Uzlazni pretvarač za ulazne napone do 1 V

Balentović, Matej

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:328293

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-25**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

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

Sveučilišni studij

UZLAZNI PRETVARAČ ZA ULAZNE NAPONE DO 1 V

Završni rad

Matej Balentović

Osijek, 2019.

Sadržaj

1. Uvod 2
1.1. Zadatak završnog rada 2
2. Osnovna topologija uzlaznog pretvarača 3
3. Načelo rada uzlaznog pretvarača 4
3.1. Režimi rada 4
3.1.1 Kontinuirani režim rada 4
3.1.2. Diskontinuirani režim rada 6
3.2. Načini upravljanja 7
4. Proračun parametara 8
5. Izbor komponenti i izrada modela u programu Multisim 11
6. Analiza promjene parametara na izlazni napon 13
6.1. Ovisnost izlaznog napona o promjeni induktiviteta zavojnice $\boldsymbol{LE}$ 14
6.2. . Ovisnost izlaznog napona o promjeni frekvencije 16
6.3. Ovisnost izlaznog napona o promjeni vrijednosti kapaciteta kondenzatora $\boldsymbol{Cd}$ 19
7. Zaključak 21
LITERATURA 22
SAŽETAK 23
ABSTRACT 23
ŽIVOTOPIS 24
PRILOZI 25
Prilog 1. Stranica podatkove tablice (eng. *data-sheet*) za MOSFET BSH105 25
Prilog 2. Prva stranica podatkovne tablice (eng. *data-sheet*) za diodu 1N5391 25

1. Uvod

Istosmjerni pretvarači su električki uređaji koji povezuju dvije istosmjerne mreže, čiji napon na izlazu može biti viši ili niži, ovisno o tipu pretvarača, a koriste se za napajanje elektroničke opreme i sklopova, u postrojenjima koja iz akumulatorskih baterija napajaju trošila različitih naponskih razina te u električnoj vuči za pogon ili regulaciju brzine vlakova koji predstavljaju trošilo velike snage. Sve istosmjerne pretvarače karakterizira jako niska potrošnja, što govori da imaju jako visok stupanj korisnosti. Uzlazni pretvarač (eng. *Boost converter)* pripada skupini istosmjernih pretvarača u koje se još ubrajaju silazni pretvarači (eng. *Buck converter)* te uzlazno-silazni pretvarači (eng. *Buck-boost converter)*, a predstavlja spoj između strujnog izvora i naponskog uvora. Takav električki sklop je značajan po tome što je izlazni napon viši od ulaznoga. U nastavku biti će objašnjena osnovna topologija te načelo rada i režimi rada uzlaznog pretvarača. Također biti će izveden model pretvarača koji će napone na ulazu od 1V ili manje dizati na 5V na izlazu, gdje će biti opisan izbor poluvodičkih komponenti, izbor zavojnice i kondenzatora te prikazane ovisnosti parametara frekvencije, induktiviteta i kapaciteta za što optimalniji rad pretvarača.

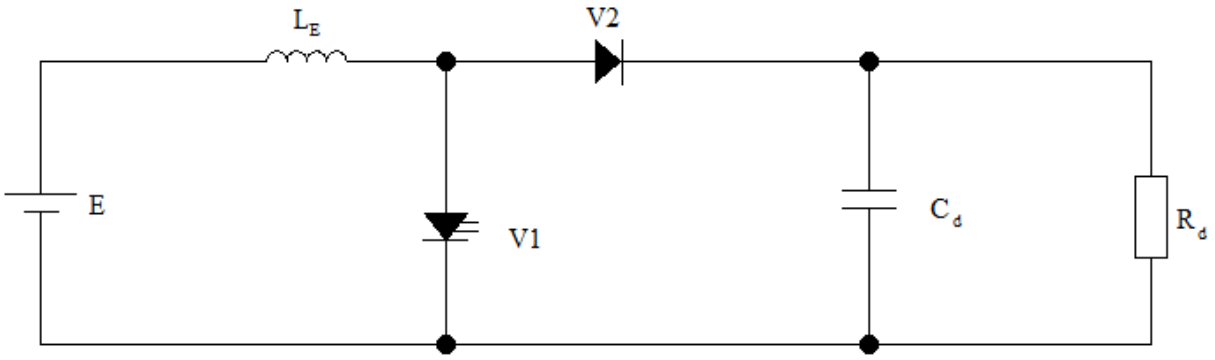
1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je simulirati i optimirati parametre istosmjernog uzlaznog pretvarača napona za primjenu u sustavima bežičnog napajanja, odnosno sustavima žetve energije, tj. za rad s ulaznim naponima do 1 V.

2. Osnovna topologija uzlaznog pretvarača

Osnovni model uzlaznog pretvarača se sastoji od:

- Ventil V_1 – realizacija tranzistorom,
- ventil V_2 – realizacija neupravljivom diodom,
- istosmjerni naponski izvor E,
- zavojnica induktiviteta L_E,
- kondenzator kapaciteta C_d,
- trošila otpora R_d.



Slika 2.1. Shematski prikaz uzlaznog pretvarača

Na slici 2.1. možemo primjetiti kako je ventil V_1 predstavljen tranzistorom jer nam je potrebna sklopka koja će uklapati i isklapati krug dovoljno brzo kako se energija pohranjena u zavojnici i u kondenzatoru ne bi potpuno ispraznila, što je bitno za generiranje napona na izlazu te nam je potrebna upravljiva sklopka zbog odabira potrebne naponske razine koje sami ugađamo promjenom sklopne frekvencije tranzistora. Takav način upravljanja bit će realiziran oscilatorom čija svrha je osigurati impulse na gate-u tranzistora.

3. Načelo rada uzlaznog pretvarača

Temeljni pojam na kojem se zasniva rad uzlaznog pretvarača je skladištenje energije. U krugu se nalazi zavojnica koja skladišti energiju kada kroz nju poteče struja kada je ventil V_1 zatvoren. Dolazi do stvaranja magnetskog polja na zavojnici koje se, kada se ventil V_1 otvori, a ventil V_2 zatvori, narušava i šalje energiju prema trošilu R_d, dok se za to vrijeme kondenzator C_d prazni preko trošila R i ne vraća prema izvoru zbog realizacije ventila V_2 diodom koja ne propušta struju u obrnutom smjeru. U tom slučaju imamo dva izvora spojena u seriju koja pune kondenzator kada ventil V_1 prestane voditi, a ventil V_2 provede . Zbog toga je kod uzlaznog pretvarača izlazni napon viši od ulaznog.

3.1. Režimi rada

Kod analize rada uzlaznog pretvarača postoje dva režima rada:

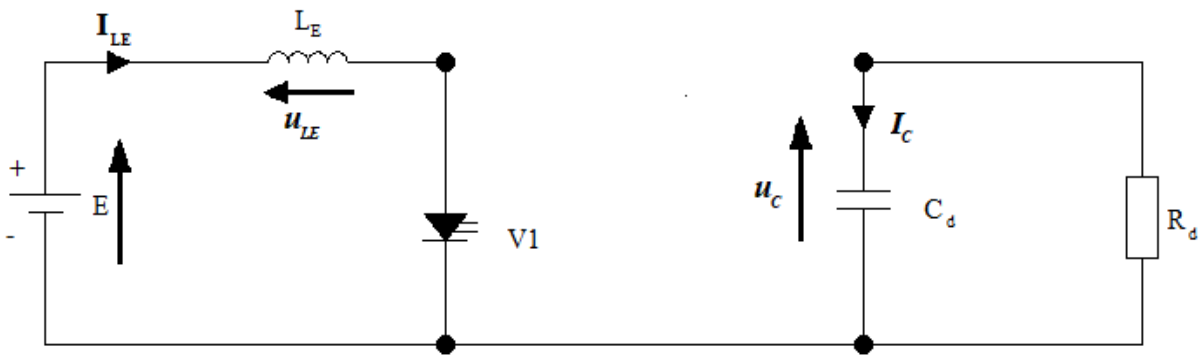
- kontinuirani režim rada i
- diskontinuirani režim rada

Kod kontinuiranog režima rada struja na zavojnici unutar sklopne periode T_s nikada neće pasti na nulu, dok kod diskontinuiranog režima struja u jednom dijelu intervala padne na nulu.

3.1.1 Kontinuirani režim rada

Kod kontinuiranog režima rada razmotrit ćemo slučajeve kada vodi samo ventil V_1 i kada vodi samo ventil V_2.

1) Interval $\langle 0, \alpha T_s \rangle$ u kojem vodi ventil V_1



Slika 3.1. Shema spoja za kontinuirani režim rada u intervalu $\langle 0, \alpha T_s \rangle$

Kada ventil V_1 vodi, napon na zavojnici induktiviteta L_E jednak je konstantnom naponu izvora E, što znači da će struja na zavojnici rasti linearno po pravcu.

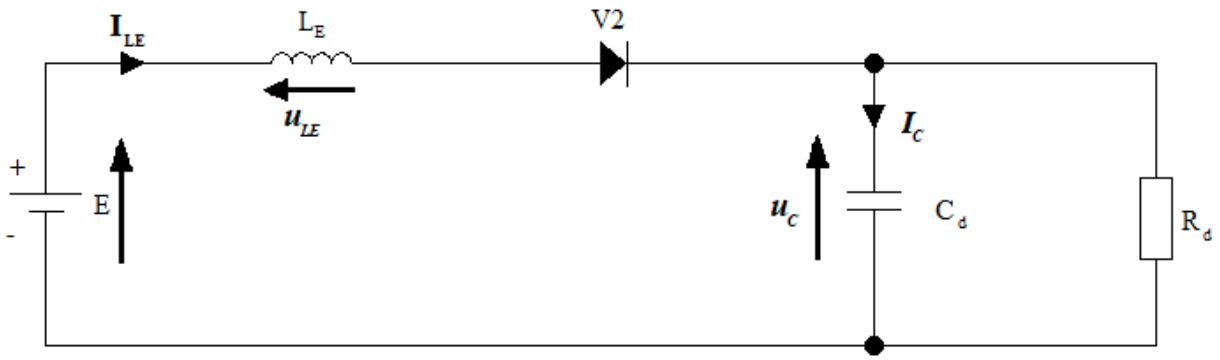
$$E = u_{LE} = L_E \frac{di_{LE}}{dt} \tag{1}$$

$$i_{LE} = \frac{1}{L_E} \int_0^{\alpha T_s} u_{LE}\, dt + i_{LE}(0) \tag{2}$$

Kondenzator će se za to vrijeme prazniti preko otpornika R_d pa je napon na njemu:

$$u_c = \frac{1}{C_d} \int_0^{\alpha T_s} i_c\, dt + u_c(0) \tag{3}$$

2) Interval $\langle \alpha T_{s,}\, T_s \rangle$ u kojem vodi ventil V_2



Slika 3.1. Shema spoja za kontinuirani režim rada u intervalu

Prema shemi možemo vidjeti kako je napon na zavojnici $U_{LE} = E - U_C$ koristeći Kirchoffov zakon za napone. Uvrstimo li napon na zavojnici $U_{LE} = L\, \frac{dI_{LE}}{dt}$, tada dobivamo:

$$i_{LE} = \frac{E - U_C}{L} \int_0^t dt \tag{4}$$

Srednja vrijednost napona na zavojnici tijekom jednog perioda T_s jednak je nuli:

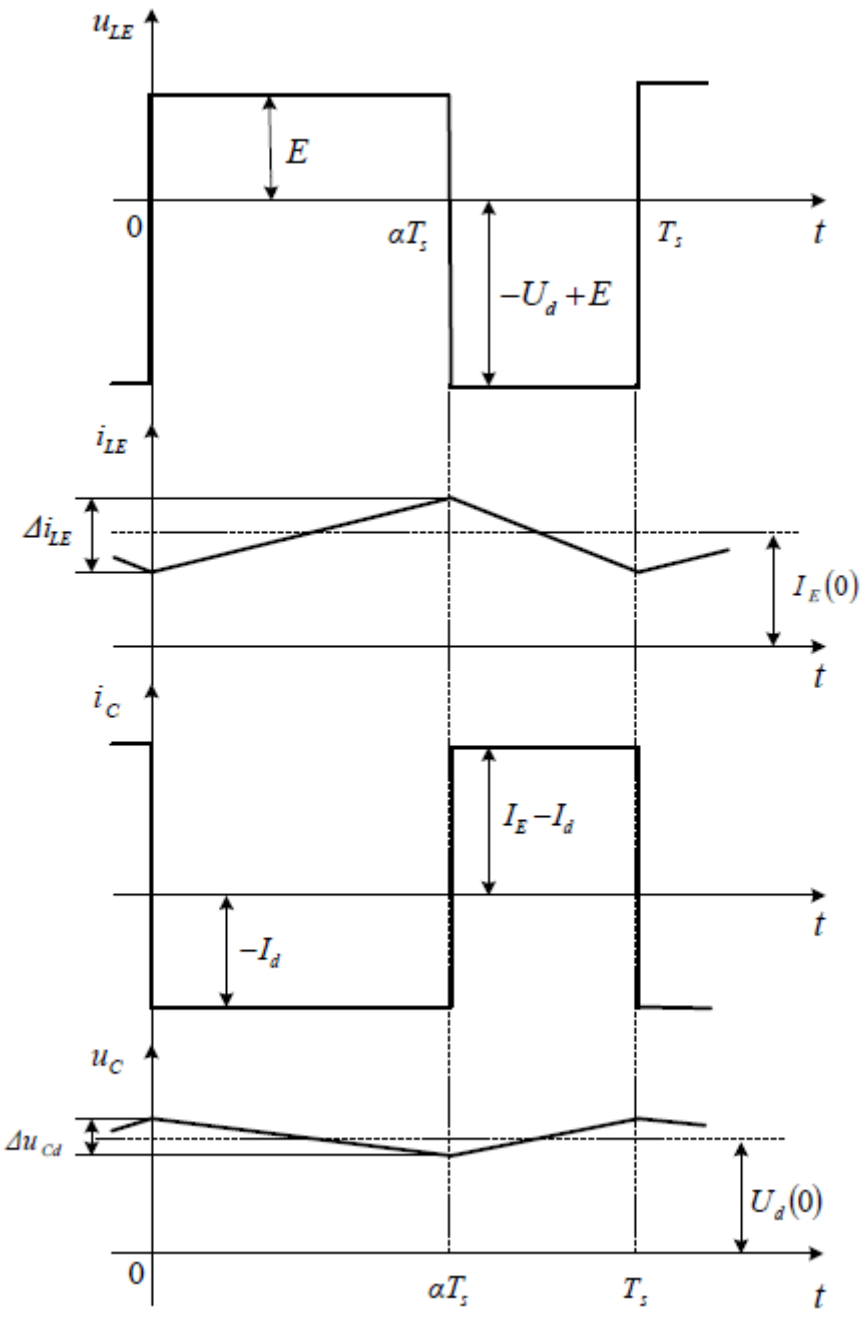
$$\frac{1}{T} \int_0^{T_s} U_{LE} = 0 \tag{5}$$

Proširenjem izraza dobivamo:

$$\frac{1}{T} \int_0^{\alpha T_s} E dt + \frac{1}{T} \int_{\alpha T_s}^{T_s} (U_c - E) dt = 0 \tag{6}$$

U konačnici, rješenje jednadžbe je omjer izlaznog i ulaznog napona, a on predstavlja istosmjerni faktor pretvorbe i upravljačku karakteristiku:

$$U_c = E \frac{1}{1-\alpha} \tag{7}$$



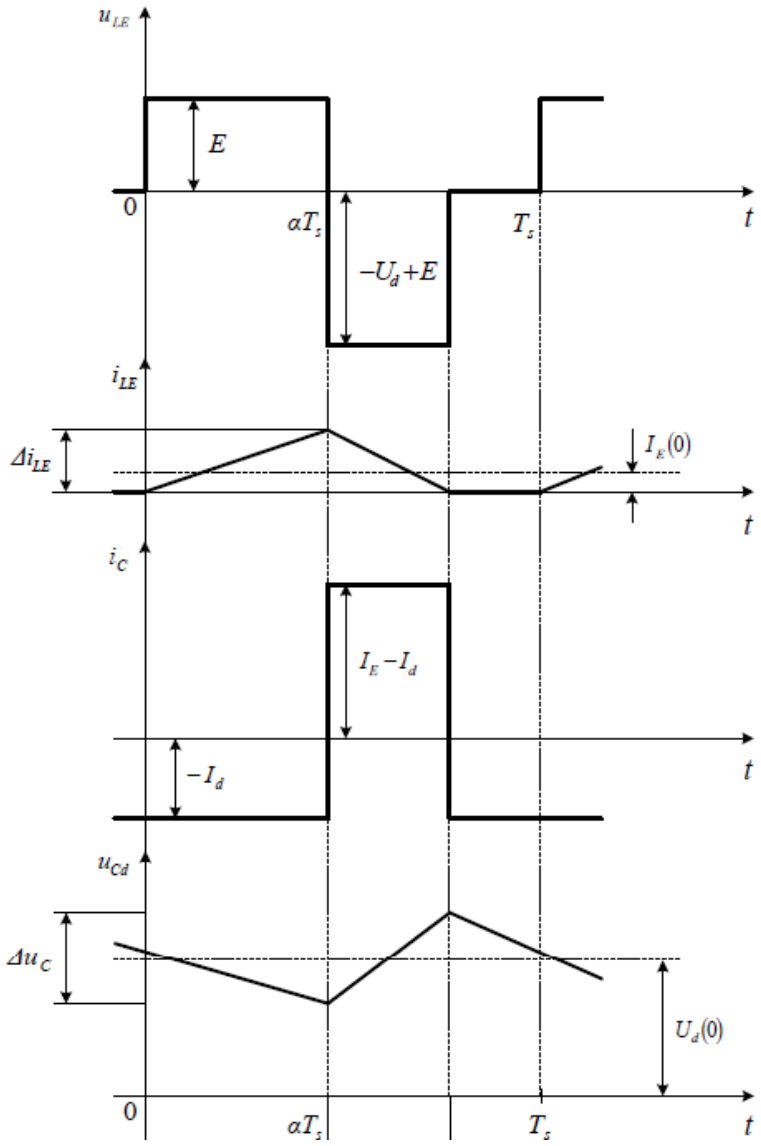
Slika 3.2. Valni oblici kontinuiranog režima rada [3]

3.1.2. Diskontinuirani režim rada

U diskontinuiranom režimu rada postoje tri intervala:

1) Interval u kojem vodi samo ventil V_1,
2) Interval u kojem vodi samo ventil V_2,
3) Interval u kojem ne vodi niti jedan ventil.

Prva dva intervala, kada vodi svaki ventil posebno, su u analizi rada ista kao i za kontinuirani režim rada, dok u trećem intervalu ne vodi niti jedan ventil, što znaći da su struja i napon na zavojnici jednaki nuli.



Slika 3.4. Valni oblici diskontinuiranog režima rada [3]

3.2. Načini upravljanja

Uzlazni pretvarač moguće je upravljati na 3 načina:

1) Pulsno-širinsko upravljanje: sklopna perioda T_S ostaje nepromjenjena, dok se vrijeme trajanja vođenja upravljivog ventila V_1 mijenja. Ovakav tip upravljanja je najuobičajeni za takve sklopove. Njegova prednost je jednostavna promjena vremena trajanja vođenja MOSFET-a na način da na gate dovodimo napon pravokutnog oblika i mijenjamo vrijeme

pozitivnog napona - duty-cycle. Prednost je mogućnost prilagođavanja izlaznog napona pomoću upravljačke karakteristike (7)

2) Frekvencijsko upravljanje: vrijeme trajanja vođenja ventila V_1 ostaje nepromjenjeno, a mijenja se vrijeme trajanja sklopne periode T_s. Na ovaj način mijenjamo sklopnu frekvenciju rada uzlaznog pretvarača što je mana jer povećanjem frekvencije povećava se gubitak na MOSFET-u.
3) Širinsko-frekvencijsko upravljanje: mijenjaju se vremena trajanja vođenja ventila V_1 i vrijeme trajanja sklopne periode T_s. Ovj način je spoj prva dva načina upravljanja gdje mijenjamo i sklopnu frekvenciju i vrijeme vođenja MOSFET-a. Jedina mana je skuplja izrada upravljačkog sklopa koji bi mijenjao ta dva parametra.

4. Proračun parametara

Kako bi odredili vrijednosti induktiviteta zavojnice L_E i vrijednost kapaciteta C_d potrebno je znati sljedeće vrijednosti parametra:

- najniži ulazni napona $U_{ul.\ min}$
- najviši ulazni napona $U_{ul.\ max}$
- izlazni napon $U_{izl.}$
- maksimalna struja na izlazu $I_{izl.\ max}$,
- sklopna frekvencija f_s
- korisnost η
- izlazna snaga $P_{izl.}$

Najviši ulazni napon je određen i iznosi $U_{ul.\ max} = 1V$, dok je vrijednost najnižeg napona jednaka naponu praga MOSFET-a $U_{ul.\ min} = 0{,}4V$, a izbor i ostali podaci MOSFET-a biti će obrađeni u nastavku. Napon na izlazu bi trebao biti između 3V i 5V, no kod proračuna uzimamo $U_{izl.} = 5V$ jer je poželjan napon što bliži 5V. Maksimalnu izlaznu struju dobijemo omjerom izlazne snage $P_{izl.}$, koju odredimo proizvoljno ovisno o primjeni samog sklopa i izlaznog napona $U_{izl.}$

$$I_{izl.max} = \frac{P_{izl.}}{U_{izl.}} \tag{8}$$

$$I_{izl.max} = \frac{1}{5} = 0.2A$$

Za početak potrebno je odrediti kut upravljanja α_{min} za najniži ulazni napon $U_{ul.\ min}$, a on se koristi jer će tada poteći najviša struja uklapanja. Kut upravljanja α predstavlja omjer vremena vođenja ventila V_1 i perioda sklapanja T_s. Za korisnost sklopa pretpostavljamo 90% zbog velikog napretka u tehnologiji izrade poluvodičkih komponenti čija potrošnja doseže sve niže vrijednosti i relativno malo komponenti na kojim bi se disipacija vršila.

$$\alpha_{min} = 1 - \frac{U_{ul.\ min} \cdot \eta}{U_{izl}} \tag{9}$$

$$\alpha_{min} = 1 - \frac{0.4 \cdot 0.9}{5} = 0.928$$

U jednadžbi (9) možemo vidjeti da je korištena korisnost samoga sklopa i to baš zato što postoje gubici na pojedinim komponentama jer u stvarnosti u svakoj od komponenti postoji djelatni otpor koji uzrokuje mali pad napona te u konačnici utječe na iznos napona na izlazu. Sljedeći korak je izračunati valovitost struje zavojnice ΔI_L. Kod izračuna te struje, ako vrijednost induktiviteta nije poznata, pretpostavlja se kako ona iznosi od 20% do 40% izlazne struje pa će se za izračun uzeti 30%.

$$\Delta I_L = 0.3 \cdot I_{izl.max} \cdot \frac{U_{izl.}}{U_{ul.}} \tag{10}$$

$$\Delta I_L = 0{,}3 \cdot 0.2 \cdot \frac{5}{1} = 0.3A$$

Kada smo izračunali valovitost struje na zavojnici, sada preostaje izračunati vrijednost induktiviteta zavojnice L_E. Vrijednost sklopne frekvencije f_s uzimamo proizvoljno, tako da ona iznosi 10kHz.

$$L_E = \frac{U_{ul.} \cdot (U_{izl.} - U_{ul.})}{\Delta I_L \cdot f_s \cdot U_{izl.}} \tag{11}$$

$$L_E = \frac{1 \cdot (5 - 1)}{0.3 \cdot 10000 \cdot 5} = 266.6667\mu H$$

Za izračun vrijednosti kapaciteta kondenzatora C_d na izlazu potrebno je pretpostaviti iznos valovitosti napona $\Delta U_{izl.}$ zbog ESR-a kapaciteta. U ovom modelu biti će korišten keramički kondenzator, a tipične vrijednosti ESR-a su između 0.01Ω i 0.1Ω. U ovom slučaju uzimamo najveću vrijednost ESR-a.

$$\Delta U_{izl.} = ESR \left(\frac{I_{izl.max}}{1-\alpha} - \frac{\Delta I_L}{2} \right) \tag{12}$$

$$\Delta U_{izl.} = 0.1 \cdot \left(\frac{0.2}{1 - 0.928} - \frac{0.3}{2} \right) = 0.293V$$

Nakon izračuna valovitosti napona na kondenzatoru C_d, možemo odrediti njegov kapacitet uz već poznatu frekvenciju f_s, izlaznu stuju $I_{izl.max}$ i kut upravljanja α.

$$C_d = \frac{I_{izl.max} \cdot \alpha}{f_s \cdot \Delta U_{izl.}} \tag{13}$$

$$C_d = \frac{0.2 \cdot 0.928}{10000 \cdot 0.293} = 63.346 \mu F$$

Vrijednosti izračunatih kapaciteta i induktiviteta su pretpostavljeni kao najmanji iznos koji se treba koristiti. U tablici 1. izračunate su vrijednosti za slučaj izlazne snage od 1W, 1mW i 1μW koristeći relacije (8)-(13).

Izlazna snaga $P_{izl.}$	*1 W*	*1m W*	*1 μW*
Najviši ulazni napon $U_{ul.\ max}$	*1 V*	*1 V*	*1 V*
Najniži ulazni napon $U_{ul.\ min}$	*0.4 V*	*0.4 V*	*0.4 V*
Izlazni napon	*5 V*	*5 V*	*5 V*
Sklopna frekvencija	*10 kHz*	*10 kHz*	*10 kHz*
Korisnost	*90%*	*90%*	*90%*
Maksimalna struja na izlazu $I_{izl.\ max}$,	*0.2A*	*200 μA*	*0.2 μA*
Minimalni kut upravljanja	*0.928*	*0.928*	*0.928*
Valovitost struje na zavojnici	*0.3 A*	*300 μA*	*0.3 μA*
Induktivitet zavojnice	*266.667 μH*	*266.667 mH*	*266.667 H*
Valovitost napona na kondenzatoru	*0.293 V*	*262.778 μV*	*0.262 μV*
Kapacitet kondenzatora	*63.346 μF*	*70.63 μF*	*70.84 μF*

Tablica 1. izračun parametara za različite izlazne snage

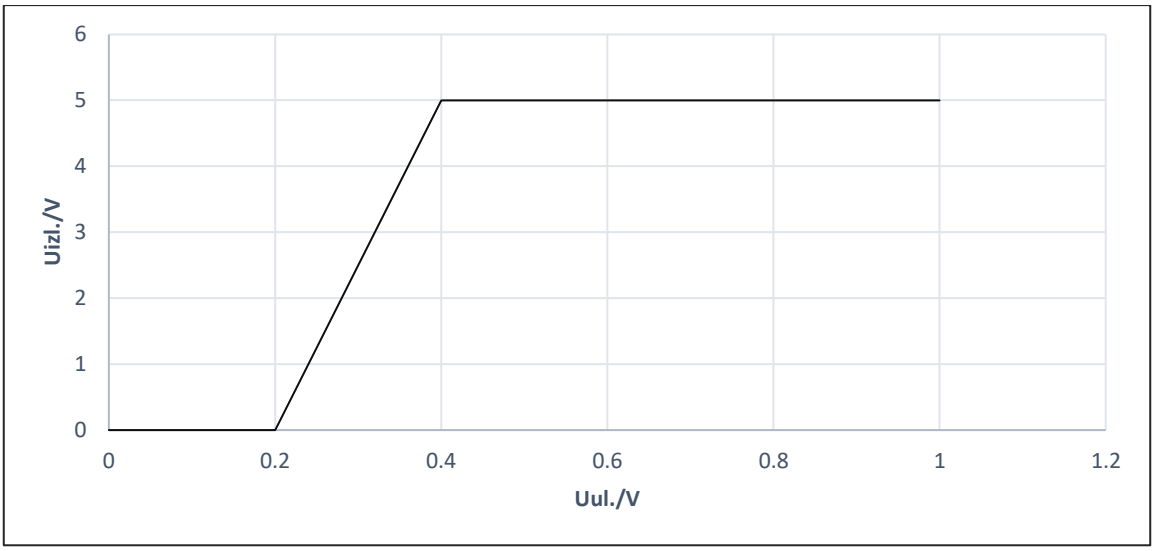
Promotrimo li tablicu 1. možemo primjetiti kako promjenom trošila na izlazu, trošila manje snage, zahtijeva puno veću vrijednost induktiviteta pri nepromjenjenim parametrima frekvencije i ulaznog napona zadanih na početku poglavlja 4. Vrijednosti induktiviteta dosežu visoku vrijednost zbog potrebe niske struje na izlazu zbog niže snage na izlazu, dok vrijednost napona ostaje na vrijednosti od 5V. Zanimljivo je kako vrijednost kapaciteta na izlazu C_d ostaje gotovo nepromjenjena.

5. Izbor komponenti i izrada modela u programu Multisim

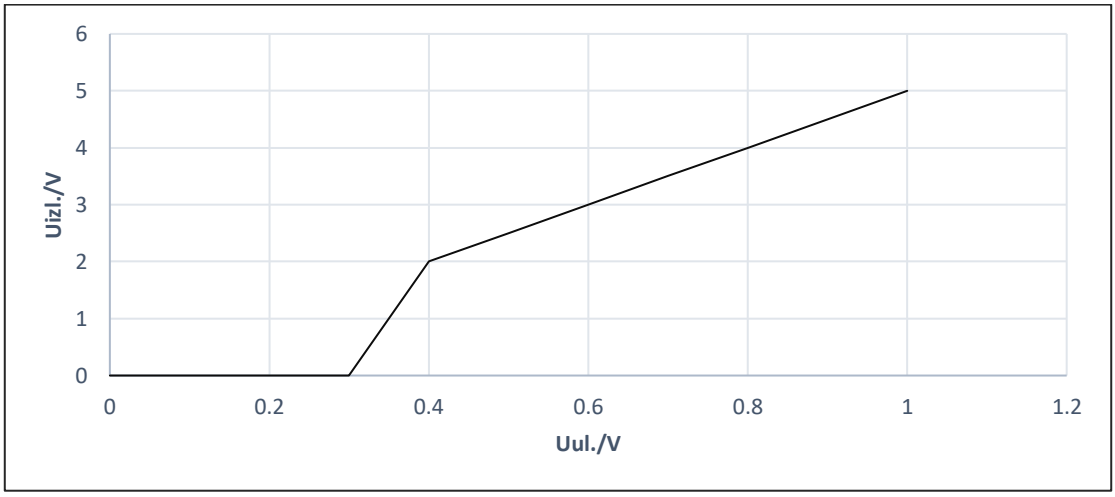
Kod izbora pojedinih komponenti potrebno je uzeti u obzir određene parametre, no zbog ograničenosti u izboru zbog samoga programa koji se koristi, uzimamo najprihvatljivije. Izvor E predstavljen je istosmjernim naponskim izvorom, čiji napon mijenjamo između 0.4V (ograničenje zbog napona praga MOSFET-a) i 1V. Vrijednost otpora na izlazu je 25 Ω. Vrijednost induktiviteta zavojnice L_E zaokružujemo na prvi najbliži iznos koji je viši od onoga izračunatoga , a to je 270μF. Ventil V_1 realiziran je MOSFET-om, a kod njegovog odabira je najbitniji podatak napon praga između gate-a i source-a. Taj napon praga mora biti što niži zbog niskog ulaznog napona. Izabrani MOSFET je N-kanalni MOSFET BSH105 i njegove karakteristike dane su u tablici 2.

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	TYP.	MAX.	UNIT
$V_{(BR)DSS}$	Drain-source breakdown voltage	V_{GS} = 0 V; I_D = 10 μA	20	-	-	V
$V_{GS(TO)}$	Gate threshold voltage	V_{DS} = V_{GS}; I_D = 1 mA	0.4	0.57	-	V
		T_j = 150˚C	0.1	-	-	V
$R_{DS(ON)}$	Drain-source on-state resistance	V_{GS} = 4.5 V; I_D = 0.6 A	-	140	200	mΩ
		V_{GS} = 2.5 V; I_D = 0.6 A	-	180	250	mΩ
		V_{GS} = 1.8 V; I_D = 0.3 A	-	240	300	mΩ
		V_{GS} = 2.5 V; I_D = 0.6 A; T_j = 150˚C	-	270	375	mΩ
g_{fs}	Forward transconductance	V_{DS} = 16 V; I_D = 0.6 A	0.5	1.6	-	S
I_{GSS}	Gate source leakage current	V_{GS} = ±8 V; V_{DS} = 0 V	-	10	100	nA
I_{DSS}	Zero gate voltage drain current	V_{DS} = 16 V; V_{GS} = 0 V;	-	50	100	nA
		T_j = 150˚C	-	1.3	10	μA
$Q_{g(tot)}$	Total gate charge	I_D = 1 A; V_{DD} = 20 V; V_{GS} = 4.5 V	-	3.9	-	nC
Q_{gs}	Gate-source charge		-	0.4	-	nC
Q_{gd}	Gate-drain (Miller) charge		-	1.4	-	nC
$t_{d\ on}$	Turn-on delay time	V_{DD} = 20 V; I_D = 1 A;	-	2	-	ns
t_r	Turn-on rise time	V_{GS} = 8 V; R_G = 6 Ω	-	4.5	-	ns
$t_{d\ off}$	Turn-off delay time	Resistive load	-	45	-	ns
t_f	Turn-off fall time		-	20	-	ns
C_{iss}	Input capacitance	V_{GS} = 0 V; V_{DS} = 16 V; f = 1 MHz	-	152	-	pF
C_{oss}	Output capacitance		-	71	-	pF
C_{rss}	Feedback capacitance		-	33	-	pF

Tablica 2. Električne karakteristike MOSFET-a BSH105



Slika 5. 1 Grafički prikaz izlaznog napona o ulaznom naponu s promjenom kuta upravljanja



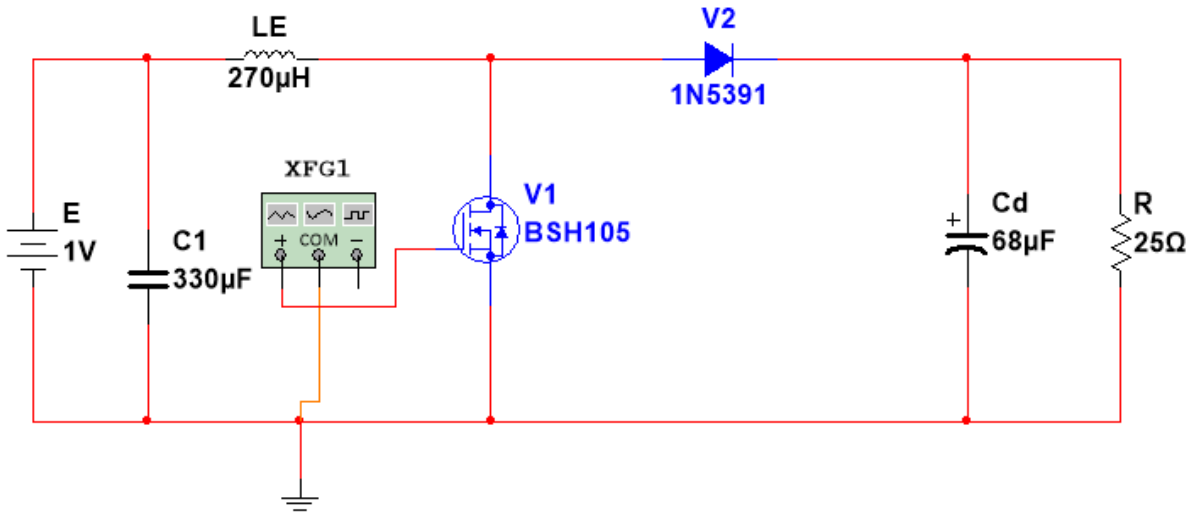
Slika 5. 2 Grafički prikaz izlaznog napona u ovisnosti o ulaznom naponu pri konstantnim kutom upravljanja α=0.8

U tablici 3. nalazi se popis svih komponenti bitnih za rad pretvarača.

Naziv komponente	*Oznaka*	*Vrijednost komponente*
Otpornik	*R*	*25 Ω*
N-kanalni MOSFET	*V1*	*20V / 1.05A*
Schottky dioda	*V2*	*50V / 1.5A*
Elektrolitski kondenzator	C_d	*330μF / 16V*
Zavojnica	L_E	*270μH*

Tablica 3. Oznake komponenata i njihove vrijednosti

Ventil V_2 realiziran je ispravljačkom diodom 1N5391, a jedini podatak na koji se treba paziti je maksimalna struja. Kod takve diode maksimalna struja koju ona može podnijeti je 1.5A, što je više nego dovoljno jer je najviši očekivani iznos struje na izlazu 0.2A. Kapacitet kondenzatora C_d određen je u proračunu, a za njegova vrijednost u modelu iznosi 68μF.



Slika 5. 3 Shematski prikaz modela uzlaznog pretvarača

Na slici 5.3. možemo vidjeti da se na izvoru nalazi kondenzator C1, a njegova svrha je da stabilizira napon izvora napajanja E. Ventil V1, u ovom slučaju MOSFET BSH105, biti će upravljan pomoću generatora funkcija, koji će biti postavljen da na izlazu daje pravokutni napon frekvencije 10kHz i vrijednosti napona kao i izvor. Način upravljanja uzlaznog pretvarača biti će promjenom vremena vođenja MOSFET-a kako bi na izlazu, ovisno o ulaznom naponu, imali željeni iznos napona i to što bliži naponu od 5V. Upravljanje MOSFET-om nije moguće ostvariti korištenjem komponente NE555, poznatiju kao timer 555 zbog niskog napona izvora E koji nije dovoljan za napajanje samog oscilatora. Upravljanje MOSFET-a pomoću astabilnog multivibratora također nije ostvarivo zbog velike disipacije.

6. Analiza promjene parametara na izlazni napon

U nastavku biti će se mijenjati vrijednosti induktiviteta zavojnice L_E, kapaciteta kondenzatora C_d te frekvencije rada uzlaznog pretvarača f_s. Pri tim promjenama biti će očitane vrijednosti napona i struje na izlazu, struje kroz zavojnicu L_E i napona na kondenzatoru C_d. Vrijednost izlaznog napona biti će prikazana na dijagramu u ovisnosti o promjenjenom parametru te će sve vrijednosti biti prikazane i tablično.

6.1. Ovisnost izlaznog napona o promjeni induktiviteta zavojnice L_E

U ovom potpoglavlju mijenjat će se induktivitet zavojnice L_E i promatrati promjena napona na izlazu. Sklopna frekvencija ostati će nepromjenjena iznosa 10kHz. Kut upravljanja α ostaje nepromjenjen i iznosi 0.83. Postavke osciloskopa postavljene su tako da je vremenska baza 5 ms/podjeljku i amplitudna baza 5 V/podjeljku.

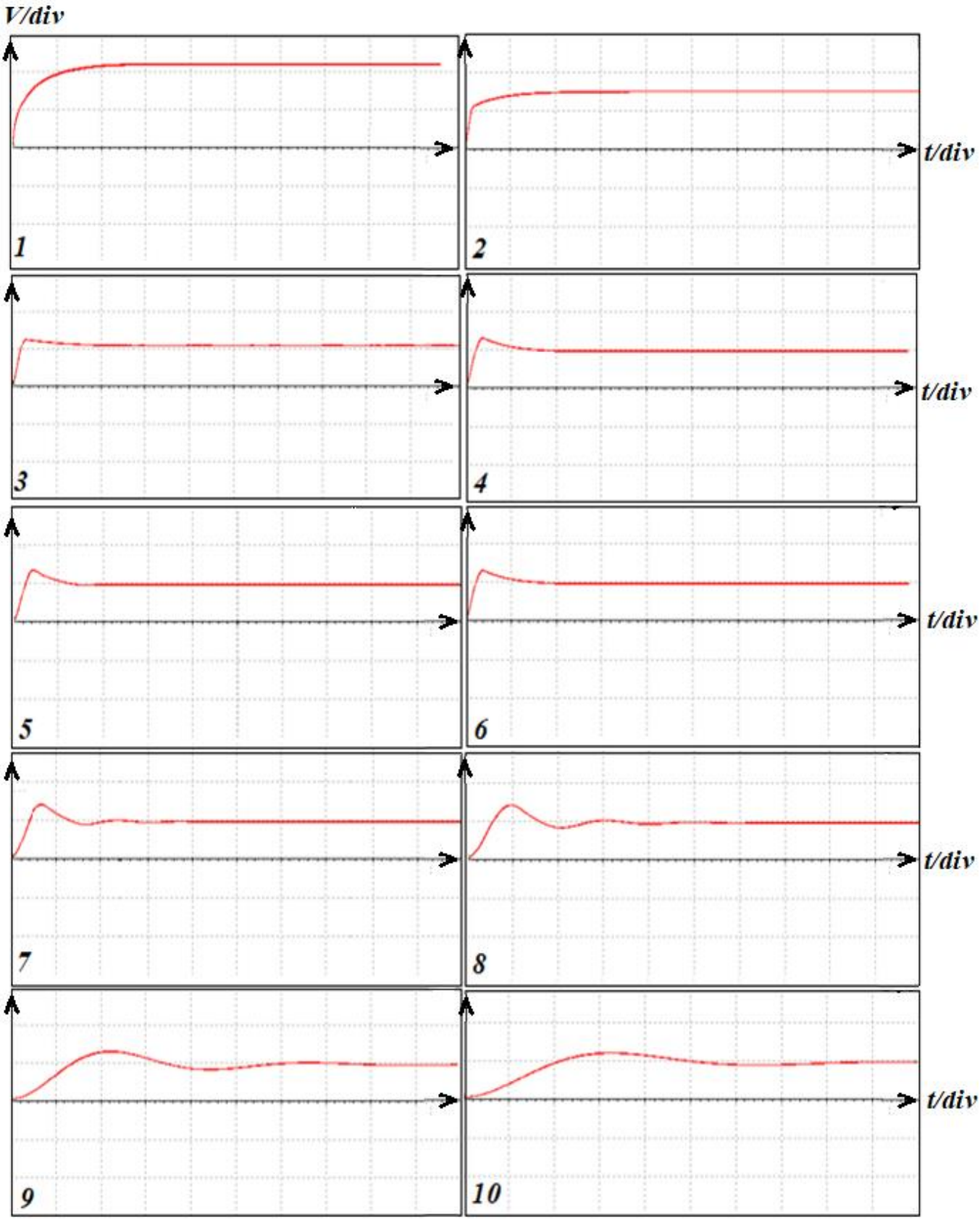
Vrijednost induktiviteta	*Vrijednost izlaznog napona*	*Redni broj dijagrama*
10μH	*11 V*	*1*
50 μH	*7.5 V*	*2*
100 μH	*5.437 V*	*3*
150 μH	*4.87 V*	*4*
200 μH	*4.85 V*	*5*
270 μH	*4.8 V*	*6*
500 μH	*4.8 V*	*7*
1 mH	*4.8 V*	*8*
5 mH	*4.8 V*	*9*
10 mH	*4.8 V*	*10*

Tablica 4. Vrijednosti napona nakon promjene induktiviteta

Iz tablice 4. može se vidjeti kako izlazni napon ovisi o promjeni induktiviteta. Napon za jako male iznose induktiviteta biti će viši zbog konstitutivne relacije za zavojnicu koja glasi:

$$U_L = L \cdot \frac{di_L}{dt} \tag{14}$$

Promjena struje na zavojnici biti će veća što je induktivitet zavojnice manji i zato se na izlazu javlja viši napon. Prema slici 6.1. vidimo da povećanjem induktiviteta javljaju se sve veće oscilacije izlaznog napona te se on sve sporije ustaljuje na konačnu vrijednost. To se javlja zbog velikog induktiviteta jer je potrebno puno vremena dok se zavojnica dovoljno magnetizira kako bi poslala skladištenu energiju prema izlazu. Promjenom induktiviteta zaključujemo kako se izlazni napon može promjeniti, no ako je iznos induktiviteta previsok, izlazni napon će jako sporo doseći svoju konaćnu vrijednost te ako je induktivitet prenizak, poteći će jako visoka struja magnetiziranja i na izlazu se javlja visoki napon.



Slika 6.1. Grafički prikaz izlaznog napona za različite verijednosti induktiviteta L_E gdje je podjela napona 10 V/podjeljku, a vrijeme 2 ms/podjeljku

6.2. . Ovisnost izlaznog napona o promjeni frekvencije

Frekvencijom rada uzlaznog pretvarača mijenja se broj uklapanja i isklapanja MOSFET-a. U ovom potpoglavlju mijenjat će se frekvencija, a vrijednosti ostalih parametara neće se mijenjati. Ovisnost napona na izlazu o frekvenciji biti će prikazana grafički i tablično. Postavke osciloskopa postavljene su tako da je vremenska baza 20 ms/podjeljku i amplitudna baza 5 V/podjeljku.

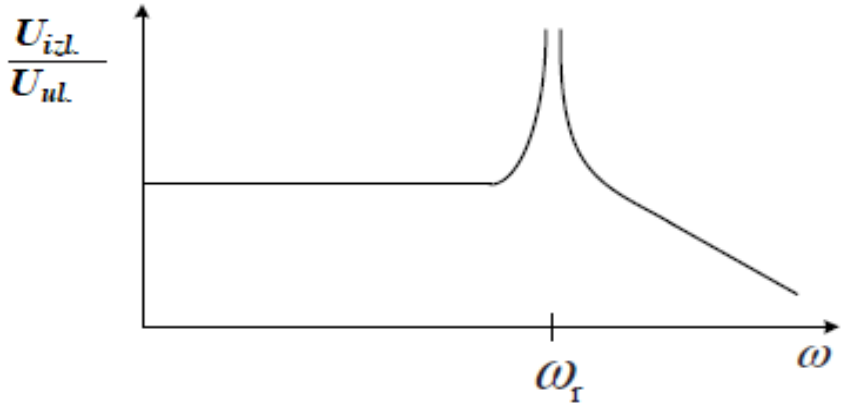
Frekvencija	*Izlazni napon*	*Redni broj dijagrama*
10 Hz	*1.18 V*	*1*
100Hz	*3.064 V*	*2*
1 kHz	*9.337 V*	*3*
5 kHz	*5.54V*	*4*
10 kHz	*5.3 V*	*5*
20 kHz	*5.15 V*	*6*
50 kHz	*4.86 V*	*7*
100 kHz	*4.2 V*	*8*

Tablica 5. Vrijednosti napona nakon promjene sklopne frekvencije f_s

Promjenom frekvencije se vidno utječe na izlazni napon. Pogledamo li dijagrame pod rednim brojem 1 i 2 vidimo kako je frekvencija preniska i da se kondenzator na izlazu C_d postepeno prazni te je napon u jednom trenutku pada na nulu. Na dijagramu 3 vidimo kako je napon na izlazu veoma visok i to dvostruko viši od očekivanog napona. Takva pojava se javlja zbog pojave rezonancije u krugu. Rezonantna frekvencija dobije se jednadžbom:

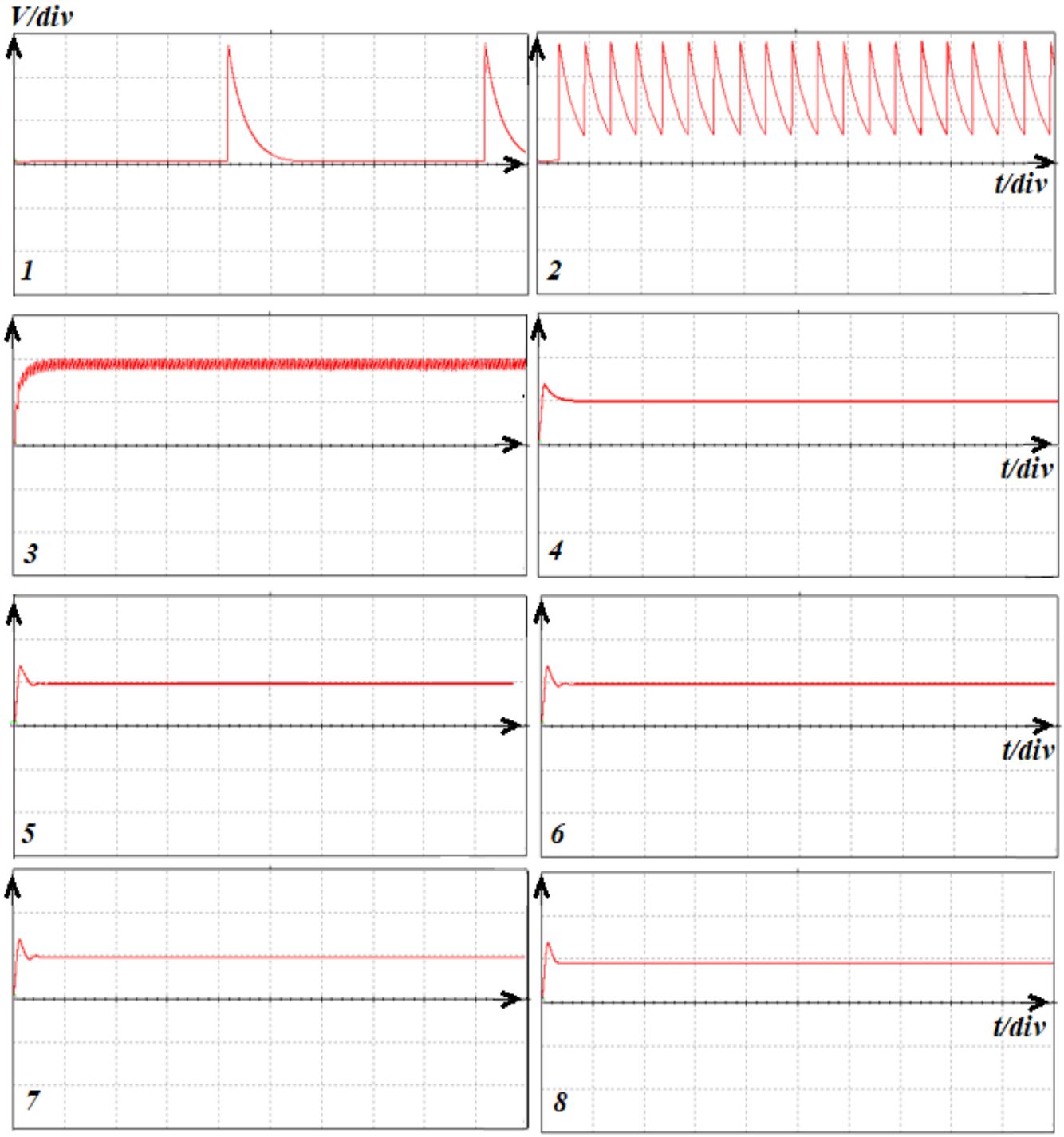
$$\omega_r = \frac{1}{\sqrt{L_E \cdot C_d}} \tag{15}$$

Takav tip uzlaznog pretvarača naziva se rezonantni ulazni pretvarač [4] i kod takvog pretvarača karakteristična je pojava veoma visokog napona na izlazu.



Slika 6.2. Ovisnost omjera izlaznog i ulaznog napona o promjeni frekvencije

Daljnim povećanjem sklopne frekvencije ne utječe se bitno na izlazni napon, no njegova vrijednost na početku oscilira i tek nakon nekog vremena ustali se na konstantnu vrijednost. Trajanje oscilacija ovisi o vrijednosti sklopne frekvencije, što znaći da što je frekvencija višlja, to će se napon na izlazu sporije ustaliti. Isto tako napon na izlazu polako opada povećanjem frekvencije, a to se događa zbog brzog izbijanja kondenzatora na izlazu te zbog malog vremena skladištenja energije u zavojnici. Povećanjem frekvencije valovitost struje ΔI_L se smanjuje, a vrijednost induktiviteta zavojnice L_E ne mijenja i to rezultira nižim naponom na izlazu od očekivanog te prema jednadžbi (14) možemo vidjeti kako su napon na zavojnici i valovitost struje u proporcionalnom odnosu.



Slika 6.3. Grafički prikaz izlaznog napona za različite sklopne frekvencije f_s, gdje je podjela napona 5 V/podjeljku, a vrijeme 20 ms/podjeljku

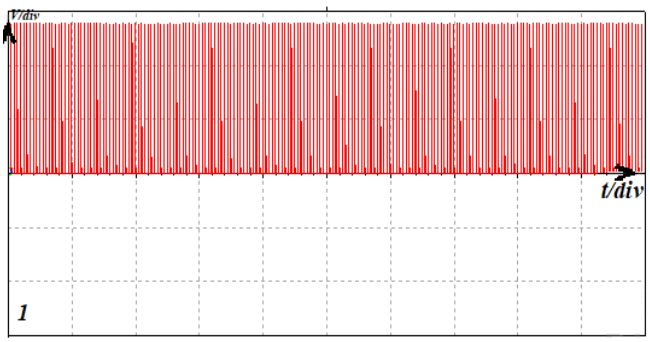
6.3. Ovisnost izlaznog napona o promjeni vrijednosti kapaciteta kondenzatora C_d

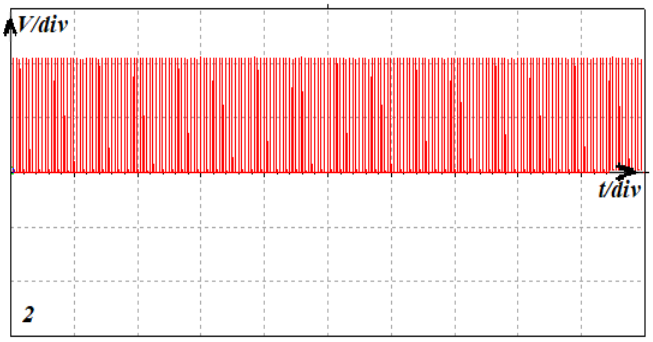
Kondenzator C_d na izlazu uzlaznog pretvarača služi za glađenje izlaznog napona i zaslužan je za povišenje napona. Vrijednost kapaciteta mijenjet ćemo kako bi smo dobili uvid o njegovom djelovanju. Postavke osciloskopa postavljene su tako da je vremenska baza 2 ms/podjeljku i amplitudna baza 10 V/podjeljku. Ostali parametri neće se mijenjati, a njihove vrijednosti biti će postavljene na vrijednosti izračunate u poglavlju 4.

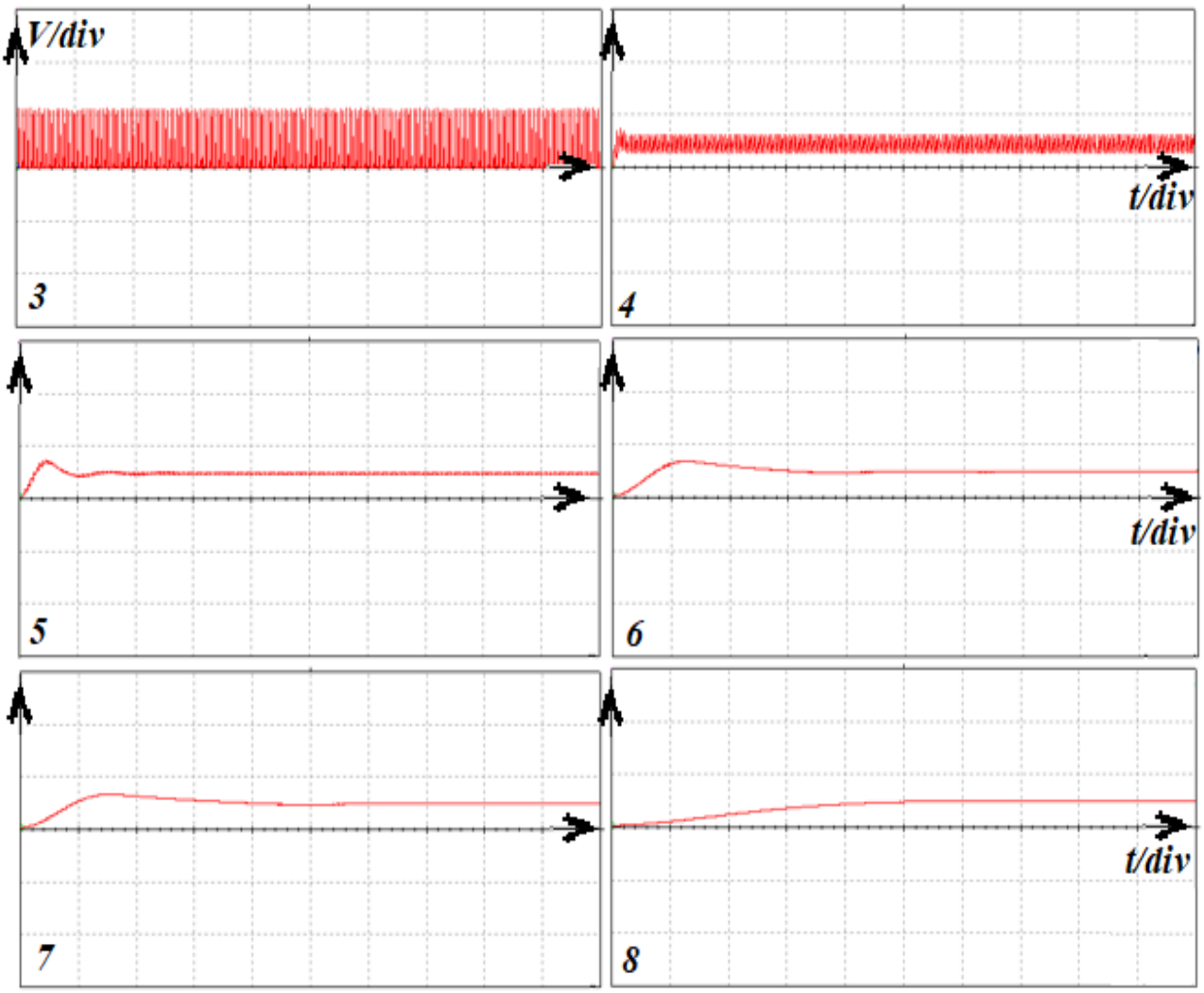
Vrijednost kapaciteta	*Vrijednost izlaznog napona*	*Redni broj dijagrama*
1 nF	*0.85 V*	*1*
10 nF	*0.87 V*	*2*
100 nF	*1.82 V*	*3*
1 μF	*4.33 V*	*4*
10 μF	*4.87 V*	*5*
68 μF	*4.9 V*	*6*
100 μF	*4.85 V*	*7*
1 mF	*4.9 V*	*8*

Tablica 6. Vrijednosti napona nakon promjene vrijednosti izlaznog kapaciteta C_d

Promjenom kapaciteta kondenzatora C_d na vrijednost niže od izračunate u poglavlju 4, napon na izlazu je niži i zbog niskog kapaciteta kondenzatora koji se prazni brže. Za vrijednost napona uzeta je srednja vrijednost te se na grafu 1, 2, 3 i 4 može vidjeti izbijanje kondenzatora i u određenom vremenu napon pada na 0. Povećanjem kapaciteta kondenzatora iznad 68 μF ne uočavaju se bitnije promjene iznosa izlaznog napona osim što je potrebno neko vrijeme da napon dosegne konačnu vrijednost.







Slika 6. 4. Grafički prikaz izlaznog napona za različite vriednosti kapaciteta C_d, gdje je podjela napona 10 V/podjeljku, a vrijeme 2 ms/podjeljku

7. Zaključak

U ovom završnom radu izrađen je model uzlaznog pretvarača koji radi s ulaznim naponom do 1V. Napravljen je proračun parametara koji su bitni za rad pretvarača i određene vrijednosti komponenti. U režimima rada postavljene su matematičke jednadžbe koje opisuju vladanje pretvarača te su postavljeni valni oblici napona i struje koji vladaju na zavojnici L_E i kondenzatoru C_d, te je postavljena upravljačka karakteristika uzlaznog pretvarača. Ventil V_1 u ovom modelu realiziran je N-kanalnim MOSFET-om koji predstavlja naponom upravljanu sklopku. Kod izbora MOSFET-a bitan je što niži napon praga zbog niskog ulaznog napona. Problem je predstavljala sama izrada oscilatora za upravljanje MOSFET-om čija frekvencija rada bi trebala iznositi 10kHz te bi napon upravljanja trebao biti kvadratnog oblika s mogućnošću promjene duty cycle-a, a napajanje oscilatora bi se vršilo preko izvora E čija vrijednost je niska za korištenje kristalnih oscilatora, oscilatora s komponentom NE555 i astabilnog multivibratora. Ograničenje pri izradi modela predstavljao je korišteni program, koji u svojoj bazi komponenata nije sadržavao komponente koje bi bile praktičnije za korištenje. Vrijednosti izlaznog napona nakon promjene sklopne frekvencije, induktiviteta zavojnice L_E i izlaznog kapaciteta C_d prikazane su tablično i grafički. Promjenom sklopne frekvencije pretvarača uočava se karakteristična frekvencija koja daje visok napon na izlazu, napon viši od očekivanog. Mijenjanjem induktiviteta zavojnice L_E na vrijednosti ispod izračunate uočavamo porast napona, a to se događa zbog velike promjene struje kroz zavojnicu iako je napon na zavojnici proporcionalan induktivitetu. Promjenom kapaciteta kondenzatora C_d na niže vrijednosti napon na izlazu postaje promjenjiv, dok se povećanjem kapaciteta napon bitnije ne mijenja.

LITERATURA

[1] S. Roberts, DC/DC book of knowledge, RECOM Engineering GmbH & Co KG, Austria, 2015.

[2] B. Hauke, Basic Calculation of a Boost Converter's Power Stage, Texas instruments, 2009., dostupno na:
https://www.google.com/url?sa=t&source=web&rct=j&url=http://www.ti.com/lit/an/slva372c/slva372c.pdf&ved=2ahUKEwiXwur2xp7kAhVBx4sKHXYGBgAQFjAAegQIARAB&usg=AOvVaw0L4CHbLo3ccLQmw3mwwl2N&cshid=1566754434412

[3] H. Kovačević, OVISNOST REŽIMA RADA UZLAZNOG PRETVARAČA O SKLOPNOJ FREKVENCIJI, Zagreb, rujan 2013.

[4] G. Simeonov Resonant Boost Converter for Distributed Maximum Power Point Tracking in Grid-Connected Photovoltaic Systems, University of Toronto, 2010.

SAŽETAK

U ovom završnom radu izrađena je simulacijski model uzlaznog pretvarača za ulazne napone do 1V. Izvršeno je postavljenje jednadžbi za kontinuirani i diskontinuirani režim rada, te je postavljena upravljačka karakteristika. Napravljen je proračun vrijednosti za izbor zavojnice i izlaznog kondenzatora uzlaznog pretvarača. Izvršena su mjerenja promjene napona na izlazu u ovisnosti o promjeni sklopne frekvencije, induktiviteta zavojnice i kapaciteta kondenzatora na izlazu na modelu u programu Multisim.

Ključne riječi: uzlazni pretvarač, ventil, MOSFET, izlazni napon, induktivitet, kapacitet, sklopna frekvencija

ABSTRACT

In this undergraduate thesis, a simulation model of an inverter for input voltages up to 1V was made. The equations for continuous and discontinuous operation were calculated and solved and a control characteristic was set. A value calculation was made for selection of the coil and output capacitor of the step-up booster. Measurements of the voltage change at the output were made depending on the change in switching frequency, inductance and the capacitance change of the output on the model in the Multisim program were performed.

Keywords: boost converter, valve, MOSFET, output voltage, inductance, capacitance, switching frequency

ŽIVOTOPIS

Rođen 20. studenoga 1997. u Slavonskom Brodu, trenutno prebivalište je u Garčinu, selu u blizini grada Slavonskog Broda. Pohađao je osnovnu školu „Vjekoslav Klaić“ u Garčinu te završio s odličnim uspjehom. Nakon toga upisuje Tehničku Školu Slavonski Brod koju također završava s odličnim uspjehom i stječe znanje za zanimanje elektrotehničar 2016. godine. Iste godine upisuje preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike na Fakultetu elektrotehnike, računarstva i informacijskih tehnologija u Osijeku, a 2017. godine se usmjerava na elektroenergetiku. Od stranih jezika priča engleski, trenutno na razini B2. Od računalnih vještina ima dobro poznavanje rada u programu MatLab, AutoCad, MicrosoftOffice alatima.

PRILOZI

Prilog 1. Stranica podatkove tablice (eng. *data-sheet*) za MOSFET BSH105

Prilog 2. Prva stranica podatkovne tablice (eng. *data-sheet*) za diodu 1N5391

Prilog 1. Stranica podatkove tablice (eng. *data-sheet*) za MOSFET BSH105

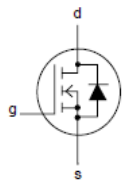
N-channel enhancement mode MOS transistor

BSH105

FEATURES

- Very low threshold voltage
- Fast switching
- Logic level compatible
- Subminiature surface mount package

SYMBOL



QUICK REFERENCE DATA

V_{DS} = 20 V

I_D = 1.05 A

$R_{DS(ON)} \leq 250$ mΩ (V_{GS} = 2.5 V)

$V_{GS(TO)} \geq 0.4$ V

GENERAL DESCRIPTION

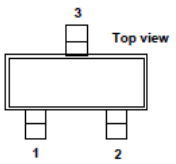
N-channel, enhancement mode, logic level, field-effect power transistor. This device has very low threshold voltage and extremely fast switching making it ideal for battery powered applications and high speed digital interfacing.

The BSH105 is supplied in the SOT23 subminiature surface mounting package.

PINNING

PIN	DESCRIPTION
1	gate
2	source
3	drain

SOT23



LIMITING VALUES

Limiting values in accordance with the Absolute Maximum System (IEC 134)

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	MIN.	MAX.	UNIT
V_{DS}	Drain-source voltage		-	20	V
V_{DGR}	Drain-gate voltage	R_{GS} = 20 kΩ	-	20	V
V_{GS}	Gate-source voltage		-	± 8	V
I_D	Drain current (DC)	T_a = 25 °C	-	1.05	A
		T_a = 100 °C	-	0.67	A
I_{DM}	Drain current (pulse peak value)	T_a = 25 °C	-	4.2	A
P_{tot}	Total power dissipation	T_a = 25 °C	-	0.417	W
		T_a = 100 °C	-	0.17	W
T_{stg}, T_j	Storage & operating temperature		- 55	150	°C

THERMAL RESISTANCES

SYMBOL	PARAMETER	CONDITIONS	TYP.	MAX.	UNIT
$R_{th\ j\text{-}a}$	Thermal resistance junction to ambient	FR4 board, minimum footprint	300	-	K/W

Prilog 2. Prva stranica podatkovne tablice (eng. *data-sheet*) za diodu 1N539

1N5391 THRU 1N5399

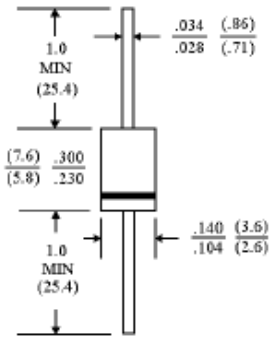
PLASTIC SILICON RECTIFIER

VOLTAGE - 50 to 1000 Volts CURRENT - 1.5 Amperes

FEATURES

- Low cost
- High current capability
- High reliability
- Plastic package has Underwriters Laboratory Flammability Classification 94V-O utilizing Flame Retardant Epoxy Molding Compound
- 1.5 ampere operation at T_L=70 •• with no thermal runaway
- Exceeds environmental standards of MIL-S-19500/228
- Low leakage

DO-15



Dimensions in inches and (millimeters)

MECHANICAL DATA

Case: Molded plastic , DO-15

Terminals: Plated axial leads, solderable per MIL-STD-202, Method 208

Polarity: Color band denotes cathode

Mounting Position: Any

Weight: 0.015 ounce, 0.4 gram

MAXIMUM RATINGS AND ELECTRICAL CHARACTERISTICS

Ratings at 25 •• ambient temperature unless otherwise specified.

Single phase, half wave, 60 Hz, resistive or inductive load.

For capacitive load, derate current by 20%.

	1N5391	1N5392	1N5393	1N5394	1N5395	1N5396	1N5397	1N5398	1N5399	UNITS
Maximum Recurrent Peak Reverse Voltage	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum RMS Voltage	35	70	140	210	280	350	420	560	700	V
Maximum DC Blocking Voltage	50	100	200	300	400	500	600	800	1000	V
Maximum Average Forward Rectified Current .375"(9.5mm) Lead Length at T_A=60 ••	1.5									A
Peak Forward Surge Current 8.3ms single half sine-wave superimposed on rated load (JEDEC method)	50									A
Maximum Forward Voltage at 1.5A	1.4									V
Maximum Reverse Current Rated T_A=25 ••	5.0									•• A
DC Blocking Voltage T_A=100 ••	500									•• A
Typical Junction capacitance (Note 1)	25									pF
Typical Thermal Resistance (Note 2)	26.0									••/W
Operating and Storage Temperature Range T_J,T_{STG}	-55 TO +150									••

NOTES:

1. Measured at 1 MHz and applied reverse voltage of 4.0 VDC.
2. Thermal Resistance Junction to Ambient and from junction to lead at 0.375"(9.5mm) lead length P.C.Board mounted.

PANJIT

1