

Prototip učila za demonstraciju rada punotalasnog ispravljača

Jana Vračar, *Student Member, IEEE*, Aneta Prijic, *Member, IEEE* i Ljubomir Vračar, *Member, IEEE*

Apstrakt — U ovom radu je prikazan prototip uređaja koji vizuelno prikazuje rad punotalasnog ispravljača (Grecovog spoja). Cilj izrade ovakvog uređaja je da se, nakon konačne realizacije, upotrebi kao pomagalo za razumevanje rada punotalasnog ispravljača na časovima gde se studenti sreću sa ovakvom materijom. Za generisanje sinusnih signala je upotrebljen mikrokontroler PIC18F45K22 koji je implementiran na štampanu ploču zajedno sa pratećom elektronikom. Projektovanje i simulacija električne šeme je izvršena pomoću softvera Proteus, dok je za programiranje mikrokontrolera iskorišćen softverski paket Proton IDE.

Ključne reči — Punotalasni ispravljač; direktna digitalna sinteza; mikrokontroler.

I. UVOD

SVAKO vizuelno nastavno sredstvo, kao dopuna govornoj reči, unosi novinu u način prezentacije gradiva, povećava interesovanje učenika i aktivira njihovu pažnju. Takođe ih navodi da osećaju potrebu za upoređivanjem i traženjem veza između pojava i objekata u okviru prethodno stečenih i novih saznanja. Nalaženje sličnosti i razlika između izučavanih pojava dovodi do razvijanja mišljenja učenika i samostalnog zaključivanja. Nastavna sredstva olakšavaju nastavniku rad u pripremanju nastave, oslobađaju ga od suvišnog izlaganja materije, omogućavaju efikasniju individualnu pomoć u nastavnom radu, dok učenicima podižu nivo koncentracije u procesu učenja. Smišljeno korišćenje nastavnih sredstava može dovesti do veće metodičke raznovrsnosti u nastavnom procesu i skratiti vreme potrebno za određene pripreme radove. Zahvaljujući nastavnim sredstvima učenicima je omogućeno da ostvare bolje rezultate od onih koje postižu konvencionalnim metodama.

Jedno od najbitnijih nastavnih sredstava jeste uređaj za demonstriranje određenog gradiva, odnosno učilo. Demonstracioni eksperiment (ili uređaj) je eksperiment koji pretežno izvodi nastavnik, a koji istovremeno posmatraju svi učenici grupe. Pri proučavanju tehničkih predmeta neophodna je priprema demonstracionog eksperimenta da bi se kod učenika formirale osnovne predstave o pojavama, principima rada, o konstrukciji i radu određenih aparata i tehničkih uređaja za predviđeno gradivo. Demonstracioni eksperimenti se primenjuju u onim slučajevima kad nastavnik mora aktivno da usmerava tok misli učenika pri proučavanju neke pojave ili

Jana Vračar – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: jana.vracar@elfak.ni.ac.rs).

Aneta Prijic Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: aneta.prijic@elfak.ni.ac.rs).

Ljubomir Vračar – Univerzitet u Nišu, Elektronski fakultet, Aleksandra Medvedeva 14, 18000 Niš, Srbija (e-mail: ljubomir.vracar@elfak.ni.ac.rs).

zakona. Demonstriranje primene određenog gradiva se uvek kombinuje sa izlaganjem nastavnika što je neophodan uslov za uspešno razumevanje predviđenog gradiva. Tehnički uređaji i pomagala ne spadaju u izvore znanja u nastavi. Oni doprinose da se izvori znanja učine pristupačnijim učenicima i funkcionalnijim za rad i učenje. Takođe, korišćenje savremenih nastavnih sredstava, tehničkih uređaja i pomagala, kao i obrazovnih softvera u nastavi pomaže većoj aktivnosti učenika i omogućava raznovrsniju komunikaciju na relaciji nastavnik-učenik. Međutim, ova komunikacija mora biti podržana i podstaknuta pozitivnim odnosom nastavnika prema ovakvim učilima [1].

Ovaj rad se bavi razvojem prototipa učila koje vizuelno demonstrira funkcionisanje punotalasnog ispravljača naizmeničnih signala. Učilo je namenjeno za primenu u nastavi gde se izučavaju principi funkcionisanja i osnovne primene poluprovodničkih komponenata. U radu je prikazan princip rada punotalasnog ispravljača, način generisanja naizmeničnih signala korišćenjem direktne digitalne sinteze i osnovna šema uređaja. Dat je i prikaz prototipa uređaja u toku demonstrativnog rada.

II. PRINCIP RADA PUNOTALASNOG ISPRAVLJAČA

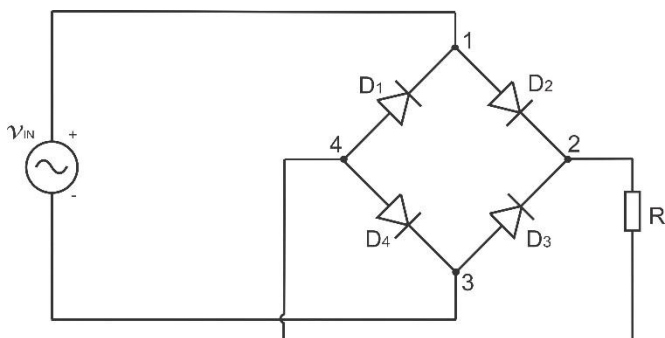
Punotalasni ispravljač je električno kolo koje ulazni naizmenični napon (AC) konvertuje u jednosmerni napon (DC). Za razliku od polutalasnog ispravljača, koji ispravlja naizmenični napon u samo jednoj poluperiodi, punotalasni ispravljač je mnogo efikasniji zbog toga što ispravlja električni napon u obe poluperiode. Najčešće se u ispravljačima koriste silicijumske poluprovodničke diode kao glavni elektronski elementi kojima se vrši ispravljanje. Osim dioda, mogu se koristiti i tiristori.

Punotalasni ispravljač može biti konstruisan na dva načina. Prvi način koristi transformator sa odnosom transformacije 1:2 sa centralnim izvodom na sekundaru i dve diode. Drugi način izrade punotalasnog ispravljača koristi četiri diode uređene u konfiguraciju mosta i za njega se najčešće koristi naziv Grecov spoj. U odnosu na ispravljač sa transformatorom i centralnim izvodom, ispravljač sa Grecovim spojem je lakše projektovati. Takođe, transformator sa centralnim izvodom je skuplji jer zahteva precizno definisan odnos transformacije i pozicioniran centralni izvod. Bitna razlika između njih je broj dioda koje se koriste za konstruisanje ispravljača. Zbog niske cene dioda, isplativije je realizovati ispravljač sa Grecovim spojem. Moguća je realizacija Grecovog spoja i sa transformatorom, a može se koristiti i kada su u pitanju visoki naponi.

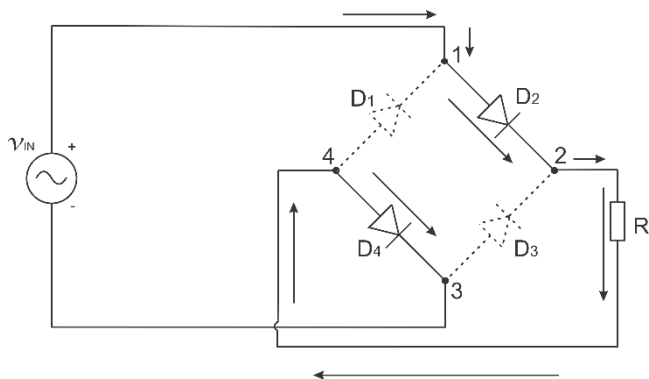
Sam princip rada punotalasnog ispravljača je jednostavan. U kolu su raspoređene četiri diode u obliku mosta kao što je prikazano na Sl. 1. Ulazni signal osnovnog sinusnog oblika

amplitude V_m i periode T ($v_{IN} = V_m \sin 2\pi t/T$) je povezan na dve dijagonalno suprotne tačke u mostu, 1 i 3. Izlazni napon se posmatra između tačaka 2 i 4, tako da opterećenje na mostu čini otpornik R.

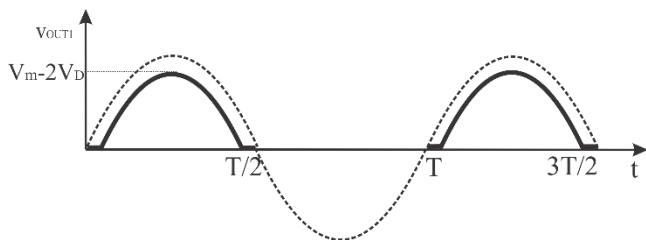
U toku pozitivne poluperiode sinusnog ulaznog napona v_{IN} ($0 < t < T/2$), tačka 1 je na višem potencijalu u odnosu na tačku 3. Zbog toga su u prvoj polovini ciklusa diode D_2 i D_4 direktno polarisane, dok su diode D_1 i D_3 inverzno polarisane (Sl. 2). Tokom ove poluperiode struja protiče kroz diodu D_2 , zatim kroz opterećenje (otpornik R), dolazi do tačke 4 i prolazi kroz diodu D_4 . Izlazni signal (napon na otporniku) tokom pozitivnih poluperioda ulaznog signala je prikazan na Sl. 3.



Sl. 1. Električno kolo punotalasnog ispravljača.



Sl. 2. Smer proticanja struje u kolu punotalasnog ispravljača tokom pozitivne poluperiode ulaznog napona.



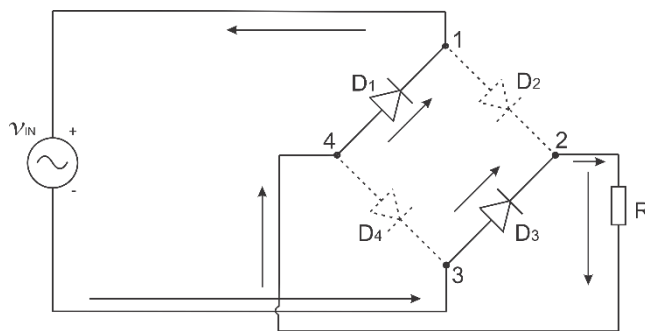
Sl. 3. Dobijeni izlazni signal tokom pozitivnih poluperioda ulaznog napona.

Da bi diode vodile, odnosno da bi postojao izlazni signal, napon na ulazu mora biti viši od dvostruke vrednosti napona vođenja dioda V_D ($v_{IN} \geq 2V_D$), dok je izlazni napon:

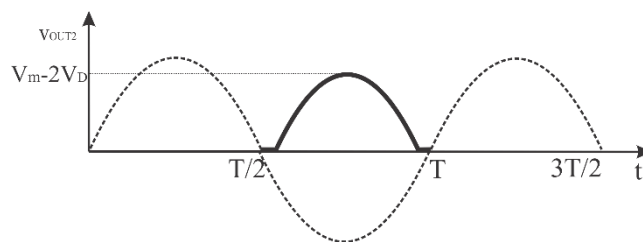
$$v_{OUT} = v_{IN} - 2V_D. \quad (1)$$

Tokom negativne poluperiode sinusnog ulaznog signala ($T/2 < t < T$), tačka 3 je na višem potencijalu u odnosu na tačku 1. U tom intervalu diode D_2 i D_4 su inverzno polarisane, dok su diode D_1 i D_3 direktno polarisane (Sl. 4). Struja protiče kroz diodu D_3 , preko otpornika R se vraća u kolo mosta preko tačke 4 i protiče kroz diodu D_1 . Ovakva struktura kola ima za rezultat da je napon negativne poluperiode ulaznog signala preslikan kao pozitivna vrednost izlaznog signala (Sl. 5). U ovom slučaju, da bi diode vodile, mora da je ispunjen uslov $v_{IN} \leq -2V_D$, dok je izlazni napon:

$$v_{OUT} = -v_{IN} - 2V_D. \quad (2)$$

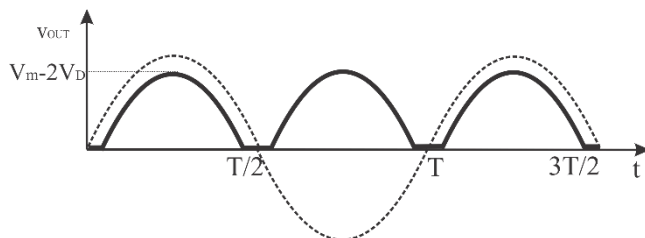


Sl. 4. Smer proticanja struje u kolu punotalasnog ispravljača tokom negativne poluperiode ulaznog napona.



Sl. 5. Dobijeni izlazni signal tokom negativnih poluperioda ulaznog napona.

Kao rezultat smenjivanja rada dioda za svaku poluperiodu, dobija se signal koji predstavlja ispravljen signale sa jednog i drugog para dioda naizmenično (Sl. 6), pri čemu je smer struje kroz otpornik R u oba slučaja isti. Ovo predstavlja punotalasno ispravljanje.

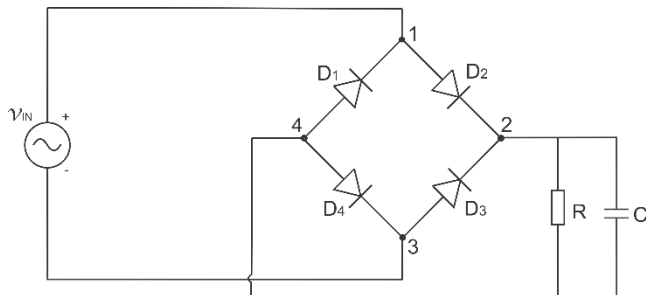


Sl. 6. Potpuni oblik izlaznog signala.

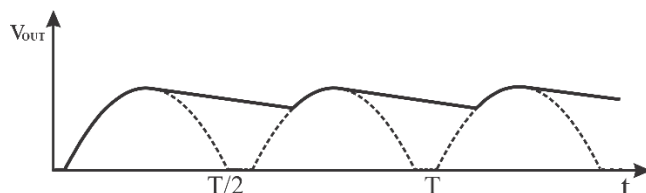
U intervalu kada je ulazni napon manji od dvostrukog napona vođenja dioda ($-2V_D < v_{IN} < 2V_D$), kroz kolo neće proticati struja, odnosno izlazni napon će imati nultu vrednost. Što je napon vođenja dioda veći to je period neprovođenja duži. Maksimalni inverzni napon, odnosno maksimalni napon koji

dioda može da izdrži pri inverznoj polarizaciji (PIV), u kolu punotalasnog ispravljača mora da bude veći od $V_m - V_D$.

Izlazni napon iz mosta nije konstantan DC napon jer je ispravljen samo po pitanju znaka, ali se i dalje menja u vremenu. Za funkcionisanje uređaja koji se napajaju sa izlaza Grecovog spoja potrebno je da napon bude konstantan, kako ne bi uticao na pouzdanost rada uređaja. Zbog toga se na izlaz punotalasnog ispravljača paralelno potrošaču dodaje kondenzator (Sl. 7). Dok napon na ulazu ispravljača raste, on puni kondenzator i istovremeno isporučuje struju opterećenju. Nakon četvrtine periode, ispravljeni napon dostiže maksimum čime je i kondenzator napunjen na maksimalnu vrednost. Nakon ovoga, ispravljeni napon počinje da opada, čime diode postaju inverzno polarisane i dolazi do pražnjenja kondenzatora kroz opterećenje. Ako je kapacitivnost kondenzatora dovoljno velika, on će se sporije prazniti nego što ispravljeni napon opada, odnosno signal će biti filtriran (Sl. 8). Time na potrošaču postoji napon sa manjim „talasanjem“ signala. Što je kapacitivnost kondenzatora veća to je „talasanje“ napona manje. Najčešće se za realizaciju kapacitivnog filtra koriste elektrolitski kondenzatori, a preporučena vrednost kapacitivnosti je nekoliko hiljada μF [2].



Sl. 7. Električno kolo punotalasnog ispravljača sa kapacitivnim filtrom.



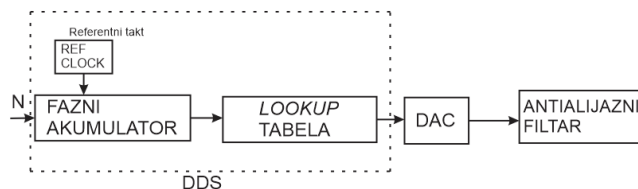
Sl. 8. Izgled filtriranog izlaznog signala.

III. GENERISANJE SINUSNIH SIGNALA KORIŠĆENJEM DIREKTNE DIGITALNE SINTEZE

Napretkom digitalne tehnologije je razvijena direktna digitalna sinteza (DDS) visoke tačnosti, odnosno uređaji koji na svom izlazu mogu da generišu signale sinusnih, kvadratnih, testerastih ili proizvoljnih oblika. Direktna digitalna sinteza je tehnika korišćenja digitalnih blokova mikrokontrolera za proces obrade podataka, a sa ciljem generisanja frekventno i fazno podesivih signala. Pri tome su vrednosti parametara signala bazirane na fiksnoj frekvenciji oscilatora mikrokontrolera, tj. frekvenciji takta. Glavna prednost direktne digitalne sinteze je da može precizno i brzo da se manipuliše frekvencijom, amplitudom i fazom izlaznog

signala. Programiranjem DDS-a, lako je postići širok opseg frekvencija signala sa velikom preciznošću (reda μHz), izrazito brza promena frekvencije signala sa zadržanom vrednošću faze signala i velike brzine različitih tipova modulacije signala. Performanse savremenih integrisanih kola omogućavaju da direktna digitalna sinteza predstavlja održivu alternativu za analogne fazno zatvorene petlje (PLL) koje su standard za generisanje analognih izlaznih signala na potrošaču. Digitalna kola koja se koriste za implementaciju signalno-procesnih funkcija ne podležu efektima termičkog šuma, starenju komponenata i varijacijama parametara kao kola sa analognim blokovima. Implementacija digitalnih funkcionalnih blokova omogućava da se postigne visoka integracija sistema. Pored prednosti koje ima ovakva sinteza, nedostaci su da broj tačaka koje generiše mora biti deljiv sa brojem dva i da postoje mogućnosti za povećanom distorzijom i „podrhtavanjem“ signala. Direktna digitalna sinteza nalazi primenu u raznim aplikacijama, uključujući kablovske modeme, generatore proizvoljnih signala, mobilne bazne stanice, bežične bazne stanice, čak i vojne radarske i komunikacione sisteme.

Glavna struktura direktnog digitalnog sintetizatora se sastoji od tri bloka. Prvi blok čini referentni takt, drugi je fazni akumulator, a treći je tabela pretraživanja (*lookup* tabela) koja je implementirana u ROM memoriji (Sl. 9). Referentni takt se koristi da generiše određenu frekvenciju, ažurira vrednost faznog akumulatora i da podstakne digitalno/analognu (D/A) konverziju. Referentna frekvencija takta je u DDS arhitekturi podeljena na osnovu faktora skaliranja koji je utvrđen programabilnom kontrolnom faznom reči. Kontrolna fazna reč ima opseg od 24 do 48 bitova i ona omogućava da implementacija DDS-a obezbedi veoma tačnu rezoluciju podešavanja frekvencije. Takođe, referentnim taktom određena je trenutna faza signala i brzina promene faze (korak faze).



Sl. 9. Blok šema generatora sinusnih signala bazirana na direktnoj digitalnoj sintezi.

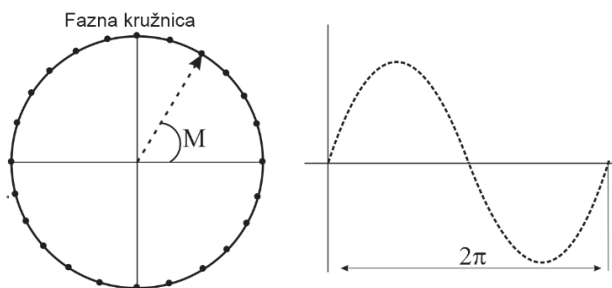
Osnovu direktne digitalne sinteze čini fazni akumulator. Fazni akumulator predstavlja aritmetički registar koji obavlja diskretnu matematičku funkciju:

$$\phi(i) = \phi(i - 1) + \Delta p, \quad (3)$$

gde je $\phi(i)$ trenutna faza signala, a Δp korak faze. Sadržaj faznog registra se ažurira referentnim taktom signalom.

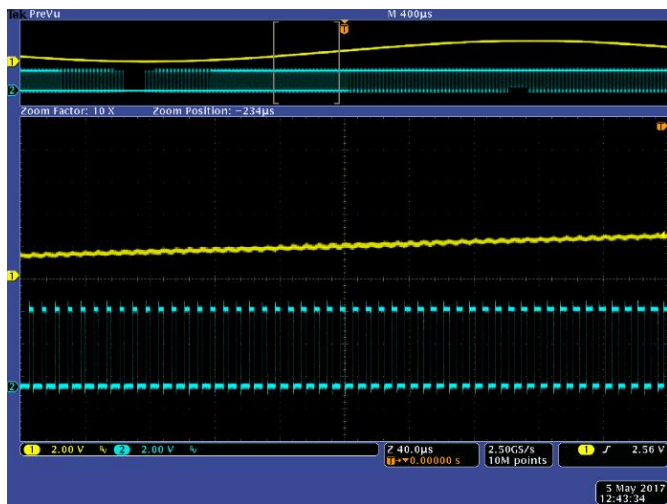
Vremenski kontinualni sinusni signali imaju ugaonu fazu od 0 do 2π koja se stalno ponavlja, što je ekvivalentno vektoru koji rotira po faznoj kružnici (Sl. 10). Jedan obilazak vektora po faznoj kružnici konstantnom brzinom, rezultuje konačnim ciklusom izlaznog sinusnog talasa. Sadržaj faznog akumulatora odgovara diskretnim vrednostima faze na faznoj kružnici, odnosno na izlaznom sinusnom signalu. Broj

diskretnih vrednosti faze određen je brojem bitova faznog akumulatora N . Maksimalni broj tačaka koji može da se dobije, odnosno rezolucija, odgovara izrazu 2^N . Za generisanje signala precizne frekvencije fazni akumulator koristi od 24 do 48 bitova [3].



Sl. 10. Ekvivalencija fazne kružnice i sinusnog signala.

Informacija o trenutnoj fazi sinusnog signala dobijena iz faznog akumulatora se pomoću *lookup* tabele prevodi u digitalnu vrednost naponskog signala. Ova digitalna vrednost se pretvara u analognu putem odgovarajuće digitalno/analogne konverzije. U mikrokontroleru je konverzija omogućena korišćenjem impulsno širinske modulacije signala (Pulse Width Modulation – PWM). Trenutna vrednost sinusnog signala odgovara faktoru ispunjenosti referentnog signala, tj. tome koliki je deo signala na logičkoj 1, odnosno logičkoj 0. U suštini, vrednost faktora ispunjenosti signala je ekvivalentna sadržaju faznog akumulatora. Konačni sinusni oblik signala se dobija pomoću odgovarajućeg eksternog analognog filtra. Na Sl. 11 je dat prikaz širinski modulisanog signala na osnovu DDS generisanih vrednosti i dobijenog izlaznog sinusnog signala snimljen digitalnim osciloskopom Tektronix DPO 4034 [4].

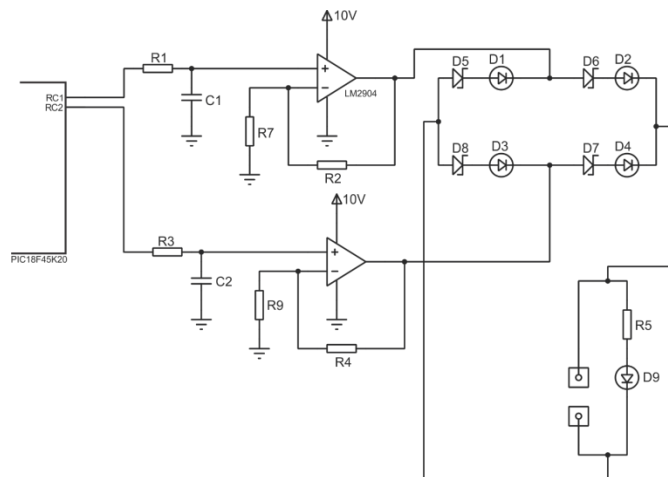


Sl. 11. Prikaz PWM signala generisanog DDS-om (plavo) i dobijenog izlaznog sinusnog signala (žuto).

IV. PRINCIP RADA I ELEKTRIČNA ŠEMA UREĐAJA

Električna šema uređaja je prikazana na Sl. 12. S obzirom da digitalno generisani naponski signali ne mogu da imaju vrednosti manje od 0 V, DDS-om je moguće generisati samo

potpuni sinusni signal čiji je ofset jednak njegovoj amplitudi. Zbog toga je za simulaciju naizmeničnog sinusnog napona koji ima i negativne vrednosti potrebno generisati dve identične sinusoide fazno pomerene za 180° . Razlika ovih sinusoida takođe predstavlja sinusni signal, ali sa dvostruko većom amplitudom i sa ofsetom 0 V. Time se dobija signal neophodan za prikaz rada punotalasnog ispravljača za jednu referentnu frekvenciju.



Sl. 12. Električna šema uređaja.

Mikrokontroler PIC18F45K22 je iskorišćen za generisanje sinusnih signala koji kontrolišu rad dioda u Grecovom spoju, a time i napon na potrošaču. On je programiran korišćenjem Proton IDE softvera. U kodu programa su sadržani blokovi za generisanje signala direktnom digitalnom sintezom, kao i blok za menjanje frekvencije signala kao rezultat pritiska na taster. Mikrokontroler sadrži dva PWM izlaza, tako da je moguće generisati dva sinusna signala istovremeno. Referentna frekvencija mikrokontrolera iskorišćena za DDS je 125 kHz. Signali iz mikrokontrolera prolaze kroz niskopropusne RC filtre kojima se finalno oblikuju analogni signali.

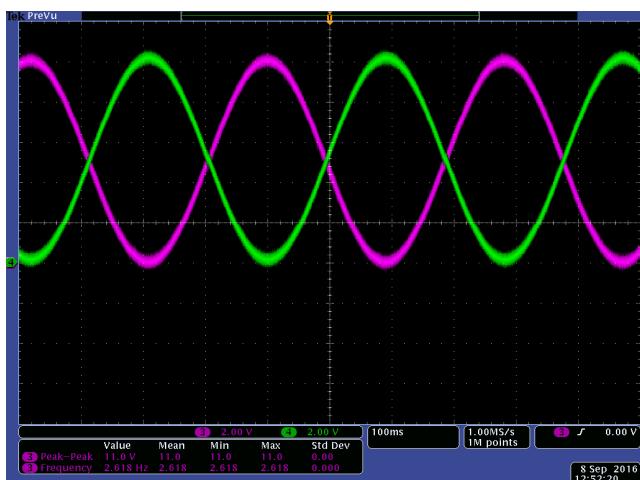
Generisani sinusni signali se pojačavaju pomoću eksterno napajanih operacionih pojačavača LM2904N. Pojačanje signala je potrebno zbog toga što je amplituda napona na izlazu iz mikrokontrolera 5 V, a za ispravan rad kola potreban je napon amplitude od najmanje 10 V. Izlazni naponi pojačavača u neinvertujućoj konfiguraciji sa Sl. 12 su:

$$v_{out} = \left(1 + \frac{R_2}{R_7}\right) \cdot v_{in} = \left(1 + \frac{R_4}{R_9}\right) \cdot v_{in}, \quad (4)$$

gde je v_{in} ulazni napon, a R_2 , R_4 , R_7 i R_9 vrednosti otpornika u povratnoj sprezi na invertujućem ulazu. Za dobijanje pojačanja vrednosti 2, kao najjednostavnije rešenje izabrane su otpornosti od $R_2=R_4=R_7=R_9=1 \text{ k}\Omega$. Izgled generisanih fazno pomeranih sinusnih signala koji se koriste za pobudu Grecovog spoja su prikazani na Sl. 13.

Grecov spoj je realizovan pomoću crvenih LED-ova kako bi se dobio vizuelni prikaz protoka struje kroz grane mosta tokom pojedinih poluperioda sinusnog signala. Zbog niske vrednosti probojnog napona LE dioda, sa svakom od njih su na red vezane Šotki diode. Time je onemogućeno da diode uđu u proboj pri inverznoj polarizaciji, a pri direktnoj

polarizaciji napon na potrošaču nije dodatno značajno smanjen.

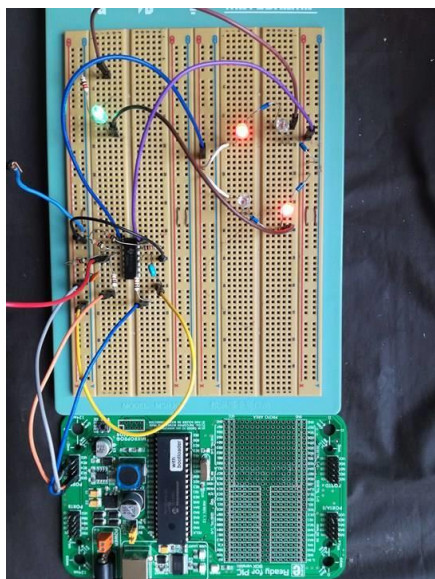


Sl. 13 Generisani fazno pomereni sinusni signali koji se koriste za pobudu Grecovog spoja.

Kao potrošač je pored otpornika postavljena još jedna LE dioda koja prikazuje protok struje kroz centralnu granu mosta. Na poziciju predviđenu za filterski kondenzator postavljen je konektor, što daje mogućnost dodavanja kondenzatora bilo koje vrednosti.

V. PROTOTIP UREĐAJA

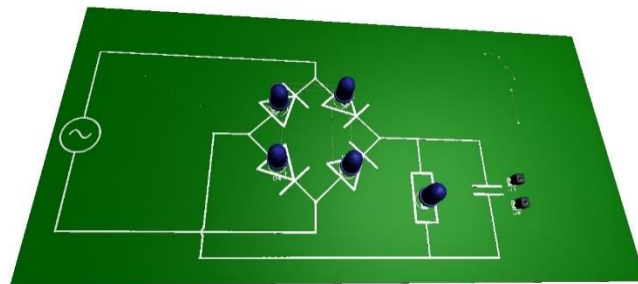
Funkcionisanje uređaja je provereno sastavljanjem laboratorijskog prototipa na prototipnoj pločici i korišćenjem razvojnog okruženja za rad sa mikrokontrolerima kao što je prikazano na Sl. 14. U softverskom paketu Proton IDE je izvršeno programiranje mikrokontrolera. Nakon postavljanja referentne frekvencije piše se i kompajlira kod za sintezu sinusnih signala. Pisanje koda se izvršava u blokovima i omogućeno je brzo vršenje njegovih korekcija kao i postavljanje željene vrednosti frekvencije izlaznog signala.



Sl. 14 Prikaz laboratorijskog prototipa uređaja.

Funkcionisanje uređaja se vizuelno registruje tako što se dve crvene diode unutar mosta uključuju tokom jedne poluperiode, a druge dve tokom druge poluperiode. Zelena dioda koja predstavlja potrošač se uključuje tokom svake poluperiode i pokazuje da je signal ispravljen. Postavljanjem frekvencije ulaznog signala na nisku vrednost (0,5 Hz) dva stanja provođenja u mostu se jasno razlikuju. Dodavanjem filterskog kondenzatora na izlaz Grecovog spoja jasno se uočava manji i veći intenzitet sjaja zelene diode koji prati izgled filtriranog izlaznog napona. Time se dobija efekat kao da dioda „diše“. Treba napomenuti da je zbog visoke vrednosti napona vođenja LE dioda (≈ 2 V), period njihovog neprovođenja uočljiv, kao i to da je amplituda izlaznog napona u odnosu na ulazni dosta umanjena.

Projektovanje štampane ploče na koju će se ugraditi neophodne elektronske i poluprovodničke komponente je izvršeno pomoću softvera Proteus. Na Sl. 15 je prikazan predviđeni izgled štampane ploče sa prednje strane. Cilj je da korisnicima budu vidljivi samo elementi neophodni za razumevanje funkcionisanja Grecovog spoja dok su sve ostale komponente sa električne šeme sa donje strane štampane ploče.



Sl. 15. Finalni izgled projektovane prednje strane štampane ploče.

VI. ZAKLJUČAK

Predstavljeni uređaj omogućava jednostavno razumevanje rada punotalasnog ispravljača. Princip generisanja sinusnih signala pomoću mikrokontrolera omogućava korišćenje učila bez upotrebe skupih generatora signala. Mogućnost postavljanja filterskih kondenzatora različitih vrednosti daje jednostavan uvid u efekat „talasnosti“ izlaznog signala i princip njegovog filtriranja.

Sam uređaj je moguće unaprediti na više načina. Radi bolje optimizacije i lakšeg korišćenja, moguće je na pločicu dodati ulaz za mrežni naponski adapter, čime se omogućava prenosivost uređaja i njegovo korišćenje bez eksternih izvora jednosmernog napona. Ovim bi se omogućilo korišćenje uređaja ne samo u laboratorijama, već i u učionicama koje nemaju potrebnu opremu. Takođe, umesto jedne diode koja se nalazi na mestu potrošača, moguće je dodati kolo sa LE diodama koje će igrati ulogu voltmetra. Na ovaj način biće vizuelno prikazan izlazni napon, tako što će se niz dioda uključivati i isključivati u zavisnosti od izlaznog signala Grecovog spoja. Takođe, moguće je dodavanje jednog LCD displeja koji brojčano prikazuje vrednosti izlaznog napona.

ZAHVALNICA

Ovaj rad je realizovan u okviru projekta finansiranog od strane Ministarstva za prosvetu, nauku i tehnološki razvoj Republike Srbije (evidencioni broj TR32026) i Ei PCB Factory, Niš.

LITERATURA

- [1] Miroslav Kuka, "Opšta pedagogija & pedagoška psihologija", Beograd, Srbija, 2004.
- [2] Z. Prijić, A. Prijić, "Ispravljačke diode", u *Uvod u poluprovodničke komponente i njihovu primenu*, 49-53, Niš, Srbija, 2014.
- [3] Nationals Instruments, "Understanding Direct Digital Synthesis", 1-4, Dostupno na: http://www.ni.com/gate/gb/GB_INFOINSTFUNDDDS/US
- [4] Tektronix DPO 4034 Digital Phosphor Oscilloscope, DataSheet.

ABSTRACT

This paper presents a prototype of a device that visually simulates application of a full-wave rectifier. The purpose of this device is that, after the final realization, it could be used as a tool for understanding the operation of the full-wave rectifier in classes where students meet with this subject matter. Microcontroller PIC18F45K22 is used for generation of the sine wave signals, and it is implemented on the printed circuit board with the rest of the associated electronics. Design and simulation of electric circuit is performed using the software Proteus, while for the microcontroller programming was used Proton IDE software package.

Development of an educational tool for demonstration of the full-wave rectifier operation

Jana Vračar, Aneta Prijić, Ljubomir Vračar