

Jednostavno električno kolo za pobudu električnog pražnjenja u gasnim cevima

Milentije Luković¹, Sanja Antić¹ i Vanja Luković¹

¹ Fakultet tehničkih nauka u Čačku, Univerzitet u Kragujevcu, Čačak, Srbija

e-mail milentije.lukovic@ftn.kg.ac.rs, sanja.antic@ftn.kg.ac.rs, vanja.lukovic@ftn.kg.ac.rs

Rezime: U cilju motivisanja učenika i studenata u uviđanju značaja koje njihovo poznavanje ima u svakodnevnom životu, nastavnici često koriste eksperimente, odnosno laboratorijske metode u nastavi. U ovom radu objašnjeno je kako na jednostavan način napraviti Teslin kalem sa električnim kolom u kojem se kao pojačavač i prekidač koristi tranzistor. Teslin kalem se može koristiti kao nastavno sredstvo za demonstraciju visokofrekventnih struja, odnosno pobudu električnog pražnjenja u gasnim cevima. Takođe, objašnjeni su i određeni problemi koji se mogu javiti tokom njegove izrade, a sa kojima su se susretali polaznici Regionalnog centra za talente u Čačku.

Ključne reči: Teslin kalem; električno kolo; tranzistor

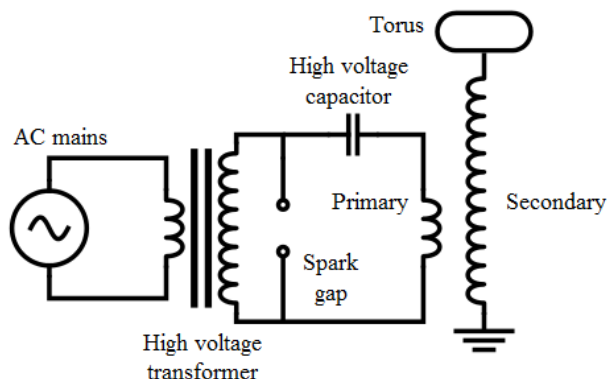
1. UVOD

Ove godine navršava se 160 godina od rođenja Nikole Tesle, našeg najpoznatijeg naučnika koji je imao više od 700 zaštićenih patenata i inovacija. Njegov doprinos nauci je toliko veliki da su osam američkih država (Njujork, Njudžerzi, Pensilvanija, Koloradu, Nevada, Minesota, Arizona i Indijana) Teslin dan rođenja proglasile za svoj državni praznik [1]. Na polju bežičnog prenosa energije, Tesla je uložio dosta vremena i truda, ali je njegovo istraživanje ipak ostalo nedovršeno.

Teslin kalem, koji je trebao da bude osnov bežičnog prenosa energije danas se može izraditi na različite načine, pri čemu se kao izvor struje može koristiti kako naizmjenična, tako i jednosmerna struja. U ovom radu je prikazan jednostavan način konstrukcije Teslinog kalema, korišćenjem izvora jednosmerne struje, koji je ujedno veoma bezbedan, a podrazumeva korišćenje materijala iz kompleta za vežbe iz elektronike iz predmeta tehničko i informatičko obrazovanje za VIII razred. Navedena realizacija Teslinog kalema, demonstrirana je polaznicima Regionalnog centra za talente u Čačku, nakon čega su oni dobili zadatak da isti realizuju. Stoga će u ovom radu biti razmotreni i problemi sa kojima su se oni susretali prilikom njegove izrade. Ovako napravljeni Teslin kalem može se takođe koristiti u nastavi fizike i tehničkog i informatičkog obrazovanja, kao i u nastavi osnovi elektrotehnike u cilju upoznavanja učenika sa Teslinom radom na polju visokofrekventnih struja.

Prvobitni dizajn Teslinog transformatora prvi put se pojavljuje u US patentu broj 454.622 iz 1891 godine, a trebao je da se koristi za tada novo i efikasno osvetljenje [2]. Sastojao se od izvora srednjeg ili visokog napona naizmjenične struje, jednog ili više visokonaponskih

kondenzatora i varničara povezanih u primarnom kolu transformatora (Sl. 1).



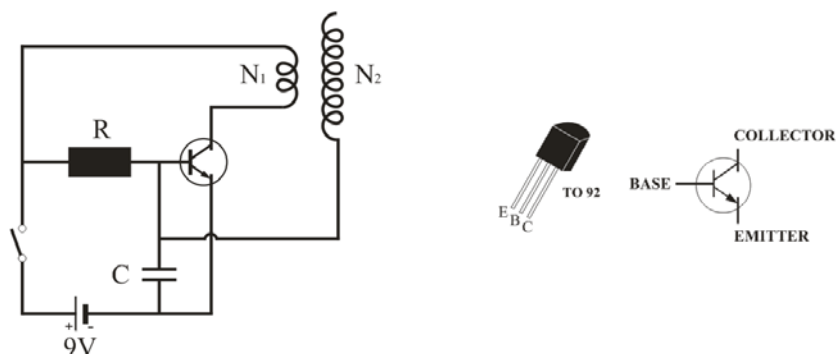
Slika 1. Šema konstrukcije Teslinog transformatora

Varničar se sastoji od dve elektrode, između kojih se nalazi mali razmak koji se po potrebi može smanjivati ili povećavati, čime se utiče na frekvenciju struje u primarnom kalemu. Na taj način je primar pobuđivan sa periodičnim impulsima visokofrekventnih struja.

Na sekundaru se nalazi veliki broj namotaja (više stotina ili hiljada) i napon u njemu se indukuje elektromagnetnom indukcijom iz primara. Primar i sekundar su rezonantna kola, pa se povećanje napona postiže i rezonancijom, a ne samo povećanim brojem namotaja u sekundaru. Rezonantna frekvencija Teslinog transformatora je tipično između 25 KHz i 2 MHz.

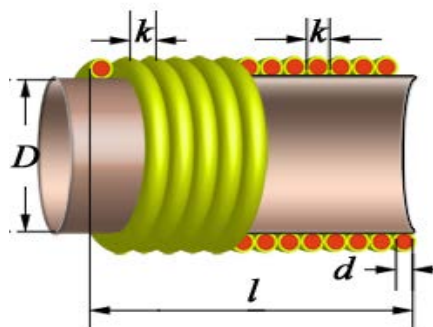
2. TESLIN KALEM ZA POTREBE NASTAVE

U ovom radu se u cilju primene u nastavnom procesu predlaže konstrukcija Teslinog transformatora, koja je prikazana na Sl. 2 – levo. Razvoj elektronike doprineo je da se u konstrukciji Teslinog kalema varničar može efikasno zameniti tranzistorima različitog tipa, koji nisu postojali u Teslino vreme. Prednost ovako napravljenog kalema je što se tranzistor može koristiti i kao prekidač i pojačavač u isto vreme.



Slika 2. Šema Teslinog kalema sa bipolarnim NPN tipom tranzistora

Za ovu svrhu mogu se koristiti različiti NPN tranzistori, mada karakteristike pojedinih tranzistora čine neke od njih pogodnijim za primenu od drugih. Osnovni parametri kalema su: prečnik okvira D , prečnik žice d , prečnik žice sa izolacijom k , dužina namotaja l , dužina žice potrebne za kalem a , broj namotaja primara N_1 , broj namotaja sekundara N_2 , induktivnost L , samo-kapacitivnost C_s i samo-rezonantna frekvencija kalema f (Sl. 3).



Slika 3. Jednoslojni kalem – namotaj do namotaja

Vrednost induktivnosti sekundara L može se izračunati korišćenjem Weeler-ove jednačine (1) [3]:

$$L = \frac{N^2 \mu_0 \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2}{l}. \quad (1)$$

Sopstvenu-kapacitivnost kalema je moguće računski odrediti iz jednačine (2), gde su vrednosti dijametra D date u centimetrima a sama kapacitivnost u piko faradima [4]:

$$C_s = \frac{\epsilon_0 \pi^2 D}{(N-1) \ln\left(\frac{p}{d} + \sqrt{\left(\frac{p}{d}\right)^2 - 1}\right)}, \quad (2)$$

gde je: ϵ_0 je dielektrična konstanta, N je broj namotaja, p je rastojanje između centara susednih namotaja. Korišćenjem jednačine za izračunavanje oscilovanja LC kola (3), može se približno izračunati frekvencija oscilovanja sekundara.

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC_s}}. \quad (3)$$

3. EKSPERIMENTALNI REZULTATI

U ovom radu se predlaže upotreba NPN bipolarnog tranzistora 2N2222A, kućišta TO-92 (Sl. 2 - desno) [5]. Razlog tome je jednostavnost primene u nastavnom procesu, budući da iziskuje korišćenje DC izvora malog napona (do 40 V) i male jačine struje (do 0.6 A na ulazu). U našem slučaju kao izvor napajanja korišćena je baterija od 9 V. Osim pitanja bezbedne upotrebe učenika ili studenata, razlog zašto se ovaj tip tranzistora češće koristi od drugih tipova tranzistora, je taj što u realizaciji električnog kola sa slike 2 nije neophodno koristiti kondenzator [6]. Ukoliko se upotrebi kondenzator, može doći do pregrevanja i

pregorevanja ovog tipa tranzistora. Takođe, korišćenjem kola sa slike 2 bez kondenzatora, postoji veći frekventni opseg u kome može da se izvrši usaglašavanje frekvencije oscilovanja kola. Za ovaj tip kalema je karakteristično da ne proizvodi varnice ili su one veoma male, budući da radi sa malim snagama na veoma visokim frekvencijama ($> 10^6$ Hz). Ovo predstavlja jedno od ograničenja Teslinog kalema napravljenog na ovaj način. Sa druge strane on proizvodi dovoljno visok napon da upali i neonsku sijalicu snage i do 36 W. Na Sl. 5 je predstavljen grafički prikaz frekvencije oscilovanja kalema dobijen korišćenjem OriginPro programa [7], na osnovu izmerenih podataka na osciloskopu.



Slika 4. Prikaz frekvencije oscilovanja malog Teslinog kalema na osciloskopu

Na Sl.4 prikazan je Teslin kalem kod koga je korišćen pomenuti tranzistor. Broj namotaja na primaru iznosi $N_1 = 3$, a na sekundaru $N_2 \approx 350$ (tabela 1). Odnos visine kalema H i prečnika kalema D potrebno je da bude u intervalu $4 < H/D < 6$. Za namotaje na sekundaru potrebno je koristiti lakiranu bakarnu žicu prečnika 0.2 – 0.4 mm (AWG 32-26). U kompletu materijala za vežbe iz elektronike iz predmeta Tehničko i informatičko obrazovanje za VIII razred, nalazi se i žica $d = 0.25$ mm koju je takođe moguće iskoristiti. Na primaru je potrebno koristiti izolovanu bakarnu žicu većeg prečnika (AWG 19<), pri čemu nema uticaja da li je ona puna ili sa licnima. Vrednost otpornika nije presudna pošto on ima ulogu da preuzme struju kada ona ne protiče kroz tranzistor. Njegova vrednost se može uzeti u širokom rasponu. U kompletu materijala za vežbe iz elektronike za VIII razred nalaze se i tri otpornika koje je moguće iskoristiti u tu svrhu: 6.8 K Ω , 38 K Ω i 82 K Ω . U realizaciji kalema na Sl. 4 korišćen otpornik čija je vrednost otpornosti 22 K Ω (metalfilm, snaga ¼ W, tolerancija 1%). Parametri jednoslojnog kalema (namotaj do namotaja) dobijeni su korišćenjem *coil32* softvera [8] (tabela 1).

Vrednost sopstvene frekvencije oscilovanja sekundara dobijena preko *coil32* softvera je $f = 6.882$ MHz i dosta dobro odgovara najnižoj eksperimentalno izmerenoj vrednosti frekvencije oscilovanja kalema od $f = 6.849$ MHz koja je izmerena korišćenjem osciloskopa.

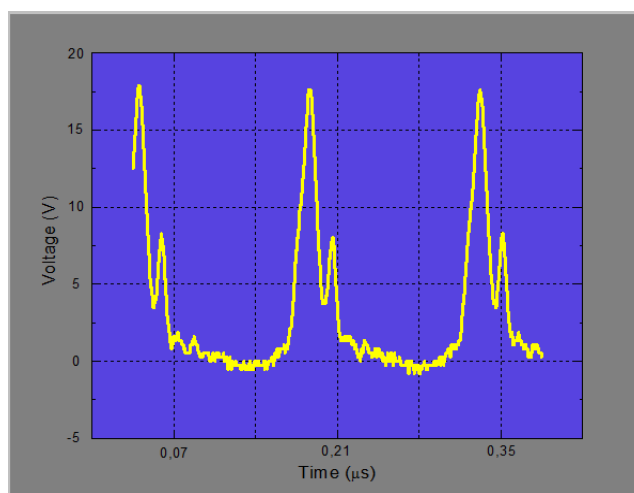
Osim navedenog tipa tranzistora, izrada Teslinog kalema sa slike 2 testirana je i sa bipolarnim NPN tranzistorom MJE3055, kućišta TO-220. Na ovaj tranzistor neophodno je

postaviti hladnjak tipa HL SK35-51 ili neki hladnjak sličnih karakteristika čija je toplotna otpornost ≤ 9 K/W. Tranzistor sa hladnjakom je potrebno odmaknuti od primara, odnosno sekundara, kako njegovo funkcionisanje ne bi bilo ometano njihovim elektromagnetnim poljem.

Tabela 1. Parametri jednoslojno namotanog kalema dobijeni coil32 softverom

Uneti podaci	Dobijeni podaci
Prečnik okvira D : 18.2 mm	Dužina namotaja l : 78.075 mm
Prečnik žice d : 0.2 mm	Dužina žice potrebne za kalem a : 20.479 m
Prečnik žice sa izolacijom k : 0.22 mm	Broj namotaja kalema N_2 : 353.545
	Induktivnost L : 474.924 μ H
	Samo-kapacitivnost C_s : 1.13 pF
	Samo-rezonantna frekvencija kalema f : 6.882 MHz

Ovaj tranzistor za razliku od prethodno opisanog, ima manji koeficijent strujnog pojačanja β (20-100), te da bi se postigle iste ili bolje performanse kola, potrebno je koristiti kondenzatore ekvivalentne kapacitivnosti $C \geq 300$ nF. Upotrebom kondenzatora za posledicu ima znatno užu frekventni opseg u kome može da se izvrši usaglašavanje frekvencije oscilovanja kola. Međutim, po uspostavljanju optimalne frekvencije oscilovanja, ovaj tip kalema će dati varnice na sekundaru veličine i do nekoliko milimetara.



Slika 5. Grafički prikaz uspostavljene frekvencije oscilovanja kola, izmerene na osciloskopu

Opisane realizacije Teslinog kalema eksperimentalno su izvođene od strane polaznika Regionalnog centra za talente u Čačku. Prilikom izrade oni su se susreli sa različitim problemima, zbog kojih kalem nije funkcionisao, te su izdvojene osnovne stavke na koje treba posebno obratiti pažnju prilikom eksperimentalne realizacije:

- Smer rotacije namotaja na sekundaru mora biti suprotan od smera rotacije namotaja na primarau.
- Jedna od veoma čestih grešaka zbog koje kalem neće raditi je slučaj kada se

permutuju krajevi konekcije primara kalema sa ostatkom kola.

Kao što je već napomenuto opisani tip Teslinog kalema ne proizvodi varnice, ili su one veoma male. S obzirom da male varnice ostavljaju manje impresivan utisak kod posmatrača, za dobijanje kalema koji pravi vizuelno veće varnice potrebno je:

- Smanjiti frekvenciju oscilovanja kalema uvođenjem dodatnih elektronskih komponenti električno u kolo. Time se kolo dodatno usložnjava i učenicima ili studentima nije više toliko jednostavno da ga naprave, a takođe ni jeftino.
- Povećati dimenzije kalema, povećanjem prečnika i broja namotaja. Time se rezonantne frekvencije sekundara, odnosno primara smanjuju.
- Koristiti DC izvor većeg napona, što je ujedno najlakši i najjednostavniji način.

Treba istaći još jedan podatak, a to je da se u kompletu materijala za vežbe iz elektronike iz predmeta tehničko i informatičko obrazovanje za VIII razred, nalaze dva tranzistora 546B i BC327 pomoću kojih se takođe može izraditi mali Teslin kalem, mada oni ne predstavljaju najbolji izbor zbog male jačine ulazne struje do 0.1 A.

4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je opisan način realizacije Teslinog kalema koji je demonstriran polaznicima Regionalnog centra za talente u Čačku. Najbitnija karakteristika izrade ovog Teslinog kalema je da je on bezbedan, s obzirom da ovo kolo proizvodi frekvencije struje iznad 20 KHz, koje su potpuno bezopasne, jer ne izazivaju kontrakciju mišića i prenose se preko kože. Sa druge strane, ovakav Teslin kalem ne proizvodi varnice jer je male snage (za napajanje se koristi baterija od 9 V), ali je dovoljno snažan da upali bilo koju gasnu cev. Druga bitna karakteristika demonstriranog Teslinog kalema je da je njegova tehnička realizacija ekonomski veoma isplativa i pristupačna. Zbog svega navedenog električno kolo napravljeno na ovaj način se može koristiti kao nastavno sredstvo u cilju upoznavanja učenika sa Teslinom radom na polju visokofrekventnih struja, kao i cilju njihovog podsticanja za eksperimentalni i praktičan rad.

LITERATURA

- [1] "Wikipedia - Nikola Tesla." [Online]. Available: https://sr.wikipedia.org/sr/Nikola_Tesla.
- [2] M. Tilbury, *The Ultimate Tesla Coil Design and Construction Guide*. New York: McGraw-Hill Professional, 2007.
- [3] "Inductor Sizing Equation." [Online]. Available: <http://www.allaboutcircuits.com>.
- [4] G. Grandi, M. K. Kazimierczuk, A. Massarini, and U. Reggiani, "Stray capacitances of single-layer solenoid air-core inductors," *IEEE Trans. Ind. Appl.*, vol. 35, no. 5, pp. 1162–1168, 1999.
- [5] D. O'Sullivan and T. Igoe, *Physical Computing: Sensing and Controlling the Physical World with Computers*. 2004.
- [6] G. Bluer, "Slayer Exciter Developers Kit 2 Tesla Coil." [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=JZb0PxeqAjM>.
- [7] O. Corporation, "Origin 8 User Guide." Northampton, MA 01060 USA, 2007.
- [8] "Coil32 - the coil inductance calculator." [Online]. Available: <http://coil32.net/>.