

# 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:* **2024-12-21**

*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 okruženju 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, čuk itd... U ovom radu su korištena dva step-down (*buck*) modula DC-DC pretvarača.

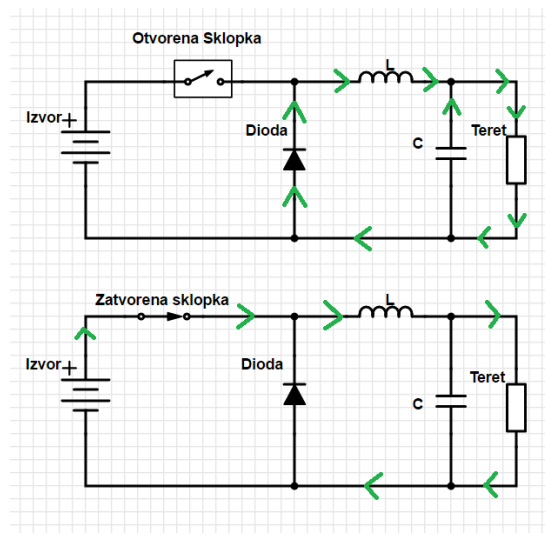
## 2.1 Step-down (buck) pretvarač

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.

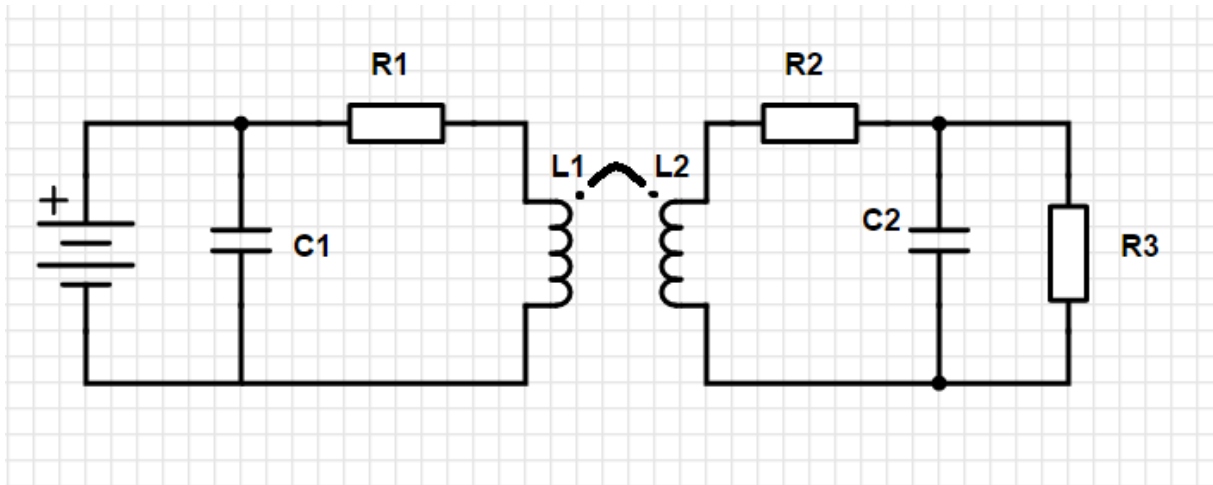


Slika 2.1. Shema buck convertera pri otvorenoj i zatvorenoj sklopki [1]

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. Zavrjeme 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 radaovisno 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 blizinu prve će formirati oscilirajuće magnetsko polje i omogućiti prolaz struje kroz ostatak kruga. Transformatori također svoj princip rada zasnivaju na ovome načinu rada.



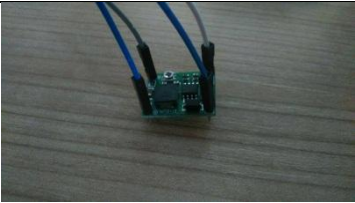
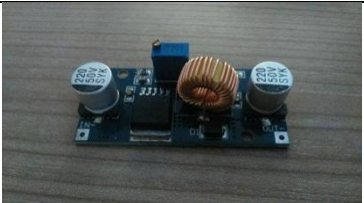
Slika 2.2. Shema jednostavnog strujnog kruga koji koristi bežični prijenos energije [3]

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

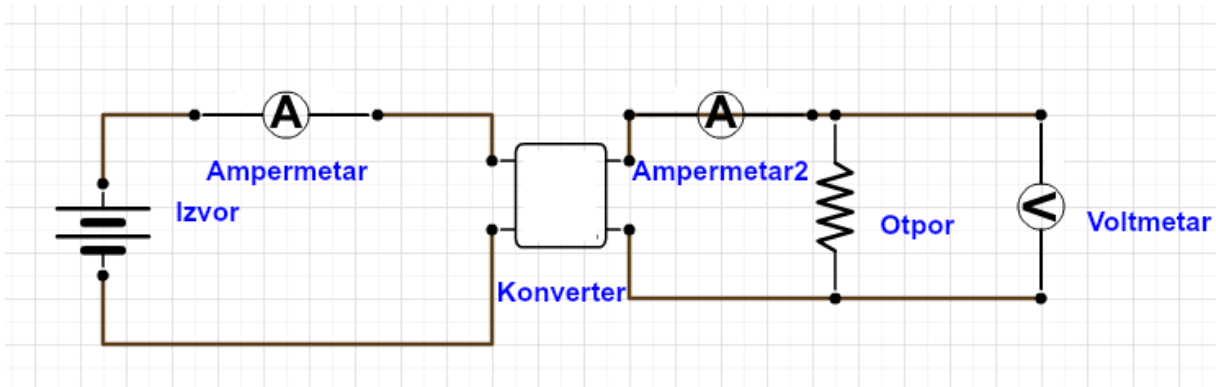
Pri laboratorijskim mjerenjima su korištena dva modula, njihove specifikacije dane od proizvođača se nalaze u tablici 3.1.

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        |  |  |

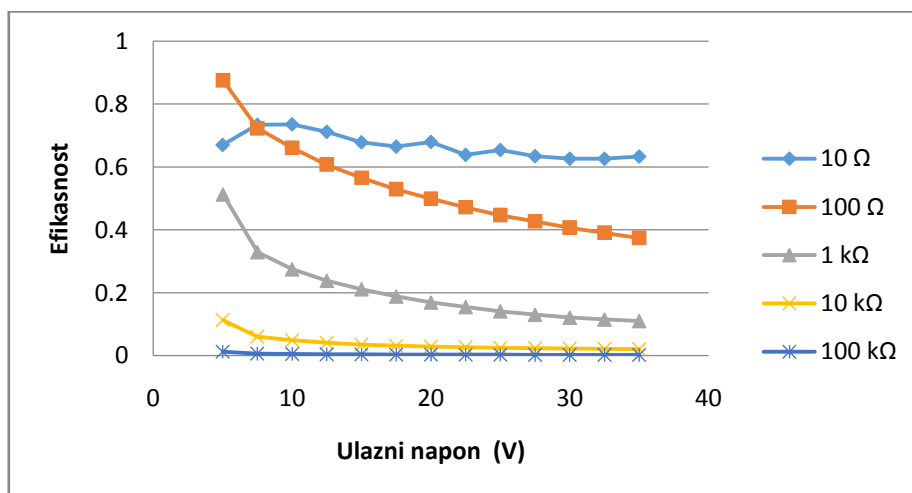
### 3.1 Mjerenja efikasnosti pretvarača u jednostavnom krugu

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 dobavljaio određeni opseg napona (5-35V ili 5-25V) ovisno o modulu. Trošilo je bio otpornik konkretnog iznosa (10  $\Omega$ , 100  $\Omega$ , 1 k $\Omega$ , 10 k $\Omega$  i 100 k $\Omega$ ). 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]

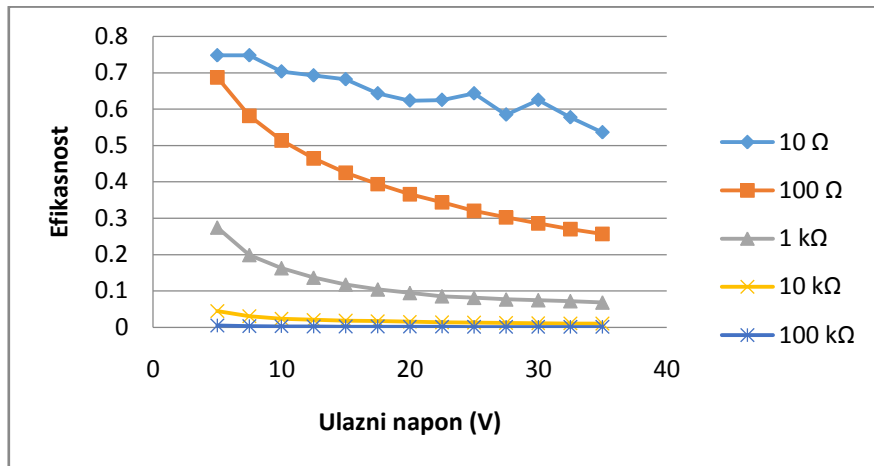
Za mjerenja provedena sa XL4015E1 pretvaračem dobiveni su sljedeći rezultati:



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



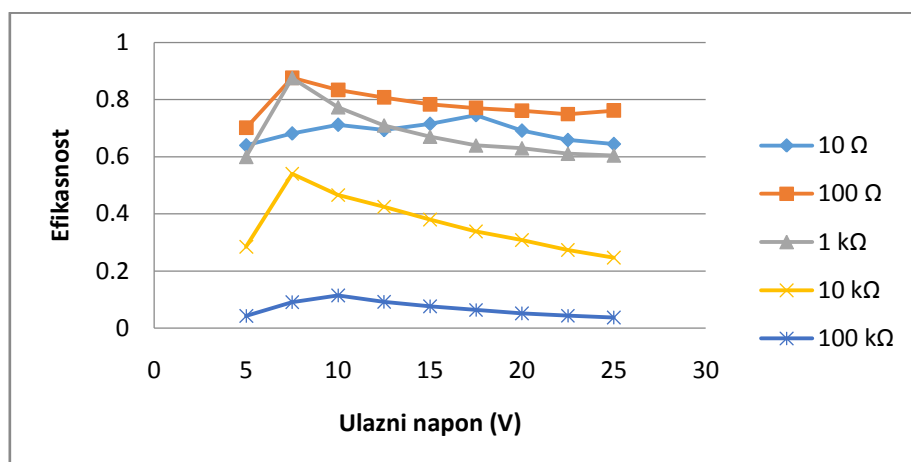
Vidljivo je da je razina efikasnosti XL4015E1 pretvarača pri izlaznom naponu od 5V kroz promjenu napona relativno konstantna sa blagom tendencijom opadanja. Pri velikim vrijednostima otpora efikasnost drastično opada.



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

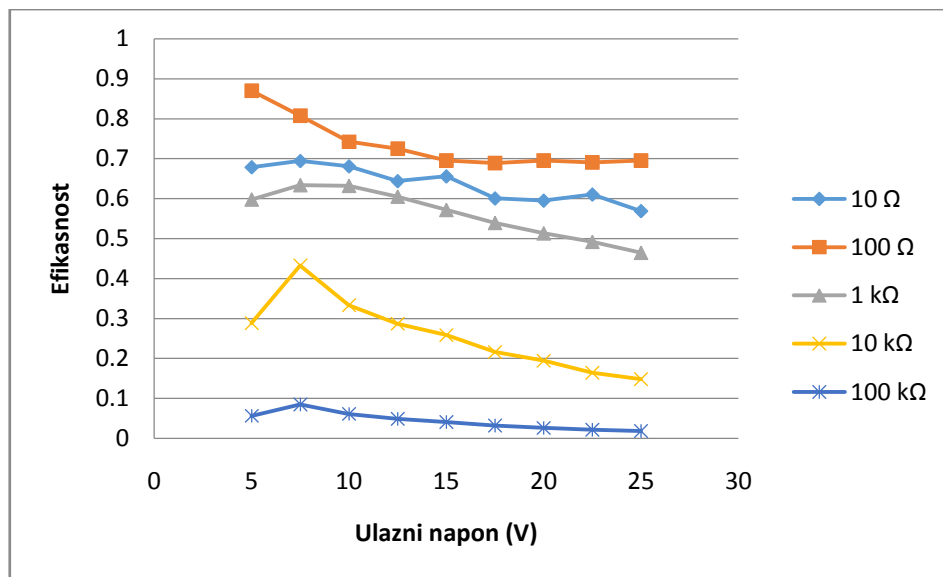
Efikasnost XL4015E1 pretvarača postavljenog na izlazni napon od 3.3 V daje niže rezultate efikasnosti nego kada je izlazni napon postavljen na 5.0 V. Najviša efikasnost se očituje pri trošilu koje ima otpor 10 Ω, a sa porastom otpora trošila efikasnost drastično opada. Pri otporima trošila od 10 kΩ i 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  $\Omega$  i prva 4 mjerenja sa 100  $\Omega$ . Kod MP1584EN pretvarača su sva mjerenja za 10  $\Omega$ , 100  $\Omega$  i 1 k $\Omega$  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

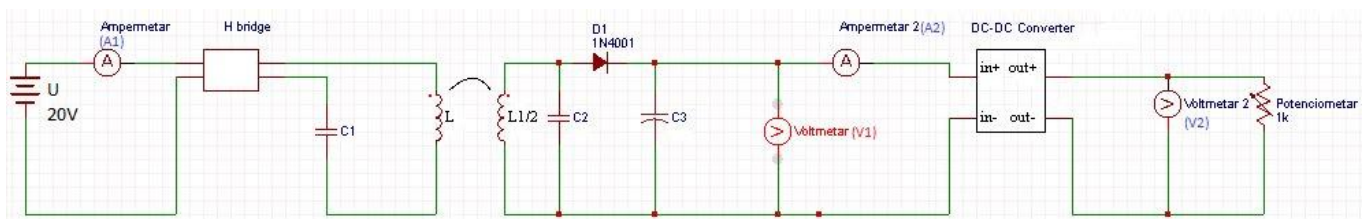
MP1584EN pretvarač pokazuje veće vrijednosti efikasnosti u usporedbi sa XL4015E1 pretvaračem bez obzira na smanjenu vrijednost izlaznog napona. Tendencija opadanja efikasnosti je primjetljiva pri porastu ulaznog napona. Pri većim vrijednostima otpora efikasnost opada.

### 3.2 Mjerenja u okruženju zavojnice (bežični prijenos energije)

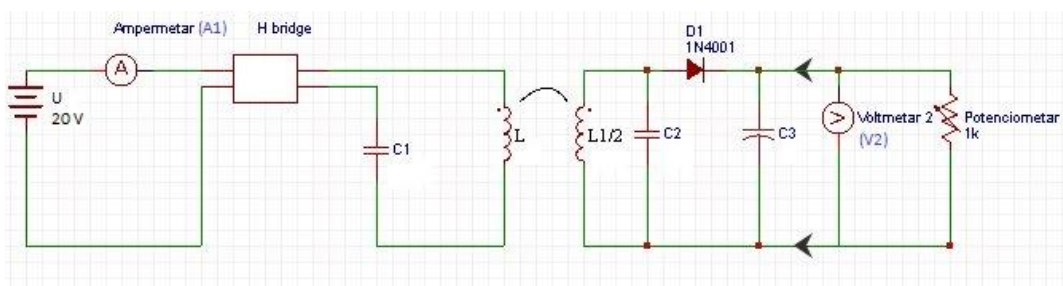
Tablica 3.2. Svojstva zavojnica korištenih u laboratorijskim mjerenjima

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

Mjerenja u okruženju 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.



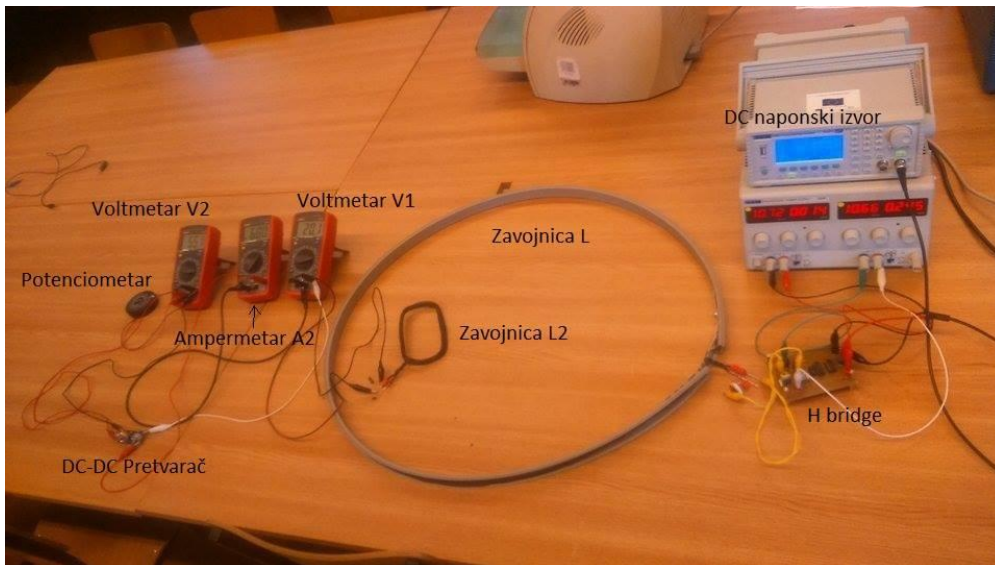
Slika 3.6. Shema strujnog kruga u kojemu je upotrebljen DC-DC pretvarač pri mjerenjima [5]



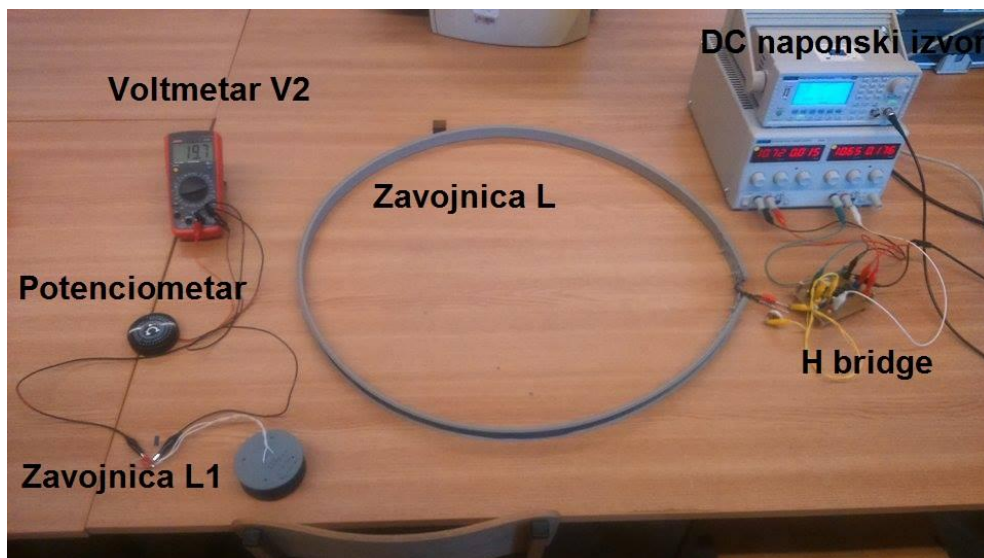
Slika 3.7. Shema strujnog kruga u kojemu je DC-DC pretvarač bio izostavljen iz mjerenja[5]

### 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 potenciometru. 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).

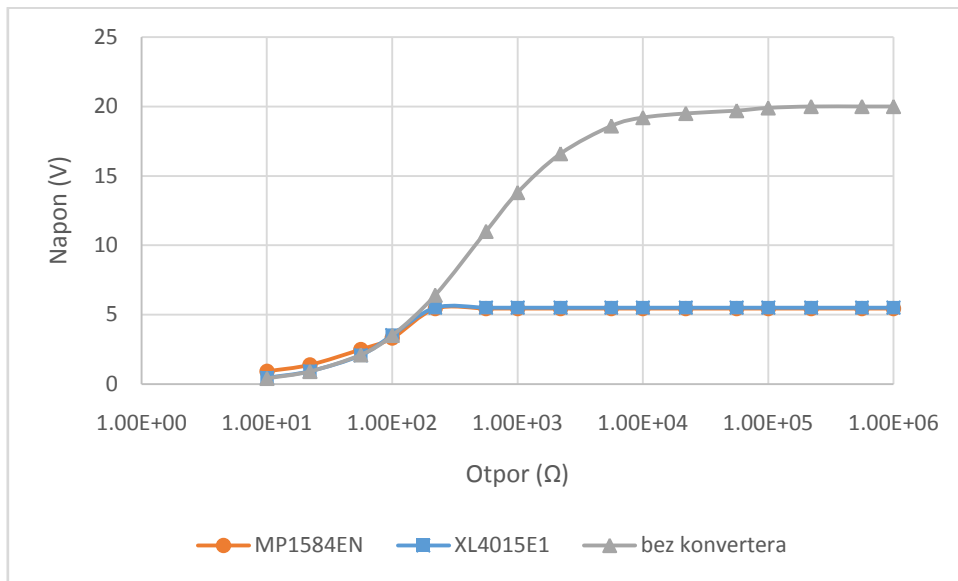


Slika 3.8. Slika strujnog kruga sa imenovanim elementima

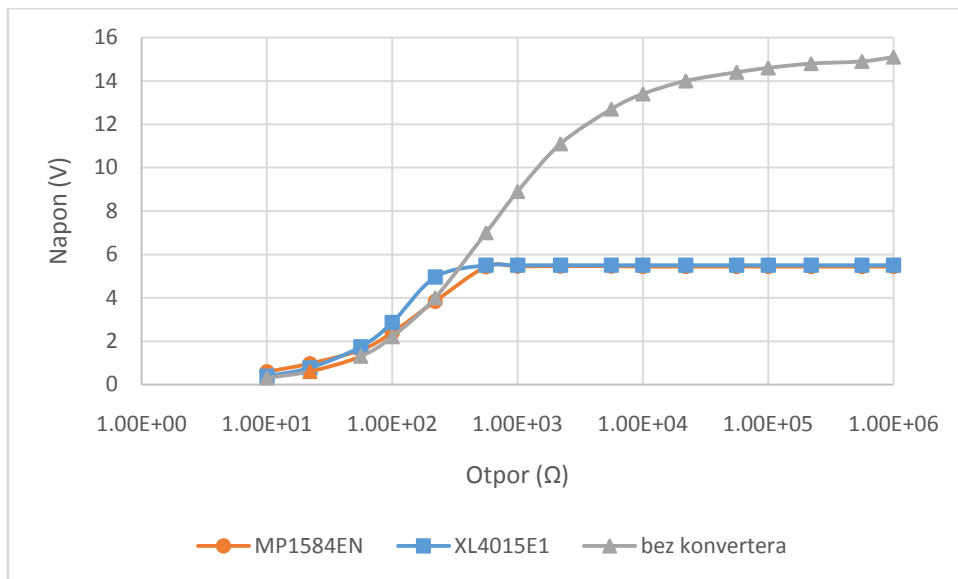


Slika 3.9. Slika strujnog kruga bez DC-DC pretvarača sa imenovanim elementima

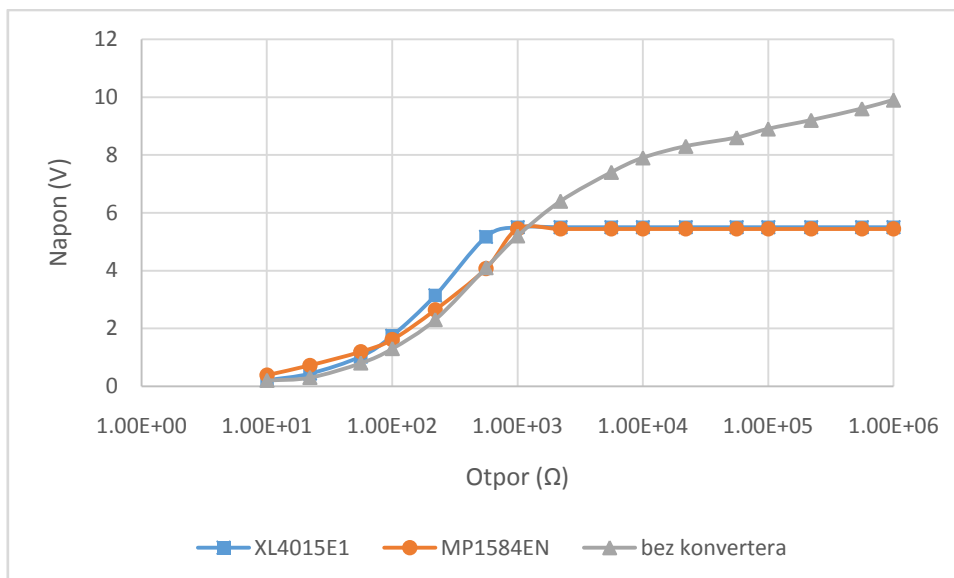
Slijede mjerenja provedena sa zavojnicom  $L_1$ :



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



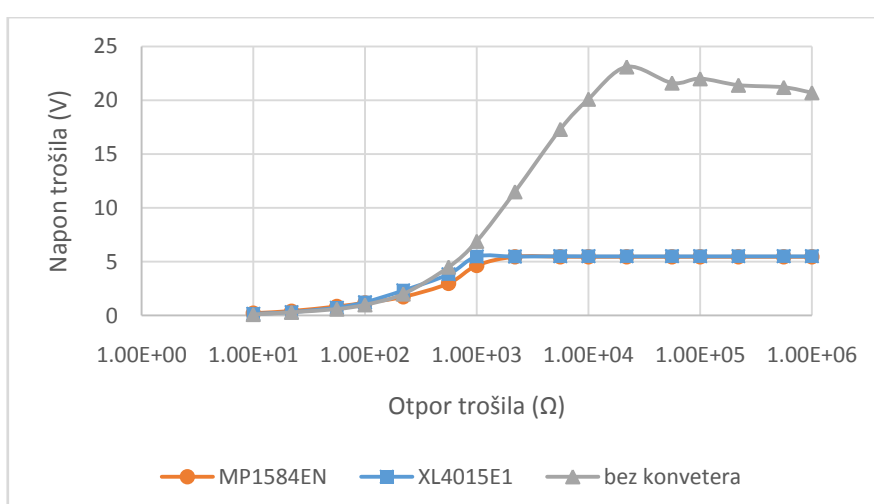
Slika 3.11. Graf pada napona na trošilu u strujnom krugu sa zavojnicom  $L_1$  (mjeren voltmetrom 2, slika 3.6) pri ulaznom naponu strujnog kruga od 15 V



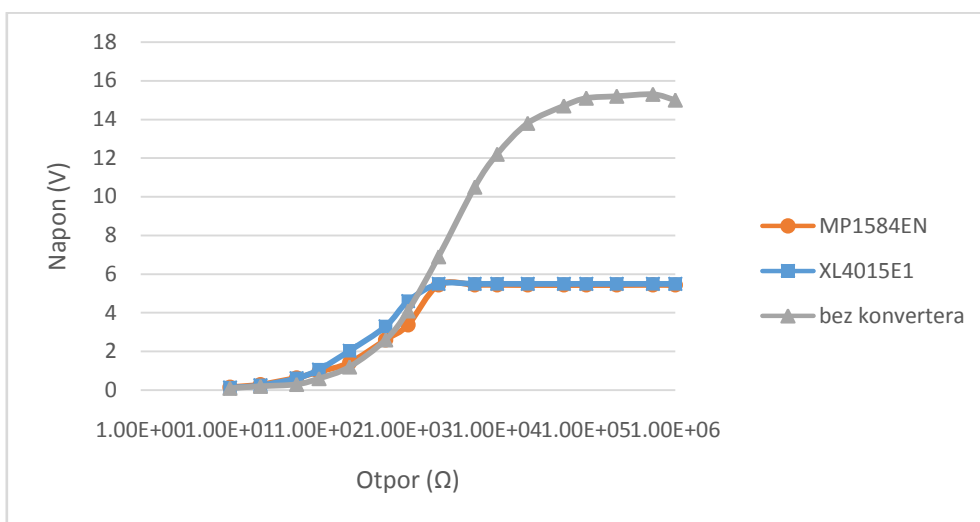
Slika 3.12. Graf padanapona na trošilu u strujnom krugu sa zavojnicom  $L_1$  (mjereno voltmetrom 2, slika 3.6) pri ulaznom naponu strujnog kruga od 10 V

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 potenciometra. Izlazni napon bez pretvarača teži vrijednosti ulaznog napona u praznom hodu (bez spojenog trošila) i bliži mu je što je veća vrijednost otpora trošila.

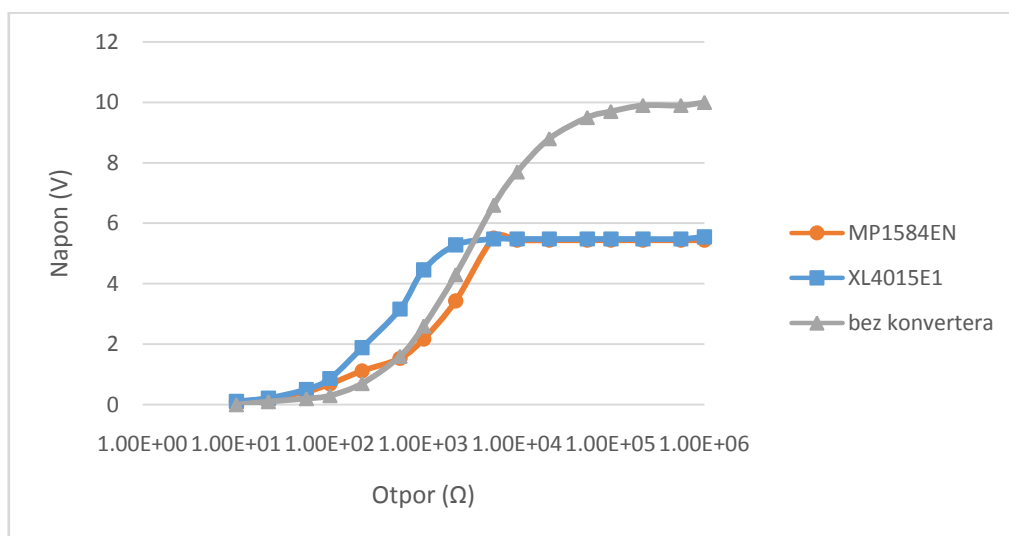
Mjerenja provedena sa zavojnicom  $L_2$ :



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  $L_2$  (mjeren 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  $L_2$  (mjeren voltmetrom 2, slika 3.6) pri ulaznom naponu strujnog kruga od 10 V

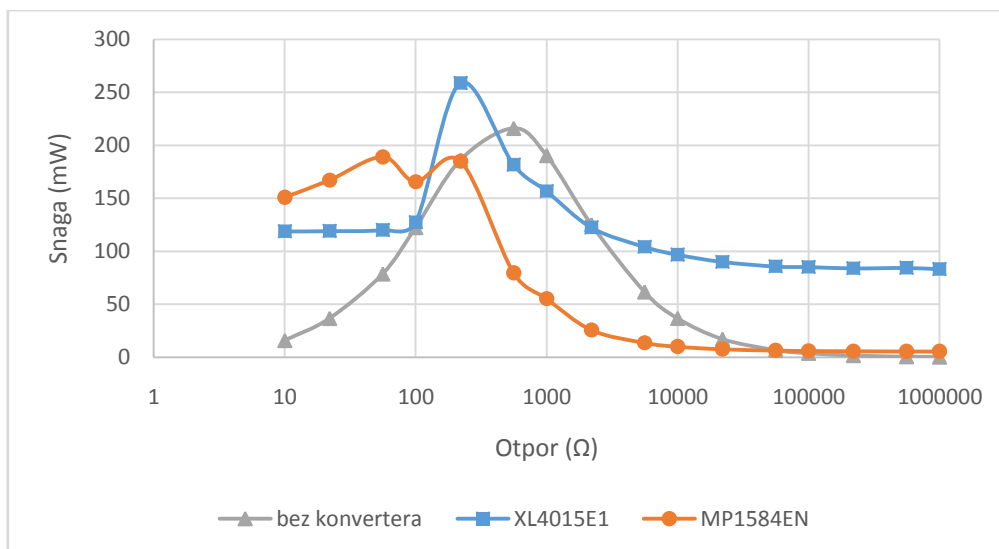
Kao i na primjeru zavojnice  $L_1$  na grafovima je vidljivo da pri korištenju pretvarača oba pretvarača relativno dobro limitiraju izlazni napon i drže ga stabilnim za vrijeme porasta otpora trošila. Izlazni napon pri korištenju pretvarača stagnira od vrijednosti 1 kΩ

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

### 3.4 Izračuni snage na izlazu iz LC kruga

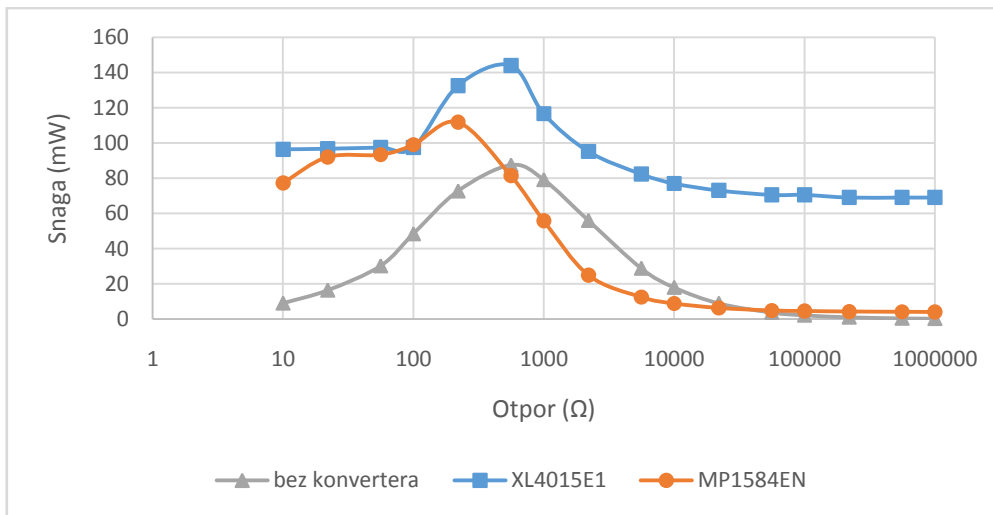
Izračuni snage daju uvid u količinu disipirane snage na elementima. Snaga se pri korištenju pretvarača računala kao umnožak napona očitano sa voltmetra V1 i struje očitane sa ampermetra A1. U krugu bez pretvarača se snaga se računala kao omjer kvadrata napona očitano sa voltmetra V2 i otpora sa potenciometra.

Slijede mjerenja provedena sa zavojnicom  $L_1$ :

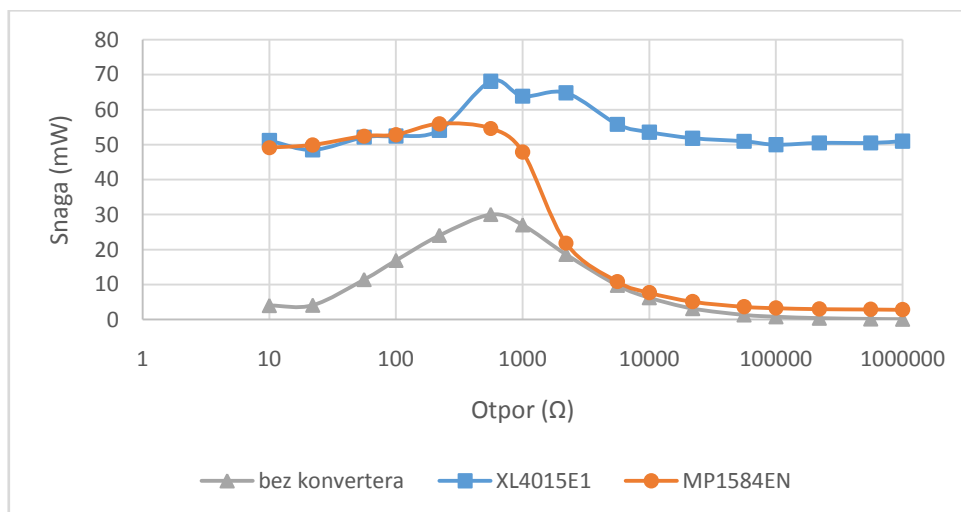


Slika 3.16. Graf izlazne snage u LC krugu sa zavojnicom  $L_1$  pri ulaznom naponu od 20 V





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

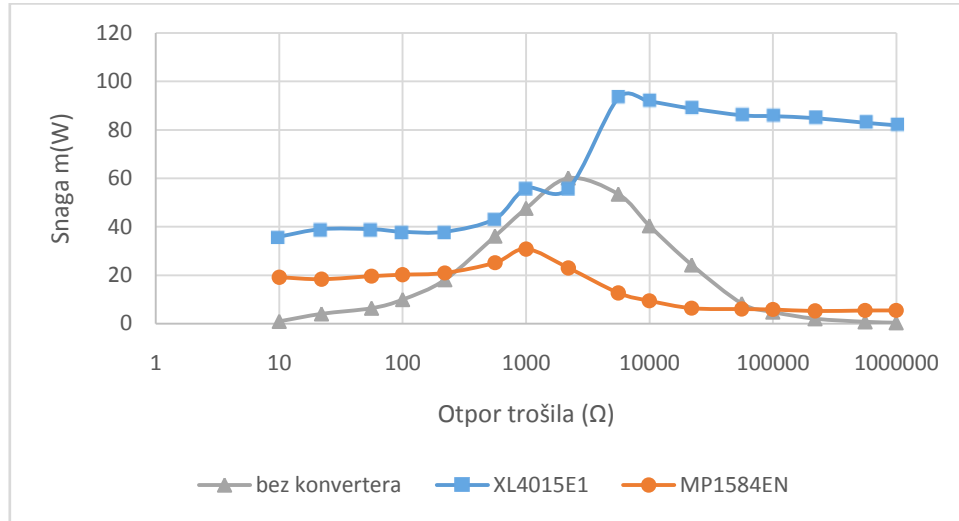


Slika 3.18. Graf izlazne snage u LC krugu sa zavojnicom  $L_1$  pri ulaznom naponu od 10 V

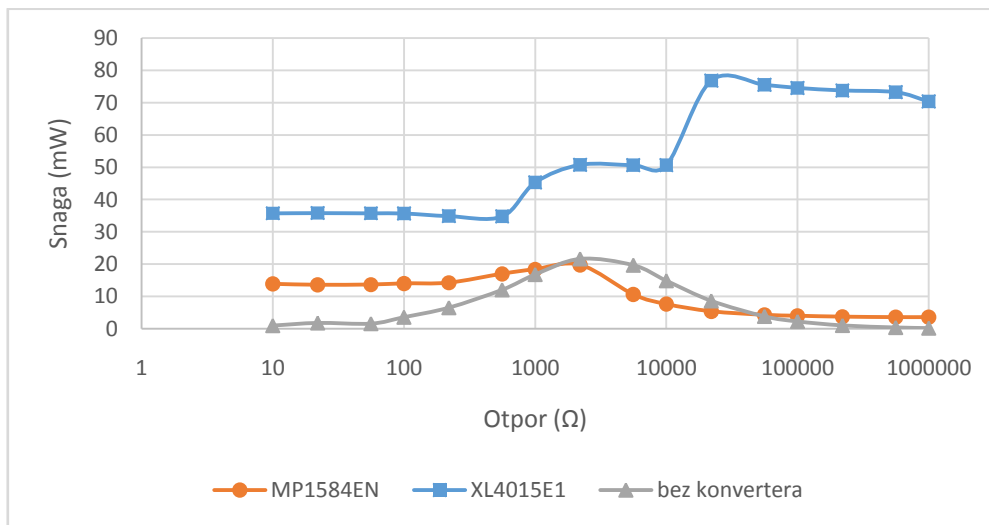
Pri analizi mjerenja izlazne snage LC kruga da se zaključiti da XL4015E1 pretvarač dispira značajno veću količinu snage, tj da MP1584EN pretvarač dispira manju količinu snage od XL4015E1 pretvarača. MP1584EN pretvarač parira u količini snage pri manjim otporima (do 1k $\Omega$ ). Kod XL4015E1 pretvarača 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  $\Omega$ , 1 k $\Omega$  i 2,2 k $\Omega$  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.

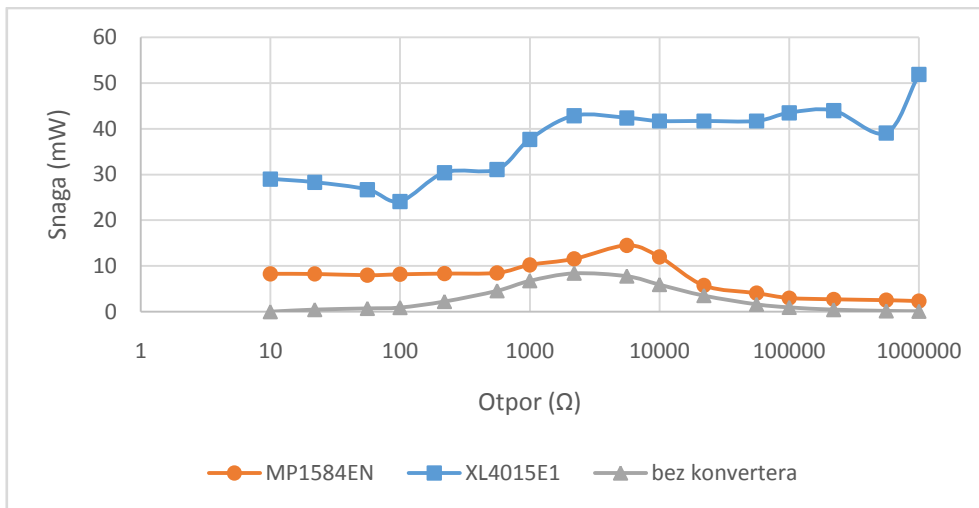
Mjerenja provedena sa zavojnicom  $L_2$ :



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

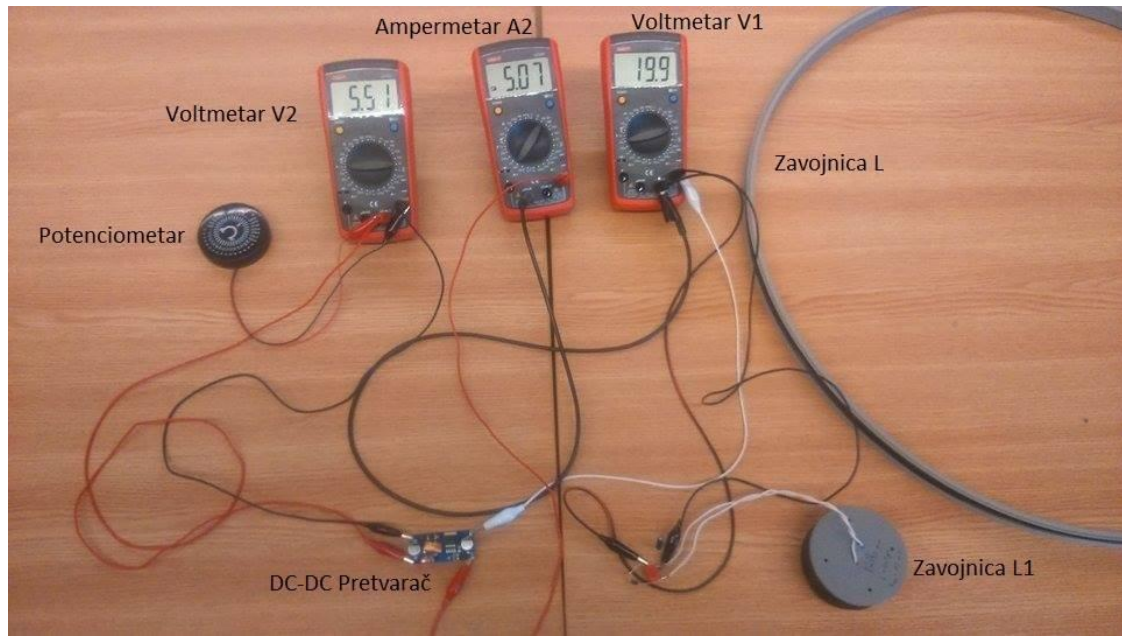


Slika 3.21. Graf izlazne snage u LC krugu sa zavojnicom  $L_2$  pri ulaznom naponu od 10 V

Kao i kod mjerenja sa zavojnicom  $L_1$ , da se zaključiti da XL4015E1 pretvarač disipira znatno veću količinu snage, tj. da MP1584EN pretvarač disipira 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 disipirana snaga na trošilu je u većini mjerenjima niža nego snaga disipirana na XL4015E1 pretvaraču. Jedina iznimka je mjerenje pri ulaznom naponu od 20 V i otporu od 2,2 k $\Omega$  (Slika 3.19). U pravilu je disipirana snaga na trošilu manja nego disipirana snaga na MP1584EN pretvaraču no ima iznimaka gdje veća, kojih ima više no u usporedbi sa XL4015E1 pretvaračem.

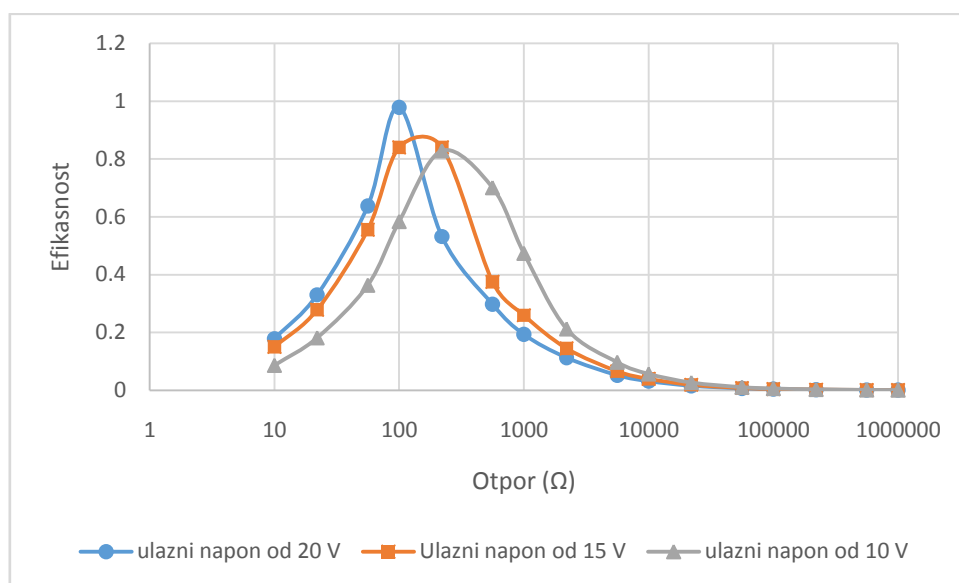
### 3.5 Mjerenja efikasnosti

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.

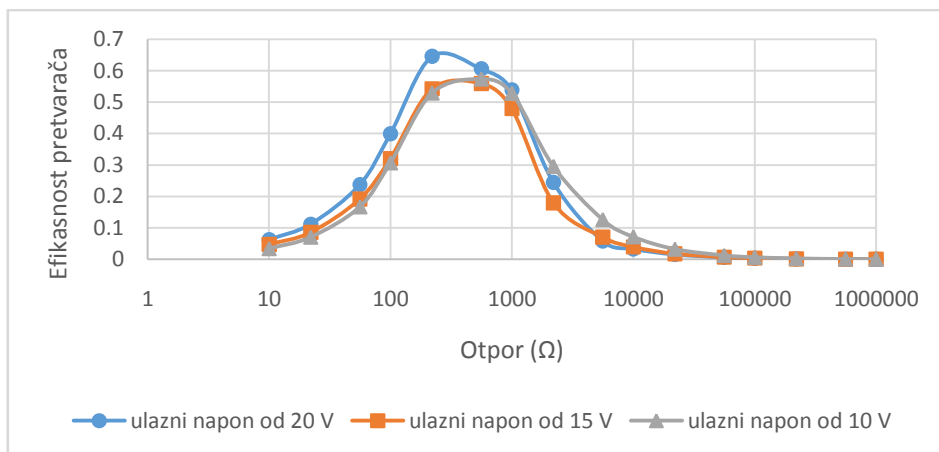


Slika 3.22. Mjerna oprema strujnoga kruga sa imenovanim elementima kruga

Mjerenja za XL4015E1 pretvarač:



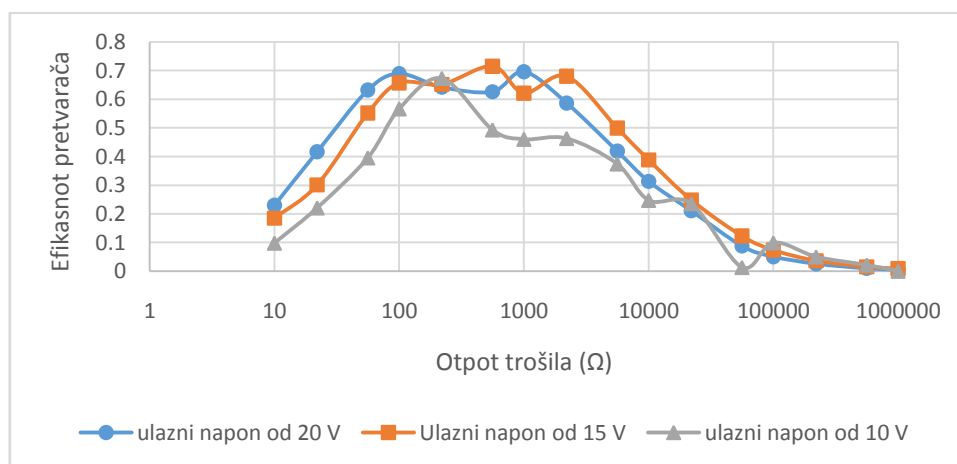
Slika 3.23. Graf efikasnosti XL4015E1 pretvarača u LC krugu sa zavojnicom  $L_1$



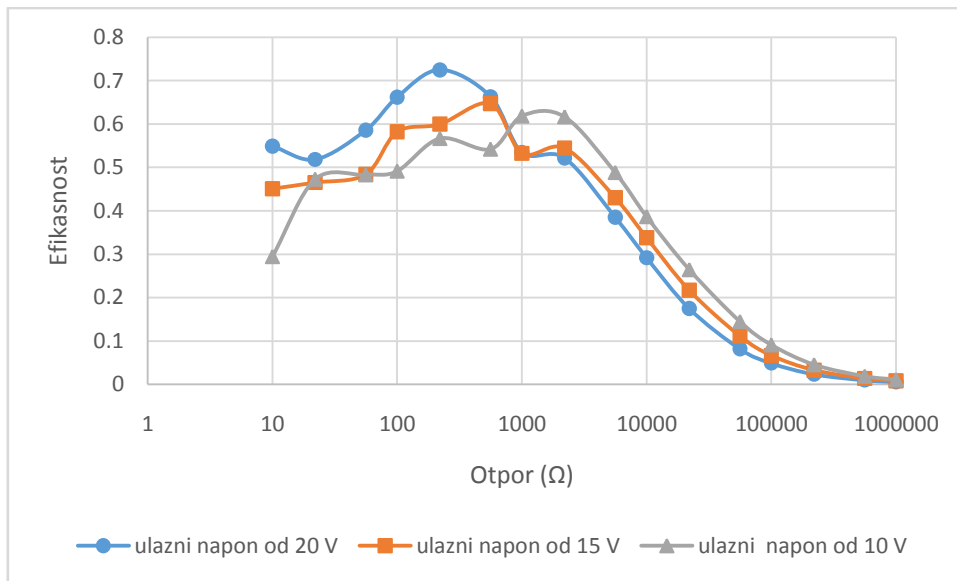
Slika 3.24. Graf efikasnosti XL4015E1 pretvarača u LC krugu sa zavojnicom  $L_2$

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  $10 \Omega$  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 $\Omega$            |                     |                         |                         |                        |                      |                |
|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------|
| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub> (A) | U <sub>out</sub><br>(V) | I <sub>out</sub><br>(A) | P <sub>in</sub><br>(W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
| 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 $\Omega$           |                         |                         |                       |                     |                      |                |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | I <sub>out</sub> (mA) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
| 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 $\Omega$           |                         |                         |                       |                     |                      |                |
| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | I <sub>out</sub> (mA) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
| 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 $\Omega$          |                         |                         |                       |                     |                      |                |
| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | I <sub>out</sub> (mA) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |

|      |      |      |      |          |          |          |
|------|------|------|------|----------|----------|----------|
| 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 $\Omega$ |          |          |          |          |          |          |
|----------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Uin (V)        | Iin (mA) | Uout (V) | Iout(mA) | Pin (W)  | Pout (W) | Ef       |
| 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  $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub> (A) | U <sub>out</sub><br>(V) | I <sub>out</sub><br>(A) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub><br>(W) | E <sub>f</sub> |
|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|----------------|
| 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  $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | I <sub>out</sub><br>(mA) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (W) | EF       |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|---------------------|----------------------|----------|
| 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 $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | I <sub>out</sub><br>(mA) | Pin(W)  | Pout(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 $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | I <sub>out</sub><br>(mA) | Pin (W) | Pout(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 $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | I <sub>out</sub><br>(mikroA) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub><br>(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  $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub> (A) | I <sub>out</sub> (A) | U <sub>out</sub> | P <sub>in</sub><br>(W) | P <sub>out</sub><br>(W) | Ef       |
|------------------------|---------------------|----------------------|------------------|------------------------|-------------------------|----------|
| 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  $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | I <sub>out</sub> (mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | P <sub>in</sub><br>(W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|------------------------|----------------------|----------------|
| 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 $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | I <sub>out</sub> (mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| 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 $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | I <sub>out</sub> (mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (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 $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | I <sub>out</sub> (mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (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  $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub> (A) | I <sub>out</sub><br>(A) | U <sub>out</sub><br>(V) | P <sub>in</sub><br>(W) | P <sub>out</sub><br>(W) | E <sub>f</sub> |
|------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|----------------|
| 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  $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | I <sub>out</sub> (mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| 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 $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | I <sub>out</sub> (mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| 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 $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | I <sub>out</sub> (mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| 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 $\Omega$

| U <sub>in</sub><br>(V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | I <sub>out</sub> (mA) | U <sub>out</sub><br>(V) | P <sub>in</sub> (W) | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
|------------------------|-------------------------|-----------------------|-------------------------|---------------------|----------------------|----------------|
| 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 ( $\Omega$ ) | U <sub>r</sub> (V) | I <sub>in</sub><br>(mA) | U <sub>in</sub><br>(V) | P(mW)   | P <sub>out</sub> (W) | E <sub>f</sub> |
|----------------|--------------------|-------------------------|------------------------|---------|----------------------|----------------|
| 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | 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 ( $\Omega$ ) | Ur (V) | I in (mA) | U in (V) | P(mW)  | Pout (W) | Ef       |
|----------------|--------|-----------|----------|--------|----------|----------|
| 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 |