

Primjena DC-DC pretvarača kod bežičnog prijenosa energije

Pavlović, Ivan

Undergraduate thesis / Završni rad

2016

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:200:761375>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-04-24**

Repository / Repozitorij:

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET**

Sveučilišni studij

**PRIMJENA DC-DC PRETVARAČA KOD BEŽIČNOG
PRIJENOSA ENERGIJE**

Završni rad

Ivan Pavlović

Osijek, 2016.

SADRŽAJ:

1	UVOD	1
1.1	Zadatak završnog rada	1
2	DC-DC PRETVARAČ	1
2.1	<i>Step-down (buck)</i> pretvarač	2
2.2	Princip rada	2
2.3	Bežični prijenos energije	3
3	LABORATORIJSKA MJERENJA	3
3.1	Mjerenja efikasnosti pretvarača u jednostavnom krugu	5
3.2	Mjerenja u okružju zavojnice (bežični prijenos energije)	8
3.3	Mjerenja pada napona na ulazu u pretvarač	9
3.4	Izračuni snage na izlazu iz LC kruga	13
3.5	Mjerenja efikasnosti	17
4	ZAKLJUČAK	20
	LITERATURA	21
	ABSTRACT	22
	SAŽETAK	22
	ŽIVOTOPIS	23
	PRILOZI	24

1 UVOD

Ovaj rad opisuje rad DC-DC pretvarača kako kao samu komponentu tako i primjenu u okružju bežičnog prijenosa energije. Rad će opisati DC-DC pretvarač općenito, ideju elementa i teorijsku podlogu. Zatim module korištene u laboratorijskim vježbama i njihov tip te njihovu efikasnost u jednostavnomelektričnom krugu. Glavnina rada se zasniva na utjecaju pretvarača u krugu s bežičnim prijenosom energije, razlikama u padu napona i efikasnosti koje proizvodi pri raznim otporima ili udaljenosti od zavojnice. Vidjeti će se koju količinu snage koristi pretvarač kako bi radio te će se usporediti sa tvorničkim tvrdnjama proizvođača koje su konstatirane.

1.1 Zadatak završnog rada

Zadatak završnog rada je testiranje mogućnosti primjene DC-DC pretvarača kod bežičnog prijenosa energije. DC-DC pretvarač je potrebno integrirati u sklop prijemnika te mjerenjem izlaznih karakteristika prijemnika vrednovati sustav.

2 DC-DC PRETVARAČ

DC-DC pretvarači su električni uređaji koji služe prilagodbi naponske razine mijenjajući je sa jedne razine na neku drugu. Njihova funkcija je slična linearnim električnim krugovima ili samim otpornicima koji upotpunjavaju istu funkciju budući da oni uzrokuju pad tj. promjenu napona. Jednostavni linearni krugovi i otpornici doduše višak snage disipiraju u okolinu u obliku topline pa zbog toga predstavljaju neefikasan način konverzije snage. Gledajući razvoj pretvarača kroz povijest može se konstatirati da je energetska efikasna konverzija utemeljena razvojem tranzistora koji su djelovali kao prekidači.

Ovisno o njihovim svojstvima i njihovoj građi, postoji više vrsta DC-DC pretvarača. Neki od njih su primjerice: step-up, step-down, SEPIC, čak itd... U ovome radu su korištena dva step-down (*buck*) modula DC-DC pretvarača.

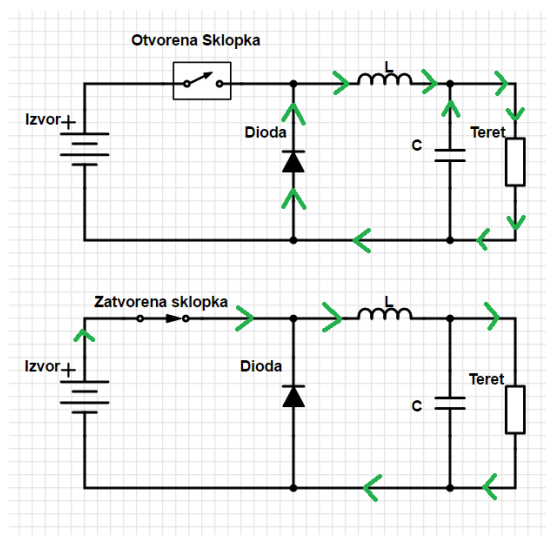
2.1 Step-down (buck) pretvarač

Buck pretvarač je pretvarač snage koji prima na svome ulazu određene vrijednosti struje i napona i na svome izlazu spušta naponsku razinu dok podiže jakost struje koju predaje teretu.

2.2 Princip rada

Buck pretvarač je građen od tranzistora koji djeluje kao sklopka, diode te elementa za skladištenje energije, bio to kondenzator ili zavojnica.

Princip rada se objašnjava na idealnom strujnom krugu gdje su elementi idealni i gdje nema komutacijskih gubitaka.

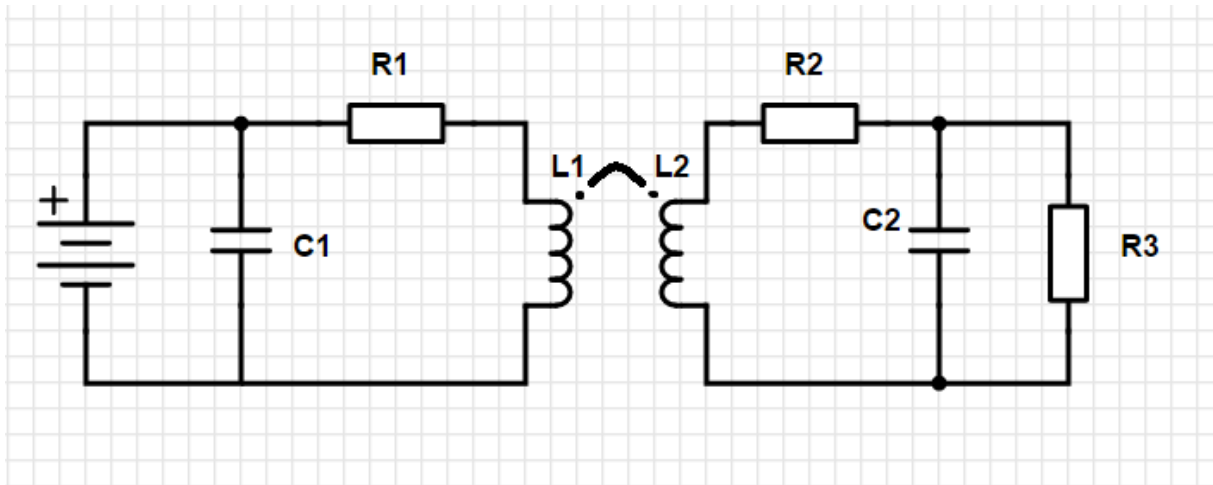


Slika 2.1. Shema buck convertera pri otvorenoj i zatvorenoj sklopki [1]

Kada je sklopka otvorena u strujnom krugu pretvarača jakost struje koja prolazi krugom je jednaka nuli. U trenutku zatvaranja sklopke jakost struje se povećava i uzrokuje kod zavojnice (L na strujnom krugu na slici 2.1.) stvaranje određene količine napona kao reakciju na prolazak struje. Za vrijeme trajanja prolaska struje kroz zavojnicu ona skladišti energiju u obliku magnetskoga polja. Kada se sklopka otvori, odstranjuje se izvor napona i jakost struje u krugu pretvarača se smanjuje. Ta promjena struje će proizvesti promjenu napona na zavojnici i ona će time postati izvor napona. Za vrijeme trajanja otvorene sklopke zavojnica će prazniti svoju skladištenu energiju u ostatak kruga te time osigurati tokstruje kroz teret. [2] Buck pretvarač može raditi u kontinuiranom ili nekontinuiranom načinu rada ovisno o tome jeli struja kroz zavojnicu pala na vrijednost jednaku 0 ili ne. Smatra se kontinuiranim ako nije.

2.3 Bežični prijenos energije

Bežični prijenos energije u ovom radu se temelji na međuinstrukciji između dvije zavojnice. On je moguć ako su zavojnice na kraćim udaljenostima i ako su dio rezonantnoga kruga, tj ako rezoniraju na istim frekvencijama. Jedna zavojnica prolaskom struje formira magnetsko polje oko sebe i druga zavojnica koja se nalazi u blizini prve će formirati oscilirajuće magnetsko polje i omogućiti prolaz struje kroz ostatak kruga. Transformatori također svoj princip rada zasnivaju na ovome načinu rada.



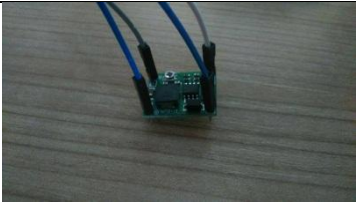
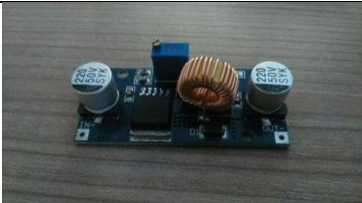
Slika 2.2. Shema jednostavnog strujnog kruga koji koristi bežični prijenos energije [3]

Na slici 2.2. $R1$ i $R2$ predstavlja radne gubitke kod pridruženih zavojnica i kondenzatora. $L1$ i $L2$ su povezani sa međuinstruktivnom vezom određenog međuinstruktivnog koeficijenta

3 LABORATORIJSKA MJERENJA

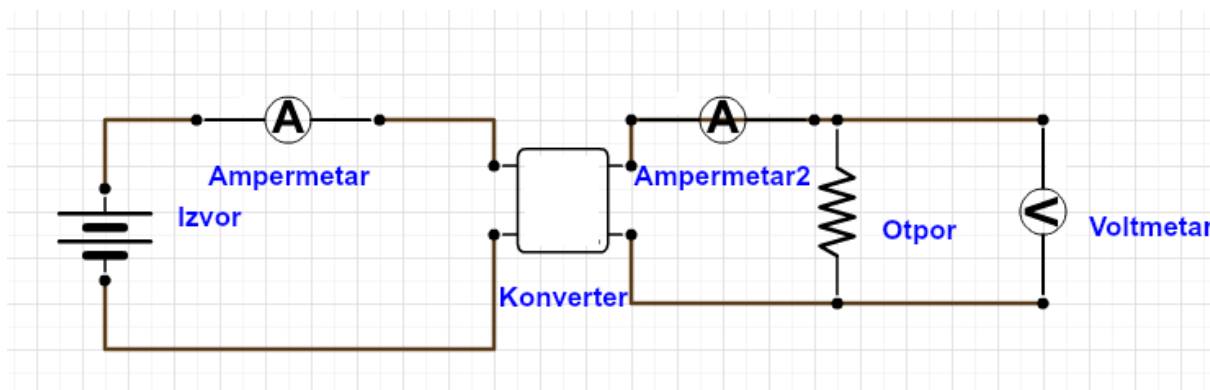
Pri laboratorijskim mjerenjima su korištena dva modula, njihove specifikacije dane od proizvođača se nalaze u tablici 3.1.

Tablica 3.1. Svojstva korištenih modula

Pretvarač	MP1584EN	XL4015E1
Efikasnost	96% (maksimalna)	96% (maksimalna)
Ulazni napon	4.5 V – 28 V	4 V – 38 V
Frekvencija prekidanja	1 MHz	180KHz
Izlazni vrtlog	<30 mV	<30 mV
Izlazna naponska razina	0.8 V – 20 V	1.25 V – 36 V
Izlazna jakost struje	3A (maksimalna)	5A (maksimalna)
Veličina	22*17*4 mm	54*23*18 mm
Radna temperatura	-45°C~ +85°C	-45°C~ +85°C
Tip	Buck pretvarač	Buck pretvarač
Slika pretvarača		

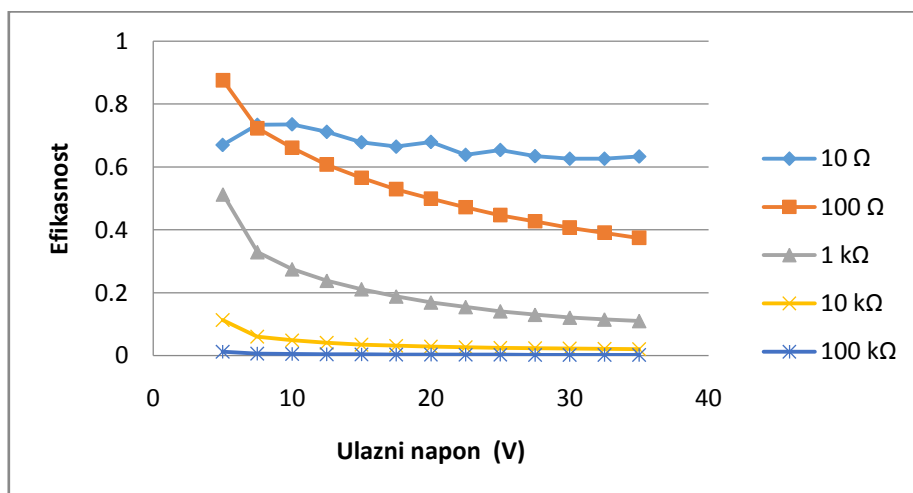
3.1 Mjerenja efikasnosti pretvarača u jednostavnom krugu

Laboratorijska mjerenja su provedena kako bi testirali efikasnost samih modula u jednostavnom električnom krugu. Moduli (XL4015E1 i MP1584EN) su napajani DC naponskim izvorom koji je dobavljao određeni opseg napona (5-35V ili 5-25V) ovisno o modulu. Trošilo je bio otpornik konkretnog iznosa (10 Ω , 100 Ω , 1 k Ω , 10 k Ω i 100 k Ω). Efikasnost je dana kao omjer izlazne i ulazne snage.



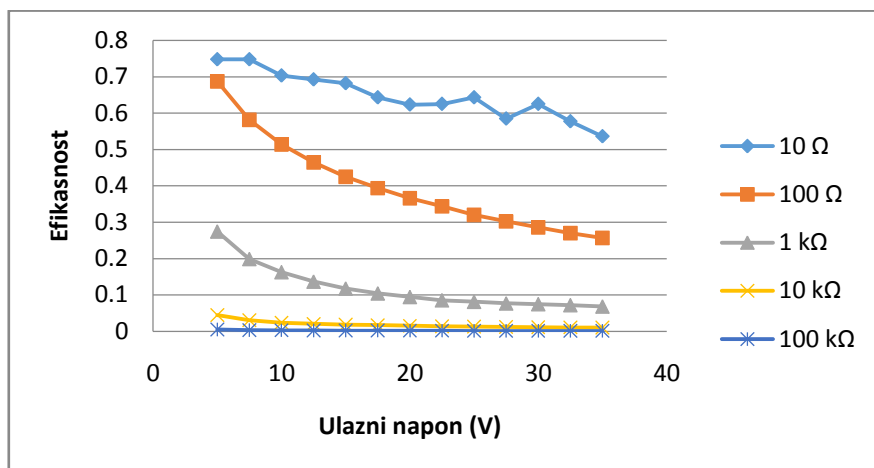
Slika 3.1. Shema strujnog kruga za mjerenje efikasnosti pretvarača (konvertera) u jednostavnom strujnom krugu [4]

Za mjerenja provedena sa XL4015E1 pretvaračem dobiveni su sljedeći rezultati:



Slika 3.2. Graf efikasnosti XL4015E1 pretvarača postavljenog na izlazni napon od 5V

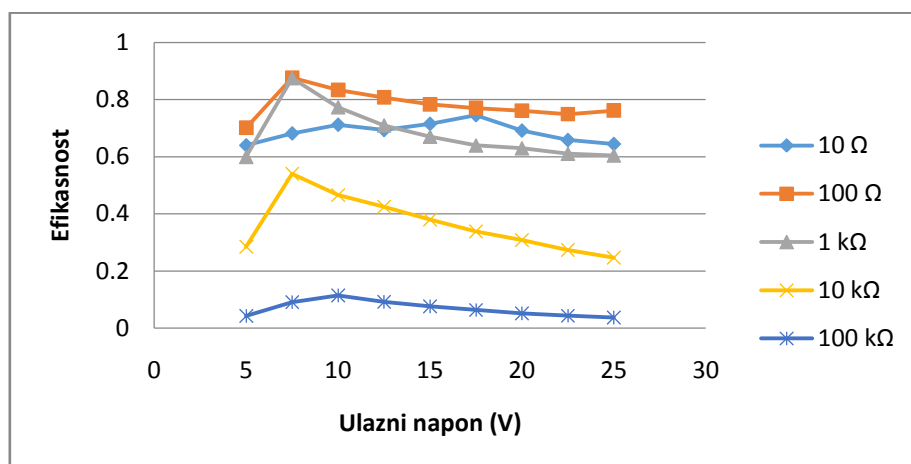
Vidljivo je da je razina efikasnosti XL4015E1 pretvarača pri izlaznom naponu od 5V kroz promjenu napona relativno konstantna sa blagom tendencijom opadanja. Pri velikim vrijednostima otpora efikasnost drastično opada.



Slika 3.3. Graf efikasnosti XL4015E1 pretvarača postavljenog na izlazni napon od 3.3 V

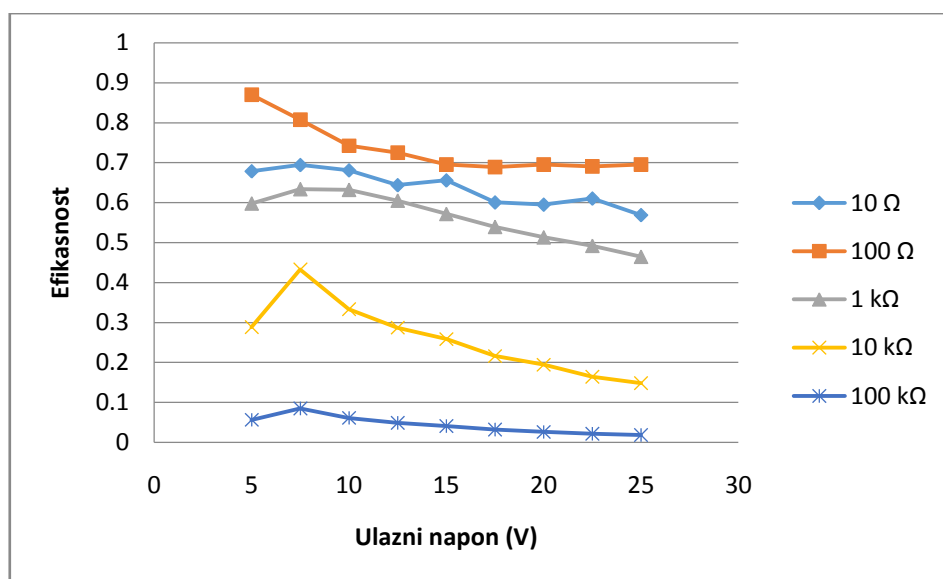
Efikasnost XL4015E1 pretvarača postavljenog na izlazni napon od 3.3 V daje niže rezultate efikasnosti nego kada je izlazni napon postavljen na 5.0 V. Najviša efikasnost se očituje pri trošilu koje ima otpor 10 Ω, a sa porastom otpora trošila efikasnost drastično opada. Pri otporima trošila od 10 kΩ i 100 kΩ efikasnost je jako niska

Za mjerenja provedena sa MP1584EN pretvaračem dobiveni su sljedeći rezultati:



Slika 3.4. Graf efikasnosti MP1584EN pretvarača postavljenog na izlazni napon od 5.5V

Efikasnost MP1584EN pretvarača postavljenog na izlazni napon od 5.5 V pokazuje nešto više vrijednosti u usporedbi sa XL4015E1 pretvaračem (koji je bio postavljen na 5V). Kod XL4015E1 pretvarača je efikasnost iznad 0.6 bila samo za vrijednost od 10 Ω i prva 4 mjerenja sa 100 Ω . Kod MP1584EN pretvarača su sva mjerenja za 10 Ω , 100 Ω i 1 k Ω iznad 0,6 vrijednosti efikasnost. Značajna razlika između XL4015E1 i MP1584EN pretvarača je opseg naponske razine u kojoj su provedena mjerenja (5-25 V i 5-35 V). Sama efektivnost drži relativno ravnu (stabilnu) liniju za određenu vrijednost otpora i opada u vrijednosti kako se otpor povećava.



Slika 3.5. Graf efikasnosti MP1584EN pretvarača postavljenog na izlazni napon od 3.75V

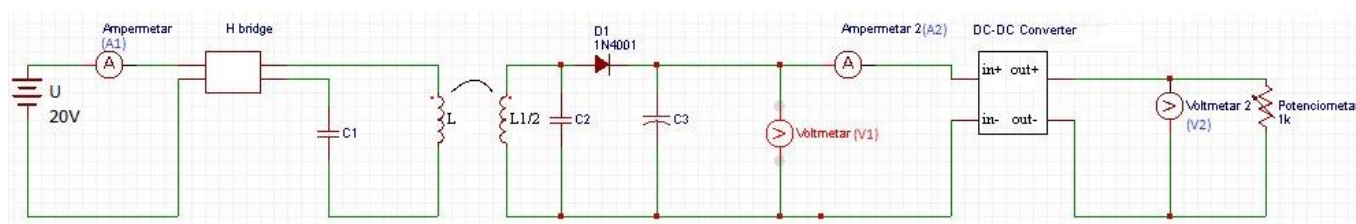
MP1584EN pretvarač pokazuje veće vrijednosti efikasnosti u usporedbi sa XL4015E1 pretvaračem bez obzira na smanjenu vrijednost izlaznog napona. Tendencija opadanja efikasnosti je primjetljiva pri porastu ulaznog napona. Pri većim vrijednostima otpora efikasnost opada.

3.2 Mjerenja u okruđu zavojnice (bežični prijenos energije)

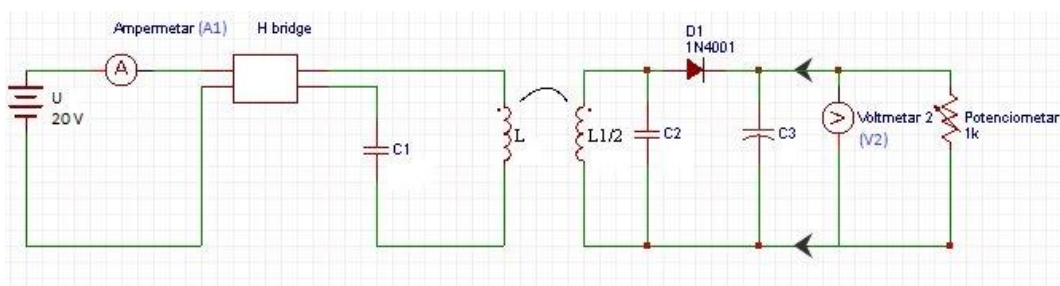
Tablica 3.2. Svojstva zavojnica korištenih u laboratorijskim mjerenjima

zavojnica	L_1	L_2
L (induktivitet)	20.5 μH	4.5 μH
N (broj namotaja)	15	5
Dimenzije	$r=37.5 \text{ mm}$	75*130 mm
Oblik	Kružni	Pravokutni
Slika zavojnice		

Mjerenja u okruđu zavojnice su provedena na taj način da su se pretvarač i zavojnica nalazili u položajima u kojima je omogućen bežičan prijenos energije. Zavojnicama L_1 i L_2 je mijenjan položaj u odnosu na predajnu zavojnicu (L na slici 3.6 i 3.7) kako bi se postavio željeni ulazni napon. Na promjenjivom otporniku su mjenjani iznosi otpora kako bi promatrali ponašanje pretvarača i efikasnost konverzije raznih snaga koje su determinirane faktorima kao što su ulazni napon i otpor.



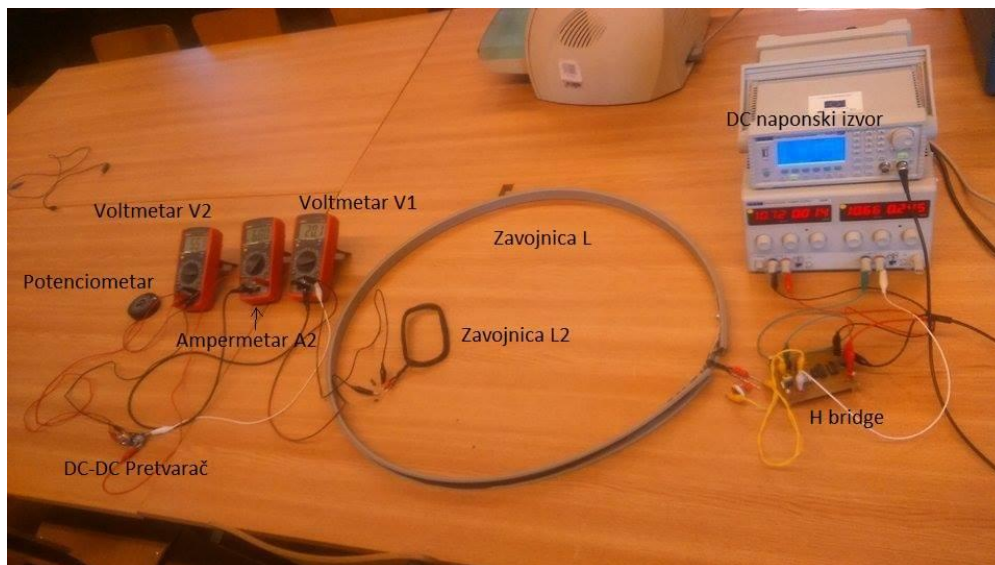
Slika 3.6. Shema strujnog kruga u kojemu je upotrebljen DC-DC pretvarač pri mjerenjima [5]



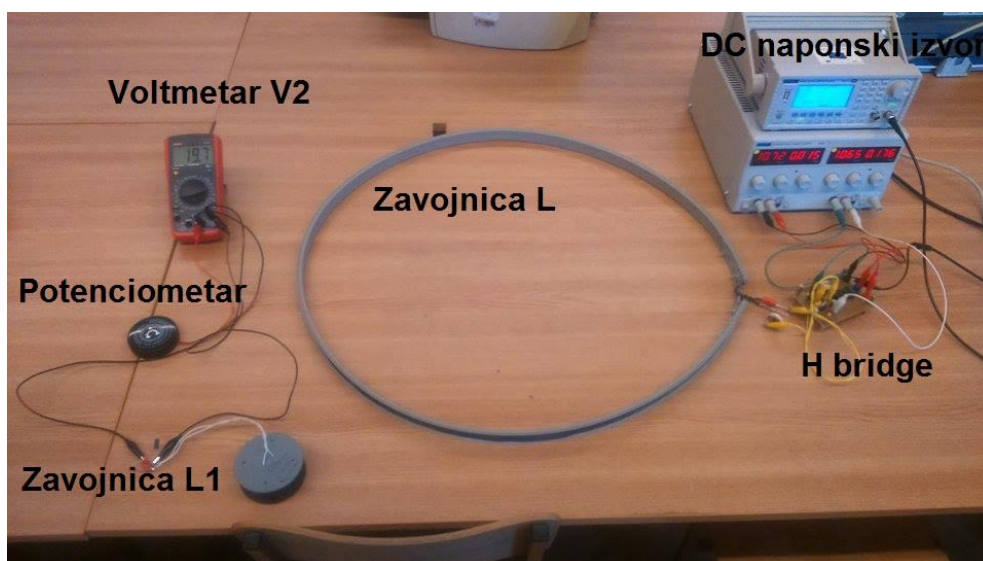
Slika 3.7. Shema strujnog kruga u kojemu je DC-DC pretvarač bio izostavljen iz mjerenja[5]

3.3 Mjerenja pada napona na ulazu u pretvarač

Provedeno je mjerenje napona na izlazu LC kruga pri upotrebi XL4015E1 i MP1584EN pretvarača i bez upotrebe pretvarača. Mjerenja su provedena sa zavojnicama L_1 i L_2 sa mijenjanjem otpora na potencijometru. Mjerenja su provedena za ulazne napone od 20 V, 15 V i 10 V. Pri upotrebi pretvarača uzeta su mjerenja sa voltmetra V1 (slika 7) a pri mjerenju bez pretvarača uzeta su mjerenja sa voltmetra V2 (slika 8).

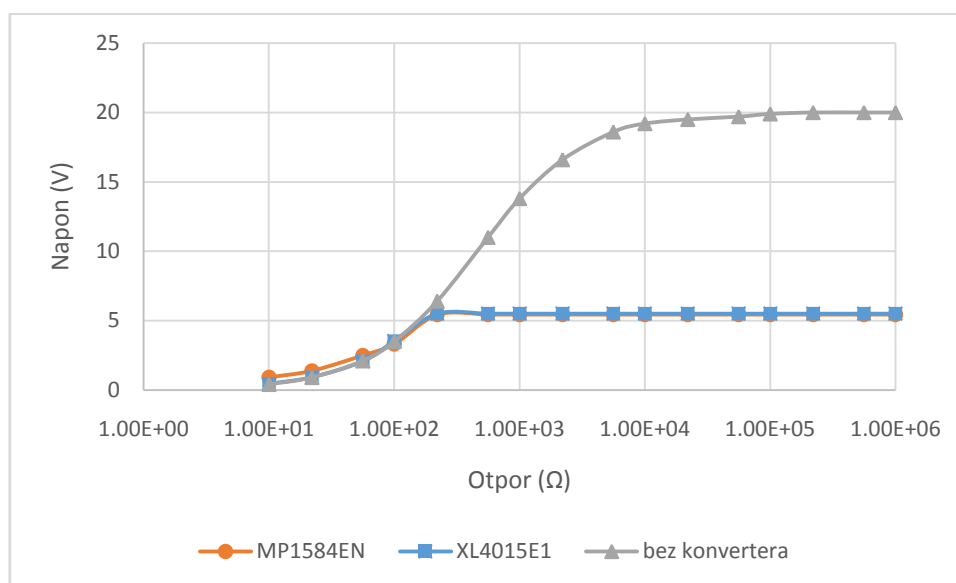


Slika 3.8. Slika strujnog kruga sa imenovanim elementima

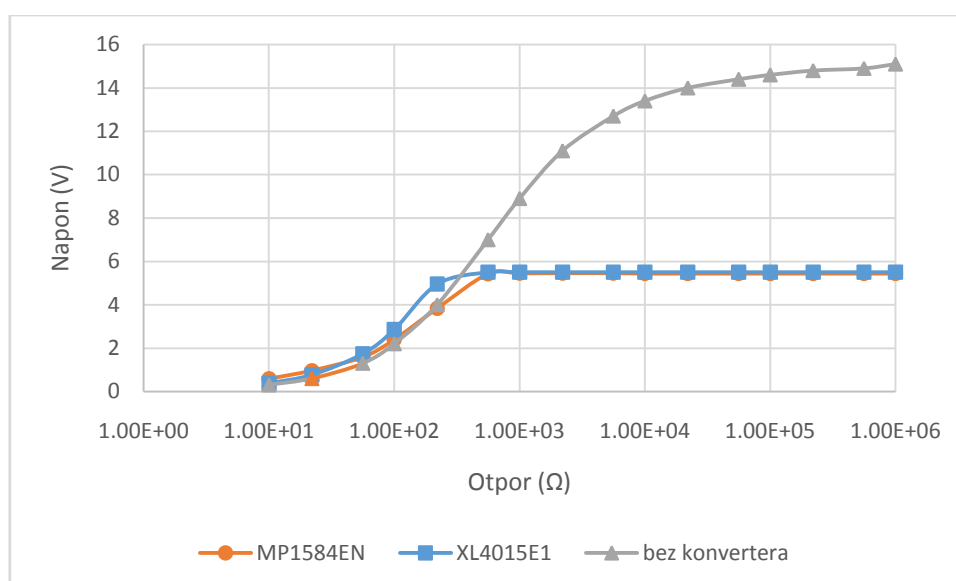


Slika 3.9. Slika strujnog kruga bez DC-DC pretvarača sa imenovanim elementima

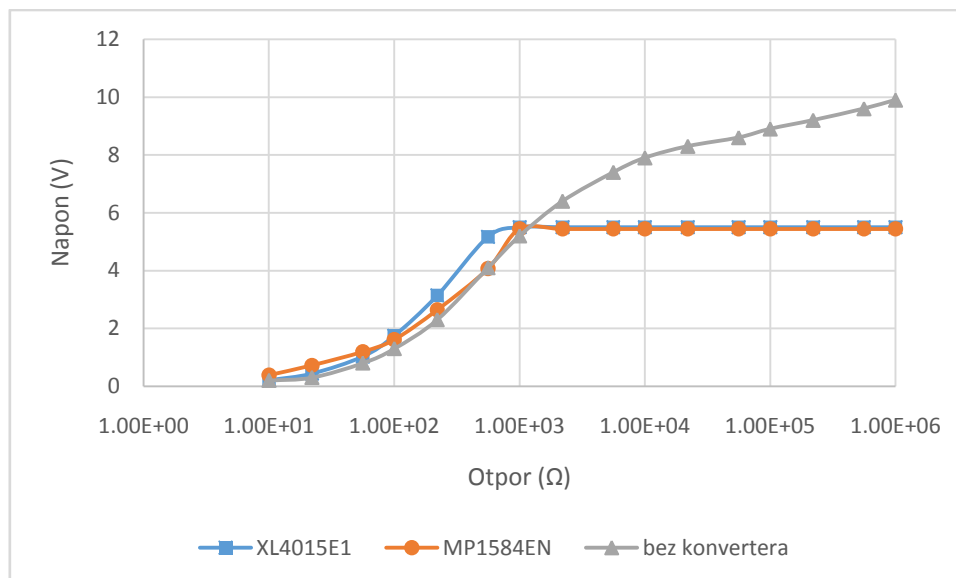
Slijede mjerenja provedena sa zavojnicom L_1 :



Slika 3.10. Graf pada napona na trošilu u strujnom krugu sa L_1 (mjeren voltmetrom 2, slika 3.6) pri ulaznom naponu strujnog kruga od 20 V



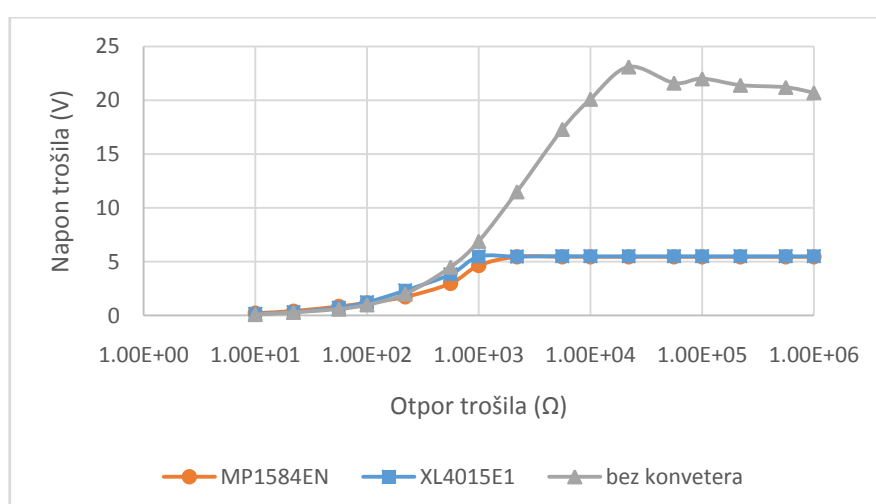
Slika 3.11. Graf pada napona na trošilu u strujnom krugu sa zavojnicom L_1 (mjeren voltmetrom 2, slika 3.6) pri ulaznom naponu strujnog kruga od 15 V



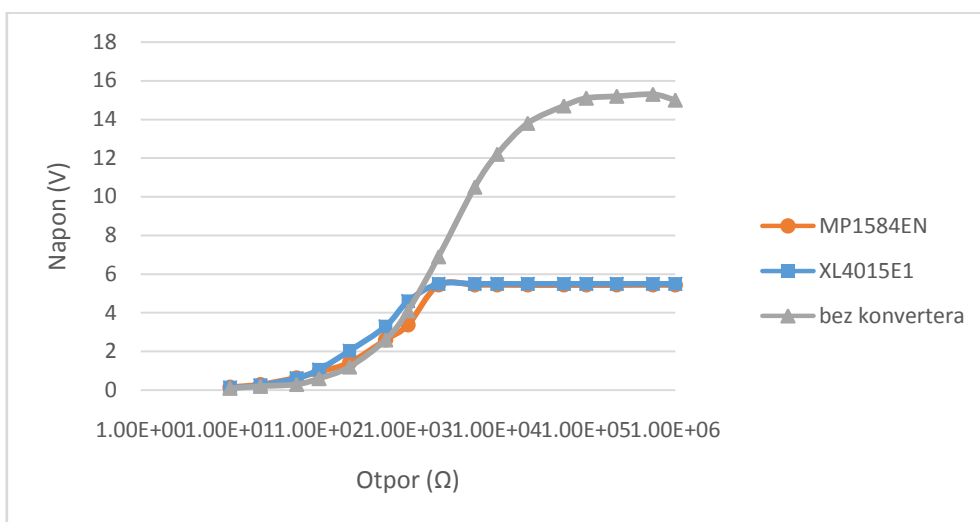
Slika 3.12. Graf padanapona na trošilu u strujnom krugu sa zavojnicom L_1 (mjereno voltmetrom 2, slika 3.6) pri ulaznom naponu strujnog kruga od 10 V

Na grafovima je vidljivo da pri korištenju pretvarača oba pretvarača relativno dobro limitiraju izlazni napon i drže ga stabilnim za vrijeme porasta otpora trošila. Izlazni napon pri korištenju pretvarača stagnira od vrijednosti 100Ω nadalje. Stagnira na onoj vrijednosti koja je određena na njemu namještanjem potencijometra. Izlazni napon bez pretvarača teži vrijednosti ulaznog napona u praznom hodu (bez spojenog trošila) i bliži mu je što je veća vrijednost otpora trošila.

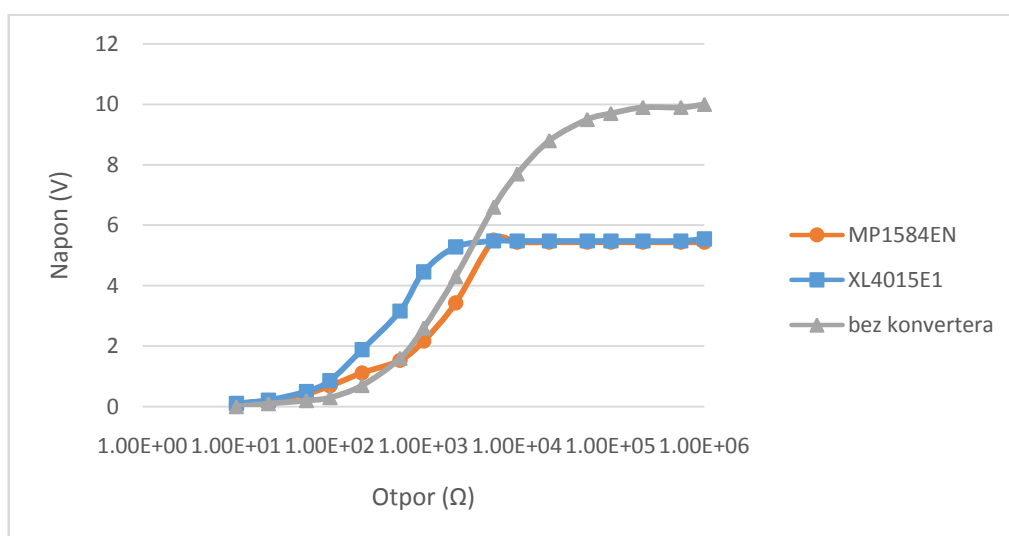
Mjerenja provedena sa zavojnicom L_2 :



Slika 3.13. Graf pada napona na trošilu u strujnom krugu sa zavojnicom L_2 (mjereno voltmetrom 2, slika 3.6) pri ulaznom naponu strujnog kruga od 20 V



Slika 3.14. Graf pada napona na trošilu u strujnom krugusa zavojnicom L_2 (mjereno voltmetrom 2, slika 3.6) pri ulaznom naponu strujnog kruga od 15 V



Slika 3.15. Graf pada napona na trošilu u strujnom krugu sa zavojnicom L_2 (mjereno voltmetrom 2, slika 3.6) pri ulaznom naponu strujnog kruga od 10 V

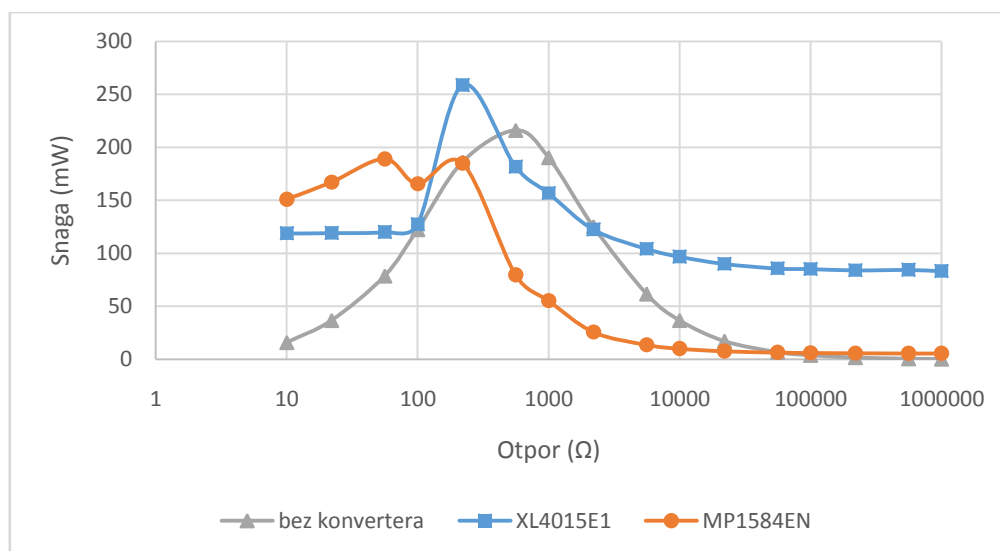
Kao i na primjeru zavojnice L_1 na grafovima je vidljivo da pri korištenju pretvarača oba pretvarača relativno dobro limitiraju izlazni napon i drže ga stabilnim za vrijeme porasta otpora trošila. Izlazni napon pri korištenju pretvarača stagnira od vrijednosti 1 k Ω

nadalje. Stagnira na onoj vrijednosti koja je određena na njemu namještanjem potencijometra. Izlazni napon bez pretvarača teži iznosu ulaznog napona a vrlo mu je blizu pri vrijednostima otpora trošila od 100 k Ω nadalje.

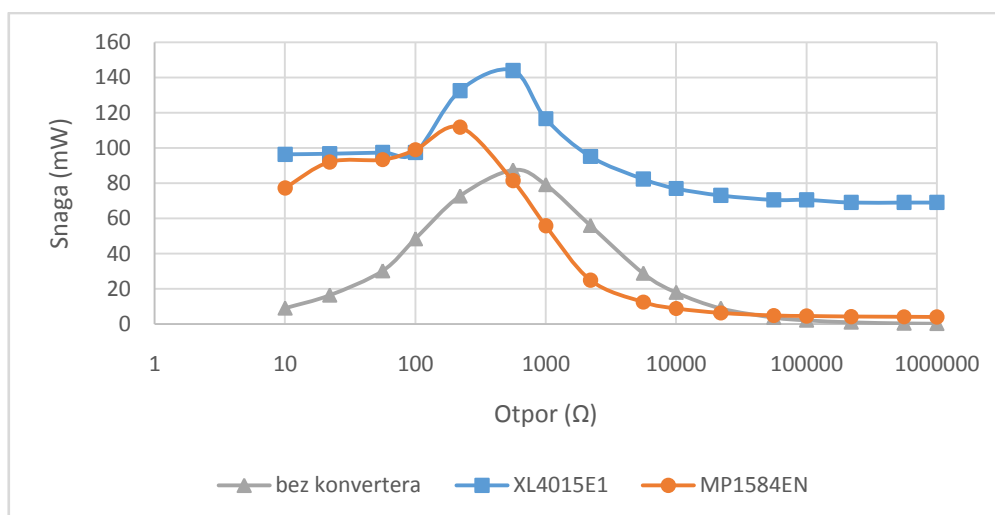
3.4 Izračuni snage na izlazu iz LC kruga

Izračuni snage daju uvid u količinu disipirane snage na elementima. Snaga se pri korištenju pretvarača računala kao umnožak napona očitano sa voltmetra V1 i struje očitane sa ampermetra A1. U krugu bez pretvarača se snaga se računala kao omjer kvadrata napona očitano sa voltmetra V2 i otpora sa potencijometra.

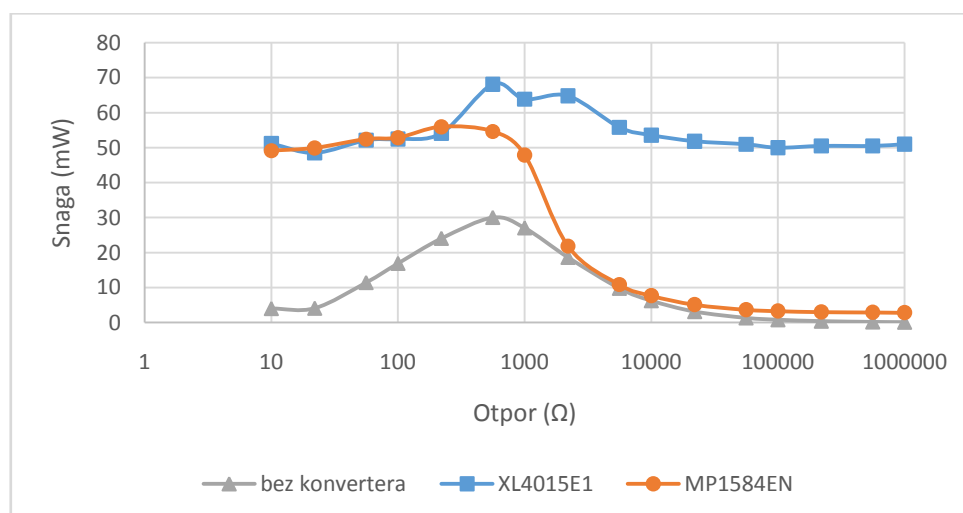
Slijede mjerenja provedena sa zavojnicom L_1 :



Slika 3.16. Graf izlazne snage u LC krugu sa zavojnicom L_1 pri ulaznom naponu od 20 V



Slika 3.17. Graf izlazne snage u LC krugu sa zavojnicom L_1 pri ulaznom naponu od 15 V

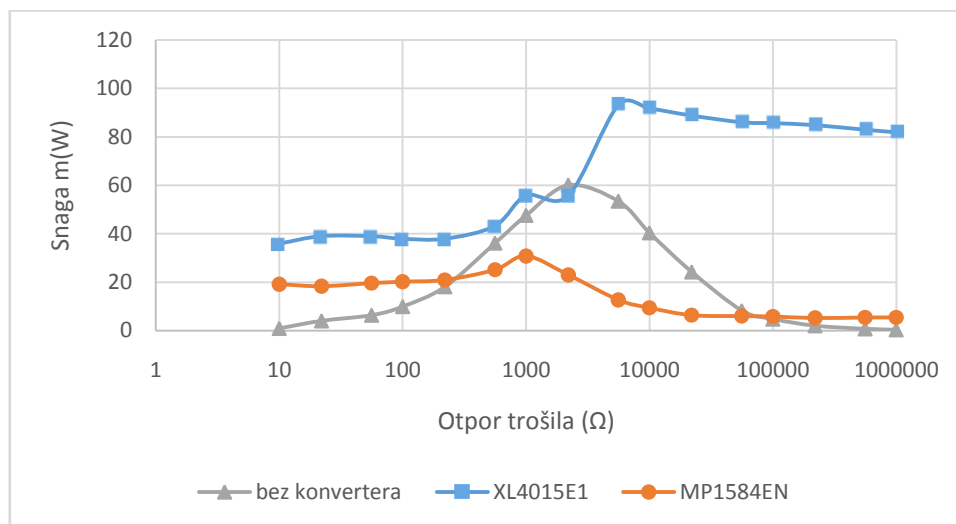


Slika 3.18. Graf izlazne snage u LC krugu sa zavojnicom L_1 pri ulaznom naponu od 10 V

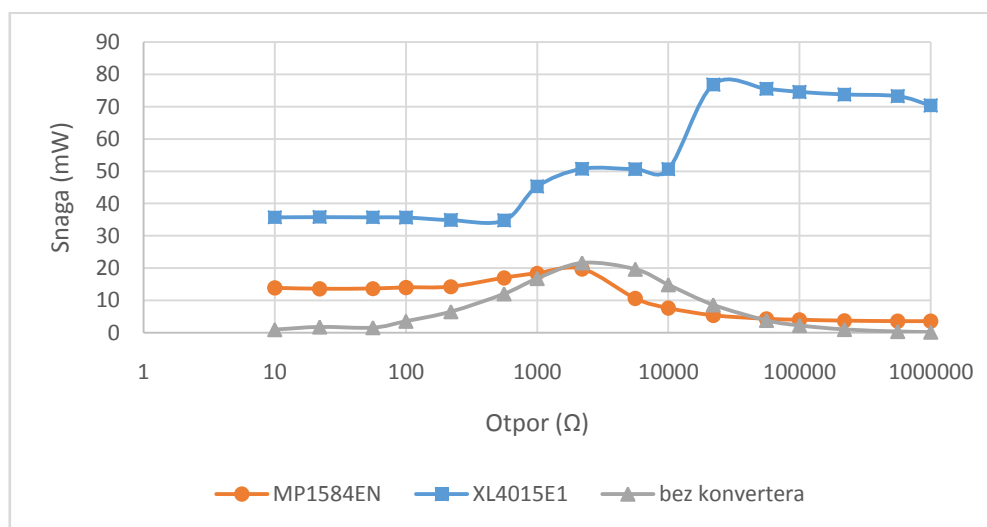
Pri analizi mjerenja izlazne snage LC kruga da se zaključiti da XL4015E1 pretvarač dispira značajno veću količinu snage, tj da MP1584EN pretvarač dispira manju količinu snage od XL4015E1 pretvarača. MP1584EN pretvarač parira u količini snage pri manjim otporima (do 1k Ω). Kod XL4015E1 pretvarača je vidljiv relativno stabilan trend sa blagom tendencijom opadanja snage, dok je kod MP1584EN pretvarača izraženija tendencija opadanja. Kod mjerenja bez pretvarača je vidljivo da je snaga proporcionalna ulaznom naponu. Pri ulaznom naponu od 20 V (Slika 3.16) i otporima u iznosu 560 Ω , 1 k Ω i 2,2 k Ω disipirana snaga je čak veća nego ona na dva pretvaračka modula. Pri sve 3 vrijednosti ulaznih napona izuzev

prije spomenutog primjera je disipirana snaga na trošilima u pravilu niža nego snaga disipirana na pretvaračima.

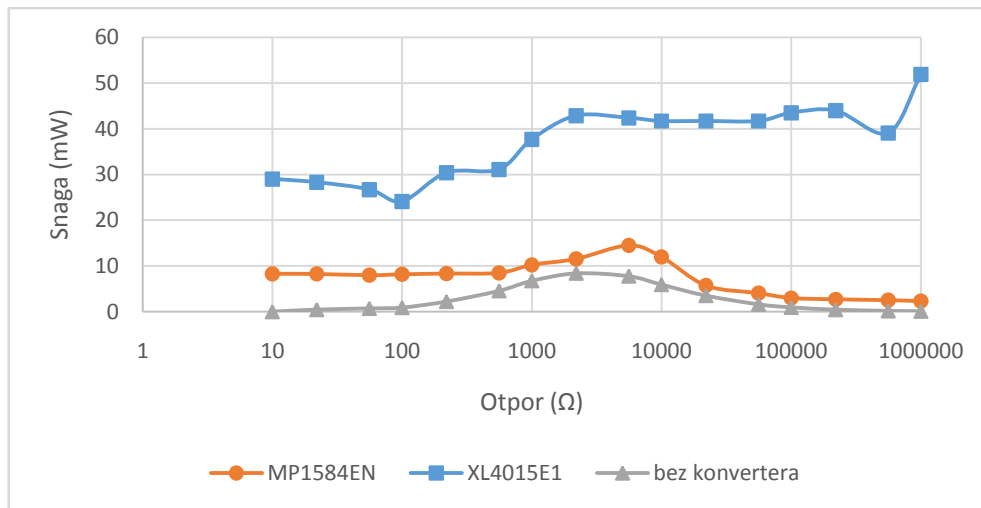
Mjerenja provedena sa zavojnicom L_2 :



Slika 3.19. Graf izlazne snage u LC krugu sa zavojnicom L_2 pri ulaznom naponu od 20 V



Slika 3.20. Graf izlazne snage u LC krugu sa zavojnicom L_2 pri ulaznom naponu od 15 V

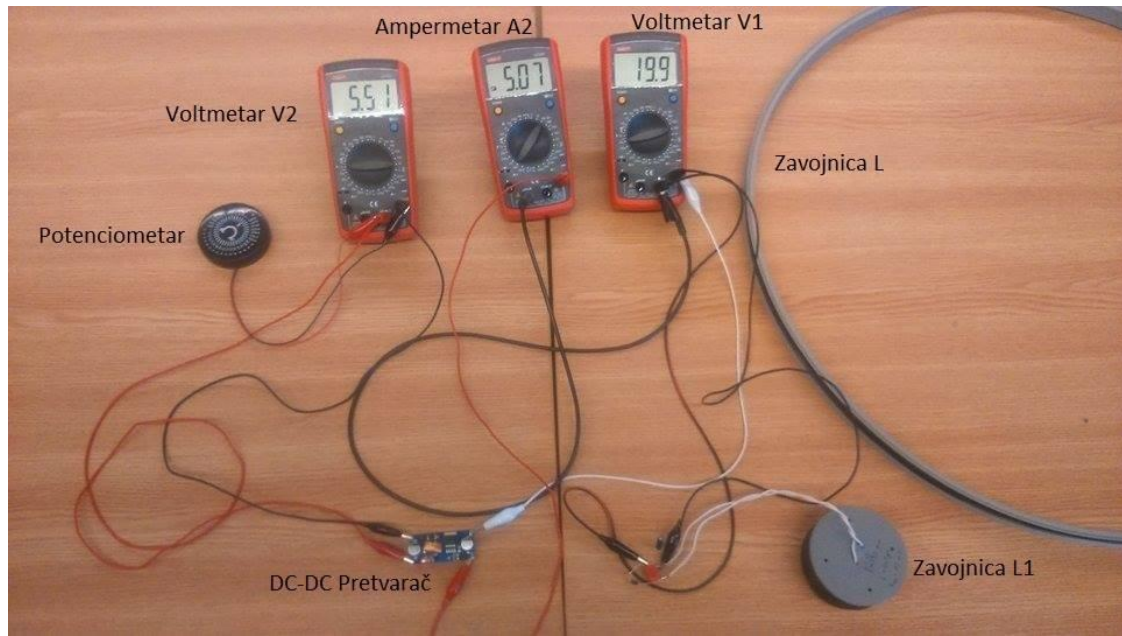


Slika 3.21. Graf izlazne snage u LC krugu sa zavojnicom L_2 pri ulaznom naponu od 10 V

Kao i kod mjerenja sa zavojnicom L_1 , da se zaključiti da XL4015E1 pretvarač dispira znatno veću količinu snage, tj. da MP1584EN pretvarač dispira manju količinu snage od XL4015E1 pretvarača. Za razliku od mjerenja sa zavojnicom L_1 , kod XL4015E1 pretvarača je vidljiv relativno stabilan trend snage sa blagom tendencijom rasta snage pri većim otporima, dok je kod MP1584EN pretvarača izraženija tendencija opadanja. Kod mjerenja bez pretvarača dispirana snaga na trošilu je u većini mjerenjima niža nego snaga dispirana na XL4015E1 pretvaraču. Jedina iznimka je mjerenje pri ulaznom naponu od 20 V i otporu od 2,2 k Ω (Slika 3.19). U pravilu je dispirana snaga na trošilu manja nego dispirana snaga na MP1584EN pretvaraču no ima iznimaka gdje veća, kojih ima više no u usporedbi sa XL4015E1 pretvaračem.

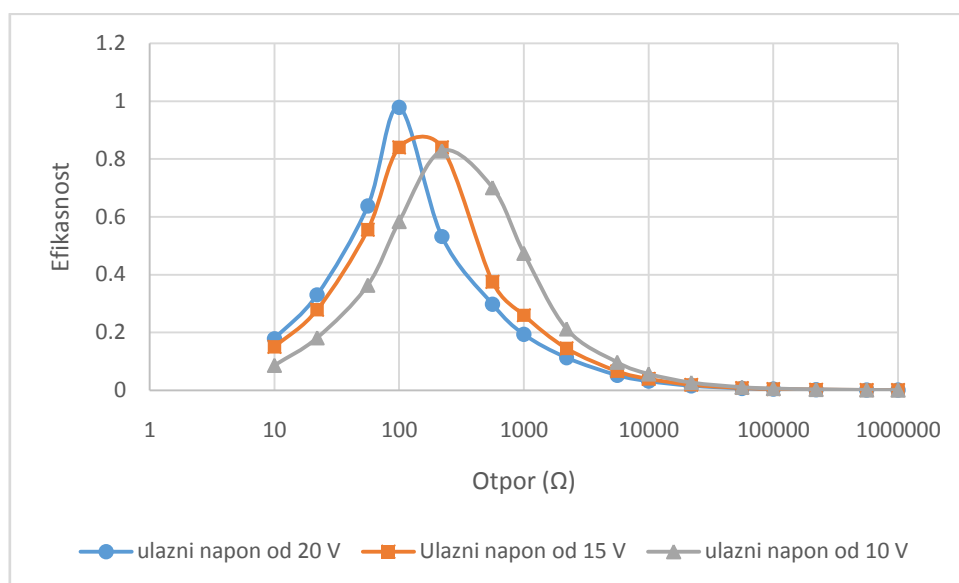
3.5 Mjerenja efikasnosti

Efikasnost je mjerena kao omjer izlazne i ulazne snage u dani pretvarač. Ulazna snaga je računata kao umnožak napona očitano sa voltmetra V1 i struje očitane sa ampermetra A1. Izlazna snaga je računata kao omjer kvadrata napona dobivenog na volmetru V2 i otpora na potenciometru.

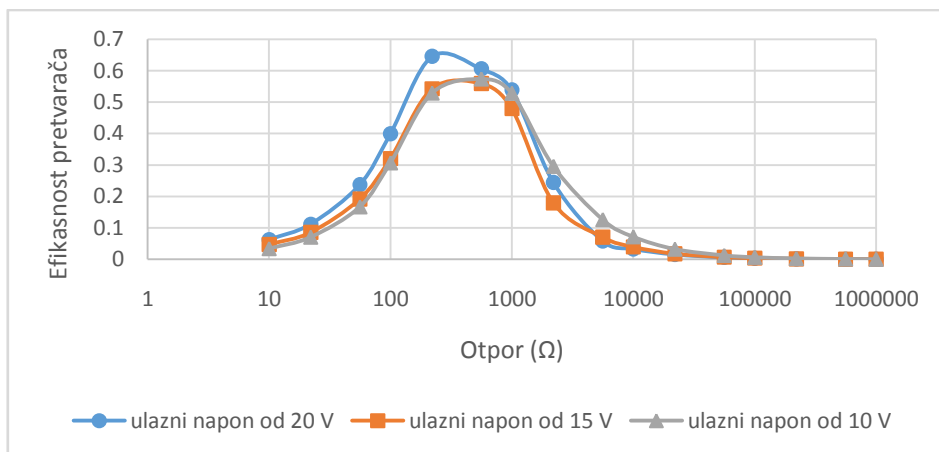


Slika 3.22. Mjerna oprema strujnog kruga sa imenovanim elementima kruga

Mjerenja za XL4015E1 pretvarač:



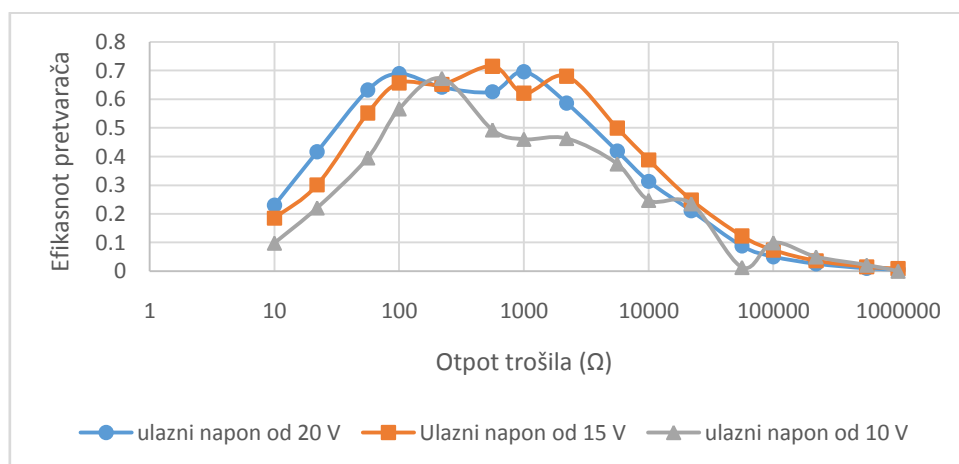
Slika 3.23. Graf efikasnosti XL4015E1 pretvarača u LC krugu sa zavojnicom L_1



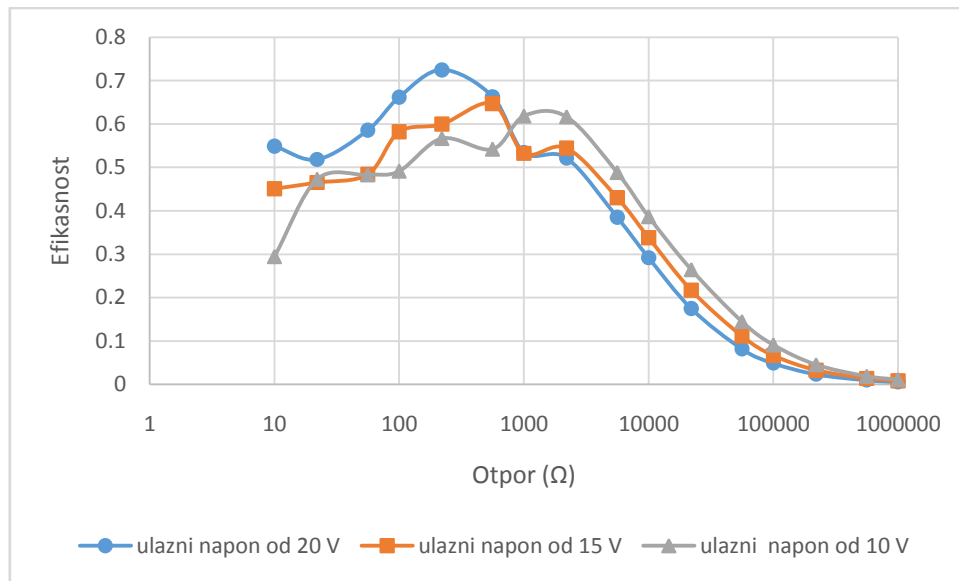
Slika 3.24. Graf efikasnosti XL4015E1 pretvarača u LC krugu sa zavojnicom L_2

Kod mjerenja efikasnosti za XL4015E1 pretvarač vidljivo je da postiže najvišu efikasnost za vrijednost otpora između $100\ \Omega$ i $1000\ \Omega$, što je relativno uzak raspon vrijednosti u odnosu na raspon otpora u kojemu je provedeno mjerenje. Kod izračuna efikasnosti u LC krugu sa L_1 dobivena je najviša globalna vrijednost efikasnosti za mjerenja u bežičnom prijenosu energije koja iznosi 0.978 (na otporu $100\ \Omega$) što je jako blizu tvorničkoj tvrdnji za maksimum efikasnosti od 96%, razlika u 1.8% se može pridodati raznim utjecajima pri provođenju mjerenja.

Mjerenja za MP1584EN pretvarač:



Slika 3.25. Graf efikasnosti MP1584EN pretvarača u LC krugu sa zavojnicom L_2



Slika 3.26. Graf efikasnosti MP1584EN pretvarača u LC krugu sa zavojnicom L_1

MP1584EN pretvarač ima širi raspon prihvatljive efikasnosti od XL4015E1 pretvarača, u rasponu od 10Ω do $10 \text{ k}\Omega$. On također ima višu efikasnost u početnim vrijednostima otpora. No MP1584EN pretvarač nema visoke vrijednosti efikasnosti kao XL4015E1 pretvarač kada se primjerice usporede vrijednosti izmjerene sa L_1 . MP1584EN pretvarač također nema specifični parabolični graf kao XL4015E1 pretvarač jer ima više vrijednosti efikasnosti za manje vrijednosti otpora trošila, odnosno veću izlaznu snagu.

4 ZAKLJUČAK

Kada se promatrao rad pretvarača u jednostavnom strujom krugu bilo je vidljivo da oba pretvarača imaju stabilnu efikasnost i da imaju slabu tendenciju opadanja kako se povećavao napon pri jednom trošilu. Mora se naglasiti da XL4015E1 pretvarač ima širi raspon i ulaznog i izlaznoga napona te je stoga korisniji. XL4015E1 pretvarač također pri određenim trošilima doseže maksimume efikasnosti koji nadilaze MP1584EN pretvarač. Kod oba prevarača je vidljivo da najbolje rade kada ulazni napon ima vrijednost između 5 V i 10V budući da tu pretvarač pokazuje bolje rezultate rada nego na nižim vrijednostima. Kada se promatra bežični prijenos energije MP1584EN pretvarač ima širi raspon prihvatljive efikasnosti u usporedbi sa XL4015E1 pretvaračem ali ne doseže maksimume koje doseže XL4015E1 pretvarač u svojem užem području efikasnosti. I u ovom primjeru valja naglasiti da XL4015E1 pretvarač može djelovati u širem rasponu ulaznih i izlaznih vrijednosti napona te da stoga ima bolju korisnost iako disipira znatno veću količinu snage na izlazu iz kruga u usporedbi sa MP1584EN pretvaračem. Oba pretvarača relativno dobro drže razinu izlaznog napona koji je predodređen na njima. Kod laboratorijskog rada je bilo vidljivo da MP1584EN pretvarač ima poteškoće sa odabiranjem izlaznog napona koristeći potencijometar dok je rad sa XL4015E1 pretvaračem i njegovim potencijometrom bio znatno lakši.

LITERATURA

- [1] <http://www.digikey.com/schemeit/project> (pristup ostvaren 29.6.2016.)
- [2] <http://www.learnabout-electronics.org/PSU/psu31.php> (pristup ostvaren 29.6.)
- [3] <http://www.digikey.com/schemeit/project/>(pristup ostvaren 29.6.2016)
- [4] <http://www.docircuits.com/circuit-editor>(pristup ostvaren 2.6.2016)
- [5] <https://easyeda.com/editor> (pristup ostvaren 2.6.2016)

Application of a DC-DC converter in the wireless transfer of energy

ABSTRACT

This paper describes the efficiency of a DC-DC buck converter utilised in a wireless energy transfer circuit. The paper also describes the theoretical background of the way the buck converter operates. Two modules were used in this paper: XL4015E1 and MP1584EN. The majority of the paper consists of various measurements made with these converters which determine its power expenditure and efficiency. The measurements were made in different electrical circuits which vary from simple to more complex ones to give a better insight of the converters functionality. The paper will explain which converter has a better efficiency and whether its comparable with claims given by the manufacturer.

Keywords: converter, DC-DC converter, buck converter, wireless power transfer, efficiency

SAŽETAK

Ovaj rad opisuje efikasnost DC-DC pretvarača koji se koristi u bežičnom prijenosu energije. Rad također opisuje teoretsku podlogu rada pretvarača. U radu su korištena dva modula: XL4015E1 i MP1584EN. Većina rada se sastoji od raznih mjerenja koja su napravljena sa pretvaračima kako bi se odredila njihova energetska potrošnja i efikasnost. Mjerenja su provedena u raznim električnim krugovima koja variraju od jednostavnijih do nešto složenijih kako bi dobili bolji uvid u funkcionalnost pretvarača u raznim okruženjima. Rad će pokazati koji pretvarač ima bolju efikasnost i kakva je ona u odnosu na tvorničke tvrdnje.

Ključne riječi: pretvarač snage, DC-DC pretvarač, buck pretvarač, bežični prijenos energije, efikasnost

ŽIVOTOPIS

Ivan Pavlović rođen je u Slavonskom Brodu 1.9.1993. Većinu života prebiva u Velikoj Kopanici gdje i pohađa osnovnu školu „Ivan Filipović“ koju prolazi s odličnim uspjehom. 2008. godine upisuje opću gimnaziju „Matija Mesić“ u Slavonskom Brodu koju 2012. završava s vrlo dobrim uspjehom. Iste godine upisuje preddiplomski studij elektrotehnike na Elektrotehničkom fakultetu sveučilišta Josipa Jurja Strossmayera u Osijeku. Na drugoj godini se opredjeljuje za smjer „Komunikacije i informatika“.

Ima odlično poznavanje engleskog jezika te je informatički pismen.

U Osijeku, 30. lipnja 2016.

Ivan Pavlović

Potpis:

PRILOZI

Mjerenja sa pretvaračem u jednostavnom strujnom krugu (poglavlje 3.1).

Mjerenja sa pretvaračem XL4015E1 kojem je izlazni napon postavljen na 5 V:

10 Ω						
U _{in} (V)	I _{in} (A)	U _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	0.39	3.73	0.35	1.95	1.3055	0.669487
7.5	0.44	4.84	0.5	3.3	2.42	0.733333
10	0.33	4.85	0.5	3.3	2.425	0.734848
12.5	0.28	4.88	0.51	3.5	2.4888	0.711086
15	0.24	4.88	0.5	3.6	2.44	0.677778
17.5	0.21	4.88	0.5	3.675	2.44	0.663946
20	0.18	4.89	0.5	3.6	2.445	0.679167
22.5	0.17	4.88	0.5	3.825	2.44	0.637908
25	0.15	4.9	0.5	3.75	2.45	0.653333
27.5	0.14	4.88	0.5	3.85	2.44	0.633766
30	0.13	4.88	0.5	3.9	2.44	0.625641
32.5	0.12	4.88	0.5	3.9	2.44	0.625641
35	0.12	5.11	0.52	4.2	2.6572	0.632667

100 Ω						
U _{in} (V)	I _{in} (mA)	U _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5.02	51.9	4.74	48.1	0.260538	0.227994	0.875089
7.5	46.1	4.99	50.06	0.34575	0.249799	0.722486
10	38.3	4.99	50.7	0.383	0.252993	0.660556
12.5	33.4	5	50.7	0.4175	0.2535	0.607186
15	29.9	5	50.7	0.4485	0.2535	0.565217

17.5	27.4	5	50.7	0.4795	0.2535	0.528676
20	25.4	5	50.7	0.508	0.2535	0.499016
22.5	23.9	5	50.7	0.53775	0.2535	0.471409
25	22.7	5	50.7	0.5675	0.2535	0.446696
27.5	21.6	5	50.7	0.594	0.2535	0.426768
30	20.8	5	50.8	0.624	0.254	0.407051
32.5	20	5	50.8	0.65	0.254	0.390769
35	19.4	5	50.8	0.679	0.254	0.37408

1 k Ω						
U _{in} (V)	I _{in} (mA)	U _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5.02	9.5	4.96	4.93	0.04769	0.024453	0.512745
7.5	10	4.95	4.99	0.075	0.024701	0.32934
10	9	4.96	4.99	0.09	0.02475	0.275004
12.5	8.3	4.96	4.99	0.10375	0.02475	0.238558
15	7.8	4.96	4.99	0.117	0.02475	0.211542
17.5	7.5	4.96	4.99	0.13125	0.02475	0.188574
20	7.3	4.96	4.99	0.146	0.02475	0.169523
22.5	7.1	4.96	4.99	0.15975	0.02475	0.154932
25	7	4.96	4.99	0.175	0.02475	0.141431
27.5	6.9	4.96	4.99	0.18975	0.02475	0.130437
30	6.8	4.96	4.99	0.204	0.02475	0.121325
32.5	6.6	4.96	4.99	0.2145	0.02475	0.115386
35	6.4	4.96	4.99	0.224	0.02475	0.110493

10 k Ω						
U _{in} (V)	I _{in} (mA)	U _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f

5	4.36	4.94	0.5	0.0218	0.00247	0.113303
7.5	5.95	5.15	0.52	0.044625	0.002678	0.060011
10	5.51	5.15	0.52	0.0551	0.002678	0.048603
12.5	5.27	5.15	0.52	0.065875	0.002678	0.040653
15	5.09	5.15	0.52	0.07635	0.002678	0.035075
17.5	4.9	5.15	0.52	0.08575	0.002678	0.03123
20	4.69	5.15	0.52	0.0938	0.002678	0.02855
22.5	4.49	5.15	0.52	0.101025	0.002678	0.026508
25	4.31	5.15	0.52	0.10775	0.002678	0.024854
27.5	4.15	5.15	0.53	0.114125	0.00273	0.023917
30	4.02	5.15	0.53	0.1206	0.00273	0.022633
32.5	3.92	5.15	0.53	0.1274	0.00273	0.021425
35	3.83	5.15	0.53	0.13405	0.00273	0.020362

100 k Ω						
U _{in} (V)	I _{in} (mA)	U _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	3.93	4.96	0.05	0.01965	0.000248	0.012621
7.5	5.21	5	0.05	0.039075	0.00025	0.006398
10	4.96	5	0.05	0.0496	0.00025	0.00504
12.5	4.75	5	0.05	0.059375	0.00025	0.004211
15	4.51	5.01	0.05	0.06765	0.000251	0.003703
17.5	4.27	5.01	0.05	0.074725	0.000251	0.003352
20	4.07	5.01	0.05	0.0814	0.000251	0.003077
22.5	3.91	5.01	0.05	0.087975	0.000251	0.002847
25	3.78	5.01	0.05	0.0945	0.000251	0.002651
27.5	3.68	5.01	0.05	0.1012	0.000251	0.002475
30	3.6	5.01	0.05	0.108	0.000251	0.002319
32.5	3.53	5.01	0.05	0.114725	0.000251	0.002183
35	3.47	5.01	0.05	0.12145	0.000251	0.002063

Mjerenja sa pretvaračem XL4015E1 kojem je izlazni napon postavljen na 3.3 V:

10 Ω

U _{in} (V)	I _{in} (A)	U _{out} (V)	I _{out} (A)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	0.3	3.3	0.34	1.5	1.122	0.748
7.5	0.2	3.3	0.34	1.5	1.122	0.748
10	0.16	3.31	0.34	1.6	1.1254	0.703375
12.5	0.13	3.31	0.34	1.625	1.1254	0.692554
15	0.11	3.31	0.34	1.65	1.1254	0.682061
17.5	0.1	3.31	0.34	1.75	1.1254	0.643086
20	0.09	3.3	0.34	1.8	1.122	0.623333
22.5	0.08	3.31	0.34	1.8	1.1254	0.625222
25	0.07	3.31	0.34	1.75	1.1254	0.643086
27.5	0.07	3.31	0.34	1.925	1.1254	0.584623
30	0.06	3.31	0.34	1.8	1.1254	0.625222
32.5	0.06	3.31	0.34	1.95	1.1254	0.577128
35	0.06	3.31	0.34	2.1	1.1254	0.535905

100 Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	U _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _F
5	32	3.3	33.3	0.16	0.10989	0.686813
7.5	25.2	3.3	33.3	0.189	0.10989	0.581429
10	21.4	3.3	33.3	0.214	0.10989	0.513505
12.5	19	3.31	33.3	0.2375	0.110223	0.464097
15	17.3	3.31	33.3	0.2595	0.110223	0.424751
17.5	16	3.31	33.3	0.28	0.110223	0.393654
20	15.1	3.31	33.4	0.302	0.110554	0.366073
22.5	14.3	3.31	33.4	0.32175	0.110554	0.343602
25	13.8	3.31	33.4	0.345	0.110554	0.320446

27.5	13.3	3.31	33.4	0.36575	0.110554	0.302267
30	12.9	3.31	33.4	0.387	0.110554	0.285669
32.5	12.6	3.31	33.4	0.4095	0.110554	0.269973
35	12.3	3.31	33.4	0.4305	0.110554	0.256804

1 k Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	U _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	EF
5	7.8	3.26	3.28	0.039	0.010693	0.274174
7.5	7.2	3.26	3.29	0.054	0.010725	0.198619
10	6.6	3.26	3.29	0.066	0.010725	0.162506
12.5	6.3	3.27	3.29	0.07875	0.010758	0.136613
15	6.1	3.27	3.29	0.0915	0.010758	0.117577
17.5	5.9	3.27	3.29	0.10325	0.010758	0.104197
20	5.7	3.27	3.29	0.114	0.010758	0.094371
22.5	5.6	3.27	3.29	0.126	0.010758	0.085383
25	5.3	3.27	3.29	0.1325	0.010758	0.081195
27.5	5.1	3.27	3.29	0.14025	0.010758	0.076708
30	4.8	3.27	3.29	0.144	0.010758	0.07471
32.5	4.6	3.27	3.29	0.1495	0.010758	0.071962
35	4.5	3.27	3.29	0.1575	0.010758	0.068307

10 k Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	U _{out} (V)	I _{out} (mA)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	Ef
5	5	3.3	0.34	0.025	0.001122	0.04488
7.5	4.9	3.3	0.34	0.03675	0.001122	0.030531
10	4.7	3.3	0.34	0.047	0.001122	0.023872
12.5	4.4	3.3	0.34	0.055	0.001122	0.0204
15	4.1	3.3	0.34	0.0615	0.001122	0.018244
17.5	3.8	3.3	0.34	0.0665	0.001122	0.016872

20	3.7	3.3	0.34	0.074	0.001122	0.015162
22.5	3.6	3.3	0.34	0.081	0.001122	0.013852
25	3.5	3.3	0.34	0.0875	0.001122	0.012823
27.5	3.4	3.3	0.34	0.0935	0.001122	0.012
30	3.3	3.3	0.34	0.099	0.001122	0.011333
32.5	3.3	3.3	0.34	0.10725	0.001122	0.010462
35	3.2	3.3	0.34	0.112	0.001122	0.010018

100 k Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	U _{out} (V)	I _{out} (mikroA)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	EF
5	4.6	3.27	33.5	0.023	0.00011	0.004763
7.5	4.6	3.27	33.5	0.0345	0.00011	0.003175
10	4.3	3.27	33.5	0.043	0.00011	0.002548
12.5	4	3.27	33.5	0.05	0.00011	0.002191
15	3.7	3.27	33.5	0.0555	0.00011	0.001974
17.5	3.5	3.27	33.5	0.06125	0.00011	0.001788
20	3.4	3.27	33.5	0.068	0.00011	0.001611
22.5	3.3	3.27	33.5	0.07425	0.00011	0.001475
25	3.3	3.27	33.5	0.0825	0.00011	0.001328
27.5	3.2	3.27	33.5	0.088	0.00011	0.001245
30	3.2	3.27	33.5	0.096	0.00011	0.001141
32.5	3.1	3.27	33.5	0.10075	0.00011	0.001087
35	3.1	3.27	33.5	0.1085	0.00011	0.00101

Mjerenja sa pretvaračem MP1584EN kojem je izlazni napon postavljen na 5.5 V:

10 Ω

U _{in} (V)	I _{in} (A)	I _{out} (A)	U _{out}	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	0.32	0.32	3.2	1.6	1.024	0.64
7.5	0.39	0.45	4.43	2.925	1.9935	0.681538

10	0.28	0.45	4.43	2.8	1.9935	0.711964
12.5	0.23	0.45	4.43	2.875	1.9935	0.693391
15	0.19	0.46	4.43	2.85	2.0378	0.715018
17.5	0.16	0.47	4.44	2.8	2.0868	0.745286
20	0.16	0.48	4.61	3.2	2.2128	0.6915
22.5	0.15	0.48	4.63	3.375	2.2224	0.658489
25	0.14	0.48	4.7	3.5	2.256	0.644571

100 Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	I _{out} (mA)	U _{out} (V)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	37.4	36.4	3.6	0.187	0.13104	0.700749
7.5	43	53.5	5.28	0.3225	0.28248	0.875907
10	33.9	53.5	5.28	0.339	0.28248	0.833274
12.5	28	53.5	5.28	0.35	0.28248	0.807086
15	24.1	53.5	5.29	0.3615	0.283015	0.782891
17.5	21	53.5	5.29	0.3675	0.283015	0.770109
20	18.6	53.5	5.29	0.372	0.283015	0.760793
22.5	16.8	53.5	5.29	0.378	0.283015	0.748717
25	14.9	53.6	5.29	0.3725	0.283544	0.761192

1 k Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	I _{out} (mA)	U _{out} (V)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	4.3	3.7	3.48	0.0215	0.012876	0.598884
7.5	4.6	5.5	5.49	0.0345	0.030195	0.875217
10	3.9	5.5	5.48	0.039	0.03014	0.772821
12.5	3.4	5.5	5.48	0.0425	0.03014	0.709176
15	3	5.5	5.48	0.045	0.03014	0.669778
17.5	2.7	5.5	5.49	0.04725	0.030195	0.639048
20	2.4	5.5	5.49	0.048	0.030195	0.629063

22.5	2.2	5.5	5.49	0.0495	0.030195	0.61
25	2	5.5	5.49	0.05	0.030195	0.6039

10 k Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	I _{out} (mA)	U _{out} (V)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	EF
5	0.89	0.36	3.52	0.00445	0.001267	0.284764
7.5	0.84	0.59	5.77	0.0063	0.003404	0.540365
10	0.66	0.56	5.49	0.0066	0.003074	0.465818
12.5	0.58	0.56	5.5	0.00725	0.00308	0.424828
15	0.54	0.56	5.5	0.0081	0.00308	0.380247
17.5	0.52	0.56	5.5	0.0091	0.00308	0.338462
20	0.5	0.56	5.5	0.01	0.00308	0.308
22.5	0.5	0.56	5.5	0.01125	0.00308	0.273778
25	0.5	0.56	5.5	0.0125	0.00308	0.2464

100 k Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	I _{out} (mA)	U _{out} (V)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	EF
5	0.57	0.036	3.33	0.00285	0.00012	0.042063
7.5	0.5	0.059	5.74	0.00375	0.000339	0.090309
10	0.27	0.056	5.5	0.0027	0.000308	0.114074
12.5	0.27	0.056	5.5	0.003375	0.000308	0.091259
15	0.27	0.056	5.5	0.00405	0.000308	0.076049
17.5	0.28	0.056	5.5	0.0049	0.000308	0.062857
20	0.3	0.056	5.5	0.006	0.000308	0.051333
22.5	0.32	0.056	5.5	0.0072	0.000308	0.042778
25	0.34	0.056	5.5	0.0085	0.000308	0.036235

Mjerenja sa pretvaračem MP1584EN kojem je izlazni napon postavljen na 3.7 V:

10 Ω

U _{in} (V)	I _{in} (A)	I _{out} (A)	U _{out} (V)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	0.26	0.3	2.94	1.3	0.882	0.678462
7.5	0.17	0.3	2.95	1.275	0.885	0.694118
10	0.13	0.3	2.95	1.3	0.885	0.680769
12.5	0.11	0.3	2.95	1.375	0.885	0.643636
15	0.09	0.3	2.95	1.35	0.885	0.655556
17.5	0.09	0.31	3.05	1.575	0.9455	0.600317
20	0.08	0.31	3.07	1.6	0.9517	0.594813
22.5	0.07	0.31	3.1	1.575	0.961	0.610159
25	0.07	0.32	3.11	1.75	0.9952	0.568686

100 Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	I _{out} (mA)	U _{out} (V)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	30.2	36.4	3.61	0.151	0.131404	0.870225
7.5	21.7	36.4	3.61	0.16275	0.131404	0.807398
10	17.7	36.4	3.61	0.177	0.131404	0.742395
12.5	14.5	36.4	3.61	0.18125	0.131404	0.724988
15	12.6	36.4	3.61	0.189	0.131404	0.695259
17.5	10.9	36.4	3.61	0.19075	0.131404	0.688881
20	9.5	36.5	3.62	0.19	0.13213	0.695421
22.5	8.5	36.5	3.62	0.19125	0.13213	0.690876
25	7.6	36.5	3.62	0.19	0.13213	0.695421

1 k Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	I _{out} (mA)	U _{out} (V)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	3.8	3.38	3.36	0.019	0.011357	0.597726
7.5	2.96	3.76	3.74	0.0222	0.014062	0.633441
10	2.22	3.76	3.73	0.0222	0.014025	0.631748
12.5	1.86	3.76	3.74	0.02325	0.014062	0.604834
15	1.64	3.76	3.74	0.0246	0.014062	0.571642
17.5	1.49	3.76	3.74	0.026075	0.014062	0.539306
20	1.37	3.76	3.74	0.0274	0.014062	0.513226
22.5	1.27	3.76	3.74	0.028575	0.014062	0.492122
25	1.21	3.76	3.74	0.03025	0.014062	0.464873

10 k Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	I _{out} (mA)	U _{out} (V)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	0.84	0.35	3.46	0.0042	0.001211	0.288333
7.5	0.44	0.38	3.76	0.0033	0.001429	0.43297
10	0.44	0.39	3.76	0.0044	0.001466	0.333273
12.5	0.4	0.38	3.78	0.005	0.001436	0.28728
15	0.38	0.39	3.78	0.0057	0.001474	0.258632
17.5	0.38	0.38	3.78	0.00665	0.001436	0.216
20	0.38	0.39	3.79	0.0076	0.001478	0.194487
22.5	0.39	0.38	3.79	0.008775	0.00144	0.164125
25	0.4	0.39	3.8	0.01	0.001482	0.1482

100 k Ω

U _{in} (V)	I _{in} (mA)	I _{out} (mA)	U _{out} (V)	P _{in} (W)	P _{out} (W)	E _f
5	0.45	0.036	3.54	0.00225	0.000127	0.05664
7.5	0.23	0.039	3.78	0.001725	0.000147	0.085461
10	0.24	0.039	3.78	0.0024	0.000147	0.061425
12.5	0.24	0.039	3.78	0.003	0.000147	0.04914
15	0.24	0.039	3.78	0.0036	0.000147	0.04095
17.5	0.26	0.039	3.78	0.00455	0.000147	0.0324
20	0.28	0.039	3.78	0.0056	0.000147	0.026325
22.5	0.3	0.039	3.78	0.00675	0.000147	0.02184
25	0.32	0.039	3.78	0.008	0.000147	0.018428

Mjerenja sa pretvaračem MP1584ENu strujnom krugu sa zavojnicom L_1 (poglavlje 3.2 nadalje)

Ulazni napon postavljen na 20 V:

R (Ω)	U _r (V)	I _{in} (mA)	U _{in} (V)	P(mW)	P _{out} (W)	E _f
1000000	5.44	0.28	19.54	5.4712	2.95936E-05	0.005408978
560000	5.44	0.28	19.45	5.446	5.28457E-05	0.009703583
220000	5.44	0.27	19.37	5.2299	0.000134516	0.025720638
100000	5.44	0.3	19.5	5.85	0.000295936	0.05058735
56000	5.44	0.31	19.45	6.0295	0.000528457	0.087645268
22000	5.44	0.37	17.27	6.3899	0.001345164	0.210514036
10000	5.44	0.5	18.9	9.45	0.00295936	0.313159788
5600	5.45	0.69	18.37	12.6753	0.005304018	0.418453043
2200	5.45	1.41	16.33	23.0253	0.013501136	0.586360932
1000	4.63	5.18	5.95	30.821	0.0214369	0.695529022
560	2.97	5.8	4.34	25.172	0.015751607	0.625759063
220	1.72	6.2	3.38	20.956	0.013447273	0.641690815
100	1.18	6.28	3.22	20.2216	0.013924	0.688570637

56	0.833	6.31	3.11	19.6241	0.012390875	0.631411122
22	0.41	6.18	2.97	18.3546	0.007640909	0.416293959
10	0.21	6.35	3.02	19.177	0.00441	0.229962976

Ulazni napon postavljen na 15 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P (mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.44	0.24	15.06	3.6144	2.95936E-05	0.008187694
560000	5.45	0.24	15.05	3.612	5.30402E-05	0.014684435
220000	5.44	0.25	15.03	3.7575	0.000134516	0.035799431
100000	5.44	0.27	14.99	4.0473	0.000295936	0.073119364
56000	5.44	0.29	14.93	4.3297	0.000528457	0.122053986
22000	5.44	0.37	14.67	5.4279	0.001345164	0.247823953
10000	5.45	0.54	14.18	7.6572	0.00297025	0.387902889
5600	5.45	0.79	13.46	10.6334	0.005304018	0.498807329
2200	5.44	1.93	10.25	19.7825	0.013451636	0.679976563
1000	3.38	3.9	4.72	18.408	0.0114244	0.620621469
560	2.61	4.15	4.1	17.015	0.012164464	0.714925906
220	1.43	4.5	3.17	14.265	0.009295	0.651594812
100	0.96	4.53	3.1	14.043	0.009216	0.656270028
56	0.65	4.56	3	13.68	0.007544643	0.551508981
22	0.3	4.58	2.97	13.6026	0.004090909	0.300744644
10	0.16	4.54	3.06	13.8924	0.00256	0.184273416

Ulazni napon postavljen na 10 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P(mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.44	0.23	10.01	2.3023	2.95936E-05	#REF!
560000	5.44	0.25	10.02	2.505	5.28457E-05	0.021096
220000	5.44	0.27	9.99	2.6973	0.000134516	0.049871
100000	5.44	0.3	9.95	2.985	0.000295936	0.099141

560000	5.44	0.41	9.86	4.0426	5.28457E-05	0.013072
22000	5.44	0.6	9.53	5.718	0.001345164	0.235251
10000	5.44	1.33	9	11.97	0.00295936	0.247231
5600	5.51	2.09	6.93	14.4837	0.005421446	0.374314
2200	3.43	2.42	4.77	11.5434	0.005347682	0.463267
1000	2.17	2.67	3.83	10.2261	0.0047089	0.460479
560	1.53	2.7	3.14	8.478	0.004180179	0.493062
220	1.11	2.72	3.06	8.3232	0.005600455	0.672873
100	0.68	2.73	2.99	8.1627	0.004624	0.566479
56	0.42	2.7	2.95	7.965	0.00315	0.39548
22	0.2	2.7	3.05	8.235	0.001818182	0.220787
10	0.09	2.72	3.04	8.2688	0.00081	0.097959

Mjerenja sa pretvaračem XL4015E1 u strujnom krugu sa zavojnicom L_1 :

Ulazni napon postavljen na 20 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P (mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.5	4.2	19.5	81.9	0.00003025	0.000369353
560000	5.5	4.21	19.7	82.937	5.40179E-05	0.000651312
220000	5.5	4.18	20.3	84.854	0.0001375	0.00162043
100000	5.5	4.22	20.3	85.666	0.0003025	0.003531156
56000	5.5	4.28	20.1	86.028	0.000540179	0.006279102
22000	5.5	4.53	19.6	88.788	0.001375	0.015486327
10000	5.5	4.96	18.5	91.76	0.003025	0.032966434
5600	5.51	5.42	17.2	93.224	0.005421446	0.058155051
2200	5.48	9.62	5.8	55.796	0.013650182	0.244644452
1000	5.48	9.62	5.8	55.796	0.0300304	0.538217793
560	3.83	10.3	4.2	43.26	0.026194464	0.605512351
220	2.32	10.53	3.6	37.908	0.024465455	0.645390275
100	1.23	10.53	3.6	37.908	0.015129	0.399097816
56	0.72	10.53	3.7	38.961	0.009257143	0.237600238

22	0.31	10.54	3.7	38.998	0.004368182	0.112010406
10	0.15	10.56	3.4	35.904	0.00225	0.062667112

Ulazni napon postavljen na 15 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P(mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.5	4.6	15.3	70.38	0.00003025	0.00043
560000	5.5	4.64	15.79	73.2656	5.40179E-05	0.000737
220000	5.5	4.67	15.8	73.786	0.0001375	0.001863
100000	5.5	4.72	15.8	74.576	0.0003025	0.004056
56000	5.5	4.78	15.8	75.524	0.000540179	0.007152
22000	5.5	4.99	15.4	76.846	0.001375	0.017893
10000	4.48	8.04	6.3	50.652	0.00200704	0.039624
5600	4.48	8.04	6.3	50.652	0.003584	0.070757
2200	4.48	8.06	6.3	50.778	0.009122909	0.179663
1000	4.66	8.39	5.4	45.306	0.0217156	0.47931
560	3.3	8.92	3.9	34.788	0.019446429	0.558998
220	2.04	8.95	3.9	34.905	0.018916364	0.541939
100	1.07	8.93	4	35.72	0.011449	0.320521
56	0.62	8.94	4	35.76	0.006864286	0.191954
22	0.26	8.96	4	35.84	0.003072727	0.085735
10	0.13	8.94	4	35.76	0.00169	0.04726

Ulazni napon postavljen na 10 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P(mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.55	5.29	9.8	51.842	3.08025E-05	0.000594
560000	5.48	5.58	7	39.06	5.36257E-05	0.001373
220000	5.48	6.19	7.1	43.949	0.000136502	0.003106
100000	5.48	6.21	7	43.47	0.000300304	0.006908
56000	5.48	6.22	6.7	41.674	0.000536257	0.012868

22000	5.48	6.22	6.7	41.674	0.001365018	0.032755
10000	5.48	6.22	6.7	41.674	0.00300304	0.07206
5600	5.48	6.23	6.8	42.364	0.005362571	0.126583
2200	5.28	6.3	6.8	42.84	0.012672	0.295798
1000	4.46	6.61	5.7	37.677	0.0198916	0.527951
560	3.16	7.07	4.4	31.108	0.017831429	0.57321
220	1.88	7.07	4.3	30.401	0.016065455	0.528452
100	0.86	7.09	3.4	24.106	0.007396	0.306812
56	0.5	7.03	3.8	26.714	0.004464286	0.167114
22	0.21	7.07	4	28.28	0.002004545	0.070882
10	0.1	7.08	4.1	29.028	0.001	0.034449

Mjerenja u strujnom krugu sa zavojnicom L_1 i bez pretvarača:

R (Ω)	U1 (V)	U2 (V)	U3 (V)	Pu1 (W)	Pu2 (W)	Pu3 (W)
1000000	20.7	15	10	0.000428	0.000225	0.0001
560000	21.2	15.3	9.9	0.000803	0.000418018	0.000175018
220000	21.4	15.2	9.9	0.002082	0.001050182	0.0004455
100000	22	15.1	9.7	0.00484	0.0022801	0.0009409
56000	21.6	14.7	9.5	0.008331	0.00385875	0.001611607
22000	23.1	13.8	8.8	0.024255	0.008656364	0.00352
10000	20.1	12.2	7.7	0.040401	0.014884	0.005929
5600	17.3	10.5	6.6	0.053445	0.0196875	0.007778571
2200	11.5	6.9	4.3	0.060114	0.021640909	0.008404545
1000	6.9	4.1	2.6	0.04761	0.01681	0.00676
560	4.5	2.6	1.6	0.036161	0.012071429	0.004571429
220	2	1.2	0.7	0.018182	0.006545455	0.002227273
100	1	0.6	0.3	0.01	0.0036	0.0009
56	0.6	0.3	0.2	0.006429	0.001607143	0.000714286
22	0.3	0.2	0.1	0.004091	0.001818182	0.000454545
10	0.1	0.1	0	0.001	0.001	0

Mjerenja u strujnom krugu sa zavojnicom L_2 i bez pretvarača:

R (Ω)	U1 (V)	U2 (V)	U3 (V)	Pu1(W)	Pu2(W)	Pu3(W)
1000000	20	15.1	9.9	0.0004	0.00022801	0.00009801
560000	20	14.9	9.6	0.000714	0.000396446	0.000164571
220000	20	14.8	9.2	0.001818	0.000995636	0.000384727
100000	19.9	14.6	8.9	0.00396	0.0021316	0.0007921
56000	19.7	14.4	8.6	0.00693	0.003702857	0.001320714
22000	19.5	14	8.3	0.017284	0.008909091	0.003131364
10000	19.2	13.4	7.9	0.036864	0.017956	0.006241
5600	18.6	12.7	7.4	0.061779	0.028801786	0.009778571
2200	16.6	11.1	6.4	0.125255	0.056004545	0.018618182
1000	13.8	8.9	5.2	0.19044	0.07921	0.02704
560	11	7	4.1	0.216071	0.0875	0.030017857
220	6.4	4	2.3	0.186182	0.072727273	0.024045455
100	3.5	2.2	1.3	0.1225	0.0484	0.0169
56	2.1	1.3	0.8	0.07875	0.030178571	0.011428571
22	0.9	0.6	0.3	0.036818	0.016363636	0.004090909
10	0.4	0.3	0.2	0.016	0.009	0.004

Mjerenja sa pretvaračem XL4015E1 u strujnom krugu sa zavojnicom L_2 :

Ulazni napon od 20 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P (mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.5	4.14	20.1	83.214	0.00003025	0.000363521
560000	5.5	4.16	20.3	84.448	5.40179E-05	0.000639658
220000	5.5	4.14	20.3	84.042	0.0001375	0.001636087
100000	5.5	4.2	20.3	85.26	0.0003025	0.003547971
56000	5.5	4.226	20.3	85.7878	0.000540179	0.006296683
22000	5.5	4.46	20.2	90.092	0.001375	0.015262176
10000	5.5	4.82	20.1	96.882	0.003025	0.03122355

5600	5.5	5.24	19.9	104.276	0.005401786	0.051802771
2200	5.5	6.28	19.5	122.46	0.01375	0.112281561
1000	5.5	8.43	18.6	156.798	0.03025	0.192923379
560	5.5	10.27	17.7	181.779	0.054017857	0.297162253
220	5.5	20.7	12.5	258.75	0.1375	0.531400966
100	3.53	36.4	3.5	127.4	0.124609	0.978092622
56	2.07	36.4	3.3	120.12	0.076516071	0.636996932
22	0.93	36.1	3.3	119.13	0.039313636	0.330006181
10	0.46	36	3.3	118.8	0.02116	0.178114478

Ulazni napon od 15 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P (mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.5	4.6	15	69	0.00003025	0.000438406
560000	5.5	4.6	15	69	5.40179E-05	0.000782867
220000	5.5	4.6	15	69	0.0001375	0.001992754
100000	5.5	4.7	15	70.5	0.0003025	0.00429078
56000	5.5	4.7	15	70.5	0.000540179	0.007662107
22000	5.5	4.9	14.9	73.01	0.001375	0.018833037
10000	5.5	5.2	14.8	76.96	0.003025	0.039306133
5600	5.5	5.6	14.7	82.32	0.005401786	0.06561936
2200	5.5	6.7	14.2	95.14	0.01375	0.14452386
1000	5.5	8.9	13.1	116.59	0.03025	0.259456214
560	5.5	11.9	12.1	143.99	0.054017857	0.37515006
220	4.95	26.5	5	132.5	0.111375	0.840566038
100	2.86	29.5	3.3	97.35	0.081796	0.840225989
56	1.74	29.5	3.3	97.35	0.054064286	0.555359894
22	0.77	29.3	3.3	96.69	0.02695	0.278725825
10	0.38	29.2	3.3	96.36	0.01444	0.149854711

Ulazni napon od 10 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P(mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.5	5.1	10	51	0.00003025	0.000593
560000	5.5	5.1	9.9	50.49	5.40179E-05	0.00107
220000	5.5	5.1	9.9	50.49	0.0001375	0.002723
100000	5.5	5.1	9.8	49.98	0.0003025	0.006052
56000	5.5	5.2	9.8	50.96	0.000540179	0.0106
22000	5.5	5.4	9.6	51.84	0.001375	0.026524
10000	5.5	5.7	9.4	53.58	0.003025	0.056458
5600	5.5	6.2	9	55.8	0.005401786	0.096806
2200	5.5	8.1	8	64.8	0.01375	0.212191
1000	5.5	10.3	6.2	63.86	0.03025	0.473692
560	5.17	13.1	5.2	68.12	0.047730179	0.700678
220	3.14	16.4	3.3	54.12	0.044816364	0.828092
100	1.75	15.9	3.3	52.47	0.030625	0.583667
56	1.03	15.8	3.3	52.14	0.018944643	0.363342
22	0.44	14.7	3.3	48.51	0.0088	0.181406
10	0.21	15.5	3.3	51.15	0.00441	0.086217

Mjerenja sa pretvaračem MP1584EN u strujnom krugu sa zavojnicom L_2 :

Ulazni napon postavljen na 20 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P (mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.44	0.28	20.1	5.628	2.95936E-05	0.00525828
560000	5.44	0.28	20.1	5.628	5.28457E-05	0.009389786
220000	5.44	0.29	20.2	5.858	0.000134516	0.022962848
100000	5.44	0.3	20.3	6.09	0.000295936	0.04859376
56000	5.44	0.32	20.3	6.496	0.000528457	0.081351161
22000	5.44	0.38	20.3	7.714	0.001345164	0.174379522
10000	5.44	0.5	20.3	10.15	0.00295936	0.291562562

5600	5.44	0.68	20.2	13.736	0.005284571	0.384724187
2200	5.44	1.29	20	25.8	0.013451636	0.521381254
1000	5.44	2.9	19.1	55.39	0.0295936	0.534276945
560	5.44	4.24	18.8	79.712	0.052845714	0.662958078
220	5.43	11.78	15.7	184.946	0.134022273	0.724656239
100	3.31	34.5	4.8	165.6	0.109561	0.661600242
56	2.49	32.6	5.8	189.08	0.110716071	0.585551467
22	1.38	34.1	4.9	167.09	0.086563636	0.518065931
10	0.91	35.1	4.3	150.93	0.08281	0.548664944

Ulazni napon postavljen na 15 V:

R (Ω)	Ur (V)	I in (mA)	U in (V)	P(mW)	Pout (W)	Ef
1000000	5.44	0.26	15	3.9	2.95936E-05	0.007588
560000	5.44	0.27	14.9	4.023	5.28457E-05	0.013136
220000	5.44	0.28	14.9	4.172	0.000134516	0.032243
100000	5.44	0.3	14.9	4.47	0.000295936	0.066205
56000	5.44	0.32	14.9	4.768	0.000528457	0.110834
22000	5.44	0.42	14.8	6.216	0.001345164	0.216403
10000	5.44	0.6	14.6	8.76	0.00295936	0.337826
5600	5.46	0.86	14.4	12.384	0.0053235	0.429869
2200	5.46	1.79	13.9	24.881	0.013550727	0.544621
1000	5.45	4.5	12.4	55.8	0.0297025	0.532303
560	5.43	7.2	11.3	81.36	0.052651607	0.647144
220	3.84	20.7	5.4	111.78	0.067025455	0.599619
100	2.4	19.4	5.1	98.94	0.0576	0.582171
56	1.59	21.2	4.4	93.28	0.045144643	0.483969
22	0.97	20.9	4.4	91.96	0.042768182	0.465074
10	0.59	23.4	3.3	77.22	0.03481	0.45079

Ulazni napon postavljen na 10 V:

R (Ω)	U _r (V)	I _{in} (mA)	U _{in} (V)	P(mW)	P _{out} (W)	E _f
1000000	5.44	0.28	10	2.8	2.96E-05	0.010569
560000	5.44	0.29	10	2.9	5.28E-05	0.018223
220000	5.44	0.3	10	3	0.000135	0.044839
100000	5.44	0.33	9.9	3.267	0.000296	0.090583
56000	5.44	0.37	9.9	3.663	0.000528	0.144269
22000	5.44	0.52	9.8	5.096	0.001345	0.263965
10000	5.44	0.79	9.7	7.663	0.002959	0.386188
5600	5.44	1.14	9.5	10.83	0.005285	0.487957
2200	5.44	2.48	8.8	21.824	0.013452	0.616369
1000	5.44	7.6	6.3	47.88	0.029594	0.618079
560	4.07	9.75	5.6	54.6	0.02958	0.541762
220	2.64	11.9	4.7	55.93	0.03168	0.566422
100	1.61	13.89	3.8	52.782	0.025921	0.491095
56	1.19	13.79	3.8	52.402	0.025288	0.482567
22	0.72	14.67	3.4	49.878	0.023564	0.472425
10	0.38	14.44	3.4	49.096	0.01444	0.294118