

STABILIZIRANI IZVOR NAPAJANJA 1.2-30V, 1.5A REGULIRAN S LM317

Golubić, Monika

Undergraduate thesis / Završni rad

2021

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:200:925476>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-07-14**

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

**STABILIZIRANI IZVOR NAPAJANJA 1.2-30V, 1.5A REGULIRAN S
LM317**

Monika Golubić

Osijek, 2021.

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**Obrazac Z1P - Obrazac za ocjenu završnog rada na preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Osijek, 30.08.2021.

Odboru za završne i diplomske ispite

**Prijedlog ocjene završnog rada na
preddiplomskom sveučilišnom studiju**

Ime i prezime studenta:	Monika Golubić
Studij, smjer:	Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija
Mat. br. studenta, godina upisa:	4512, 23.07.2018.
OIB studenta:	36364931271
Mentor:	Prof. dr. sc. Denis Pelin
Sumentor:	Andrej Brandis
Sumentor iz tvrtke:	
Naslov završnog rada:	Stabilizirani izvor napajanja 1,2-30V, 1,5 A reguliran s LM317
Znanstvena grana rada:	Elektroenergetika (zn. polje elektrotehnika)
Predložena ocjena završnog rada:	Izvrstan (5)
Kratko obrazloženje ocjene prema Kriterijima za ocjenjivanje završnih i diplomskih radova:	Primjena znanja stečenih na fakultetu: 3 bod/boda Postignuti rezultati u odnosu na složenost zadatka: 2 bod/boda Jasnoća pismenog izražavanja: 3 bod/boda Razina samostalnosti: 2 razina
Datum prijedloga ocjene mentora:	30.08.2021.
Datum potvrde ocjene Odbora:	08.09.2021.
Potpis mentora za predaju konačne verzije rada u Studentsku službu pri završetku studija:	Potpis:
	Datum:

**FERIT**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA
I INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA OSIJEK**IZJAVA O ORIGINALNOSTI RADA**

Osijek, 22.09.2021.

Ime i prezime studenta:

Monika Golubić

Studij:

Preddiplomski sveučilišni studij Elektrotehnika i informacijska tehnologija

Mat. br. studenta, godina upisa:

4512, 23.07.2018.

Turnitin podudaranje [%]:

13

Ovom izjavom izjavljujem da je rad pod nazivom: **Stabilizirani izvor napajanja 1,2-30V, 1,5 A reguliran s LM317**

izrađen pod vodstvom mentora Prof. dr. sc. Denis Pelin

i sumentora Andrej Brandis

moj vlastiti rad i prema mom najboljem znanju ne sadrži prethodno objavljene ili neobjavljene pisane materijale drugih osoba, osim onih koji su izričito priznati navođenjem literature i drugih izvora informacija. Izjavljujem da je intelektualni sadržaj navedenog rada proizvod mog vlastitog rada, osim u onom dijelu za koji mi je bila potrebna pomoć mentora, sumentora i drugih osoba, a što je izričito navedeno u radu.

Potpis studenta:

SADRŽAJ

1. UVOD	1
1.1. Zadatak završnog rada	1
2. PREGLED PODRUČJA TEME	2
3. IZRADA SKLOPA.....	3
3.1. Opis rada sklopa.....	4
4. ANALIZA RADA JEDNOFAZNOG KAPACITIVNO OPTEREĆENOG NEUPRAVLJIVOG MOSNOG SPOJA	6
4.1. Određivanje napona diode	8
5. MJERENJE	11
5.1. Snimanje karakterističnih valnih oblika napona i struje	11
5.1.1. Valni oblici	12
5.2. Određivanje faktora stabilizacije	13
5.2.1. Izmjenični izvor napajanja.....	14
5.2.2. Napajanje iz fotonaponskog modula.....	17
5.3. Karakteristične vrijednosti trošila.....	20
6. ZAKLJUČAK.....	21
LITERATURA	22
SAŽETAK.....	23
ABSTRACT	23
ŽIVOTOPIS.....	24
Prilog 1. Integrirani krug LM317.....	25
Prilog 2. Određivanje faktora stabilizacije (izmjenično napajanje).....	25
Prilog 3. Fotonaponski modul Bisol BMO250	27

1. UVOD

Istražujući po internetu kako produbiti znanje o elektroničkim komponentama i sklopovima učinske elektronike naišlo se na jednostavni sklop poput stabiliziranog izvora napajanja. Stabilizirani izvor napajanja je električni uređaj koji povezuje izmjenični izvor s istosmjernim trošilom koje se priključuje na izlaz sklopa. Uz to, može regulirati izlazni napon. Ovaj sklop prije izrade potrebno je detaljno proučiti kako ne bi došlo do biranja pogrešnih komponenta u sklopu i kako se ne bi nacrtali krivi vodovi na tiskanoj pločici koja će se raditi.

Ovaj završni rad izrađen je kao nastavak izrade seminara iz kolegija „Osnove energetske elektronike“. Električna shema za završni rad preuzeta je s web stranice [1] i na temelju nje radi se tiskana pločica i odabiru se komponente.

Kako bi ovaj sklop mogao poslužiti i kao završni rad potrebno je napraviti temeljitija mjerenja uz bolja objašnjenja samog sklopa i odrađenih mjerenja. Sklop služi kao stabilizirani izvor napajanja i uz to kao regulator izlaznog napona. Pokazat će se kako izgledaju valni oblici napona i struje na ulaznom djelu sklopa te diodi koja je dio mosnog spoja. Za što bolje razumijevanje rada sklopa potrebno je analizirati rad kapacitivno opterećenog neupravljivog mosnog spoja te nakon provedenih mjerenja i dobivenih valnih oblika zaključiti što se događa u realnom sklopovlju. Sklop se zove stabilizirani izvor napajanja, pa je potrebno odrediti faktor stabilizacije, tj. pokazati u kojim točkama napona na trošilu će sklop držati najstabilniji napon.

1.1. Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je izraditi stabilizirani izvor napajanja 12V, 1.5A s pomoću integriranog kruga *LM317*. Opisati sklop. Odrediti mjerenja karakterističnih valnih oblika ulaznog ispravljača izvedenog u jednofaznom neupravljivom mosnom spoju. Odrediti faktor stabilizacije u više radnih točaka s obzirom na pretpostavljenu dopuštenu valovitost ulaznog napona. Usporediti dobivene rezultate mjerenjem s rezultatima analitičkog proračuna.

2. PREGLED PODRUČJA TEME

D.Pelin i ostali u praktikumu za laboratorijske vježbe [2] na kolegiju Osnove energetske elektronike opisuje ispravljače kao električke uređaje koji povezuju izmjeničnu pojnu mrežu i istosmjerno trošilo, pri čemu se energija prenosi od izmjenične pojne mreže prema istosmjernom trošilu te da su pretvaračke komponente neupravljivih ispravljača diode.

Prema [3] regulirano napajanje (stabilizirani napon) važan je uređaj koji može osigurati izmjeničnu ili istosmjernu struju raznoj elektroničkoj opremi te se trenutno koristi u većini elektroničkih uređaja i instrumenata.

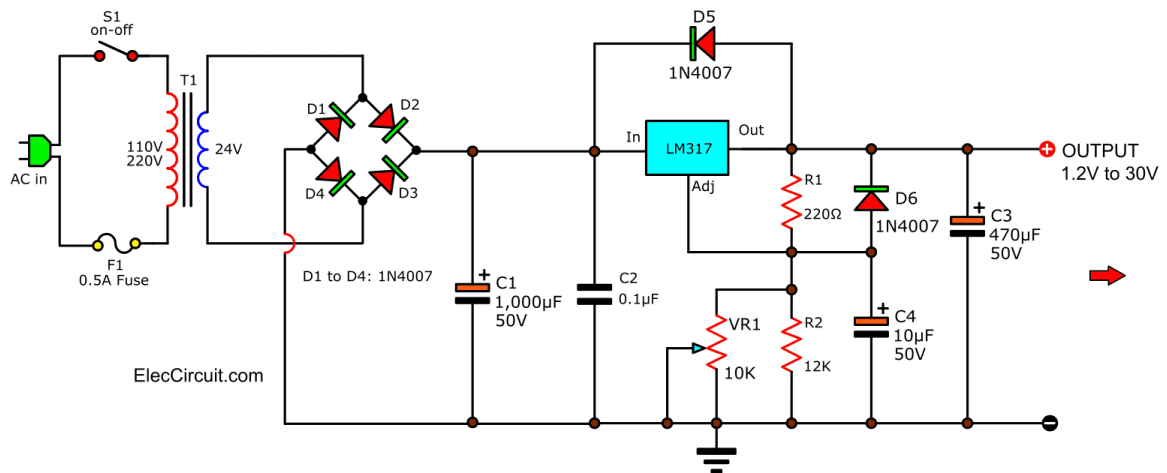
Dokument preuzet s mreže [4] potvrđuje da se regulirano napajanje koristi kako bi se osiguralo da izlazni napon ostane konstantan čak i ako se ulazni napon promijeni. Regulirano napajanje istosmjernom strujom također je poznato kao linearno napajanje. Regulirano napajanje prihvatit će na ulazu izmjenični napon i dati konstantni istosmjerni napon na izlazu.

J.Ciceran [5] u završnom radu govori o tome kako velika većina elektroničkih uređaja za svoj rad koristi istosmjernu struju i relativno niske napone, ali s uvjetom da su regulirani. Linearni regulirani izvor napajanja ima zadatak pretvorbe izmjenične vrijednosti ulaznog napona u istosmjernu vrijednost izlaznog napona pomoću ispravljača, te nakon toga vrši stabilizaciju izlaznog napona posredstvom sklopa za stabilizaciju.

LM317 je svestran u svojoj primjeni te se može koristiti kod programabilnog izlaza i pri lokalnoj regulaciji na samoj pločici. Spajanjem otpornika na terminale izlaz i namještanje dobije se funkcija preciznog regulatora struje, navodi Svoboda.J.[6]

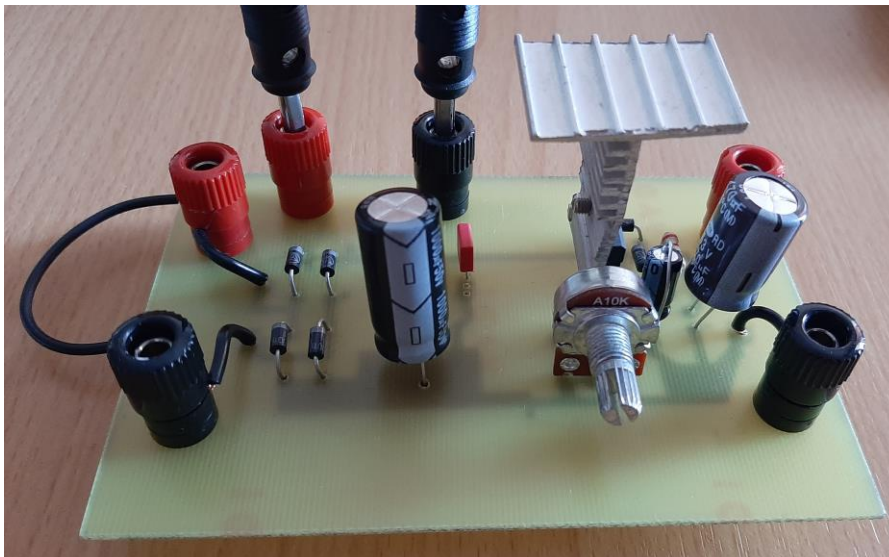
3. IZRADA SKLOPA

Nakon istraživanja o načinu rada stabiliziranog izvora napajanja po internetu preuzeta je električna shema sa [1] prikazana na slici 3.1. na temelju koje će se raditi tiskana pločica.



Sl. 3.1. Električna shema sklopa.

Na osnovu električne sheme potrebno je napraviti tiskanu pločicu i zalemiti sve potrebne komponente na nju. Izgled tiskane pločice nakon zalemljenih komponenta dan je na slici 3.2.



Sl. 3.2. Tiskana pločica.

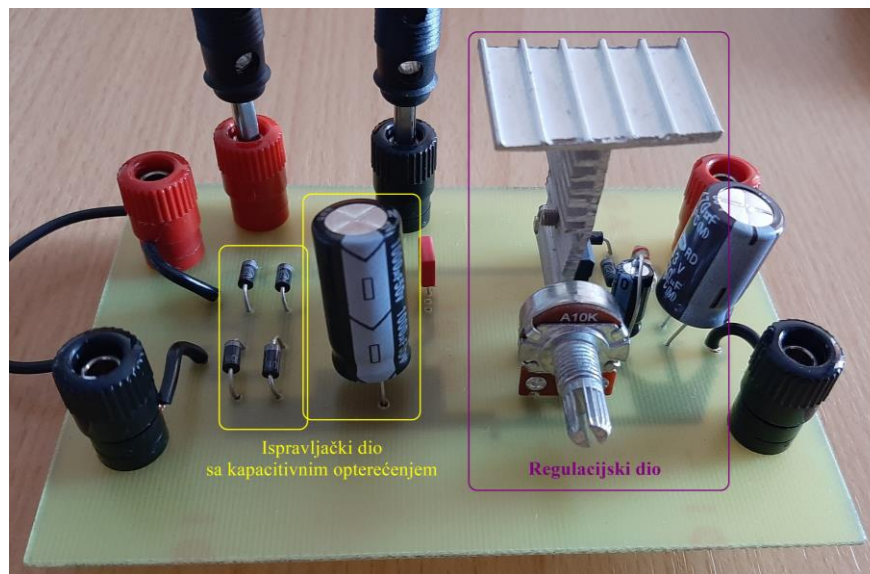
Korištene komponente:

- Diode 1N4007 (*D1, D2, D3, D4, D5, D6*).
- Kondenzator, elektrolitski 1000 μ F, 50V (*C1*).
- Kondenzator 0.1 μ F (*C2*).
- Kondenzator, elektrolitski 10 μ F, 50V (*C3*).
- Kondenzator, elektrolitski 470 μ F, 50V (*C4*).
- Otpornik 220 Ω (*R1*).
- Otpornik 12k Ω (*R2*).
- Potenciometar 10k Ω (*VR1*).
- *LM317* TO-220.

3.1. Opis rada sklopa

- Sklop se spaja na izvor napajanja koji može biti izmjeničan ili istosmjernan. U slučaju da je napajanje izmjenično (napon gradske mreže), potrebno je na ulaz spojiti transformator koji će napon gradske pojne mreže 230V, 50Hz pretvoriti u izmjenični napon odgovarajuće efektivne vrijednosti oko 24V kako ne bi došlo do oštećenja regulatora napona.
- Na izlaz se spaja programabilno trošilo RIGOL DL3021.
- Potencijetrom *VR1* se namještaju vrijednosti napona na izlazu 1.2 – 30V uz maksimalnu struju na izlazu do 1A.
- Maksimalna struja podešava se na programabilnom trošilu kao i ograničenje napona koje iznosi 30V.
- Na ulazu sklopa je mosni spoj četiri diode. Mosni spoj služi kao ispravljač.
- Kondenzator *C1* stabilizira ulazni ispravljeni napon.
- Vrijednost istosmjernog napona na kondenzatoru *C1* iznosi približno 30V.
- Kondenzator *C2* pomaže smanjenju osjetljivosti integriranog kruga *LM317* na promjenu napona napajanja.
- Diode *D5* i *D6* koriste se kao zaštita za integrirani krug *LM317* od vraćanja vanjskog, negativnog napona natrag prema ulazu.
- *C3* je izlazni kondenzator za smanjenje valovitosti napona.
- Otpori *R1* i *R2* su regulatori opterećenja.
- Integrirani krug *LM317* je varijabilni regulator napona.

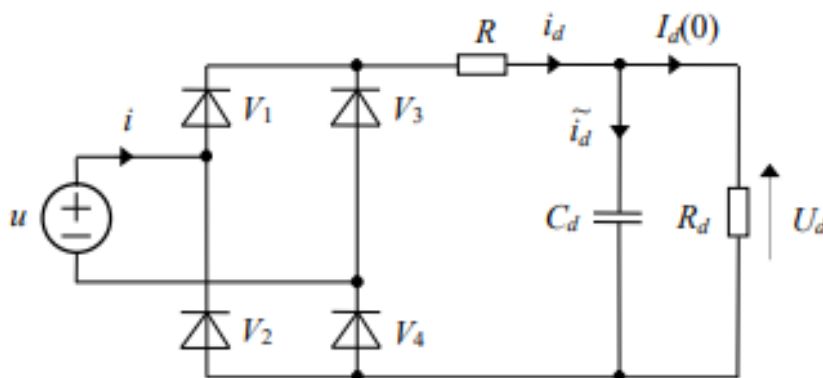
Stabilizator napajanja sastoji se od dva dijela, a to su ispravljač i regulator. Ispravljač se modelira kao kapacitivno opterećeni neupravljivi mosni spoj, a regulator služi za podešavanje i stabilizaciju izlaznog napona. Na slici 3.3. ljubičasto je prikazan regulacijski dio koji čine integrirani krug *LM317* koji je temelj regulacijskog dijela te otpornici koji se spajaju uz njega, također u regulacijski dio spada i potenciometar pomoću kojeg se namješta napon trošila. Žutim je prikazan ispravljački dio. Razumijevanje rada ispravljačkog dijela temelji se na modelu kapacitivno opterećenog neupravljivog mosnog spoja.



Sl. 3.3. Istaknuti dijelovi stabiliziranog izvora napajanja.

4. ANALIZA RADA JEDNOFAZNOG KAPACITIVNO OPTEREĆENOG NEUPRAVLJIVOG MOSNOG SPOJA

Pretvaračke komponente modelirane su idealnim diodama. Trošilo se smatra naponskim izvorom U_d (jer za kapacitet i otpor trošila vrijedi $(C_d R_d \gg T_s)$), slika 4.1. Pojna mreža modelira se izmjeničnim naponskim izvorom uz zanemarivanje otpornosti i induktivnosti pojne mreže. Linearnim otporom R modeliran je NTC otpornik, koji se pokazao najboljim tehničkim rješenjem za smanjenja udarne struje uklapanja. U trenutku uključivanja na pojnu mrežu vrijednost otpornosti iznosi nekoliko desetaka oma, čime se ograničava struja uklapanja. Za provođenje analize, u ustaljenom stanju, smatra se da otpornost iznosi nekoliko oma, čime se bitno ne povećavaju gubici ispravljača. Dio trošila modeliran je nelinearnim otporom R_d takve $i - u$ karakteristike da vrijedi $U_d I_d(0) = \text{konst.}$, tj. $R_d = k U_d^2$. [7]



Sl. 4.1. Nadomjesna shema kapacitivno opterećenog jednofaznog mosnog spoja.

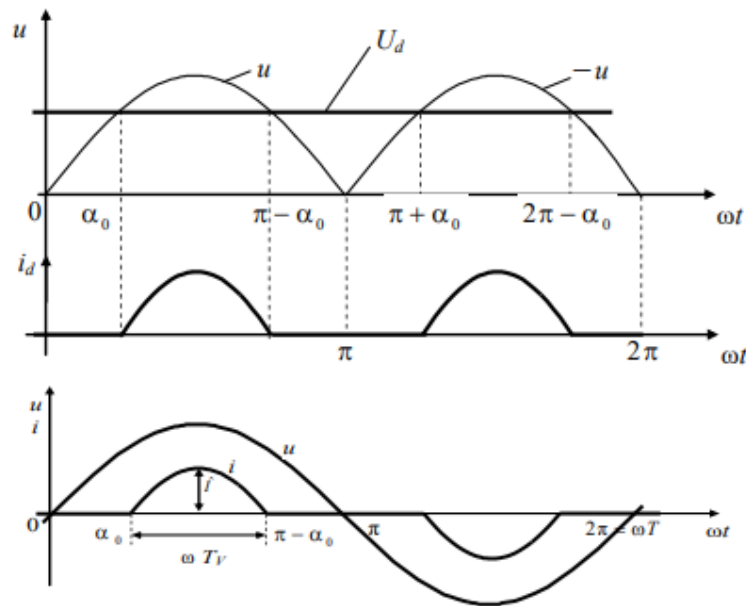
Prethodno navedene pretpostavke bitno pojednostavljuju analizu rada. Struja trošila je diskontinuirana. Par dioda ($V1$ i $V4$) vodi za vrijeme pozitivne poluperiode izmjeničnog napona samo u intervalu $\alpha_0 \leq \omega t \leq \pi - \alpha_0$ kad je izmjenični napon pojne mreže veći od napona trošila U_d , slika 4.2.. Pri čemu je:

$$\alpha_0 = \arcsin \frac{U_d}{\hat{U}} \quad (4-1)$$

dok je valni oblik struje trošila u tom intervalu dan izrazom:

$$i_d = \frac{u - U_d}{R} = \frac{\hat{U} \sin \omega t - U_d}{R} \quad (4-2)$$

Drugi par dioda (V2 i V3) vodi za vrijeme negativne poluperiode izmjeničnog napona u intervalu $\pi + \alpha_0 \leq \omega t \leq 2\pi - \alpha_0$.



Sl. 4.2. Karakteristični valni oblici kapacitivno opterećenog jednofaznog mosnog spoja.

Na slici 4.2. s T_V označeno je trajanje vođenja jednog ventilskog para. Prema slici je $\omega T_V = \pi - 2\alpha_0$, pa je uz $\omega = 2\pi/T$ i koristeći izraz (4-1):

$$\frac{T_V}{T} = \frac{1}{2} - \frac{1}{\pi} \arcsin \frac{U_d}{\hat{U}} \quad (4-3)$$

Tipične su vrijednosti trajanja vođenja ventilskog para u tehničkim primjenama $2 \text{ ms} < T_s < 3 \text{ ms}$.

Za srednju vrijednost struje trošila vrijedi:

$$I_d(0) = \frac{1}{\pi} \int_{\alpha_0}^{\pi - \alpha_0} \frac{\hat{U} \sin \omega t - U_d}{R} d\omega t = \frac{U_d}{R_d} \quad (4-4)$$

Nakon integriranja uz izjednačavanje i korištenjem izraza (4-1) i (4-3), dobivena je vrijednost napona trošila:

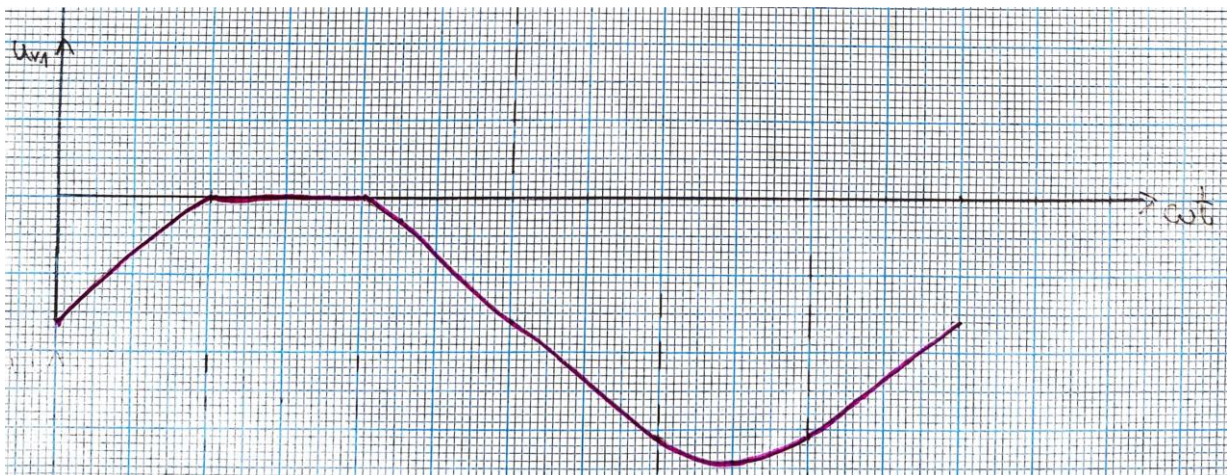
$$U_d = \hat{U} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{\pi^2}{4} \left(2 \frac{T_V}{T} + \frac{R}{R_d} \right)}} \quad (4-5)$$

Znajući izraz za struju (4-2), određuje se struja pojne mreže i . Unutar poluperiode napona pojne mreže $u = \hat{U} \sin \omega t$, $0 \leq \omega t \leq \pi$, valni se oblik struje pojne mreže može s dovoljnom točnosti opisati izrazom:

$$i = \begin{cases} 0, & 0 < \omega t < \alpha_0 \\ i, & \alpha_0 < \omega t < \pi - \alpha_0 \\ 0, & \pi - \alpha_0 < \omega t < \pi \end{cases} \quad (4-6)$$

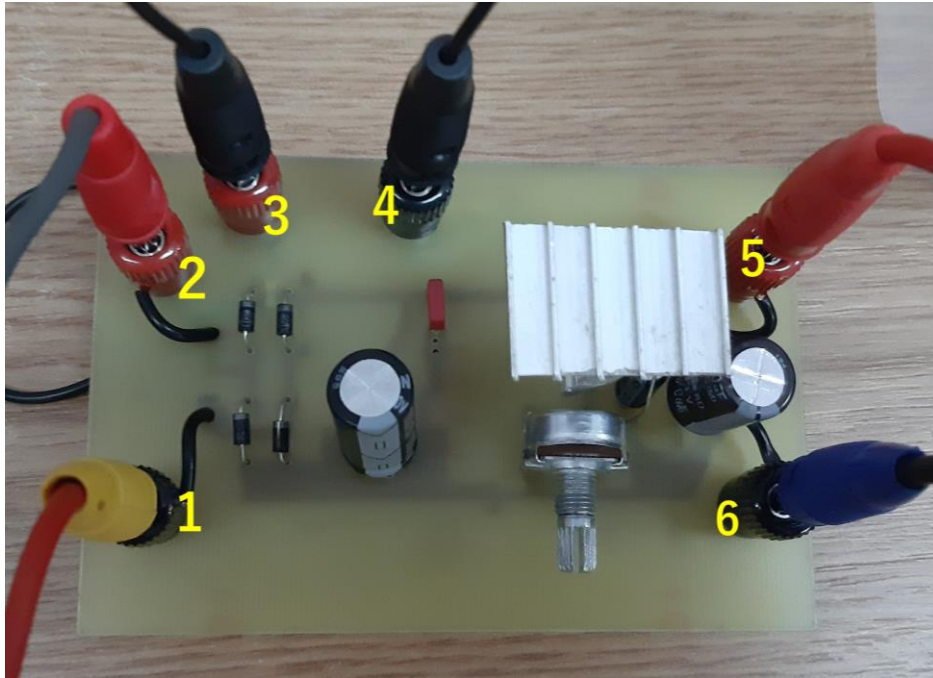
4.1. Određivanje napona diode

Kako bi se uopće znalo je li dobiveni valni oblik napona diode ispravan prvo se analizira rad jedne diode u kapacitivno opterećenom neupravljivom mosnom spoju, u ovom slučaju diode $V1$ sa slike 4.1. Na slici 4.2. vidljivi su valni oblici napona na kondenzatoru i struje diode koji su dobiveni analizom matematičkog modela. Napon U_d koji vlada na kondenzatoru $C1$ je konstantan, stoga izgleda kao ravna linija. Struja i_d je struja kroz diodu koja teče kroz nju samo ako je napon na njoj jednak nula, tj. ako napon ima neku amplitudu, struja je jednaka nuli. Mosni spoj radi protutaktno, diode $V1$ i $V3$ u jednom taktu, diode $V2$ i $V4$ u drugom taktu. Iz navedenoga se dobije valni oblik napona koji se očekuje na diodi $V1$. Očekivani valni oblik napona diode vidljiv je na slici 4.3.



Sl. 4.3. Analizom dobiveni valni oblik napona ispravljača.

Valni oblik napona diode koristi se kao kontrolni napon prilikom ispitivanja uređaja kako bi se ustanovila ispravnost rada sklopa i ujedno provjerio matematički model. Na slici 4.4. mogu se vidjeti karakteristične točke na koje se spaja sklop kako bi se ispitao.

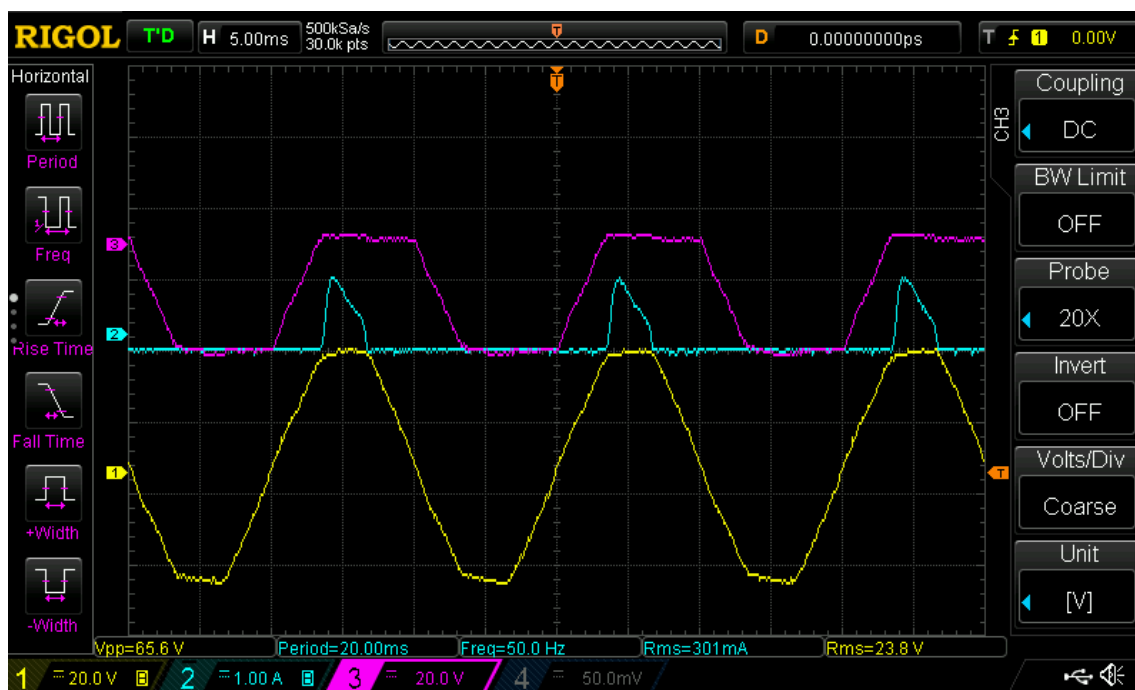


Sl. 4.4. Karakteristične točke za priključivanje makete.

Na priključnice 1 i 2 sa slike 4.4. priključuje se napajanje sklopa. Napon diode određuje se na način da se naponska mjerna sonda priključi na osciloskop, a zatim se pipalice spoje između priključnica 2 i 3. Struja diode određuje se tako da se strujna kliješta priključe na osciloskop te obaviju vodič koji je priključen između priključnica 3 i 4. Između priključnica 5 i 6 spaja se trošilo.

Na slici 4.5. snimljeni su valni oblici ispravljača pri radu sklopa. Žuti valni oblik prikazuje napon napajanja, plavi valni oblik struju diode, a ljubičasti prikazuje napon diode. Na zaslonu osciloskopa dolje u lijevom kutu prikazane su vrijednosti podjeljaka navedenih veličina koje se mjere.

Napon napajanja prikazan je podjelom sa 20V/podjeljku. Kao što piše na osciloskopu vrijednost napona napajanja od vrha do vrha U_{pp} je 65.6V, pola te vrijednosti daje maksimalnu vrijednost tog napona, a to je iznos 32.8V. Struja diode prikazana je podjelom sa 1A/podjeljku, te je maksimalna vrijednost struje 1.1A. Napon diode prikazan je podjelom sa 20V/podjeljku što daje vršnu vrijednost tog napona u iznosu 32V.



Sl. 4.5. Snimljeni valni oblici ispravljača pri radu sklopa.

Uspoređujući slike 4.2., 4.3. i 4.5. može se zaključiti da kvalitativno dobiveni oblici odgovaraju analitičkim te se potvrđuje ispravnost rada ulaznog dijela ispravljača, ali postoji odstupanje u valnom obliku struje. U analizi modela je valni oblik struje diode sinusan, dok u stvarnom sklopu nije. To je posljedica uvedenih pretpostavki za model koje ne vrijede u realnom sklopu. Zbog parazitske kapacitivnosti u cijelom sklopu te diode koja onemogućava vraćanje negativnog napona nazad na mosni spoj, postoji odstupanje i u valnom obliku napona diode na kojoj je provedeno mjerenje jer ona provodi struju u slučaju kada je napon na njoj jednak nuli, ali par trenutaka kasnije, kada napon diode ostaje nula, struja također padne na nulu.

5. MJERENJE

Izabrane su dvije vrste mjerenja. Prvi dio sastoji se od snimanja karakterističnih valnih oblika napona i struje na ulazu u sklop te na diodi, tj. ventilu. Prvo mjerenje se radi kako bi se ustanovila ispravnost i vjerodostojnost matematičkog modela. Drugi dio mjerenja je određivanje faktora stabilizacije. Ovo mjerenje daje uvid u to kakvo se trošilo smije priključiti na sklop s obzirom na snagu.

5.1. Snimanje karakterističnih valnih oblika napona i struje

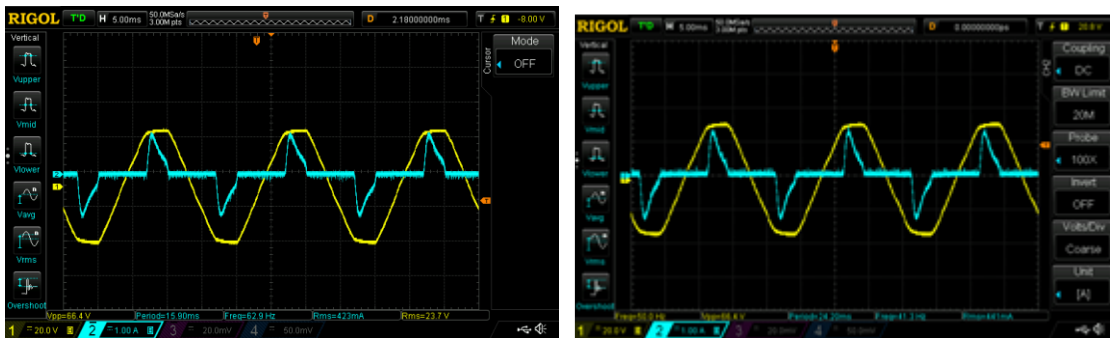
Prvi dio laboratorijskog mjerenja prikazan je na slici 5.1. Na ulaz sklopa spojen je laboratorijski izmjenični izvor napajanja podešen na iznos 24V. Promjena ulaznog napona ne bi smjelo biti, ali u slučaju nepravilnosti u radu sklopa one se prate voltmetrom. Promjene struje prate se ampermetrom koji je kao i voltmetar spojen na ulaz. Ispitivanje sklopa provodi se kad se na izlaz priključi trošilo. U ovom slučaju odabrano je programabilno trošilo čije će se vrijednosti struje mijenjati u iznosima od 0.2A, 0.4A te 0.6A. Vrijednost napona trošila podešava se potencijetrom koji je integriran u sklop. Vrijednost otpora potencijetra mijenja se u rasponu od 0 – 10k Ω što odgovara rasponu izlaznog napona od 1.2V – 30V. Za potrebe mjerenja izabrane su vrijednosti napona 10V i 20V. Valni oblici napona i struje prate se na zaslonu osciloskopa. Valni oblik napona dobiva se kada se stezaljke naponske mjerne sonde priključe na mjesto koje se želi izmjeriti, dok se valni oblik struje prikazuje pomoću strujnih kliješta na način da se kliještima obavije vodič na kojem se želi vidjeti valni oblik struje.

NAPOMENA: žuti valni oblik predstavlja napon, plavi valni oblik predstavlja struju!



Sl. 5.1. Izvođenje mjerenja u laboratoriju.

5.1.1. Valni oblici

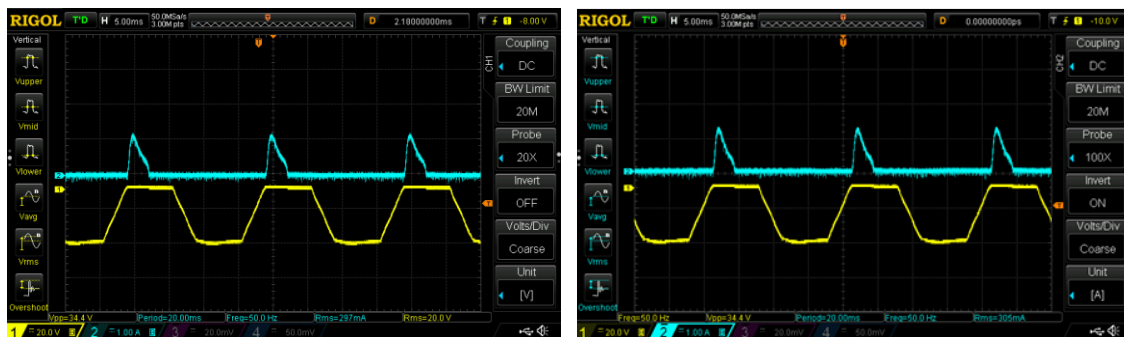


a)

b)

Sl. 5.2. Valni oblik ulaznog napona i struje pri vrijednostima trošila a) 10V, 0.2A, b) 20V, 0.2A

Prema slikama 5.2. a) i b) maksimalna vrijednost ulaznog napona iznosi 33.2V. Kada je napon trošila 10V, maksimalna vrijednost struje iznosi 1.1A, dok je maksimalna vrijednost struje u slučaju kada je napon trošila 20V jednaka 1.4A. Vidi se da napon trošila ne utječe bitno na promjenu ulazne struje pošto se maksimalna vrijednost struje neznatno povećala kada se napon trošila podigao s 10V na 20V.

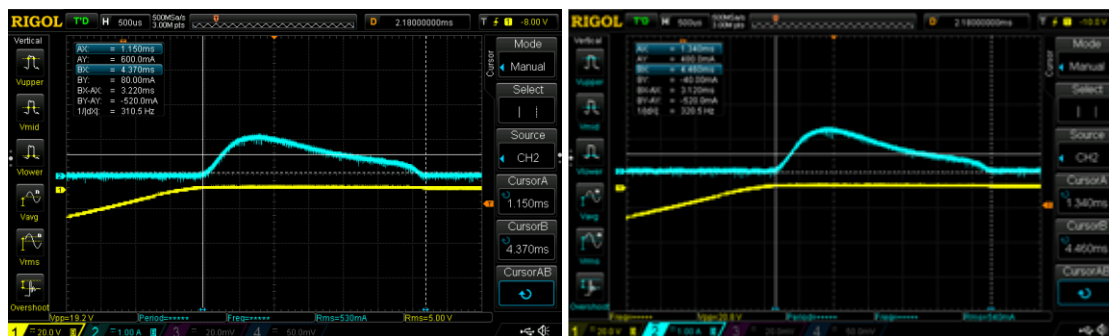


a)

b)

Sl. 5.3. Valni oblik napona diode i struje diode pri vrijednostima trošila a) 10V, 0.2A, b) 20V, 0.2A

Prema slikama 5.3. a) i b) vidljivo je da dioda provede kada je napon diode nula s tendencijom porasta. Kolika će struja proteći kroz diodu ovisi o tome kakvo je trošilo priključeno na izlaz sklopa. Priključenjem napona trošila vrijednosti 10V, kroz diodu je u trenutku maksimalne vrijednosti struje protjecala struja iznosa 1.1A dok je povećanjem napona na istom tom trošilu na 20V kroz diodu protjecala struja maksimalne vrijednosti 1.4A. Iako je promjena struje neznatna zaključuje se da što bi veći bio napon trošila, protjecana struja kroz diodu bi također bila veća.



Sl. 5.4. Određivanje vremena vođenja diode. a) 10V, 0.2A, b) 20V, 0.2A

Iz prikaza vremena vođenja ventila vidljivo je da napon na izlazu ne utječe bitno na vrijeme vođenja. U prvom slučaju kada je na trošilu napon u iznosu 10V, vrijeme vođenja ventila iznosi 3.220ms. U drugom slučaju kada je na trošilu napon u iznosu 20V, vrijeme vođenja ventila iznosi 3.120ms. Vrijeme vođenja ventila može se dobiti i računski pomoću izraza (4-3). Trajanje vođenja ventilskog para u ovom mosnom spoju spada u skup preporučenih vremena vođenja u tehničkim primjenama koje su u intervalu $2 \text{ ms} < T_s < 3 \text{ ms}$.

5.2. Određivanje faktora stabilizacije

Ako povećanjem struje trošila napon trošila ostaje nepromjenjiv, može se reći da sklop drži stabilan napon. U slučaju kada se povećanjem struje trošila napon na trošilu značajno smanji, sklop više ne stabilizira izlazni napon. Faktor stabilizacije se određuje iz odnosa napona i struje na trošilu i njegova očekivana vrijednost je do 20%. Faktor stabilizacije označava se s k i računa po sljedećem izrazu:

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\Delta U}{\Delta I} * 100\% \quad (5-1)$$

ΔU – razlika napona trošila početne (ispitivane) vrijednosti i vrijednosti napona trošila u točki prije negoli napon trošila više nije stabilan

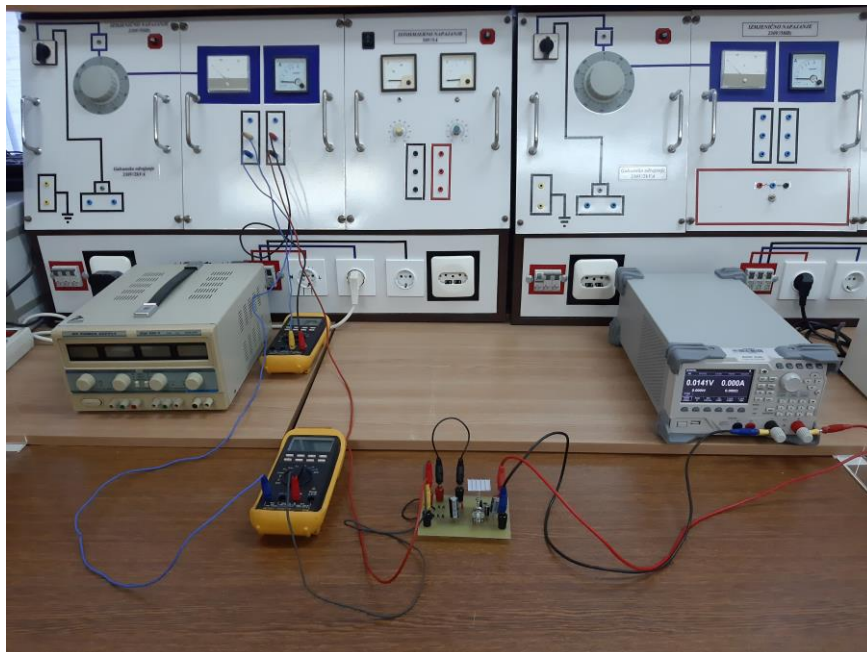
ΔI – razlika početne struje od koje kreće ispitivanje stabilnosti napona trošila i vrijednosti struje u točki prije one na kojoj sklop više nema stabilan napon

$\operatorname{tg} \alpha$ – α predstavlja kut koji zatvara pravac aproksimiran s u -i krivuljom i pravac paralelan s x osi, odnosno i osi.

Ova vrsta mjerenja odradila se s dvije vrste napajanja. Jedna vrsta napajanja izvedena je kao izvor izmjeničnog napajanja 24V, a druga kao istosmjerno napajanje iz fotonaponskog modula.

5.2.1. Izmjenični izvor napajanja

Mjerenje se izvodi tako da se na ulaz sklopa dovede izmjenični napon efektivne vrijednosti 24V, a provjerava se voltmetrom koji se spaja na ulaz. Ulazna struja provjerava se ampermetrom na ulazu. Na izlaz sklopa priključeno je programabilno trošilo. Na njemu se vide iznosi namještenih vrijednosti napona koje se ispituju, a one se namještaju potenciometrom integriranim u sklop. Struja trošila namješta se na programabilnom trošilu u koracima. Kreće se od najmanje vrijednosti struje, u ovom slučaju 0.05A i postupno se povećava sve dok se ne dođe do vrijednosti struje pri kojoj izlazni napon više nije stabiliziran. U tom slučaju stabilizator više ne podnosi takvo opterećenje te izlazni napon padne na vrijednost približnu nuli, što će se vidjeti u sljedećim tablicama.



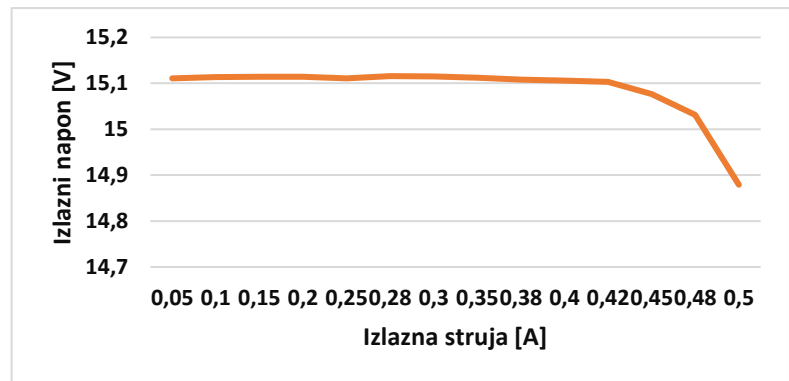
Sl. 5.5. Izvođenje mjerenja određivanja faktora stabilizacije sa izmjeničnim izvorom 24V.

Faktor stabilizacije ispitivan je u točkama izlaznog napona od 9V, 12V, 15V, 18V, 21V, 24V, 27V. U nastavku su prikazane tablice i odgovarajući grafovi u točkama u kojima se stabilizacija pokazala najbolja. U prilogu su vidljive tablice i grafovi ostalih točaka.

Napon trošila 15V

Tab. 5.1. Tablica izlaznog napona i struje pri izlaznom naponu 15V.

$I_{iz}(0)$	$U_{iz}(0)$
0,05	15,1109
0,1	15,1138
0,15	15,1142
0,2	15,1141
0,25	15,111
0,28	15,1157
0,3	15,1148
0,35	15,1121
0,38	15,1081
0,4	15,1058
0,42	15,1029
0,45	15,0765
0,48	15,031
0,5	14,8792
0,52	0,001

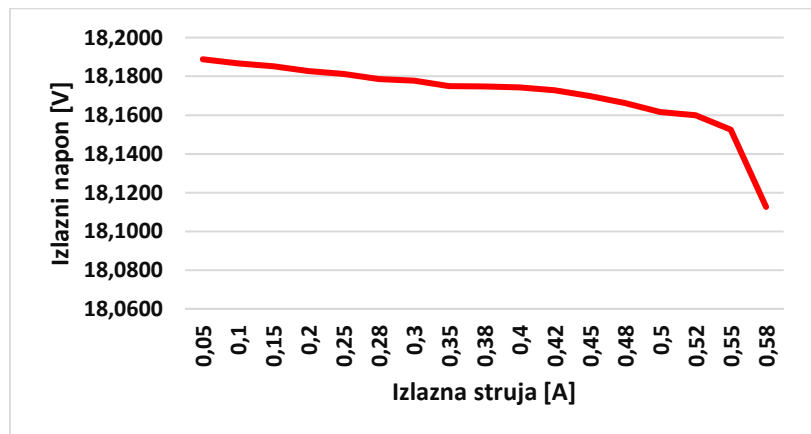


Sl. 5.6. Graf ovisnosti izlaznog napona o povećanju izlazne struje za vrijednost izlaznog napona 15V.

Napon trošila 18V

Tab. 5.2. Tablica izlaznog napona i struje pri izlaznom naponu 18V.

$I_{iz}(0)$	$U_{iz}(0)$
0,05	18,1888
0,1	18,1867
0,15	18,1852
0,2	18,1827
0,25	18,1813
0,28	18,1786
0,3	18,1777
0,35	18,175
0,38	18,1748
0,4	18,1743
0,42	18,1728
0,45	18,1698
0,48	18,1662
0,5	18,1616
0,52	18,16
0,55	18,1525
0,58	18,1126
0,6	0,0009

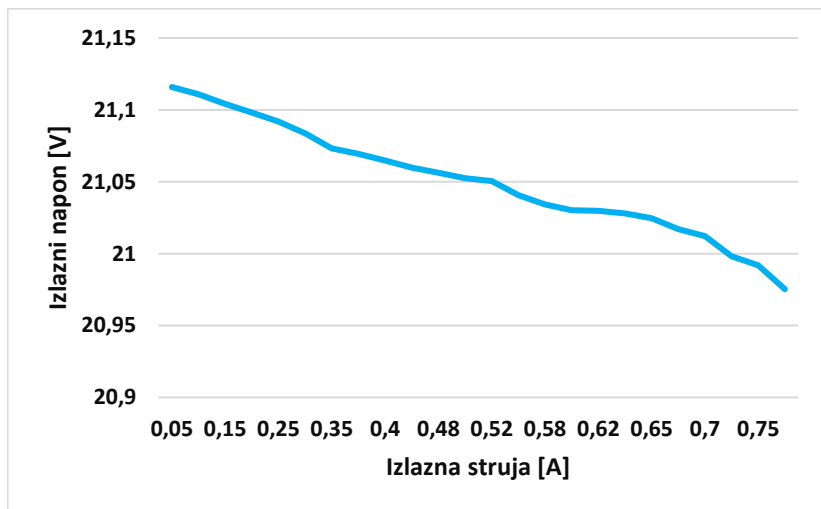


Sl. 5.7. Graf ovisnosti izlaznog napona o povećanju izlazne struje za vrijednost izlaznog napona 18V.

Napon trošila 21V

Tab. 5.3. Tablica izlaznog napona i struje pri izlaznom naponu 21V.

$I_{iz}(0)$	$U_{iz}(0)$
0,05	21,1159
0,1	21,1108
0,15	21,1042
0,2	21,0982
0,25	21,0919
0,3	21,0836
0,35	21,0731
0,38	21,0694
0,4	21,0647
0,45	21,0598
0,48	21,0562
0,5	21,0525
0,52	21,0504
0,55	21,0406
0,58	21,0342
0,6	21,0303
0,62	21,0298
0,63	21,028
0,65	21,0246
0,68	21,0172
0,7	21,0123
0,72	20,9981
0,75	20,9919
0,8	20,9753
0,85	0,001

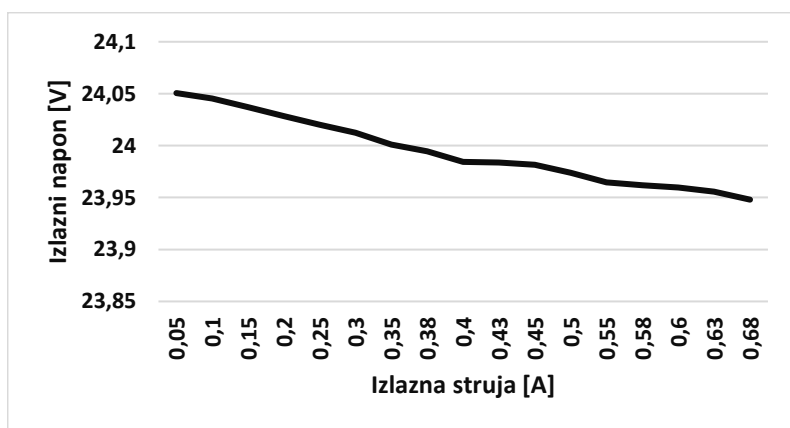


Sl. 5.8. Graf ovisnosti izlaznog napona o povećanju izlazne struje za vrijednost izlaznog napona 21V.

Napon trošila 24V

Tab. 5.4. Tablica izlaznog napona i struje pri izlaznom naponu 24V.

$I_{iz}(0)$	$U_{iz}(0)$
0,05	24,0506
0,1	24,0454
0,15	24,0372
0,2	24,0283
0,25	24,0201
0,3	24,0124
0,35	24,0011
0,38	23,9946
0,4	23,9845
0,43	23,9838
0,45	23,9816
0,5	23,9738
0,55	23,9645
0,58	23,962
0,6	23,9596
0,63	23,9558
0,68	23,948
0,7	0,0011



Sl. 5.9. Graf ovisnosti izlaznog napona o povećanju izlazne struje za vrijednost izlaznog napona 24V.

Uspoređujući 4 dane točke napona na trošilu gleda se do koje struje trošila je napon najstabilniji. U odnosu napona i struje za točku 21V, napon trošila pada u jako malim koracima i drži se na vrijednosti približnoj 21V. U toj točki struja trošila doseže čak 0.8A. Vodeći računa o tome da je maksimalna struja trošila koja se smije priključiti na sklop iznosa 1A, zaključuje se da sklop drži najbolju stabilizaciju kada je napon trošila 21V. U toj točki napon drži konstantnu vrijednost bez obzira na povećanje struje trošila. Vodeći se time, po izrazu (5-1) računa se faktor stabilizacije k u točki najbolje stabilizacije kao omjer promjene napona i struje trošila.

$$k = \frac{21.1159 - 20.9753}{|0.05 - 0.8|}$$

$$k = 0.1875 = 18,75\%$$

Iznos faktora stabilizacije u točki najbolje stabilizacije također je moguće dobiti i grafički sa slike 5.8. tako što se promjena napona trošila po y osi podijeli s promjenom struje trošila koja je prikazana na x osi i dobije se isti rezultat od 0.1875. Kako bi se omogućila ponovljivost mjerenja dana je tablica 5.5.

Tab. 5.5. Tablica izmjerenih vrijednosti i izračunatih faktora stabilizacije za 4 radne točke.

$U_{iz(0)}$	ΔU	ΔI	k
15	0,2317	0,45	0,5149
18	0,0762	0,53	0,1438
21	0,1406	0,75	0,1875
24	0,1026	0,63	0,1629

5.2.2. Napajanje iz fotonaponskog modula

Istosmjerni napon koji napaja sklop kod ovog mjerenja ne mora biti ispravljen kroz jednofazni kapacitivno opterećeni neupravljivi mosni spoj. Napon napajanja koji se izvodi s fotonaponskog modula se tada spaja direktno na stezaljke kondenzatora CI koji se može vidjeti na slici 3.1. Time je postignuta veća stabilnost sklopa te ujedno i veća stabilnost napona trošila. Fotonaponski modul koji će se koristiti u mjerenju je proizvođača Bisol, model Bisol BMO250. Izrađen je od monokristalnog silicija, a najveća snaga koju fotonaponski modul može dati u idealnim okolnostima iznosi 250 – 275W. Iz mjerenja 5.2.1 kada je na ulaz sklopa priključen izmjenični napon izmjerena je vrijednost struje kroz sklop koja je iznosila 400mA. Vrijednost istosmjernog napona je tada iznosila 34V. Te vrijednosti napona i struje izmjerene su kako bi se u ovom

mjerenju na ulaz sklopa priključio odgovarajući fotonaponski modul i podesila odgovarajuća rasvjetljenost. Stoga, vrijednost rasvjetljenosti iznosi 510W/m^2 . Na izlaz sklopa priključeno je programabilno trošilo na kojem će se podešavati vrijednosti struje i vidjeti na koliko je podešen napon trošila koji se namješta kao i kod prethodnog mjerenja, potencijetrom integriranim na tiskanoj pločici. Vrijednost struje podešava se u koracima sve dok je izlazni napon stabilan, kada izlazni napon padne na vrijednost približnu nuli, mjerenje se prekida. Izgled mjerenja faktora stabilizacije pomoću fotonaponskog modula može se vidjeti na slici 5.10..

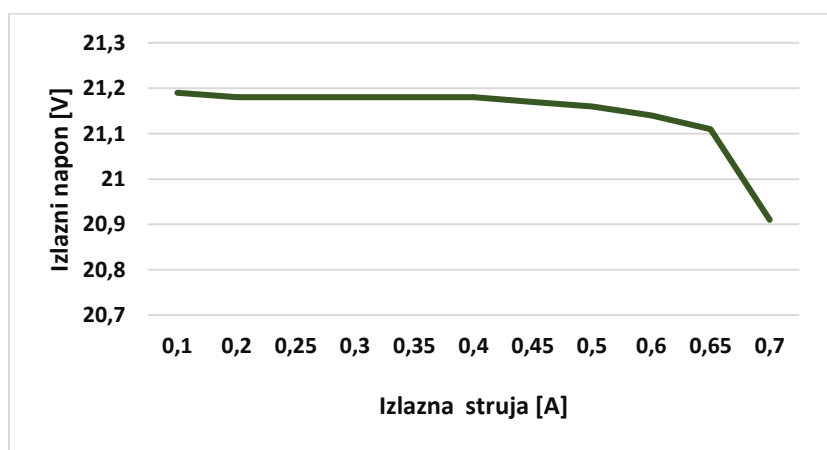


Sl. 5.10. Izvođenje mjerenja određivanja faktora stabilizacije solarnim panelom.

Napon trošila 21V

Tab. 5.6. Tablica izlaznog napona i struje pri izlaznom naponu 21V.

$U_{iz}(0)$	$I_{iz}(0)$
21,19	0,1
21,18	0,2
21,18	0,25
21,18	0,3
21,18	0,35
21,18	0,4
21,17	0,45
21,16	0,5
21,14	0,6
21,11	0,65
20,91	0,7

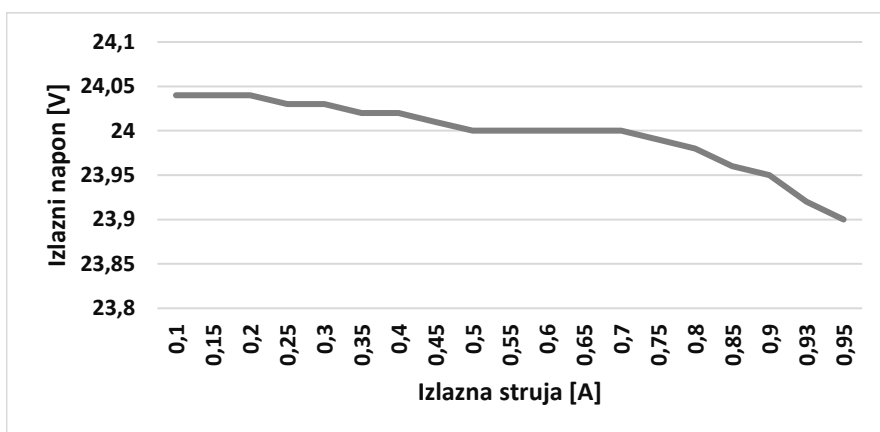


Sl. 5.11. Graf ovisnosti izlaznog napona o povećanju izlazne struje za vrijednost izlaznog napona 21V.

Napon trošila 24V

Tab. 5.7. Tablica izlaznog napona i struje pri izlaznom naponu 24V.

$U_{iz(0)}$	$I_{iz(0)}$
24,04	0,1
24,04	0,15
24,04	0,2
24,03	0,25
24,03	0,3
24,02	0,35
24,02	0,4
24,01	0,45
24	0,5
24	0,55
24	0,6
24	0,65
24	0,7
23,99	0,75
23,98	0,8
23,96	0,85
23,95	0,9
23,92	0,93
23,9	0,95



Sl. 5.12. Graf ovisnosti izlaznog napona o povećanju izlazne struje za vrijednost izlaznog napona 24V.

U mjerjenjima s izmjeničnim naponom najbolja stabilnost pokazala se kod napona trošila od 21V, ali kada je na ulazu sklopa istosmjerni napon, to se promijenilo. Najbolja stabilizacija napona pokazala se kada je na izlazu sklopa napon 24V. Već je prije navedeno da je maksimalna struja trošila jednaka 1A. U slučaju kada je na trošilu napon od 24V, struja trošila povećava se do 950mA i drži taj napon trošila stabilnim. Vodeći se time, računa se snaga trošila priključenog na sklop, ona je umnožak struje i napona trošila do kojih sklop ima stabilan napon i iznosi 22.705W. faktor stabilizacije u točki napona trošila 24V može se dobiti grafički po slici 5.12. ili računski po formuli (5-1). Kako bi se omogućila ponovljivost mjerenja faktora stabilizacije dana je tablica 5.8.

$$k = \operatorname{tg} \alpha = \frac{24,04 - 23,92}{|0,1 - 0,93|}$$

$$k = 0,1647 = 16,47\%$$

Tab. 5.8. Tablica izmjerenih vrijednosti i izračunatih faktora stabilizacije za 2 radne točke.

$U_{iz(0)}$	ΔU	ΔI	k
21	0,28	0,6	0,4667
24	0,14	0,85	0,1647

5.3. Karakteristične vrijednosti trošila

Znajući maksimalnu struju za koju sklop može održati stabilan napon u pojedinim točkama može se odrediti i maksimalna snaga u pojedinim točkama. Maksimalna snaga određuje se kao umnožak maksimalne struje određene u nekoj točki izlaznog napona i tog izlaznog napona. U nastavku je dana tablica 5.9. u kojoj je vidljiva dozvoljena snaga trošila za pojedine točke napona na trošilu. Odnosno, tablica pokazuje do koje vrijednosti snage, trošilo može biti priključeno na sklop, a da sklop stabilizira izlazni napon.

Tab. 5.9. Karakteristične vrijednosti u slučaju kada je na ulazu izvor izmjeničnog napona

U _{iz} [V]	I _{iz} [A]	P [W]
9,0777	0,4	3,63108
12,0605	0,45	5,43
15,031	0,5	7,21
18,1126	0,58	10,505
21,0172	0,8	16,78024
23,948	0,68	16,28464
25,5132	0,5	12,7566

Najveća snaga trošila koje se može priključiti na izlaz ovog sklopa u slučaju kada je napajan izmjeničnim napajanjem iznosi približno 16.8W i to u točki kada sklop najbolje drži stabilnost napona, a to je 21V.

Tab. 5.10. Karakteristične vrijednosti u slučaju kada je na ulazu izvor istosmjernog napona

U _{iz} [V]	I _{iz} [A]	P [W]
20,91	0,7	14,637
23,9	0,95	22,705

Uspoređujući tablice 5.9. i Tab. 5.10. vidljivo je kako sklop drži najstabilniji napon u točkama 21V i 24V na trošilu. Vidjevši sve vrijednosti snaga koje su izračunate u pojedinim točkama zaključuje se da se priključivanjem sklopa na izvor istosmjernog napajanja, na izlazu sklopa mogu priključiti trošila veće snage nego kada je izvor izmjenično napajanje.

6. ZAKLJUČAK

Prvi dio mjerenja temelji se na kapacitivno opterećenom neupravljivom mosnom spoju i njegovom modelu. Na temelju njegove analize potrebno je provjeriti radi li ulazni dio sklopa, tj. ispravljač ispravno. Provedena mjerenja i dobiveni valni oblici ne prikazuju veća odstupanja od analiziranih valnih oblika što daje potvrdu ispravnosti ulaznog dijela ispravljača. Postoji odstupanje u valnom obliku struje koja prolazi kroz diodu, ona u realnom sklopu ne daje sinusni valni oblik već je on izobličeniji. Postoji i nepravilnost u valnom obliku napona diode. Napon diode bi trebao rasti istog trenutka kada struja diode padne na nulu, no tome nije tako. To se događa zbog parazitske kapacitivnosti u sklopu. Napon diode ostaje nula, čak i onda kada struja padne na vrijednost nula te nakon nekoliko trenutaka dosegne svoju amplitudu i drži konstantnu vrijednost. Nakon toga izmjereni su valni oblici ulaznog napona, ulazne struje (struja diode) te napon diode na temelju kojih se zaključuje da promjenom napona trošila ne dolazi do većih promjena u valnim oblicima napona i struje diode. Napon trošila promijenjen je s 10V na 20V. Struja diode se tada promijenila za 0.3A, dok je napon diode ostao isti. Iz valnog oblika napona diode određeno je vrijeme vođenja ventilskih parova. Vrijeme vođenja ventilske para u ovom sklopu se neznatno razlikuju pri promijenjenom naponu trošila, promijenila su se za 0.1ms. To vrijeme odgovara vrijednostima vođenja ventilske para u tehničkim primjenama koje su u intervalu $2 \text{ ms} < T_s < 3 \text{ ms}$.

Drugi dio mjerenja pokazao je kako ovaj sklop drži stabilizaciju napona. Sklop bi trebao držati stabilan napon trošila u rasponu od 1.2-30V, ali to najbolje radi u nekoliko točaka. Kod ispitivanja sklopa treba biti oprezan do koje vrijednosti struje podesiti trošilo. Nema svaka točka napona trošila isti prag maksimalne struje trošila. Najbolju stabilizaciju ima ona točka koja izdrži najveće povećanje struje, tj. točka koja najduže može držati stabilan napon bez obzira na povećanje struje trošila. Zaključuje se da sklop ima najbolju stabilizaciju pri izlaznom naponu (naponu trošila) u točki 21V, kada je na ulazu izmjeničan napon, te najbolju stabilizaciju pri naponu trošila od 24V u slučaju istosmjernog napona na ulazu. U ove dvije točke računa se faktor stabilizacije, grafički ili računski. Za napon trošila od 21V valovitost napona iznosi 0.1406, a faktor stabilizacije iznosi 0.1875. Za napon trošila od 24V valovitost napona iznosi 0.14, a faktor stabilizacije iznosi 0.1647. Također, zaključuje se da sklop bolje drži stabilizaciju kada je napajanje istosmjerno, tj. pri napajanju iz fotonaponskog modula.

LITERATURA

- [1] A., Garaipoom, Variable power supply using LM317, 12.5.2019., dostupno na: <https://www.eleccircuit.com/lm317-power-supply/> (26.6.2021.)
- [2] D., Pelin, K., Miličević, D., Vulin, Priručnik za praktikum iz osnova energetske elektronike, Osijek, 2014.
- [3] Q. Wang and H. Li, "A Kind of Soft Started Regulated Power Supply," *2020 IEEE International Conference on Power, Intelligent Computing and Systems (ICPICS)*, 2020, pp. 926-929, doi: 10.1109/ICPICS50287.2020.9202366.
- [4] Electrical 4U, Regulated Power Supply: Circuit Diagram & Types, 27.10.2020., dostupno na: <https://www.electrical4u.com/regulated-power-supply/> (10.8.2021.)
- [5] J., Ciceran, završni rad, dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:212:433638> (10.8.2021.)
- [6] J., Svoboda, završni rad, dostupno na: <https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:128:827587> (10.8.2021.)
- [7] I., Flegar, Elektronički energetske pretvarači, Zagreb, 2010.
- [8] Texas Instruments, LM317 3-Terminal Adjustable Regulator, uređeno travanj 2020., dostupno na: https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm317.pdf?ts=1629722435436&ref_url=https%253A%252F%252Fwww.google.com%252F (25.6.2021.)
- [9] Bisol Premium Series, dostupno na: https://www.solar-voltaics.com/wp-content/uploads/brand-datasheets/BISOL_Product_Specification_BMO_EN--Solar-Voltaics-201506.pdf (24.8.2021.)

SAŽETAK

U radu je opisana analiza ispravljača u kapacitivno opterećenom neupravljivom mosnom spoju te njegova uloga u sklopu stabiliziranog izvora napajanja. Kako bi se što lakše shvatila uloga ovakve vrste sklopova, odrađena su mjerenja na ispravljaču i na izlazu sklopa. Snimljeni su karakteristični valni oblici napona i struje diode te je određen faktor stabilizacije napona na trošilu te izračunata snaga trošila koji se smije priključiti na sklop.

Ključne riječi: izvor, LM317, napajanje, stabilizacija, trošilo,

ABSTRACT

The paper describes the analysis of a rectifier in a capacitively loaded uncontrollable bridge connection and its role within a stabilized power supply. In order to better understand the role of this type of circuit, measurements were performed on the rectifier and at the output of the circuit. The characteristic voltage and current waveforms of the diode were recorded, and the voltage stabilization factor on the load was determined, and the power of the load that can be connected to the circuit was calculated.

Key words: source, LM317, power supply, stabilization, load

TITLE: Stabilized power supply 1.2-30V, 1.5A regulated with LM317

ŽIVOTOPIS

Monika Golubić rođena je 5. studenog 1999. godine u Koprivnici, Republika Hrvatska. Živi u obiteljskoj kući sa svojim roditeljima i braćom. Od 2006. godine pohađa Osnovnu školu Ivana Lackovića Croate u Kalinovcu. Nakon završetka osnovne škole upisuje Strukovnu školu Đurđevac u Đurđevcu 2014. godine, smjer tehničar za računalstvo. Srednju školu završava 2018. godine odličnim uspjehom te upisuje Preddiplomski sveučilišni studij elektrotehnike i informacijskih tehnologija u Osijeku, na Sveučilištu J. J. Strossmayera te trenutno završava 3. godinu studija.

Potpis autora

Prilog 1. Integrirani krug LM317

Tab. P.1. Električne karakteristike integriranog kruga LM317. [8]

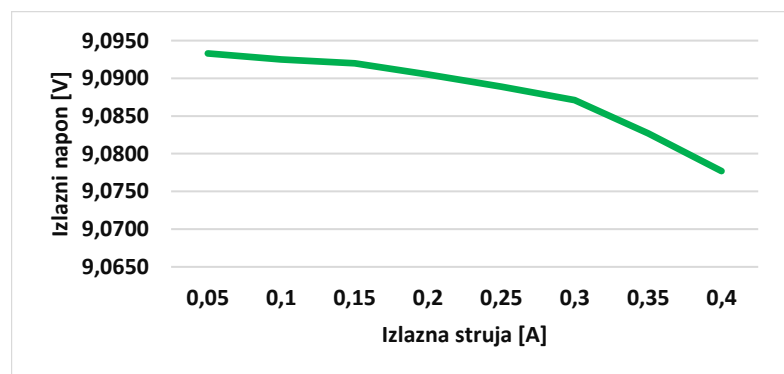
PARAMETER	TEST CONDITIONS ⁽¹⁾		MIN	TYP	MAX	UNIT	
Line regulation ⁽²⁾	$V_I - V_O = 3 \text{ V to } 40 \text{ V}$	$T_J = 25^\circ\text{C}$		0.01	0.04	%V	
		$T_J = 0^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$		0.02	0.07		
Load regulation	$I_O = 10 \text{ mA to } 1500 \text{ mA}$	$C_{\text{ADJ}}^{(3)} = 10 \mu\text{F}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	$V_O \leq 5 \text{ V}$		25	mV	
			$V_O \geq 5 \text{ V}$		0.1	0.5	%V _O
		$T_J = 0^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$	$V_O \leq 5 \text{ V}$		20	70	mV
			$V_O \geq 5 \text{ V}$		0.3	1.5	%V _O
Thermal regulation	20-ms pulse,	$T_J = 25^\circ\text{C}$		0.03	0.07	%V _O /W	
ADJUST terminal current				50	100	μA	
Change in ADJUST terminal current	$V_I - V_O = 2.5 \text{ V to } 40 \text{ V}$, $P_D \leq 20 \text{ W}$, $I_O = 10 \text{ mA to } 1500 \text{ mA}$			0.2	5	μA	
Reference voltage	$V_I - V_O = 3 \text{ V to } 40 \text{ V}$, $P_D \leq 20 \text{ W}$, $I_O = 10 \text{ mA to } 1500 \text{ mA}$		1.2	1.25	1.3	V	
Output-voltage temperature stability	$T_J = 0^\circ\text{C to } 125^\circ\text{C}$			0.7		%V _O	
Minimum load current to maintain regulation	$V_I - V_O = 40 \text{ V}$			3.5	10	mA	
Maximum output current	$V_I - V_O \leq 15 \text{ V}$,	$P_D < P_{\text{MAX}}^{(4)}$	1.5	2.2		A	
	$V_I - V_O \leq 40 \text{ V}$,	$P_D < P_{\text{MAX}}^{(4)}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$	0.15	0.4			
RMS output noise voltage (% of V _O)	$f = 10 \text{ Hz to } 10 \text{ kHz}$, $T_J = 25^\circ\text{C}$			0.003		%V _O	
Ripple rejection	$V_O = 10 \text{ V}$,	$f = 120 \text{ Hz}$	$C_{\text{ADJ}} = 0 \mu\text{F}^{(3)}$		57	dB	
			$C_{\text{ADJ}} = 10 \mu\text{F}^{(3)}$	62	64		
Long-term stability	$T_J = 25^\circ\text{C}$			0.3	1	%/1k hr	

Prilog 2. Određivanje faktora stabilizacije (izmjenično napajanje)

Napon trošila 9V

Tab. P.2. Tablica izlaznog napona i struje pri izlaznom naponu 9V.

I _{iz} (0)	U _{iz} (0)
0,05	9,0933
0,1	9,0925
0,15	9,092
0,2	9,0905
0,25	9,0889
0,3	9,0871
0,35	9,0827
0,4	9,0777
0,42	0,0012

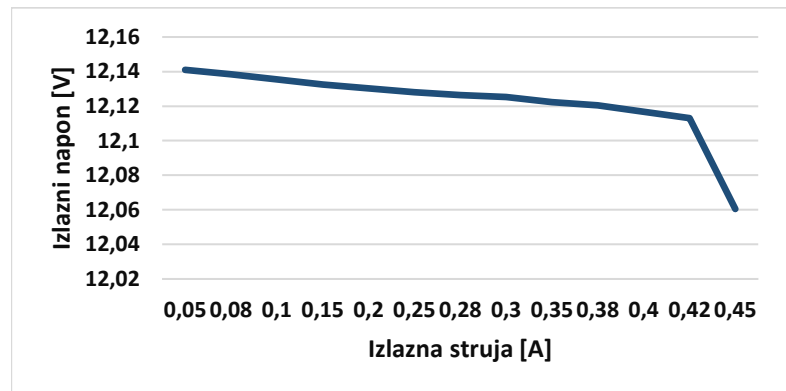


Sl. P.1. Graf ovisnosti izlaznog napona o povećanju izlazne struje za vrijednost izlaznog napona 9V.

Napon trošila 12V

Tab. P.3. Tablica izlaznog napona i struje pri izlaznom naponu 12V.

$I_{iz}(0)$	$U_{iz}(0)$
0,05	12,141
0,08	12,1385
0,1	12,1355
0,15	12,1325
0,2	12,1303
0,25	12,128
0,28	12,1264
0,3	12,1253
0,35	12,1223
0,38	12,1204
0,4	12,1168
0,42	12,113
0,45	12,0605
0,48	0,0014

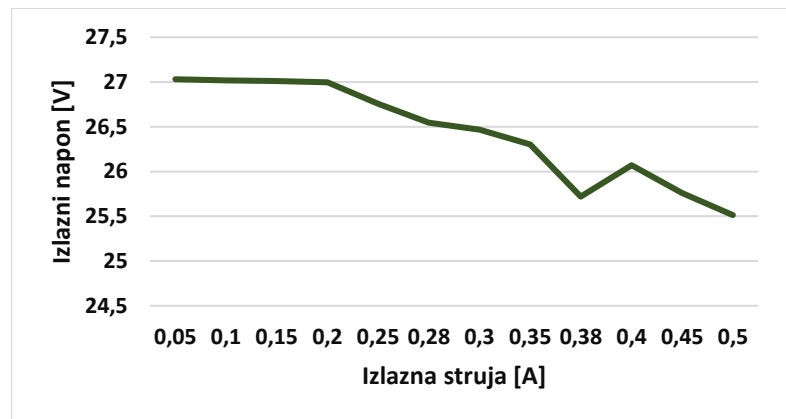


Sl. P.2. Graf ovisnosti izlaznog napona o povećanju izlazne struje za vrijednost izlaznog napona 12V.

Napon trošila 27V

Tab. P.4. Tablica izlaznog napona i struje pri izlaznom naponu 27V.

$I_{iz}(0)$	$U_{iz}(0)$
0,05	27,0307
0,1	27,0178
0,15	27,0104
0,2	26,995
0,25	26,7569
0,28	26,5469
0,3	26,4689
0,35	26,3041
0,38	25,72
0,4	26,0685
0,45	25,76
0,5	25,5132
0,55	0,0015

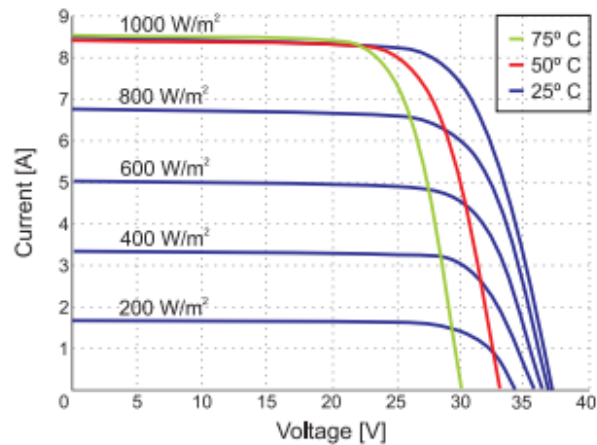


Sl. P.3. Graf ovisnosti izlaznog napona o povećanju izlazne struje za vrijednost izlaznog napona 27V.

Prilog 3. Fotonaponski modul Bisol BMO250

Tab. P.5. Mehaničke specifikacije fotonaponskog modula [9]

Length x Width x Thickness	1,649 mm x 991 mm x 40 mm (64.92" x 39.02" x 1.575")
Weight	18.5 kg (40.79 lbs)
Solar Cells	60 mono c-Si in series / 156 mm x 156 mm (6+")
Junction Box / Connectors	Three bypass diodes / MC4 compatible / IP 67
Frame	Anodized AL with drainage holes / rigid anchored corners
Glass	3.2 mm tempered glass / high-transparency / low-iron content
Packaging	16 or 25 modules per pallet / stackable 3 pallets high
Certified Nominal Load	5,400 Pa
Impact resistance	Hailstone / Φ 25 mm / 83 km/h (51 mph)



Sl. P.4. $I-U$ krivulja pri različitim razinama zračenja i različitim temperaturama ćelija. [9]

Tab. P.6. Termalne specifikacije fotonaponskog modula. [9]

Current Temperature Coefficient	α	+ 4.5 mA/°C
Voltage Temperature Coefficient	β	- 132 mV/°C
Power Temperature Coefficient	γ	- 0.39 %/°C
NOCT		44 °C
Temperature range		- 40 °C to + 85 °C

Tab. P.7. Električne specifikacije fotonaponskog modula (AM 1.5, 1000W/m², 25°C) [9]

Module Type		BMO-250	BMO-255	BMO-260	BMO-265	BMO-270	BMO-275
Nominal Power	P_{MPP} [W]	250	255	260	265	270	275
Short Circuit Current	I_{SC} [A]	8.80	8.90	9.00	9.10	9.20	9.30
Open Circuit Voltage	V_{OC} [V]	37.9	38.1	38.3	38.5	38.6	38.8
MPP Current	I_{MPP} [A]	8.20	8.30	8.40	8.50	8.60	8.70
MPP Voltage	V_{MPP} [V]	30.5	30.7	31.0	31.2	31.5	31.6
Solar Cell Efficiency	η_C [%]	17.4	17.8	18.1	18.5	18.8	19.2
Module Efficiency	η_M [%]	15.3	15.6	15.9	16.2	16.5	16.8
Power Output Tolerance		0/+ 5 W					
Maximum Reverse Current		13 A					
Maximum System Voltage		1,000 V (Application Class A)					