

# Izvedba DC-AC pretvarača kod bežičnog prijenosa energije

---

**Hulak, Josip**

**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:200:594096>

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

*Download date / Datum preuzimanja:* **2025-01-09**

*Repository / Repozitorij:*

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



**SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU**

**FAKULTET ELEKTROTEHNIKE, RAČUNARSTVA I  
INFORMACIJSKIH TEHNOLOGIJA**

**Preddiplomski studij**

**IZVEDBA DC - AC PRETVARAČA KOD BEŽIĆNOG  
PRIJENOSA ENERGIJE**

**Završni rad**

**Josip Hulak**

**Osijek, 2016.**

# SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
1.1 ZADATAK ZAVRŠNOG RADA.....	2
2. DC – AC PRETVORBA .....	2
1. 3.AUTONOMNI IZMJENJIVAČI .....	3
3.1VRSTE AUTONOMNIH IZMJENJIVAČA .....	3
3.2PRIMJENA AUTONOMNIH IZMJENJIVAČA .....	4
4.H-BRIDGE SPOJEVI .....	5
4.1IZVEDBA S BIPOLARNIM TRANZISTORIMA .....	6
4.2IZVEDBA S MOSFET-ima .....	7
4.3IZVEDBA S IGBT-ovima .....	8
5.SIMULACIJA .....	9
6.MJERENJE .....	21
7.ZAKLJUČAK.....	31
LITERATURA.....	32
SAŽETAK .....	33
ABSTRACT .....	33
ŽIVOTOPIS .....	34

## 1. UVOD

DC – AC pretvarači su sklopovi čija je zadaća pretvorba istosmjerne veličine (napon, struja) u izmjeničnu veličinu (napon, struja) te se oni nazivaju izmjenjivačima. Izmjenjivače možemo podijeliti u dvije osnovne skupine. Prva skupina izmjenjivača su usmjerivači, oni mogu raditi kao klasični ispravljači, a s povećanjem kuta upravljanja mogu preći na usmjerivački način rada. Njihovo djelovanje nije moguće bez prisutnosti izmjenične mreže te takve izmjenjivače nazivamo mrežom vođeni ili neautonomni izmjenjivači. Druga skupina su autonomni izmjenjivači ( kojima ćemo se mi baviti u ovom završnom radu ) koji su napravljeni isključivo od upravljivih poluvodičkih sklopki (tranzistori, GTO tiristori itd.). Frekvencija izlaznog signala im je proizvoljna te je ograničena brzinom sklapanja upotrijebljenih sklopki. Danas se izmjenjivači koriste gotovo svugdje, tako se npr. autonomni izmjenjivači najviše koriste kod napajanja izmjeničnih motora kod kojih se treba mijenjati brzina vrtnje. To se upotrebljava kod električnih vozila, zatim u nekim tvornicama za različite strojeve, koriste se kod sustava za napajanje električnom energijom te u mnogim drugim stojevima, uređajima, postrojenjima itd.

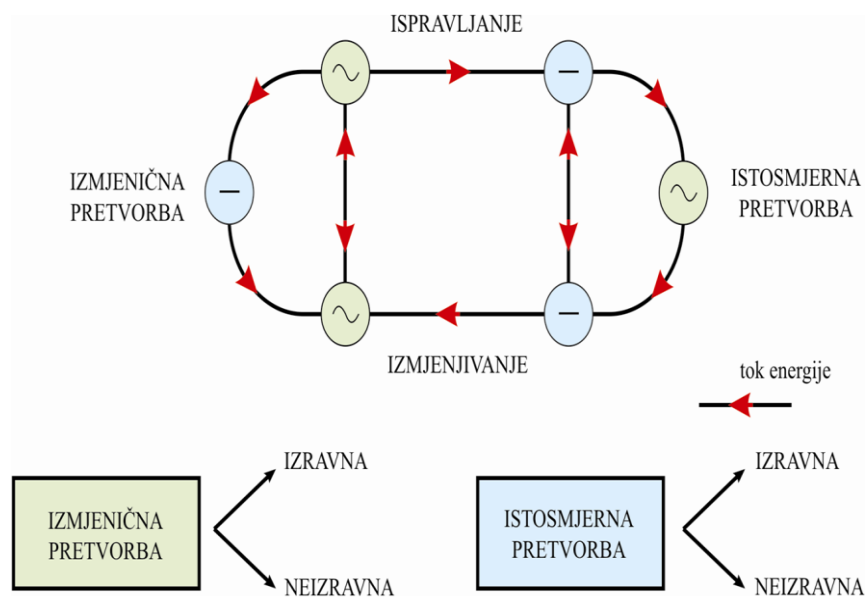
## 1.1 ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Zadatak završnog rada je analiza, izrada i testiranje različitih izvedbi DC – AC pretvarača za napajanje odašiljačkog kruga u sustavu bežičnog prijenosa energije.

## 2. DC – AC PRETVORBA

Pretvorba istosmjerne veličine (napon, struja) u izmjeničnu veličinu (napon, struja).

Na slici 1.1 je prikazano kako teče pretvorba energije,[1].



Slika 1.1 Shematski prikaz izmjenjivača

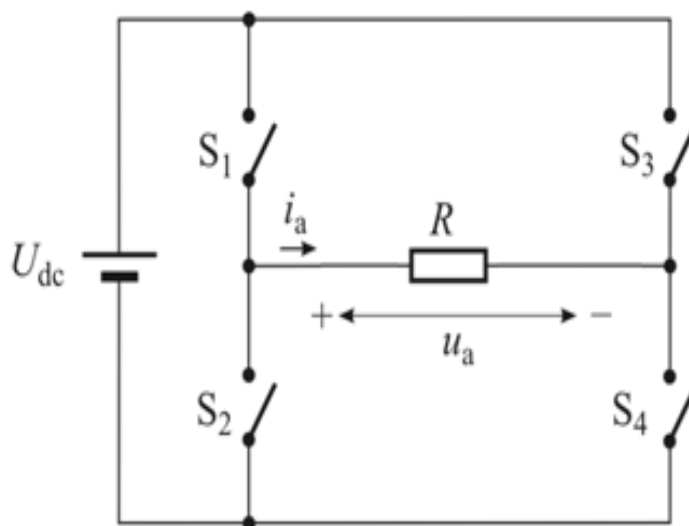
Prema slici vidimo da izmjenična i istosmjerna pretvorba može biti izravna ili neizravana. Kod izravnih pretvarača ulazna energija se odmah pretvara u željeni oblik energije na izlazu pretvarača, dok se kod neizravnog pretvaranja vrši dvostruka pretvorba ulazne energije kako bi dobili na kraju željeni oblik energije,[1].

### 3. AUTONOMNI IZMJENJIVAČI

Kod autonomnih izmjenjivača je dobro to što imamo mogućnost upravljanja i veličinom i frekvencijom izmjeničnog napona. Za rad autonomnih izmjenjivača nije potrebna izmjenična pojna mreža te se oni još nazivaju izmjenjivači promjenljive frekvencije,[2].

#### 3.1 VRSTE AUTONOMNIH IZMJENJIVAČA

Jednofazni izmjenjivač u mosnom spoju s djelatnim trošilom:



Slika 3.1 Shematski prikaz izmjenjivača u mosnom spoju

Ovaj spoj nije ništa drugo nego mosni spoj sklopki. Sklopke se upravljaju tako da periodički okreću polaritet napona na izmjeničnom sustavu – znači uklopljene su sklopke  $s_1$  i  $s_4$  ili  $s_2$  i  $s_3$ . Na taj način izvor je uvijek spojen s trošilom koje je u ovom slučaju otporno,[2].

Još postoji jednofazni izmjenjivač u mosnom spoju s omsko-induktivnim trošilom.

## 3.2 PRIMJENA AUTONOMNIH IZMJENJIVAČA

Autonomni izmjenjivači se najčešće koriste za napajanje izmjeničnih motora kojima je potrebno mijenjati brzinu vrtnje. Upotrebljavaju se npr. kod vlakova za namještanje brzine vrtnje crpki i kompresora kako bi radili s najvećim stupnjem djelovanja. Koriste se u raznim pogonima gdje treba uskladiti brzinu niza valjaka tijekom proizvodnje npr. u ljevaonicama željeza, kod papirnih i tekstilnih strojeva itd. Na slikama 3.2 i 3.3 su prikazane stvari gdje se koriste autonomni izmjenjivači.



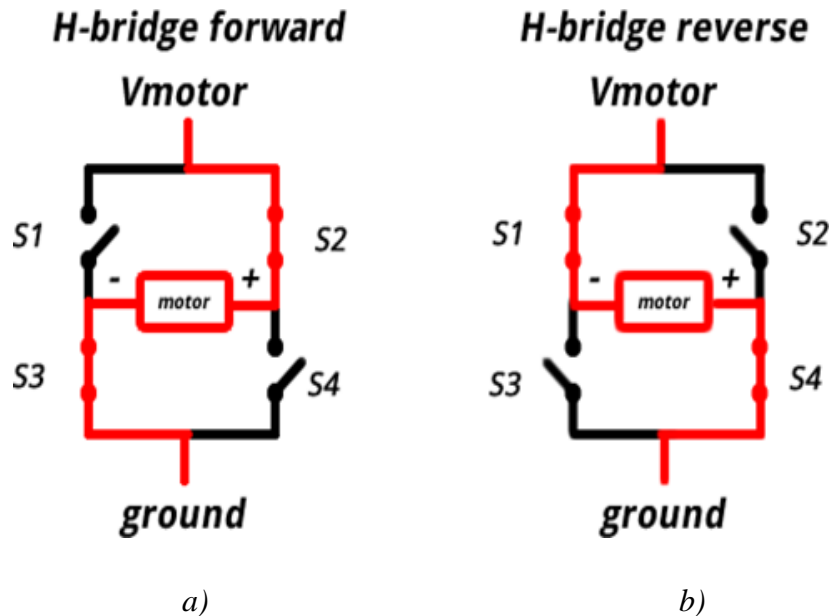
*Slika 3.2 Vlak*



*Slika 3.3 Prikaz motora i valjaka u tvornici*

## 4. H-BRIDGE SPOJEVI

H-bridge je elektronički sklop koji omogućava kontrolu smjera struje kroz neki potrošač. On se koristi kod većine DC – AC pretvarača, motora itd. Dostupni su kao integrirani sklopovi ili mogu biti izrađeni od diskretnih komponenata. Na slici je prikazan princip rada H- mosta.[3].



*Slika 4.1 Prikaz rada H-mosta ( a) dio slike nam prikazuje da je dozvoljen prolaz struje kroz sklopke s2 i s3, a u b) dijelu je dozvoljen prolaz struje kroz sklopke s1 i s4)*

H-most je izgrađen od četiri sklopke. Kao što vidimo na slici kada su uključene sklopke s1 i s4 tada je dozvoljen prolaz struje u jednom smjeru, a kada su uključene sklopke s2 i s3 onda je dozvoljen prolaz struje u drugom smjeru. Sklopke s1, s2, s3 i s4 ili obje sklopke na jednoj strani ne smiju biti istovremeno uključene jer će u tom slučaju doći do kratkog spoja. Sklopke zamjenjujemo poluvodičkim elementima i u nastavku će biti opisane neke od njih,[3].

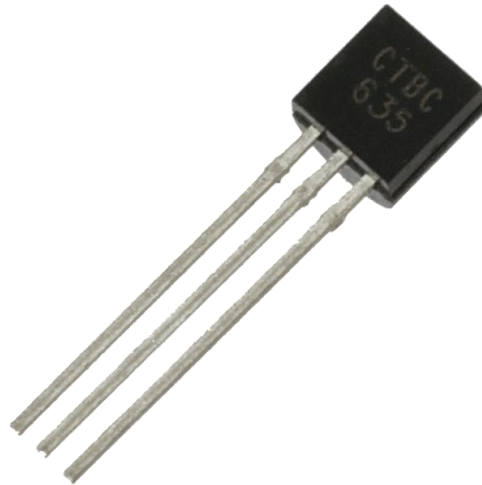


## 4.1 IZVEDBA S BIPOLARNIM TRANZISTORIMA

Tranzistori su aktivni poluvodički elementi koji se sastoje od tri elektrode. Bipolarni tranzistori se najčešće koriste kod H-mostova kao elektromehaničke sklopke. Bipolarni tranzistor se sastoji od tri sloja poluvodiča, s kontaktima emitera (emitira nositelje naboja), baze (upravlja tokom naboja) i kolektora (sakuplja nositelje naboja).

Dva tipa bipolarnog tranzistora:

- PNP
- NPN



*Slika 4.2 Bipolarni tranzistor*

Osnovna razlika između ova dva tipa je obrnuta polarizacija elektroda.

Kod NPN tranzistora osnovnu struju čine elektroni, a kod PNP tranzistora šupljine. Tranzistor služi kao veza između dva kruga: ulazni i izlazni krug, pri čemu se podrazumijeva da struja ili napon ulaznog kruga pomoću tranzistora upravlja strujom ili naponom izlaznog kruga. Kao sklopka ovisno o ulaznoj struji baze tranzistor se prebacuje iz područja zapiranja u područje zasićenja i obrnuto. U području zapiranja radi kao isključena sklopka, a u području zasićenja kao uključena sklopka pri čemu imamo mali pad napona između kolektora i emitera,[4].

## 4.2 IZVEDBA S MOSFET-ima

Velika struja baze i potreba da se ona održava za sve vrijeme dok tranzistor vodi predstavlja veliki nedostatak bipolarnih tranzistora. To je donekle ublaženo serijskom vezom dva ili tri tranzistora, ali time su pogoršane njihove dinamičke karakteristike. Razvojem energetskog MOSFET-a su otklonjeni nedostaci spomenutog bipolarnog tranzistora. MOSFET-om je upravljačka struja smanjena praktično na nulu i dobili smo naponsko upravljanje. [5].

MOSFET može biti izveden s p-kanalom na podlozi n-tipa ili s n-kanalom na podlozi p-tipa.

Na slici 4.3 je prikazano kako izgleda MOSFET.



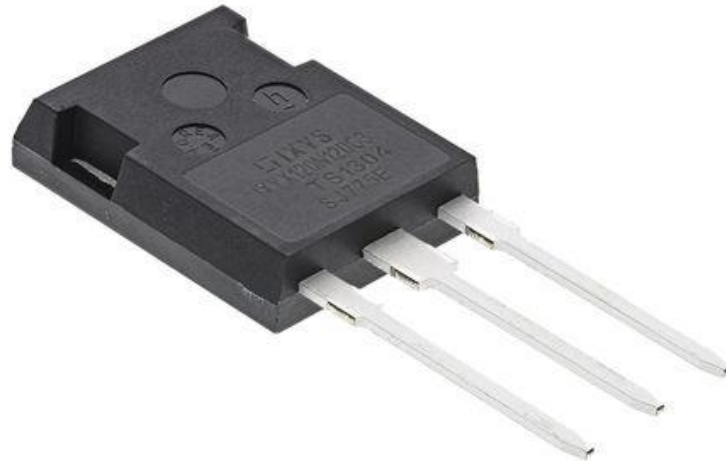
*Slika 4.3 MOSFET*

Nedostatci MOSFET-a u odnosu na bipolarne tranzistore:

- Male snage prekidanja
- Osjetljivost na statički elektricitet što zahtijeva pažljivo rukovanje i dodatne mjere zaštite
- Veći statički gubitci pri velikim strujama, zbog većeg pada napona između odvoda (eng. *drain*) i uvoda (eng. *source*), koji je proporcionalan struji

### 4.3 IZVEDBA S IGBT-ovima

IGBT je bipolarni tranzistor kojemu je odvod izoliran, tj. on je hibridni element koji se sastoji od pozitivnih osobina MOSFET-a i BJT-a (bipolarnog tranzistora). Na slici 4.4 je prikazan IGBT.



*Slika 4.4*

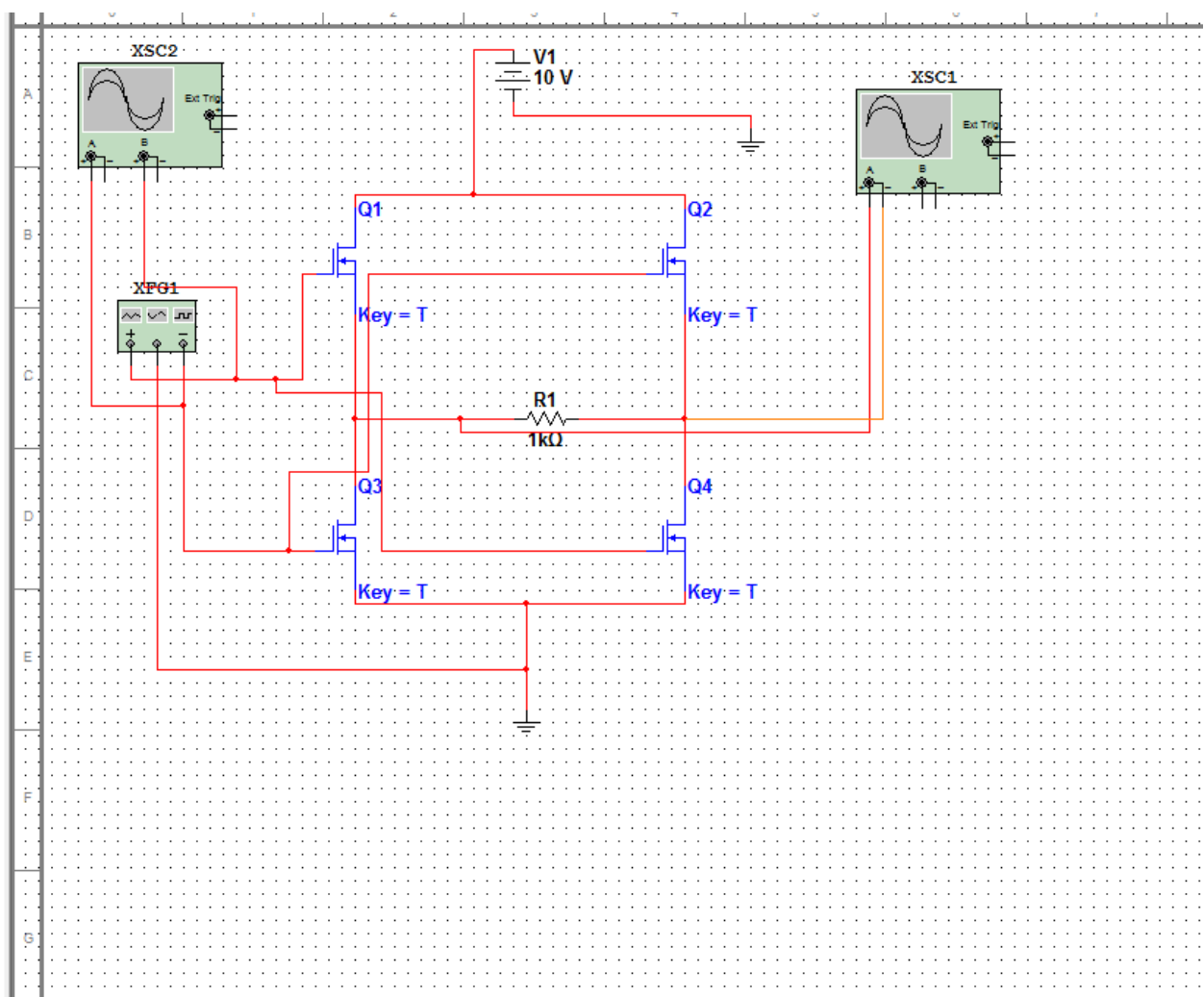
IGBT-ovi imaju većinom manjinske nosioce, imaju bolju karakteristiku vođenja od MOSFET-a, ali su im konkurentni po ostalim osobinama:

- Jednostavna pobuda
- Velika strujna izdržljivost

Kod IGBT-a je prekidačka brzina manja u odnosu na MOSFET. IGBT ima sposobnost brzog prekidanja pri visokim strujama i naponima koje su karakteristične za bipolarni tranzistor. On radi na istim frekvencijama kao i energetski tranzistor, ali ima povećane gubitke vođenja uzrokovane većim padom napona,[6].

## 5.SIMULACIJA

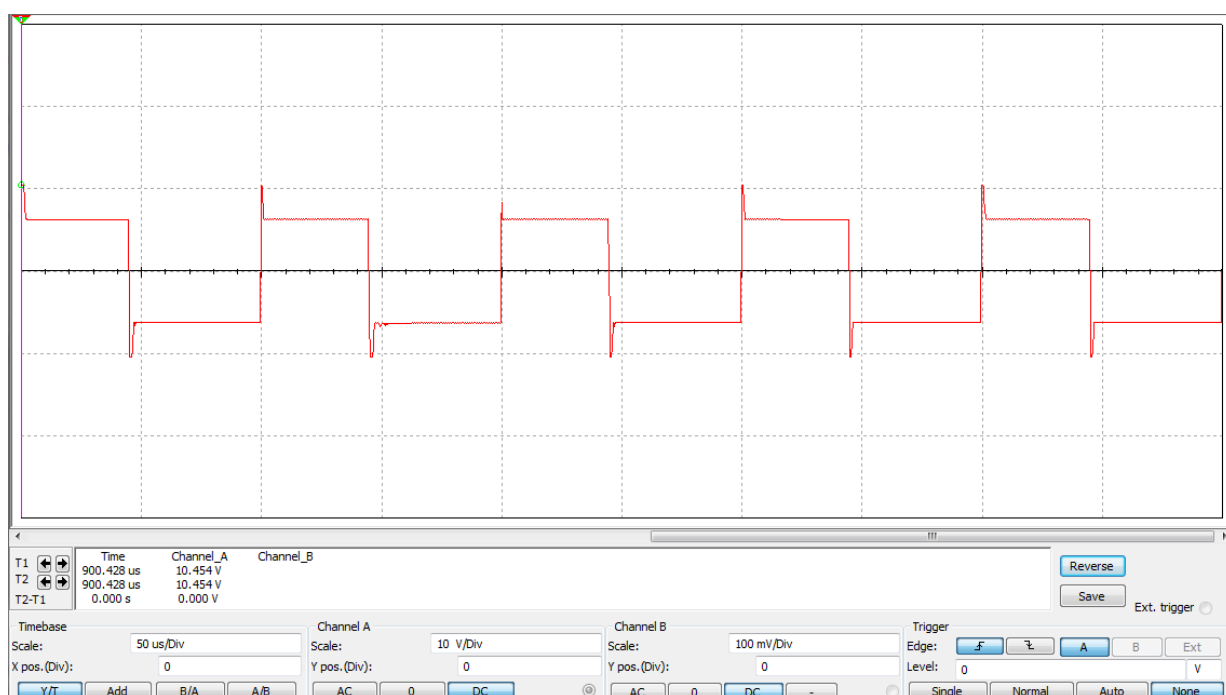
Simulacija sklopa je napravljena u programu Multisim. Multisim je program koji nam omogućuje izradu elektronskih shema na računalu. On sadrži veliki broj virtualnih elektroničkih komponentata, uređaja za mjerenje itd. on omogućava laku realizaciju jednostavnih shema koje su potrebne učenicima, studentima, profesorima itd. na npr. laboratorijskim vježbama, kod izrade seminarskih ili završnih radova itd. Na slici 10. Možemo vidjeti shemu spoja. To je klasični mosni spoj s MOSFET-ima, te su snimljeni valni oblici na trošilu koji je u ovom slučaju otporno i na gate-ovima MOSFET-a.



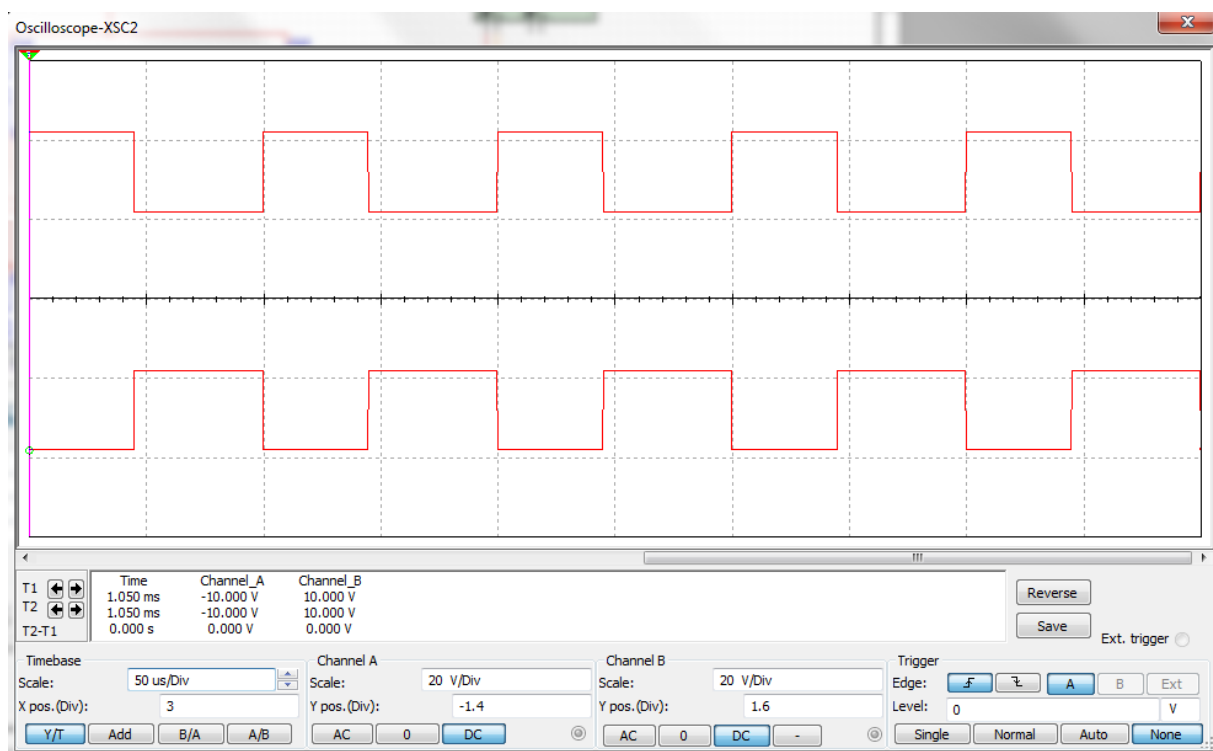
*Slika 5.1 Prikaz spoja u Multisim-u*

Mjerenja su vršena na različitim frekvencijama i promatra se kako se ponaša valni oblik napona. Na sljedećim slikama će biti vidljivo kakve promjene nastaju.

Pri 10 kHz:



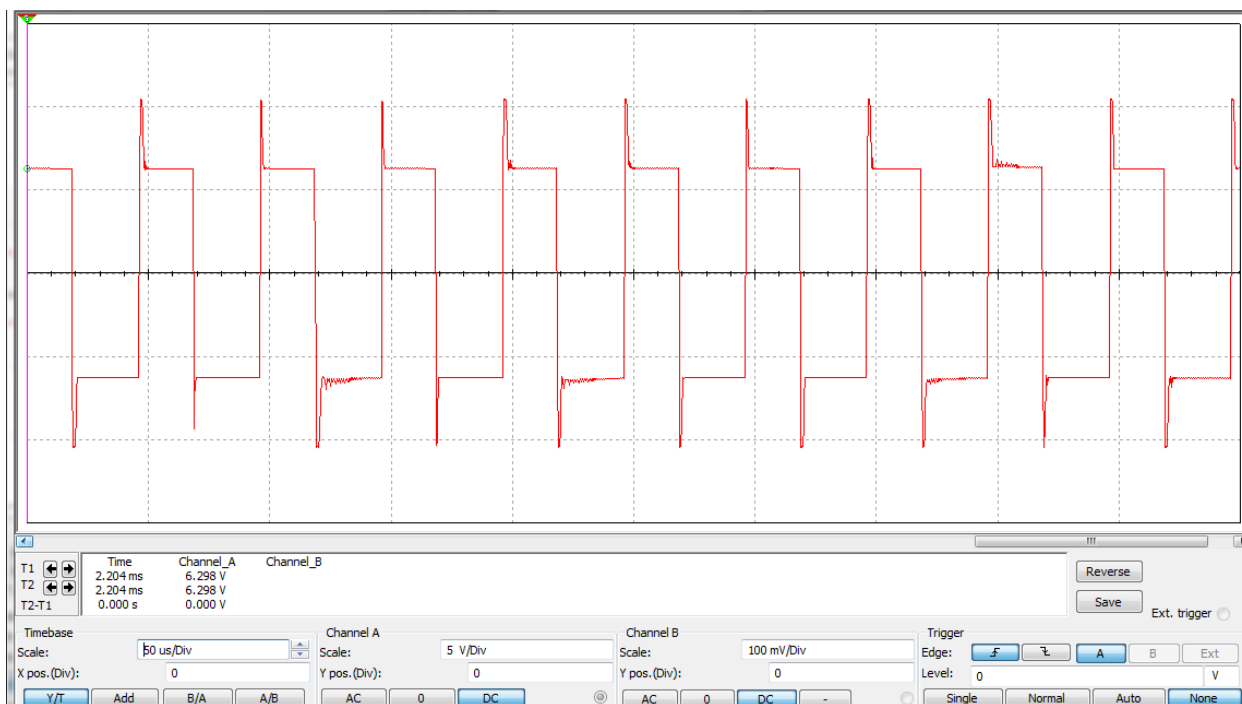
Slika 5.2 Valni oblik napona na trošilu (otpornik R1)



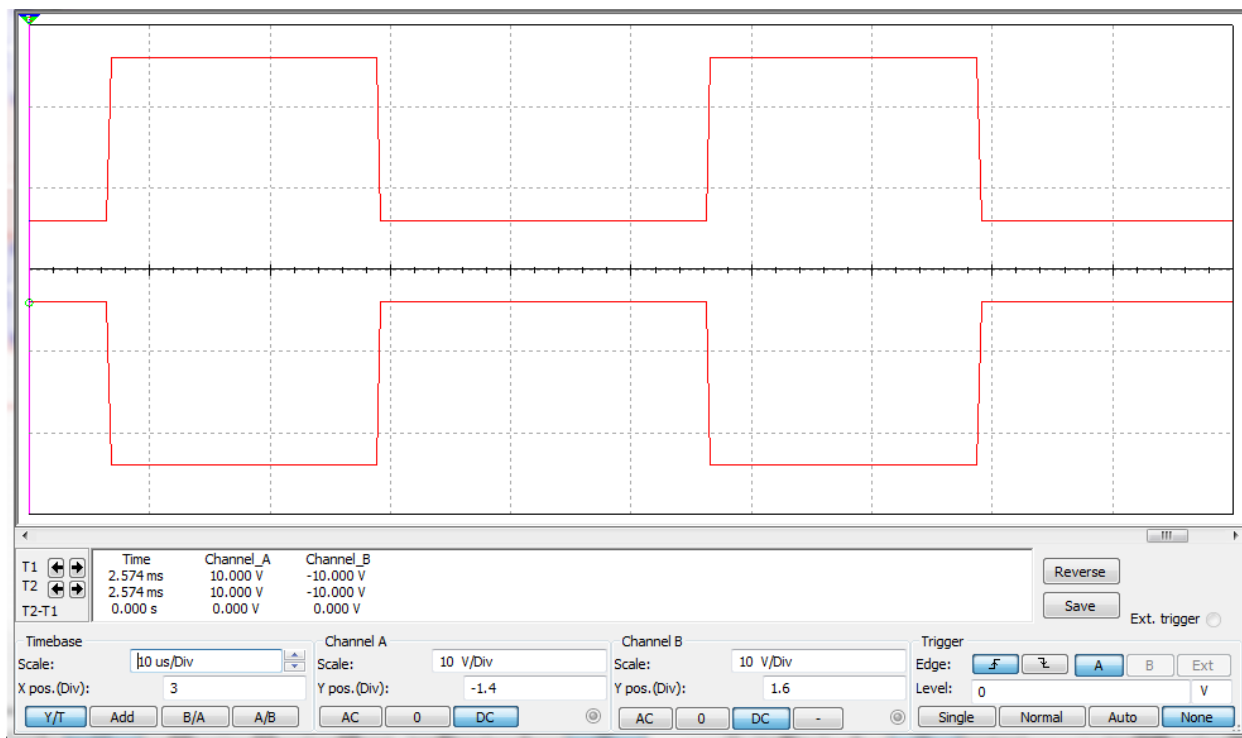
Slika 5.3 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama

Gornji valni oblik odgovara naponu upravljačke elektrode tranzistora Q2 i Q3, a donji odgovara naponu upravljačke elektrode tranzistora Q1 i Q4. Isto vrijedi i za sve ostale slike u simulaciji.

Pri 20 kHz:

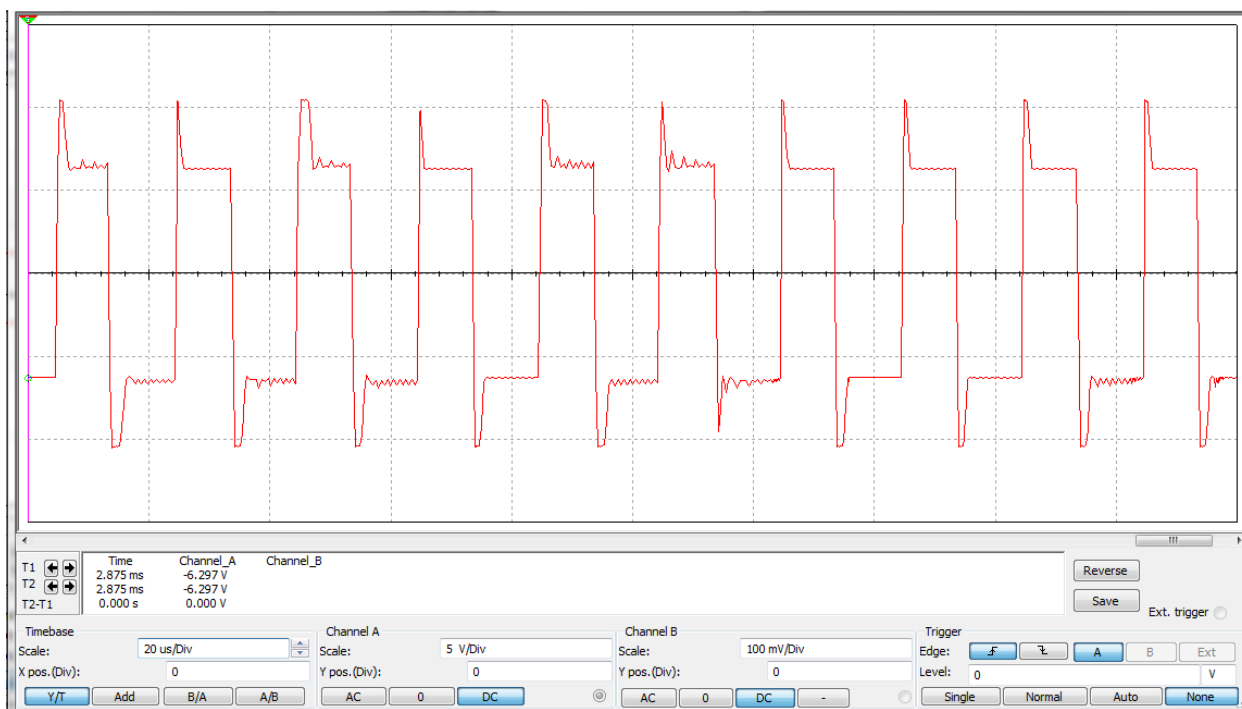


Slika 5.4 Valni oblik napona na trošilu (otpornik R1)

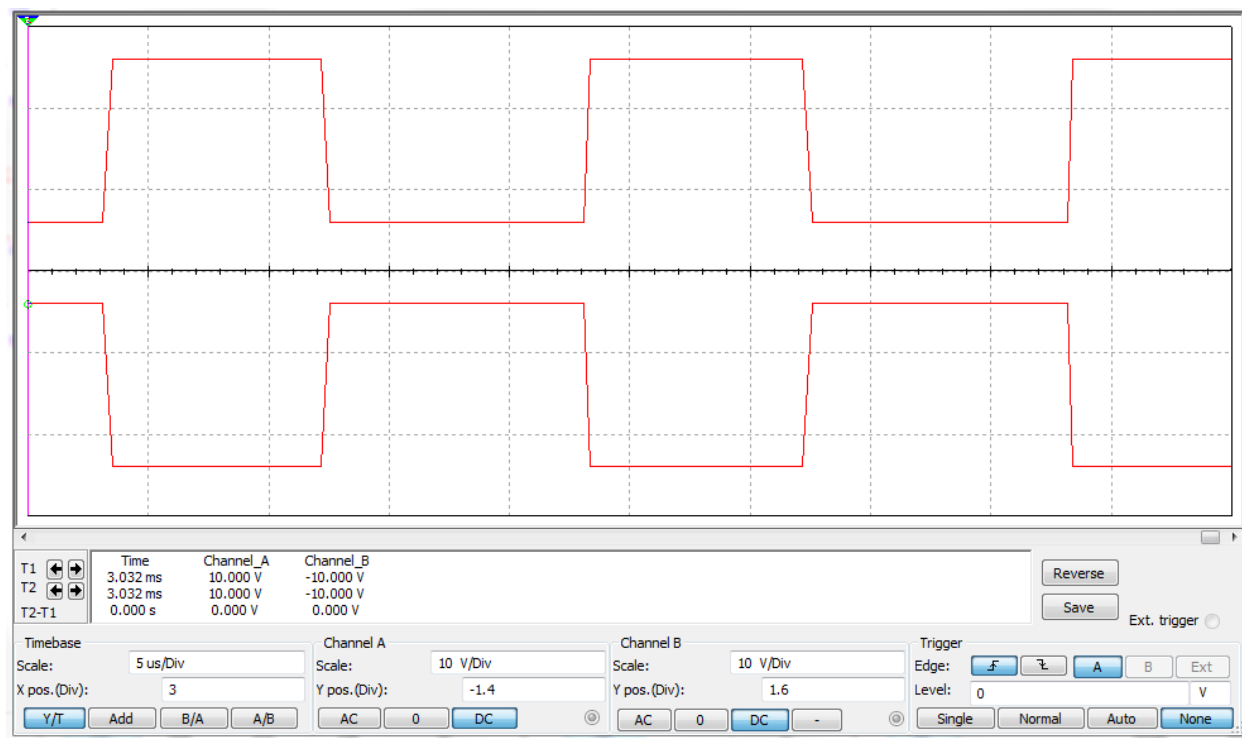


Slika 5.5 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama

Pri 50 kHz:

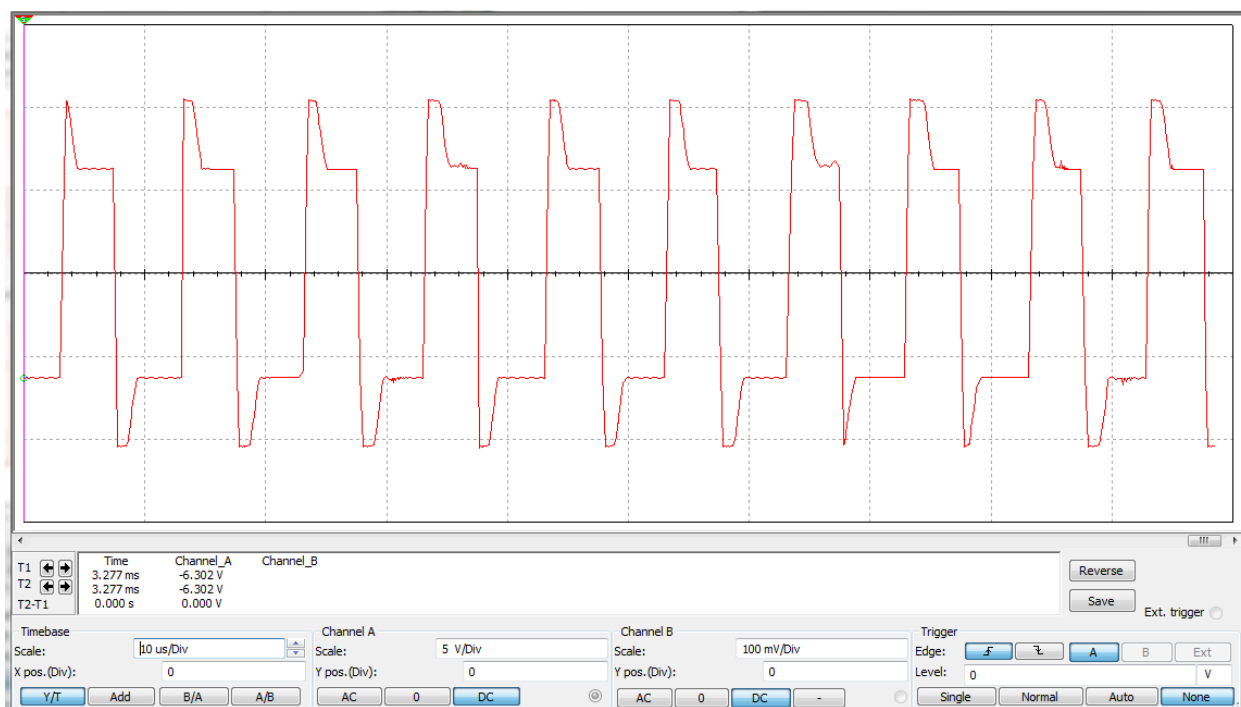


Slika 5.6 Valni oblik napona na trošilu (otpornik R1)

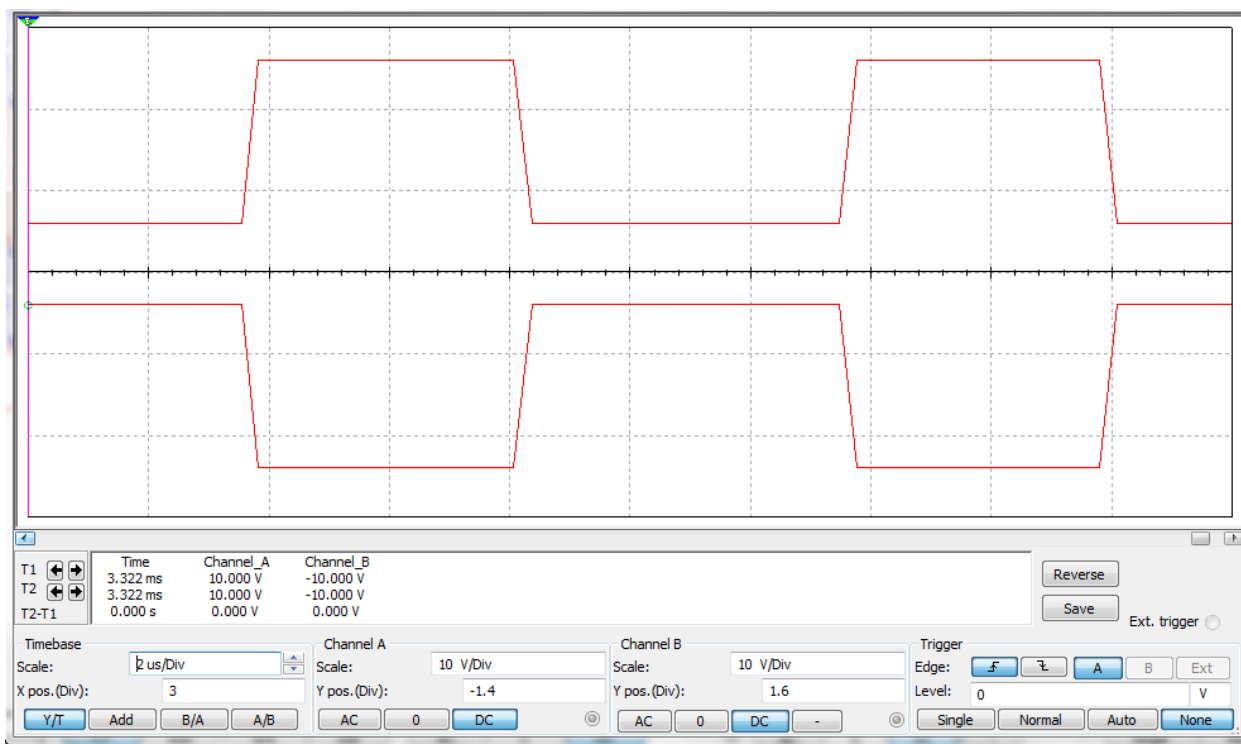


Slika 5.7 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama

Pri 100 kHz:



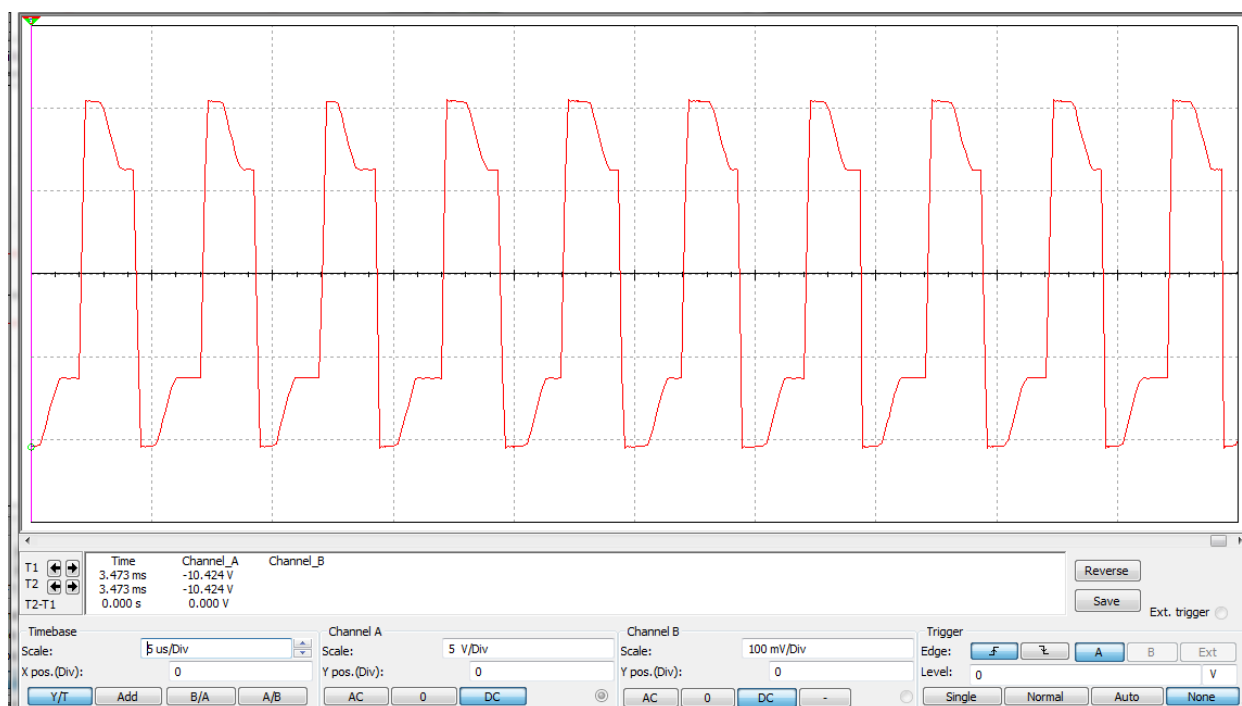
Slika 5.8 Valni oblik napona na trošilu (otpornik R1)



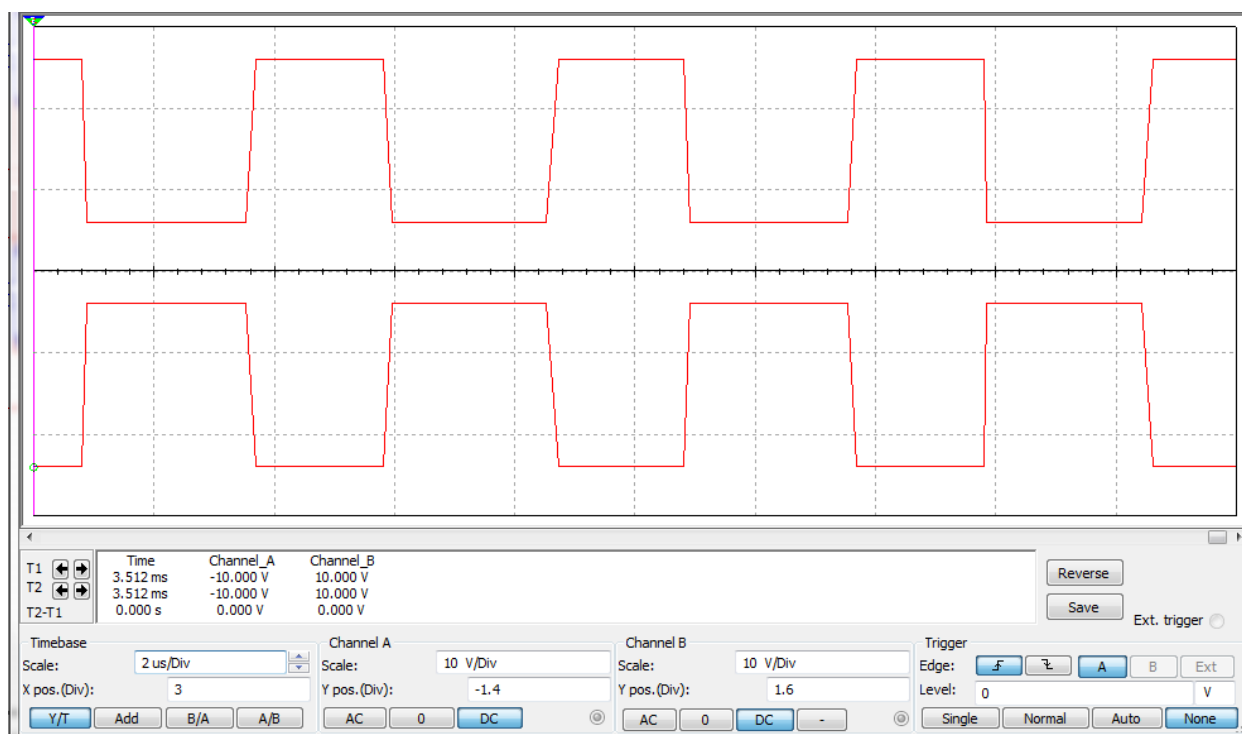
Slika 5.9 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama



Pri 200 kHz:

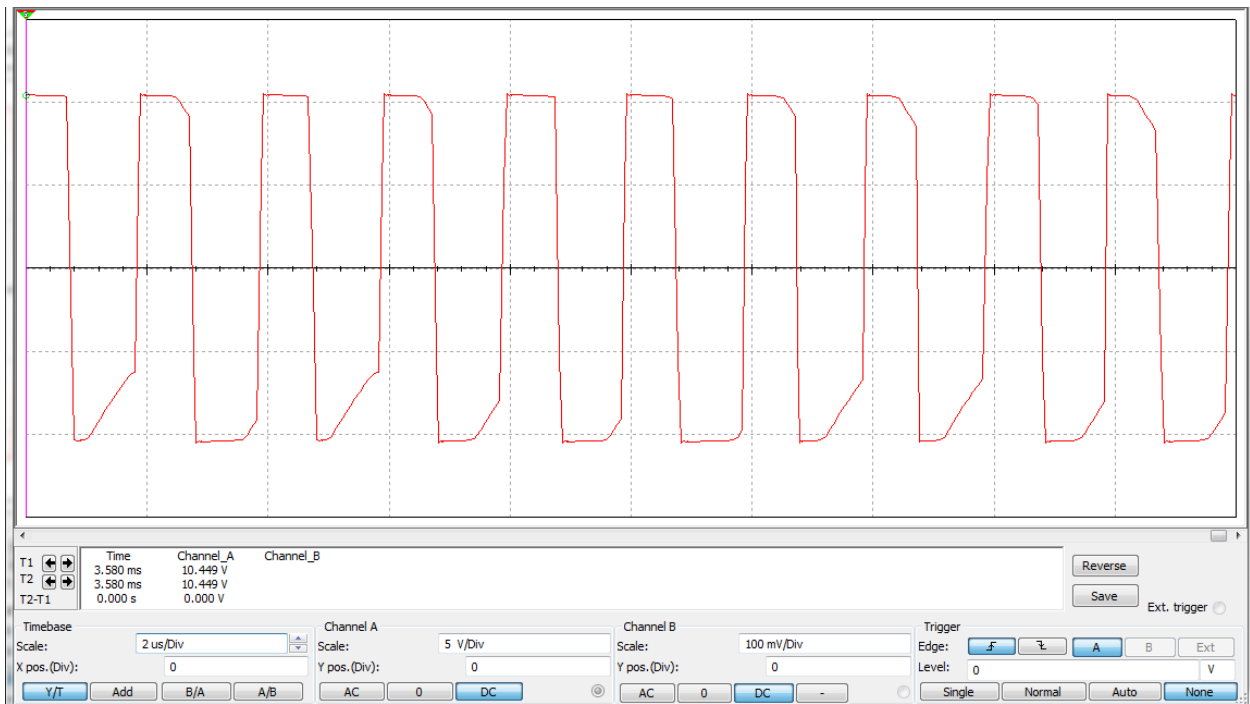


Slika 5.10 Valni oblik napona na trošilu (otpornik R1)

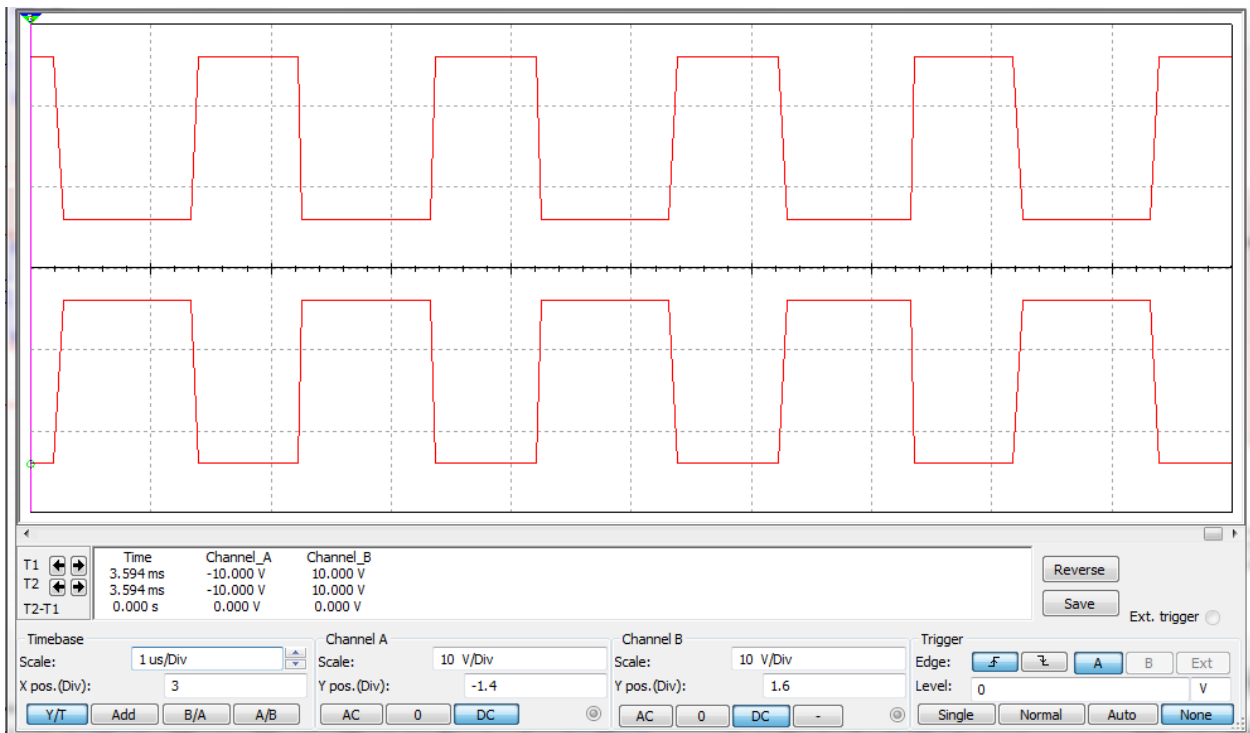


Slika 5.11 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama

Pri 500 kHz:

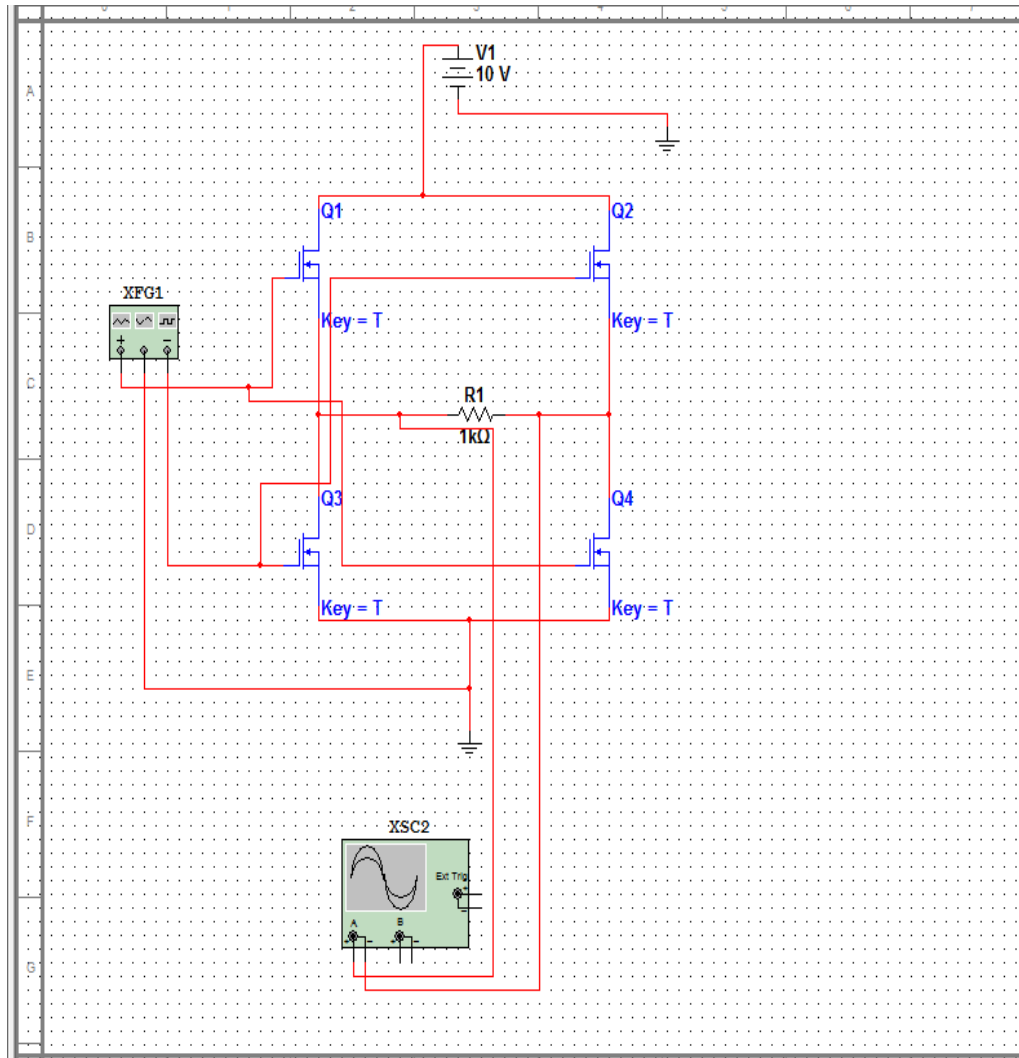


Slika 5.12 Valni oblik napona na trošilu (otpornik R1)

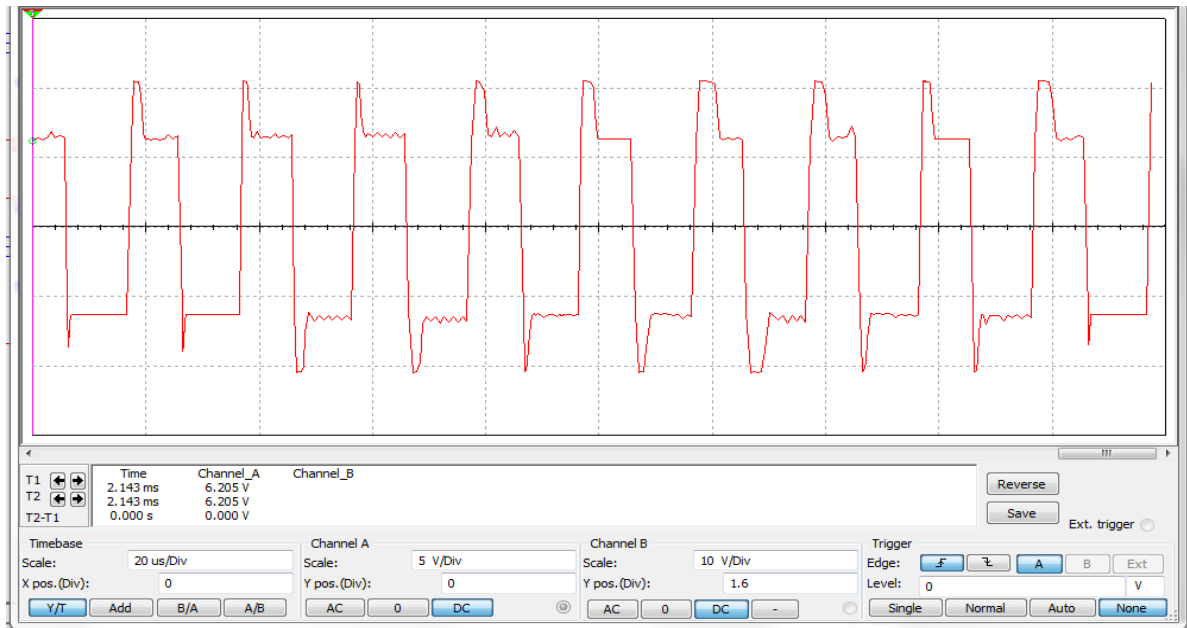


Slika 5.13 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama

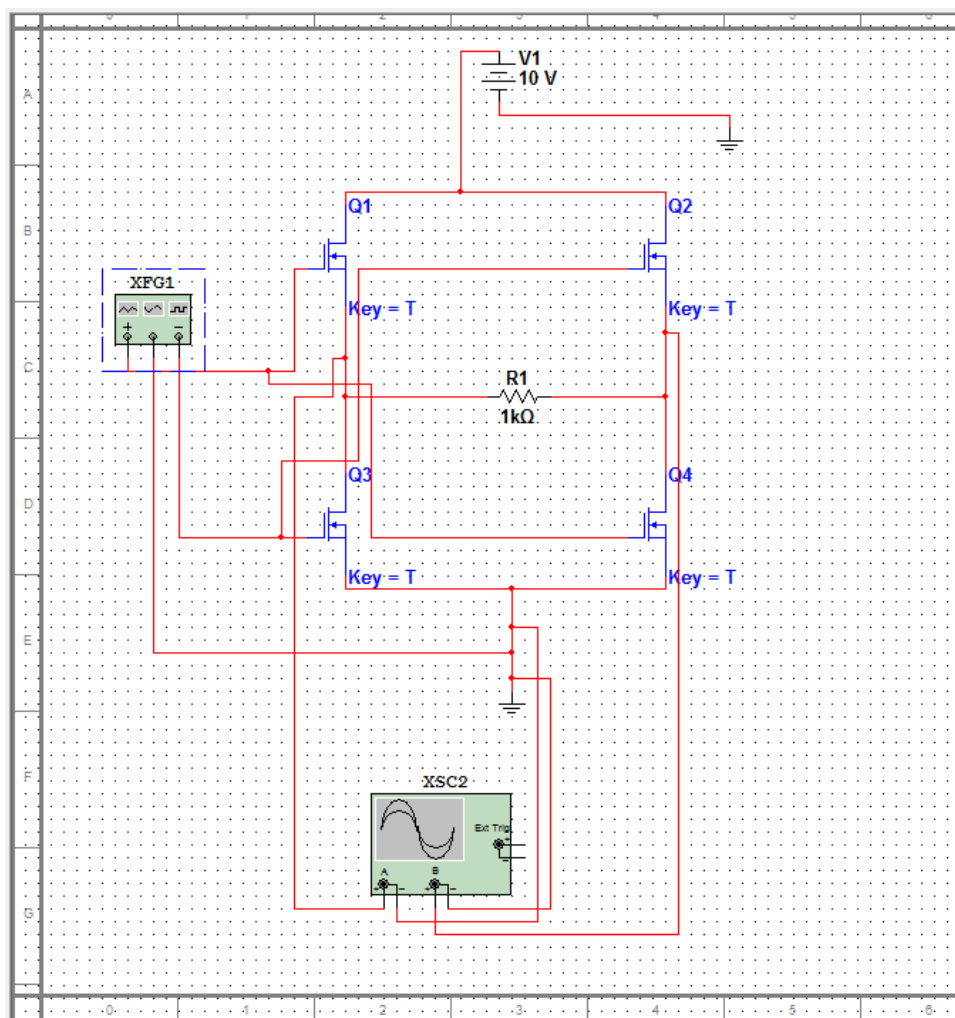
Ovim simulacijama vidljivo je da su valni oblici dosta pravilni do 100 kHz, a na višim frekvecijama postaju nepravilniji. U drugom dijelu osciloskop spajamo prvo na trošilo, nakon toga osciloskop se spaja između uvoda gornjih MOSFET-a i uzemljenja i na kraju se umjesto otpornika stavlja rezonantni krug. Mjerenja će biti vršena na frekvenciji od 50kHz.



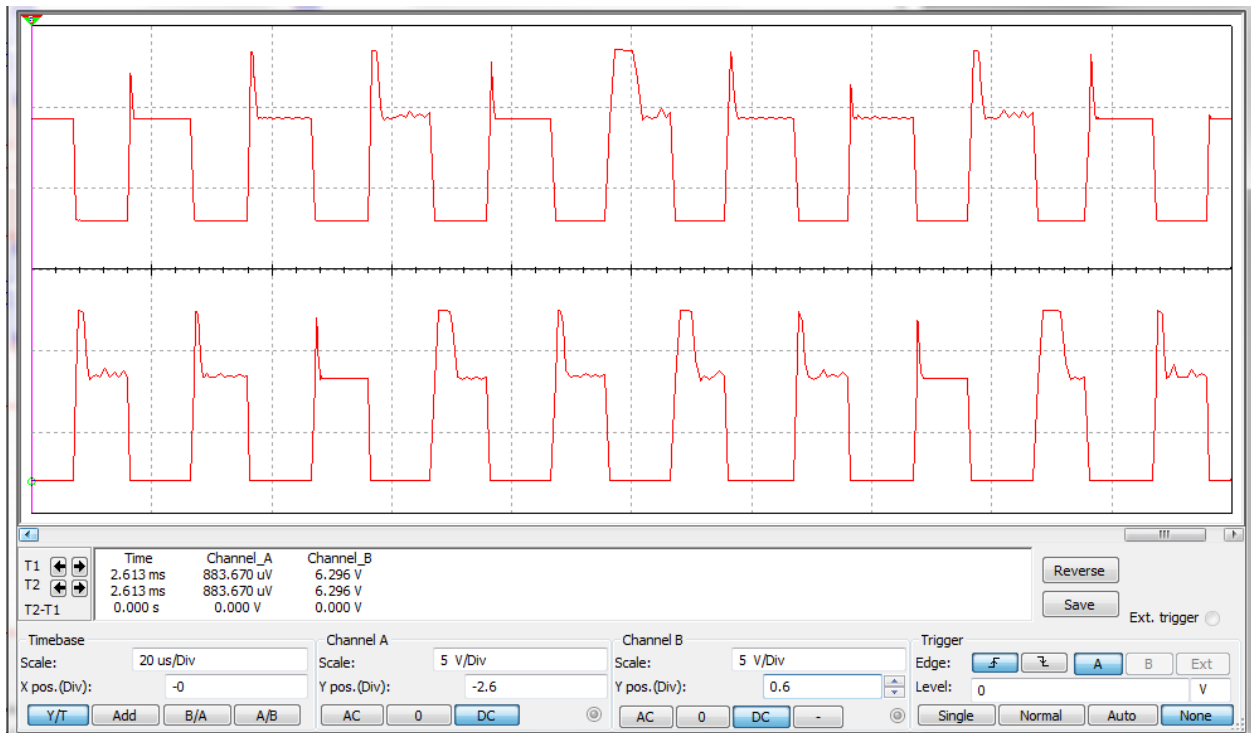
Slika 5.14 Spoj u Multisim-u gdje se kao trošilo koristi otpornik R1



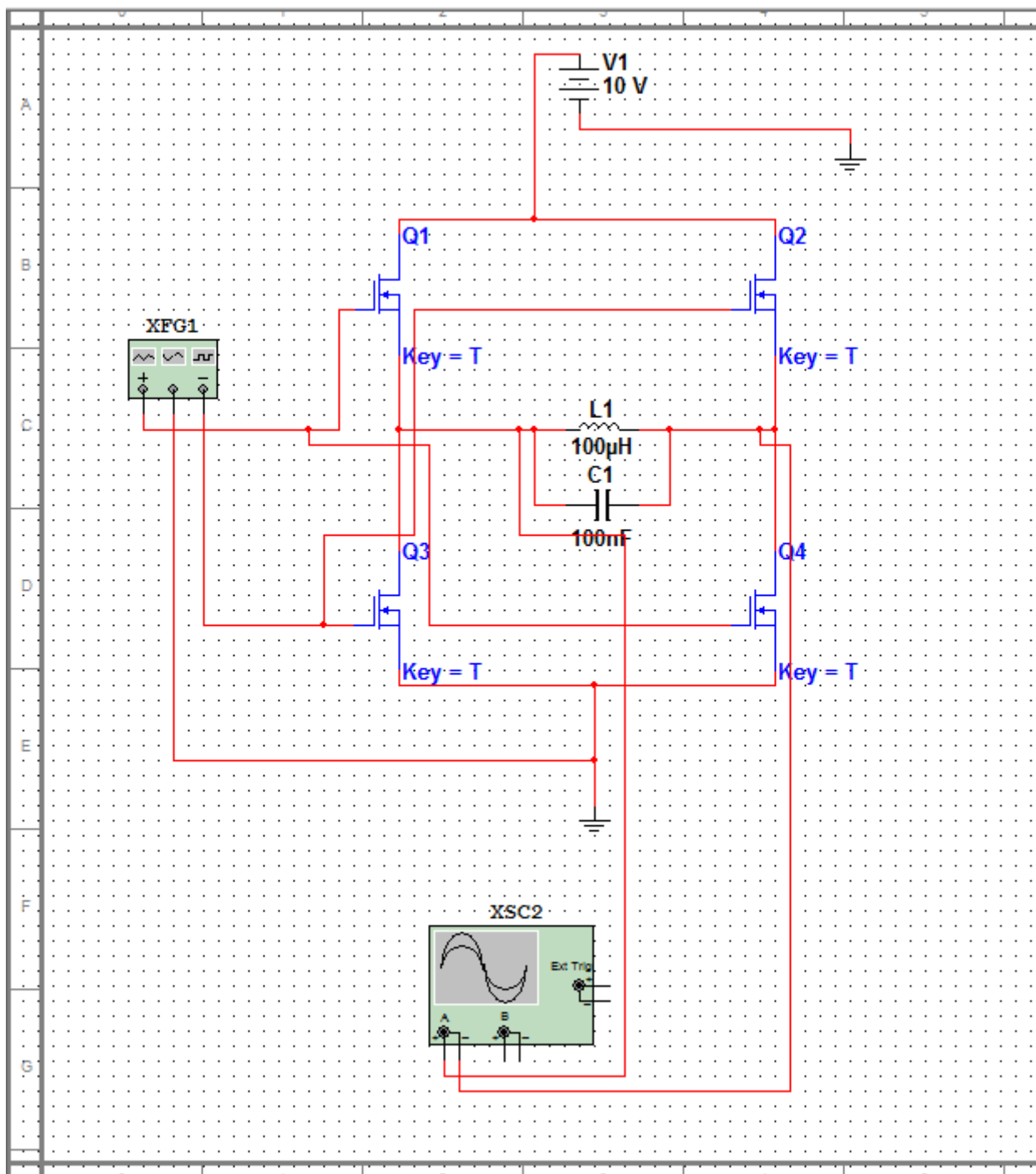
Slika 5.15 Valni oblik napona na trošilu (otpornik R1)



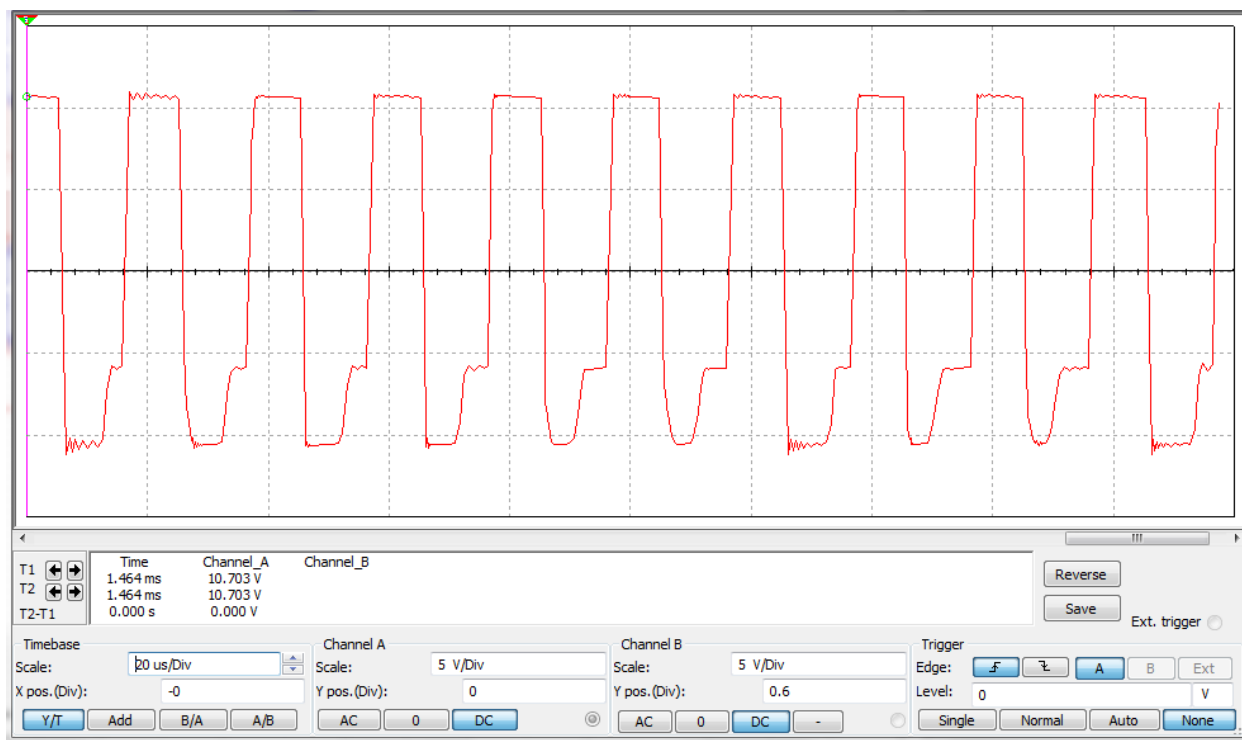
Slika 5.16 Spoj u Multisim-u za mjerenje valnog oblika između masa i uvoda



Slika 5.17 Valni oblik napona između mase i uvoda



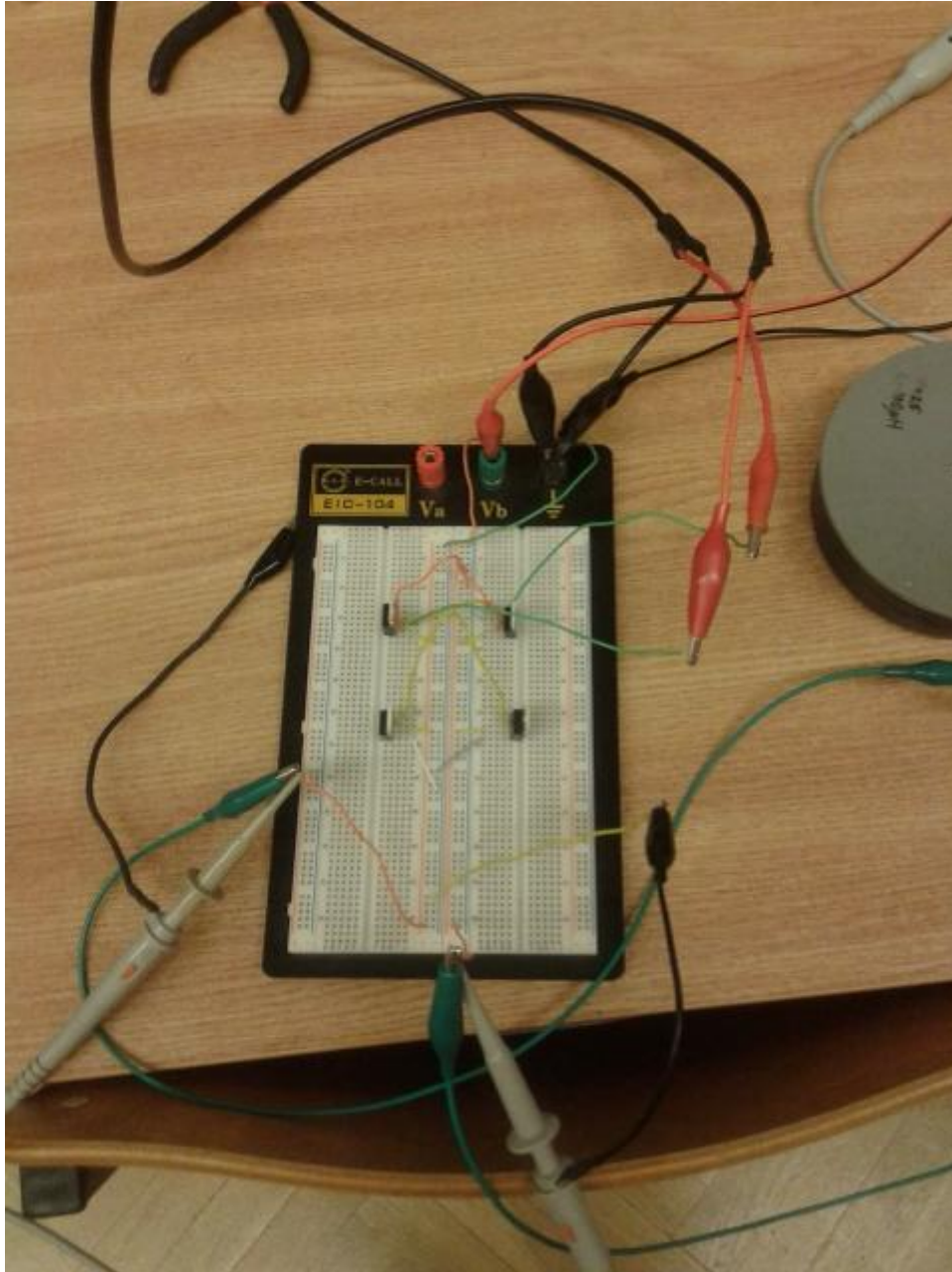
Slika 5.18 Prikaz spoja rezonantnog kruga u Multisim-u



*Slika 5.19 Valni oblik napona rezonantnog kruga*

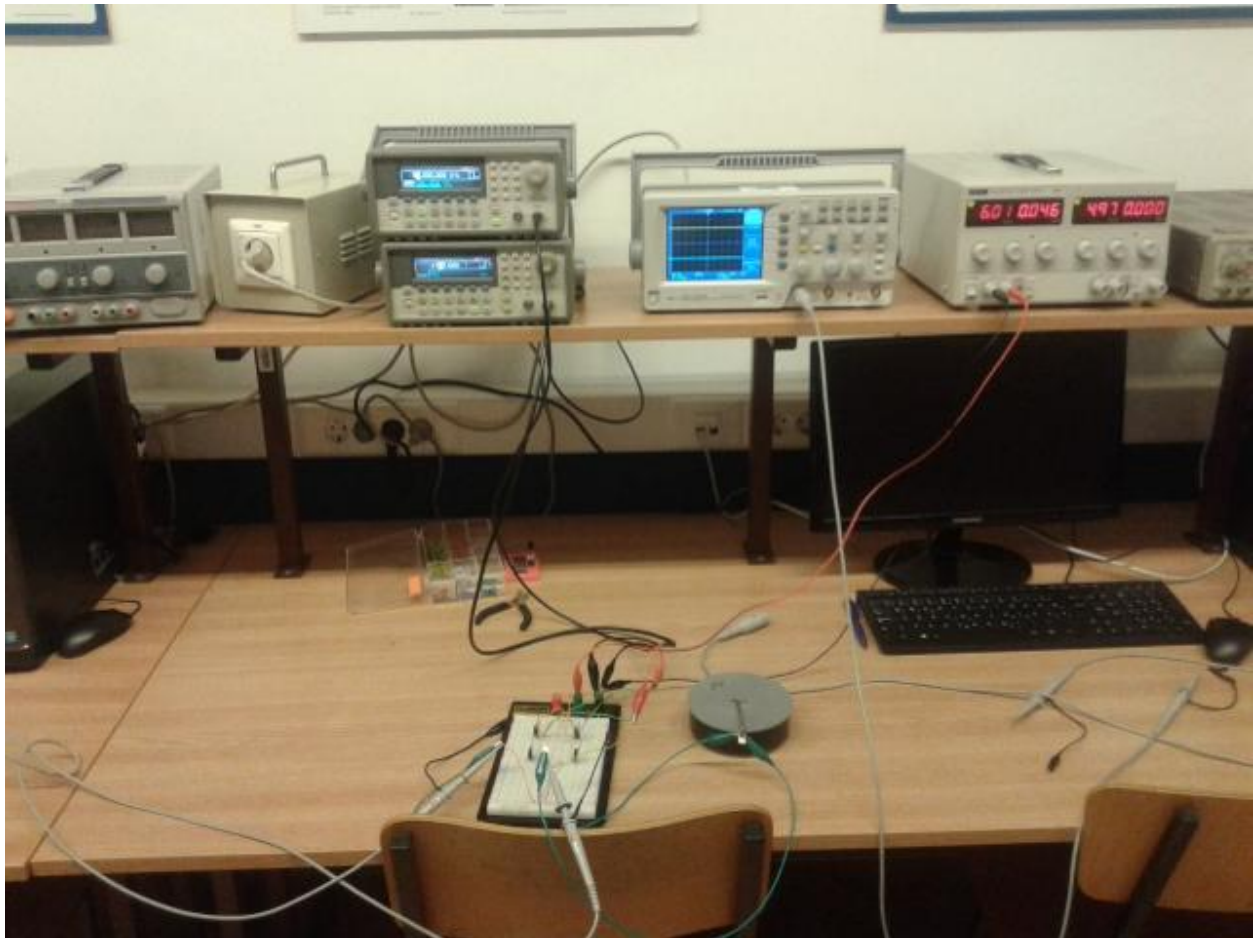
## 6.MJERENJE

Nakon provedene simulacije izvršena su mjerenja te se na temelju simulacije mogu usporediti rezultate. Mjerenja su vršena na fakultetu u laboratoriju te su dobiveni sljedeći rezultati.



*Slika 6.1 Spoj H-mosta na Protoboard-u*

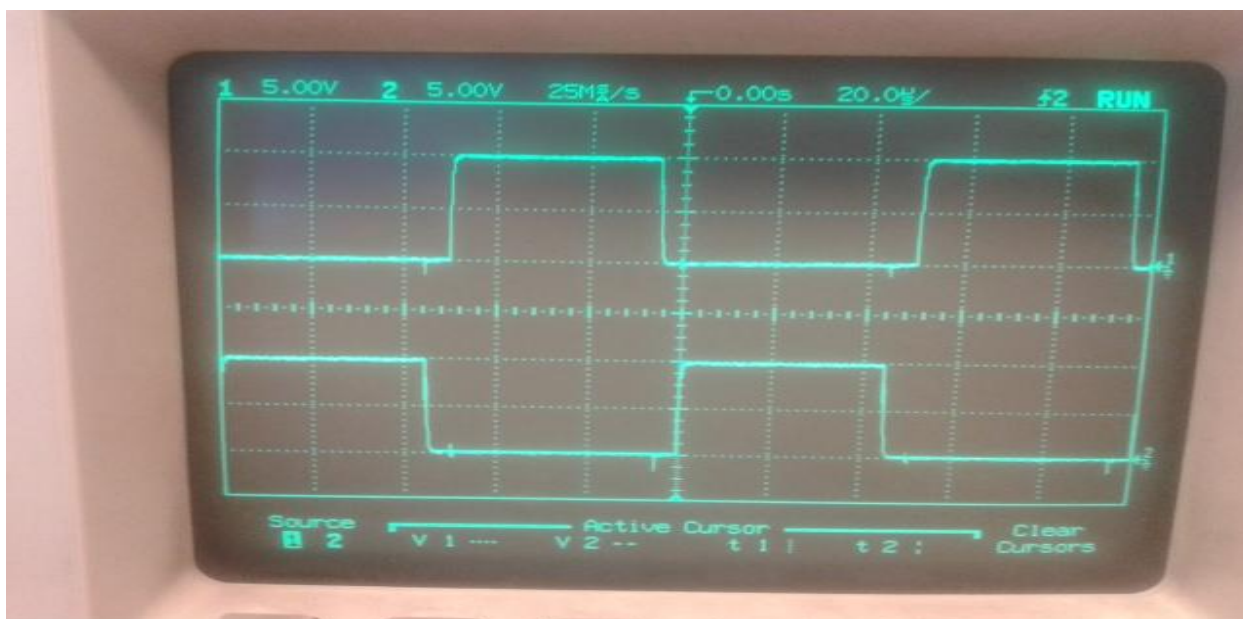




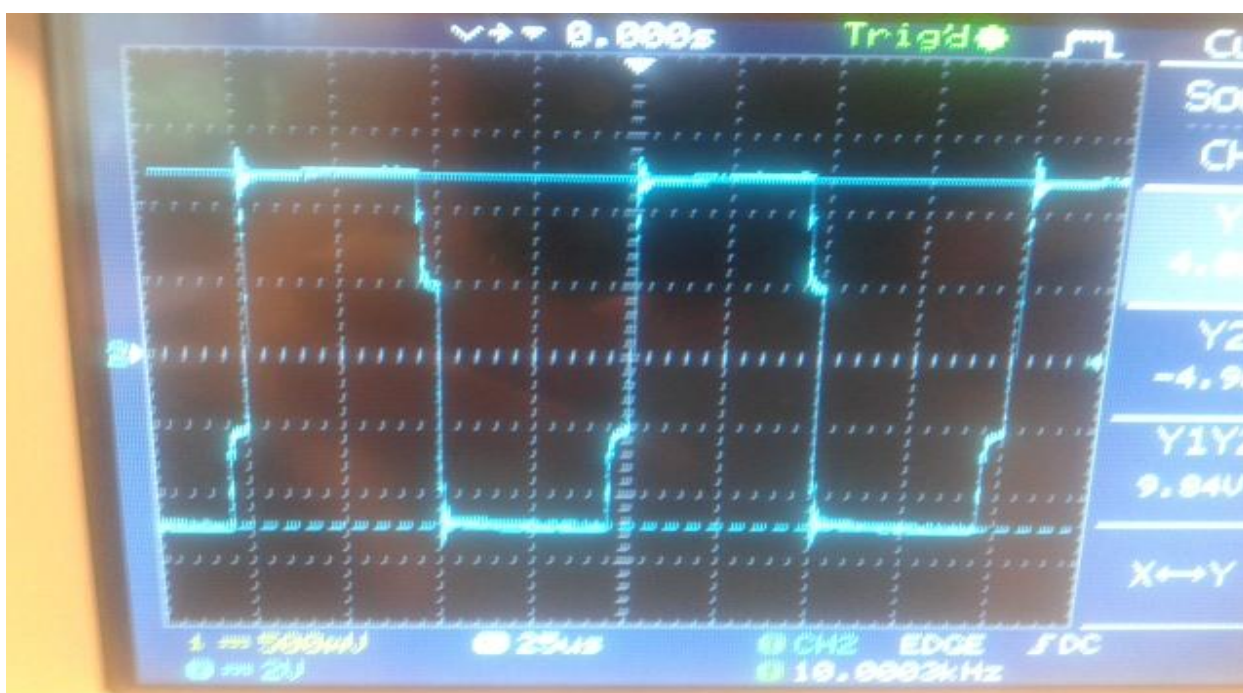
*Slika 6.2 Prikaz spoja H-mosta na osciloskop i izvor napajnja u laboratoriju*

U nastavku će biti prikazani valni oblici napona na trošilu te upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama.

Pri 10 kHz:

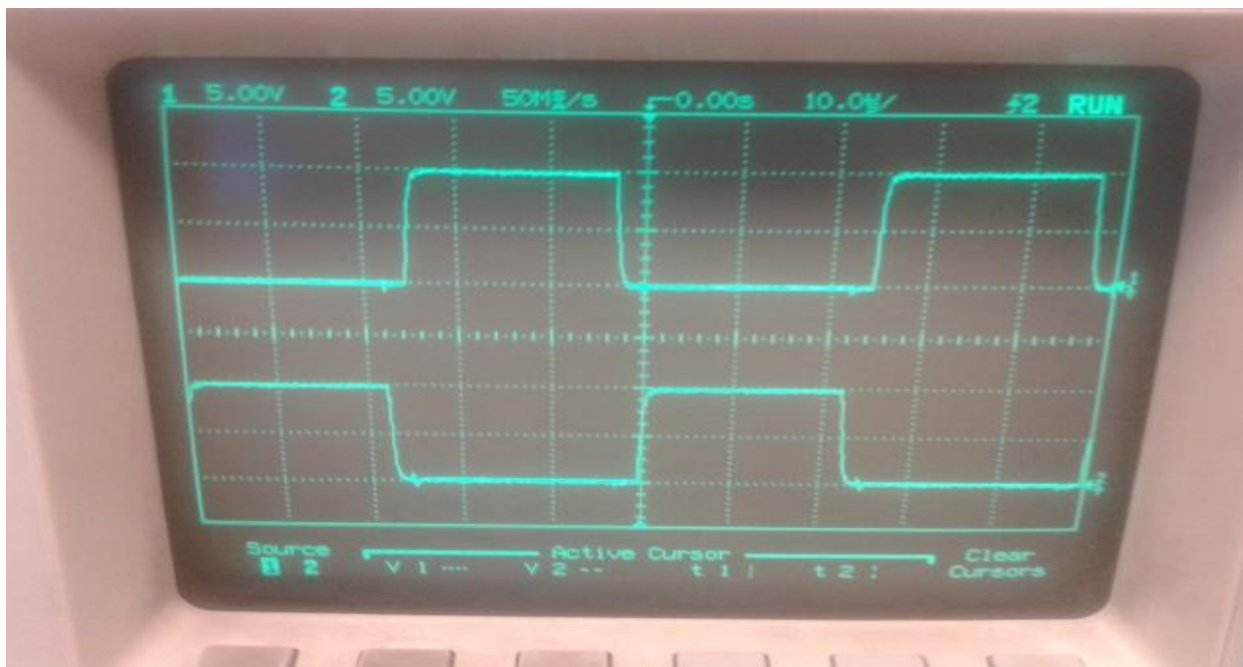


Slika 6.3 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama

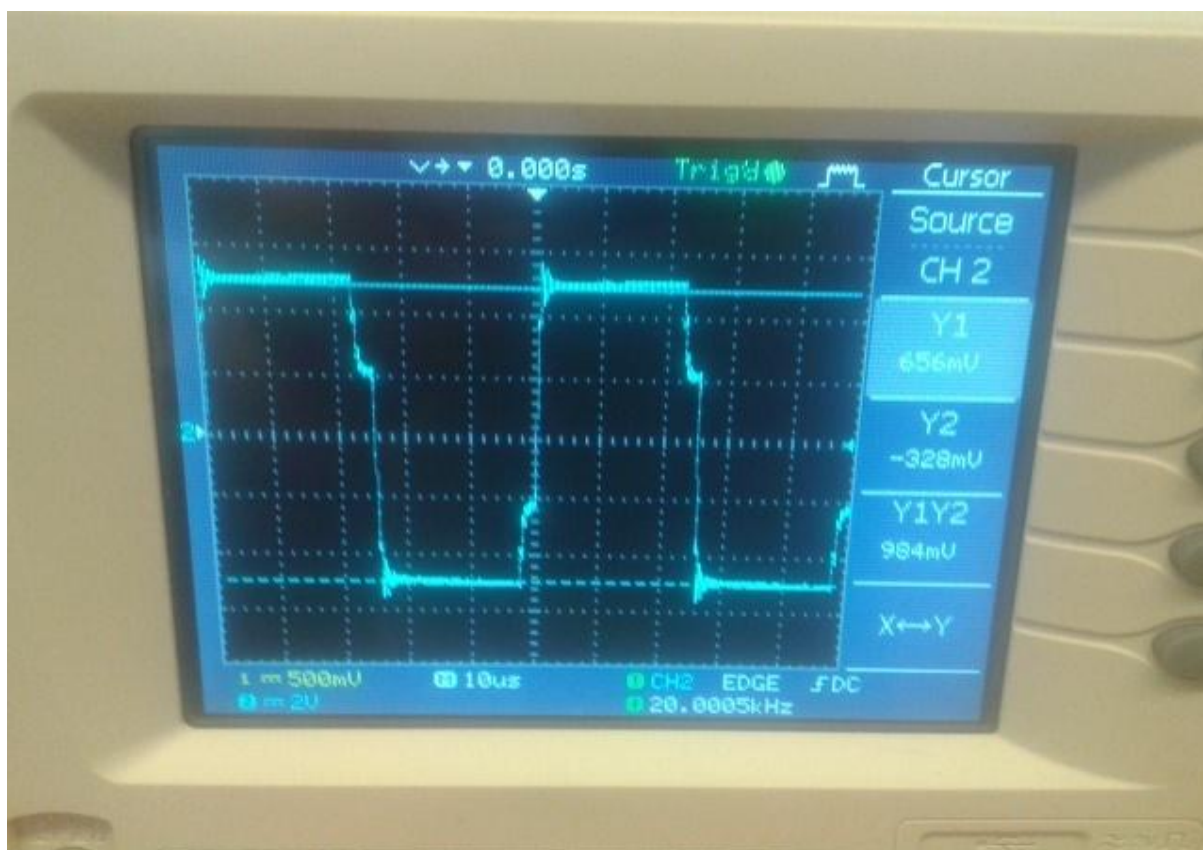


Slika 6.4 Valni oblik napona na trošilu

Pri 20kHz:



Slika 6.5 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama

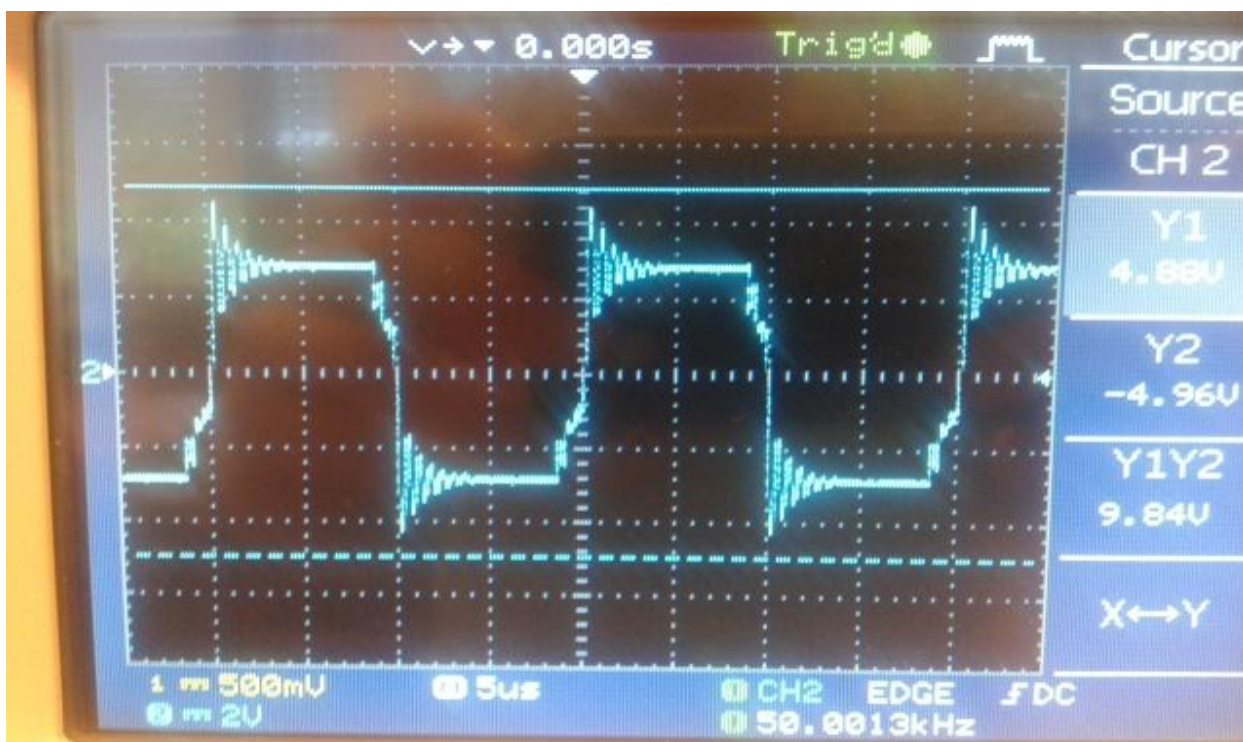


Slika 6.6 Valni oblik napona trošila

Pri 50 kHz:



Slika 6.7 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama

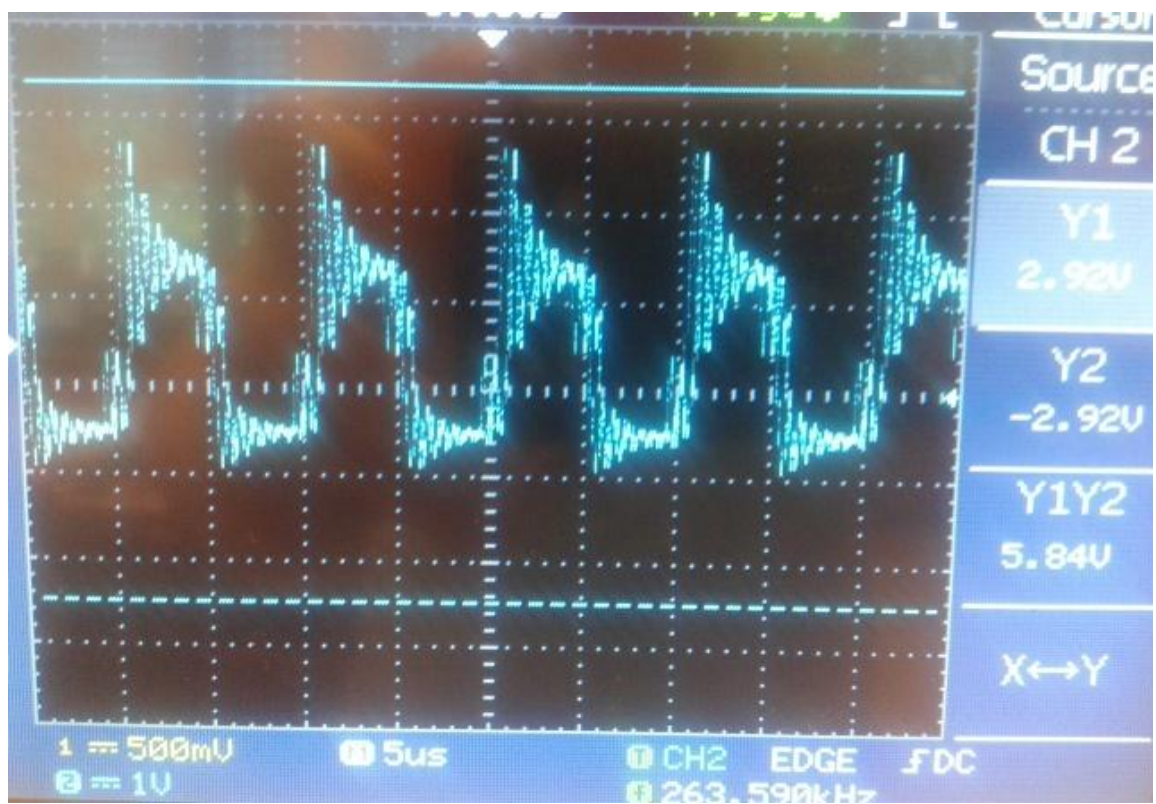


Slika 6.8 Valni oblik napona trošila

Pri 100 kHz:

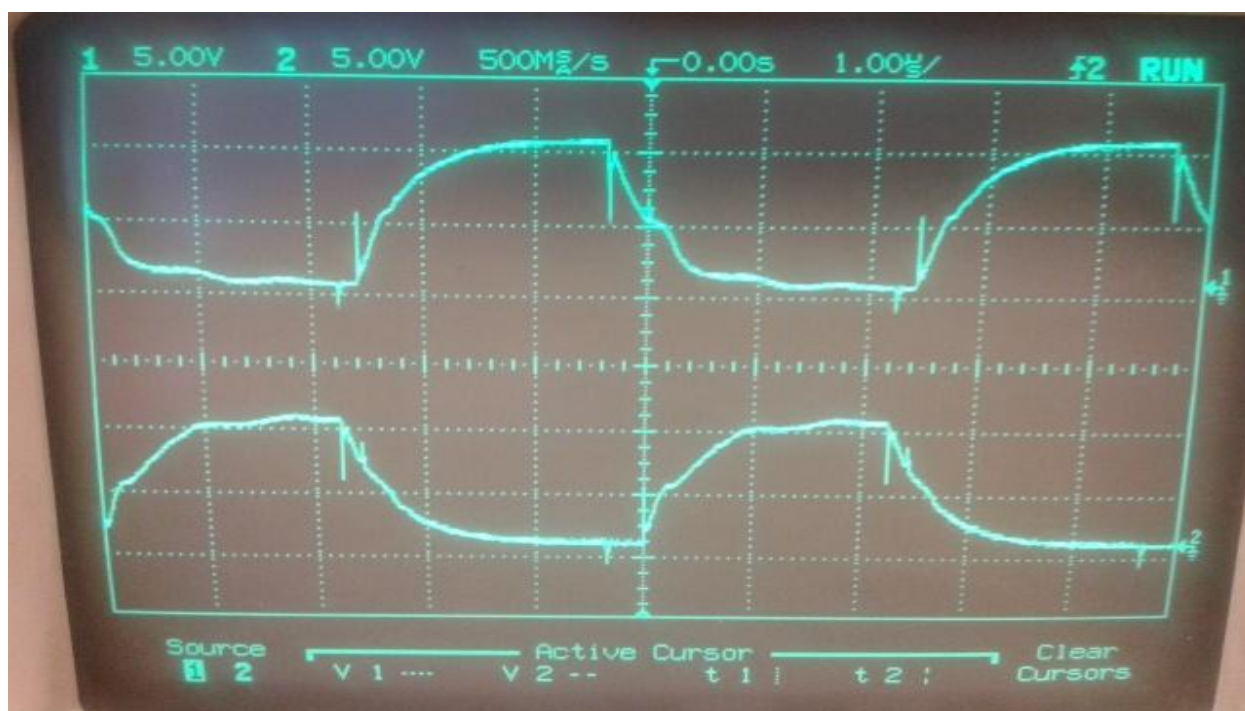


*Slika 6.9 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama*

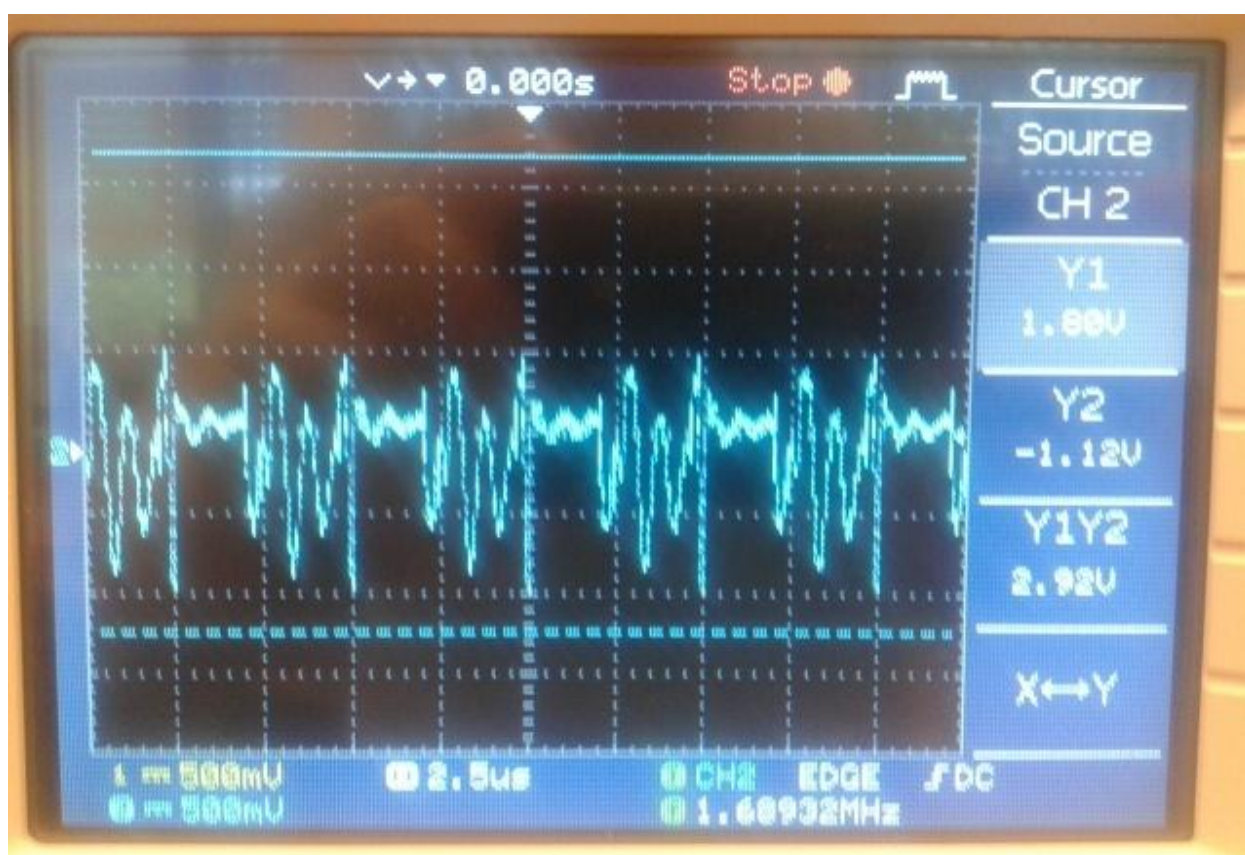


*Slika 6.10 Valni oblik napona trošila*

Pri 200 kHz:

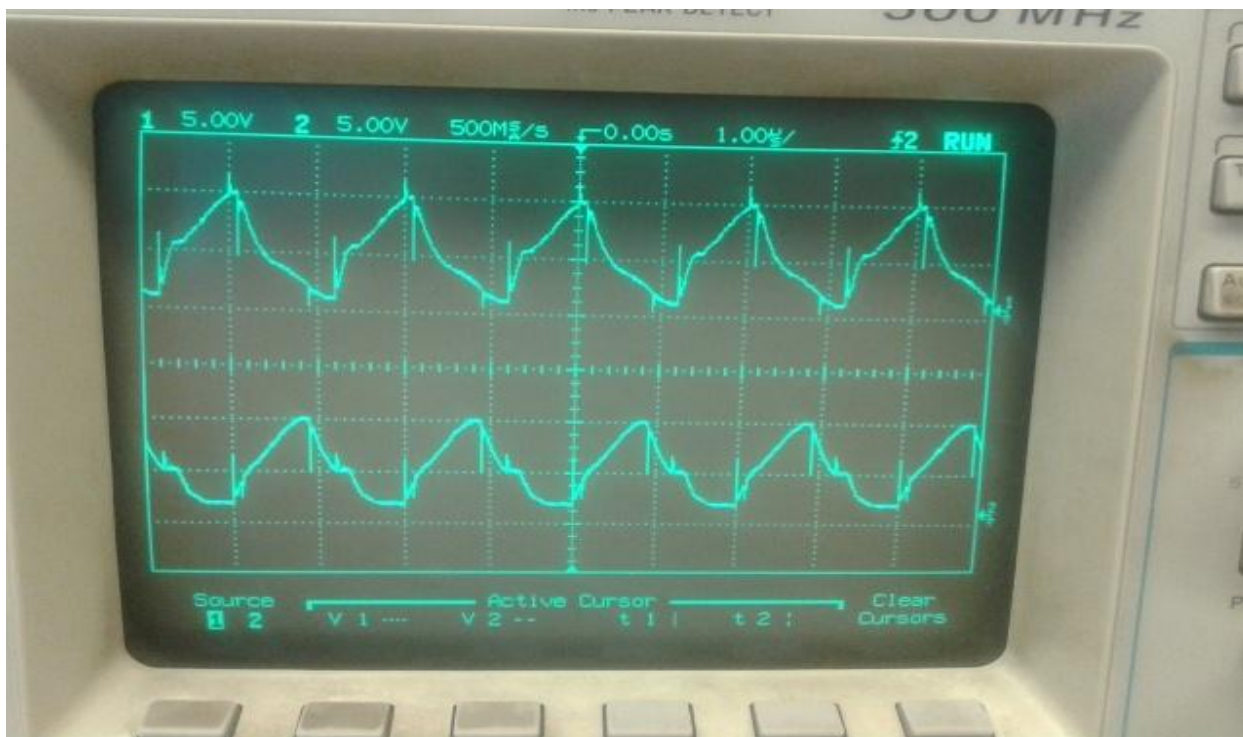


Slika 6.11 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama

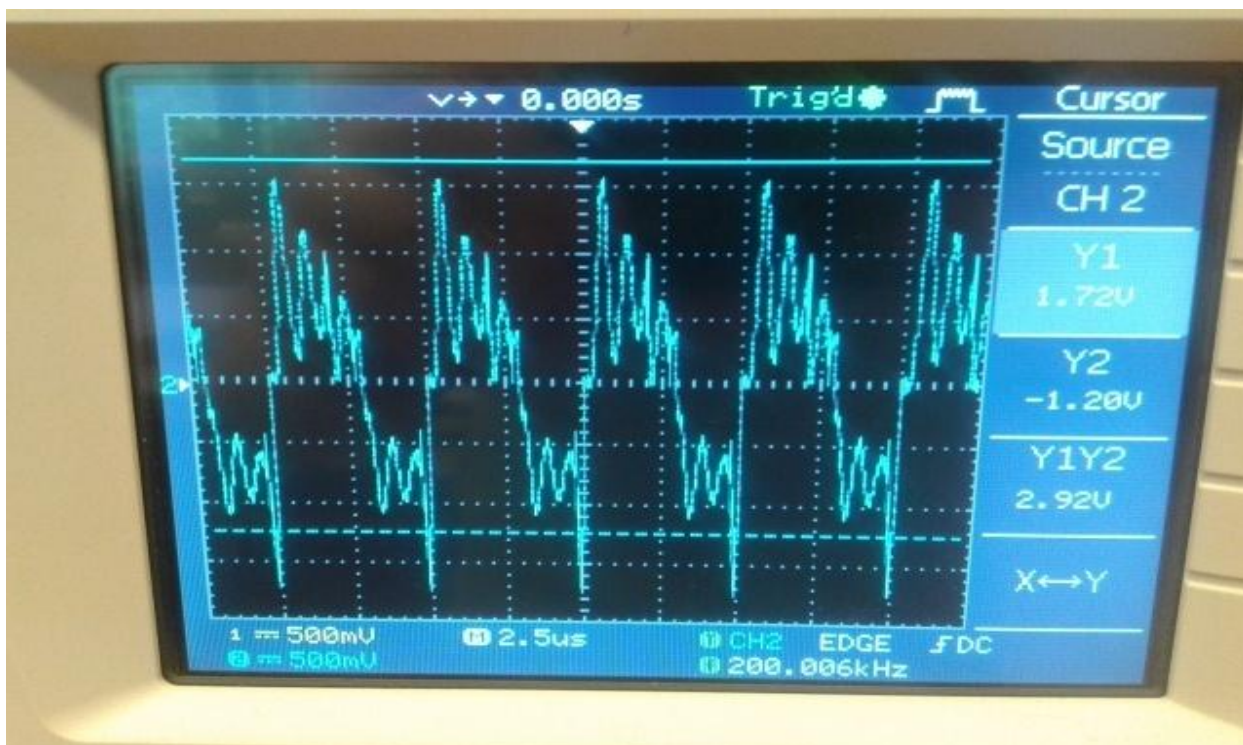


Slika 6.12 Valni oblik napona trošila

Pri 500 kHz:



*Slika 6.13 Valni oblik upravljačkog napona na upravljačkim elektrodama*

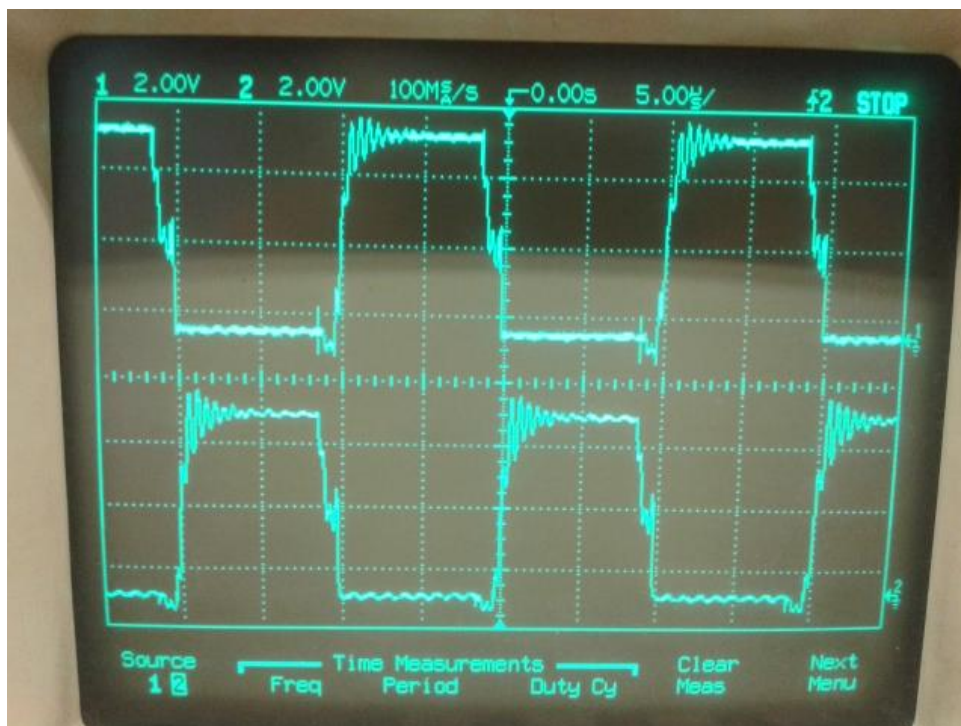


*Slika 6.14 Valni oblik napona trošila*

Nakon toga vršeno je još jedno mjerenje gdje se osciloskop prvo spojio na trošilo, zatim se spojio između uvoda MOSFET-a i uzemljenja, a na kraju se trošilo zamjenjuje rezonantnim krugom. U nastavku će biti prikazani valni oblici.

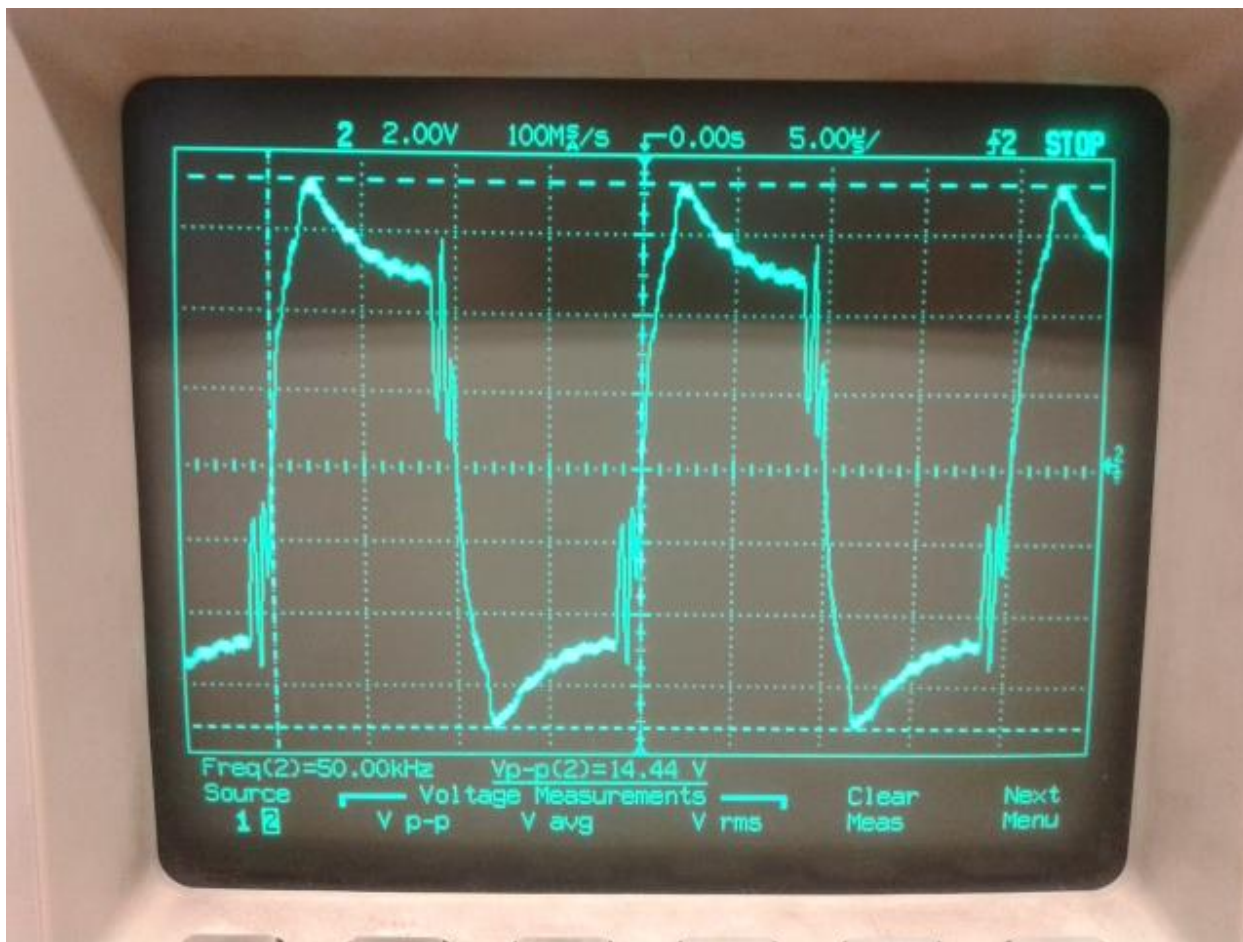


Slika 6.15 Valni oblik na trošilu



Slika 6.16 Valni oblik između source-va i mase





*Slika 6.17 Valni oblik rezonantnog kruga*

Iz ovih mjerenja je vidljivo da se kod simulacije dobiju ipak nešto ljepši valni oblici kod trošila tj. pravokutniji su dok se kod stvarnih mjerenja bolje vidi da se s porastom frekvencije valni oblik drastično mijenja.

## 7.ZAKLJUČAK

Ovim završnim radom opisan je DC-AC pretvarač koji pretvara istosmjernu veličinu u izmjeničnu veličinu. DC-AC pretvarač je jako važan jer se koristi gotovo svugdje, od stambenih zgrada, tvornica, industrije, solarni paneli itd.

Opisan je rad H-bridga koji omogućava kontrolu smjera struje kroz pretvarač. Naveo sam različite izvedbe H-bridga te istaknuo njihove prednosti i mane i na temelju njih možemo zaključiti da je kao sklopke najbolje koristiti MOSFET-e ili IGBT-ove.

Provedena je i simulacija sklopa u programu Multisim. Uspoređeni su rezultati sa onima koji su mjereni u laboratoriju. Može se zaključiti da su rezultati dosta slični pri frekvencijama do 50,100 kHz dok se kod viših frekvencija malo više razlikuju. Dolazi se do zaključka da sklop koji smo simulirali i mjerili može koristiti do maksimalne frekvencije od 50 do 100 kHz.

## LITERATURA

- [1] [https://www.fer.unizg.hr/download/repository/Pred\\_ELESUS\\_EE\\_4.pdf](https://www.fer.unizg.hr/download/repository/Pred_ELESUS_EE_4.pdf)  
(pristup ostvaren 25.06.2016)
- [2] Ivan Flegar, Elektronički energetska pretvarači Zagreb, 2010.
- [3] [https://en.wikipedia.org/wiki/H\\_bridge](https://en.wikipedia.org/wiki/H_bridge) ( pristup ostvaren 20.06.2016.)
- [4] <https://hr.wikipedia.org/wiki/Tranzistor> ( pristup ostvaren 30.06.2016.)
- [5]  
[https://moodle.oss.unist.hr/pluginfile.php/27673/mod\\_resource/content/1/Elektronicki\\_elementi\\_nastavni\\_materijal.pdf](https://moodle.oss.unist.hr/pluginfile.php/27673/mod_resource/content/1/Elektronicki_elementi_nastavni_materijal.pdf) (pristup ostvaren 25.06.2016)
- [6] <http://www.pfri.uniri.hr/~vucetic/Energetska%20elektronika.pdf>  
(pristup ostvaren 30.06.2016.)

## SAŽETAK

U završnom radu je opisan DC-AC pretvarač. Izvršena je analiza, izrada i testiranje DC-AC pretvarača te je tekstem, fotografijama i simulacijom opisan rad i svrha DC-AC pretvarača. U prvom dijelu je opisana DC-AC pretvorba te izvedbe H-mosnih spojeva, a u nastavku je provedena simulacija sklopa i mjerenje. Te se dolazi do zaključka do koje frekvencije sklop može ispravno raditi.

**Ključne riječi:** frekvencija, napon, struja,

## ABSTRACT

Performance of DC-AC converter with wireless energy transfer.

This final paper describes DC-AC converter. In this final paper we have made analysis, production and testing of a DC-AC converter and with text, photos and simulation is described the work and purpose of the DC-AC converter. The first part describes the DC-AC conversion and performance of H-bridge circuit, below is conducted simulation of circuit and measurement. This leads to the conclusion to which frequency circuit can work properly.

**Key words:** frequency, voltage, current

## **ŽIVOTOPIS**

Josip Hulak rođen je 27. prosinca 1994. godine u Đakovu. Nakon završene Osnovne škole Josip Kozarac u Josipovcu Punitovačkom upisao je I. Gimnaziju u Osijeku. Srednju školu završio je sa vrlo dobrim uspjehom te nakon položene državne mature iste godine upisuje sveučilišni studij na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, smjer Elektroenergetika.

U Osijeku, rujan 2016.

Josip Hulak

---

(potpis)