

Širinsko impulsni modulator sa 555 tajmerom i strujnim izvorom

Studentski rad

Mihajlo Obrenović

student prvog ciklusa studija

Univerzitet u Istočnom Sarajevu, Elektrotehnički fakultet

Istočno Sarajevo, RS-BiH

mihajloobrenovic4@gmail.com

Sažetak—U ovom radu govoriće se o širinsko impulsnoj modulaciji (ŠIM). Pored primjene u energetskej elektronici širinsko impulsna modulacija se može koristiti i za prenos informacija. Pojavom digitalizacije u upotrebi je sve češći prenos digitalnih signala. Širinsko impulsni modulator je sklop koji ulazni analogni napon transformiše u povorku impulsa konstantne frekvencije i promjenjivog faktora ispune [1]. Cilj rada je opisati jedan širinsko impulsni modulator koji koristi 555 tajmer i strujni izvor. Strujni izvor služi za generisanje konstantne struje kojom se puni kondenzator pri čemu se kreira testerasti napon koji se poredi sa analognim naponom koji treba da se pretvori u povorku impulsa. Analogni signal čije vrijednosti mogu da budu između 0 i 4 V, pretvaraju se u povorku impulsa amplitude 5 V i faktora ispune između 10 i 90%. Za napajanje ovog sklopa koristi se 5 V DC napona.

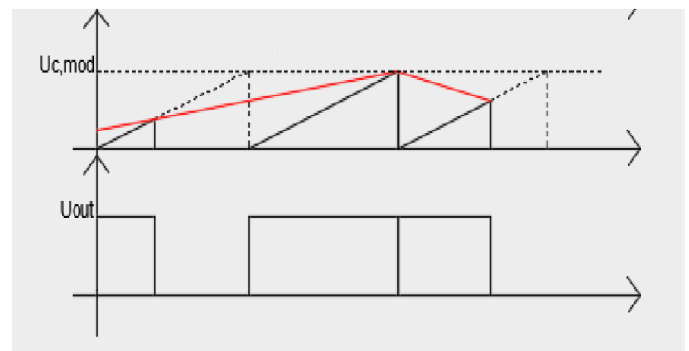
Ključne riječi—širinsko impulsna modulacija; 555 tajmer; faktor ispune

I. UVOD

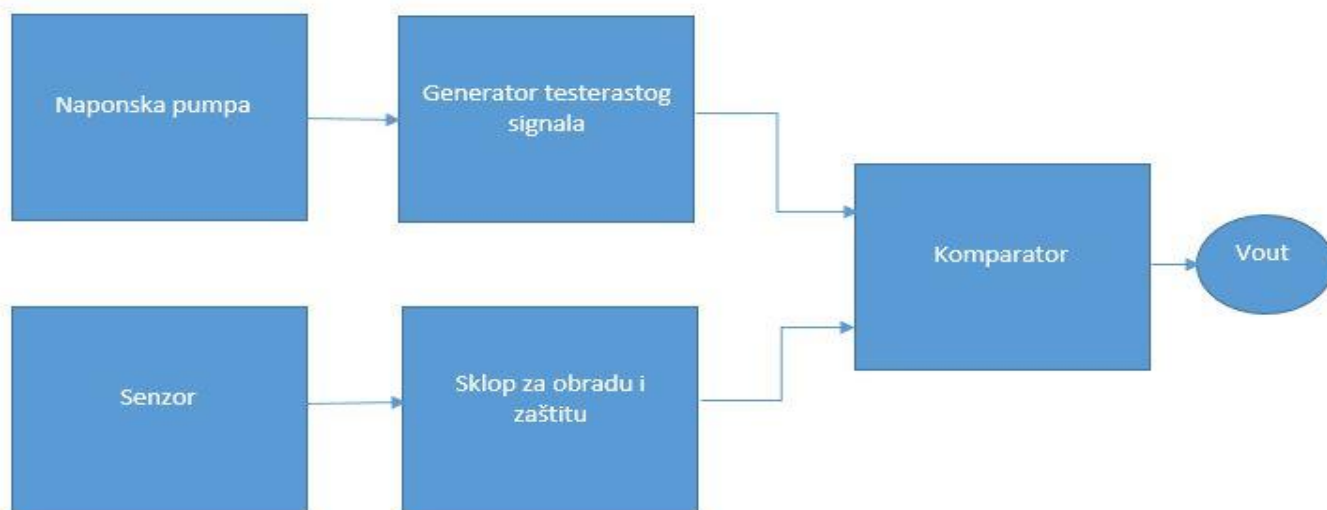
Razvojem tehnologije, odnosno pojavom digitalizacije sve je češća primjena diskretnih, odnosno digitalnih signala. U realnom svijetu postoji veliki broj analognih signala, koji se moraju prilagoditi digitalnom prenosu i obradi podataka. Jedno od mogućih rješenja je širinsko impulsna modulacija (ŠIM). Pomoću ŠIM-a analogni napon se može transformisati u povorku impulsa odgovarajuće frekvencije i faktora ispune, pri čemu je frekvencija uvijek konstantna, a faktor ispune se mijenja u zavisnosti od vrijednosti napona koji se transformiše. Faktor ispune opisuje odnos vremena u kome postoji visok naponski nivo i perioda digitalnog signala [1]. U povorku impulsa postoje dva naponska nivoa, nizak naponski nivo koji predstavlja logičku nulu i visoki naponski nivo koji predstavlja logičku jedinicu [3]. Tako se dobija digitalni signal, kojim se lakše može prenijeti određena informacija. Primjera radi, izlaz senzora je obično analogni signal koji nosi određenu informaciju (temperatura, udaljenost tijela, vlažnost itd...). Takav analogni signal potrebno je pretvoriti u povorku impulsa koji se dovode elektronici zaduženoj za obradu

informacija i upravljanje uređajima koji kontrolišu mjerene veličine. Dobar primjer je moderna poljoprivredna proizvodnja gdje je veoma važno da biljke imaju najbolje moguće uslove za razvoj. Sensorima se mjeri temperatura, vlažnost vazduha i zemljišta. Informacije iz senzora se ŠIM-om prenose do procesora koji obrađuje te informacije.

Princip realizacije širinsko impulsnog modulatora je u poređenju dva napona. Jedan od njih je ulazni analogni signal, koji se treba transformisati u povorku impulsa. Drugi signal je testerasti signal konstantne frekvencije. On se generiše unutar širinsko impulsnog modulatora, a frekvencija se bira u zavisnosti od potreba i korišćenja sklopa. Za poređenje ova dva signala zadužen je komparator. Ukoliko je napon testerastog signala manji od modulišućeg signala, tada se na izlazu ŠIM-a javlja visoki naponski nivo, odnosno logička jedinica, dok za vrijednosti testere koji su iznad vrijednosti analognog signala na izlazu se javlja nizak naponski nivo, odnosno logička nula. U zavisnosti od primjene moguće je primijeniti i obrnutu logiku, pa bi izlazni signal bio samo invertovan. Postoji unipolarna i bipolarna širinsko impulsna modulaciju.[4]



Slika 1. Karakteristični talasni oblici širinsko impulsnog modulatora

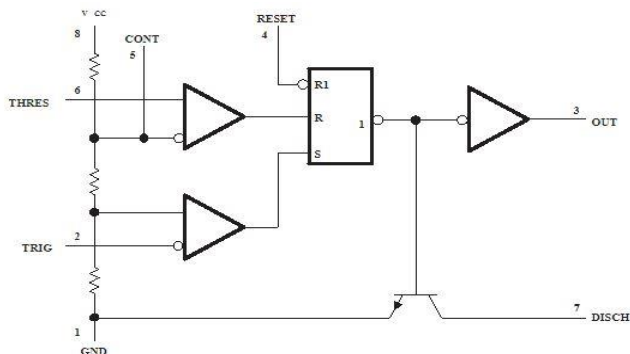


Slika 2. Blok dijagram širinsko impulsnog modulatora

Na Sl. 1 prikazani su principijelni talasni oblici modulišućeg signala (crvena boja, mod), testerasti signal (U_c , crna boja) i izlaznog napona (U_{out}) širinsko impulsnog modulatora. Sa slike se može vidjeti da se faktor ispunje povorke impulsa mijenja sa promjenom analognog napona.

II. REALIZACIJA ŠIRINSKO IMPUSLNOG MODULATORA

Cilj je realizovati niskofrekventni širinsko impulsni modulator kojim će se informacija, odnosno analogni signal sa senzora transformisati u povorku impulsa. Frekvencija provorke impulsa je $f = 1 \text{ kHz}$. Ova frekvencija je dovoljno velika da bi se analogni signal sa senzora mogao obraditi i poslati. U zavisnosti od vrijednosti mjerene veličine na izlazu senzora se javlja analogni signal koji može imati vrijednosti od 0 V do 4 V . Za napon od 0 V faktor ispunje će biti 10% , dok će za napon od 4 V faktor ispunje biti 90% . U realizacijama ŠIM-a nikad se ne dozvoljavaju ekstremni slučajevi od 0 i 100% faktora ispunje iz bezbjednosnih razloga. Ovo se postiže pravilnim uslovljavanjem ulaznog analognog signala. Ako bi faktor ispunje bio 0% , ne bi se znalo da li je podatak stvarno jednak nula ili je došlo do greške u sistemu; isti slučaj je i sa faktorom ispunje od 100% . [3]



Slika 3. Unutrašnja struktura 555 tajmera [2]

Pošto je maksimalna vrijednost testerastog signala 5 V , za dobijanje faktora ispunje između 10% - 90% potrebno je da opseg od 4 V koji prenosimo bude između $0.5\text{--}4.5 \text{ V}$. Tako obrađeni signal se dovodi 555 tajmeru i zove se modulišućim signalom. Na Sl. 2 je prikazan blok dijagram širinsko impulsnog modulatora. Svaki od blokova biće detaljnije objašnjen u nastavku rada.

A. Komparator

U realizaciji ovog širinsko impulsnog modulatora kao komparator koristi se 555 tajmer. Prednost u korišćenju 555 tajmera kao komparatora je u postojanju unutrašnjeg R/S leča, jer bi se u suprotnom morao koristiti komparator sa histerezom. Takođe u 555 tajmeru postoji unutrašnji tranzistor, koji će se koristiti u generatoru testerastog signala.

Unutrašnja struktura 555 tajmera prikazana je na Sl. 3. Testerasti signal se dovodi na ulaze 6 i 7, a modulišućim signalom na ulaz 5. Za njihovo poređenje odgovoran je komparator (na Sl. 3 označen brojem 1). Vanjskim trigger signalom koji se dovodi na ulaz 2 555 tajmera setuje se R/S leč i na izlazu se dobija visoki naponski nivo (V_{cc}). Trigger signal određuje frekvenciju rada širinsko impulsnog modulatora i njegova frekvencija je konstantna i u ovom slučaju iznosi 1 kHz . Visoki naponski nivo na izlazu traje sve dok je napon testerastog signala manji od modulišućeg signala.



Slika 4. Trigger signal i signali na ulazu u R/S leč

Kada napon testerastog signala postane veći od modulišućeg napona izlaz iz komparatora (na Sl. 3 označen brojem 1) je visoki naponski nivo, odnosno V_{cc} , čime se R/S leč resetuje i na izlazu se dobija nizak naponski nivo. Ovakvim postupkom generiše se povorka impulsa čiji je faktor ispune određen vrijednošću modulišućeg signala, a frekvencija je konstantna. Na Sl. 4 prikazani su talasni oblici triger signala i signali na ulazu u R/S leč. Izlaz 555 tajmera je ujedno i izlaz širinsko impulsnog modulatora.

B. Generator testerastog signala

Poznato je da se testerasti signal dobija punjenjem kondenzatora konstantnom strujom. To dokazuje i sljedeći izraz koji povezuje napon i struju kondenzatora:

$$U_c(t) = \frac{1}{C} t \quad (1)$$

Zato se u realizaciji širinsko impulsnog modulatora koristi strujni izvor. U trenutku kada napon testerastog signala postane veći od modulišućeg signala potrebno je brzo isprazniti kondenzator. To se vrši pomoću unutrašnjeg tranzistora koji se nalazi u 555 tajmeru. Ponovno punjene kondenzatora počinje kada triger signal setuje R/S leč i proces se ponavlja.

C. Proračun vrijednosti struje strujnog izvora i kapacitivnosti kondenzatora

Kao što je već rečeno, frekvencija rada ŠIM-a je 1 kHz. Iz jednačine (1) za $t=tp=1ms$ slijedi:

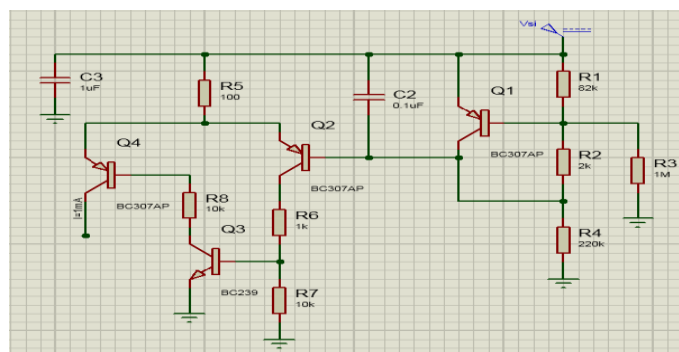
$$U_c(tp) = \frac{1}{C} tp \quad (2)$$

$$\frac{I}{C} = \frac{U_c(tp)}{tp} = 5 * 10^3 \quad (3)$$

Za struju punjenja kondenzatora uzeta je struja od 1mA. Iz jednačine se vidi da kapacitivnost kondenzatora mora biti $C=0.2\mu F$.

D. Strujni izvor

Kao izvor konstantne struje kojom se puni kondenzator za generisanje testerastog napona koristi se strujni izvor sa Sl. 5.



Slika 5. Strujni izvor sa velikim radnim naponom

TABELA 1. Rezultati testiranja strujnog izvora

	Vrijednosti opterećenja [kΩ]	Vrijednosti napona [U]	Izlazna struja izvora [mA]
1.	R=2.018	U=2.032	I=1.0069
2.	R=3.14	U=3.162	I=1.007
3.	R=3.74	U=3.755	I=1.004
4.	R=4.15	U=4.155	I=1.0012
5.	R=5.1	U=5.11	I=1.0019

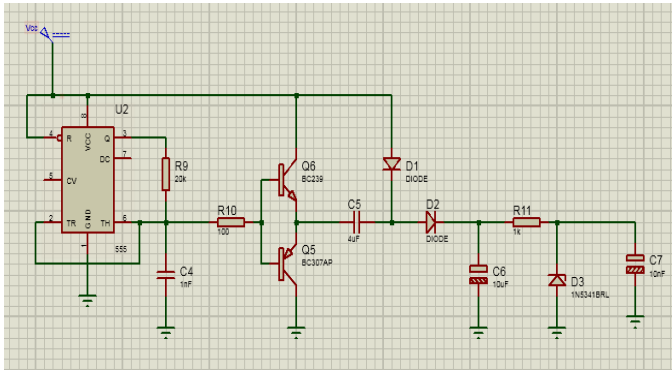
Ovaj strujni izvor je pogodan jer njegove komponente imaju najmanji pad napona na sebi, što za posledicu ima veliki izlazni radni napon. On mora da bude najmanje 5 V, jer je to maksimalna vrijednost testerastog signala. Strujni izvor se mogao realizovati i jednostavnije, ali bi zahtjevao veće napajanje. Ovaj strujni izvor koristi napajanje od 6.2 V. Testiranjem je utvrđeno da je izlazni radni napon 6 V, što je i više nego dovoljno za normalnu funkcionisanje ŠIM-a.

Takođe, u praksi usljed nedostataka i gubitaka koje se u teoriji zanemaruju, na izlazu se ne dobija struja od tačno 1 mA. Ovaj problem se rješava stavljajući potenciometre umjesto otpornika R1 i R2 čime se može kontrolisati napon na kondenzatoru C2, a time i izlazna struja. U tabeli 1 dati su rezultat testiranja izlazne struje strujnog izvora. Srednja vrijednost mjerene struje je $I_{sr}=1.0042$ mA. Najveće odstupanje od srednje vrijednosti je $I_{min}=1.0012$ mA, odnosno apsolutna greška je $\Delta I=0.003$ mA. Relativna greška iznosi $\delta I=0.00298$, odnosno 0.0298%. Izlazna struja strujnog izvora se mijenja u opsegu od $\pm 0.0298\%$. Ovakva promjena je zanemariva i struja strujnog izvora se može smatrati konstantnom.

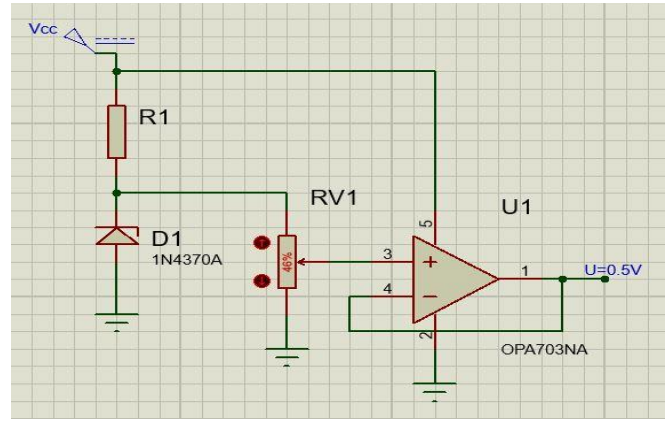
E. Naponska pumpa

Kao što je već rečeno, napajanje strujnog izvora je 6.2V. Pošto se koristi napajanje od 5 V za dobijanje većeg napona potrebna je naponska pumpa. Prvi dio naponske pumpe je oscilator, koji je realizovan pomoću 555 tajmera. Za određivanje frekvencije služe otpornik R9 i kondenzator C4. Jednačina za frekvenciju oscilatora je:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{2 * R * C * \ln 2} \quad (4)$$



Slika 6. Naponska pumpa

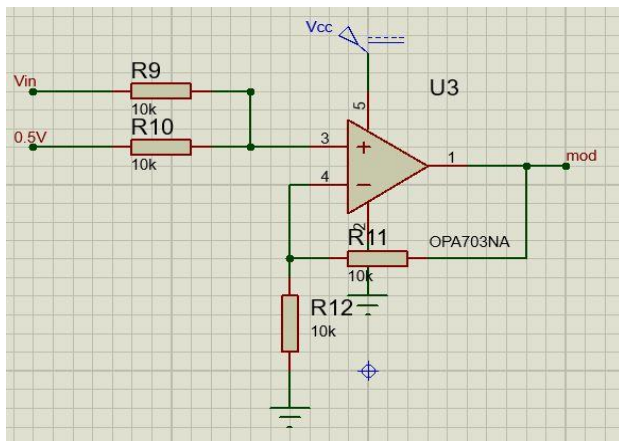


Slika 8. Referentni napon od 0.5 V

Zbog izbora komponenti koje se koriste u naponskoj pumpi i dostupnih vrijednosti istih, pogodna vrijednost za frekvenciju oscilatora koji se koristi je $f = 36 \text{ kHz}$. Kada je na izlazu oscilatora nizak naponski nivo tada tranzistor Q5 vodi i kondenzator C5 se puni preko diode D1. U drugom slučaju tranzistor Q6 vodi i napon na kondenzatoru C5 se sabira sa naponom napajanja. Elektrolitski kondenzator C6 vrši filtriranje izlaznog napona. Pošto je za napajanje potreban napon od 6.2 V na izlazu je postavljena zener dioda čiji je inverzni napon polarizacije 6.2 V. Takođe u svrhu stabilizacije izlaznog napona paralelno zener diodi postavlja se elektrolitski kondenzator. U praksi se javljao problem sa realizacijom oscilatora. Izlazni napon je bio manji od napona napajanja, a faktor ispunje nije bio 50%. Problem je riješen postavljanjem otpornika između pina broj 3 555 tajmera i napajanja. Takođe, promijenjene su vrijednosti otpornika R9 (povećana je otpornost) i kondenzatora C4, da bi iz izlaza 555 tajmera vukli manje struje.

F. Obrada i zaštita ulaznog napona

Kao što je ranije rečeno, da bi se dobila povorka impulsa od 10 do 90% faktora ispunje potrebno je da se analogni signal čije su vrijednosti napona 0-4 V pretvori u signal čije su vrijednosti kreću 0.5-4.5 V. Podizanje napona za 0.5 V vrši se pomoću sumatora napona tako što se sabira ulazni analogni napon i napon od 0.5 V. Sumator je prikazan na Sl. 7.

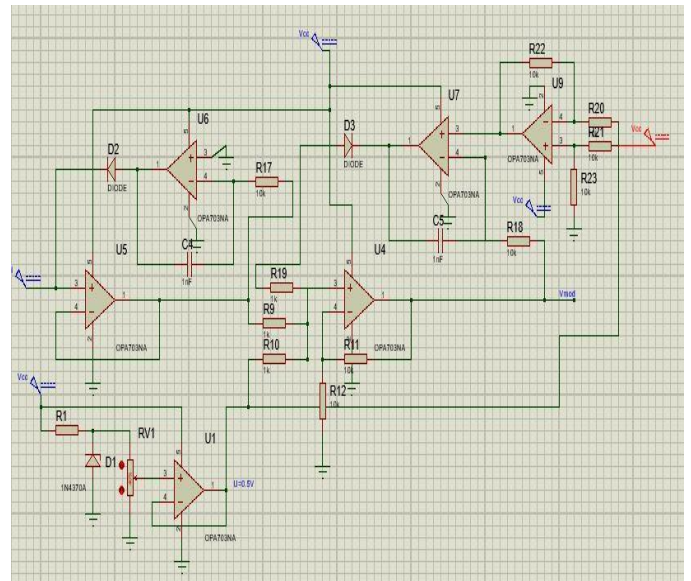


Slika 7. Sumator napona

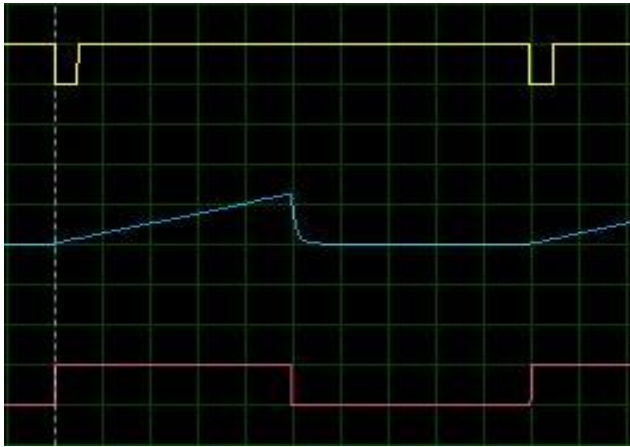
Napon od 0.5 V dobija se pomoću zener diode i potencijometra kao što je prikazano na Sl. 8. Na šemi za zaštitu postoje 2 diodna ograničavača, jedan je donji ograničavač sa diodom D2, koji ne dozvoljava da analogni ulazni napon bude negativan. Drugi je gornji ograničavač sa diodom D3, koji onemogućava da modulišuću napon, odnosno napon koji dovodi 555 tajmeru bude iznad 4.5 V. Na Sl. 9. može se vidjeti kompletna šema obrade i zaštite.

G. Rezultati

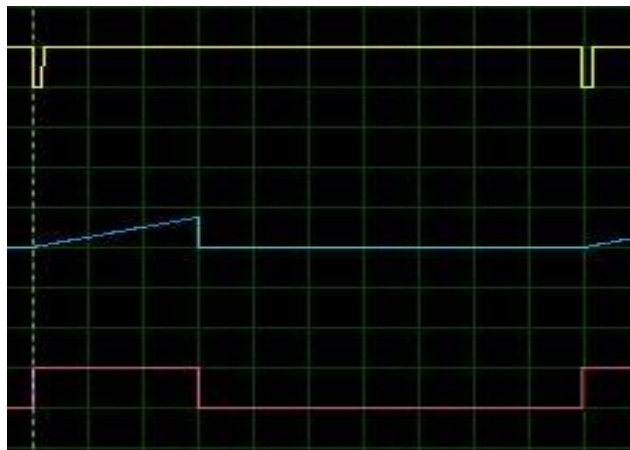
Na Sl. 10 se vide signali dobijeni simulacijom rada ŠIM-a pri ulaznom analognom naponu od 2 V. Signal predstavljen žutom bojom je trigger signal kojim se određuje frekvencija rada ŠIM-a. Signal obojen plavom bojom je napon punjena kondenzatora, odnosno testerasti signal koji se poredi sa modulišućim. Posljednji signal na grafiku je izlaz iz 555 tajmera, odnosno izlaz iz ŠIM-a. Vidi se da se pri ulaznom naponu od 2 V, na izlazu ŠIM-a dobija povorka impulsa faktora ispunje od 50%, što je bio i cilj ovoga rada.



Slika 9. Kompletna šema obrade i zaštite



Slika 10. Talasni oblici pri simulaciji za faktor ispune 50%



Slika 11. Talasni oblici pri simulaciji za faktor ispune 30%



Slika 12. Talasni oblici pri simulaciji za faktor ispune 70%

Analogno simulaciji pri ulaznom naponu od 2 V, izvršena je i simulacija rada ŠIM-a pri ulaznim naponima od 1 V i 3 V, što odgovara faktorima ispune od 30 i 70%, respektivno. Signali ovih simulacija su prikazani na Sl. 11 i Sl. 12, respektivno.

U tabeli 2, gdje su prikazani rezultati rada širinsko impulsnog modulatora, može se vidjeti da se vrijednosti analognog

TABELA 2. Rezultati širinsko impulsnog modulatora

Analogni signal sa senzora [V]	-1	0	0.5	1	2	3	4	5,5
Modulišući signal [V]	0.5	0.5	1	1.5	2.5	3.5	4.5	4.5
Faktor ispune [%]	10	10	20	30	50	70	90	90

signala u opsegu 0-4 V transformišu u povorku impulsa sa faktorom ispune 10-90%. Eventualna sitna odstupanja su neprimjetna na osciloskopu i mogu se zanemariti. Takođe iz tabele se vidi funkcija sklopa za obradu i zaštitu. Širinsko impulsni modulator je zaštićen od negativnih napona, kao i od napona većih od 4 V, zbog kojih bi moglo doći do greške u njegovom funkcionisanju.

III. ZAKLJUČAK

Razvoj i realizacija ovakvog širinsko impulsnog modulatora bili su veoma zahtjevni. Trebalo je iskoristiti mnoga znanja iz oblasti impulsne i digitalne elektronike. Gledajući rezultate koji su prikazani u tabelama 1 i 2 može se zaključiti da je ovakva realizacija veoma efikasna. Tajmer 555 daje veoma stabilnu povorku impulsa čija je amplituda 5 V, a maksimalna struja koju on može dati je 200 mA [2].

Širinsko impulsni modulator koji je opisan u ovom radu predložen je izmjenama usljed odgovarajućih potreba. Postoji mogućnost povećanja vrijednosti visokog naponskog nivoa izlaznog signala, jer 555 tajmer može da radi do vrijednosti napona napajanja od +16 V. Takođe moguće su varijacije u generisanju napona od 0.5 V, kao i mogućnost pravljenja drugačijeg oscilatora u naponskoj pumpi i izvedbi strujnog izvora. Ove varijacije uslovljene su potrebama korisnika, dostupnost komponenti kao i briga o ekonomskoj isplativosti uređaja.

Mana ovakve realizacije je potreba za veoma stabilnim napajanjem. Varijacije napona od $\pm 10\%$ mogu da dovedu do grešaka u funkcionisanju sklopa. Pri padu napona napajanja od 10% dolazi do smanjena napona na izlazu naponske pumpe, što dovodi do greške u izlaznoj struji strujnog izvora. Pri manjoj vrijednosti konstantne struje kondenzator se sporije puni, čime dolazi do greške u generisanju testerastog signala koja je od krucijalnog značaja za funkcionisanje uređaja. Takođe ovakav pad napona dovodi do greške u sklopu za zaštitu ŠIM-a gdje je sada maksimalni napon modulišućeg sigala koji se dovodi 555 tajmeru 4V, a ne 4.5 V koliko bi trebalo da bude. U slučaju povećanja napona strujni izvor će raditi pravilno, ali do greške dolazi u zaštitnom sklopu. Sada je maksimalna vrijednost modulišućeg signala 5V. Ako bi se ovakav signal predao 555 tajmeru, na izlazu se ne bi dobila povorka impulsa nego konstantan napon, odnosno faktor ispune bi bio 100% što nije poželjno. Šeme su isprojektovane i simulirane u programskom paketa Proteus 8 Professional.

ZAHVALNICA

Autor se zahvaljuje prof. dr Milomiru Šoji zbog korisnih savjeta u razvoju i realizaciji ovog širinsko impulsnog modulatora. Rad je urađen u sklopu predmeta Projekat 1.

LITERATURA

- [1] Safaa Alaa Eldeen Hamza, Dr. Amin Babiker A/Nabi Mustafa "The use of Pulse Width Modulation "PWM" Technique in LED Lighting Systems", 2012.
- [2] <https://html.alldatasheet.com/html-pdf/1082508/TI1/NE555P/265/4/NE555P.html> Februar 2020.
- [3] Manish Sahajwani, Sushma Patel "A review on modern pulse width modulation techniques based inverters", vol. 5, issue 9, September 2016
- [4] <https://www.electronicdesign.com/technologies/adc/article/21800752/adc-function-based-on-pwm-technique> Mart 2020.

ABSTRACT

Pulse width modulation (PWM), or pulse-duration modulation (PDM), is a method of reducing the average power

delivered by an electrical signal, by effectively chopping it up into discrete parts. The term duty cycle describes the proportion of 'on' time to the regular interval or 'period' of time; a low duty cycle corresponds to low power, because the power is off for most of the time. PWM can be used to control the amount of power delivered to a load without incurring the losses that would result from linear power delivery by resistive means.

The goal of this paper is to create and develop pulse width modulator with 555 timer and source of constant current. We compare modulation voltage and saw signal, and we have rectangular pulse wave, whose pulse width is modulated resulting in the variation of the average value of the waveform, on the way out.

PULSE WIDTH MODULATOR WITH 555 TIMER AND SOURCE OF CONSTANT CURRENT

Mihajlo Obrenović