

# Izrada silaznog pretvarača; 0-5V, za regulaciju brzine vrtnje IM upravljanog Arduino Nano mikroupravljačem

---

Koprivnjak, Luka

Undergraduate thesis / Završni rad

2022

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **Josip Juraj Strossmayer University of Osijek, Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek / Sveučilište Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku, Fakultet elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija Osijek**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:200:082612>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-12-12**

*Repository / Repozitorij:*

[Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek](#)



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**  
**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I INFORMACIJSKIH**  
**TEHNOLOGIJA OSIJEK**

**Sveučilišni studij**

**Izrada silaznog pretvarača; 0-5V, za regulaciju brzine vrtnje IM upravljanog  
Arduino Nano mikroupravljačem**

**Završni rad**

**Luka Koprivnjak**

**Osijek, 2022.**

# SADRŽAJ

<b>1.UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>1.1. Zadatak rada .....</b>	<b>1</b>
<b>2. PREGLED PODRUČJA TEME.....</b>	<b>2</b>
<b>3. ANALIZA RADA SILAZNOG PRETVARAČA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1. Kontinuirani način rada .....</b>	<b>3</b>
<b>4. IZRADA MAKETE SILAZNOG PRETVARAČA .....</b>	<b>6</b>
<b>4.1. Komponente pretvarača .....</b>	<b>6</b>
<b>4.2. Izrada pretvarača .....</b>	<b>7</b>
<b>5. MJERENJA NA MAKETI.....</b>	<b>8</b>
<b>5.1. Mjerenja pri mijenjanju faktora vođenja .....</b>	<b>8</b>
<b>5.2. Mjerenje ovisnosti brzine motora o faktoru vođenja .....</b>	<b>13</b>
<b>5.3. Određivanje parametara motora.....</b>	<b>15</b>
<b>5.4. Mjerenja pri promjeni sklopne frekvencije.....</b>	<b>17</b>
<b>6. ZAKLJUČAK.....</b>	<b>19</b>
<b>LITERATURA .....</b>	<b>20</b>
<b>SAŽETAK.....</b>	<b>21</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>21</b>
<b>ŽIVOTOPIS.....</b>	<b>22</b>
<b>Prilog 1: Podatkovna tablica MOSFET-a STP40NF03L .....</b>	<b>23</b>

# 1. UVOD

Ovaj završni rad se bavi izradom i analizom rada istosmjernog pretvarača napona čija je svrha upravljanje brzine vrtnje istosmjernog motora male snage. Ulazni napon je viši od potrebnog izlaznog napona te će se zbog toga koristiti silazni pretvarač. Pretvarač se sastoji od MOSFET-a, Arduino mikroupravljača te par komplementarnih komponenti. MOSFET-om se upravlja pulsno-širinskom modulacijom signala kojeg daje mikroupravljač. Za izradu je korištena shema sa slike 4.1. koja je napravljena pomoću podatkovne tablice MOSFET-a [1] i nastavnog materijala iz kolegija „Osnove Energetske Elektronike“ [2]. Provedena je teorijska analiza pretvarača (poglavlje 4) te su izmjerene karakteristične vrijednosti realnog pretvarača (poglavlje 5) radi usporedbe rezultata analize i rezultata mjerenja. Također je obavljeno mjerenje brzine vrtnje motora pri različitim faktorima vođenja kako bi se odredila njihova ovisnost te područje brzine vrtnje koje se može regulirati. Nakon obavljenih mjerenja određivali su se parametri istosmjernog motora pomoću dobivenih valnih oblika na motoru te je određena njegova vremenska konstanta. Zbog razlike između izračunate granične frekvencije i odabrane sklopne frekvencije pretvarača obavljena dodatna mjerenja na nižoj i višoj sklopnoj frekvenciji kako bi se potvrdila izračunata granica između načina rada pretvarača.

## 1.1. Zadatak rada

Napraviti maketu silaznog pretvarača (dizajn pločice, izbor komponenata, trošila) za napajanje istosmjernog motora male snage. Napraviti analizu rada silaznog pretvarača i usporediti rezultate analize s rezultatima mjerenja. Komentirati razlike!

## 2.PREGLED PODRUČJA TEME

U svojoj knjizi [3] I. Flegar definira vrste istosmjernih pretvarača, načine rada istosmjernih pretvarača te matematičke jednadžbe potrebne za grafički prikaz karakterističnih valnih oblika napona i struja za pojedini istosmjerni pretvarač koje se koriste u analizi napravljenog sklopa.

Anant Kumar, Mohammed Rehan Memon, Shreerang Pradeep Munshi i Sitanshu Mishra u svome radu [4] za upravljivi ventil predlažu IGBT umjesto MOSFET-a zbog manjeg pada napona za vrijeme vođenja. Također predlažu mosni spoj što omogućuje kontrolu brzine i smjera vrtnje.

U disertaciji [5], A. V. Peterchev opisuje upravljanje pulsno-širinskom modulacijom u energetskej elektronici te princip rada modulatora tj. na koji način se generira takav signal u komercijalnim slučajevima.

Akram Ahmad, Kamal Kishor i Pankaj Rai u svome radu [6] uspoređuju karakteristike upravljanja brzine istosmjernog motora različitim upravljačima. U svome radu koriste matematički model motora kako bi mogli kontrolirati i ubrzavanje motora.

U svome radu [7] A. Morar objašnjava kontrolu brzine i položaja istosmjernog motora pomoću povratne veze. Povratna veza je realizirana korištenjem optičkog kodaera.

### 3. Analiza rada silaznog pretvarača

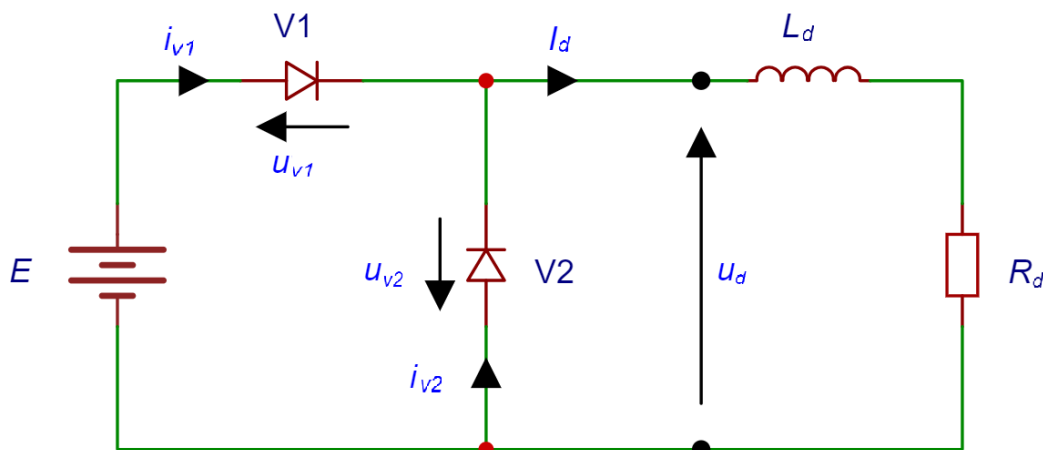
Postoje dva načina rada silaznog pretvarača:

- Kontinuirani način rada (ne postoji trenutak u jednom periodu rada pri kojemu je struja kroz trošilo jednaka nuli)
- Diskontinuirani način rada (postoji trenutak u jednom periodu rada pri kojemu je struja kroz trošilo jednaka nuli)

Pošto je za trošilo odabran istosmjerni motor potrebna je kontinuirana struja što isključuje diskontinuirani način rada pretvarača.

#### 3.1. Kontinuirani način rada

Pretvaračke komponente modelirane su idealnim ventilima (upravljivi ventil V1 i idealna dioda V2). Trošilo se smatra strujnim uvorom  $I_d(L_d/R_d \gg T_s)$  [2]. Gdje je  $T_s$  trajanje jedne periode.



Slika 3.1. Nadomjesna shema spoja silaznog pretvarača napona.

Primjenom KZ se dobiju relacije:

$$u_d = u_L + u_R = -u_{V2} \quad (3-1)$$

$$E = u_{V1} + u_d \quad (3-2)$$

$$I_d = i_{V1} + i_{V2} \quad (3-3)$$

U analizi postoje dva intervala unutar periode rada:

-Interval A: vodi ventil V1 ( $u_{V1} = 0V$ ) i ne vodi ventil V2 ( $i_{V2} = 0A$ ) (slika 3.2.)

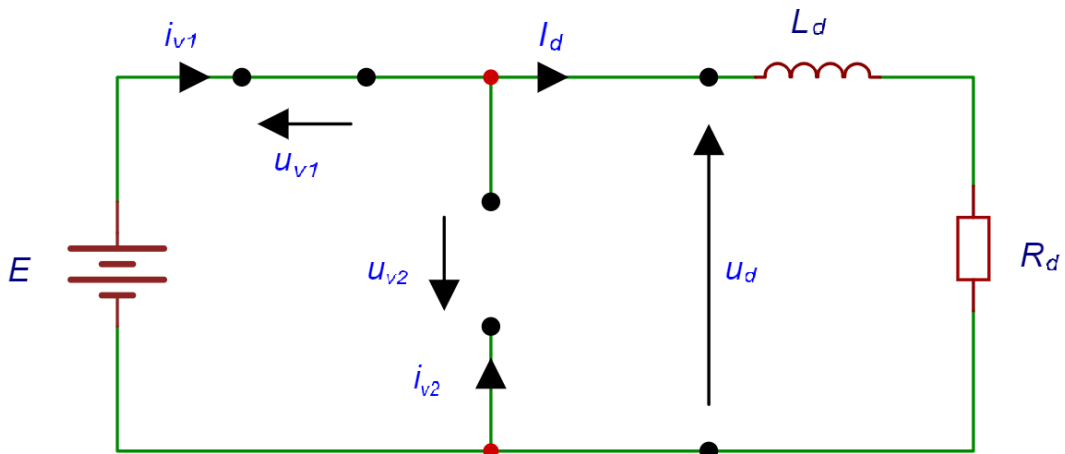
-Interval B: vodi ventil V2 ( $u_{V2} = 0V$ ) i ne vodi ventil V1 ( $i_{V1} = 0A$ ) (slika 3.3.)

Podjela trajanja intervala se opisuje pomoću faktora vođenja  $\alpha$ , gdje trajanje intervala A iznosi  $\alpha T$ , a intervala B  $(1-\alpha)T$ . Faktor vođenja se definira kao omjer vremena vođenja upravljivog ventila  $T_{V1}$  i sklopne periode  $T$ .

$$\alpha = \frac{T_{V1}}{T} \quad (3-4)$$

### Interval A

$$t \in < 0, \alpha T > \quad u_{V1} = 0V \quad i_{V2} = 0A$$



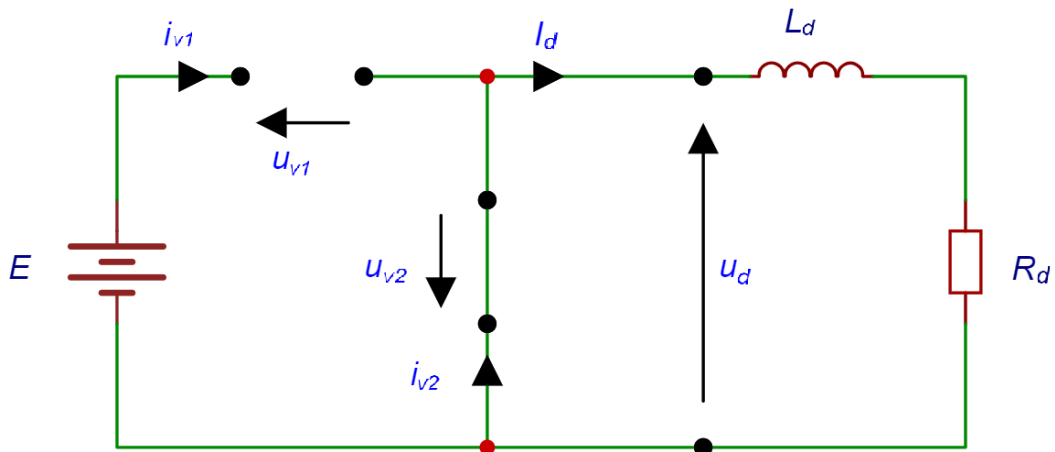
Slika 3.2 Nadomjesna shema spoja pretvarača u intervalu A.

Primjenom KZ za interval A se dobije:

$$u_d = u_{V2} = E \quad (3-5)$$

### Interval B

$$t \in < \alpha T, T > \quad u_{V2} = 0V \quad i_{V1} = 0A$$



Slika 3.3 Nadomjesna shema spoja pretvarača u intervalu B.

Primjenom KZ za interval B se dobije:

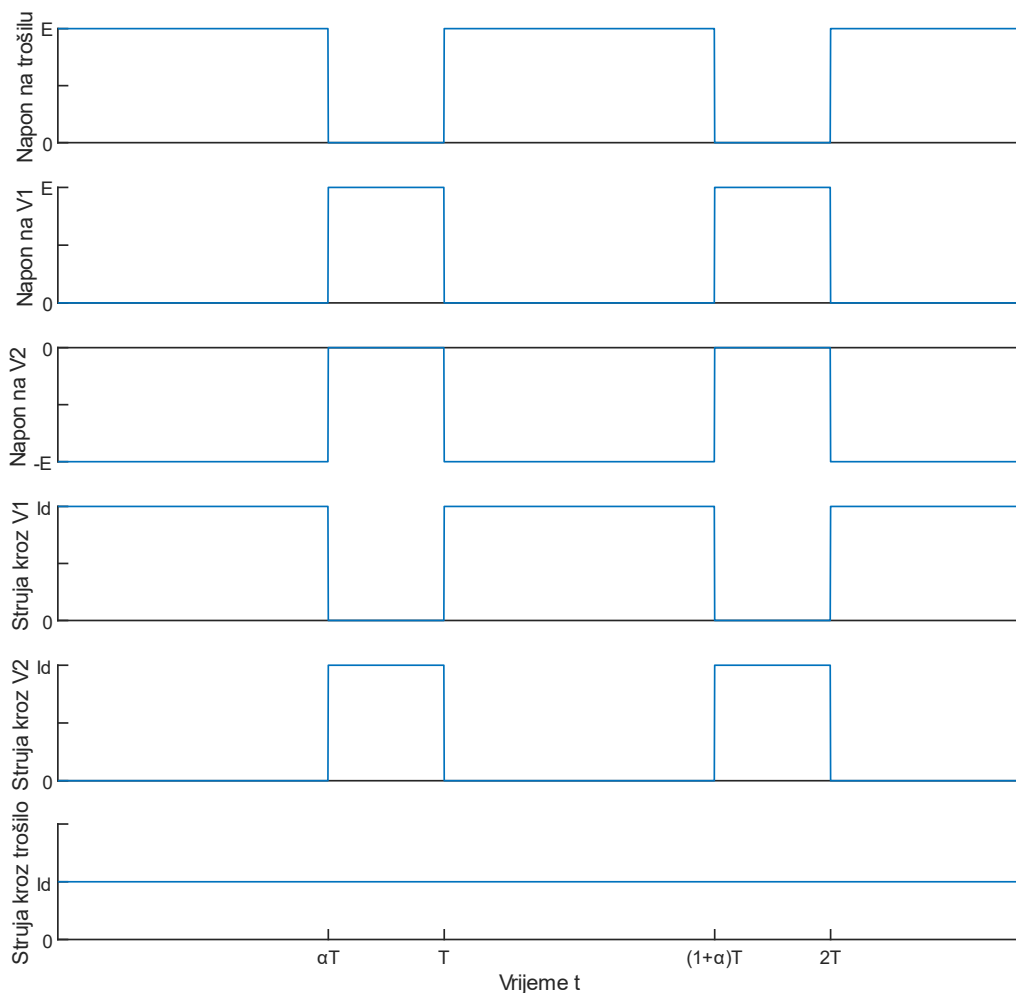
$$u_d = -u_{V2} = 0V$$

Srednja vrijednost napona na trošilu dobija se prema slici 3.4 iz :

$$U_d(0) = \frac{1}{T} \int_0^T u_d \cdot dt = \frac{1}{T} \left( \int_0^{\alpha T} E \cdot dt + \int_{\alpha T}^T 0 \cdot dt \right) = \frac{1}{T} (Et |_0^{\alpha T}) = \frac{1}{T} (0 - E \cdot \alpha T) = E\alpha \quad (3-6)$$

$$U_d(0) = \alpha \cdot E \quad (3-7)$$

Izraz 3-6 predstavlja ujedno i upravljačku karakteristiku silaznog pretvarača i opisuje način kako se uz konstantni ulazni napon mijenja izlazni napon promijenom faktora vođenja.



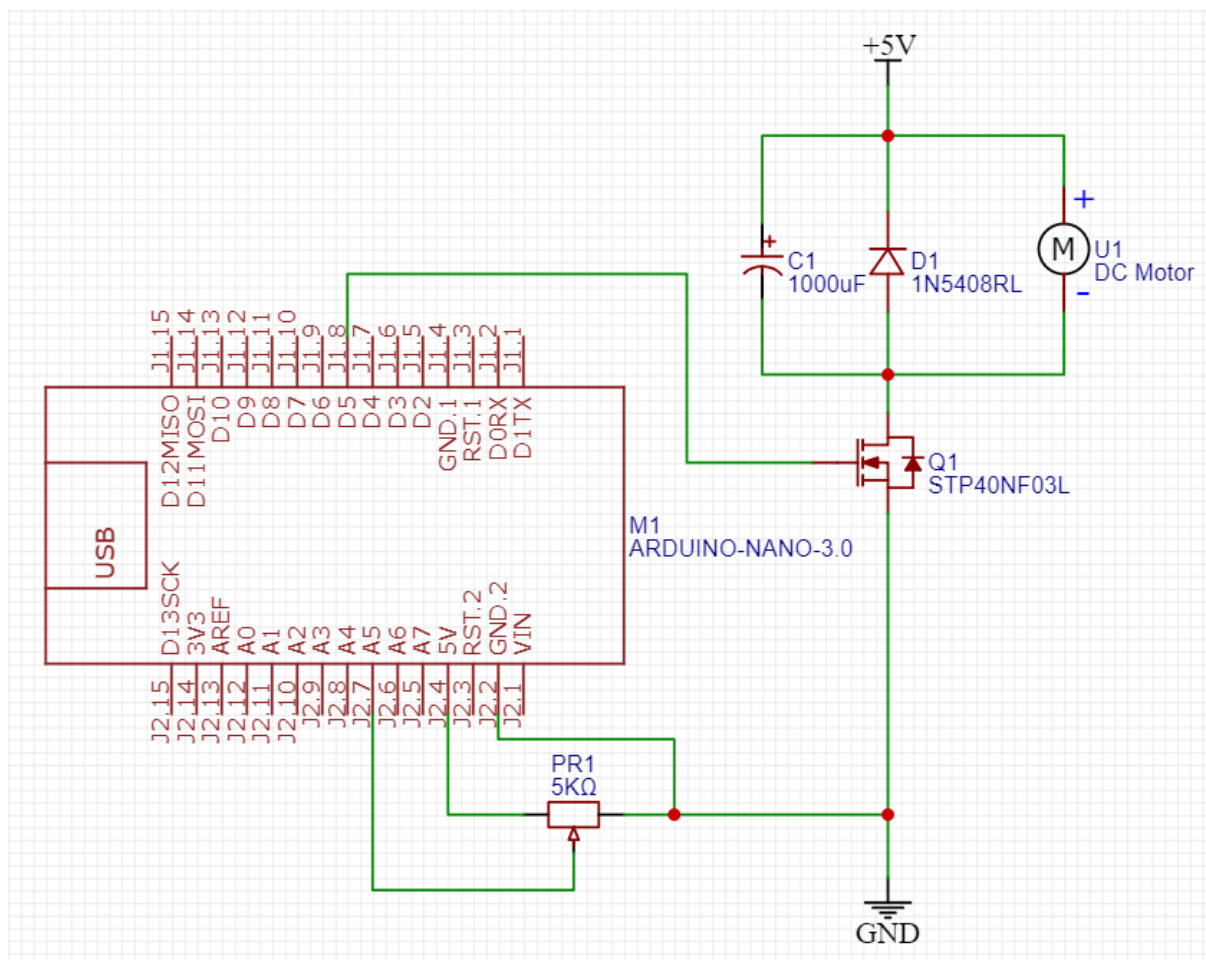
Slika 3.4. Karakteristični valni oblici silaznog pretvarača u kontinuiranom načinu rada.



## 4. IZRADA MAKETE SILAZNOG PRETVARAČA

U ovome poglavlju se opisuje izrada makete te se daje lista komponenti i shema spoja.

### 4.1. Komponente pretvarača



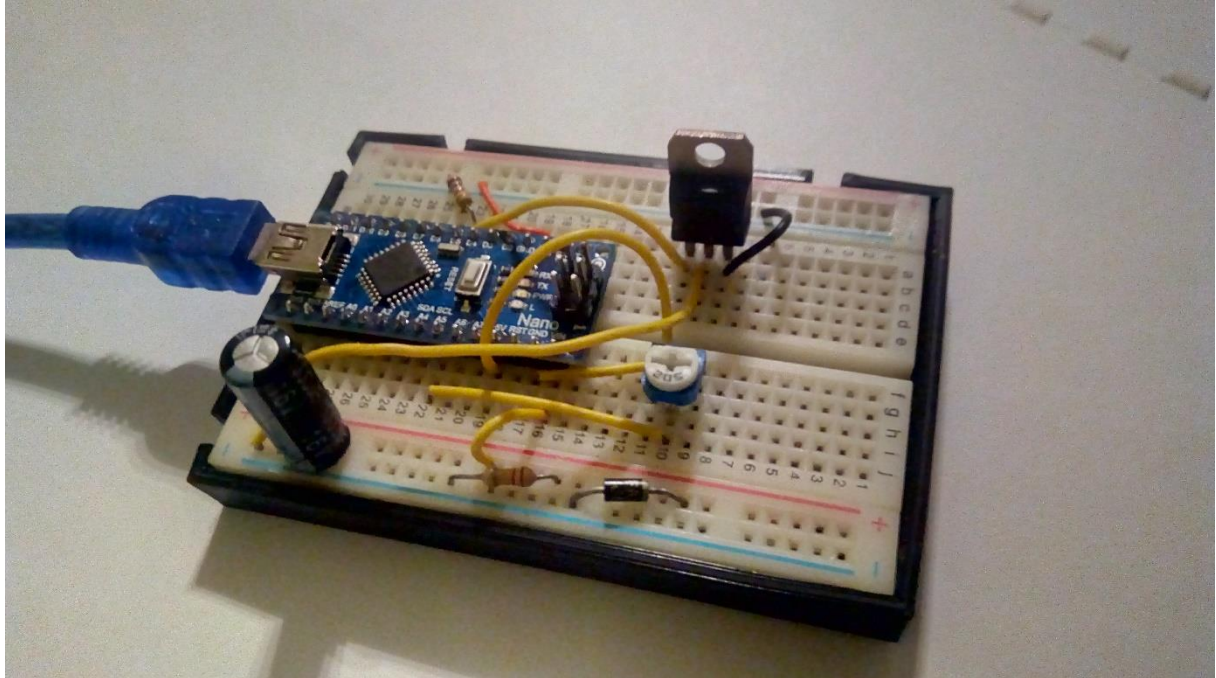
Slika 4.1. Shema makete silaznog pretvarača.

Lista komponenta pretvarača:

- Arduino Nano mikroupravljač (M1)
- Potenciometar 5KΩ (PR1)
- Kondenzator 1000µF (C1)
- Dioda (D1)
- Istosmjerni motor 5V(U1)
- MOSFET STP40NF03L (Q1)

## 4.2. Izrada pretvarača

Pretvarač je napravljen na prototipnoj pločici (slika 4.2.) ubadanjem komponenata u pločicu prema shemi makete silaznog pretvarača.



Slika 4.2. Sastavljen pretvarač na prototipnoj pločici

Mikroupravljač je isprogramiran tako da daje fiksnu sklopnu frekvenciju te promjenjiv faktor vođenja u ovisnosti o položaju potencijometra. Mikroupravljač koristi binarni brojač te je moguće odabrati samo određene frekvencije: 30,64 Hz, 61,04 Hz, 122,55 Hz, 244,14 Hz, 245,10 Hz, 490,20 Hz, 976,54 Hz, 980,39 Hz, 3921,16 Hz, 7812,5 Hz, 31,3 kHz i 62,5 kHz.

```
float a=0;
float per;
void setup() {
  TCCR0B = TCCR0B & B11111000 | B00000010; //Namještanje sklopne frekvencije
  pinMode(5,OUTPUT); //Postavljanje D5 pina kao izlaz
  Serial.begin(9600); //Pokretanje dijagnostičkog izlaza
}

void loop() {
  a=analogRead(A5); //Čitanje položaja potencijometra
  analogWrite(5,a/4); //Podešavanje faktora vođenja za izlaz D5
  per= a*100/1023;
  Serial.println(per); //Ispis faktora vođenja na dia. izlaz
  // analogWrite(5,0.5*255); //Fiksiranje faktora vođenja za svrhe mjerenja
}
```

Slika 4.3. Lista naredbi mikroupravljača

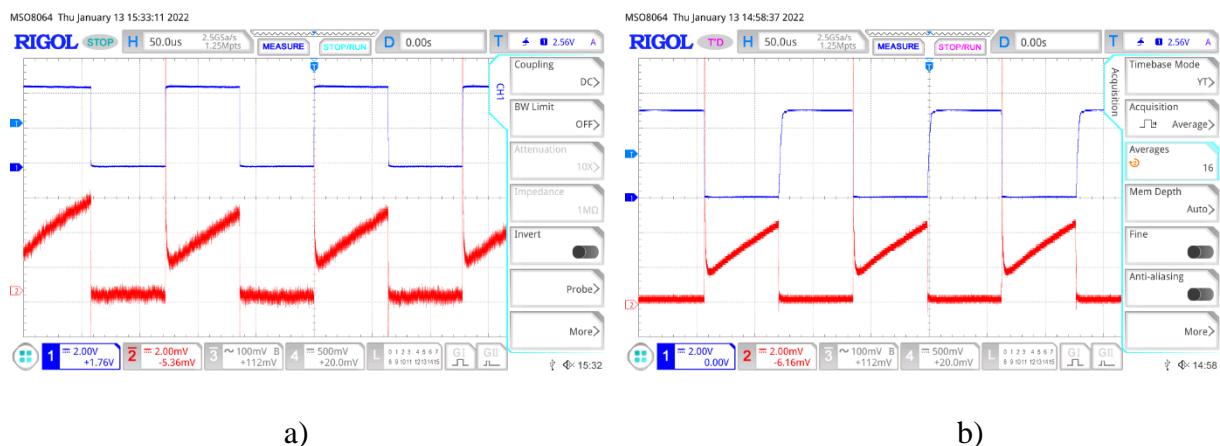
## 5. MJERENJE NA MAKETI

Za napajanje makete koristio se USB utor na laptopu s kojim se programirao mikroupravljač koji ga napaja naponom od 5V. Za snimanje karakterističnih valnih oblika koristio se RIGOL MSO8064 osciloskop, dok se za mjerenje brzine vrtnje istosmjernog motora koristio PeakTech 2793 laserski mjerač brzine vrtnje. Snimanje valnih oblika se provodi pri dva različita faktora vođenja pretvarača od 0,5 i 0,75 na sklopnoj frekvenciji od 7812,5 Hz te pri sniženoj sklopnoj frekvenciji od 3921,16 Hz i povišenoj od 31,3 kHz. Pri nekim mjerenjima se koristio filter srednje vrijednosti (average). Ovo je opcija snimanja valnih oblika na osciloskopu čime se može značajnu smanjiti šum pri mjerenju, a time i omogućiti točnije očitavanje karakterističnih vrijednosti struje i napona. Također su se odredili parametri istosmjernog motora.

### 5.1. Mjerenja pri mijenjanju faktora vođenja

Mjerenja su obavljena pri sklopnoj frekvenciji  $f_s=7812,5$  Hz.

a) faktor vođenja 0,5

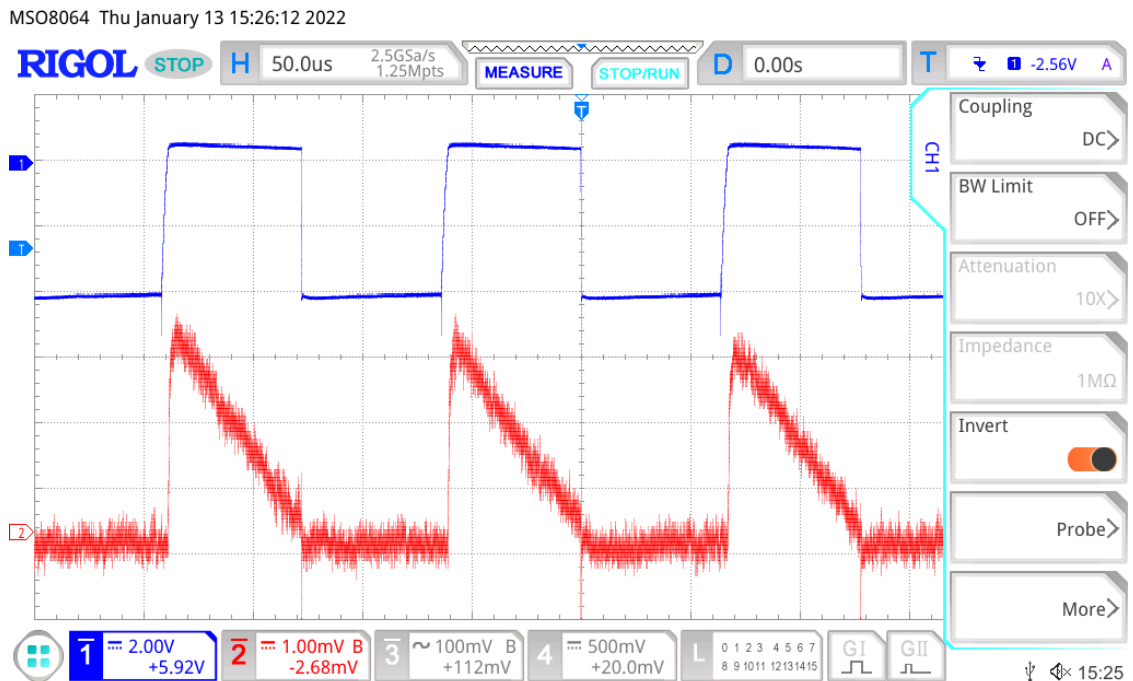


Slika 5.1. upravljački napon (plavo) i struja (crveno) MOSFET-a za dva načina prikazivanja valnih oblika: a) bez filtriranja b) opcija average na osciloskopu

Pomoću slike 5.1. utvrđuje se razlika obične i average opcije na osciloskopu koja služi za preciznije očitavanje rezultata mjerenja. Slika 5.1. također prikazuje namješten faktor vođenja od 50%, utjecaj parazitskih svojstava komponenti (nagli skok struje pri uklapanju MOSFET-a) i smetnji iz vanjskih izvora na struju MOSFET-a (gdje nije korištena funkcija average) te se iz nje može očitati sklopna frekvencija.

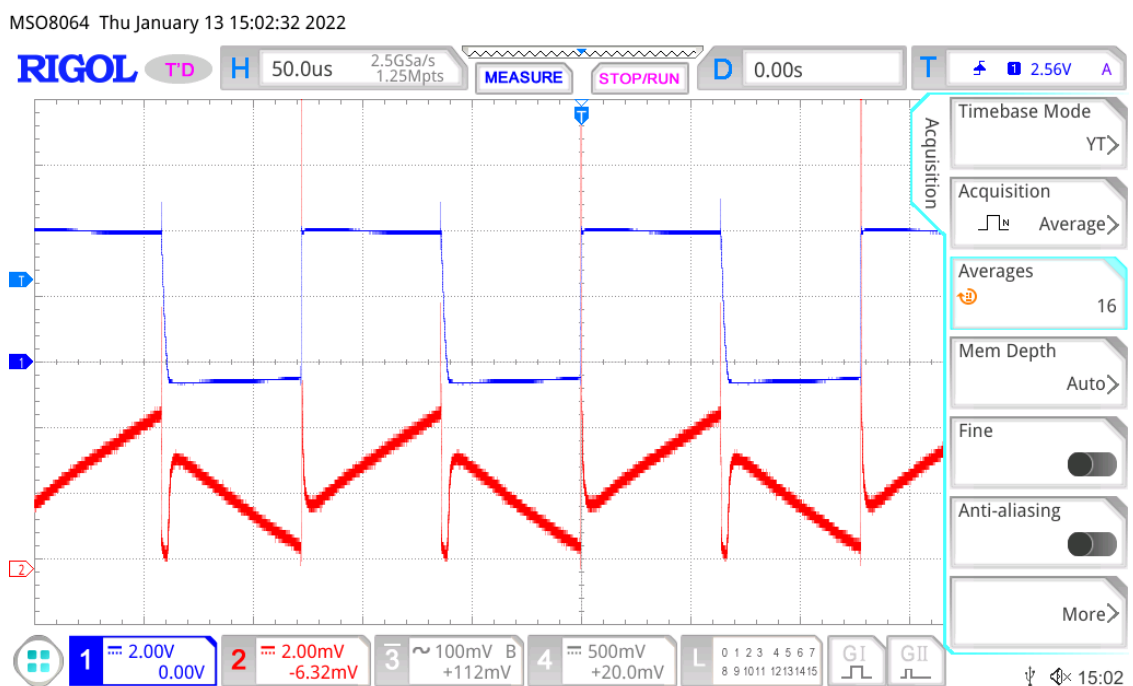
$$f_s = \frac{1}{T_{podjoka} \cdot n_{podjoka}} = \frac{1}{50 \mu s \cdot 2,55} = 7843,14 Hz$$

Slike 5.2.-5.4. prikazuju ostale karakteristične valne oblike za faktor vođenja od 0,5 te će biti korištene za usporedbu sa analiziranim karakterističnim valnim oblicima za taj faktor vođenja.

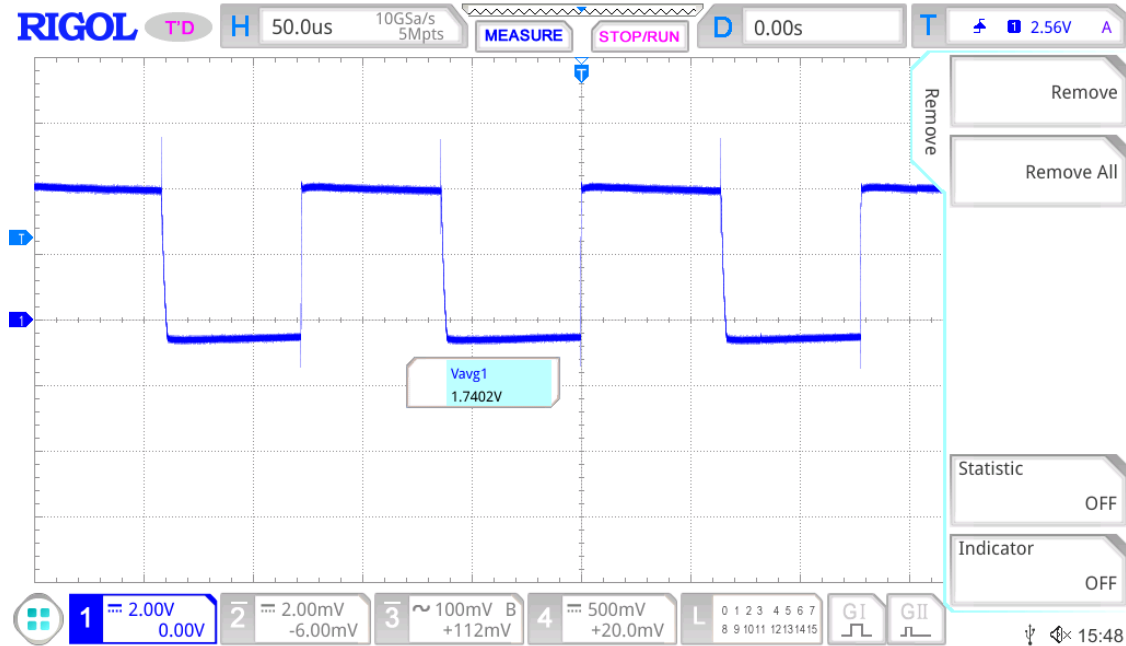


Slika 5.2. Napon (plavo) i struja (crveno) diode (povećana osjetljivost struje)

Slika 5.2. ukazuje na uvećane smetnje u struji zbog osjetljivosti mjerne opreme.



Slika 5.3. Napon (plavo) i struja (crveno) na motoru (opcija average na osciloskopu)



Slika 5.4. Određivanje srednje vrijednosti napona osciloskopom

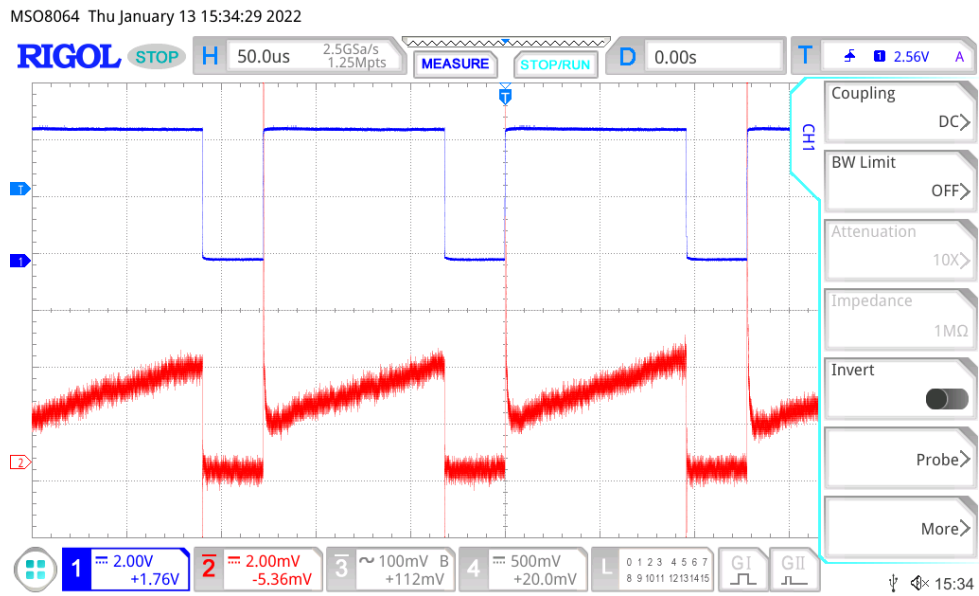
Izmjerena srednja vrijednost napona trošila iz slike 5.4. ( $V_{avg} = 1,7402V$ ) ne odgovara teorijskoj, jer bi za faktor vođenja od 0,5 uz ulazni napon od 5V izlazni napon bi trebao biti 2,5V. Ovo se događa zbog pada napona na realnim pretvaračkim komponentama makete dok su u analizi rada te komponente idealne (nema pada napona kada vode). Odabrani MOSFET je također dizajniran za daleko veće struje i napone od onih u maketi (30V, 40A), prilog 1. Napon USB izlaza isto tako igra ulogu jer je nešto manji od 5V.

Iz slike 5.4. se također dobije teorijski faktor vođenja prema očitanoj srednjoj vrijednosti napona:

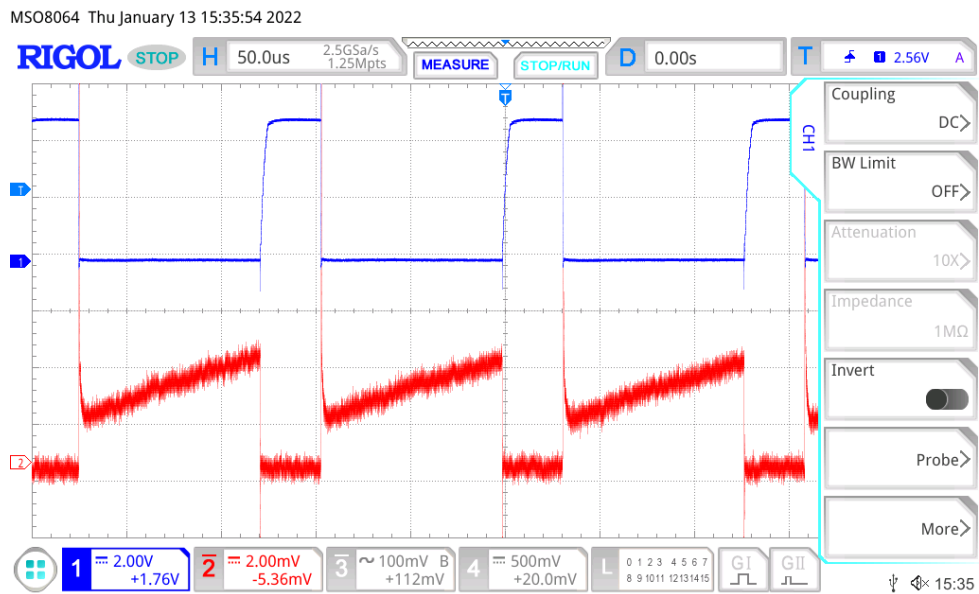
$$\alpha = \frac{U_d}{E} = \frac{1,7402}{5} = 0,34804$$

Struja na motoru za odabranu sklopnu frekvenciju nije glatka već valovita. Razlog valovitosti je sama konstrukcija motora tj. namoti motora se ne mogu dovoljno dobro modelirati serijskim spojem linearnom i vremenski nepromijenjivog induktiviteta i otpora, a kako je to napravljeno u analizi.

b) faktor vođenja 0,75

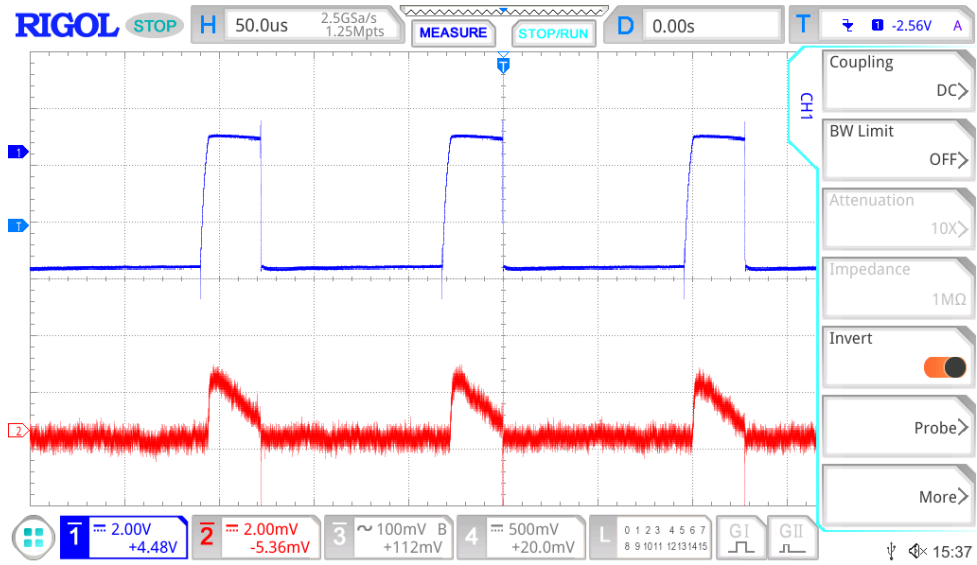


Slika 5.5. Upravljački napon (plavo) i struja (crveno) MOSFET-a



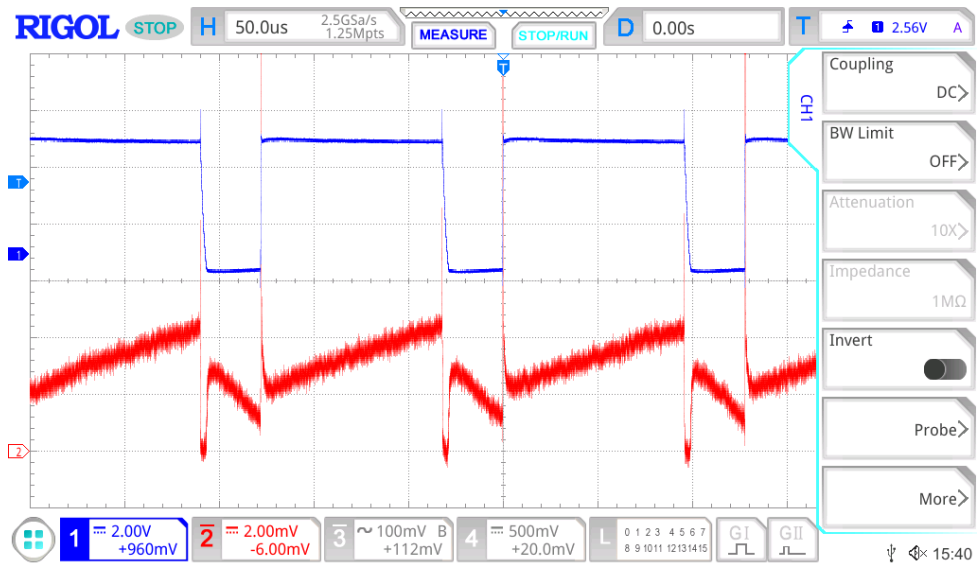
Slika 5.6. Napon (plavo) i struja (crveno) MOSFET-a

MSO8064 Thu January 13 15:37:42 2022

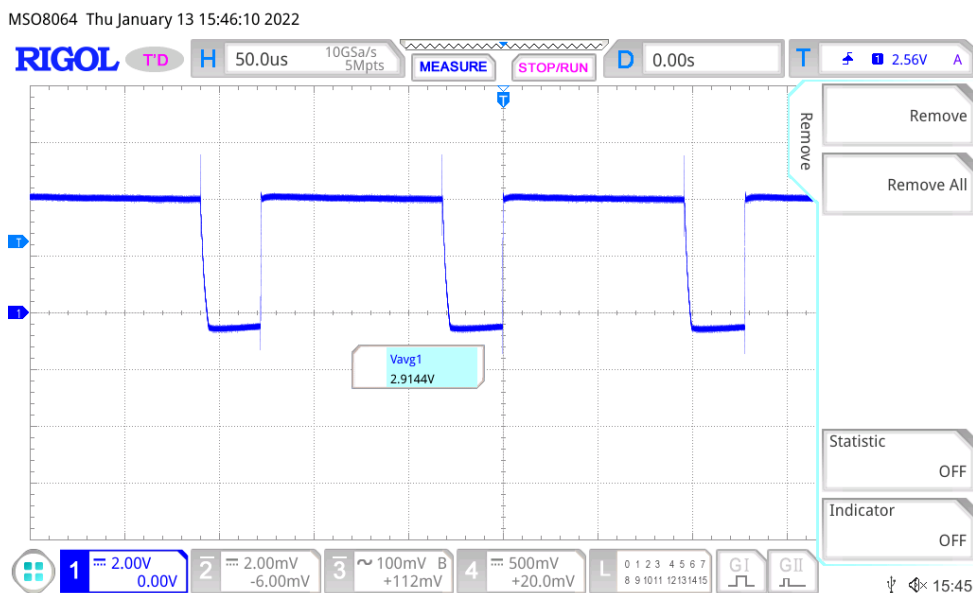


Slika 5.7. Napon (plavo) i struja (crveno) diode

MSO8064 Thu January 13 15:40:38 2022



Slika 5.8. Napon (plavo) i struja (crveno) motora



Slika 5.9. Prikaz srednje vrijednosti napona

Srednja vrijednost za faktor vođenja 0,75 također ne odgovara teorijskoj srednjoj vrijednosti od 3,75V, prema slici 5.9. ( $V_{avg} = 2,91$ ). Razlozi odstupanja ovih vrijednosti su također padovi napona na realnim pretvaračkim komponentama i ulazni napon USB ulaza koji je manji od 5V.

Tablica 1. Usporedba teorijskih i izmjerenih faktora vođenja

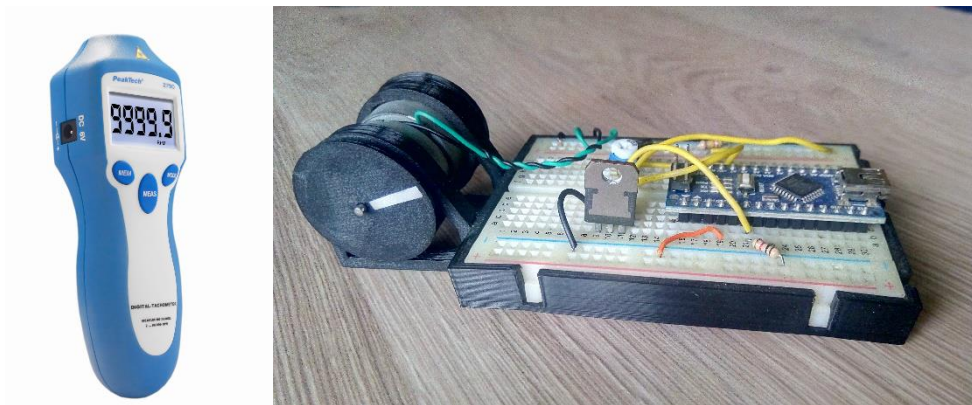
	Teorijski izlazni napon [V]	Izmjereni izlazni napon [V]	Razlika
a)	2,5	1,74	30,4%
b)	3,75	2,91	22,4%

Prema tablici 1. vide se značajne razlike između teorijskih i izmjerenih izlaznih napona.

## 5.2. Mjerenje brzine vrtnje motora o faktoru vođenja

Ovo podpoglavlje se bavi određivanjem ovisnosti brzine vrtnje motora o faktoru vođenja pomoću mjerenja brzine vrtnje pri različitim faktorima vođenja. Mjerenja su obavljena na sklopnoj frekvenciji od 7812,5 Hz.





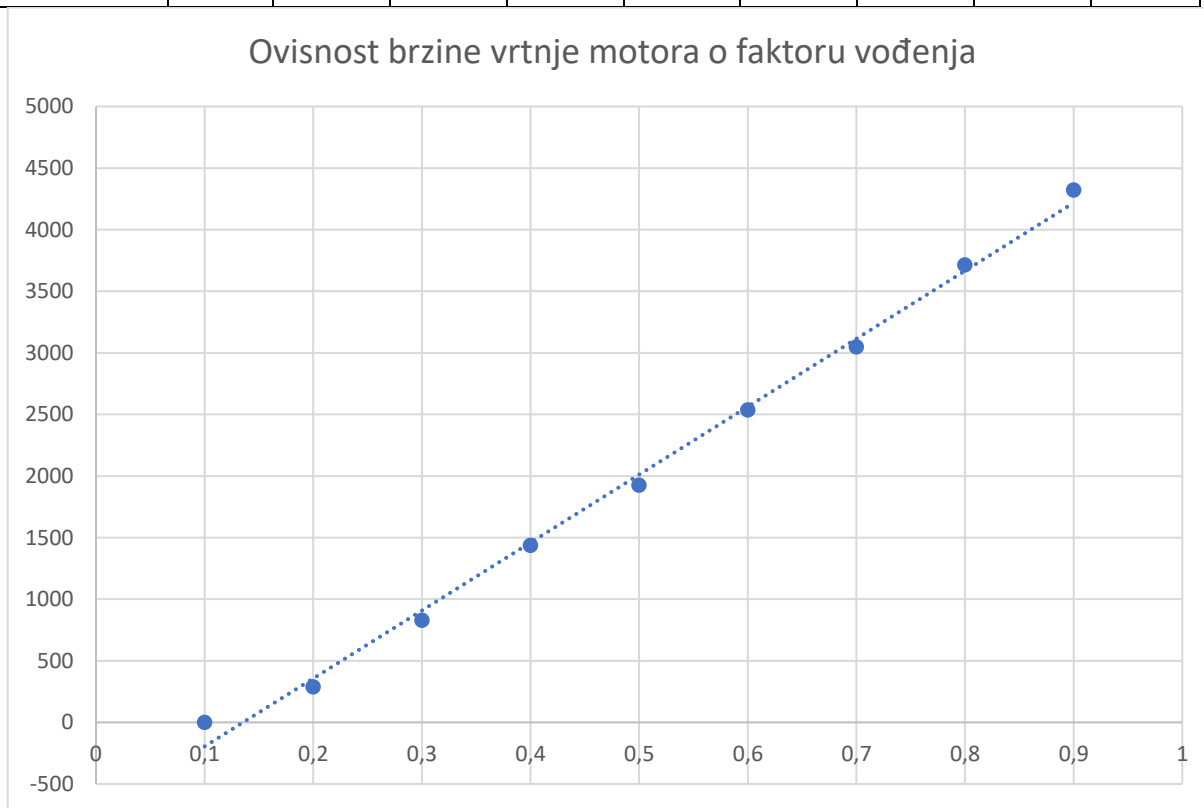
a)

b)

Slika 5.10. a) uređaj za lasersko mjerenje brzine vrtnje [8] b) pretvarač sa motorom pripremljenim za mjerenje brzine

Tablica 2. Ovisnost brzine vrtnje motora o faktoru vođenja

Faktor vođ. [ $\alpha$ ]	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9
Brzina vrtnje [okr/min]	0	288,63	828,25	1438,5	1925,8	2535,4	3049,7	3712,7	4321



Slika 5.11. Graf ovisnosti brzine vrtnje motora o faktoru vođenja

Ovisnost brzine vrtnje o faktoru vođenja je linearna. Graf sa slike 5.11. ne počinje iz nule zbog energije potrebne za pokretanje motora tj. izlazni napon za faktor vođenja manji od 0,2 nije dovoljan za pokretanje motora. Mjerenjem se također pokazalo područje promjene brzine vrtnje motora od 0 do 5000 okr/min. Ovo je važno jer za motore malih snaga kao što je odabrani oznaka 21651D, slika 5.12. ne postoji natpisna pločica s nazivnim podacima.



Slika 5.12. Motor male snage oznaka 21651D

### 5.3. Određivanje parametara motora

U poglavlju se određuju parametri motora kao što su otpor i induktivitet pomoću snimljenih valnih oblika. Parametri motora su potrebni kako bi se odredilo područje sklopnih frekvencija potrebnih za postizanje kontinuiranog načina rada motora.

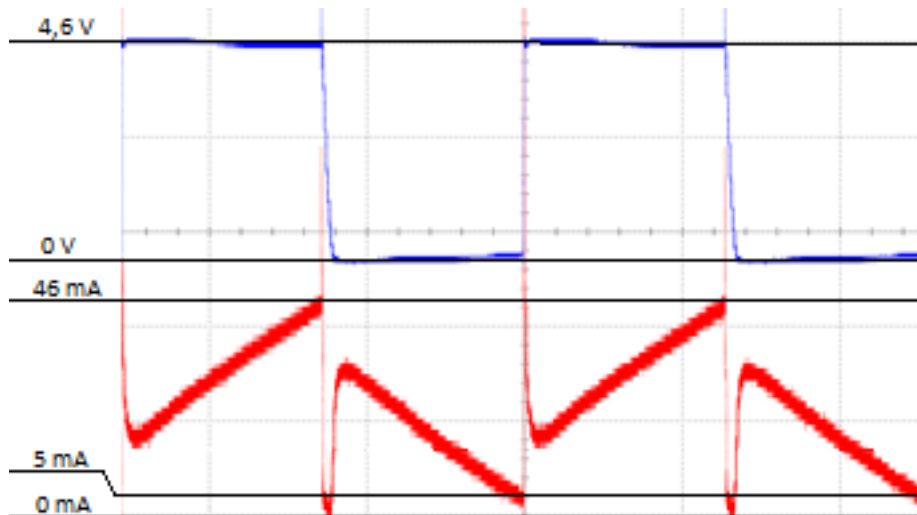
Relacije iz analize potrebne za određivanje parametara motora:

$$u_d = u_L + u_R \quad (5-1)$$

$$u_d = L \cdot \frac{di_d}{dt} + R \cdot i_d \quad (5-2)$$

$$u_L = L \cdot \frac{di_d}{dt} \quad (5-3)$$

Otpor izmjeren UNI-T UT60C digitalnim multimetrom iznosi:  $R=5,7\Omega$ .



Slika 5.13. Iskotirani graf sa slike 5.3.

Iz slike 5.12.:

-Očitane vrijednosti iz grafa:

$$i_d(0) = 5 \text{ mA}, \quad i_d(\alpha T) = 46 \text{ mA}, \quad U = 4,6 \text{ V}$$

-određivanje trajanja vođenja MOSFET-a:

$$\alpha T = \alpha \cdot \frac{1}{f_s} = 0,5 \cdot \frac{1}{7843,14} = 63,75 \mu\text{s}$$

-određivanje napona na induktivitetu motora (zanemaruje se pad napona na otporu tj. zanemaruje se otpor u analizi i modelira kratkim spojem):

$$U_R = 0 \text{ V}$$

-Na intervalu vrijedi:

$$U_L = U_d = 4,6 \text{ V}$$

-izračun vrijednosti induktiviteta:

$$u_L = L \cdot \frac{di_d}{dt}, \quad L = \frac{U_L \cdot dt}{di_d} = \frac{4,6 \cdot (63,75 \cdot 10^{-6} - 0)}{0,046 - 0,005} = 7,15 \text{ mH}$$

-određivanje vremenske konstante trošila:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{0,00715}{5,7} = 1,25 \text{ ms}$$

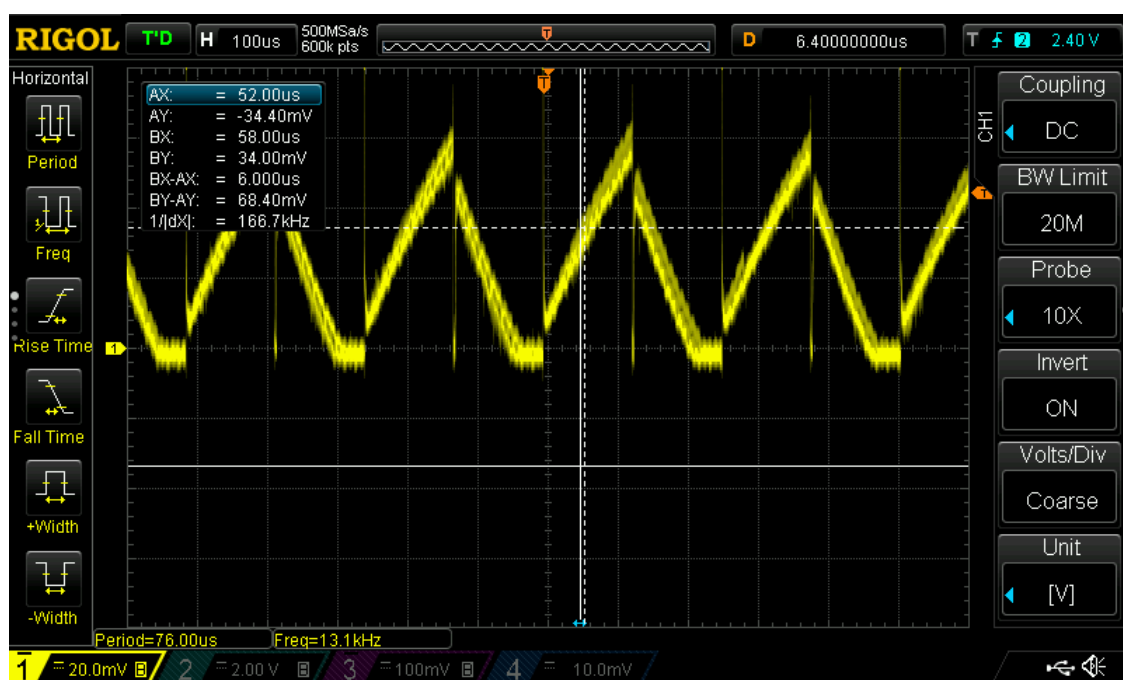
Vremenska konstanta bi trebala biti za red veličine veća od sklopne periode. Iz ovog uvjeta određuje se sklopna frekvencija od 800 Hz, odnosno za red više je 8kHz, što je granična sklopna frekvencija, koja bi trebala prema analizi osigurati kontinuirani načina rada i glatku struju. Unatoč tome što je odabrana sklopna frekvencija pretvarača reda 7 kHz to nije bilo dovoljno i pretvarač je radio na granici između kontinuiranog i diskontinuiranog načina rada. Razlog tome je nedovoljno dobro odabran model istosmjernog motora ili stanje namota motora, a što bi zahtjevalo dodatna mjerenja na samom motoru u svrhu predlaganja drugog modela. Model namota motora bi svakako trebao biti zahtjevniji, ali budući da je tema vezana uz upravljačke krugove silaznog pretvarača nije se išlo s istraživanjem u ovom smjeru.

Da bi se potvrdile ove sumnje napravljena su dodatna mjerenja promjenom frekvencije kako bi se potvrdila postavljena hipoteza.

## 5.4. Mjerenja pri promjeni sklopne frekvencije

a) sklopna frekvencija  $f_s=3,9$  kHz

Smanjuje se sklopna frekvencija kako bi se utvrdila granica između kontinuiranog i diskontinuiranog rada pretvarača tj. za pretpostaviti je da će smanjenjem sklopne frekvencije pretvarač prijeći u diskontinuirani način rada. Frekvencija se mijenja promjenom liste naredbi mikroupravljača tj. retka u kojem je određena sklopna frekvencija. Pošto mikroupravljač koristi binarni brojač niža frekvencija je za dva puta manja.



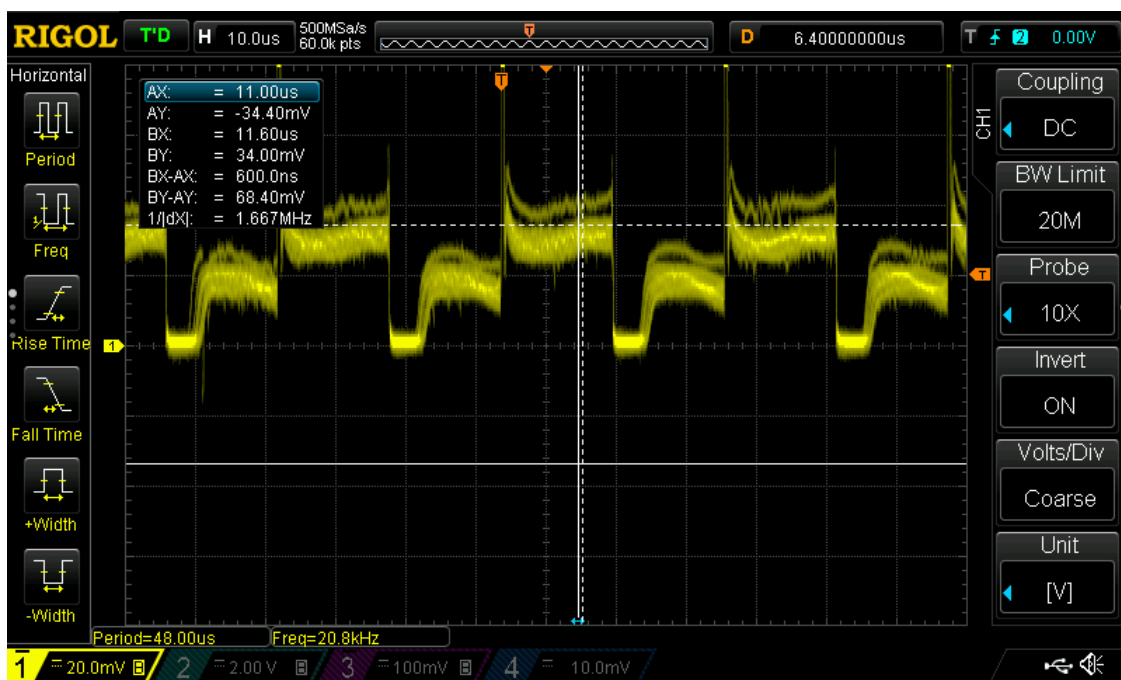
Slika 5.14. Struja motora pri frekvenciji od 3,9 kHz i  $\alpha=0,5$

Frekvencija valnog oblika prema slici 5.14. iznosi:

$$f_s = \frac{1}{T_{podioka} \cdot n_{podioka}} = \frac{1}{100 \mu s \cdot 2,5} = 4000 Hz$$

Pretvarač je prešao u diskontinuirani način rada čime je dokazano da je prvobitno odabrana sklopna frekvencija na granici između dva načina rada. Diskontinuirana struja kroz motor rezultira periodima u kojima motor nije napajan tj. narušava se energetska učinkovitost rada motora, pojavljuju oscilatorni momenti koji uzrokuju dodatno zagrijavanje namota motora.

b) sklopna frekvencija  $f_s = 31,3 \text{ kHz}$



Slika 5.15. Struja motora pri frekvenciji od 31,3 kHz i  $\alpha=0,5$

Kod snimanja valnog oblika struje pri višoj sklopnoj frekvenciji dolazi se do još jednog od realnih svojstava sklopa koje model nema, a to je neidealno ponašanje komponenata [9]. Zbog vanjskih ožičenja i realizacije pretvarača na prototipnoj pločici, pojavljuju se parazitski induktiviteti i kapaciteti koji značajno distordiraju snimljene valne oblike na motoru slika 5.15. Zato su snimljeni valni oblici neusporedivi s valnim oblicima koji su dobiveni analizom, a frekvencije iznad 30 kHz neprimjenjive za upravljanje motorom.

## 6. ZAKLJUČAK

Izmjereni valni oblici napona kvalitativno odgovaraju teorijskim po izgledu, ali ne i po iznosima zbog pada napona na pretvaračkim komponentama i napajanju (USB utor laptopa). Odstupanje srednje vrijednosti napona trošila od teorijskih u oba slučaja je značajan, a posljedica je pada napona na pretvaračkim komponentama u stanju vođenja, ali i načinu ožičenja. Odstupanje iznosi čak do 30%.

Izmjereni valni oblici struje podosta odstupaju od teorijskih zbog modeliranja namota istosmjernog motora linearnim, vremenski nepromjenjivim induktivitetom. Struja ima značajnu valovitost od 40 mA, dok je analizom predviđena glatka struja.

Brzina vrtnje motora ovisi o faktoru vođenja tj. naponu na motoru. Ovisnost brzine vrtnje motora o faktoru vođenja je linearna. Za faktor vođenja manji od 0,2 motor se ne okreće jer je napon nedovoljan za početak vrtnje. Pokazano je da se brzina vrtnje motora može mijenjati sklopom u području od 300 do 4300 ok/min. Za motore malih snaga ne postoji pločica s nazivnim podacima, a teško je samo na osnovu oznake s motora doći do istih.

Sklopne frekvencije niže od 7,8 kHz rezultiraju diskontinuiranim načinom rada koji je nepoželjan u napajanju motora. Frekvencije iznad 30 kHz također su nepoželjne jer do izražaja dolaze nedovoljno kvalitetno odrađena ožičenja sklopa i neidealna ponašanja komponenta sklopa.

## LITERATURA

[1] STP40NF03L specifikacije

<https://www.st.com/resource/en/datasheet/stp40nf03l.pdf>

[2] D.Pelin, K.Miličević, D.Vulin, Priručnik za praktikum iz osnova energetske elektronike ,Biroprint, Osijek, 2013.

[3] I. Flegar, Elektronički energetska pretvarači, Kigen, Zagreb, 2010.

[4] "Speed control of DC motor using IGBT", Završni rad, National Institute of Technology, Rourkela, 2007.

[5] A.V. Peterchev, Digital Pulse–Width Modulation Control in Power Electronic Circuits: Theory and Applications, disertacija, University of California, Berkeley, 2005.

[6] A. Ahmad, K. Kishor, P. Rai, Speed control of a DC motor using Controllers, SciencePG, 2014.

[7] A. Morar, DC Motor Speed and Position Control System, 2007.

[8] PeakTech 2793 laserski mjerač brzine vrtnje

<https://www.peaktech.de/uk/PeakTech-P-2790-Tachometer-5-digit-1-...-99-999-rpm/P-2790>

[9] L.Tihanny, Electromagnetic Compatibility in Power Electronic, IEEE Press, Florida, 1995.

## SAŽETAK

U radu je opisan istosmjerni silazni pretvarač kao regulator brzine vrtnje istosmjernog motora, postupak njegove izrade i snimanje valnih oblika na ventilima i motoru. Provedena je teorijska analiza rada pretvarača. Nakon snimanja realnih valnih oblika pri različitim faktorima vođenja, oni su uspoređeni sa teorijskim valnim oblicima. Također je snimljena ovisnost brzine vrtnje istosmjernog motora o faktoru vođenja. Zbog razlike između teorijskih i snimljenih vrijednosti, izračunati su parametri motora te su obavljena mjerenja pri promjeni sklopne frekvencije.

**Ključne riječi:** faktor vođenja, istosmjerni motor, silazni pretvarač, sklopna frekvencija

TITLE:

**DESIGN OF BUCK CONVERTER; 0-5V, FOR REGULATING THE ROTATION SPEED OF THE DC MOTOR CONTROLLED BY THE ARDUINO NANO MICROCONTROLLER**

## ABSTRACT

This paper describes a step-down DC-DC converter as a dc motor speed regulator, process of making the converter and recording of waveforms on the valves and the DC motor. After recording of real-world waveforms with different duty cycles, they were compared with theoretical waveforms. Relation of DC motor speed to the duty cycle was also recorded. Due to difference between theoretical and recorded values, the motor parameters were calculated and the measurements were performed with changes in switching frequencies.

**Key words:** duty cycles, DC motor, step-down (buck) converter, switching frequency



## **ŽIVOTOPIS**

Luka Koprivnjak rođen je 9. veljače 2000. godine u Osijeku. Odrastao je u Ivanovcu gdje je pohađao prve četiri godine osnovne škole od 2007. do 2011. godine te je ostale četiri godine pohađao u Antunovcu od 2011. do 2015. Nakon završene osnovne škole upisuje prvi razred Elektrotehničke i prometne srednje škole u Osijeku, smjer elektrotehničar. Srednjoškolsko obrazovanje završava 2019. godine te iste godine upisuje Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku gdje je danas student treće godine smjer elektroenergetika.

## Prilog 1: Podatkovna tablica MOSFET-a STP40NF03L



### STP40NF03L

N - CHANNEL 30V - 0.020  $\Omega$  - 40A TO-220  
STripFET™ POWER MOSFET

TYPE	V <sub>DSS</sub>	R <sub>DS(on)</sub>	I <sub>D</sub>
STP40NF03L	30 V	< 0.022 $\Omega$	40 A

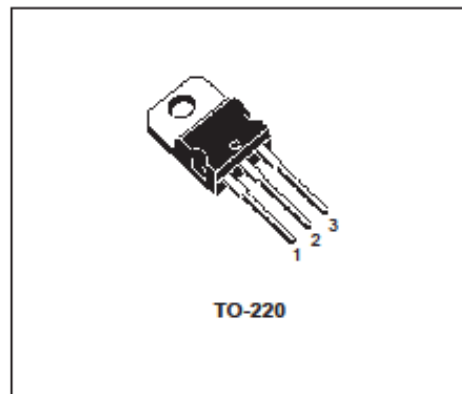
- TYPICAL R<sub>DS(on)</sub> = 0.020  $\Omega$
- LOW THRESHOLD DRIVE

#### DESCRIPTION

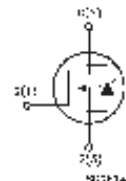
This Power MOSFET is the latest development of STMicroelectronics unique "Single Feature Size™" strip-based process. The resulting transistor shows extremely high packing density for low on-resistance, rugged avalanche characteristics and less critical alignment steps therefore a remarkable manufacturing reproducibility.

#### APPLICATIONS

- HIGH CURRENT, HIGH SPEED SWITCHING
- SOLENOID AND RELAY DRIVERS
- MOTOR CONTROL, AUDIO AMPLIFIERS
- DC-DC & DC-AC CONVERTERS



#### INTERNAL SCHEMATIC DIAGRAM



#### ABSOLUTE MAXIMUM RATINGS

Symbol	Parameter	Value	Unit
V <sub>DS</sub>	Drain-source Voltage (V <sub>GS</sub> = 0)	30	V
V <sub>DGR</sub>	Drain- gate Voltage (R <sub>DS</sub> = 20 k $\Omega$ )	30	V
V <sub>GS</sub>	Gate-source Voltage	$\pm$ 20	V
I <sub>D</sub>	Drain Current (continuous) at T <sub>c</sub> = 25 °C	40	A
I <sub>D</sub>	Drain Current (continuous) at T <sub>c</sub> = 100 °C	28	A
I <sub>DM</sub> (*)	Drain Current (pulsed)	160	A
P <sub>tot</sub>	Total Dissipation at T <sub>c</sub> = 25 °C	70	W
	Derating Factor	0.46	W/°C
E <sub>AS</sub> (†)	Single Pulse Avalanche Energy	250	mJ
T <sub>stg</sub>	Storage Temperature	-65 to 175	°C
T <sub>j</sub>	Max. Operating Junction Temperature	175	°C

(\*) Pulse width limited by safe operating area

(†) starting T<sub>j</sub> = 25 °C, I<sub>D</sub> = -20A, V<sub>DS</sub> = 15V