

Projektovanje i simulacioni model prototipa generatora stepeničastog napona

Angelina Nešovanović, Marjan Urekar, *Member, IEEE*

Apstrakt—U ovom radu je prikazana realizacija prototipa generatora stepeničastog napona. Elektronska šema je projektovana u KiCad programu. Kontrola se vrši pomoću prekidača, digitalni element generatora je realizovan pomoću Džonsonovog brojača, odnosno čipa 74HC4017. Pomoću prekidača moguće je izvršiti odabir između oscilatora fiksnih i promenljivih frekvencija. Simulacija je realizovana u programu Proteus, pri čemu su pokazani različiti stepeničasti talasni oblici u zavisnosti od promene položaja prekidača.

Cljučne reči—Generator, talasni oblici, stepenice, Džonsonov brojač, oscilator, KiCad, simulacija, laseri.

I. UVOD

Generatori signala su uređaji koji proizvode električne (najčešće naponske) signale koji se ponavljaju, ali na način koji je moguće kontrolisati. Signal generatori predstavljaju pobudu uređaja koji se testira.

Neizostavni deo su elektrotehničkih laboratorija. Mogu da proizvode različite talasne oblike za različite svrhe ispitivanja.

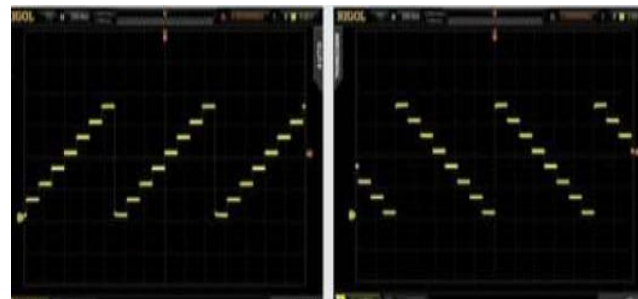
Za razliku od drugih električnih uređaja poput osciloskopa koji prikazuje talasne oblike i raznih multimetara koji prikazuju različite merne veličine, generatori signala generišu periodične napone različitih talasnih oblika [1].

Dve osnovne vrste signal generatora su analogni i digitalni. Analogni su ekonomski isplativiji i jednostavniji za korišćenje. Digitalni pružaju veliku stabilnost i tačnost, ali im je cena izuzetno visoka.

Talasni oblik je grafička interpretacija aktivnosti signala. Svi tipovi električnih talasnih oblika, imaju zajedničke tri karakteristike, to su faza, frekvencija i amplituda.

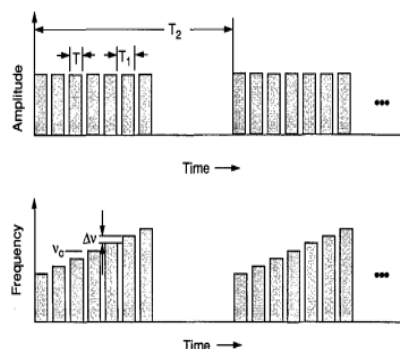
Talasni oblik stepenica je ograničen između maksimalne i minimalne vrednosti napona. Takav talasni oblik se sastoji od niza malih promena nivoa napona, čiji izgled asocira na stepenice, pa otuda i naziv. Talasni oblik stepenica svojim izgledom podseća na kvadratni talasni oblik, ali umesto dva nivoa, ima višestruki nivo. Stepeneice mogu ići nagore ili nadole. U oba slučaja, nivo napona će se prebacivati sa trenutnog, na sledeći nivo. Imaju konačan broj nivoa.

Obično, generatori talasnih oblika stepenica primaju nizove impulsa, pri čemu svaki impuls predstavlja jedinicu koju treba brojati. Kola tada proizvode napon proporcionalan broju primljenih impulsa [2].



Sl. 1. Primer talasnih oblika stepenica

Generatori stepeničastog napona se mogu koristiti u brojne svrhe. Tipična primena stepeničastih talasnih oblika je za testiranje televizijskih displej sistema. Za upotrebu u proveru linearnosti vertikalnog otklona kola, kao delioci frekvencija. Moguće je primeniti ih i u simulaciji visine pozicioniranih signala antene radara [2]. Mogu se koristiti i za proveru kalibracije skale osciloskopa, kao deo kola za praćenje karakteristike tranzistora, za testiranje koračnih (steper) motora.



Sl. 2. Ponavljajući talasni oblik stepenica

Internet stvari (IoT) sačinjavaju novu paradigmu koja se veoma brzo širi u modernom, bežičnom, telekomunikacionom svetu. Jedinствене šeme adresiranja omogućavaju međusobnu komunikaciju velikog broja uređaja, kako bi se postigli zajednički ciljevi [3].

Glavni adut IoT ideje je veliki uticaj koji ima na različite aspekte svakodnevnog života.

Industrija 4.0 podrazumeva četvrtu industrijsku revoluciju. Zalaže se za potpunu digitalizaciju svih proizvodnih procesa i primenu digitalnih tehnologija. Industrija 4.0 je nastala pomoću IoT i internet usluga (IoS). Moguće je da preko IoT-a, sajber – fizički sistemi komuniciraju jedni sa drugima i sa ljudima u realnom vremenu. Industrija 4.0 i IoT doprinose boljem razumevanju funkcionisanja povezanih uređaja [3].

Konkretno, uloga projektovanog prototipa je predviđena u optoelektričnim primenama koje se prvenstveno odnose na testiranje i upravljanje radom lasera. Različiti talasni oblici, uključujući i kvadratni, trougaoni, stepeničasti, impulsni se

Angelina Nešovanović – Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21120 Novi Sad, Srbija (e-mail: nesovanovic.angelina@gmail.com)

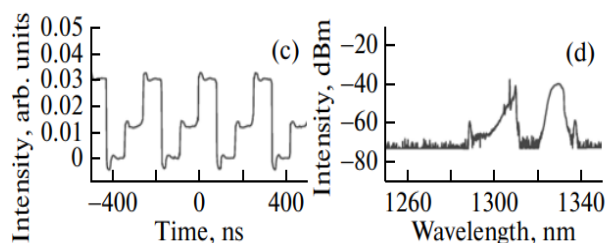
Marjan Urekar - Fakultet tehničkih nauka, Univerzitet u Novom Sadu, Trg Dositeja Obradovića 6, 21120 Novi Sad, Srbija (e-mail: urekarm@uns.ac.rs)

generišu u laserima sa vlaknima, baziranim na poluprovodničkim optičkim pojačavačima [4]. Prototip predstavlja jezgro uređaja koje bi trebalo da se poveže na pojačalo struje i napona koji bi pogonili laser.

Laseri imaju rasprostranjenu primenu u Industriji 4.0. Zbog različitih talasnih dužina koje mogu da generišu, koriste se u industrijskim okruženjima za izvođenje sečenja, obeležavanja, zavarivanja, čišćenja, bušenja... Pronalaze svoju primenu i u drugim oblastima, kao što su telekomunikacije i medicina.

U skladu sa tim, u budućnosti se putem IoT mogu kontrolisati udaljeni laserski sistemi, kako u eksperimentima, tako i u istraživanjima koja se mogu odvijati podzemno, podvodno, u svemiru, itd. To bi sa sobom dovelo do velikih prednosti.

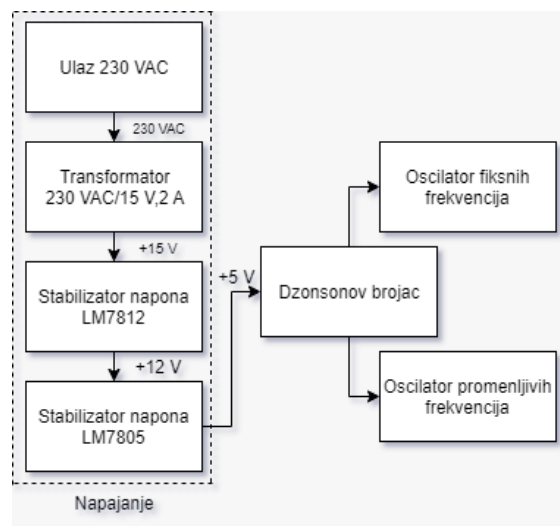
Neke od prednosti bi bile inteligentan pristup, komunikacija u realnom vremenu, prikupljanje, analiza i razmena informacija. Analiza podataka koja bi bila omogućena, rezultirala bi poboljšanjem efikasnosti, produktivnosti i kvaliteta rada sistema.



Sl. 3. Stepeničasti talasni oblik i talasni spektar

Primećuju se prekoračenja na rastućim ivicama stepeničastog talasnog oblika, u zavisnosti od polarizacije, oblik može da ide nadole ili nagore [4].

Prototip generatora stepeničastog napona je projektovan tako da se na izlazu dobije talasni oblik napona od 5 V *peak to peak* sa korakom od 1 V. Promenom položaja prekidača, na izlazu se očekuju različiti stepeničasti oblici.



Sl. 4. Blok diagram sistema

II. ANALIZA DELOVA SISTEMA

A. Šema napajanja sistema

Elektronska šema sistema je projektovana u programu KiCad. KiCad je softverski alat otvorenog koda koji se koristi za kreiranje električnih šema i PCB pločica. Prednosti ovog programa su otvoren kod, besplatan je, lako se podešava, radi na bilo kojoj platformi [5].

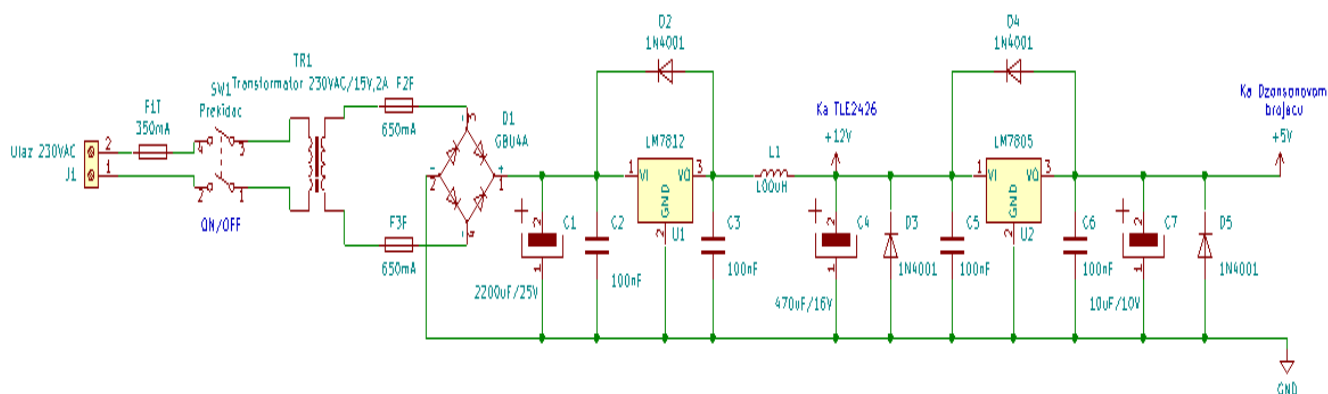
Uređaj se napaja naponom iz mreže (230 VAC, 50Hz), prilagođavanje napona se vrši pomoću transformatora i kola za ispravljanje napona. Detaljan prikaz šeme napajanja je na slici 5.

Transformator transformiše mrežni napon od 230 V u niži napon od 15 V.

Napon od 15 V na sekundaru transformatora se ispravlja pomoću Grecovog spoja, GBU4A, koji se sastoji od četiri diode i služi za pretvaranje naizmjeničnog napona u jednosmerni [6].

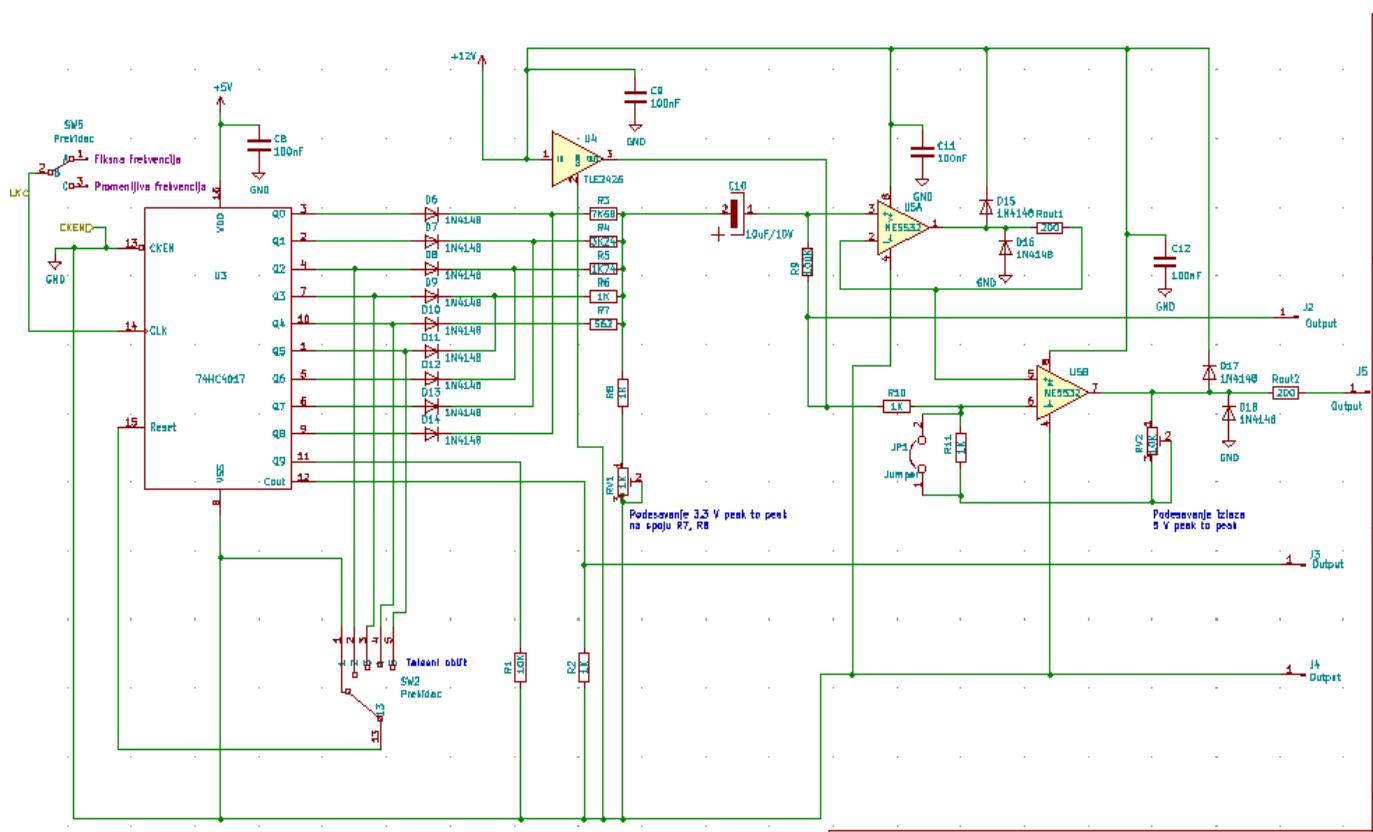
Regulator pozitivnog napona sa tri pina, LM7812, regulator od 12 V koji napaja regulator LM7805 od 5 V. Napajanje od 12 V ide ka TLE2426, a napajanje od 5 V ka Džonsonovom brojaču i oscilatorima. Da bi stabilizatori pravilno radili, potrebno je na njihov ulaz dovesti napon koji je bar za 3 V veći od napona na izlazu [7] [8].

Prekidač SW_1 je glavni prekidač, čija je uloga uključiti/isključiti uređaj.



Sl. 5. Šema napajanje sistema

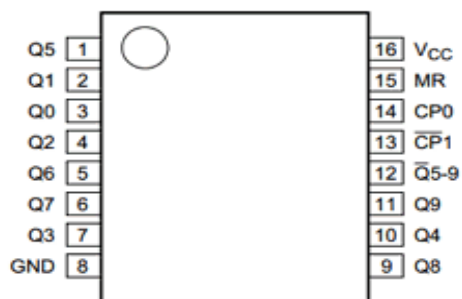
B. Džonsonov brojač



Sl. 6. Šema povezivanja Džonsonovog brojča

Džonsonov ili Mebijusov brojč predstavlja digitalni element projekta. U projektu je realizovan pomoću čipa 74HC4017. Detaljna šema je prikazana na slici 6.

To je čip sa 16 pinova. Deset izlaznih pinova, od Q_0 do Q_9 , koji obezbeđuju izlaz na osnovu ulaznog takta. Pin 8 je GND , odnosno masa. Pin 12 za potrebe povezivanja dva ili više integrisanih kola. Pin 13 za uključivanje i isključivanje brojča. Pin 14 je ulaz. Pin 15 ima ulogu resetovanja brojča na nulu. U projektu, povezivanjem pina 15 sa različitim izlazima Džonsonovog brojča, dobija se izgled određenog stepeničastog talasnog oblika. Pin 16 je pin za napajanje [9].



Sl. 7. Pinovi Džonsonovog brojča

Na ulaz brojča, pin 14, dovodi se napon određene

frekvencije. Pomoću prekidača SW_5 mogu se izabrati frekvencije sa fiksnog ili promenljivog oscilatora.

Izlazi iz brojča napajaju mrežu otpornika, kroz diode.

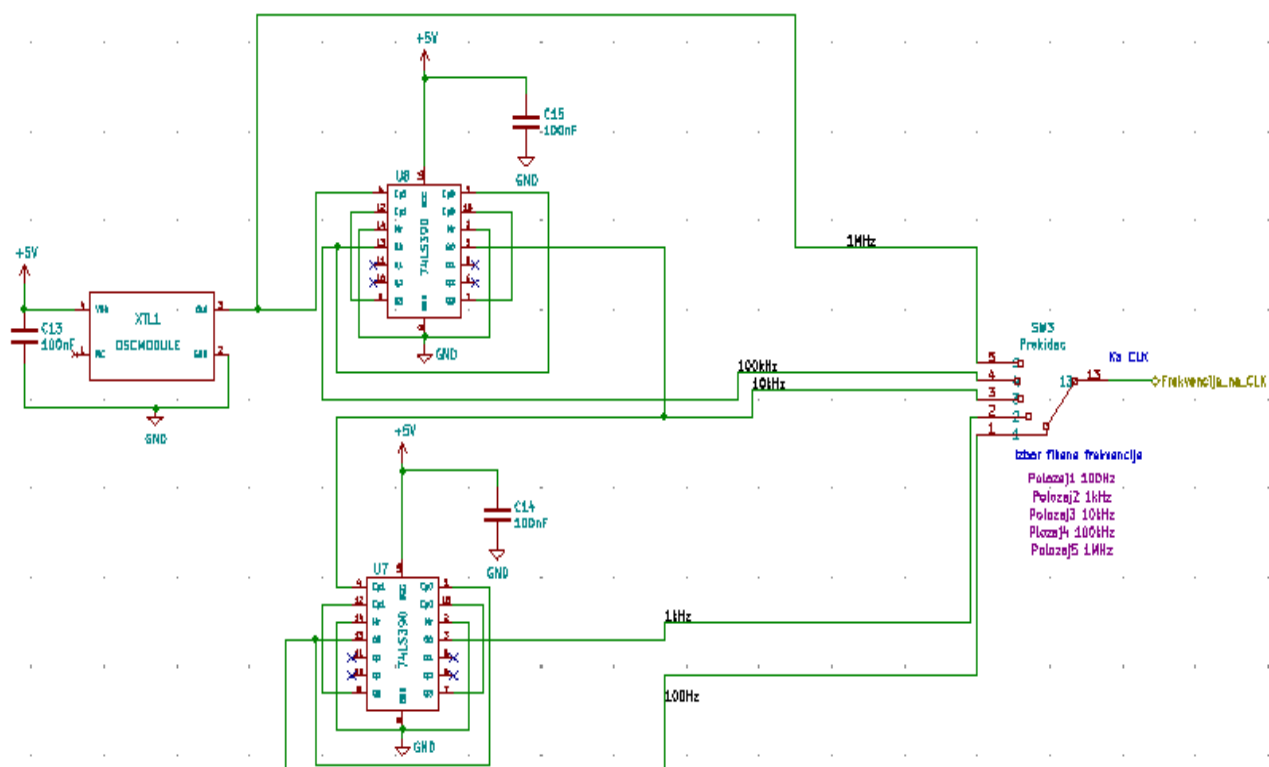
Kontrolisanjem SW_2 podešavaju se koraci 1, 2, 3 i 4 stepeničastog talasnog oblika. Prva pozicija prekidača radi u trenutku kada je pin 15 povezan na masu, tako da brojč slobodno radi, prolazi kroz ciklus i obezbeđuje stepeničasti talasni oblik. Ako se prekidač prebaci na pozicije 2, 3, 4 ili 5, u tom slučaju se pin 15 povezuje sa izlazima Q_2 , Q_3 , Q_4 i Q_5 . To rezultira izgledom jednog, dva, tri ili četiri stepenika.

Čip NE5532 je dvostruki operacioni pojačavač, visokih performansi sa niskim nivoom šuma [10].

TLE2426 je šinski razdelnik čiji je izlazni napon uvek jednak jednoj polovini ulaznog napona [11]. Šinski razdelnik se napaja sa 12 V, to deli na ± 6 V, što se dalje koristi za napajanje NE5532, čime se postiže da na izlazu talasni oblik bude simetričan oko 0 V. Šema povezivanja Džonsonovog brojča i drugih komponenti je prikazana na slici 6.

C. Oscilator fiksnih frekvencija

Za dobijanje fiksnih frekvencija koristi se oscilator fiksnih frekvencija, odnosno, modul XTL1 od 1 MHz.



Sl. 8. Šema oscilatora fiksnih frekvencija

Kristalni oscilator je elektronsko oscilatorno kolo koje se koristi za mehaničku rezonanciju vibrirajućeg kristala piezoelektričnog materijala. To stvara električni signal sa određenom frekvencijom. Kvarcni kristal je najčešći tip piezoelektričnog rezonatora [12].

Za dobijanje fiksnih frekvencija od 100 kHz, 10 kHz, 1 kHz i 100 Hz za deljenje sa 10 koriste se dva ista čipa 74LS390. Frekvencija od koje se kreće je 1 MHz, deljenje se vrši u četiri faze, u prvoj fazi se dobija 100 kHz, u drugoj 10 kHz, u trećoj 1 kHz i u četvrtoj 100 Hz. Kako bi se lakše odabrale frekvencije, koristi se prekidač SW₃. Šema je prikazana na slici 8.

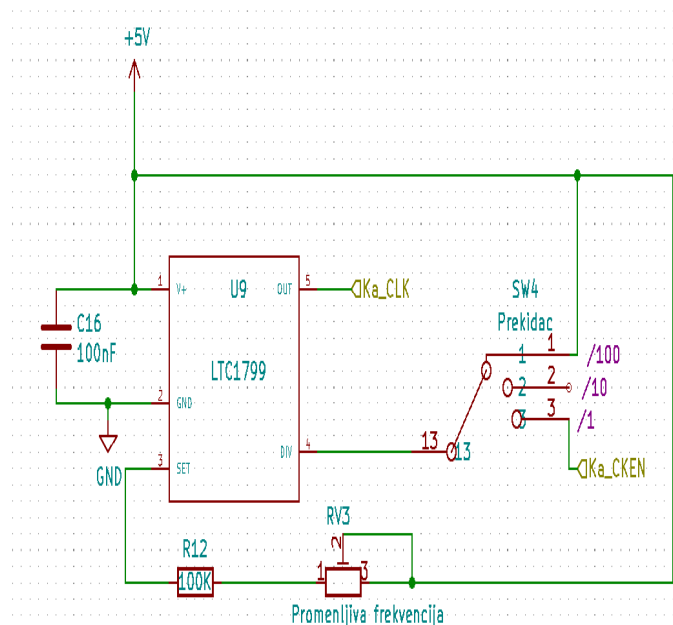
D. Oscilator promenljivih frekvencija

Za realizaciju promenljivih frekvencija, korišćen je čip LTC1799 [13]. Precizni oscilator, jednostavan za korišćenje, malih dimenzija, tako da ne zauzima mnogo prostora na PCB ploči.

LTC1799 obezbeđuje tri frekventa opsega u rasponu od 1 kHz do 33 MHz.

DIV ulaz sa tri stanja određuje da li se deli sa 1, 10 ili 100 pre pokretanja izlaza. U projektu, frekvenciju oscilatora podešava eksterni otpornik R₁₂ koji se nalazi u serijskoj vezi sa podesivim RV₃.

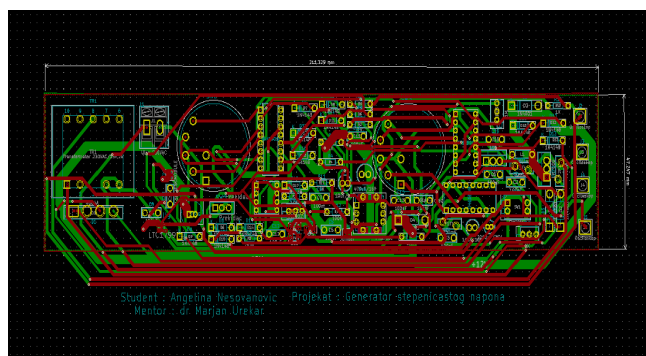
Korišćenje pina 4 rezultira kada nije povezan, deljenjem sa 10. Kada je pin 4 povezan sa masom to rezultira deljenjem sa 1 i na kraju kada je povezan sa napajanjem, to omogućava deljenje sa 10. Da bi se pin 4 lakše kontrolisao, projektovan je SW₄. Detaljan prikaz šeme se nalazi na slici 9.



Sl. 9. Šema oscilatora promenljivih frekvencija

III. IZRADA UREĐAJA

Projektovanje PCB pločice realizovano je u KiCad programu.



Sl. 10. Izgled PCB pločice uređaja



Sl. 11. PCB izgled 3D

IV. SIMULACIJA

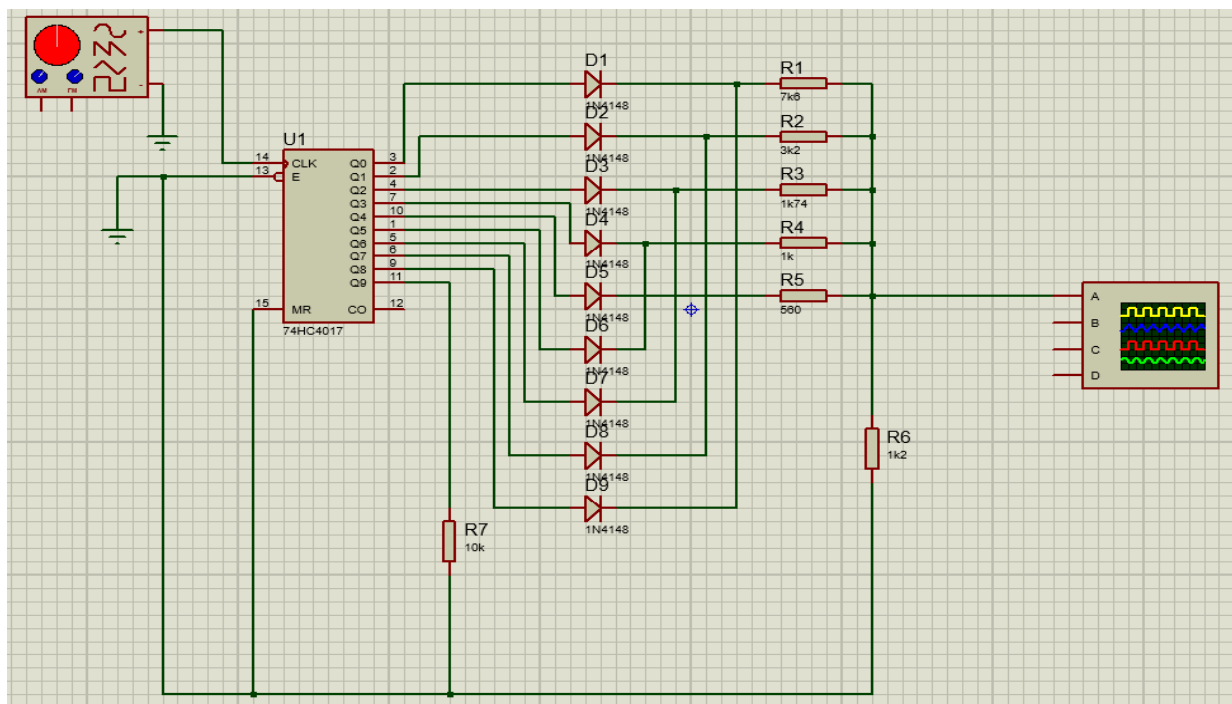
Simulacija je odrađena pomoću programa Proteus [14]. Proteus je paket softverskih alata, kombinuje jednostavnost korišćenja sa moćnim skupom funkcija, kako bi se omogućio brz dizajn, testiranje i proizvodnja štampanih ploča.

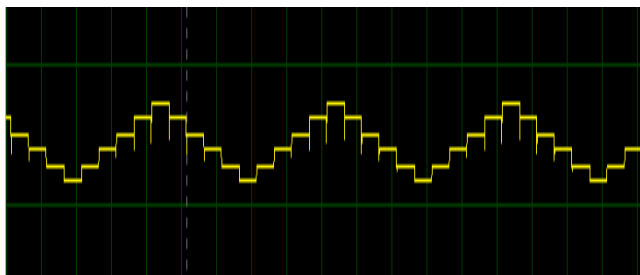
U simulaciji svi impulsi imaju istu amplitudu, 5 V. Frekvencija od 1 kHz je zadata pomoću signal generatora, izgled signala je praćen pomoću osciloskopa.

Kontrolom prekidača SW_2 , koji ima pet položaja, svaki položaj treba na izlazu da da drugačiji talasni oblik, položaj 2 – jedan stepenik, položaj 3 - dva stepenika, položaj 4 – tri stepenika, položaj 5 – četiri stepenika i položaj 1 – potpun stepeničasti talasni oblik.

U nastavku, na slici 12 će biti prikazan izgled simulirane šeme i rezultat, kada je SW_2 u položaju 1.

Simulirana šema i rezultat iste, prikazani su na slikama 12 i 13.

Sl. 12. Izgled simulirane šeme, SW_2 u položaju 1



Sl. 13. Rezultat simulirane šeme

V. ZAKLJUČAK

Realizovan je model prototipa generatora stepeničastog napona, dizajniranjem predloga električne šeme, izgleda štampane pločice i simulacijom generisanja signala uz pomoć upotrebe prekidača.

Primena se prvenstveno odnosi na testiranje i upravljanje radom lasera.

Optički filter pokazuje da se impulsi stepeničastog oblika sastoje od dva različita kvadratna impulsa, različitih talasnih dužina. Optičko filtriranje demonstrira da je preklapanje između obe komponente potpuno, jer jedna talasna dužina zauzima celu širinu impulsa, dok je druga kraća i nalazi se na rastućoj ili opadajućoj ivici impulsa [15].

Ukupna cena potrebnih komponenti za fizičku realizaciju ovakvog uređaja bi bila oko 120\$, na tu cenu je potrebno dodati i troškove izrade PCB-a. S obzirom na predstavljenu široku namenu ovakvih uređaja, dolazi se do zaključka, da bi to zasigurno bila pristupačna cena.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je podržan od strane Ministarstva nauke, tehnološkog razvoja i inovacija kroz projekat broj 451-03-47/2023-01/200156 "Inovativna naučna i umetnička istraživanja iz domena delatnosti FTN-a".

LITERATURA

- [1] <https://www.tek.com/en/documents/primer/xyzs-signal-generators>;
- [2] Milton H.Greenfield, Howard Beach, Anthony Abajlan, Glen Oaks, Staircase Waveform Generator, United States Patent Office, 1967;
- [3] Marcelo T. Okano, IOT and Industry 4.0: The Industrial New Revolution, International Conference on Management and Information Systems, 2017;
- [4] J. -Y. Wang, K. -H. Lin, H. -R. Chen, Generation of Optical Waveforms in 1.3- μ m SOA – Based Fiber Lasers, ISSN 1054-660X, Laser Physics, 2012, Vol. 22, No. 1, pp. 216-220, 2012;
- [5] Dr Peter Dalmaris, KiCad like a Pro, Tech Explorations, 2019;
- [6] <https://www.prakticnaelektronika.com/wp-content/uploads/2017/11/PE3-Ispravljac.pdf>;
- [7] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/838007/T11/LM7805.html>;
- [8] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/838008/T11/LM7812.html>;
- [9] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/15604/PHILIPS/74HC4017.html>;
- [10] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/27244/T1/NE5532.html>;
- [11] <https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/84555/T1/TLE2426.html>;
- [12] <https://www.elprocus.com/crystal-oscillator-circuit-and-working/>;
- [13] <https://www.analog.com/media/en/technical-documentation/data-sheets/ltc1799.pdf>;
- [14] <https://www.labcenter.com/>;
- [15] Georges Semaan, Andrey Komarov, Alioune Niang, Yichang Meng, Meriem Kemel, Mohamed Salhi, François Sanchez, Theoretical and experimental analysis of staircase pulses in passive mode-locked fiber lasers, 2018;
- [16] Peter Wilson, Circuit Designer's Companion, 4th edition, 2018

ABSTRACT

This paper presents the realization of a prototype Staircase Waveform Generator. The electronic schematic was designed in KiCad program. The control is performed with the help of a switch, while the digital element of the generator is realized using Johnson counter, which is the 74HC4017 chip. Using the switch, it is possible to choose between the oscillator with fixed and variable frequency. The simulation is carried out in Proteus program, where there are shown different step waveforms, depending on the position of the switch.

Design and simulation of the prototype Staircase Waveform Generator

Angelina Nešovanović, Marjan Urekar