

**KORIŠĆENJE MODERNIH PREKIDAČKIH KOMPONENTI U UREĐAJIMA ENERGETSKE ELEKTRONIKE****APPLICATIONS OF MODERN SWITCHING COMPONENTS IN THE POWER ELECTRONICS DEVICES**Darko Takač, Dragan Milićević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ELEKTROTEHNIKA I RAČUNARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Ovim radom analizirani su nedostaci i prednosti upotrebe novih generacija prekidačkih komponenti u uređajima energetske elektronike. Analiza je vršena poređenjem snimljenih talasnih oblika napona i struja poluprovodničkih komponenti izrađenih od silicijuma i silicijum karbida. Vršanjem oglada prikazan je uticaj induktivnosti jednosmernog među kola na napon komponenti prilikom isključenja, uticaj promene otpornosti upravljačkog kola na brzinu uključenja i isključenja kao i uticaj materijala izrade komponenti na brzinu uključenja i isključenja.

**Ključne reči:** Silicijum, Silicijum karbid, energetska elektronika

**Abstract** – This paper analyzes the disadvantages and advantages of using new generations of switching components in power electronics devices. The analysis was performed by comparing the recorded voltage waveforms and currents of semiconductor components made of silicon and silicon carbide. The influence of DC bus inductance on the voltage of components during switching off, the influence of changing the resistance of the control circuit on the on and off speed as well as the influence of the component material on the on and off speed are shown.

**Keywords:** Silicon, Silicon carbide, power electronics

**1. UVOD**

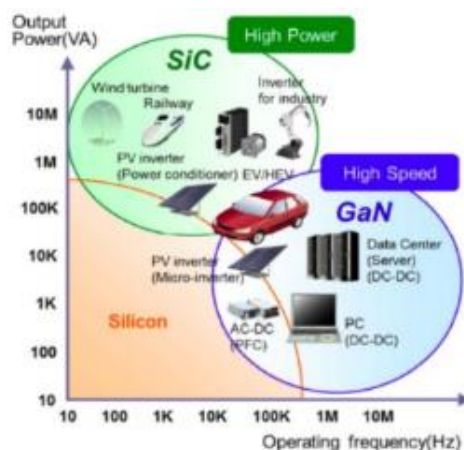
Napretkom, razvojem i povećanjem standarda ljudskih života, težnjom da se što više aktivnosti automatizuje dolazilo je do razvoja energetske elektronike koja je vremenom preuzimala sve veću ulogu u svakodnevnom životu. Danas, korišćenje i rad bilo kog električnog uređaja zasnovan je na primeni određenih pretvarača električne energije čiji rad je omogućen razvojem energetske elektronike. Interes za razvoj energetske elektronike pored omogućavanja rada određenih sistema je i smanjenje gubitaka energije i povećanje energetske efikasnosti u svim granama ljudskog razvoja.

Proučavanjem prekidačkih električnih kola u cilju kontrole toka električne energije, i određenih materijala za izradu poluprovodničkih komponenti koji rade u komutacionom režimu omogućen je rad sistema sa stepenom efikasnosti i do 99 %.

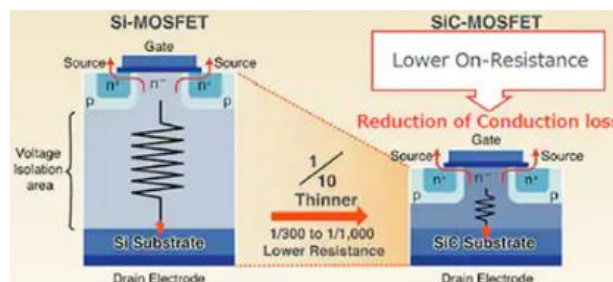
**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Dragan Milićević, vanr. prof.

Primena novih materijala (SiC, GaN) prilikom izrade komponenti omogućava rad pretvarača sa većim probojnim naponom, većom gustinom struje, rad na većim prekidačkim učestanostima, nižim otporom uključenog stanja, manje gubitke, bolje odvođenje toplote što rezultuje manjim dimenzijama komponenti, slike 1 i 2 [1], [2].



Slika 1 Ograničenja primene komponenti Si-SiC-GaN [3]



Slika 2 Manja otpornost SiC u odnosu na Si [4]

**1.1. Silicijum karbid- SiC**

Iako se poluprovodničke komponente izrađene od silicijum karbida smatraju komponentama novije generacije, istraživanja silicijum karbida kao materijala za izradu i razvoj poluprovodničkih komponenti započeti su oko 1950. godine. Interesovanje za ovaj materijal koji predstavlja jedinjenje od 50 % silicijuma- Si (glavnog materijala za izradu poluprovodnika) i 50 % ugljenika- C postojalo je zbog mogućnosti rada u visokotemperaturnim poluprovodničkim uređajima. Istraživanja ovog materijala su trajala i tokom 1960, 1970. i 1980. ali konkurentske tehnologije su uvek davale bolje ukupne rezultate i ako je silicijum karbid imao određene prednosti u odnosu na njih. Najveća prepreka razvoja poluprovodničkih

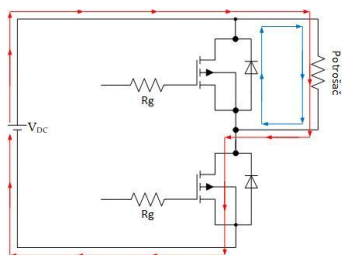
komponenti zasnovanih na silicijum karbidu jeste proizvodni proces izrade kristala. Tehnologija termičke difuzije koja se koristila za izradu komponenti omogućavala je temperaturu od 900 °C, dok je proces za izradu silicijum karbidnih kristala zahtevao temperaturu od 1500 °C do 2000 °C pri čemu su kristali ipak bili hrapavi. Razvojem tehnologije implementacije jona koja omogućava proizvodnju silicijumskih kristala na sobnoj temperaturi i njihovu aktivaciju na temperaturi od 1000 °C. omogućila je i bolju izradu silicijum karbidnih kristala. Tokom proizvodnog procesa implementacije jona silicijum karbid se zagreva na temperaturu oko 1600 °C zbog ostvarivanja snažnijih veza molekula, a hrapavost površine je prevaziđena premazivanjem grafitom. Proizvodni proces silicijum karbidnih komponenti je i dalje skuplji u odnosu na silicijumske komponente, ali ključni trenutak koji je doveo silicijum karbid ispred silicijuma je porast tržišne vrednosti elektronskih uređaja koji su energetski efikasniji. Povećana potražnja za energetski efikasnijim uređajima, iako su skuplji u odnosu na prethodne generacije uređaja, rezultovala je komercijalizacijom proizvodnje silicijum karbidnih komponenti [5], [6].

## 1.2. Galijum nitrid- GaN

1990 godine proizvodnjom galijum nitridnih LED dioda započeta je komercijalna primena GaN- a u izradi poluprovodničkih komponenti. U početnim fazama zbog visoke cene i odličnog rada na visokim frekvencijama GaN komponente korišćene su samo u vojne svrhe za radarske i visokobezbedonosne komunikacione sisteme. Vremenom zbog smanjenja cena, efikasnijeg rada i manjih dimenzija uređaja pronašao je primenu i u izradi električnih punječa, audio i video uređajima, centrima za obradu i čuvanje podataka i automobilske industriji. Određene vrste GaN tranzistora koji se koriste u visokofrekventnim sistemima nemaju antiparalelne diode već imaju mogućnost reverzne provodljivosti što skraćuje vreme isključenja tranzistora i time povećava prekidačku učestanost [7], [8], [9].

## 2. ENERGETSKI DEO EKSPERIMENTALNE POSTAVKE

Šema postavke energetskog dela tokom vršenja oglada prikazana je na slici 3, gde se može videti jedna grana invertora na koju je priključen potrošač, a koja se napaja sa jednosmernog izvora napajanja. Na otpornike  $R_g$  koji su povezani sa upravljačkim elektrodama dovode se upravljački signali izvršavanjem upravljačkog modela na digitalnom signalnom procesoru. Paralelno vezane četiri sijalice sa užarenim vlaknom predstavljaju potrošač koji se koristi prilikom vršenja oglada.



Slika 3 Šema energetskog kola eksperimentalne postavke  
Upravljanje granom invertora tokom oglada ostvareno je generisanjem PWM signala na način da se nulta vrednost

upravljačkog signala dovodi na gornju poluprovodničku komponentu i na taj način održava neprovodnom, a vrednost drugog upravljačkog signala koji zavisi od faktora ispunje dovodi se na donju poluprovodničku komponentu. Ovakvim načinom upravljanja ostvaruje se rad invertorske grane koja spušta vrednost napona na potrošaču u odnosu na napon jednosmernog među kola, prema sledećoj relaciji:

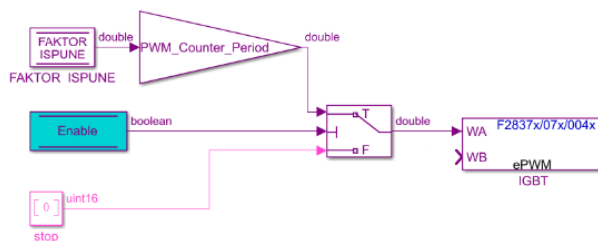
$$V_p = a \cdot V_{DC} \quad (1)$$

- $V_{DC}$  – napon jednosmernog među kola
- $a$  – vrednost faktora ispunje
- $V_p$  – vrednost napona na potrošaču

Tokom perioda kada provodi donja poluprovodnička komponenta invertorske grane, zatvoreno strujno kolo se ostvaruje proticanjem električne energije od pozitivnog kraja jednosmernog među kola kroz potrošač i kroz donju poluprovodničku komponentu se zatvara na negativnom kraju jednosmernog među kola, na slici 3 prikazano crvenim strelicama. Tokom perioda kada ne provodi donja poluprovodnička komponenta, strujno kolo se zatvara proticanjem električne energije koja se uskladištava u induktivnosti potrošača kroz gornju diodu i kroz potrošač, na slici 3 prikazano plavim strelicama.

## 3. UPRAVLJAČKI MODEL

Generisanje PWM signala ostvareno je izradom upravljačkog modela uz pomoć Matlab- Simulink programa, slika 4. Blok „FAKTOR ISPUNE“ vršena je promena vrednosti faktora ispunje PWM signala u granicama od „0“ do „1“. Za vrednost „0“ ostvaruje se neprovodno stanje poluprovodničkih komponenti (otvoren prekidač) tokom celog perioda prekidačke frekvencije. Za vrednost „1“ poluprovodnička komponenta održava se u provodnom stanju (zatvoren prekidač) tokom celog perioda prekidačke frekvencije. Upisivanjem vrednosti faktora ispunje između „0“ i „1“ ostvaruje se provodno stanje komponenti tokom perioda prekidačke frekvencije proporcionalno upisanom broju, dok se ostatak perioda komponenta održava u neprovodnom stanju. Radom ostalih blokova upravljačkog modela, daje se kontroleru informacija o broju taktova koje je potrebno održavati na stanju logičke „1“ na PWM pinu kontrolera, a koliko taktova stanje logičke „0“ da bi se ostvario željeni faktor ispunje tokom jednog perioda prekidačke frekvencije.



Slika 4 Upravljački model

## 4. EKSPERIMENTALNI DEO

### 4.1. Uticaj induktivnosti jednosmernog među kola

Različitim izvedbama jednosmernog među kola kod kojih je vršeno smanjenje dužine provodnika između invertorske grane i jednosmernog među kola i realizacijom jednosmernog među kola na štampanoj pločici, uticalo se na smanjenje ukupne induktivnosti jednosmernog među kola. Smanjenje ukupne induktivnosti jednosmernog među kola između energetskih elektroda invertorske grane i

kondenzatora u jednosmernom među kolu, utiče na smanjenje pikova napona tokom prelaznog perioda isključenja poluprovodničkih komponenti [10]. Pojava se može objasniti naponskom jednačinom kalem:

$$V_L(t) = -L \frac{di(t)}{dt} \quad (2)$$

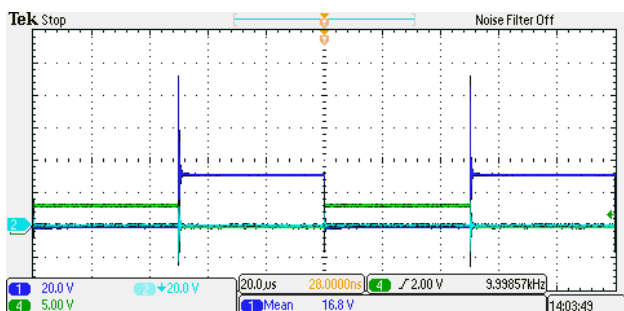
- $V_L(t)$  – indukovana elektromotorna sila u kalemu
- $L$  – ukupna induktivnost jednosmernog među kola
- $\frac{di(t)}{dt}$  – promena struje tokom prelaznog perioda [11]

Isključenjem poluprovodničke komponente ne dolazi do trenutne promene struje u kolu, već to traje određeni period. Tokom prelaznog perioda član  $\frac{di(t)}{dt}$  je različit od nule i dolazi do indukovanja napona  $V_L$  na induktivnosti  $L$ , što predstavlja pik napona koji se javlja prilikom isključenja poluprovodničke komponente. Nakon prelaznog perioda kada se struja ustali, dolazi do iščezavanja indukovanih pika napona  $V_L$  i do ustaljenja vrednosti napona koja je nametnuta naponom jednosmernog među kola.

Iz jednačine  $V_L(t) = -L \frac{di(t)}{dt}$  (2)

može se videti da do smanjenje indukovanih napona  $V_L$  time i smanjenja pika napona dolazi smanjenjem induktivnosti  $L$  što se postiže smanjenjem dužine provodnika između invertorske grane i kondenzatora jednosmernog među kola. Brzina promene vrednosti struje takođe ima značajan uticaj na smanjenje pika napona, jer što je kraće vreme isključenja poluprovodničke komponente doći će do povećanja indukovanih napona. Uticaj na povećanje pika napona ima i struja koja je proticala kroz kolo pre isključenja poluprovodničke komponente. Što je vrednost struje veća doći će do većeg indukovanih napona.

Slikom 5 prikazani su snimljeni talasni oblici napona i struja komponente, vršenjem oglada kada se silicijum karbidne komponente napajaju dužim provodnicima iz jednosmernog među kola. Može se videti pojava pikova napona koji dostižu vrednost od 170 % vrednosti napona jednosmernog među kola. Oglad je vršen pri naponu jednosmernog među kola od 33 V.

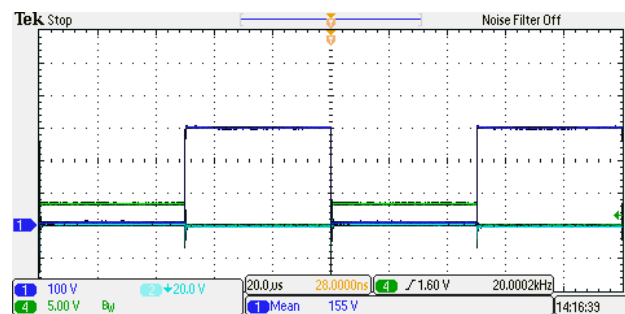


Slika 5 Uticaj induktivnosti kola na prenapon – izraženo  $L$

$U_{DS}$ - plava;  $U_{DS-}$  zelena;  $I_{DS}$ - s. plava

Daljim vršenjem oglada kod kojih je vršeno skraćivanje dužine provodnika jednosmernog među kola, postizalo se postepeno smanjenje pika napona. Slikom 6 prikazano je potpuno iščezavanje pika napona što je ostvareno primenom jednosmernog među kola realizovanog na štampanoj pločici. Pločica se postavlja neposredno pored energetskih elektroda poluprovodničkih komponenti i na taj način zahteva skoro zanemarljivu dužinu provodnika za povezivanje sa invertorskom granom u poređenju sa

prvim ogledom. Oglad je vršen pri naponu jednosmernog među kola od 300 V, jer se uvidelo da nema opasnosti od pojave naponskog proboja i da bi se uslovi u kolu što više približili nominalnim vrednostima komponenti.



Slika 6 Uticaj induktivnosti kola na prenapon – smanjeno  $L$

$U_{DS-}$  plava; Upravljački signal- zelena;  $I_{DS}$ - s. plava

Vršenjem oglada sa silicijumskim komponentama nije dolazilo do izraženije pojave pikova napona.

Na ukupnu induktivnost jednosmernog među kola pored podužne induktivnosti provodnika utiče i induktivnost kondenzatora u jednosmernom među kolu, induktivnost poluprovodničkih komponenti, a dodatni uticaj imaju i ostale parazitne induktivnosti. Premeštanjem kondenzatora koji smanjuju talasnost ispravljenog napona jednosmernog među kola što bliže poluprovodničkim komponentama, utiče se na smanjenje pikova napona. Na taj način iako je ukupna induktivnost jednosmernog među kola velika, neće dolaziti do pojave naponskih pikova jer na njihovu pojavu utiče samo induktivnost između kondenzatora u jednosmernom među kolu i energetskih elektroda poluprovodničkih komponenti.

#### 4.2. Uticaj otpornosti $R_g$ na brzinu uključenja i isključenja poluprovodničkih komponenti

Brzina uključenja i isključenja poluprovodničke komponente zavisi od brzine punjenja i pražnjenja unutrašnjih kapacitivnosti poluprovodničkih komponenti. Napunjene kapacitivnosti omogućavaju provodno stanje komponente, a ispražnjene dovode komponentu u neprovodno stanje [12]. Kako upravljačka komponenta nema mogućnost kontrolisanja brzine uključenja i isključenja, već generiše samo dva naponska stanja 0 V za isključeno stanje i 15 V za uključeno stanje. Promenom otpornosti otpornika  $R_g$  koji se nalazi u upravljačkom kolu može se uticati na brzinu uključenja i isključenja komponenti [13]. To se može prikazati izrazima koji opisuju promenu napona na kondenzatoru tokom punjenja i pražnjenja u funkciji vremena prema sledećim izrazima respektivno:

$$U_{C_{pk}} = U_S \left( 1 - e^{-\frac{t}{R_g C_{pk}}} \right) \quad (3)$$

$$U_{C_{pk}} = U_S \cdot e^{-\frac{t}{R_g C_{pk}}} \quad (4)$$

- $U_{C_{pk}}$  – vrednost napon na kondenzatoru  $C_{pk}$
- $U_S$  - vrednost napon upravljačkog signala
- $t$  – vreme potrebno da se uključi ili isključi poluprovodnička komponenta
- $C_{pk}$  - kapacitivnost poluprovodničke komponente
- $R_g$  – otpornost otpornika  $R_g$



- $e$  – Ojlerov broj čija je vrednost  $\approx 2,718$  [11]

Produkt otpornosti  $R_g$  i kapacitivnosti  $C_{pk}$  predstavlja vremensku konstantu kola  $\tau$  kojom je određena brzina punjenja i pražnjenja kondenzatora. Kapacitivnost poluprovodničke komponente  $C_{pk}$  je određena tokom njene izrade i nije moguće uticati na njenu promenu, ali na otpornost  $R_g$  je moguće uticati fizičkom promenom otpornika. Što je otpornost  $R_g$  veća to je veća i vremenska konstanta kola što znači da je potrebno više vremena da se napuni ili isprazni kapacitivnost, sa smanjenjem otpornosti  $R_g$  smanjuje se i vremenska konstanta kao i period punjenja i pražnjenja kapacitivnosti  $C_{pk}$ .

Eksperimentalna postavka sastojala se od invertorske grane sa silicijum karbidnim komponentama, jednosmernog među kola formiranog na štampanoj pločici i primene snubber kondenzator kako bi se postigli što bolji talasni odzivi [14].

Ogled je vršen podešavanjem napona jednosmernog među kola na 300 V i promenom otpornika  $R_g$  čije su vrednosti 2  $\Omega$ , 16,5  $\Omega$  i 22  $\Omega$ . Snimani su talasni oblici napona na komponenti i upravljački signal kontrolnog sistema, slike 7 i 8.

Snimanje upravljačkog signala nije bilo moguće vršiti direktnim priključenjem diferencijale naponske sonde na upravljačku elektrodu poluprovodničke komponente jer bi se time promenila vremenska konstanta upravljačkog kola, unošenjem kapacitivnosti diferencijalne naponske sonda u upravljačko kolo. Zbog toga je tokom analize snimljenih signala uvaženo kašnjenja gate driver upravljačke komponente  $t_{DG}= 22 ns$  i kašnjenje diferencijalne naponske sonde od 12 ns.

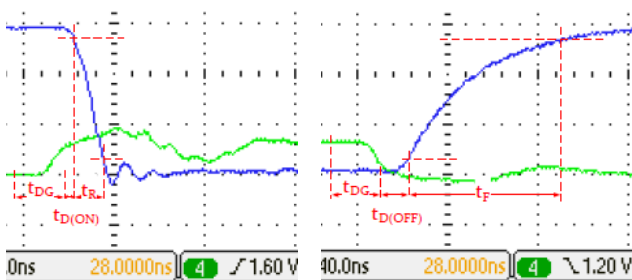
Na slikama 7 i 8 su isprekidanim crvenim linijama označeni trenuci pojave određenih signala, na osnovu kojih je određeno vreme uključenja ili isključenja komponente [12] prema sledećim relacijama respektivno:

$$t_{on} = t_{D(ON)} + t_R$$

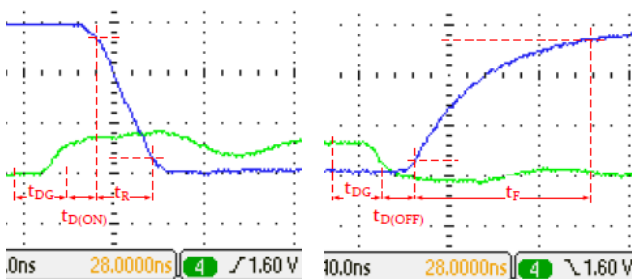
(5)

$$t_{off} = t_{D(OFF)} + t_F$$

(6)



Slika 7 Uključenje i isključenje komponente,  $R_g = 2 \Omega$ ;  $U_{DS}$ - plava; Upravljački signal- zelena



Slika 8 Uključenje i isključenje komponente,  $R_g = 22 \Omega$ ;  $U_{DS}$ - plava; Upravljački signal- zelena

Tabela 1 Vremena uključenje i isključenja komponente

$R_g$ [ $\Omega$ ]	$t_{D(ON)}$ [ns]	$t_R$ [ns]	$t_{on}$ [ns]	$t_{D(OFF)}$ [ns]	$t_F$ [ns]	$t_{off}$ [ns]
2	5	13	18	13	67	80
16,5	13	20	33	15	69	84
22	14	25	39	15	78	93

Uticao otpornosti  $R_g$  na osnovu snimljenih signala može se zapaziti smanjenjem nagiba naponskog signala sa povećanjem otpornosti otpornika  $R_g$ . Upoređivanjem vremena uključenja i isključenja prikazanih u tabeli 1 može se videti da se sa povećanjem otpornosti otpornika  $R_g$  povećava vreme kašnjenja komponente ( $t_{D(ON)}$ ,  $t_{D(OFF)}$ ) i vreme promene stanja komponente ( $t_R$ ,  $t_F$ ), a time i ukupno vreme uključenja i isključenja komponente.

### 4.3. Uticaj materijala izrade komponenti na njihovu brzinu uključenja i isključenja

Ogled poređenja karakteristika silicijuma i silicijum karbida kao materijala za izradu poluprovodničkih komponenti, vršen je na osnovu poređenja brzina uključenja i isključenja komponenti. Obe eksperimentalne postavke su napajane iz jednosmernog među kola formiranog na štampanoj pločici sa naponom od 300 V, upravljačko kolo za obe grane je isto kao i otpornost otpornika  $R_g = 16,5 \Omega$ .

Otpornost  $R_g$  od 16,5  $\Omega$  preporučena je od strane proizvođača silicijumskih komponenti, a proizvođač silicijum karbidnih komponenti preporučuje 2  $\Omega$ , što će dovesti do njihovog usporenja. Razlog primene istog otpora otpornika  $R_g$  u oba upravljačka kola je eliminacija uticaja otpornosti  $R_g$  na promenu vremenske konstante upravljačkog kola. Na taj način dolazi do izražaja uticaj različitih kapacitivnosti i otpornosti poluprovodničkih komponenti, koje zavisi od načina izrade i vrste materijala koji se koriste za izradu komponenti.

Tokom ogleda vršeno je snimanje talasnih oblika napona poluprovodničkih komponenti i upravljačkih signala.

Tabela 2 Vremena uključenje i isključenja silicijum karbidnih i silicijumskih komponenti

	$t_{D(ON)}$ [ns]	$t_R$ [ns]	$T_{ON}$ [ns]	$t_{D(OFF)}$ [ns]	$t_F$ [ns]	$T_{OFF}$ [ns]
SiC	13	20	33	15	69	84
Si	41	45	86	122	641	763

Upoređivanjem vremena kašnjenja, promene stanja i ukupnih vremena uključenja i isključenja komponenti prikazanih tabelom 2 koja su ostvarena vršenjem ogleda, može se videti da poluprovodničke komponente izrađene od silicijum karbida brže prolaze kroz procese uključenja i isključenja.

Na osnovu toga pretpostavlja se da su kapacitivnosti i otpornosti silicijum karbidnih komponenti manje u odnosu na silicijumske komponente. Pretpostavka je donešena i na osnovu toga da se zbog šireg energetskog procepa silicijum karbidne komponente izrađuju manjih dimenzija u odnosu na silicijumske komponente iste snage.

To rezultuje manjom potrošnjom materijala, a time i manjom otpornošću komponente što direktno utiče na smanjenje upravljačke vremenske konstante i smanjenje brzine uključenja i isključenja komponenti.

## 5. ZAKLJUČAK

Ovim radom su prikazane određene prednosti i nedostaci upotrebe silicijum karbidnih komponenti u poređenju sa silicijumskim komponentama.

Na osnovu bržeg rada, smanjenih gubitaka i ostalih prednosti silicijum karbidnih komponenti, opravdana je njihova primena u novijim sistemima. Ali njihova primena u sistemima projektovanim za silicijumske komponente, nosi određene nedostatke u vidu pojave naponskih pikova i povećanog uticaja elektromagnetnih smetnji i parazitnih kapacitivnosti i induktivnosti što predstavlja problem njihove primene u takvim sistemima.

## 6. LITERATURA

- [1] <https://www.electricalindia.in/power-electronics-for-energy-efficiency/>
- [2] Ashutosh Sharma, Soon Jae Lee, Young Joo Jang and Jae Pil Jung, „SiC based Technology for High Power Electronics and Packaging Applications“, University of Seoul, Korea, 2014.
- [3] <http://grahamlab.gatech.edu/research-2/ultra-wide-band-gap-semiconductor-materials/>
- [4] <https://www.digikey.sk/en/articles/working-sic-mosfets-challenges-design-recommendations>
- [5] [https://www.tel.com/museum/magazine/material/150327\\_interview02/index.html](https://www.tel.com/museum/magazine/material/150327_interview02/index.html)
- [6] [https://www.ulvac.co.jp/wiki/en/sic\\_powerdevice\\_2016/](https://www.ulvac.co.jp/wiki/en/sic_powerdevice_2016/)
- [7] <https://www.digikey.dk/da/articles/introduction-to-gan-technology>
- [8] <https://www.power-and-beyond.com/gan-systems-2021-predictions-for-the-power-industry-a-990612/>
- [9] <https://www.powerelectronicsnews.com/10-things-to-know-about-gan/>
- [10] Andreas Giessmann, „Influence of DC-Link Inductance on Switching Performance and Power Losses“, SEMIKRON International GmbH, 2017.
- [11] Branko D. Popović, „Osnovi Elektrotehnike 2“, Akademska misao, Beograd, 2004.
- [12] Dr. Ing. Arendt Wintrich, Dr.-Ing. Ulrich Nicolai, Dr. techn. Werner Tursky, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Tobias Reimann, „Application Manual Power Semiconductors“, SEMIKRON International GmbH, 2015.

- [13] S. Tiwari, O.-M. Midtgård, T. M. Undeland, „SiC MOSFETs for Future Motor Drive Applications“, Norwegian University of Science and Technology
- [14] Motonobu Joko, Mitsubishi Electric Corp., Akiko Goto, Mitsubishi Electric Corp., Maki Hasegawa, Mitsubishi Electric Corp., Satoshi Miyahara, Mitsubishi Electric Corp., Haruki Murakami, Mitsubishi Electric Corp., „Snubber circuit to suppress the voltage ringing for SiC device“, PCIM, 2015.

## KRATKA BIOGRAFIJA



**Darko Takač** rođen je u Somboru 1993. god. Diplomski rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Elektrotehnike i računarstva– Energetska elektronika i električne mašine, odbranio je 2020.



**Dragan Milićević** rođen je 1977. god. u Tuzli. U zvanje vanrednog profesora je izabran 2019. god. Oblast interesovanja su višefazne mašine, elektromotorni pogoni i obnovljivi izvori električne energije.

**Zahvalnica:** Ovaj rad podržan je od strane Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu, Departmana za energetiku elektroniku i telekomunikacije, u okviru realizacije projekta pod nazivom: "Istraživanja u oblasti energetike, elektronike, telekomunikacija i primenjenih informacionih sistema u cilju modernizacije studijskih programa".