, neophodne su RAD-HARD komponente ili neki način izbegavanja grešaka izazvanih jonizujućim zračenjem, ili oba.

Nakon revizije mogućih nedostataka i mogućih poboljšanja sistema, neophodno je reći da sistem zadovoljava ograničenja zadatka ovog rada. Zadovoljava samoodrživ i autonomni aspekt, kao i nisku potrošnju energije. Takođe ima mogućnost merenja absorbovane doze jonizujućeg zračenja. Još jednom je bitno napomenuti fleksibilnost i otvorenost ovog prototipa, jer to dozvoljava laku i brzu nadgradnju i testiranje novih ideja i hipoteza, što je za dalji razvoj možda najbitnije.

## 5 Literatura

- [1] S. Ilić, A. Jevtić, N. Đikić, G. Ristić, "Smart Geiger Muller counter", in Book of Abstr. 7th Int. Conf. Radiation in Various Fields of Research (RAD 2019), Herceg Novi, Montenegro, 2019, p. 203. Dostupno na:  
[https://www.rad-conference.org/Book\\_of\\_Abstracts-RAD\\_2019.pdf](https://www.rad-conference.org/Book_of_Abstracts-RAD_2019.pdf)
- [2] S. Ilić, A. Jevtić, S. Stanković and V. Davidović, "Feasibility of applying an electrically programmable floating-gate MOS transistor in radiation dosimetry," 2019 IEEE 31st International Conference on Microelectronics (MIEL), Nis, Serbia, 2019, pp. 67-70, doi: 10.1109/MIEL.2019.8889570
- [3] S. Ilić, A. Jevtić, S. Stanković, G. Ristić, "Floating-gate MOS transistor with dynamic biasing as a radiation sensor", *Sensors*, **20** (11), 3329, 2020;  
<https://doi.org/10.3390/s20113329>
- [4] M.S. Andjelković, G.S. Ristić, Feasibility study of a current mode gamma radiation dosimeter based on a commercial PIN photodiode and a custom made auto-ranging electrometer, *Nuclear Technology & Radiation Protection*, **28** (1), 73-83, 2013; <https://doi.org/10.2298/NTRP1301073A>
- [5] "Projektovanje i realizacija elektronskog sklopa za merenje niskih struja na bazi transimpedansnog pojačavača", Luka Spahić; Master rad, Elektronski fakultet u Nišu, Septembar 2020
- [6] RADFET Technical Information, Tyndall National Institute, University College Cork, Ireland, Dostupno na:  
<http://atlas.physics.arizona.edu/~kjohns/teaching/phys586/s10/pdf/tyndall.pdf>
- [7] N.D. Vasović, G.S. Ristić, "A new microcontroller-based RADFET dosimeter reader", *Radiation Measurements*, **47** (4), 272-276, 2012;  
<http://dx.doi.org/10.1016/j.radmeas.2012.01.017>
- [8] M.S. Andjelković, G.S. Ristić, A.B. Jakšić, "Using RADFET for the real-time measurement of gamma radiation dose rate", *Measurement Science & Technology*, **26** (2), 025004 (12pp), 2015; <https://doi.org/10.1088/0957-0233/26/2/025004>
- [9] Tehnička dokumentacija LM334, Dostupno na:  
[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm134.pdf?ts=1602950131623&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm134.pdf?ts=1602950131623&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- [10] Tehnička dokumentacija serije mikrokontrolera ATtinyX16, Dostupno na:  
[http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATtiny3216\\_ATtiny1616-data-sheet-40001997B.pdf](http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATtiny3216_ATtiny1616-data-sheet-40001997B.pdf)
- [11] Tehnička dokumentacija mikrokontrolera ATtiny1614, Dostupno na:  
<http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/ATtiny1614-data-sheet-40001995A.pdf>
- [12] Tehnička dokumentacija SIM800L GSM GPRS primopredajnika, Dostupno na:  
<https://datasheetspdf.com/pdf-file/989664/SIMCom/SIM800L/1>
- [13] Tehnička dokumentacija NEO-6M GPS čipa, Dostupno na:  
[https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6\\_DataSheet\\_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf](https://www.u-blox.com/sites/default/files/products/documents/NEO-6_DataSheet_%28GPS.G6-HW-09005%29.pdf)

- [14] Tehnička dokumentacija TPL5111 tajmera, Dostupno na:  
[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tp15111.pdf?ts=1602960117497&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tp15111.pdf?ts=1602960117497&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- [15] Tehnička dokumentacija TPS737xx naponskog regulatora, Dostupno na:  
[https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps737.pdf?ts=1602960175030&ref\\_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F](https://www.ti.com/lit/ds/symlink/tps737.pdf?ts=1602960175030&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F)
- [16] Tehnička dokumentacija TP4056 čipa za punjenje jednočelijske litijumske baterije, Dostupno na: <http://www.tp4056.com/d/tp4056.pdf>
- [17] Predavanja iz predmeta “Dozimetrija i dozimetri”, Goran Ristić, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, 2016
- [18] Predavanja iz predmeta “Senzori i pretvarači”, Ljubomir Vračar, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu; Dostupno na:  
<http://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/senzori-i-pretvaraci/>
- [19] Predavanja iz predmeta “RF mikroelektronika”, Danijel Danković, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu
- [20] Predavanja iz predmeta “Autonomni mikrosistemi”, Ljubomir Vračar, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu; Dostupno na:  
<http://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/autonomni-mikrosistemi/>
- [21] Predavanja iz predmeta “Solarne komponente i sistemi”, Dragan Pantić, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu; Dostupno na:  
<http://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/solarne-komponente-i-sistemi/>
- [22] Predavanja iz predmeta “Projektovanje štampanih ploča”, Zoran Prijić, Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu; Dostupno na:  
<http://mikro.elfak.ni.ac.rs/predmeti/projektovanje-stampanih-ploca/>
- [23] “Uvod u poluprovodničke komponente i njihovu primenu” Zoran Prijić, Aneta Prijić, Elektronsko izdanje; Elektronski fakultet, Univerzitet u Nišu, 2020; Dostupno na: <http://mikro.elfak.ni.ac.rs/wp-content/uploads/Poluprovodnici.pdf>

## 6 Dodatak

```
#include <SoftwareSerial.h>
#include <TinyGPS++.h>
#include <EEPROM.h>
#define DONE_PIN 0
#define GPS_PWR 6
#define GPS_BAUD 9600
#define GSM_BAUD 9600
#define GSM_RX 4
#define GSM_TX 5
#define GPS_RX 2
#define GPS_TX 3
#define VBAT 1
#define SENS 9
#define GSM_SLEEP 8
#define LM334_PWR 10
#define WAKE_CNT 0 //adresa u EEPROM gde je brojac budjenja
#define WAKE_TIMES 0 // broj budjenja pre nego sto se sistem pokrene,
#define VBAT_LOW_FLAG 1//adresa u EEPROM gde je vbat low flag
#define GPS_TIMEOUT_MS 27000

SoftwareSerial gsmSerial(GSM_RX, GSM_TX);//RX, TX real, not to connect to
SoftwareSerial gpsSerial(GPS_RX, GPS_TX);//RX, TX real, not to connect to

TinyGPSPlus gps;

float latitude, longitude;
uint8_t gpsSuccess;
float vbat, sens;
unsigned long vreme_ukljucivanja_gps, trenutno_vreme;

void setup(){
  pinMode(DONE_PIN, OUTPUT);
  digitalWrite(DONE_PIN, LOW);

  gsmSerial.begin(GSM_BAUD);
  gpsSerial.begin(GPS_BAUD);

  if (EEPROM.read(WAKE_CNT) < WAKE_TIMES)
  {
    EEPROM.update(WAKE_CNT, (EEPROM.read(WAKE_CNT) + 1));
    turnOff();
  }
  EEPROM.write(WAKE_CNT, 0);

  if (EEPROM.read(VBAT_LOW_FLAG))//propusta jedan ceo ciklus budjenja if VBAT=LOW
  {
    EEPROM.update(VBAT_LOW_FLAG, 0);
    turnOff();
  }
}
```

```

pinMode(GPS_PWR, OUTPUT);
digitalWrite(GPS_PWR, LOW);

pinMode(LM334_PWR, OUTPUT);
digitalWrite(LM334_PWR, LOW);

vbat = 2.0 * (float)analogRead(VBAT) * (3.3 / 1023.0);
//3.6V / 2 = 1.8V, jer naponski razdelnik;

if (vbat < 3.6)
{
  EEPROM.update(VBAT_LOW_FLAG, 1);
  turnOff();
}

digitalWrite(GPS_PWR, HIGH);
vreme_ukljucivanja_gps = millis();
loop();
}

void loop(){
  trenutno_vreme = millis();

  if ((trenutno_vreme > (vreme_ukljucivanja_gps + GPS_TIMEOUT_MS)) || gpsSuccess)
  {
    gpsSerial.end();
    digitalWrite(GPS_PWR, LOW);

    sens = sensRead();

    gsm_Wake();
    gsm_sendSMS();
    gsm_Sleep();
    gsmSerial.end();

    turnOff();
  }

  gps_getData();
}

void turnOff(){
  while(1)
  {
    digitalWrite(DONE_PIN, LOW);
    delay(100);
    digitalWrite(DONE_PIN, HIGH);
    delay(100);
  }
}

```

```

float sensRead(){
    digitalWrite(LM334_PWR, HIGH);
    delay(100);
    return (float)analogRead(SENS) * (3.3 / 1023.0);
    digitalWrite(LM334_PWR, LOW);
}

void gsm_Wait(){
    while (gsmSerial.available()) {}
}

// Ulazak u Sleep rezim GSM modula
void gsm_Sleep(){
    gsmSerial.println("AT+CSCLK=2");
    gsm_Wait();
    digitalWrite(GSM_SLEEP, LOW);
}

//Izlazak iz Sleep rezima GSM modula
void gsm_Wake(){
    digitalWrite(GSM_SLEEP, HIGH);
    gsmSerial.println("AT");
    gsmSerial.println("AT+CSCLK=0");
    gsm_Wait();
}

//GSM modul mora da izadje iz Sleep rezima pre pozivanja ove funkcije
void gsm_sendsMS() {
    gsm_Wait();
    delay(500);

    gsmSerial.println(F("AT")); //handshake
    gsm_Wait();
    delay(500);

    gsmSerial.println(F("AT+CMGF=1")); //slace se tekstualna poruka
    gsm_Wait();
    delay(500);

    gsmSerial.println(F("AT+CMGS=\"+38162232994\""));
    delay(500);

    if (gpsSuccess)
    {
        gsmSerial.print(F("F, ")); //latitude = F, fi, phi
        gsmSerial.print(latitude, 6);
        gsmSerial.print(F(", L, ")); //longitude = L , lambda
        gsmSerial.print(longitude, 6);
    }
    else
    {
        gsmSerial.print(F("GX")); //nema GPS lokacije
    }
}

```

```

gsmSerial.print(F(" V, ")); //napon na bateriji
gsmSerial.print(vbat, 2);

gsmSerial.print(F(" S, ")); //napon na senzoru
gsmSerial.print(sens, 2);
delay(500);

gsmSerial.write(26); //karakter za kraj i send poruke
gsm_Wait();
delay(2000);
}

//GPS_PWR mora da se ukljuci pre, a iskljuci posle pozivanja ove funkcije
void gps_getData(){
  while (!gpsSuccess && gpsSerial.available())
  {
    if (gps.encode(gpsSerial.read()))
    {
      if (gps.location.isValid())
      {
        latitude = (float)gps.location.lat();
        longitude = (float)gps.location.lng();
        gpsSuccess = 1;
      }
    }
  }
}
}

```