

Hrvoje Pauković
0036451717

Drugi ciklus laboratorijskih vježbi iz praktikuma učinske elektronike

Vježba A: Usmjerivač u jednofaznom mosnom spoju

**Vježba B1: Univerzalni PWM pretvarač kao istosmjerni
pretvarač**

**Vježba B2: Istosmjerni pretvarač u uzlaznom spoju (bez galv.
odvajanja)**

Grupa: Hrvoje Pauković
Edo Jelavić
Krešimir Vlahov
Tretnjak Karlo

Seminar

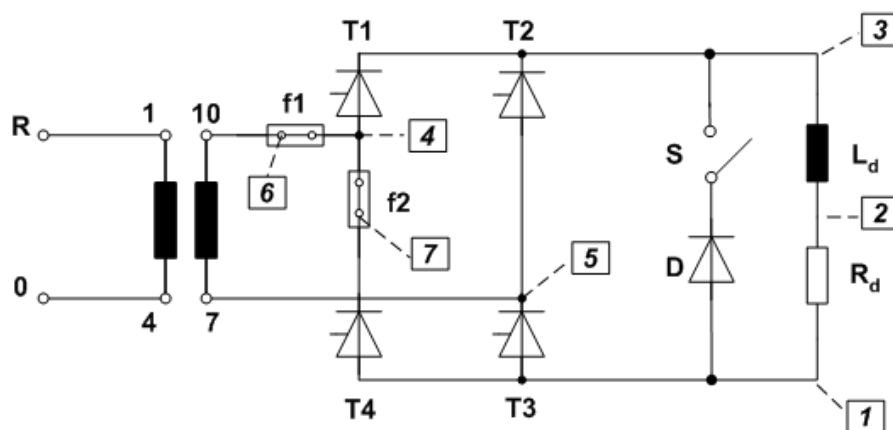
1.1 Usmjerivač u mosnom spoju sa RL trošilom

Topologija jednofaznog usmjerivača jednaka je topologiji jednofaznog diodnog ispravljača i prikazana je na Slici 1. Ova dva sklopa razlikuju se u vrsti ventila, umjesto neupravljivih dioda u krug je potrebno spojiti poluupravljive tiristore. Posebnost ovog sklopa u odnosu na diodni ispravljač je upravo u činjenici da je moguće upravljati ventilima tj. odgoditi trenutak u kojem će ventili provesti. Na taj način moguće je mijenjati srednju vrijednost napona i struje na trošilu, moguće je utjecati na tok energije iz mreže u trošilo ili obratno. Također kada je trošilo induktivnog karaktera promjenom faznog kuta upravljanja moguće je postići neisprekidanu ili isprekidanu struju trošila. Isprekidanom strujom trošila nazivamo onu struju koja za vrijeme jednog dijela periode padne na iznos 0. Neisprekidana struja trošila ima valoviti oblik (ovisno o induktivitetu trošila) ali nikada ne padne na iznos 0.

Osnovno funkcioniranje sklopa je vrlo slično kao kod punovalnog diodnog ispravljača. Tiristori mogu provesti samo ukoliko su propusno polarizirani, odnosno ukoliko je napon između katode i anode pozitivan. Tiristori T1 i T3 provest će pozitivni poluval napona mreže na trošilo nakon što dobiju strujni impuls na upravljačku elektrodu (Gate). Tiristori T2 i T4 provedu negativni poluval napona mreže na trošilo, tako da je rezultat punovalno ispravljeni napon na trošilu. Trenutak u kojem će tiristor provesti naziva se kut upravljanja alfa. Sami valni oblici napona i struje trošila uvelike ovise o kutu upravljanja i iznosu induktiviteta trošila. Dok tiristor nije propusno polariziran, nalazi se u stanju blokiranja (pad napona na ventilu tada je jednak naponu mreže).

Sklop se zove usmjerivač jer posjeduje svojstvo da vraća energiju u izvor. Za kuteve upravljanja veće od 90 stupnjeva srednja vrijednost napona na trošilu postaje negativna, kako se smjer struje ne mijenja jasno je da trošilo počne vraćati energiju u izvor.

Napomena: iako je poredna dioda na shemi spojena u paralelu trošilu, za vrijeme vježbe nije bilo potrebno uključivati ju u krug.

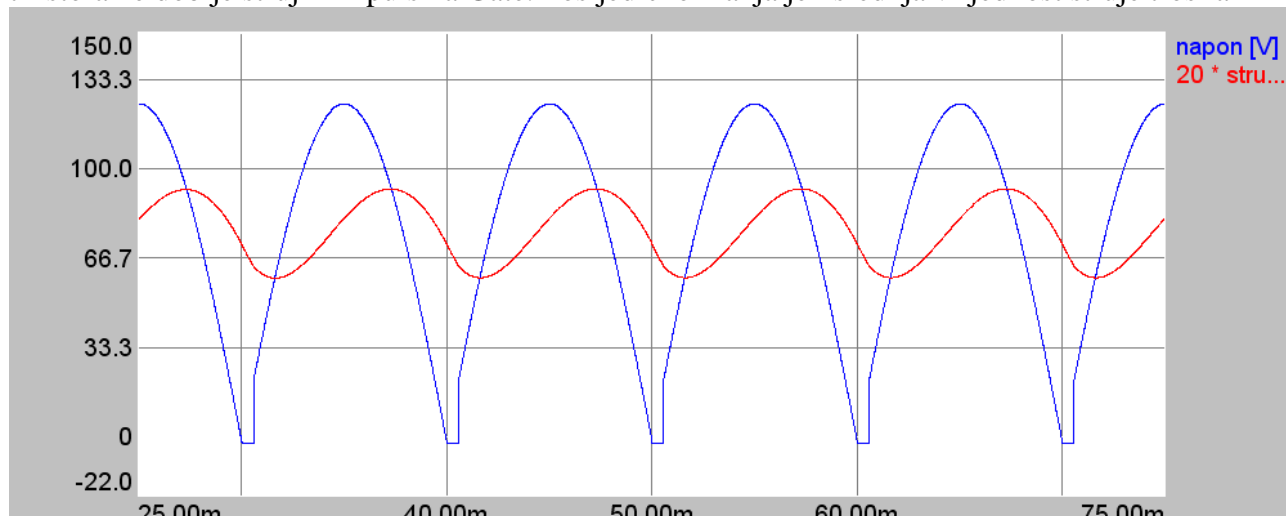


Slika 1.0 – Tiristorski usmjerivač u mosnom spoju sa RL trošilom

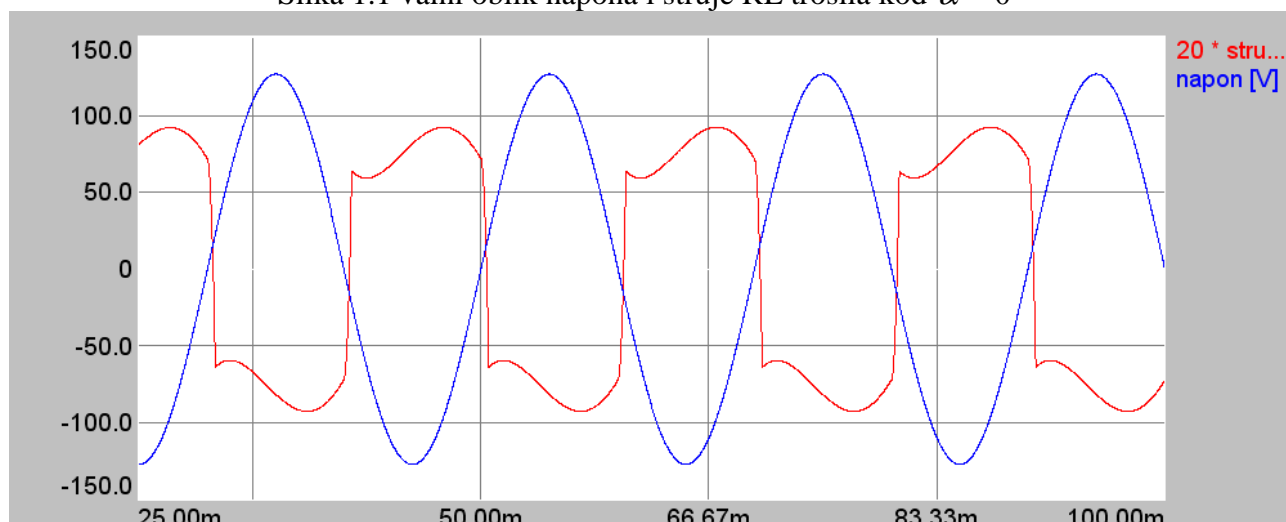
Prilikom simulacije korišten je gotovi model za usmjerivač dostupan na stranicama predmeta. U simulacijama su korišteni podaci sukladni komponentama koje su korištene prilikom mjerenja u labosu: Napon izvora $U_{max}=127V$, $R=20\ \Omega$, $L=100mH$. Iznos induktiviteta korištene zavojnice je procijenjen na 100mH jer nije bilo načina na koji bi se mogao odrediti točan iznos Induktiviteta namota koji je korišten kao trošilo. Kao vrsta simulacije odabrana je realna izvedba. Sklopa.

Slike 1.1 i 1.2 prikazuju valne oblike napona i struje na trošilu i izvoru za kut upravljanja $\alpha = 0^\circ$. Lako je primijetiti da se upravljač za kut $\alpha = 0^\circ$ ponaša jednako kao i punovalni diodni ispravljač. Struja trošila ima valoviti oblik ali zbog induktivnog karaktera trošila ne pada na 0. ovaj način rad upravljača naziva se neisprekidani.

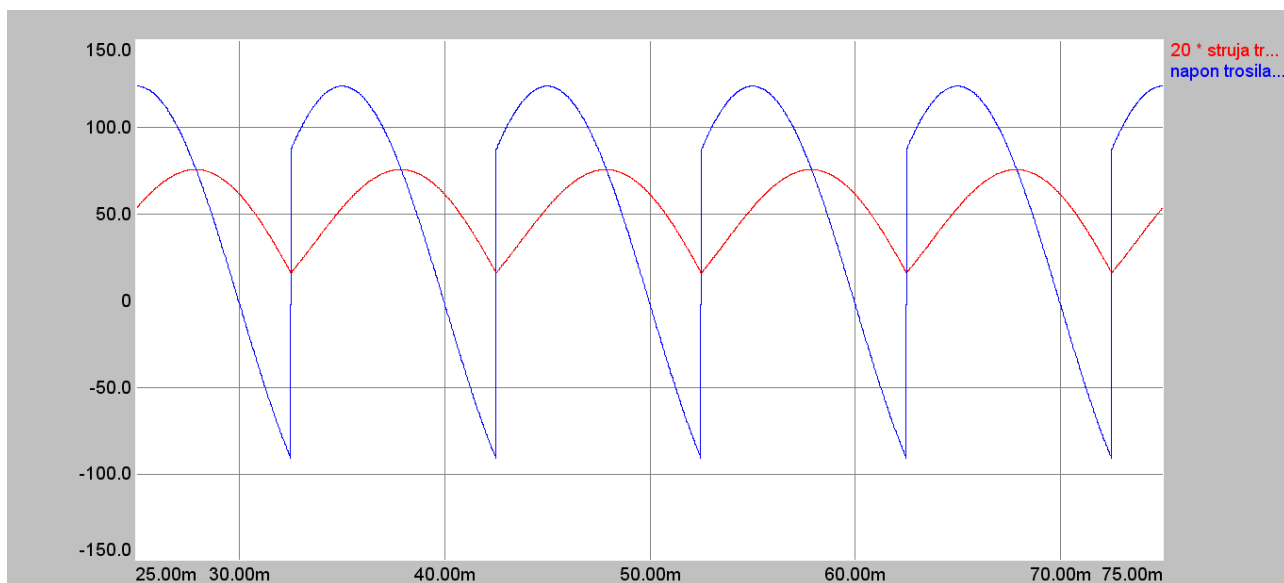
Slike 1.3 i 1.4 prikazuju valne oblike napona i struje na trošilu i izvoru za kut upravljanja $\alpha = 45^\circ$. Budući da tiristori provedu za 45 stupnjeva kasnije u odnosu na prvi slučaj očito je da se srednja vrijednost napona na trošilu smanjuje. Bitno je za napomenuti da tiristori ne prestaju voditi kada nastupi negativni poluval napona, nego tek kada struja kroz njih padne na nulu ili drugi par tiristora ne dobije strujni impuls na Gate. Posljedično manja je i srednja vrijednost struje trošila



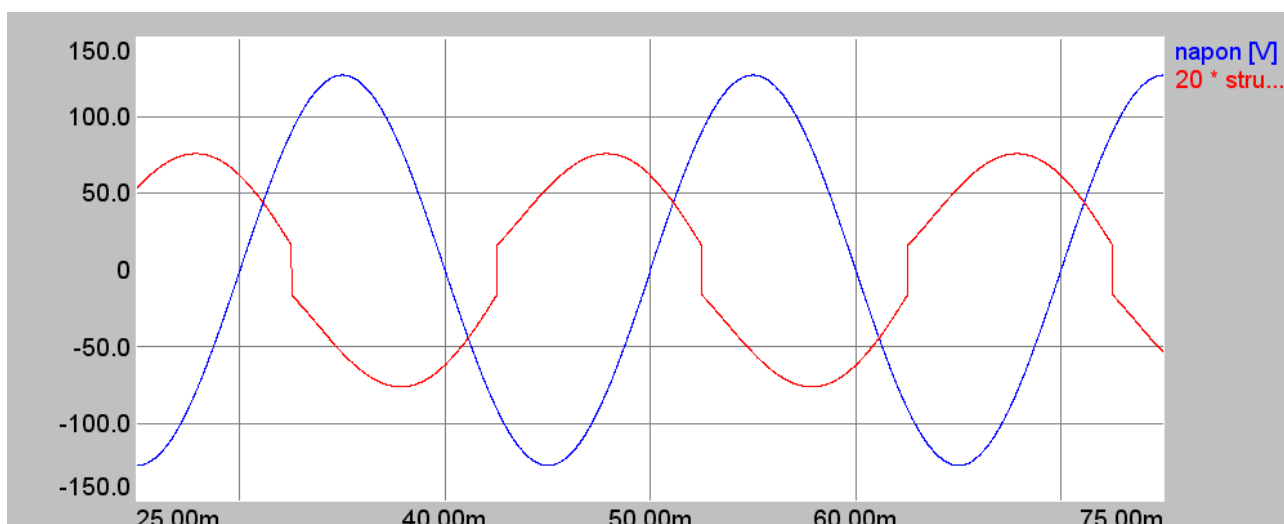
Slika 1.1 valni oblik napona i struje RL trošila kod $\alpha = 0^\circ$



Slika 1.2 valni oblik napona i struje izvora kod $\alpha = 0^\circ$

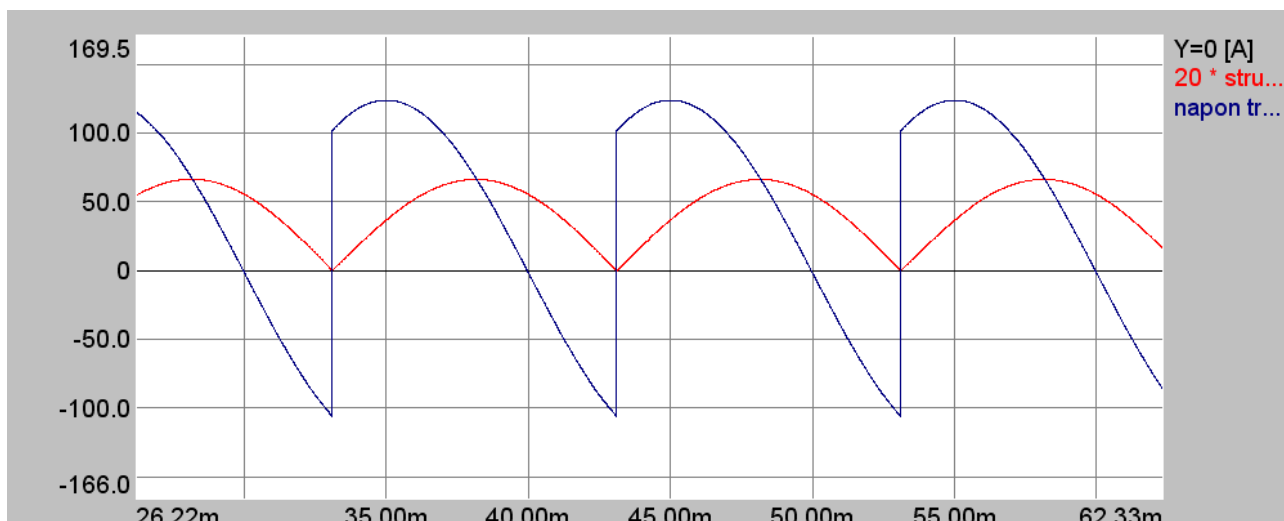


Slika 1.3 valni oblik napona i struje RL trošila kod $\alpha = 45^\circ$



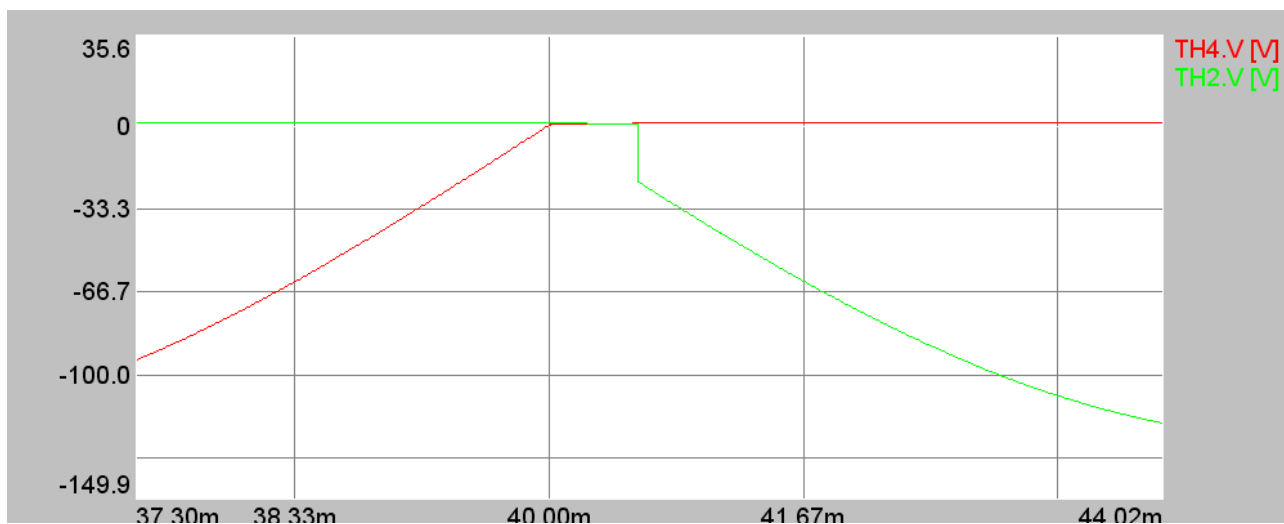
Slika 1.4 valni oblik napona i struje izvora kod $\alpha = 45^\circ$

Daljnijim povećanjem kuta upravljanja sve više pada srednja vrijednost struje trošila sve više pada sve do određenog kuta za koji struja padne na 0 neko vrlo kratko vrijeme. Taj kut nazivamo granični kut upravljanja jer on odvaja neisprekidani način rada usmjerivača od isprekidanog načina rada. Simulacijom je utvrđeno da granični kut za ovaj sklop iznosi 55.7 stupnjeva. Odzivi napona i struje trošila za granični kut prikazani su na slici 1.5. za granični kut upravljanja struja izvora postaje kontinuirana.



Slika 1.5 snimka valnih oblika napona i struje trošila za granični kut upravljanja $\alpha = 55,7^\circ$

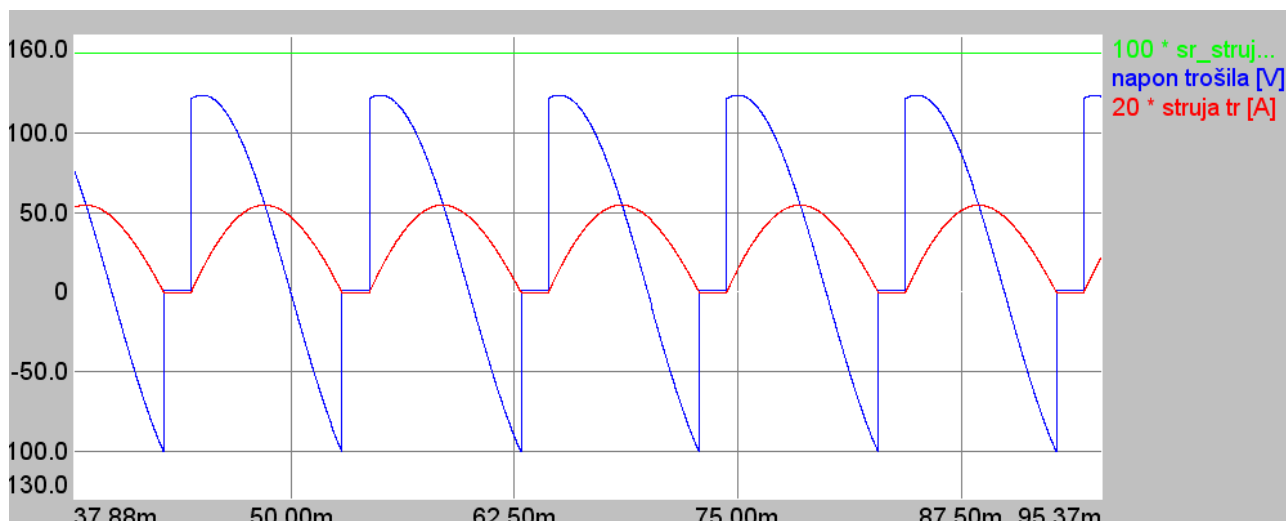
Jedan od zadataka na laboratoriju je bio analizirati pojavu komutacije. Komutacija označava trenutak kada vođenje struje preuzima suprotan par ventila i kao takva je svojstvena samo realnim ventilima. Idealni sklopovi trenutno vrše komutaciju što znači da u točno onom trenutku kada jedan par tiristora postaje zaporno polariziran drugi par tiristora trenutačno postaje propusno polarizirani i preuzima vođenje. Realni elementi zbog svojih induktiviteta i kapaciteta ne mogu trenutno izvršiti komutaciju (promjenu iznosa struje) te dolazi do pojave da su neko kratko vrijeme sva 4 tiristora propusno polarizirana. Posljedica ove pojave je da trošilo neki kratki vremenski interval bude kratko spojeno pa je na njemu napon 0. pojava je vidljiva na prikazu napona trošila za fazni kut upravljanja 0 (Slika 1.1). Komutacija je uvećano prikazana na slici 1.6.



Slika 1.6 naponi na tiristorima T2 i T4

Na slici 6 vidljiv je trenutak u kojem tiristor TH4 počinje voditi (40. milisekunda) a da TH2 još nije prestao voditi. Komutacija traje 0.5-1 milisekundu.

Također bilo je potrebno simulacijom utvrditi kut upravljanja za koji srednja vrijednost struje trošila jednaka 1.5 ampera. Utvrđeno je da kut iznosi $\alpha = 79^\circ$. Valni oblici napona i struje trošila za takve postavke prikazani su na Slici 1.7.



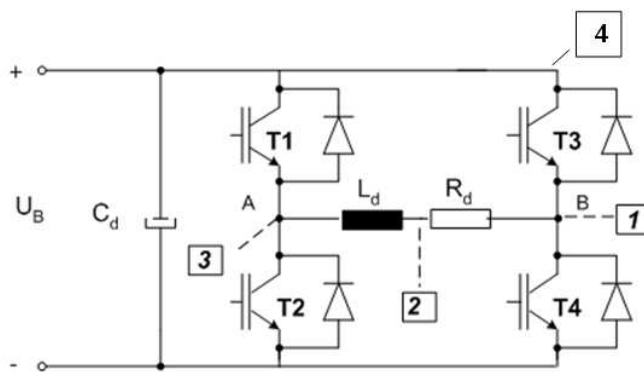
Slika 1.7: valni oblici napona struje trošila za $I_{dMEAN} = 1.5A$

1.2. Vježba B1: Univerzalni PWM pretvarač kao istosmjerni pretvarač

Na drugoj vježbi u ciklusu zadatak je bio upoznati se s jednofaznim PWM univerzalnim pretvaračem. Topologija sklopa prikazana je na Slici 1.8. Pretvarač se sastoji od 4 poluvodičke sklopke od kojih se pak svaka sastoji od protuparalelnog spoja 2 ventila. U protuparalelnom spoju nalaze se punoupravljivi IGBT tranzistor te neupravljive diode. Ako se analiziraju ventili zasebno IGBT može na sebe primiti napon jednog polariteta i voditi struju u jednom smjeru. Nakon spajanja diode u protuparalelu sklopka može primiti jedan polaritet napona i provesti struju u dva smjera. Pojedinačni ventili su jednokvadrantni dok je ukupna sklopka dvokvadrantna.

Navedeni postupak e bio potreban kako bi ukupni ispravljač bio četverokvadrantan. Univerzalni PWM pretvarač može dakle trošilu dovesti 2 polariteta napona i provesti struju u oba smjera. Pretvarač je univerzalan jer može na izlazu dati istosmjerni ili izmjenični napon što je uvjetovano modulacijom-načinom na kojim se upravlja sklopkama.

Na shemi je vidljivo da je dodati Kondenzator bio spojen u paralelu izvoru njegova svrha je da dodatno smanji oscilacije u istosmjernom naponu koji je dobiven iz diodnih ispravljača u laboratoriju.



Slika 1.8: topologija pretvarača

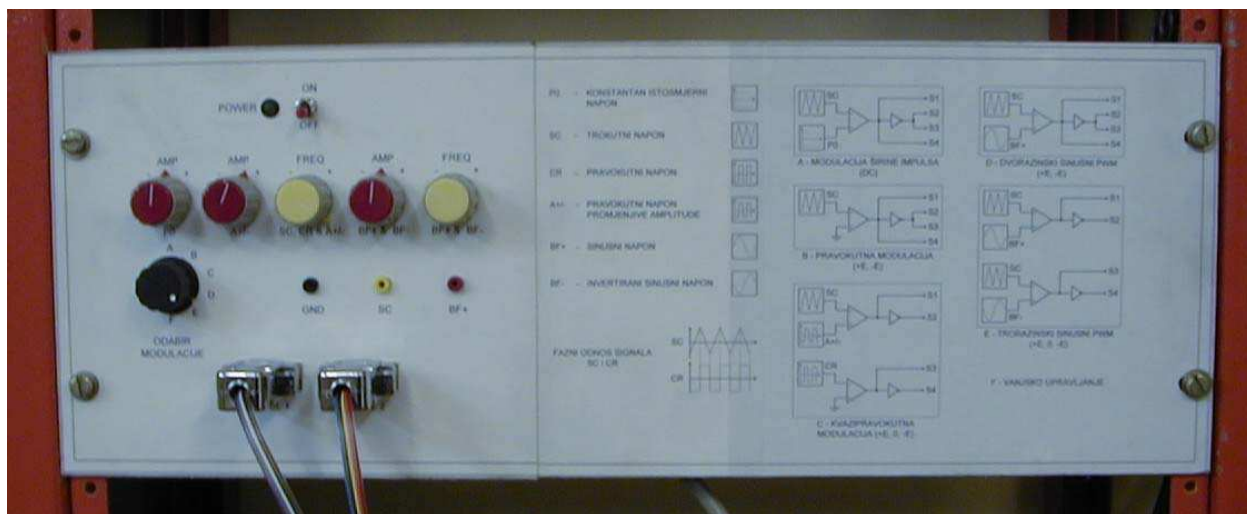
univerzalnog PWM

Ime pretvarača dolazi od načina na koji su upravljani njegovi ventili a to je modulacija širine impulsa(pulse width modulation). Princip funkcioniranja je sljedeći. Igbt tranzistorima je potrebno upravljati na način da isporuče napon određene srednje vrijednosti trošilu. Da bi bili u stanju vođenja potrebno im je dovesti naponski impuls na upravljačku elektrodu. Uvijek u paru vode po dvije sklopke a koliki dio periode treba voditi koji par sklopki (sklopna frekvencija) ovisi o

karakteru napona koji treba dovesti na trošilo. Upravljački signal generira se uspoređivanjem napona napajanja i referentnog signala točno određene frekvencije koji je generiran u upravljačkom sklopu. Ovisno o trenutku kada se presijeku ulazni napon i referentni napon mijenja se par sklopki koje vode. Tako generiran informacijski signal dovodi se na igbt module gdje se u pobudnom stupnju informacijski signali pojačavaju na odgovarajuću razinu te kao naponski impulsi prosljeđuju na upravljačku elektrodu IGBT ventila. Srednja vrijednost napona na trošilu ovisi o faktoru vođenja.

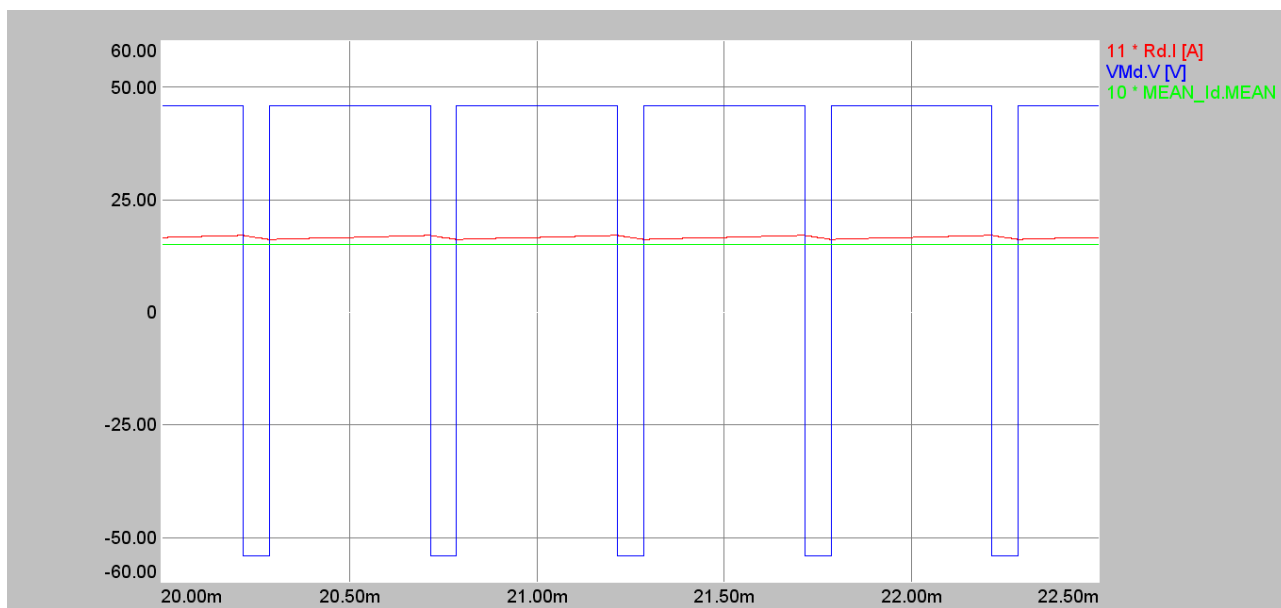
Općenito postoje različite modulacije. Ovisno obliku referentnog signala (pila, trokut, pravokutni, kvazipravokutni...) Ovisno o tome jel trenutni napon trošila može imati negativnu vrijednost ili ne razlikujemo bipolarnu i unipolarnu modulaciju. Odabir načina upravljanja sklopkama postiže se odabirom položaja preklopke (ODABIR MODULACIJE) na prednjoj ploči modulatora, u ovom slučaju to je položaj A.

Sklop za upravljanje (modulator) je prikazan na slici 1.9. Napon izvora iznosio je 50V DC.

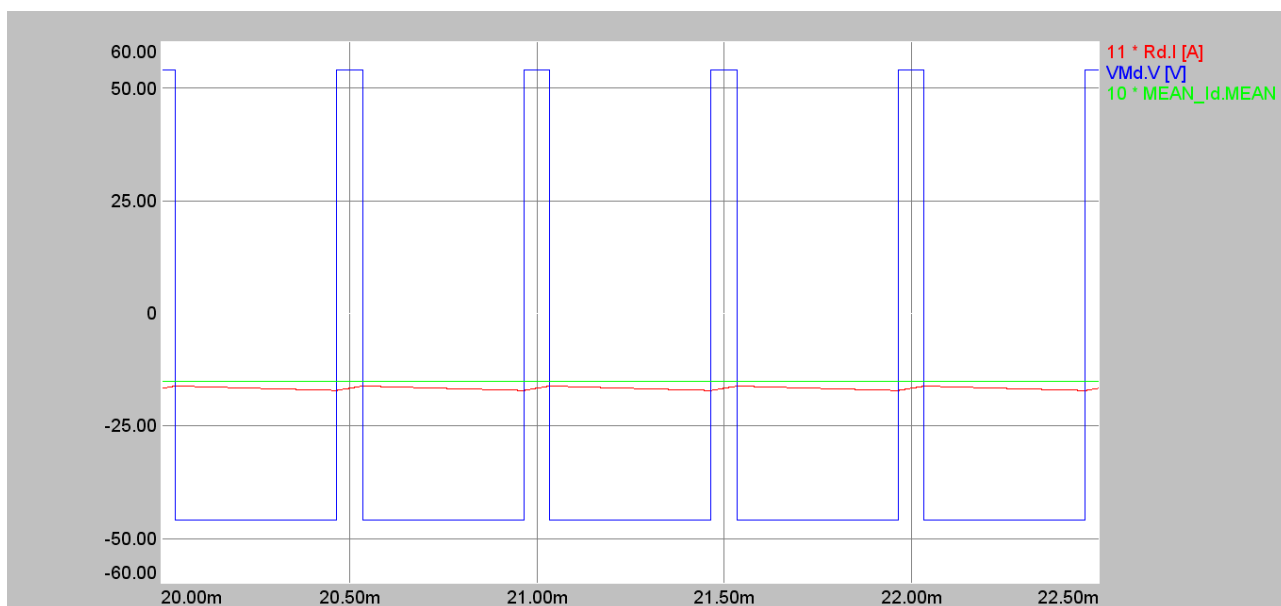


Slika 1.9: prikaz upravljačke logike PWM pretvarača, vrste modulacija

Prilikom simulacije rada sklopa korištena je bipolarna modulacija. Podatci korišteni u simulaciji su isti kao i podaci komponenti s kojima je vršeno mjerenje na laboratorijskoj vježbi: $L=70\text{mH}$, $R=21,4\text{ Ohm}$ (mjereno Fluke multimetrom), napon izvora $U=50\text{V}$. Simulacije su vršene na gotovom modelu koji je preuzet sa stranica predmeta. Modeli sklopki su bili realni. Sklopna frekvencija (frekvencija Trokutastog signala) namještena je na 2000 Hz. Zadatak prilikom mjerenja bio je podesiti faktor vođenja sklopki tako da srednja vrijednost struje trošila bude -1.5 i 1.5 ampera. To je postignuto tako da je promijenjen faktor sklopki koji se definira kao omjer srednje vrijednosti napona na trošilu i izvoru. Za struju -1.5A faktor vođenja D iznosi -0.72, dok za 1.5 A, $D=0.72$. Valni oblici dobiveni simulacijom prikazani su na slikama 1.10 i 1.11. na obje slike napon trošila je prikazan plavom bojom, struja trošila crvenom a srednja vrijednost struje trošila svijetlozelenom bojom. Potrebno je istaknuti kako napon na trošilu nešto odstupa od očekivanih vrijednosti, ne kreće se između -50 i 50 nego je pomaknut za iznos padova napona ventila u vođenju. Iznos struje na trošilu je točno 1.5A unatoč gubicima sklopki jer je tako namješten D prilikom simulacije.



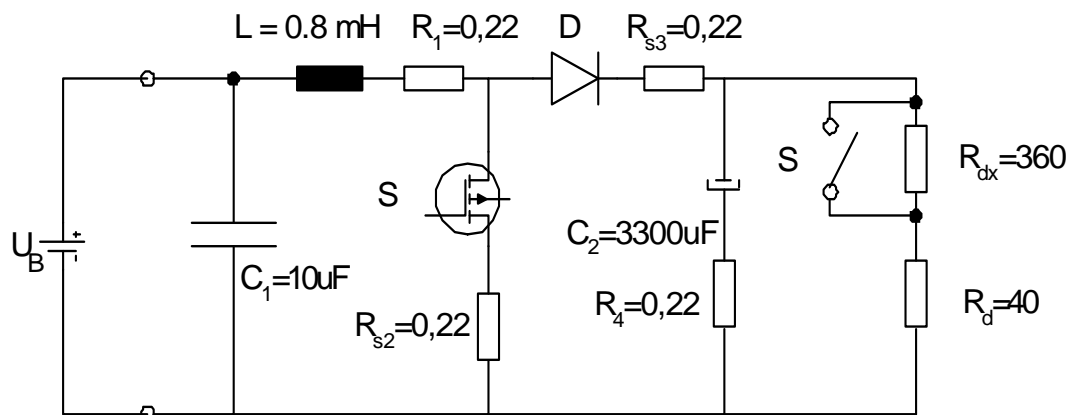
Slika 1.10 valni oblik napona i struje trošila uz srednju vrijednost struje trošila 1.5A; $D=0.72$



Slika 1.11 valni oblik napona i struje trošila uz srednju vrijednost struje trošila -1.5A; $D=-0.72$

1.3 Vježba B2: Istosmjerni pretvarač u uzlaznom spoju (bez galvanskog odvajanja)

Ovaj spoj se također zove boost DC-DC converter jer podiže razinu ulaznog napona. Osnovna topologija sklopa prikazana je na Slici 1.12. Sklop podiže naponsku razinu tako što izvor nabija zavojnicu spoјenu serijski izvoru ($L=0.8\text{mH}$) u dijelu periode kad ventil (mosfet) vodi a u dijelu periode kad je mosfet isključen i izvor i zavojnica energiju predaju trošilu. Dakle srednja vrijednost napona na trošilu ovisi od duljini vremenskog intervala u kojem ventil vodi. Sve ovo izvedivo je samo uz pretpostavku da je kondenzator spojen u paralelu trošilu dovoljnog kapaciteta da održi napon na trošilu konstantnim.

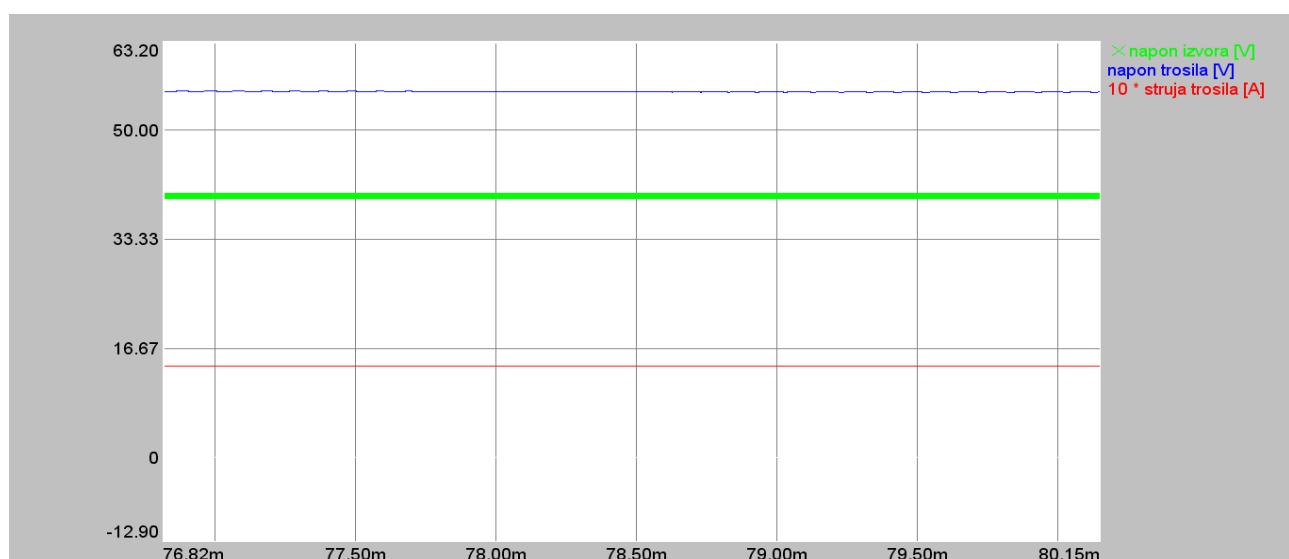


Slika 1.12 topologija uzlaznog DC/DC pretvarača

Faktor vođenja za ovaj sklop pokazuje koliki dio vremena tj ukupne periode MOSFET vodi. Poznat je izraz za D izveden iz transformatorskih jednadžbi: $\frac{T_{ON}}{T} = \frac{V_0}{V_d} = \frac{1}{1-D}$ Sklop ima dva osnovna

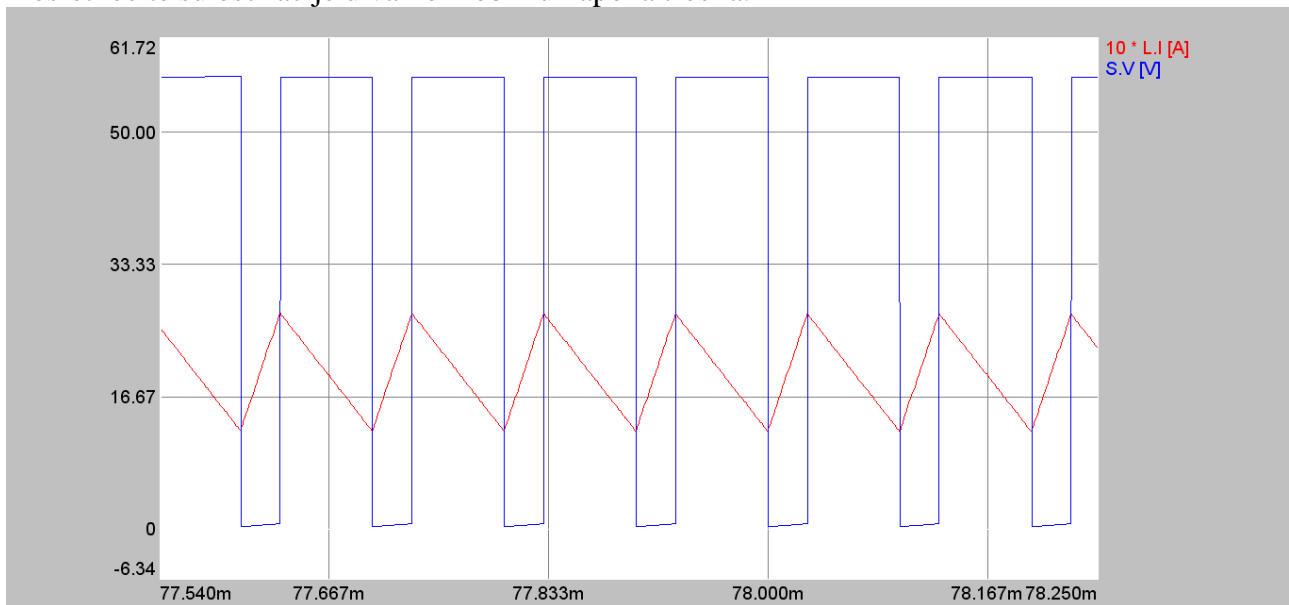
režima rada koji ovise o karakteru struje trošila, a to su isprekidani i nesiprekidani. Bilanca snaga mora biti zadovoljena i ako uzlazni pretvarač podigne srednju vrijednost napona na trošilu, struja mora pasti. Kao ventil je odabran mosfet zbog svojih niskih sklopnih gubitaka (sklop radi najčešće na visokim sklopnim frekvencijama). Mosfetom se upravlja korištenjem PWM modulacije.

Zadatak za mjerenje je bio zadati faktor vođenja 0.3, period vođenja je početno bio namješten na 0.1ms ($f_s=10\text{kHz}$), $U_B=40\text{V DC}$. Prema tome i simulacije će biti izvedene za iste postavke.



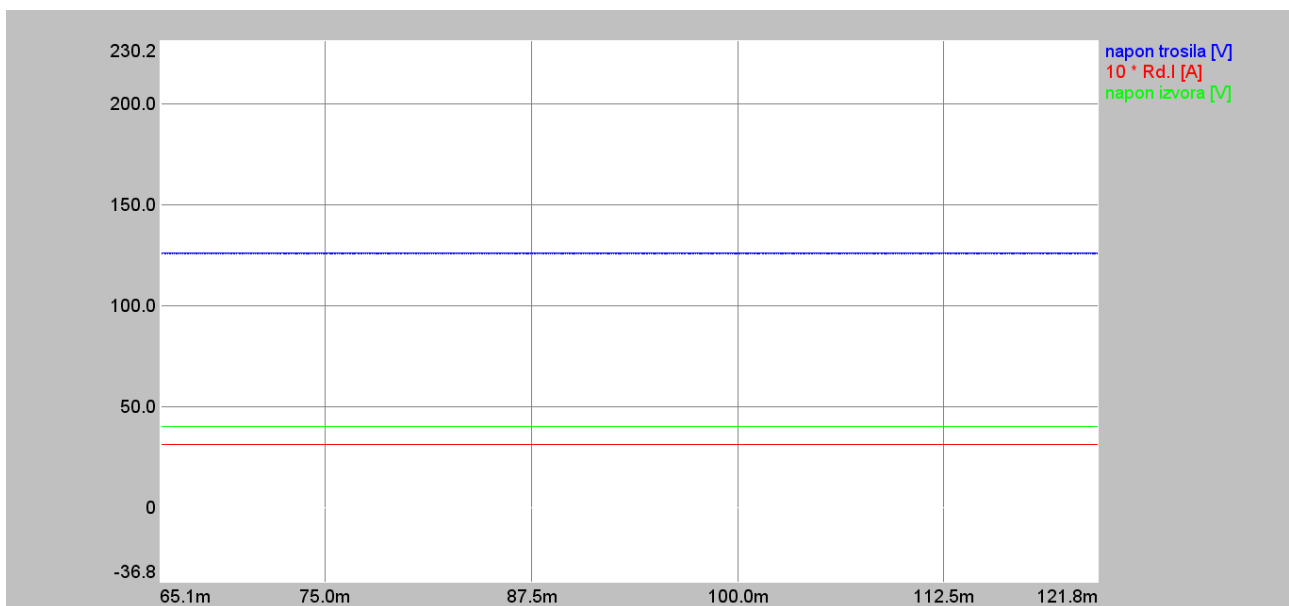
Slika 1.13 Valni oblici napona izvora, trošila te struje trošila za $D=0.3$

Iz slike je sasvim očito da je napon trošila porastao za petnajestak volti. Na intervalima kada vodi mosfet očit su oscilacije u valnom obliku napona trošila.



Slika 1.14 Valni oblici napona sklopke S, te struje zavojnice

Slika 14 prikazuje napon ventila i struju pojne zavojnice. Kada mosfet vodi ima vrlo mali pad napona, iz slike je očito da se zavojnica nabija jer struja kroz nju raste po linearnom zakonu. Kada mosfet na sebe preuzme blokirni napon izvora, dioda provede jer joj $U_{ak} > 0$ te se zavojnica prazni preko trošila i kondenzatora (predaje energiju). Na valovitost izlaznog napona možemo utjecati preko promjene iznosa kapaciteta spojenog u paralelu trošilu, dok valovitost struje smanjujemo povećanjem induktiviteta zavojnice.



Slika 1.13 Valni oblici napona izvora, trošila te struje trošila za $D=0.7$

2. Rad u laboratoriju:

2.1 Usmjerivač u mosnom spoju sa RL trošilom

Korištena oprema: -4 tiristora

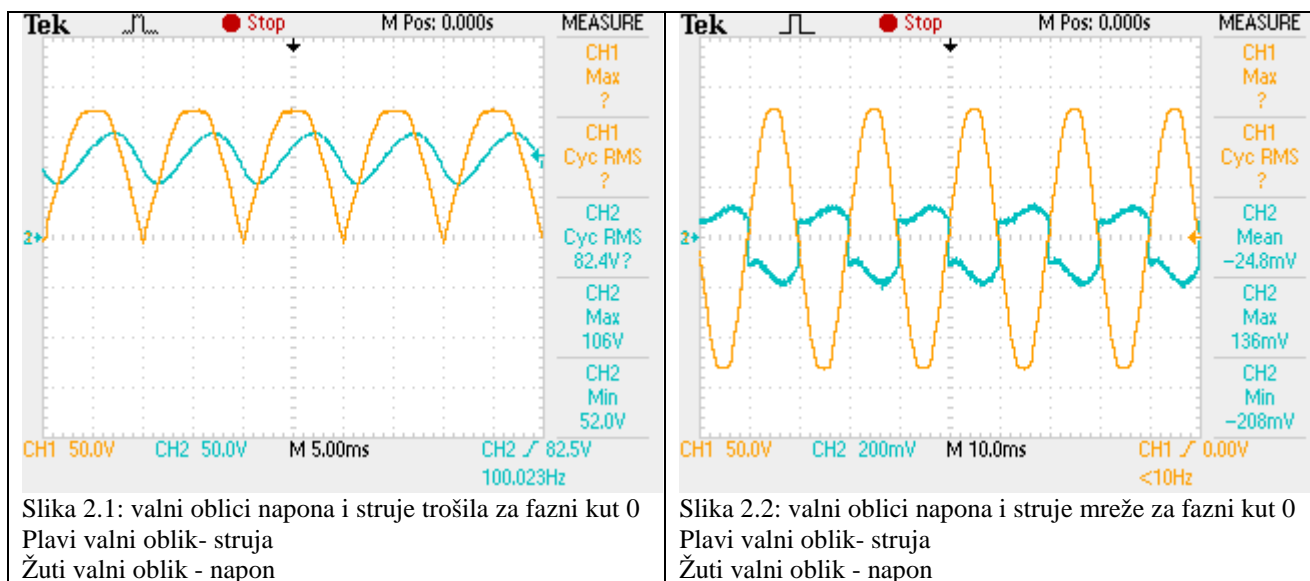
-otpornik 20 Ohma

- 2 šanta 8022 100mV R=0,01 ohma, +- 0,25 %
- poredna dioda
- prekidač
- induktivitet(primar i sekundar pomocnog traofa)
- osciloskop Tektronics Tds 2002, 2 sonde
- sklop za upravljanje tiristorima (promjena kuta upravljanja)
- napajanje: napon mreže spušten na $U_{max}=127V$; napajanje je sniženo i galvanski odvojeno iz sigurnosnih razloga.

Zadatak prilikom mjerenja je bio promatrati promjene na valnim oblicima napona i struje trošila (i mreže) uzrokovane promjenom kuta upravljanja tiristora.

Kut upravljanja namješta se preko potenciometra smještenog na sklopu za upravljanje tiristorima. Dok se okreće potenciometar na zaslonu osciloskopa je potrebno promatrati kako se mijenja kut upravljanja. Ukoliko je širina pozitivnog poluvala napona mreže 4 podjele (div), fazni kut upravljanja 45 je podešen ako se namjesti da tiristor provede nakon 1div. Pojave su mjerne osciloskopom i potom prenesene na laptop. Sklop je spojen prema shemi(Slika 1.0) iako je poredna dioda spojena u krug ona prilikom mjerenja nije trebala biti korištena! Napon je mjeran naponskom sondom dok je valni oblik struje dobiven skaliranjem napona mjenjenog na strujnom šantu ili otporniku. Valni oblik struje identičan je valnom obliku napona šanta ili otpora. Mjerne sonde su spajanje prema shemi(Slika 1.0). budući da sonde osciloskopa imaju zajedničku masu prilikom nekih mjerenja bilo je potrebno invertirati signal da bi bio izmjeren ispravan polaritet veličine.

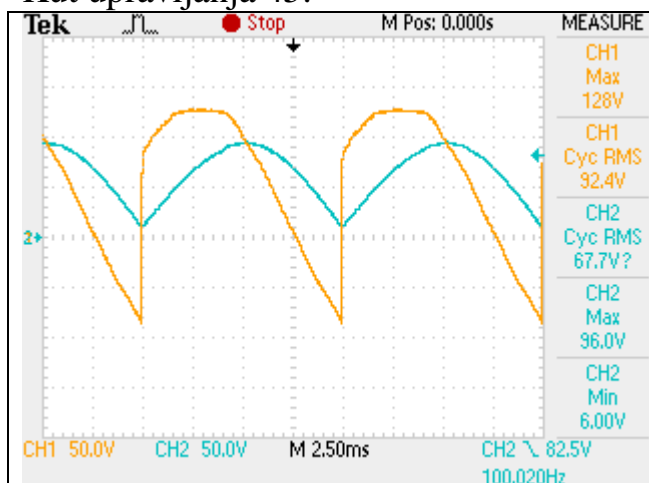
Za fazni kut 0 usmjerivač se ponaša identično kao jednofazni diodni ispravljač s RL trošilom:



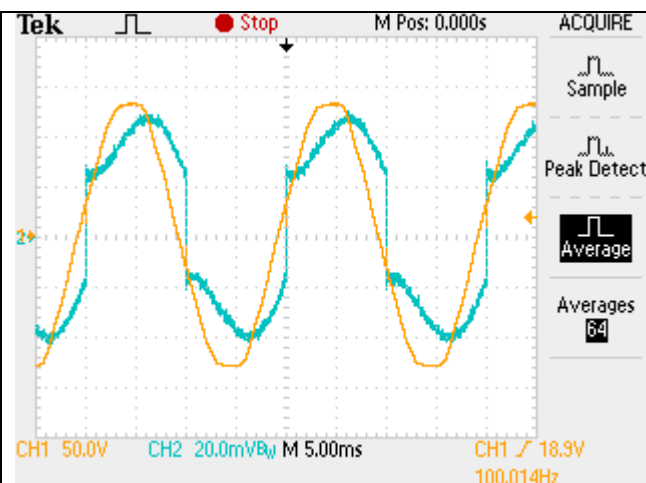
Plavi valni oblik prikazuje napon na otporniku trošila koji je proporcionalan valnom obliku struje trošila skaliran s 20.

Na slici 1 vidljivo je da za fazni kut upravljanja 0 napon na trošilu jednak punovalno ispravljenom naponu mreže. Srednja vrijednost napona na trošilu za kut 0 veća je u odnosu na srednju vrijednost napona za bilo koji drugu kut upravljanja. Povećavanjem faznog kuta upravljanja pada srednja vrijednost napona na trošilu. Struja trošila ima pozitivnu srednju vrijednost i neprekinuta je zbog induktivnog karaktera trošila koji ne dopušta struji da padne na 0(Induktivitet se ne uspije isprazniti prije nego nastupi novi pozitivni poluval napona). Valni oblici dobiveni mjerenjem u potpunosti su su skladu s valnim oblicima dobiveni simulacijom u Simploreru.

Kut upravljanja 45:



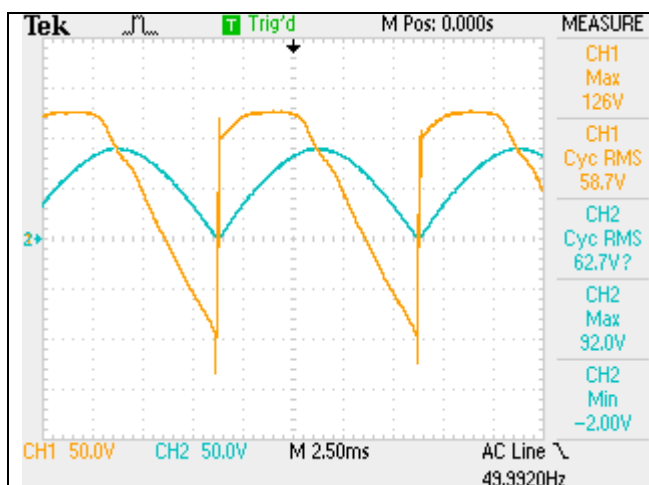
Slika 2.3: valni oblici napona i struje trošila za fazni kut 45



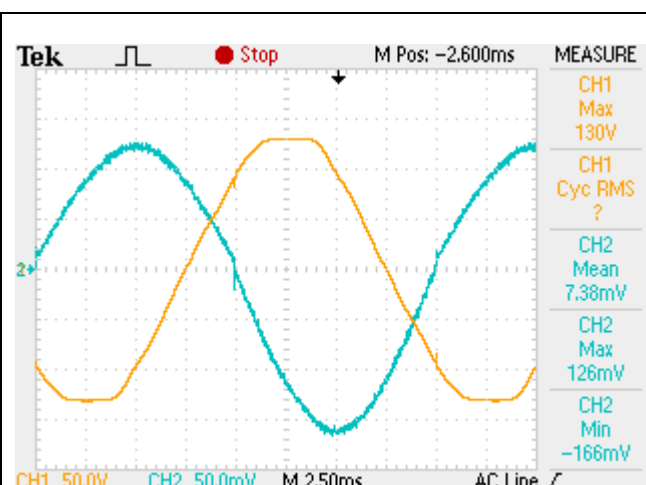
Slika 2.4: valni oblici napona i struje mreže za fazni kut 45

Iz slike 3 je očito da povećanjem kuta upravljanja sa 0 na 45 stupnjeva pada srednja vrijednost struje na trošilu(plavi valni oblik).

Moguće je primjetiti da postoje određene razlike u valnom obliku struje izvora dobivene simulacijom (Slika 1.4) i mjerenjem (Slike 2.4). Razlike su posljedica nejednakog induktiviteta korištenog prilikom mjerenja i simulacije, zbog već navedenog problema; nije bilo moguće točno odrediti induktivitet savojnice trošila.



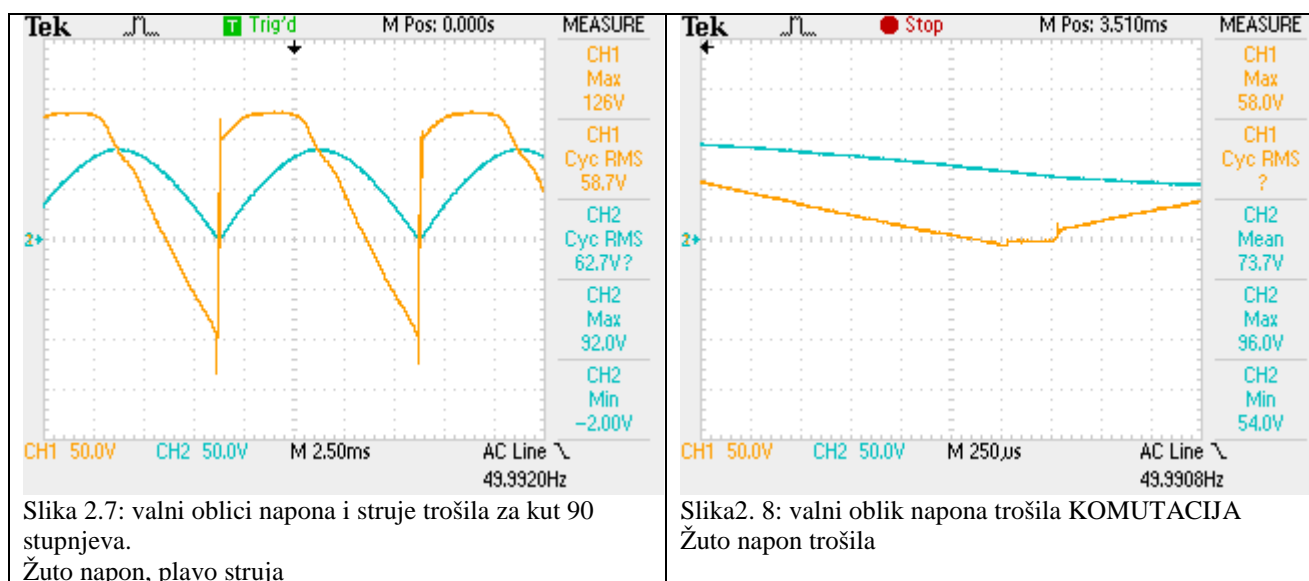
Slika 2.5: valni oblici napona i struje trošila za granični kut



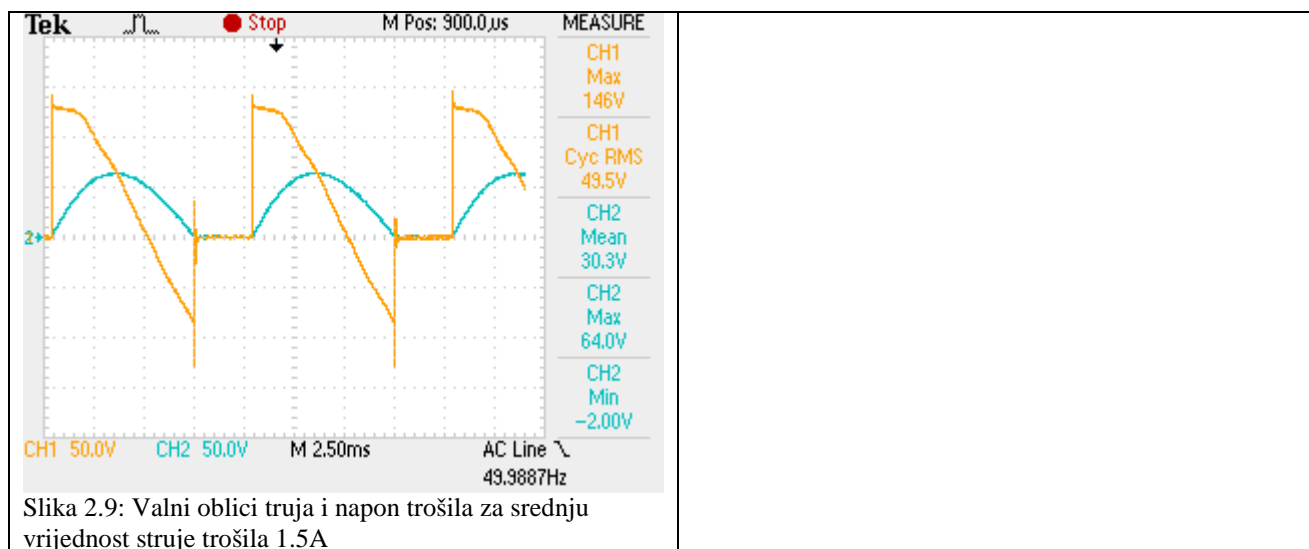
Slika 2.6: valni oblici napona i struje izvora za granični kut

Uzevši u obzir slike 5 i 3 jasno je da je granični kut za koji struja trošila postane isprekidana nekog iznosa između 45 i 75 stupnjeva. Mjerenjem je utvrđeno da granični kut za ovo trošilo iznosi otprilike 50 stupnjeva. Prilikom simulacije granični kut je određen na iznos $\alpha = 55,7^\circ$. Razlike u očitavanju su razumljive ako se uzme u obzir razlike u iznosu induktiviteta i nemogućnost preciznog očitavanja na osciloskopu.

Daljnjim povećanjem faznog kuta upravljanja pada srednja vrijednost struje trošila jer veći dio periode struja bude 0. Navedene pojave vidljive su iz slike 7.



Komutacija je već opisana pojava koja nastupa u trenutku kada struja prelazi iz jedne grane usmjerivača u drugu (mijenja se par ventila koji vode). Posljedica ove pojave je pad srednje vrijednosti i blago iskrivljenje valnog oblika napona. Na slici 2.8 vidljivo je da napon trošila 0 za vrijeme komutacije. Prema tome i mjerenjem je potvrđeno postojanje komutacije u usmjerivaču.



Na vježbi je bilo potrebno snimiti valni oblik struje i napona trošila za koji srednja vrijednost struje trošila iznosi 1.5 ampera te odrediti za koji kut upravljanja je to slučaj. Budući da smo struju mjerili posredno, na otporniku trošila, struju od 1.5 ampera smo dobili tako da srednju vrijednost napona na otporniku namjestimo na 30 V ($U_{Rmean} = I_{mean} \cdot R_d = 1.5 \cdot 20 = 30V$). Tražena snimaka je prikazana na Slici 2.9. Očitavanjem podjela sa osciloskopa procijenjeno je da kut upravljanja iznosi $\alpha = 91^\circ$.

Račun prema podjelama na osciloskopu, jedna perioda iznosi 4 div: ($\frac{10.1}{20} = \frac{\alpha}{180^\circ} \rightarrow \alpha = 90.9^\circ$)

Simulacijski je kut upravljanja za koji struja trošila iznosi 1.5A određen na $\alpha = 79^\circ$. Odstupanja je moguće pripisati razlici u iznosu induktiviteta korištenog na simulaciji (100mH) i stvarnog induktiviteta korištenog na vježbi (nepoznat iznos).

2.2 Vježba B1: Univerzalni PWM pretvarač kao istosmjerni pretvarač

Popis korištene opreme:

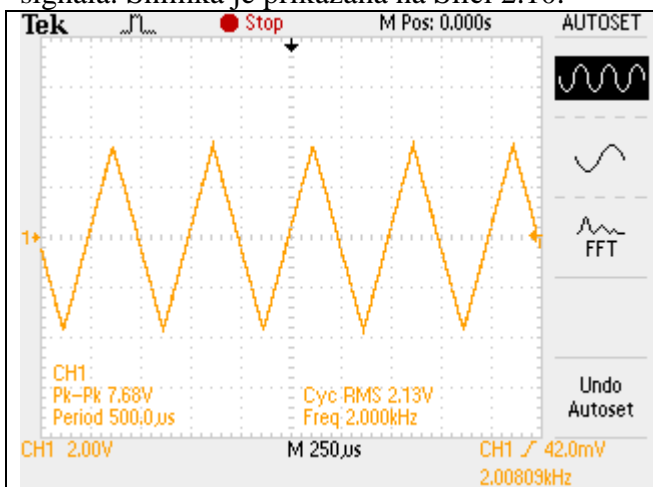
- 2 igbt modula sastavljena od po dvije IGBT-diodne sklopke
- poredni kondenzator 5400 mikrofarada, 63 V za smanjenje valovitosti ispravljenog napona (zbog nesavršenosti mreže i ispravljača)
- induktivitet 70 mH
- keramički otpornik 21,4 oma +- 10%
- osciloskop Tektronics Tds 2002, 2 sonde
- sklop za upravljanje IGBTtranzistorima (prikazan na slici 1.9)
- napajanje: ispravljeni napon mreže 50V DV;
- sonde, informacijski(upravljački) kablovi za IGBT

Sklop za provedbu mjerenja je spojen prema shemi na slici 1.9. Istosmjerno napajanje 50V je izvedeno na pultu. U paralelu izvoru spojen je kondenzator koji dodatno pegla nesavršen napon mreže. Oba Igbt modula spojena su paralelno izvoru i kondenzatoru a između njihovih srednjih točaka spojeno je RL trošilo sastavljen od serijskog spoja keramičkog otpornika i primarnog namota pomoćnog trafoa.

Potrebno je napomenuti da zbog konstrukcije IGBT-dioda modula u kojem su na istoj pločici već spojeni po dva IGBT tranzistora i dvije diode nije bilo moguće mjeriti struju IGBT-a ili diode. Moduli su spojeni na takav način da su izvedeni priključci za napajanje modula i srednja točka u koju spajamo trošilo. Ostalim kontaktima je vrlo teško pristupiti sa stražnje strane pleksiglas pločice. Ipak te valne oblike moguće je izdvojiti iz snimke napona i struje modula tako da identificiramo režime rada sklopa za koje znamo da dioda ili IGBT trebaju voditi struju. Npr negativnu struju trošila uz pozitivan napon mora provesti dioda.

Zadatak vježbe bio je provesti mjerenja na RL trošilu te namjestiti faktor vođenja tako da srednja vrijednost struje trošila iznosi 1.5 i -1.5 ampera . Valne oblike napona i struje trošila bilo je lako mjeriti naponskim sondama; Masa je spojena na točku 1, CH1 na otpornik(žuti valni oblik struje trošila) a CH2 u točku 3 (Plavi valni oblik- napon trošila).

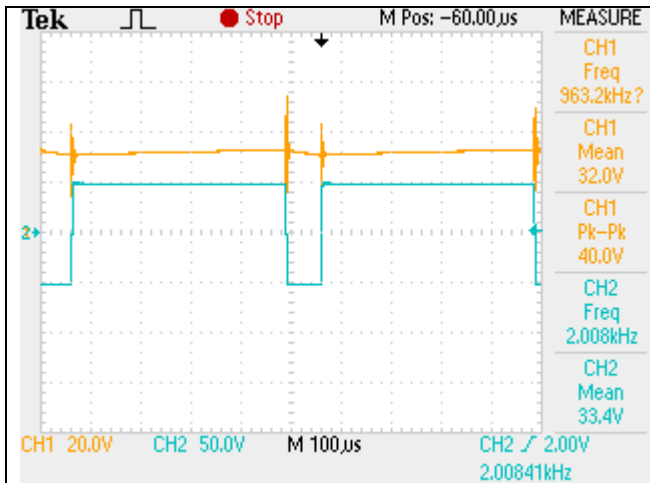
Prije svega bilo je potrebno namjestiti sklopnu frekvenciju trokutastog signala na 2 kHz. Spajanjem sonde osciloskopa na kontakte GND (masa) i SC (referentni signal) na upravljačkom modulu i okretanjem potencijometra FREQ SC,CR&A+/- . U stvarnosti mijenjamo frekvenciju trokutastog signala. Snimka je prikazana na Slici 2.10.



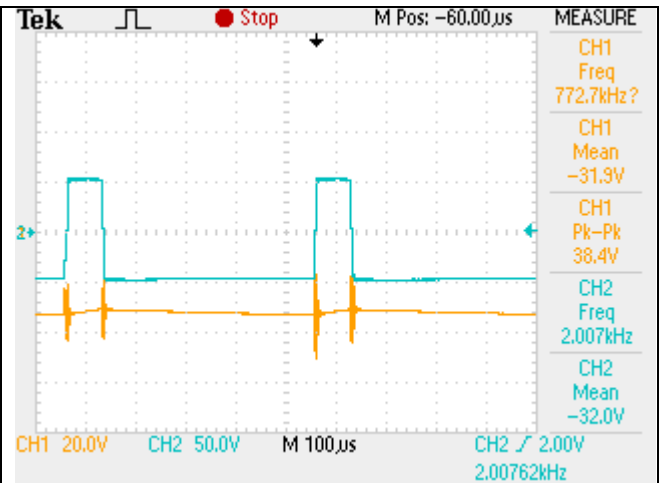
Slika 2.10: sklopna frekvencija (frekvencija trokutastog signala) namještena na iznos 2 kHz

Slika 2.11: sklopna frekvencija (frekvencija trokutastog signala) namještena na iznos 2 kHz

Za vrijeme mjerenja napona i struje trošila srednja vrijednost struje trošila podešavana je promjenom faktora vođenja sklopki 1 i 4. D se mijenja okretanjem potenciometra AMP P0. Nakon što je struja trošila podešena na željenu vrijednost faktor vođenja je očitavan iz snimke na osciloskopu.



Slika 2.11: Valni oblik struje i napona trošila za srednju vrijednost struje trošila 1.5A



Slika 2.12: Valni oblici struja i napon trošila za srednju vrijednost struje trošila 1.5A

Ako zanemarimo šum na valnom obliku struje na točkama u kojim se mijenja par sklopki koji vodi mjereni valni oblici su u skladu sa simulacijama. Trenutna vrijednost struje je očekivano valovita. Očitavanjem podjela faktori vođenja su redom: $D_{I_{mean}=1.5A} = 0.8$, $D_{I_{mean}=-1.5A} = -0.75$. Uzevši u obzir nepreciznost očitavanja i razlike u stvarnim podacima sklopki i podacima korištenih u simulaciji moguće je zaključiti da se rezultati poklapaju.

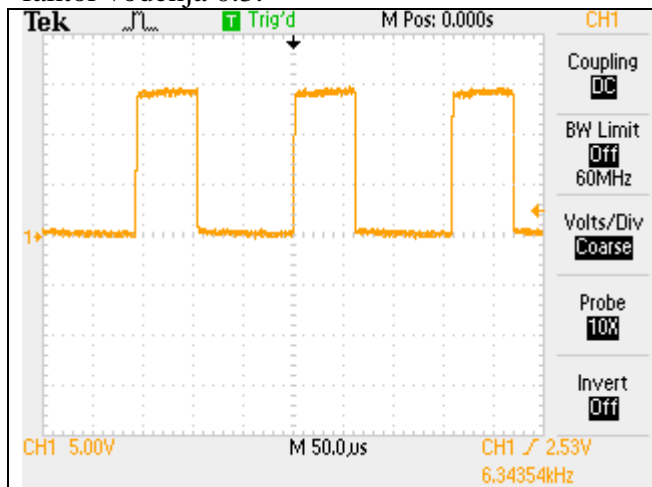
2.3 Vježba B2: Istosmjerni pretvarač u uzlaznom spoju (bez galvanskog odvajanja)

Oprema korištena prilikom mjerenja: -1 MOSFET modul

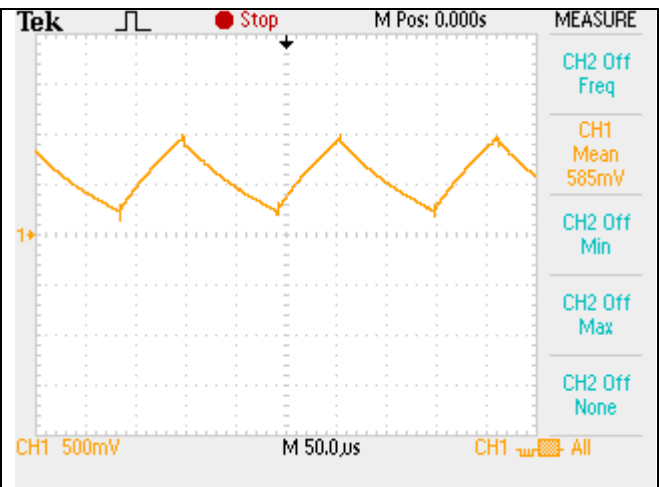
- poredni kondenzator 3300 mikrofara, 63 V za smanjenje valovitosti napona trošila
- kondenzator 10mikrofara
- induktivitet 0.8 mH
- keramicki otpornik 40 oma 50W
- osciloskop Tektronics Tds 2002, 2 sonde
- sklop za upravljanje mosfetom
- (izvor istosmjernog napajanja za napajanje modula MOSFETA)
- napajanje: ispravljeni napon mreže 40V DC;
- sonde, laptop

Budući da je Mosfet naponski upravljana sklopka najlakši način na koji je bilo moguće odrediti faktor vođenja Mosfeta je tako da spojimo osciloskop između source i gate elektroda i odredimo koliki dio periode mosfet ima napon na upravljačkoj elektrodi. D smo regulirali potenciometrom koji se alazio na istosmjernom izvoru preko kojeg smo mosfetu doveli 15V DC između source i gate elektrode. Na taj način je i sigurnost komponente veća jer je izbjegnuta mogućnost da je sklop spojen u krug dok je preopterećen i da izgori.

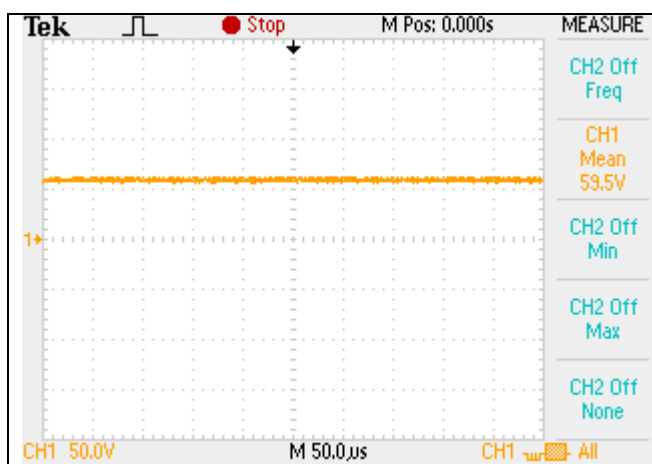
Napon između Source i Gate elektroda prikazan je na slici 2.13. iz slike je vidljivo da je podešen faktor vođenja 0.3.



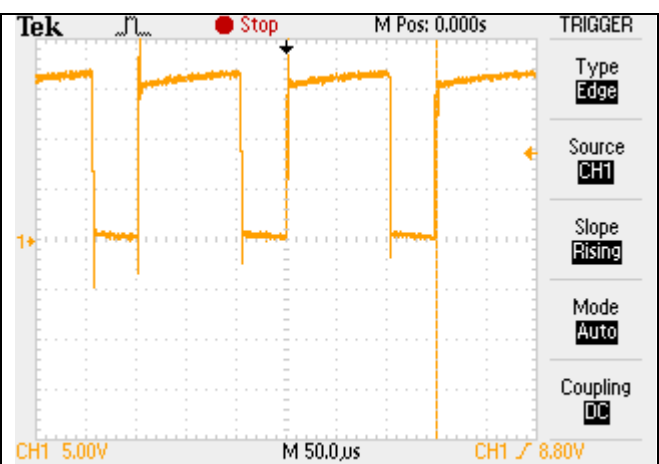
Slika 2.13: Valni oblik napona između source i gate elektroda Mosfeta, $D=0.3$



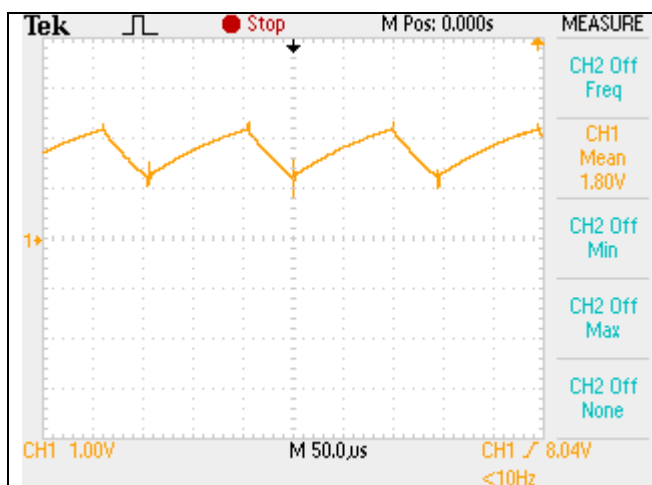
Slika 2.14: Valni oblik struje kroz zavojnicu za faktor vođenja 0.3



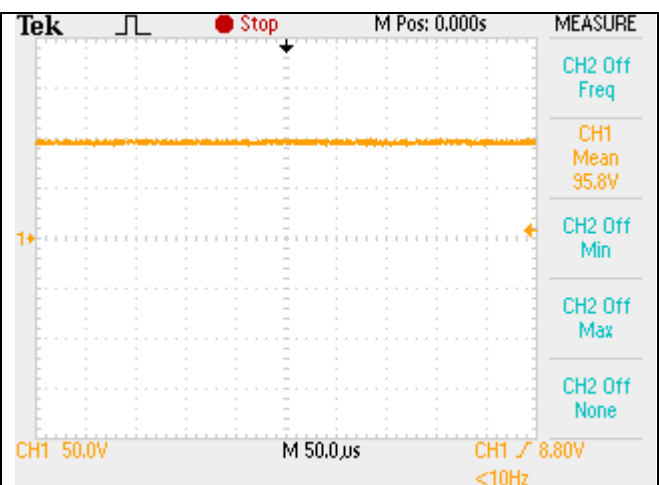
Slika 2.15: Valni oblik napona na trošilu, $D=0.3$, evidentan porast napona u odnosu na napon izvora



Slika 2.16 Valni oblik napona između source i gate elektroda Mosfeta, $D=0.7$



Slika 2.17: Valni oblik struje kroz zavojnicu za faktor vođenja 0.3



Slika 2.18 Valni oblik napona na trošilu, $D=0.7$

Rezultati dobiveni mjerenjem potvrdili su simulacije. Neka od zapažanja su da porastom faktora ovdjenja raste srednja vrijednost napona trošila kao i valovitost napona. Ukoliko želimo izbjeći tu pojavu potrebno je pivećati iznos kapaciteta kodenzatora.

3. Domaća zadaća:

3.1 Usmjerivač u mosnom spoju sa djelatnim trošilom

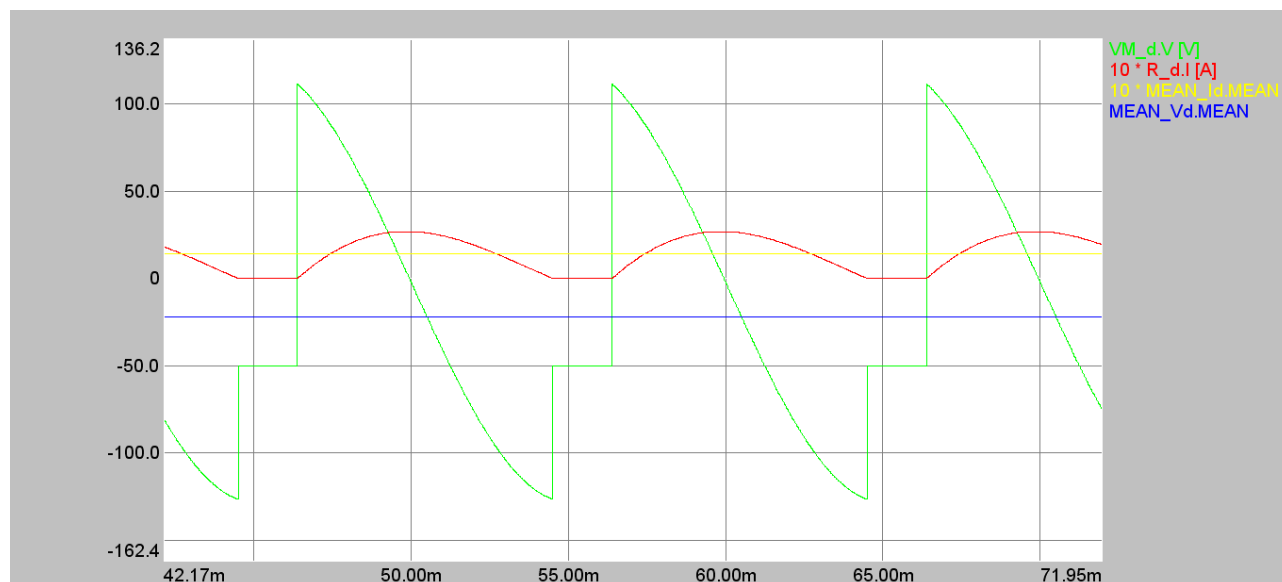
-Račun graničnog kuta upravljanja:

Potrebno je računski odrediti granični kut upravljanja. Izrazi za računanje preuzeti su iz knjige Power Electronics(Hart) iz poglavlja 4.3, izraz (4-26). Podaci korišteni prilikom proračuna:

$U_{max}=127V$, $R=20\ \Omega$, $L=100mH$, $f=50Hz$. Uvrštavanjem jednadžbe u Matlab dobije se rezultat $\alpha = 57.519^\circ$. Izračunata vrijednost odstupa razumnih 1.8 stupnjeva od vrijednosti dobivene simulacijom. Odstupanje je moguće pripisati nepreciznosti prilikom namještanja kuta upravljanja u simulaciji.

-drugi zadatak u domaćoj zadaći bio je ostvariti izmjenjivači režim rada usmjerivača. Povećavanjem faznog kuta upravljanja kod usmjerivača postupno pada srednja vrijednost napona na trošilu, time se naravno smanjuje i srednja vrijednost struje trošila. Ukoliko se želi postići da usmjerivač vraća energiju u mrežu potrebno je spojiti izvor u seriju trošilu. Time su stvoreni preduvjeti da struja trošila bude pozitivna a napon na trošilu negativan čime se mijenja tok snage. Umjesto toka snage iz mreže u trošilo, trošilo šalje snagu u mrežu.

Dodan je izvor u seriju trošilu amplitude $-50V$ DC, podešavanjem kuta upravljanja na $\alpha = 115^\circ$ dobivena je srednja vrijednost struje trošila 1.5 ampera, dok je srednja vrijednost napona trošila $-30V$. ostvaren je izmjenjivački način rada.



Slika 3.1: snimka valnih oblika napona i struje trošila, srednje vrijednosti struje i napona trošila za struju trošila 1.5 A

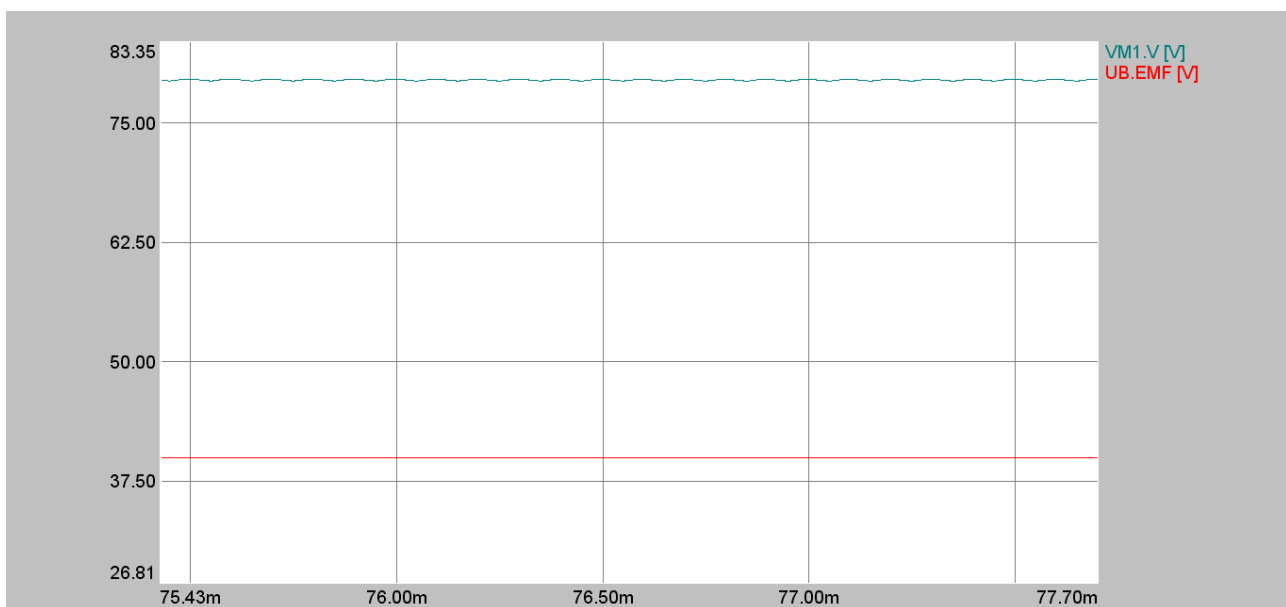
3.1 Vježba B1- domaća zadaća

Rezultati mjerenja u labosu uspoređena su sa rezultatima simulacije u 2.2 dijelu izvještaja. Faktor vođenja D mijenjamo u stvari tako da mijenjamo amplitudu istosmjernog referentnog signala u komparatoru. Računski:

$$D = \frac{U_{dMEAN}}{U_B} = \frac{1.5 \cdot 21,4}{50} = \frac{32,1}{50} = 0,642$$

3.3 Vježba B2: Istosmjerni pretvarač u uzlaznom spoju (bez galvanskog odvajanja)- domaća zadaća

Potrebno je izračunati faktor vođenja za koji izlazni napon bude 80V uz podatke komponenata korištenih prilikom simulacija. Iz navedenih transformatorskih jednažbi slijedi da D treba iznositi 0.5. slika prikazj rezultat simulacije za $D=0.5$. napon izvora odstupa od izražunom dobivenih 80 V zbog gubitaka venitla. Namještanjem faktora vođenja u simulaciji na $D= 0.52$ dobiva se traženi napon trošila od 80 V DC.



Slika 3.2 prikaz valnih oblika napona izvora i trošila za faktor vođenja 0.5

Zaključak

U drugom ciklusu vježbi obrađivani su sklopovi koji u svojoj topologiji koriste poluupravljljive i punoupravljljive ventile kakvi se nerijetko koriste u praksi. Bitna pouka vježbi je da se idealni rezultati dobiveni simulacijom ponekad značajno razlikuju od stvarnog stanja stvari. Kod usmjerivača potrebno je obratiti pozornost na pojavu komutacije i njenu posljedicu na iznos srednje vrijednosti napona trošila. IGBT sklopke moraju imati beznaponske pauze ostvarene upravljačkom logikom da nebi više parova sklopki vodilo u isto vrijeme. Vježbe su približile principe modulacije širine impulsa i ilustrirale njezine prednosti i osnovne principe. Jedna od važnijih puka vježbi je da sve realne komponente imaju svoje gubitke i često rezultate dobivene simulacijom treba kritički sagledati kompenzirati razlike koje mogu postojati između simulacija i realnih sklopova pa tek uz takva saznanja pristupati realizaciji slopova.