Karakteristike istosmjernog silaznog pretvarača napona prikazane s pomoću didaktičko-multimedijalne opreme Lucas-Nulle

Cvetanić, Tvrtko

Master's thesis / Diplomski rad

2017

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://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:200:707030

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**

Repository / Repozitorij:

Faculty of Electrical Engineering, Computer Science and Information Technology Osijek

zir.nsk.hr

Image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE JOSIPA JURJA STROSSMAYERA U OSIJEKU
ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET

Sveučilišni studij

KARAKTERISTIKE ISTOSMJERNOG SILAZNOG PRETVARAČA NAPONA PRIKAZANE S POMOĆU DIDAKTIČKO-MULTIMEDIJALNE OPREME LUCAS-NULLE

Diplomski rad

Tvrtko Cvetanić

Osijek, 2017.

1. UVOD 1

2. DIDAKTIČKO-MULTIMEDIJALNA OPREMA LUCAS NUELLE 2

2.1. Opis opreme 2
2.2. Sučelje sa pripadajućim eksperimentatorima 2
2.3. Eksperimentalne kartice 3
2.4. Računalni program LabSoft 4

3. ISTOSMJERNI PRETVARAČI 7

3.1. Podjela istosmjernih pretvarača 7
3.2. Jednokvadrantni silazni istosmjerni pretvarači 11

4. REALIZACIJA JEDNOKVADRANTNOG SILAZNOG ISTOSMJERNOG PRETVRAČA DIDAKTIČKO MULTIMEDIJALNOM OPREMOM LUCAS NUELLE 17

4.1. Utjecaj faktora vođenja na karakteristične valne oblike istosmjernog pretvarača napona za gornju vodljivu granu pri različitim odnosima vremenske konstante i sklopne periode 17
4.1.1. Utjecaj faktora vođenja na valne oblike istosmjernog pretvarača napona pri najmanjoj vremenskoj konstanti 18
4.2.1. Utjecaj faktora vođenja na valne oblike istosmjernog pretvarača napona pri najvećoj vremenskoj konstanti 33
4.2. Utjecaj faktora vođenja na karakteristične valne oblike istosmjernog pretvarača napona za donju vodljivu granu pri različitim odnosima vremenske konstante i sklopne periode .. 40
što govori da će dobiveni valni oblici biti jednaki bez obzira koji ventil je upravljiv, pa će i režimi rada istosmjernog pretvarača biti jednaki za obje topologije. 41
4.2.1. Utjecaj faktora vođenja na valne oblike istosmjernog pretvarača napona pri najmanjoj vremenskoj konstanti 42
4.2.2. Utjecaj faktora vođenja na valne oblike istosmjernog pretvarača napona pri najvećoj vremenskoj konstanti 44

5. ZAKLJUČAK 46

LITERATURA 47

SAŽETAK 48

ABSTRACT 49

ŽIVOTOPIS 50

1. UVOD

Lucas Nuelle je didaktičko-multimedijalna oprema za odrađivanje laboratorijskih i pokaznih vježbi iz područja elektronike i drugih srodnih područja. Laboratorijske vježbe odrađene u diplomskom radu baziraju se na znanjima stečenim na predavanjima iz Osnova energetske elektronike slušane na trećoj godini stručnoga studija. Napretkom tehnologije osmišljena je oprema koja preko računala i programske podrške sadrži virtualne instrumente i električne izvore različitih karakteristika. Uveliko olakšava rad studentima u laboratoriju, smanjujući potrebni prostor za rad, budući da se sve osim priključnica i eksperimentalne pločice nalazi na računalu [1].

Istosmjerni pretvarači su uređaji koji se ugrađuju između samog istosmjernog izvora i istosmjernoga trošila čime se postižu bolje karakteristike trošila. U ovome radu biti će prikazan jednokvadrantni silazni istosmjerni pretvarač kroz dvije različite sheme spoja, odnosno kroz dvije različite topologije. Mijenjat će se parametri kao što su: vremenska konstanta trošila, faktor vođenja i frekvencija za različite režime rada. Rezultati mjerenja biti će prikazani u obliku karakterističnih valnih oblika struje i napona.

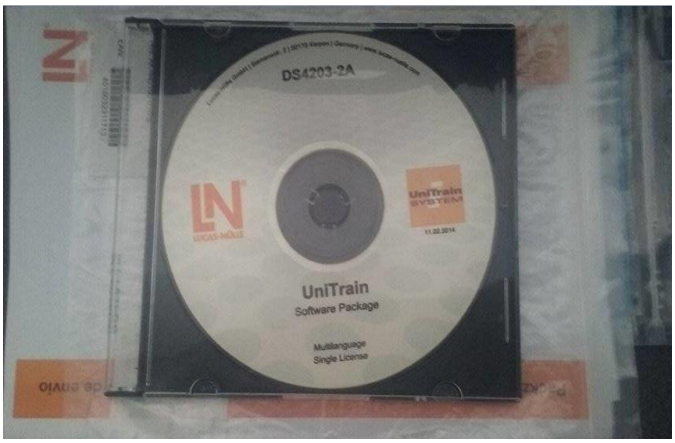
Smisao ovog rada je pokazati mogućnosti opreme Lucas Nuelle za dobivanje karakterističnih valnih oblika istosmjernog silaznog pretvarača, kao i karakteristike odabranih pretvaračkih komponenata, u ovom slučaju MOSFET-a. U radu će se usporediti i teorijski rezultati sa rezultatima koji su dobiveni mjerenjima. Lucas Nuelle se nastoji uvesti u predavanja iz kolegija Osnove energetske elektronike na Preddiplomskom studiju Elektrotehnike, smjera Elektroenergetika, te iz kolegija Energetska elektronika na Stručnom studiju elektroenergetike.

2. DIDAKTIČKO-MULTIMEDIJALNA OPREMA LUCAS NUELLE

Lucas Nuelle proizvodi asortiman didaktičko-multimedijalne opreme koja sadrži kućište s mogućnošću nadogradnje raznim eksperimentalnim pločicama koje su povezane sa računalom preko programa *Labsoft.* U samom programu se nalaze virtualni mjerni instrumenti i izvori električne energije za uspješno odrađivanje svih zadanih vježbi. Sadržaj vježbi sadrži osim praktičkog dijela i samo teorijski dio koji olakšava korištenje programa i upućuje nas u praktični dio.

2.1. Opis opreme

Uz opremu nalazi se instalacijski program na CD-u (slika 2.1.) s pomoću kojeg se instalira računalni program potreban za upotrebu opreme. Ovisno o vježbama koje se žele izvoditi, proizvođač uz iste daje odgovarajući CD sa zadacima i mjerenjima koje studenti trebaju obaviti. Oprema za izvođenje nastavnih i laboratorijskih vježbi sadrži: eksperimentator, Uni Train sučelje, spojne vodiče, te računalni program koji ih nakon spajanja na računalo trenutno prepoznaje. Kako bi sve funkcioniralo, potreban je i izvor napajanja koji je također dio dodatne opreme.



Slika 2.1. *Instalacijski CD didaktičko-multimedijalne opreme Lucas Nuelle*

2.2. Sučelje sa pripadajućim eksperimentatorima

Na Uni Train sučelje povezana su dva eksperimentatora koja su korištena u vježbama prikazani na slici 2.2.. Takvo sučelje služi za međusobnu komunikaciju između opreme i računala preko USB veze, a sadrži priključke za digitalne ulaze i izlaze, analogne ulaze i izlaze, te za releje [1]. Mogućnosti opreme determinirane su mnogobrojnim stavkama u programskom

paketu *Labsoft* koji omogućava mjerenja vrijednosti električnih veličina i snimanje električnih signala koje dovodimo na ulaze virtualnog osciloskopa. Eksperimentatori SO4203-2B međusobno povezuju samo sučelje sa eksperimentalnim karticama, a sadrže promjenjive i fiksne izvore napajanja.



Slika 2.2. *Sučelje mjerne opreme s pripadajućim ekdperimentatorima*

2.3. Eksperimentalne kartice

Set eksperimentalnih kartica SO4204-7M uključuje eksperimentalnu karticu s energetskim pretvaračem koji može raditi kao istosmjerni pretvarač napona ili kao izmjenjivač. Sadrži šest MOSFET tranzistora koje se upravljuju mikrokontrolerom. Preko sabirnica od 40 V i 1 A se vrši interno napajanje kartice, koja sadrži priključnice MUX za istovremeno mjerenje više struja i napona[1]. Tim priključnicama se upravlja preko programske podrške. Sklopno stanje MOSFET tranzistora se može vidjeti vizualno preko svjetlećih dioda, koje ovisno o stanju svijetle. Druga eksperimentalna kartica omogućuje rad sa trofazno radnim ili radno-induktivnim trošilom. Ova kartica sadrži svjetleće diode koje vizualno prikazuju smjer struje, mjenjajući boju crveno i zeleno. Eksperimentalne pločice na slici 2.3.se stavljaju u utore eksperimentatora i takvo spojeni su prikazani slikom 2.4.. Prigušnice na karticama su izrađene s induktivitetom 3,3 mH, dok su otpornici odabrani s otpornošću od 18 Ω.



Slika 2.3. *Eksperimentalne pločice seta* SO4204-7M



Slika 2.4. *Sučelje sa eksperimentalnim karticama*

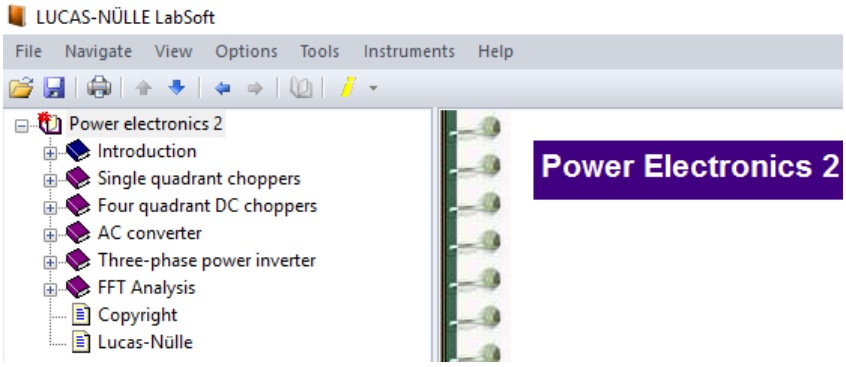
2.4. Računalni program LabSoft

Računalni program LabSoft sadrži sve potrebne virtualne instrumente koji komuniciraju putem USB veze sa sučeljem UniTrain-I sustava. Programski paket LabSoft instalira se preko dobivenog kompaktnog diska na računalo. Kompaktni disk sadrži potreban drajver kako bi komunikacija računala i sučelja bila uspješna. Po završetku instalacije navedenog programskog paketa potrebno je instalirati tečaj dobiven na kompaktnom disku koji se dobije uz set eksperimentalnih kartica. Nakon uspješno završenih instalacija, te prije pokretanja samog programskog paketa LabSoft, potrebno je spojiti sučelje opreme s računalom te ga potom uključiti. Kada na sučelju svjetleća dioda svijetli zeleno, računalni program LabSoft može se pokrenuti pritiskom na ikonu (engl. Icon) računalnog programa (Slika 2.5.).



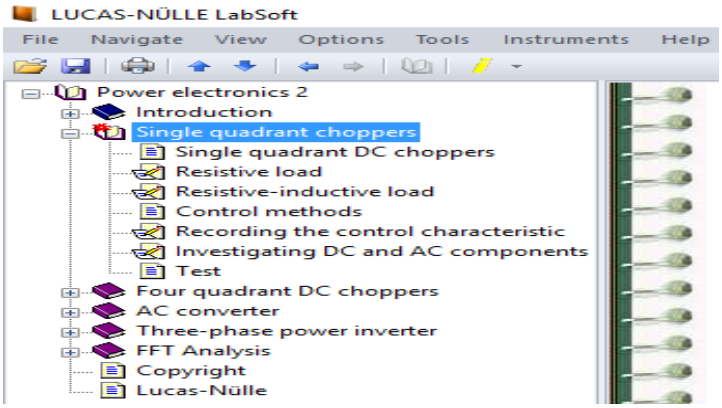
Slika 2.5. *Ikona računalnog programa LabSoft*

Nakon pokretanja, otvori se početni zaslon računalnog programa LabSoft. Najvažniji dio početnog zaslona sa pripadajućim izbornicima prikazan je na slici 2.6..



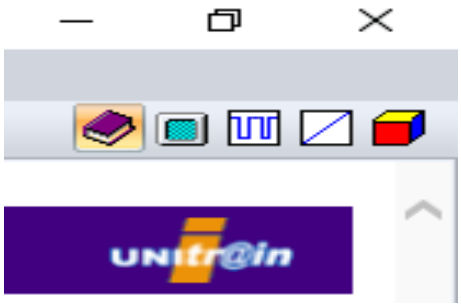
Slika 2.6. *Dio početnog zaslona računalnog programa LabSoft sa pripadajućim izbornicima*

Pritiskom miša na + padajućeg izbornika Power Electronics 2, otvaraju se razni tečajevi koje je moguće obraditi s pripadajućim eksperimentalnim karticama. Konkretno, tema Power Electronics 2 vezana je uz energetske pretvarače te sadrži eksperimente s jednokvadrantnim i četverokvadrantnim istosmjernim pretvaračima napona, jednofaznim i trofaznim izmjenjivačima, te pokuse vezane uz spektralnu analizu. Pritiskom miša na + na neki od dostupnih tečajeva, otvaraju se vježbe uz zadani tečaj, kako je to prikazano na primjeru za jednokvadrantni istosmjerni pretvarač napona (Slika 2.7.).



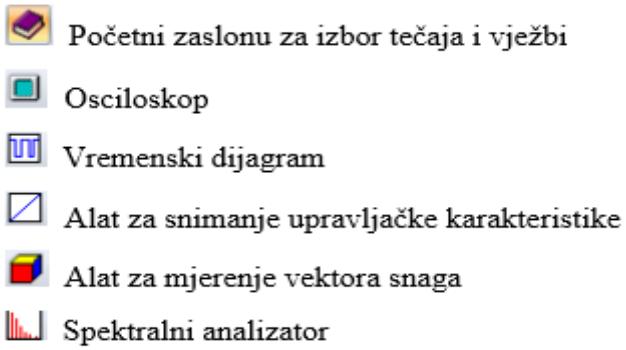
Slika 2.7. *Otvoreni tečaj jednokvadrantnog istosmjernog pretvarača napona*

Nakon otvorenog tečaja moguće je pristupiti vježbama. Svaka vježba sadrži teorijski dio vježbe i pripadni eksperimentalni dio vježbe. U gornjem desnom uglu nalaze se gumbi za pristup raznim mjernim alatima (Slika 2.8.).



Slika 2.8. *Prikaz gumba za pristup mjernim alatima*

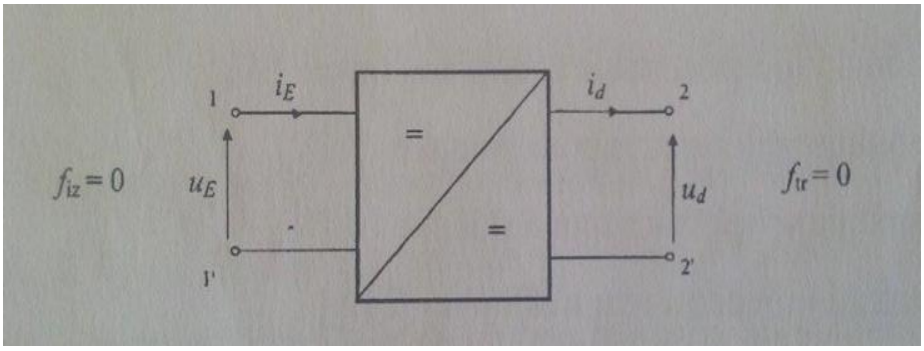
Ovisno o odabranom tečaju mijenjaju se i dostupni mjerni alati. Što dostupni gumbi odnosno mjerni alati u računalnom programu označavaju, prikazano je slikom 2.9..



Slika 2.9. *Mjerni alati u računalnom programu*

3. ISTOSMJERNI PRETVARAČI

Istosmjerna trošila se u mnogim primjenama ne smiju direktno spojiti na raspoloživu istosmjernu pojnu mrežu, tj izvor, zbog različitog nazivnog napona pojnih mreža i trošila, kao i zbog zahtjeva da trošila budu galvanski odvojena od izvora. Često je u pogonima gdje je jedini energetski izvor akumulatorska baterija, važno da se srednja vrijednost napona može kontinuirano mijenjati, odnosno da i izvor napajanja nekog trošila bude upravljiv. Zbog takvih slučajeva potrebno je između samog istosmjernog izvora i istosmjernog trošila ugraditi električke uređaje koji zadovoljavaju gore navedenim zahtjevima. Takve električne uređaje nazivamo istosmjernim pretvaračima [2]. Simbol istosmjernog pretvarača prikazan je na slici 3.1..



Slika 3.1. *Simbol istosmjernog pretvarača*

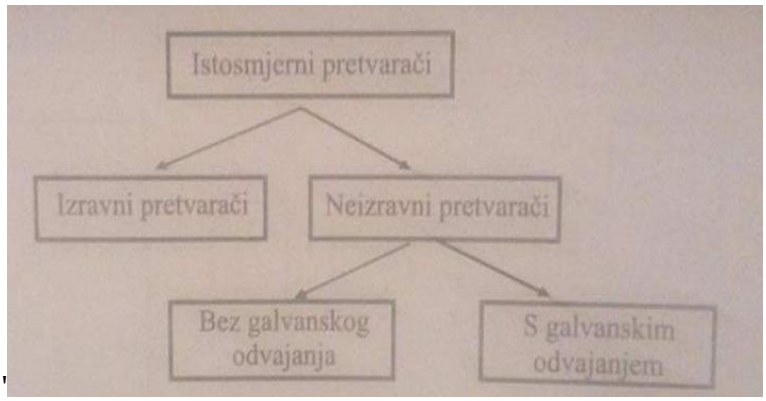
Radi jednostavnosti, istosmjerni pretvarač se može promatrati kao dvoprilaz. Na ulazu dvoprilaza priključen je izvor napona u_E i struje i_E, a na izlazu je priključeno istosmjerno trošilo napona u_d i struje i_d.

3.1. Podjela istosmjernih pretvarača

Da bi se lakše predočio istosmjerni pretvarač prikazan u radu, prikazati će se osnovne podjele istosmjernog pretvarača.

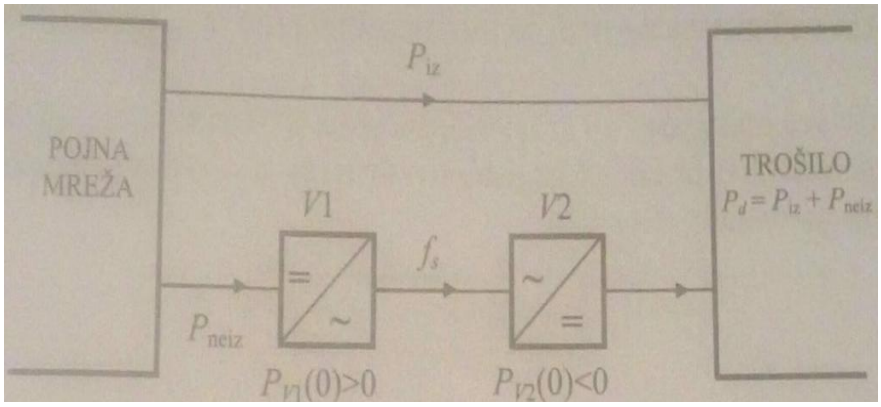
a) Podjela s obzirom na iznos stvorene izmjenične snage

Istosmjerni se pretvarači s obzirom na iznos stvorene izmjenične snage tijekom procesa dijele na izravne i neizravne istosmjerne pretvarače[2], slika 3.2..



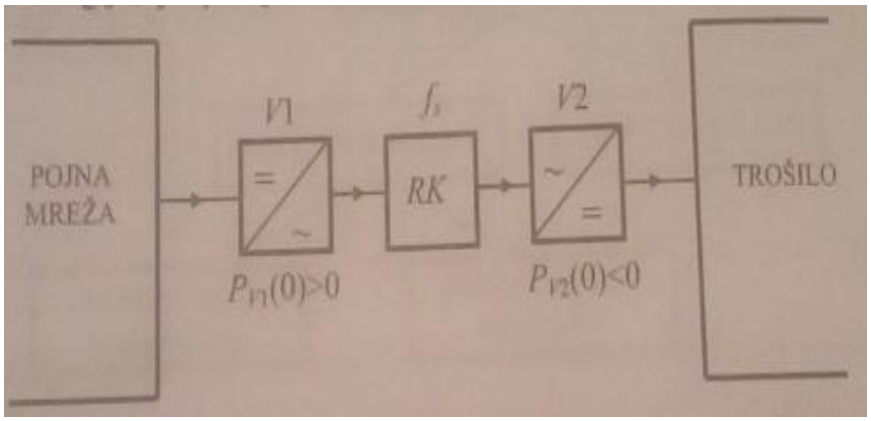
Slika 3.2. *Podjela istosmjernih pretvarača s obzirom na iznos stvorene izmjenične snage*

U izravnim se pretvaračima samo dio istosmjerne snage trošila P_{neiz} prethodno transformirao u izmjeničnu snagu, slika 3.3.. Da bi se preostali dio istosmjerne snage P_{iz} izravno prenio u trošilo, izvor i trošilo moraju biti izravno spojeni jednom od dviju minimalno potrebnih pretvaračkih komponenti. Zbog toga izvor i trošilo moraju biti različitoga karaktera, jer se u protivnom stvara loše definirana mreža. Dakle, izravnim pretvaračima se povezuju strujni izvor i naponski uvor, odnosno naponski izvor s strujnim uvorom. Kada bi se spojio naponski izvor s naponskim uvorom nastala bi kapacitivna petlja, a analogno tome spajanjem strujnog izvora sa strujnim uvorom nastao bi induktivni rez.



Slika 3.3. *Tok snage u izravnim istosmjernim pretvaračima*

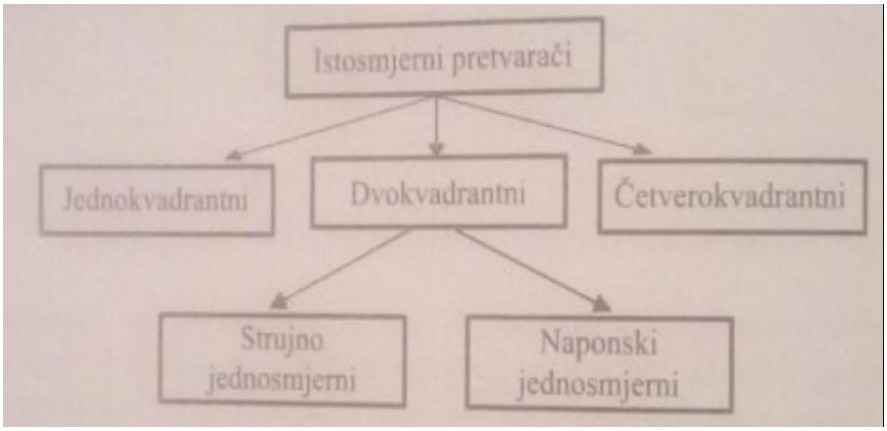
Da bi se to izbjeglo koriste se neizravni istosmjerni pretvarači, slika 3.4.. Oni sadrže rektivnu komponentu. Kod spoja naponskog izvora i naponskog uvora koristi se prigušnica zbog skladištenja magnetske energije, dok se kod spoja strujnog izvora sa strujnim uvorom koristi kondenzator zbog skladištenja elektrostatičke energije. Dakle sva se istosmjerna snaga trošila prethodno morala transformirati u izmjeničnu snagu.



Slika 3.4. *Tok snage u neizravnim istosmjernim pretvaračima*

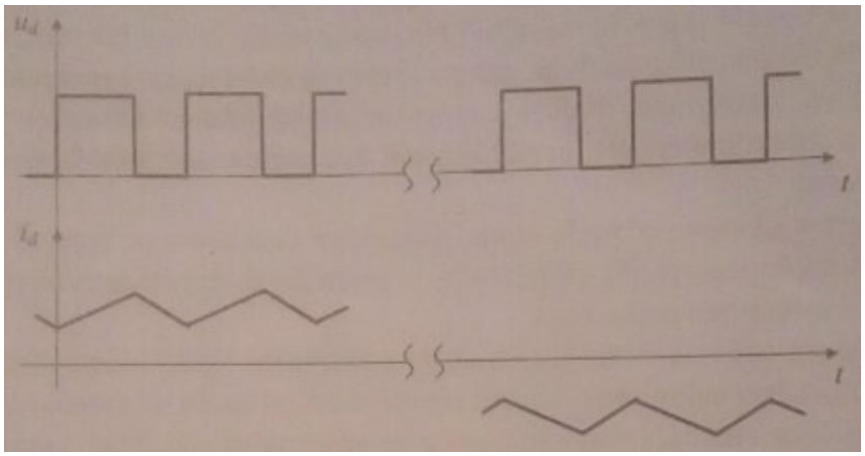
b) Podjela s obzirom na broj kvadranata izlazne *u-i* karakteristike

Istosmjerni se pretvarači s obzirom na broj kvadranata izlazne karakteristike dijele na jednokvadrantne, dvokvadrantne i višekvadrantne, slika 3.5..



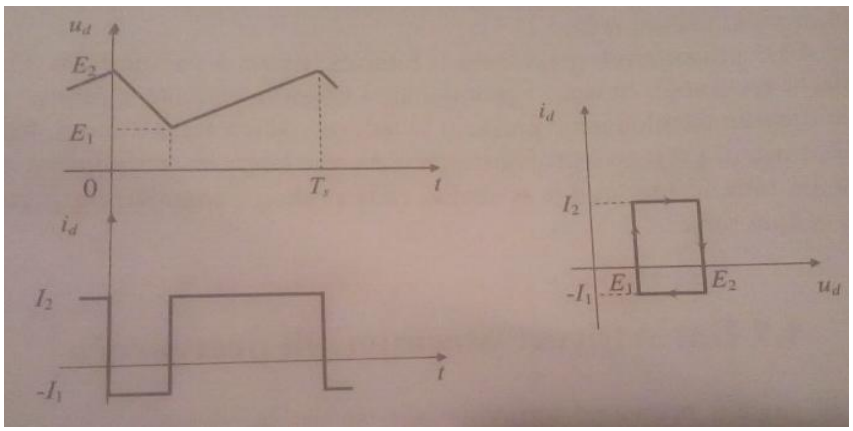
Slika 3.5. *Podjela istosmjernih pretvarača s obzirom na broj kvadranata izlazne u-i karakteristike*

Ako je trošilo aktivno, istosmjerni pretvarač može raditi kao jednokvadrantni istosmjerni pretvarač s jednim smjerom toka električne energije a zatim ponovno kao jednokvadrantni istosmjerni pretvarač sa suprotnim smjerom toka električne energije, slika 3.6.. Očigledno da ovaj istosmjerni pretvarač valja smatrati dvokvadrantnim istosmjernim pretvaračem. Isto to vrijedi i za dva dvokvadrantna istosmjerna pretvarača s pomoću kojih se može relizirati četverokvadrantni istosmjerni pretvarač.



Slika 3.6. *Primjer dvokvadrantnog istosmjernog pretvarača koji napaja aktivno trošilo*

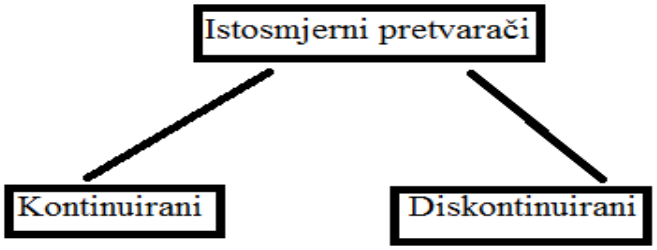
Ako je trošilo pasivno, izvor i trošilo ne mogu zamijeniti uloge, tako ni smjer. Da bi se odredilo je li istosmjerni pretvarač dvokvadrantan ili četverokvadrantan dovoljno je promatrati parove vrijednosti napona i sruje trošila unutar jedne sklopne periode *T*. Karakterističan primjer prikazan je na slici 3.7..



Slika 3.7. *Valni oblici napona i struje trošila,te pripadna izlazna u-i karakteristika naponski jednosmjernog istosmjernog pretvarača*

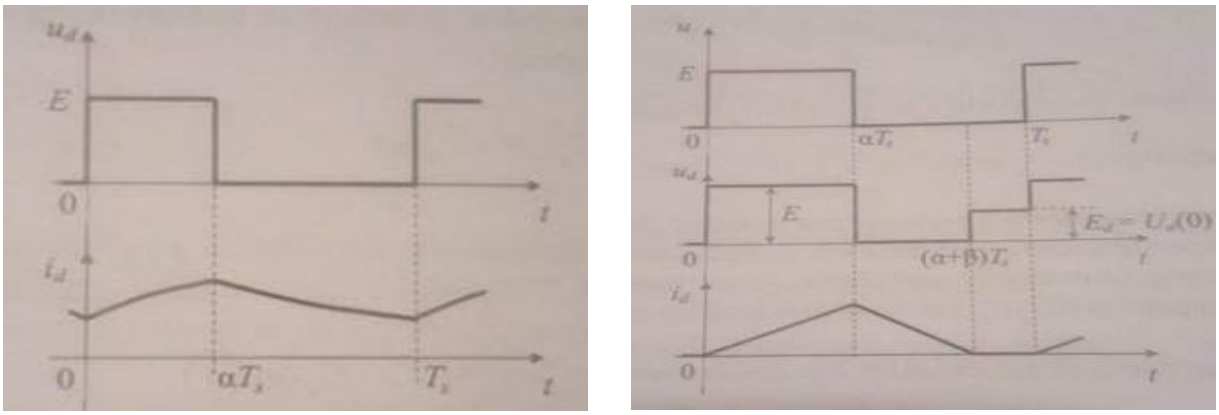
c) Podjela istosmjernih pretvarača prema načinu rada

Ovisno o valnom obliku struje prigušnice u ustaljenom stanju, razlikujemo dva načina rada: kontinuirani i diskontinuirani način rada, slika 3.8..



Slika 3.8. *Podjela istosmjernih pretvarača s obzirom na način rada*

Ako je unutar sklopne periode struja zavojnice kontinuirana, odnosno ako struja kroz zavojnicu nikada ne pada na nulu, izravni se istosmjerni pretvarač nalazi u kontinuiranom načinu rada (slika 3.9.a)). Kod diskontinuiranog načina rada struja zavojnice pada na nulu unutar intervala u kojem sklopka ne vodi i ostaje na nuli sve dok sklopka ponovno ne provede,tada se izravni istosmjerni pretvarač nalazi u diskontinuiranom načinu rada (slika 3.9.b)).



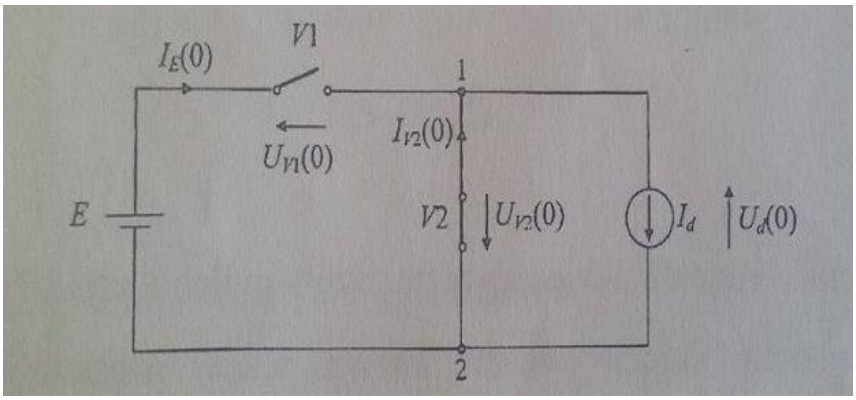
Slika 3.9. *Režimi rada istosmjernog pretvarača: a)kontinuirani, b)diskontinuirani*

Karakteristike istosmjernih pretvarača u bitnome ovise o načinu rada. Pri tome jedan te isti istosmjerni pretvarač, ovisno o promjenama ulaznih veličina i zahtijevanih izlaznih veličina, može tijekom eksplotacije prelaziti iz jednog načina rada u drugi. Isto tako u nizu se primjena istosmjerni pretvarač projektira tako da se u normalnom pogonu nalazi samo u jednom načinu rada. Zbog toga je u analizi rada svakog istosmjernog pretvarača nužno razmatrati oba načina rada.

3.2. Jednokvadrantni silazni istosmjerni pretvarači

Jednokvandratni silazni istosmjerni pretvarači pripadaju grupi izravnih istosmjernih pretvarača. Oni povezuju istosmjerni izvor i istosmjerna trošila različitog karaktera. Prema tome

postoje samo dvije vrste izravnih istosmjernih: pretvarači koji povezuju strujne izvore sa naponskim uvorima i pretvarači koji povezuju naponske izvore sa strujnim uvorima. Osnovna struktura silaznog istosmjernog pretvarača prikazana je na slici 3.9. Shema je prikazana pomoću dva ventila, odnosno dvije sklopke *V1* i *V2*, te bez reaktivnih komponenata.



Slika 3.10. *Osnovna shema silaznoga pretvarača s minimalnim brojem komponenata*

Za početak pretpostaviti ćemo da se istosmjerni pretvarač nalazi u kontinuiranom načinu rada. Struja i_d je kontinuirana i glatka pa se trošilo može modelirati istosmjernim uvorom struje I_d.Istosmjerni pretvarač je izravan tako da mora postojati interval unutar jedne periode u kojemu su naponski izvor i strujni uvor spojeni direktno. Da se izbjegne loše definirana mreža, pretvaračke komponente *V1* i *V2* moraju raditi protutaktno. Kontinuitet struje uvora moguć je samo ako je sklopka *V2* spojena paralelno strujnom uvoru. Na slici 3.10. su također prikazani i smjerovi srednjih napona i struje potrebnih za daljnju analizu, gdje su:

- E – napon izvora [V]
- $I_E(0)$ – srednja vrijednost struje naponskoga izvora [A]
- U_{V1} – srednja vrijednost napona sklopke *V1* [V]
- U_{V2} – srednja vrijednost napona sklopke *V2* [V]
- I_d – struja trošila [A]
- $U_d(0)$ – srednja vrijednost napona uvora [V]

U jednadžbi Kirchoffova zakona struje za čvor 1 proizlazi:

$$I_d = I_E(0) + I_{V2}(0)$$

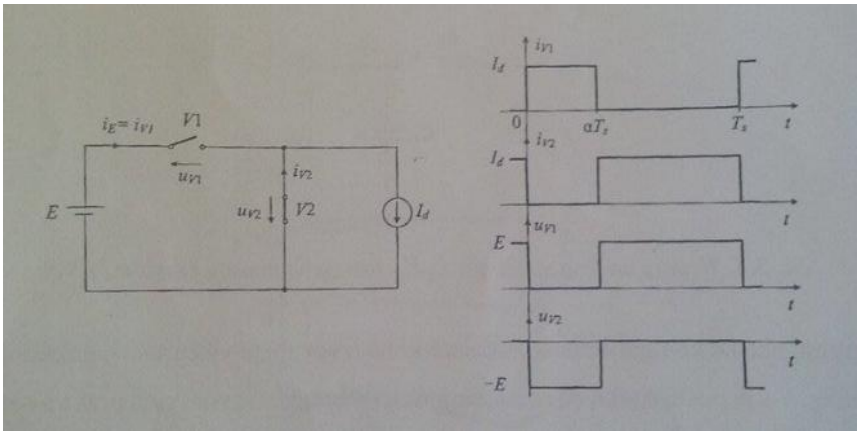
Svi su članovi pozitivni, pa je struja trošila I_d uvijek veća od srednje vrijednosti struje izvora, to jest da je uvijek:

$$I_d > I_E(0)$$

Budući da je ulazna snaga istosmjernog pretvarača jednaka izlaznoj snazi, strujno pojačanje je ostvarivo samo ako je:

$$U_d(0) < E$$

Iz nejednadžbe se može vidjeti kako je napon izvora uvijek veći od napona trošila, pa se pretvarač sa ovim karakteristikama naziva silazni istosmjerni pretvarač. U daljnjem razmatranju potrebno je odabrati pretvaračke komponente *V1* u *V2* kojima će se zamjeniti sklopke. U ovome radu ventil *V1* će se zamjeniti MOSFET-om, dok će se ventil *V2* zamjeniti sa diodom. Prikazana je shema sa upravljivom gornjom granom, gdje vodi ventil *V1*, odnosno MOSFET. U radu će se u vježbama prikazati i vodljiva donja grana kada ventil *V2* postaje upravljiv.



Slika 3.11. *Valni oblici napona i sruja sklopki silaznog istosmjernog pretvrača*

Slika 3.11. prikazuje valne oblike struja i napona istosmjernoga pretvarača. Iz valnih oblika se da primjetiti kako je $i_{v1} \geq 0$ i da je $u_{v1} \geq 0$, pa sklopka radi samo u prvome kvadrantu, što znači da sklopku V1 može zamjeniti bilo koji drugi punoupravljivi poluvodički ventil, dok za sklopku *V2* vrijedi da je $i_{v2} \geq 0$ i da je $u_{v2} \leq 0$, što znači da nju može zamjeniti dioda. Može se uočiti da je najveći nedostatak ovakvog pretvarača to što je valni oblik struje istosmjernoga izvora $i_E = i_{V1}$ diskontunuiran. To kazuje da silazni istosmjerni pretvarač opterećuje istosmjeri izvor strujom srednje vrijednosti:

$$I_E\,(0) = \alpha\, I_d$$

gdje je:

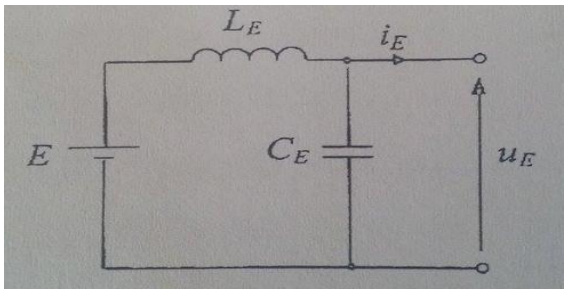
- α – fakor vođenja $(0 \leq \alpha \leq 1)$

Istosmjerni izvor opterećen je i višim harmonicima struje[2], prema izrazu:

$$\bar{I}_E(\mathrm{n}) = \frac{2\mathrm{Id}}{\pi n}\sin \mathrm{n}\pi\alpha \quad ; \ \mathrm{n} = 1, 2, 3 \ldots$$

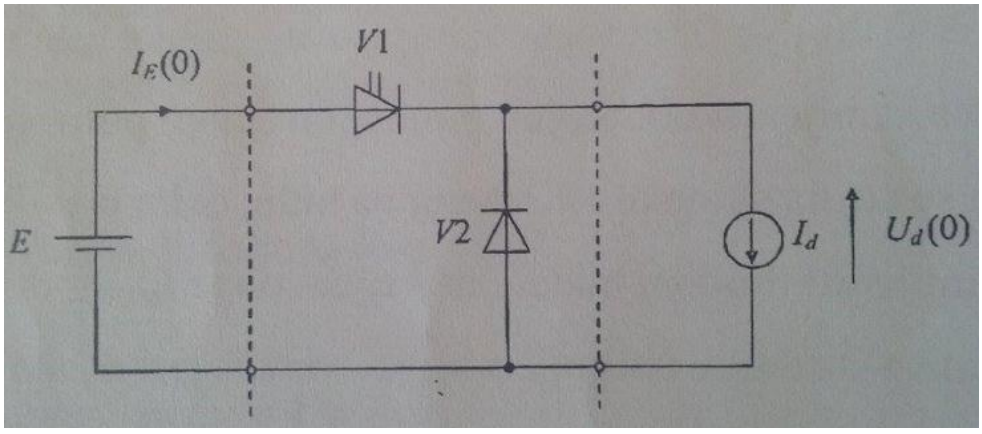
gdje je:

- $\bar{I}_E$ (n) – vršna vrijednost struje n – tog harmonika [A]



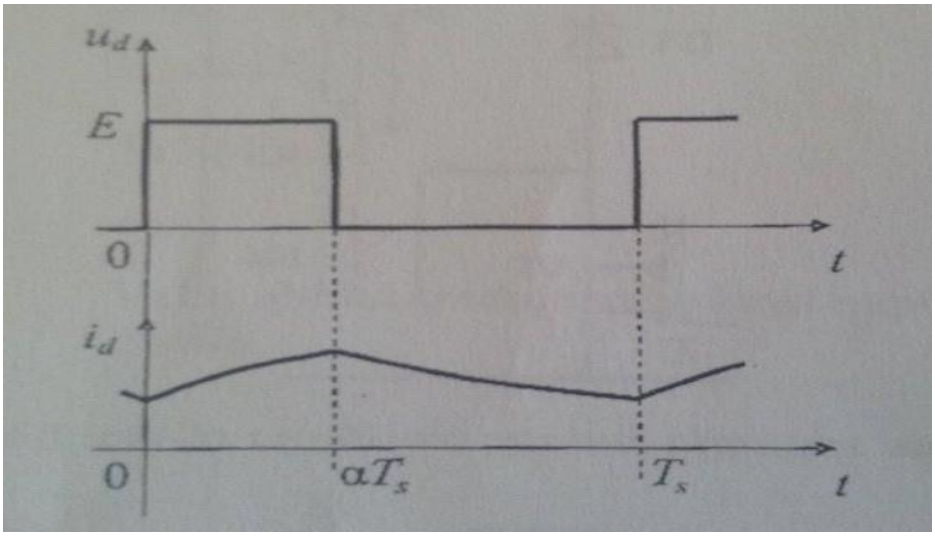
Slika 3.12. *Prikaz spajanja niskopropusnog filtra na izvor*

Ukoliko se na izvor spaja više trošila, potrebno je zbog elektromagnetske kompatibilnosti smanjiti više harmonike. To se postiže na način da se silazni istosmjerni pretvarač priključi na istosmjerni izvor preko niskopropusnog $L_E C_E$ filtra koji je prikazan na slici 3.12.. Pri tomu vlastita frekvencija tog filtra mora biti znatno manje od najniže sklopne frekvencije silaznog istosmjernog pretvarača [2]. Potrebito je da najniža sklopna frekvencija bude što je moguće viša.



Slika 3.13. *Načelna shema silaznog istosmjernog pretvarača s pretvaračkim komponentama*

Načelna shema silaznog istosmjernog pretvarača s pretvaračkim komponentama prikazana je slikom 3.13.. U vježbama koje slijede koristit će se pasivna trošila radno – induktivnoga karaktera. Za radno trošilo kažemo da je ono trošilo koje nema reaktivnu komponentu, dok je induktivno trošilo svako trošilo koje sadrži prigušnicu koja omogućuje da struja bude kontinuirana. Na slici 3.14. su prikazani valni oblici struja i napona za za takvo trošilo. Najčešći primjeri pasivnih induktivnih trošila su kod kotvi magneta i kod istosmjerne uzbude električnih rotacijskih strojeva [2]. Kod kotvi magneta je bitno da struja bude kontinuirana i po mogućnosti što glađa.



Slika 3.14. *Valni oblici struje i napona pasivnog induktivnog trošila*

Uvjet za glatku struju:

$$\tau_d = \frac{Ld}{Rd} \gg Ts = \frac{1}{fs}$$

gdje su :

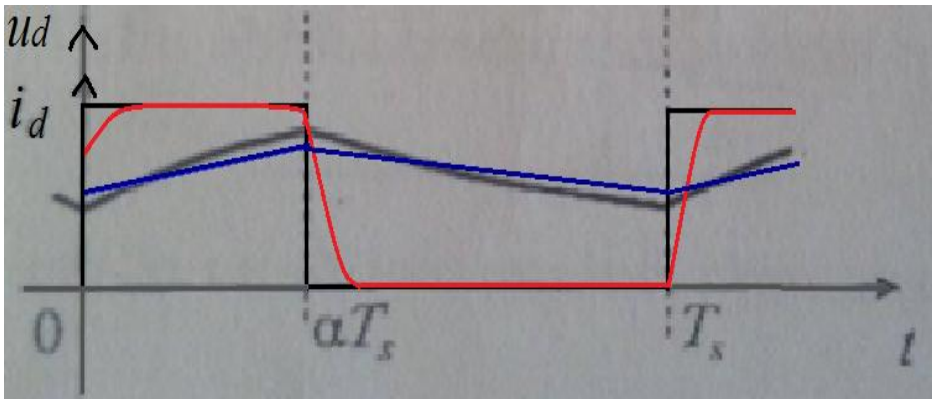
- τ_d – vremenska konstanta [μs]
- L_d – iduktivitet trošila [H]
- R_d – radni otpor trošila [Ω]
- T_s – sklopna perioda [s]
- f_s – sklopna frekvencija [Hz]

Po uvjetu za glatku struju mogu se odrediti omjeri koji govore kada se istosmjerni pretvarač nalazi u diskontinuiranom načinu rada, a kada u kontinuiranom načinu rada.

Bitni odnosi za određivanje režima (načina) rada istosmjernog pretvarača:

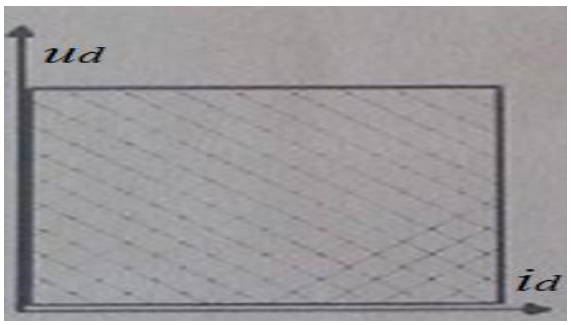
1) $\tau_d >> T_S$ → kontinuirani režim rada istosmjernog pretvarača, struja male valovitosti
2) $\tau_d \approx T_S$ → istosmjerni pretvarač se može nalaziti u oba režima rada, a struja trošila nije valovita
3) $\tau_d << T_S$ → diskontinurani režim rada istosmjernoga pretvarača, u ovisnosti o odnosu vremenske konstante i sklopne periode može se odrediti i granica između kontinuiranog i diskontinuiranog režima rada

Ovi odnosi će uvelike pomoći u određivanju režima rada istosmjernog pretvarača tijekom vježbi rađenih u diplomskom radu. Valni oblici za spomenute omjere prikazani su slikom 3.15..



Slika 3.15. *Valni oblici za određivanje režima rada istosmjernog pretvarača*

Kako je već spomenuto jednokvadrantni istosmjerni pretvarači rade u jednom kvadrantu, prikazano slikom 3.16.. To znači da se smjer struje i napona ne može mijenjati.



Slika 3.16. *Prikaz područja djelovanja jednokvadrantnog istosmjernog pretvarača*

4. REALIZACIJA JEDNOKVADRANTNOG SILAZNOG ISTOSMJERNOG PRETVRAČA DIDAKTIČKO MULTIMEDIJALNOM OPREMOM LUCAS NUELLE

U ovome poglavlju biti će prikazan jednokvadrantni silazni istosmjerni pretvarač sa radno-induktivnim trošilom kroz dvije topologije. Prva s gornjom vodljivom granom (eng. „high side“, slika 4.1.) i druga sa donjom vodljivom granom (eng. „low side“, slika 4.27.). Kroz vodljivu granu upravljati će MOSFET, a u drugoj grani koristiti će se dioda.

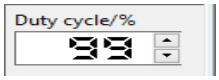
4.1. Utjecaj faktora vođenja na karakteristične valne oblike istosmjernog pretvarača napona za gornju vodljivu granu pri različitim odnosima vremenske konstante i sklopne periode

Kroz ovo potpoglavlje koristiti će se shema za upravljivu gornju granu, , odnosno granu u kojoj je upravljiv ventil *V1* prikazan MOSFET-om, slika 4.1.. Vodljiva grana se odabire u programu klikom na dugme za postavke uređaja  (*Device Settings*), čime se otvara kartica za parametre (Parameters) te se pod stavkom za strujni krug (circuit) odabere gornja grana („high side“) da bude vodljiva (Slika 4.2.). Utjecaj faktora vođenja prikazati će kroz dvije različite vremenske konstante, kada je $\tau_d = \frac{\mathrm{L}}{3R}$ i kada je $\tau_d = \frac{3L}{\mathrm{R}}$. Uzmu li se poznate vrijednosti i ako se uvrste u jednadžbu, dobiju se sljedeće vrijednosti vremenskih konstanti:

$$\tau_{d1} = \frac{\mathrm{L}}{3R} = \frac{3.3}{3*18} = 61 \text{ us}$$

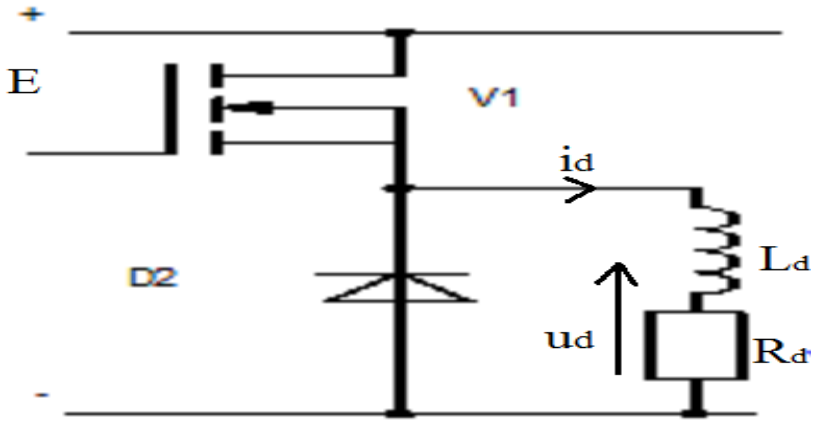
$$\tau_{d2} = \frac{3L}{\mathrm{R}} = \frac{3*3,3}{18} = 550 \text{ us}$$

U ovom radu odabrane su baš ove vrijednosti da bi se prikazale najmanja vremenska konstanta τ_{d1} i najveća vremenska konstanta τ_{d2}, te u kakvoj su te konstante ovisnosti sa sklopnim periodama pri različitim faktorima vodljivosti, te kako one utječu na režim rada istosmjernog pretvarača. Služi da se vidi koja je razlika u valnim oblicima kada je vremenska konstanta τ_d puno manja od sklopne periode *Ts*, te kada je τ_d približna vrijednosti *Ts*. Uspoređivati će se odnos između τ_d *i* T_S. Taj odnos je ključan u određivanju načina rada istosmjernog pretvarača, odnosno određivanju kontinuiranog i diskontinuiranog načina rada.

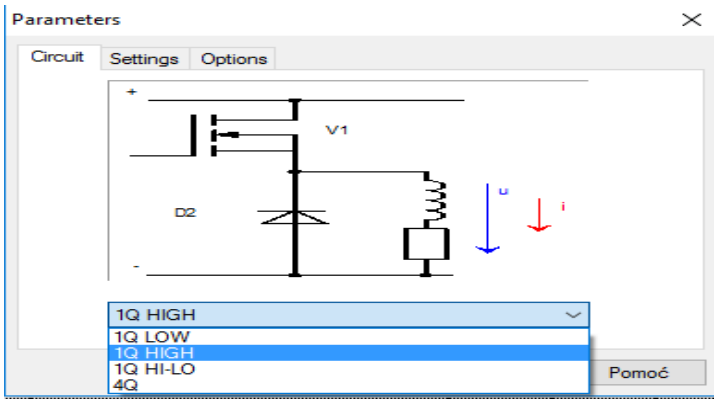
Faktor vođenja (engl. duty cycle) se mijenja klikom na strelice pod stavkom duty cycle 

u razmaku od 0% do 99%. Faktor vođenja $\boldsymbol{\alpha}$ je omjer između vremena vođenja MOSFET-a i sklopne periode, a izražen je u postotcima.

$$\alpha = \frac{Tv1}{Ts} \quad [\%]$$



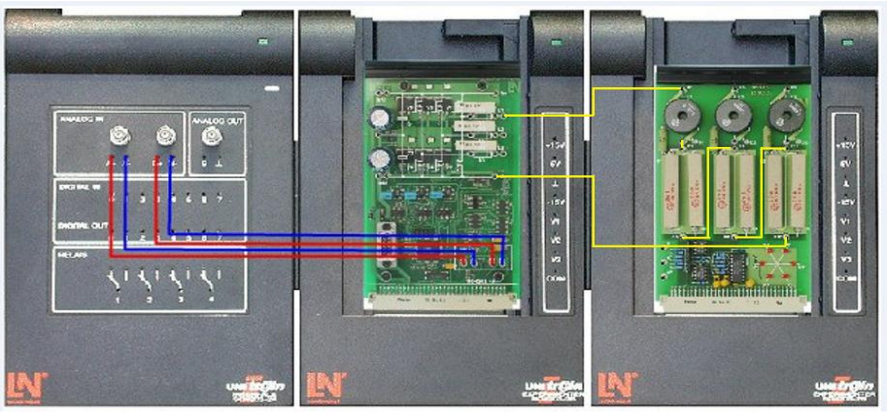
Slika 4.1. *Shema istosmjernog pretvarača sa vodljivim ventilom V1*



Slika 4.2. *Odabir pripadajuće vodljive grane*

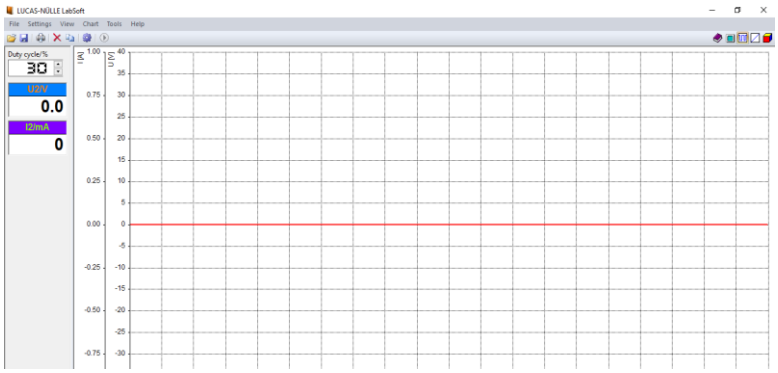
4.1.1. Utjecaj faktora vođenja na valne oblike istosmjernog pretvarača napona pri najmanjoj vremenskoj konstanti

U ovoj vježbi prikazati će se kako faktor vođenja utječe na valne oblike istosmjernog pretvarača pri vremenskoj konstanti $\tau_{\mathrm{d}} = \frac{\mathrm{L}}{3R}$. Spajanje sheme prikazano je slikom 4.3..



Slika 4.3. *Spajanje mjerne opreme pri* τ_{d1}

Prikazati će se faktori vođenja s korakom promjene od 30% (30%, 60%, 90 %) pri tri različite frekvencije pomoću kojih će se uspoređivati odnos između τ_d *i* T_s. Valni oblici će se prikazati pomoću stavke vremenskog dijagrama (time diagram) u programu Lab Softa. Na slici 4.4. prikazan je izgled vremenskog dijagrama prije postavljanja parametara za vježbe.



Slika 4.4. *Prikaz vremenskog dijagrama*

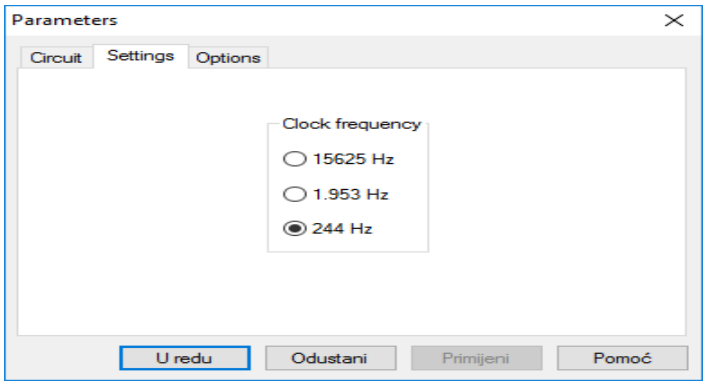
a) f_{sa}=244 Hz

U prvom slučaju koristiti će se frekvencija od 244 Hz, pa će sklopna perioda iznositi:

$$T_{sa} = \frac{1}{fsa} = \frac{1}{244} = 4 \text{ ms},$$

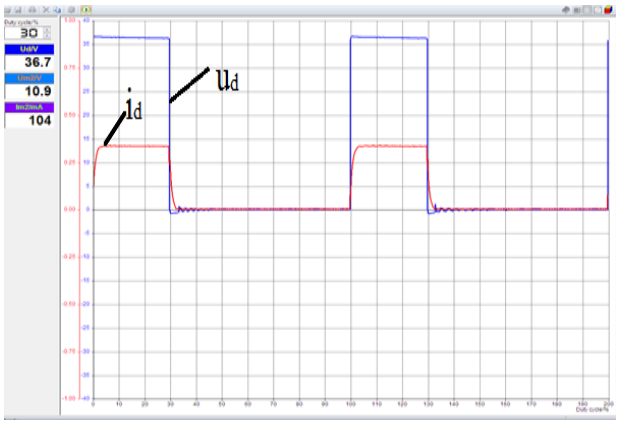
$$\tau_{d1} = 61 \text{ us}, \quad T_{sa} = 4 \text{ ms}, \quad \boxed{T_{sa} > \tau_{d1}}$$

Odabir željene frekvencije (Slika 4.5.), također se odrađuje klikom na dugme za postavke , čime se ponovno otvara kartica za parametre (Parameters) te se pod stavkom postavke (settings) odabere potrebna frekvencija (clock frequency), te će se isto tako u daljnjim vježbama mijenjati.

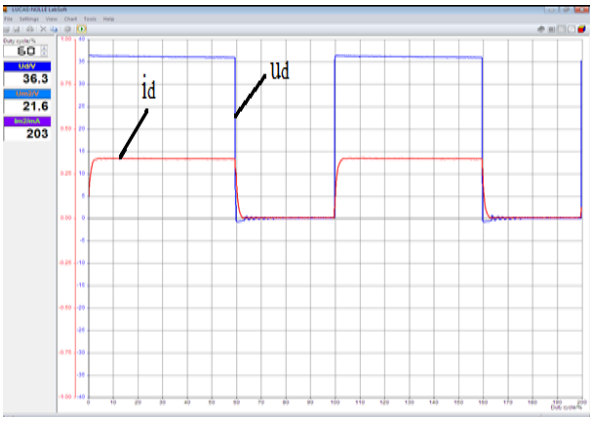


Slika 4.5. *Odabir željene frekvencije*

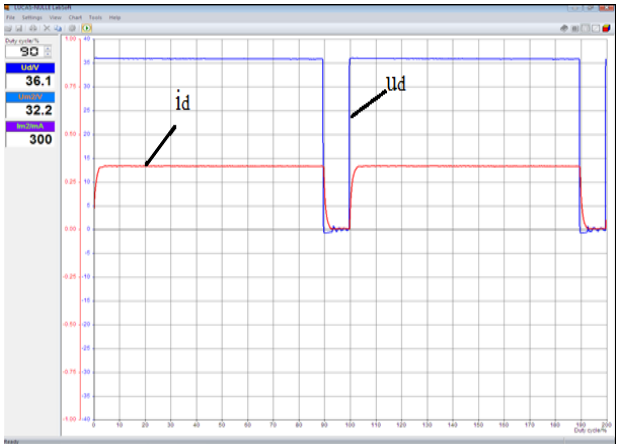
Po odabranim parametrima pretvarača može se uočiti da je $\tau_{d1} << T_{sa.}$ Iz toga omjera se može zaključiti da će način rada istosjernog pretvarača biti diskontinuiran.

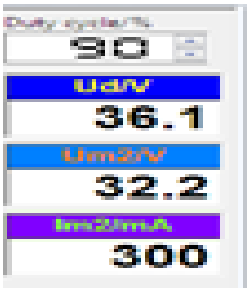


a) α=30%



b) α=60%





c) α=90%

Slika 4.6. *Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja: a)α=30%, b) α=60%, c) α=90%*

Slika 4.6. prikazuje valne oblike struje i napona jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktore vođenja od 30%, 60%, 90% pri frekvenciji od 244 Hz. Kod sva tri faktora vođenja je vidljivo kako je struja diskontinuirana, jer se primjeti kako struja trošila u sva tri slučaja u određenom periodu prolazi kroz nulu, te se ovdje radi o diskontinuiranom režimu rada istosmjernog pretvarača.

Pomoću očitanih vrijednosti u gornjem lijevom kutu koje su izdvojene na slici 4.5. desno, te pomoću formule za upravljačku karakteristiku silaznog pretvarača može se provjeriti točnost tih dobivenih vrijednosti. Prikazan je račun za slučaj c) α =90% :

$$Ud(0)= E*\alpha = 36.1*0,9 = 32,49 \text{ V}$$

Slika prikazuje iznos srednje vrijednosti napona Ud(0)=32,2 V, što je približno jednako izračunatoj vrijednosti.

Iz snimljenih valnih oblika i prikazanih vrijednosti instrumenata da se zaključiti sljedeće:

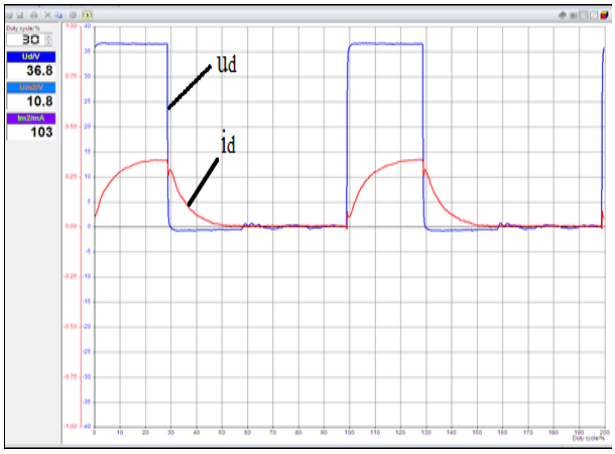
- struja poprima trenutno ustaljeno stanje, prijelazno stanje je kratko,
- povećanjem α, povećava se srednja vrijednost napona na trošilu Ud(0), a samim time i struja trošila,
- režim rada istosmjernoga pretvarača je diskontinuiran.

b) f_{Sb} =1953 Hz

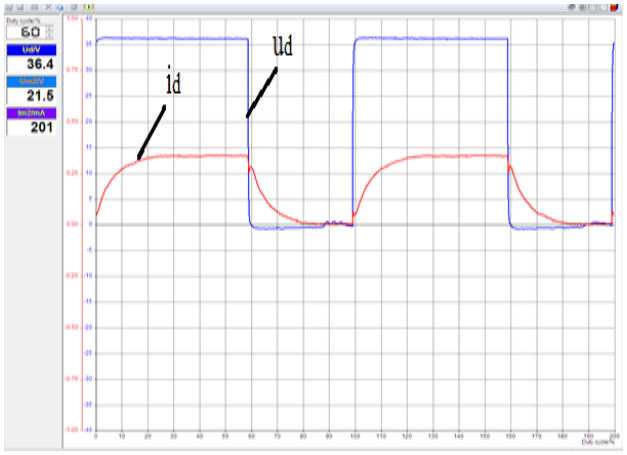
U drugom slučaju koristiti će se frekvencija od 1953 Hz, pa će sklopna perioda iznositi:

$$T_{sb}= \frac{1}{fSb} = \frac{1}{1953} = 512 \text{ us} , \ \tau_{d1}=64 \text{ us} \quad \boxed{T_{sb} > \tau_{d1}}$$

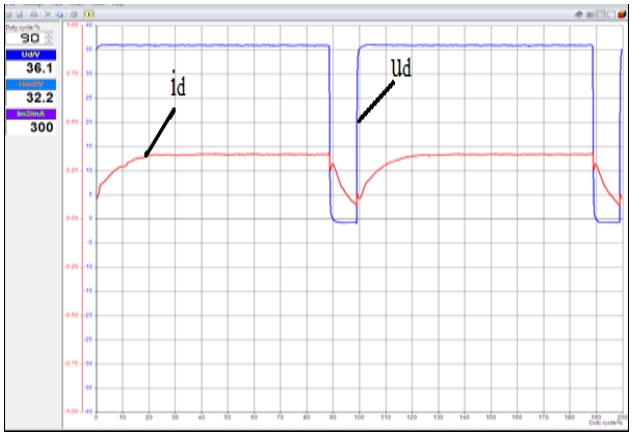
Iz dobivenih rezultata se može uočiti da je $T_{sb} > \tau_{d1}$. Kako sklopna perioda nije puno veća od vremenske konstante, do određenog faktora vođenja režim rada istosmjernog pretvarača će biti diskontinuiran, a prilikom većih faktora vođenja će režim rada istosmjernog pretvarača biti kontinuiran. Također se za određeni faktor vođenja može postići granica između kontinuiranog i diskontinuiranog režima rada.



a) α=30%



b) α=60%



c) α=90%

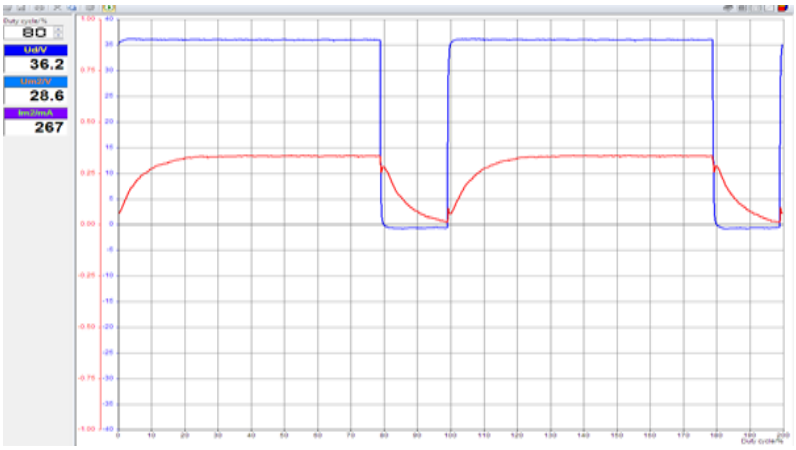
Slika 4.7*. Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja: a)α=30%, b) α=60%, c) α=90%*

Slika 4.7. prikazuje valne oblike struje i napona jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktore vođenja od 30%, 60%, 90% pri frekvenciji od 1953 Hz. Za a) i b) slučaj struja trošila je diskontinuirana, jer u određenim trenutcima prolazi kroz nulu, za razliku od slučaja c), gdje struja niti u jednom trenutku ne prolazi kroz nulu, te je struja kontinuirana, te se tu radi o kontinuiranom režimu rada istosmjernog pretvarača.

Iz snimljenih valnih oblika da se zaključiti sljedeće:

- povećanjem α, povećava se srednja vrijednost napona na trošilu Ud(0), a ujedno i srednja vrijednost struje trošila, no iznosi Ud(0) ostajuisti bez obzira na promjenu sklopne frekvencije,
- povećanjem α sa 60% na 90% dolazi do prijelaza iz diskontinuiranoga režima rada u kontinuirani režim rada istosmjernog pretvarača,

- granica između diskontinuiranoga i kontinuiranoga režima rada je pri α = 80%. Što je vidljivo iz slike 4.8..



Slika 4.8*. Valni oblici struje i napona trošila za granični faktor vođenja α=80%,*

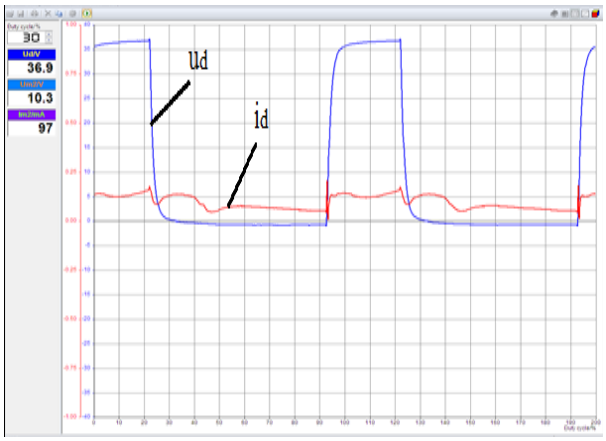
c) f_{Sc} =15625 Hz

U trećem slučaju koristiti će se frekvencija od 15625 Hz, pa će sklopna perioda iznositi:

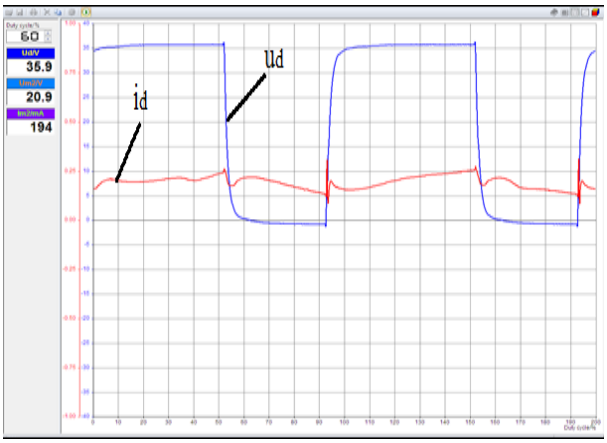
$$T_{Sc}= \frac{1}{fSc} = \frac{1}{15625} = 64 \text{ us}, \quad \tau_{d1}=61 \text{ us}, \quad \boxed{T_{sc} \approx \tau_{d1}}$$

I ovdje se iz dobivenih rezultata može uočiti da je $T_{Sc} \approx \tau_{d1.}$ Kako je sklopna perioda približno jednaka vremenskoj konstanti, režim rada istosmjernog pretvarača će biti kontinuiran.

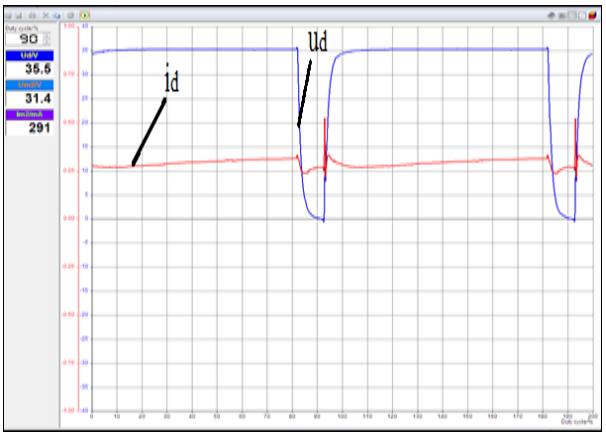
Slika 4.9. prikazuje valne oblike struje i napona jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktore vođenja od 30%, 60%, 90% pri frekvenciji od 15625 Hz. Za sva tri faktora vođenja je vidljivo kako je struja kontinuirana, jer se primjeti kako struja trošila niti u jednom slučaju ne prolazi u određenom periodu kroz nulu, te se ovdje radi o kontinuiranom režimu rada istosmjernog pretvarača.



a) α=30%



b) α=60%



c) α=90%

Slika 4.9*. Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja: a) α=30%, b) α=60%,c) α=90%*

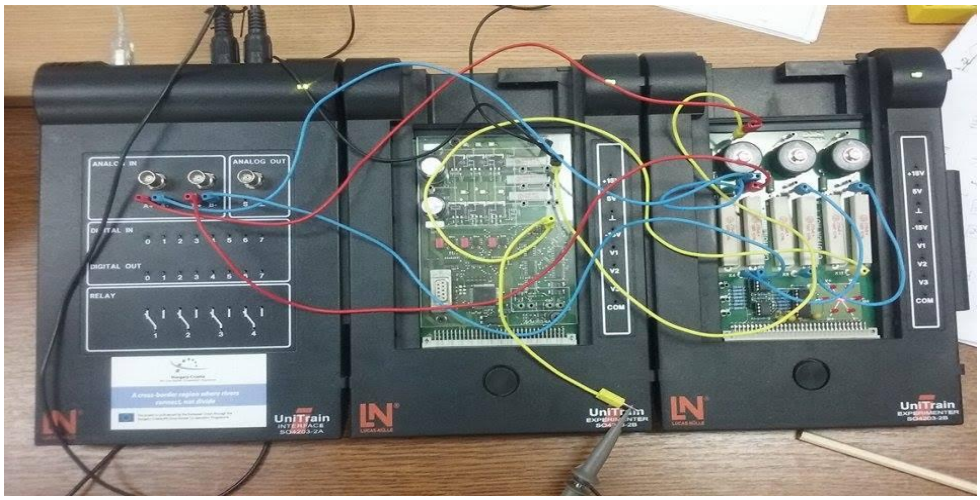
Iz snimljenih valnih oblika da se zaključiti sljedeće:

- režim rada istosmjernog pretvarača je kontinuiran
- povećanjem fakora vođenja, povećava se srednja vrijednost struje Id(0) i struja trošila je sve glađa, odnosno valovitija

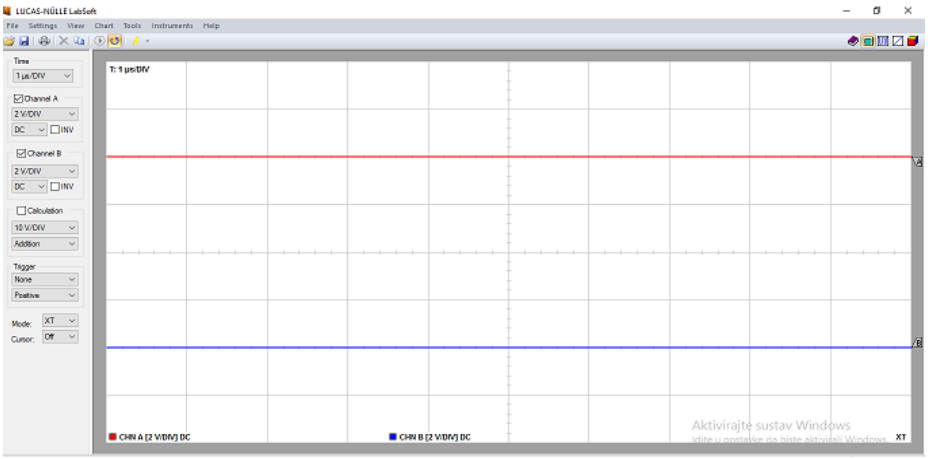
4.1.1.1. Mjerenja virtualnim osciloskopom

U ovom dijelu vježbe mjerna oprema će biti spojena na način da bi se prikazali valni oblici napona na zavojnici u_{Ld} i napona na otporniku u_{Rd} pomoću opcije osciloskopa (osciloscope) u programu Lab Soft . Cilj vježbe je prikazati kako promjena vrijednosti faktora vođenja utječe na valne oblike napona na zavojnici i otporniku. Faktor vođenja će se mjenjati u koracima po 30% za tri različite frekvencije koje su se koristile do sada u radu. Za valne oblike komentirati će se kontinuirani i diskontinuirani način rada. Spajanje opreme je prikazano slikom 4.10.. Program

zahtjeva ovakav način spajanja, odnosno male preinake na sučelju, jer se u prvom dijelu vježbe koristio vremenski dijagram za dobivanje valnih oblika struje i napona trošila, a sada je potrebno dobiti valne oblike napona na zavojnici i otpornicima pomoću opcije osciloskopa (slika 4.11.), jer vremenski dijagram nema tu opciju.



Slika 4.10. *Spajanje mjerne opreme za korištenje osciloskopa*



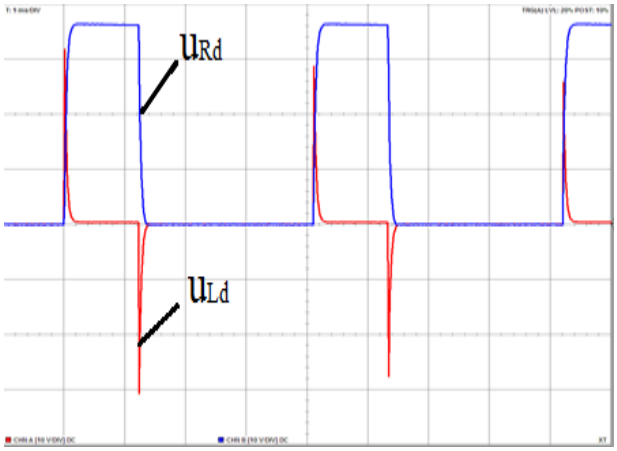
Slika 4.11. *Prikaz osciloskopa prije odabira parametara*

a) f_{sa} =244 Hz

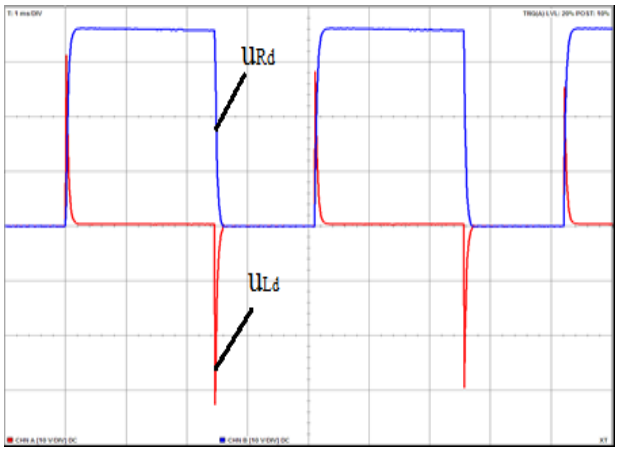
$$T_{sa} = 4 \text{ ms}, \quad \tau_{d1} = 61 \text{ us}, \quad \boxed{T_{sa} > \tau_{d1}}$$

Iz prikazanog omjera se može očeikavati diskontinuirni režim rada, jer je sklopna perioda veća od vremenske konstante. Slika 4.12. prikazuje valne oblike napona na zavojnici u_{Ld} i napona na otporniku u_{Rd} jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktore vođenja od 30%, 60%,

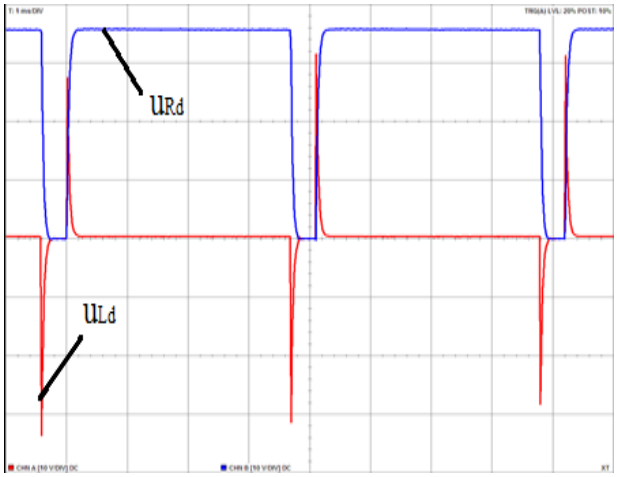
90% pri frekvenciji od 244 Hz. Kod sva tri faktora vođenja je vidljivo kako se ovdje radi o diskontinuiranom načinu rada istosmjernog pretvarača.



a) α=30%



b) α=60%



c) α=90%

Slika 4.12. *Valni oblici napona na otoprnicima i zavojnici za faktor vođenja: a) α=30%, b) α=60% ,c) α=90%*

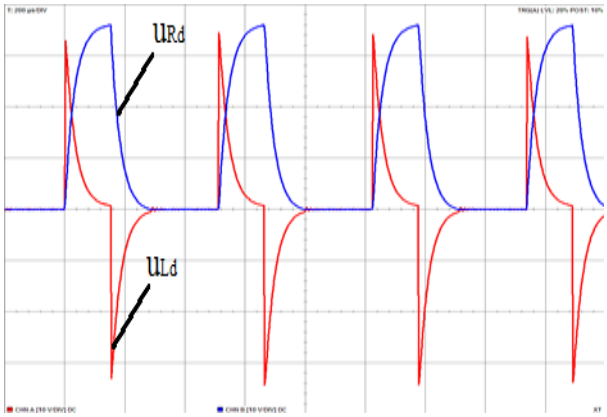
Iz snimljenih valnih oblika da se zaključiti sljedeće:

- diskontinuirani način rada
- povećanjem α povećava se srednja vrijednost napona otpornika $U_{Rd}(0)$
- povećanjem α srednja vrijenost napona zavojnice je nula, $U_{Ld}(0) = 0$

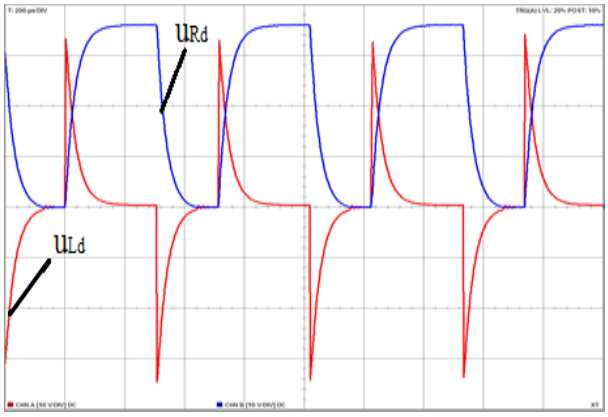
b) f_{sb}=1953 Hz

$$T_{sb}=512 \text{ us}, \quad \tau_{d1}=61 \text{ us}, \quad \boxed{T_{sb} > \tau_{d1}}$$

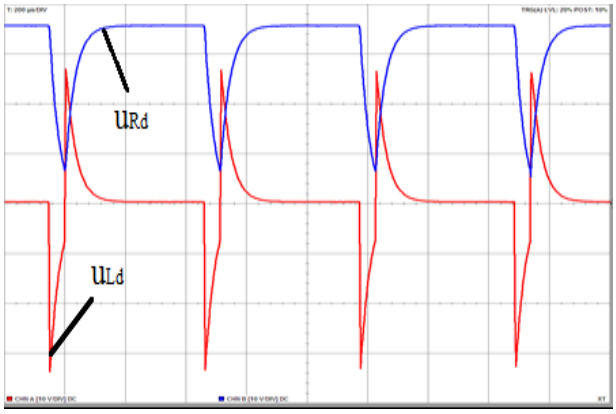
Iz prikazanog omjera se može zaključiti da će istosmjerni pretvarač biti u diskontinuiranom režimu rada, ali kako sklopna perioda nije puno veća od vremenske konstante, kod većih faktora vođenja istosmjerni pretvarač može biti i u kontinuiranom režimu rada. Slika 4.13. prikazuje valne oblike napona na zavojnici u_{Ld} i napona na otporniku u_{Rd} jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktore vođenja od 30%, 60%, 90% pri frekvenciji od 1953 Hz. Kod faktora vođenja od α=30% i od α=60% je vidljivo kako se ovdje radi o diskontinuiranom režimu rada istosmjernog pretvarača, dok se kod α=90% radi o diskontinuirnom načinu rada



a) α=30%



b) α=60%



c) α=90%

Slika 4.13. *Valni oblici napona na otoprnicima i zavojnici za faktor vođenja: a) α=30%, b) α=60% ,c) α=90%*

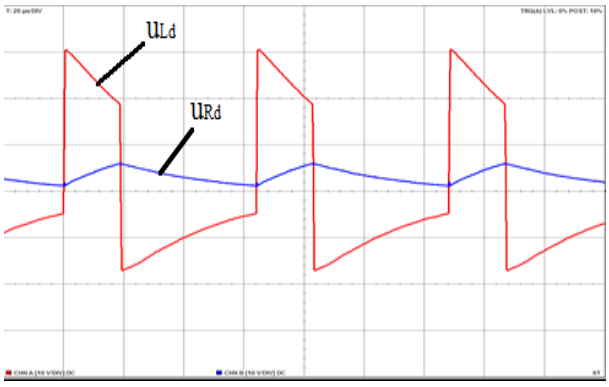
Iz snimljenih valnih oblika da se zaključiti sljedeće:

- diskontinuirani način rada kod faktora vođenja: α=30% i α=60%
- kontinuirani način rada kod faktora vođenja α=90%
- povećanjem α povećava se srednja vrijednost napona otpornika $U_{Rd}(0)$
- povećanjem α srednja vrijenost napona zavojnice je nula, $U_{Ld}(0) = 0$

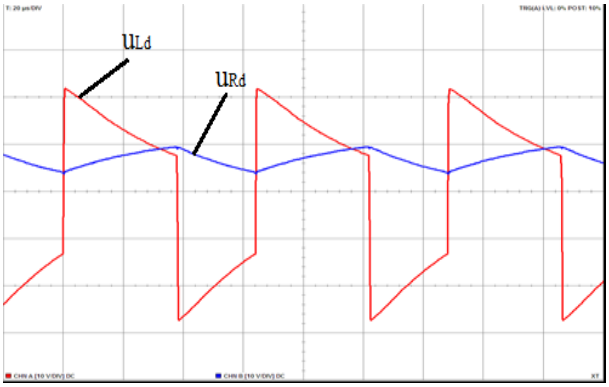
c) *fsc*=15625 Hz

$$T_{sc}=64\text{ us}, \quad \tau_{d1}=61\text{ us}, \quad \boxed{T_{sc} \approx \tau_{d1}}$$

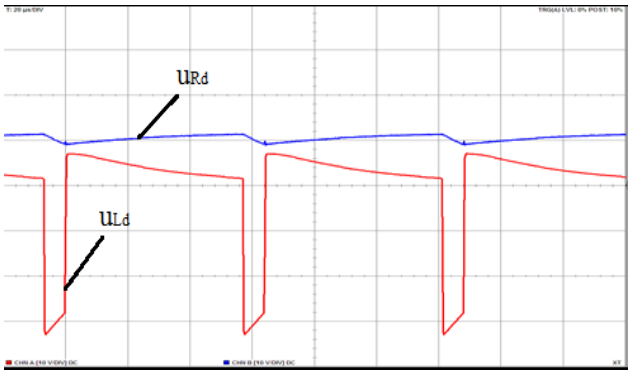
Iz prikazanog omjera se može zaključiti da će se ovdje raditi o kontinuirnom režimu rada, jer su vrijednosti vremenske konstante i sklopne periode približno jednaki, a i u prošloj vježbi se već istosmjerni pretvarač nalazio u kontinuiranm režimu rada pri najvećem faktoru vođenj.



a) *α=30%,*



b) *α=60%,*



c) *α=90%,*

Slika 4.14. *Valni oblici napona na otoprnicima i zavojnici za faktor vođenja: a) α=30%, b) α=60% ,c) α=90%*

Slika 4.14. prikazuje valne oblike napona na zavojnici u_{Ld} i napona na otporniku u_{Rd} jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktore vođenja od 30%, 60%, 90% pri frekvenciji od 15625 Hz. Kod sva tri faktora vođenja je vidljivo kako se ovdje radi o kontinuiranom režimu rada istosmjernog pretvarača, jer naponi niti u jednom djelu periode ne prolaze nulom.

Iz snimljenih valnih oblika da se zaključiti sljedeće:

- kontinuirani način rada istosmjernog pretvarača
- povećanjem α povećava se srednja vrijednost napona otpornika $U_{Rd}(0)$
- povećanjem α povećava se vršna vrijednost napona zavojnice, a srednja vrijednost ostaje ista $U_{Ld}(0) = 0$

4.1.1.2. Mjerenja prikazana digitalnim osciloskopom TDS 224

U ovom dijelu vježbe mjerna oprema će biti spojena na način da bi se prikazali valni oblici napona na ventilima pomoću vanjskog osciloskopa priključenog na sučelje mjerne opreme Lucas Nuelle. Cilj vježbe je prikazati kako promjena vrijednosti faktora vođenja utječe na valne oblike napona na ventilima. Upravljivi ventil V1prikazan je MOSFET-om, dok je neupravljivi ventil D2 prikazan diodom (slika 4.2.). Za valne oblike komentirati će se kontinuirani i diskontinuirani način rada. Spajanje opreme je prikazano slikom 4.9.. Režim rada se određuje matematičkim izrazima. U slučaju ako je:

$$T_{V1+}T_{D2} > T_S$$

tada se radi o diskontinuiranom režimu rada istosmjernog pretvarača. U slučaju da je

$$T_{V1+}T_{D2} = T_S$$

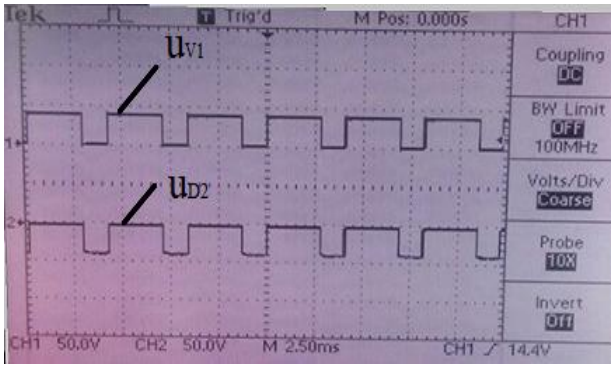
tada se radi o kontinuiranome režimu rada. U izrazu su:

- T_{V1} - vrijeme vođenja MOSFET-a
- T_{D2} – vrijema vođenja diode

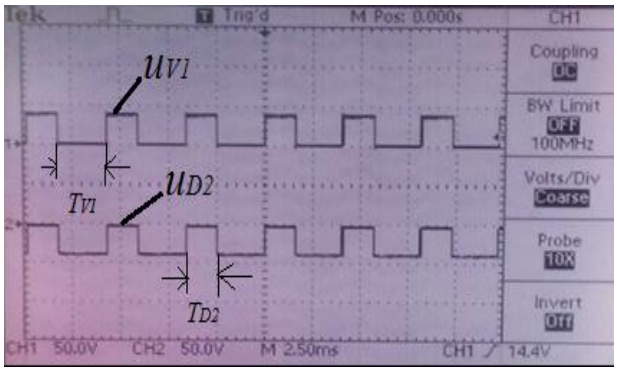
a) fsa=244 Hz

$$T_{sa} = 4 \text{ ms}, \quad \tau_{d1} = 61 \text{ us}, \quad \boxed{T_{sa} > \tau_{d1}}$$

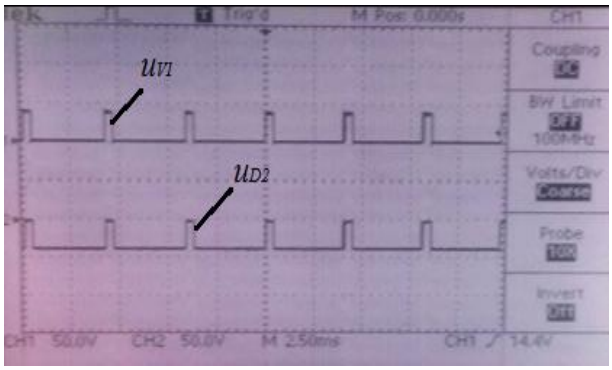
Slika 4.15.prikazuje valne oblike napona na ventilima u_{V1} i u_{D2} jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktore vođenja od 30%, 60%, 90% pri frekvenciji od 244 Hz. Kod sva tri faktora vođenja se radi o diskontinuiranom režimu rada istosmjernog pretvarača što će se dokazati matematčkim izrazima, a što i sugerira omjer između sklopne periode i vremenske konstante.



a) α =30%



b) α =60%



c) α =90%

Slika 4.15. *Valni oblici napona na ventilima za faktor vođenja: a) α=30%,b) α=60%,c) α=90%*

Već od prije znamo da je za 244 Hz, T_S = 4 ms. Potrebno je izračunati vrijednosti T_{V1} i T_{D2} da bi se odredio režim rada istosmjernog pretvarača. Određivanje vremena vođenja je sa slike 4.15.b).

$$T_{V1}= 1*2,5=2,5 \text{ ms}$$

$$T_{D2}=0,7*2,5=1,75 \text{ ms}$$

$$T_{V1}+T_{D2}=2,5+1,75=4,25\text{ms}$$

$$T_{V1}+T_{D2} > Ts$$

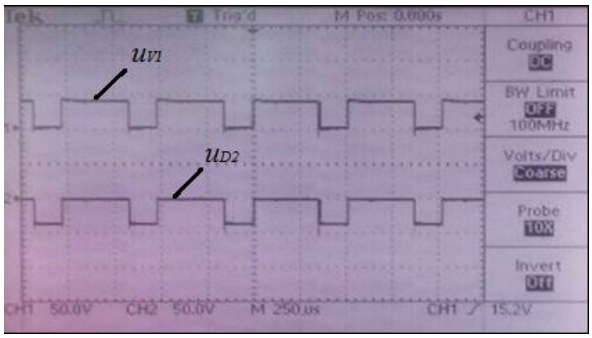
$$4,25 \text{ ms} > 4 \text{ ms}$$

Iz dobivenog proračuna je vidljivo da se ovdje radi o diskontinuiranom način rada istosmjernog pretvarača.

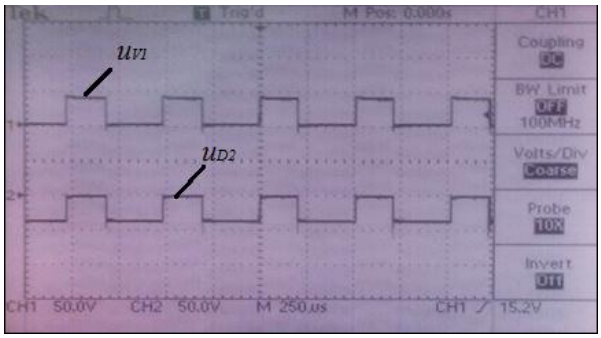
b) *fsb*=1953 Hz

$$T_{sb}=512 \text{ us}, \quad \tau_{d1}=61 \text{ us}, \quad \boxed{T_{sb} > \tau_{d1}}$$

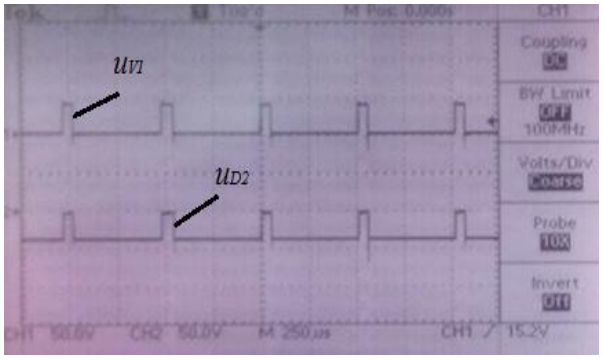
Prikazani omjer nam sugerira da će se istosmjerni pretvarač biti u diskontinuiranom režimu rada. Slika 4.16.prikazuje valne oblike napona na ventilima u_{V1} i u_{D2} jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktore vođenja od 30%, 60%, 90% pri frekvenciji od 1953 Hz.



a) α=30%,



b) α=60%,



c) α=90%,

Slika 4.16. *Valni oblici napona na ventilima za faktor vođenja:a) α=30%,b) α=60%,c) α=90%*

Već od prije znamo da nam je T_S za 1953 Hz, 512 us. Potrebno je izračunati vrijednosti T_{V1} i T_{D2} da bi se odredio režim rada istosmjernog pretvarača. Vrijednosti su očitane sa slike 4.16.b).

$$T_{V1}=1,3*250=325 \text{ us}$$

$$T_{D2}=0.8*250=200 \text{ us}$$

$$T_{V1}+T_{D2} > T_S$$

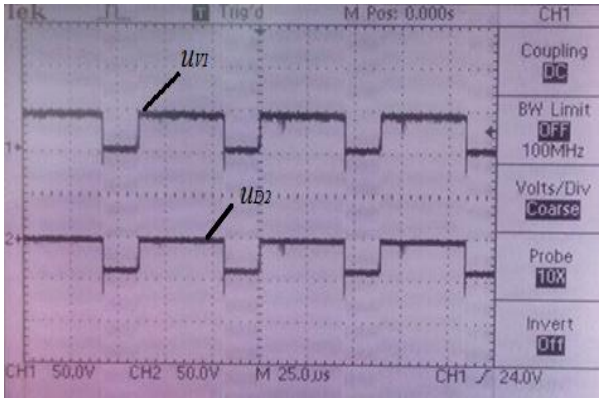
$$520 \text{ us} > 512 \text{ us}$$

Iz dobivenih vrijednosti možemo zaključiti da se istosmjerni pretvarač nalazi u diskontinuiranom režimu rada, odnosno da u određenom trenutku može doći do prelaza iz diskontinuiranog u kontinuirani režim rada.

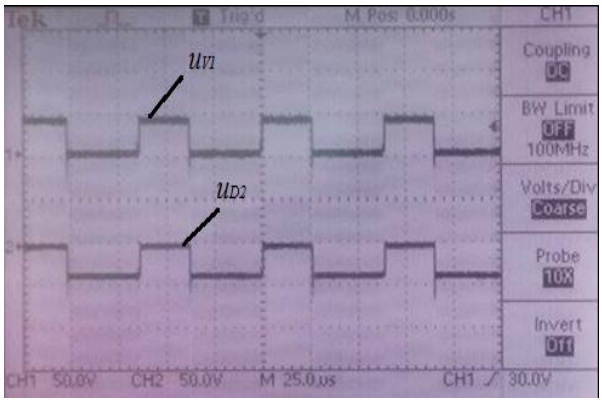
c) *fsc*=15625 Hz

$$T_{sc}=64\text{ us}, \quad \tau_{d1}=61\text{ us}, \quad \boxed{T_{sc} \approx \tau_{d1}}$$

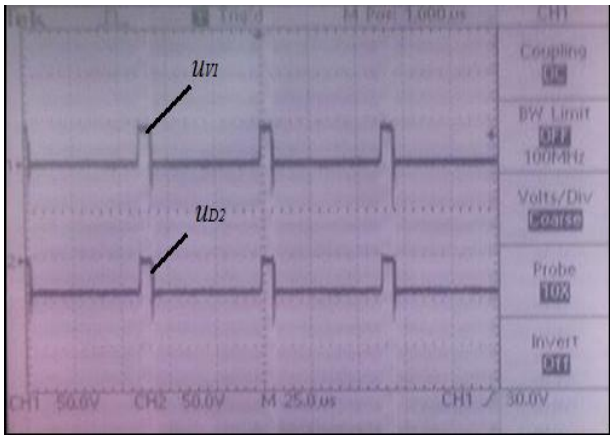
Prikazani omjer upućuje da će istosmjerni pretvarač biti u kontinuiranom režimu rada. Slika 4.17. prikazuje valne oblike napona na ventilima u_{V1} i u_{D2} jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktore vođenja od 30%, 60%, 90% pri frekvenciji od 15625 Hz.



a) α=30%,



a) b=60%,



c) α =*90%*

Slika 4.17. *Valni oblici napona na ventilima za faktor vođenja: a) α=30%,b) α=60%,c) α=90%*

Već od prije znamo da nam je za 15625 Hz T_S = 64 us. Potrebno je izračunati vrijednosti T_{V1} i T_{D2} da bi se odredio režim rada istosmjernog pretvarača. Vrjednosti za proračun su uzete sa slike 4.17.a).

$$T_{V1}= 0,7*25=17,5 \text{ us}$$

$$T_{D2}=1,85*25=46,25 \text{ us}$$

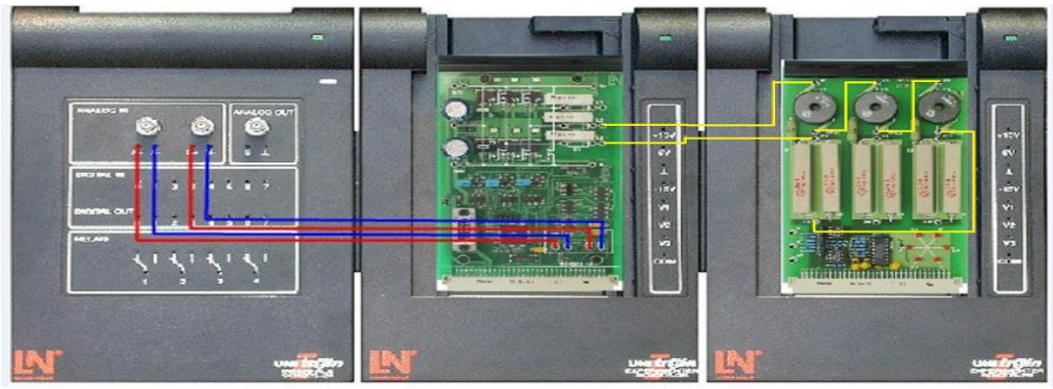
$$T_{V1}+T_{D2} = Ts$$

$$63,75 \text{ us} = 64 \text{ us}$$

Iz dobivenog proračuna je vidljivo da se ovdje radi o kontinuiranom način rada istosmjernog pretvarača.

4.2.1. Utjecaj faktora vođenja na valne oblike istosmjernog pretvarača napona pri najvećoj vremenskoj konstanti

U ovoj vježbi prikazati će se kako faktor vođenja utječe na valne oblike istosmjernog pretvarača pri vremenskoj konstanti $\tau_d = \frac{3L}{R}$. Shema spajanja prikazana je slikom 4.18..

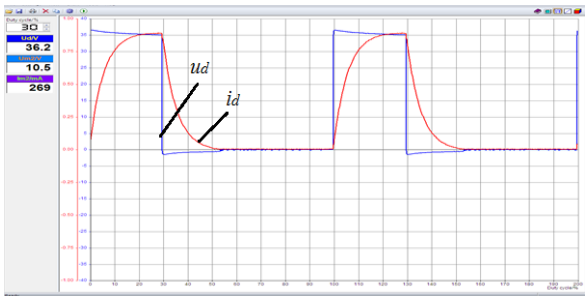


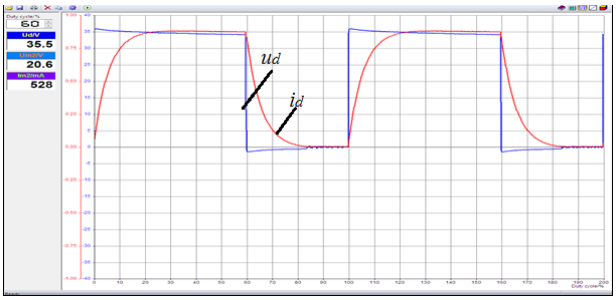
***Slika 4.18**. Spajanje mjerne opreme za vremensku konstantu τ_{d2}*

Prikazati će se faktori vođenja u razmacima od 30% pri tri različite frekvencije iz prošle vježbe. Ponovno nam je bitan omjer između τ_d *i Ts.*

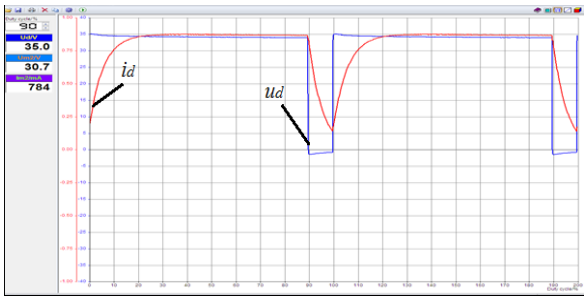
$$\tau_{d2}= \frac{3L}{R} = \frac{3*3,3}{18} = 550 \text{ us}$$

a) f_{sa}=244 Hz T_{sa}=4 ms, τ_{d2}= 550 us, $T_{sa} > \tau_{d2}$





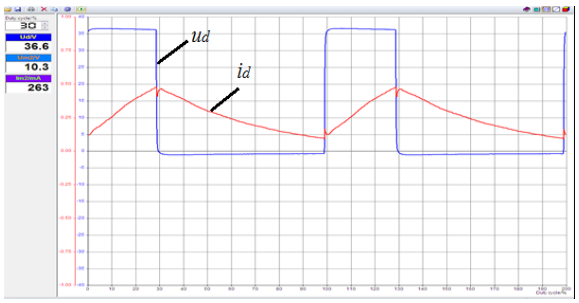
a) α =30% b) α =60%

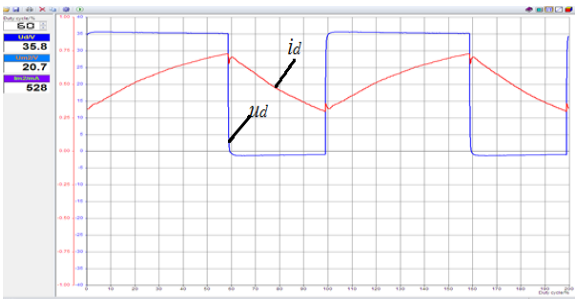


c) α= 90%

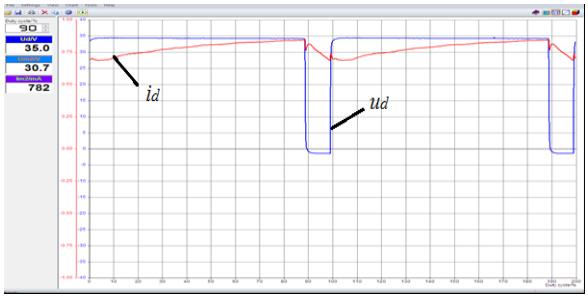
Slika 4.19. *Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja: a)α=30%, b)α=60%,c) α=90%*

b) f_{sb}=1953 Hz T_{sb}=512 us , τ_{d2}=550 us , $T_{sb} > \tau_{d2}$





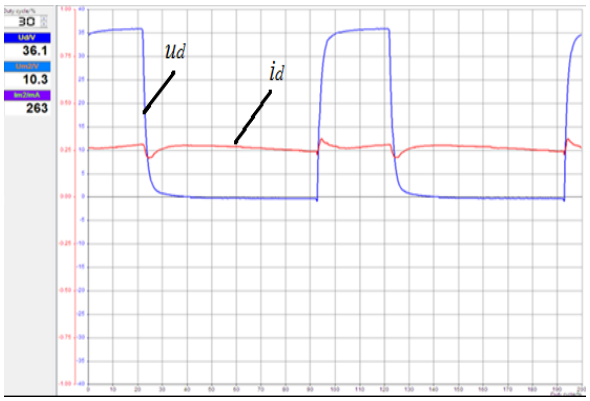
a) α= 30% b) α= 60%



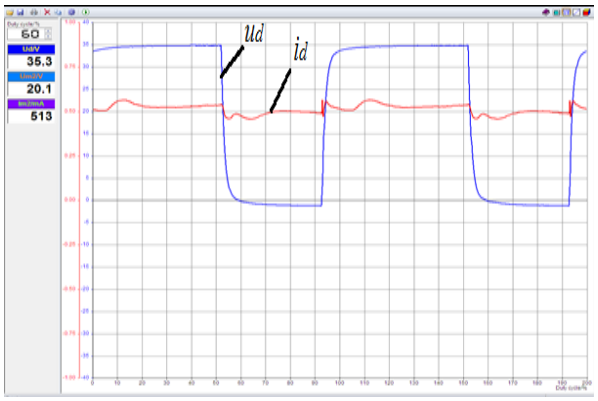
c) α = 90%

Slika 4.20. *Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja: a)α=30%, b)α=60%,c) α=90%*

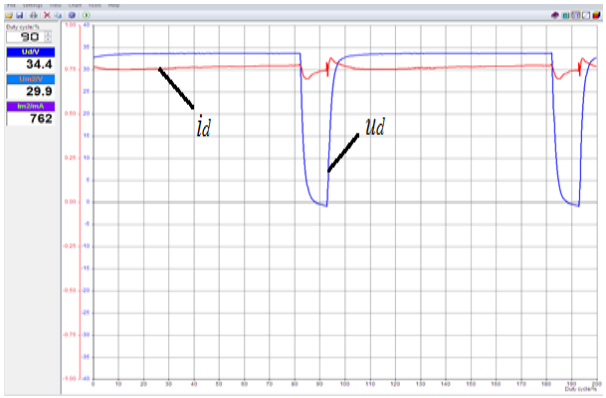
c) f_{sc} =15625 Hz $T_{sc=}$64 us, $\tau_{d2=}$550 us, $T_{sc} \approx \tau_{d2}$



a) α = 30%



b) α = 60%



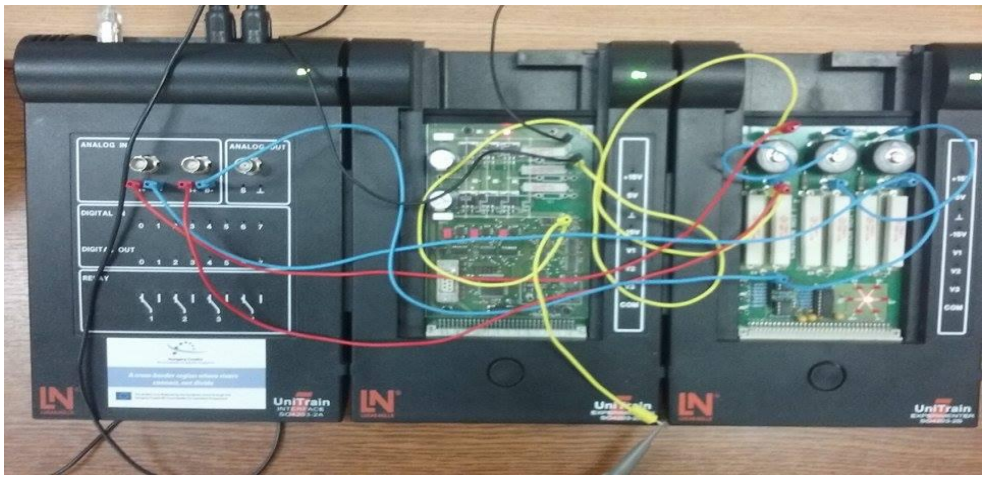
c) c) α = 90%

Slika 4.21. *Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja: a)α=30%, b)α=60%,c) α=90%*

Na slikama su prikazani valni oblici napona trošila u_d i struje trošila i_d za sve tri do sada korištene frekvencije. Slika 4.19. pokazuje da je istosmjerni pretvarač u diskontinuiranom režimu rada do faktora vođenja od 90% kada nastupa diskontinuirani režim rada. Na slikama 4.20. i 4.21. je vidljiv kontinuirani režim rada istosmjernog pretvarača, što je vidljivo i po odnosima vremenske konstante i sklopne periode. Kako se povećava frekvencija i kako je faktor vođenja veći, to je struja manje valovitosti.

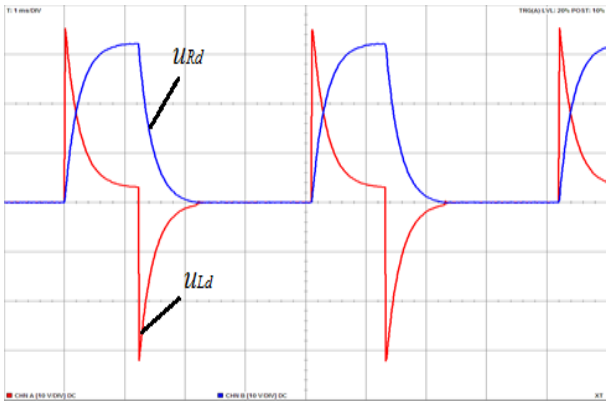
4.2.1.1. Mjerenja virtualnim osciloskopom

U ovom dijelu vježbe ponovno ćemo mjernu opremu spojiti na način da bi se prikazali valni oblici napona na zavojnici u_{Ld} i napona na otporniku u_{Rd} pomoću opcije osciloskopa (slika 4.22.). Cilj vježbe je prikazati kako promjena vrijednosti faktora vođenja utječe na valne oblike napona na zavojnici i otporniku za već korištene frekvencije.

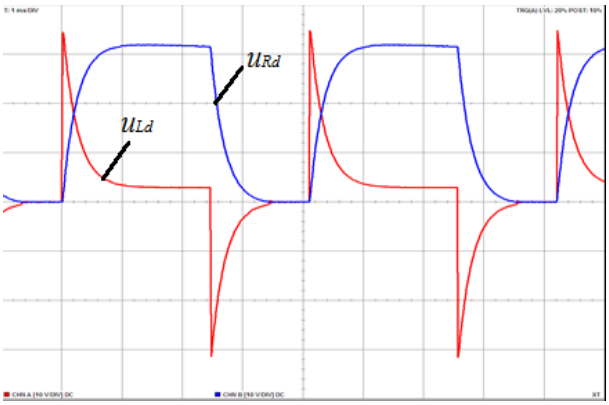


Slika 4.22. *Spajanje mjerne opreme za korištenje osciloskopa*

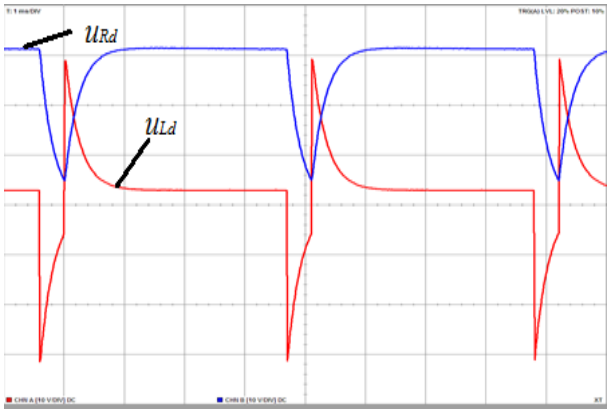
a) f_{sa}=244 Hz T_{sa}=4 ms, τ_{d2}= 550 us, $T_{sa} > \tau_{d2}$



a) α = 30%



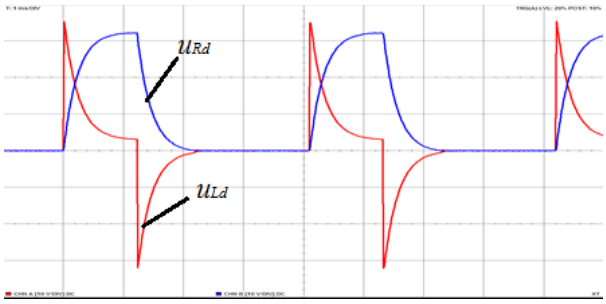
b) α = 60%



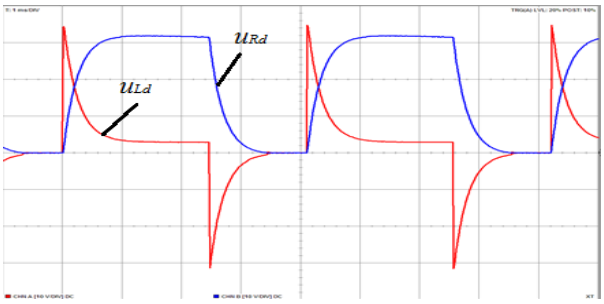
c) α = 90%

Slika 4.23. *Valni oblici napona na otoprnicima i zavojnici za faktor vođenja: a) α=30%, b) α=60% ,c) α=90%*

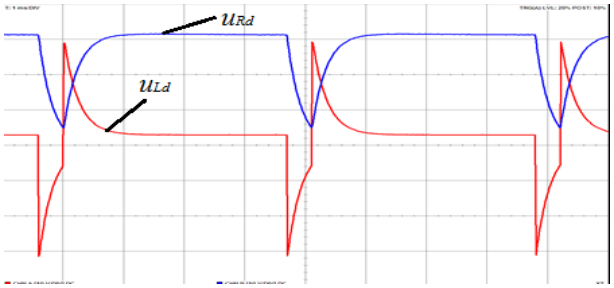
b) f_{sb}=1953 Hz T_{sb}=512 us , τ_{d2}=550 us , $T_{sb} > \tau_{d2}$



a) α = 30%



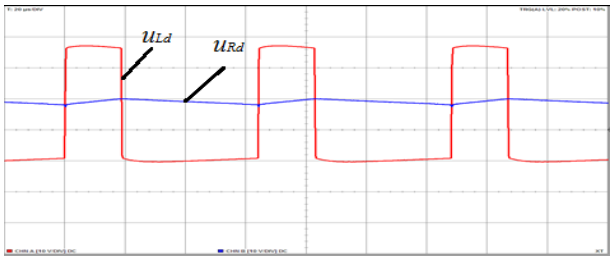
b) α = 60%



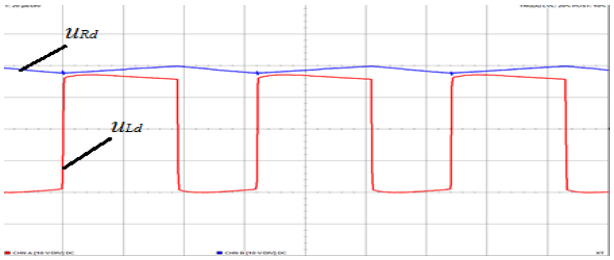
c) α = 90%

Slika 4.24.*Valni oblici napona na otoprnicima i zavojnici za faktor vođenja: a)α=30%, b)α=60% ,c)α=90%*

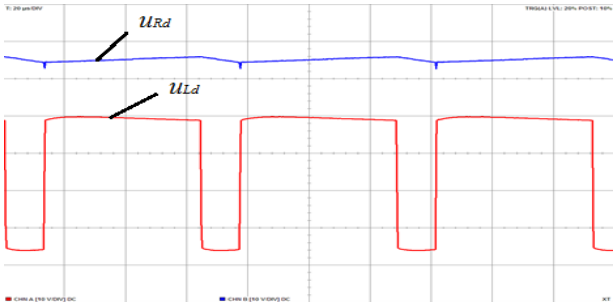
c) f_{sc} =15625 Hz T_{sc}=64 us, τ_{d2}=550 us, $T_{sc} \approx \tau_{d2}$



a) α = 30%



b) α = 60%



c) α = 90%

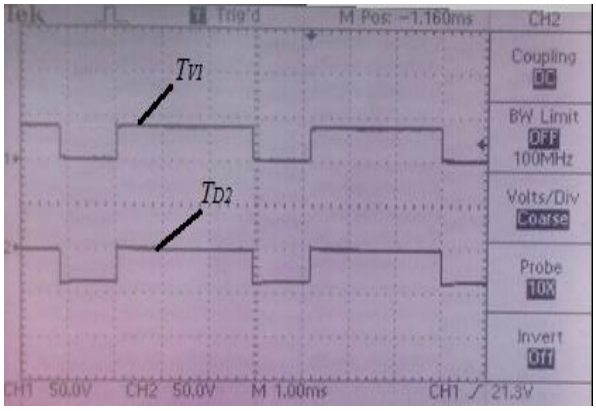
Slika 4.25. *Valni oblici napona na otoprnicima i zavojnici za faktor vođenja: a) α=30%, b) α=60% ,c) α=90%*

Na slikama su prikazani valni oblici napona na zavojnici u_{Ld} i napona na otporniku u_{Rd} za sve tri do sada korištene frekvencije. Slika 4.23. pokazuje da je istosmjerni pretvarač u diskontinuiranom režimu rada. Na slikama 4.24. i 4.25. je vidljiv kontinuirani režim rada istosmjernog pretvarača, što je vidljivo i po odnosima vremenske konstante i sklopne periode. Kako se povećava faktor vođenja tako se povećava srednja vrijednost napona otpornika, a srednja vrijednost napona zavojnice ostaje nula.

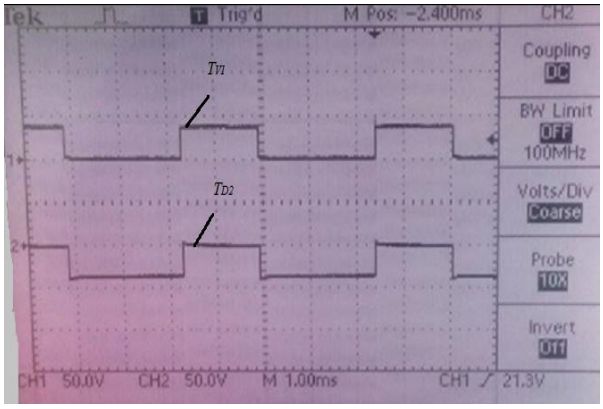
4.2.1.2. Mjerenja prikazana digitalnim osciloskopom TDS 224

U ovom dijelu vježbe onovno će se prikazati valni oblici napona na ventilima pomoću vanjskog osciloskopa. Cilj vježbe je prikazati kako promjena vrijednosti faktora vođenja utječe na valne oblike napona na ventilima.. Spajanje opreme je prikazano slikom 4.22..

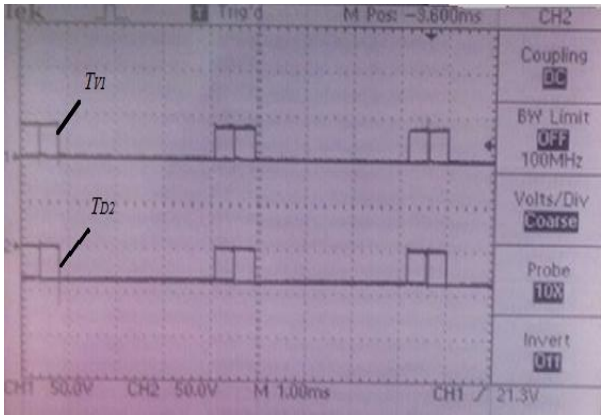
a) f_{sa}=244 Hz T_{sa}=4 ms, τ_{d2}= 550 us, $T_{sa} > \tau_{d2}$



a) α = 30%



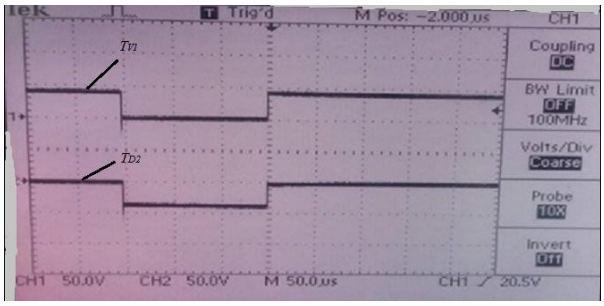
b) α = 60%



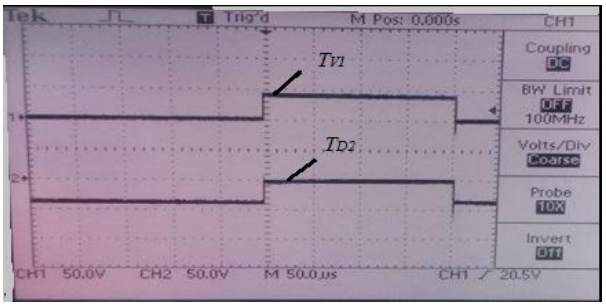
c) α = 90%

Slika 4.26. *Valni oblici napona na ventilima za faktor vođenja: a) α=30%,b) α=60%,c) α=90%*

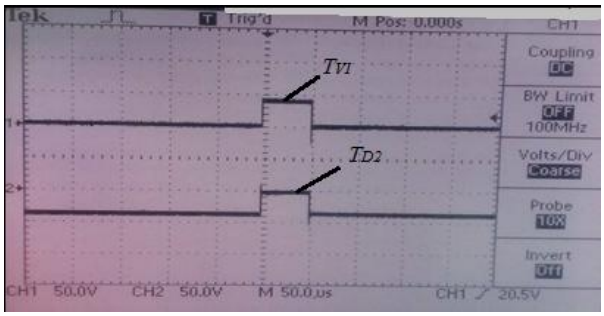
b) f_{sb}=1953 Hz T_{sb}=512 us , τ_{d2}=550 us , $T_{sb} > \tau_{d2}$



a) α =30%



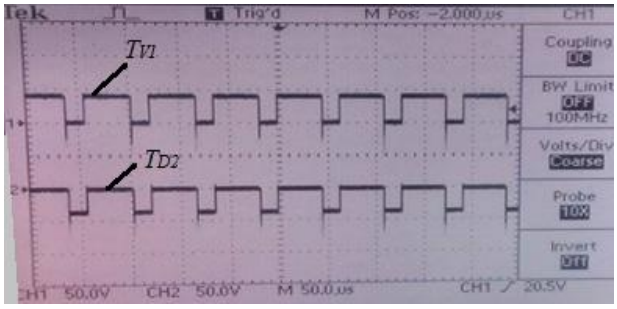
b) α =60%



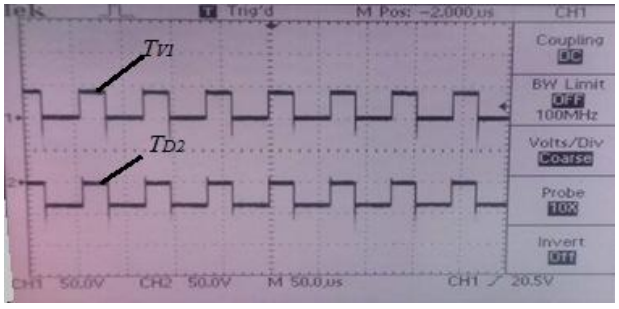
c) α =90%

Slika 4.27. *Valni oblici napona na ventilima za faktor vođenja: a) α=30%,b) α=60%,c) α=90%*

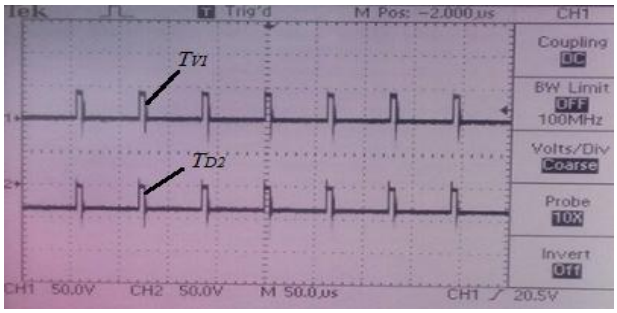
c) f_{sc} =15625 Hz T_{sc}=64 us, τ_{d2}=550 us, $T_{sc} \approx \tau_{d2}$



a) α =30%



b) α =60%



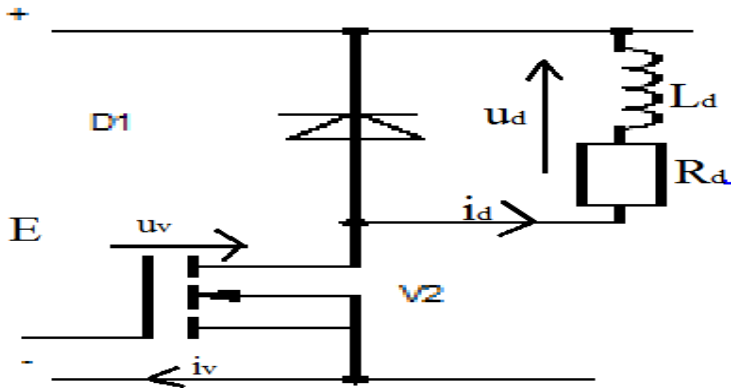
c) α =90%

Slika 4.28. *Valni oblici napona na ventilima za faktor vođenja: a) α=30%,b) α=60%,c) α=90%*

Na slikama su prikazani valni oblici napona na upravljivom ventilu *V1*i napona na neupravljivom ventilu D2 za sve tri do sada korištene frekvencije. Slika 4.26. pokazuje da je istosmjerni pretvarač u diskontinuiranom režimu rada. Na slikama 4.27. i 4.28. je vidljiv kontinuirani režim rada istosmjernog pretvarača, što je vidljivo i po odnosima vremenske konstante i sklopne periode.

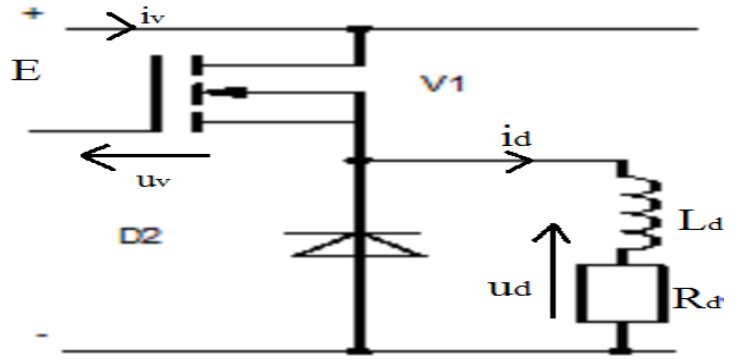
4.2. Utjecaj faktora vođenja na karakteristične valne oblike istosmjernog pretvarača napona za donju vodljivu granu pri različitim odnosima vremenske konstante i sklopne periode

Kroz ovo potpoglavlje koristiti će se shema za upravljivu donju granu, odnosno granu u kojoj je upravljiv ventil *V 2* prikazan MOSFET-om, slika 4.29.. Vremenska konstanta prikazati će se kroz dva slučaja, kada je $\tau_{d1}= \frac{L}{3R}$ i kada je $\tau_{d2} = \frac{3L}{R}$.



Slika 4.29. *Shema istosmjernog pretvarača sa vodljivim ventilom V2*

U ovoj topologiji bitno je prikazati glavnu razliku između slučaja kada je upravljiv ventil V1,te kada je upravljiv ventil V2. Da bi se to vidjelo, za početak će biti priložena shema vodljivog ventila V1(slika 4.30.) da se usporedi razlika.



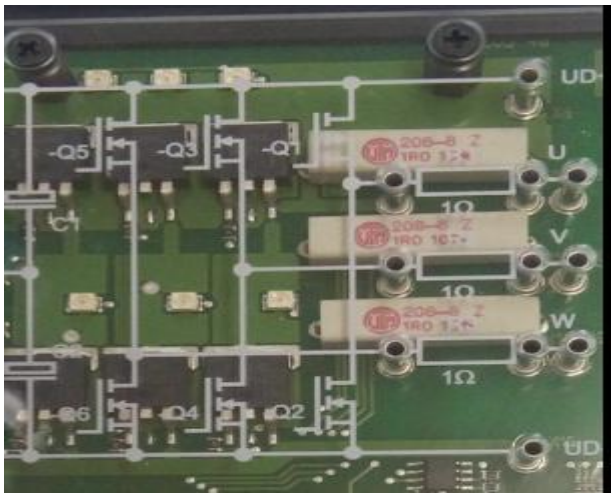
Slika 4.30. *Shema istosmjernog pretvarača sa vodljivim ventilom V1*

Kada se promotre naponi upravljivih ventila, vidljivo je da sadrže jednaku upravljačku karakteristiku:

$$u_v = E - u_d(0)$$

što govori da će dobiveni valni oblici biti jednaki bez obzira koji ventil je upravljiv, pa će i režimi rada istosmjernog pretvarača biti jednaki za obje topologije.

Jedina promjena je na eksperimentalnoj kartici koja sadrži 6 MOSET-a (slika 2.3.), a koja je uvećana ladi lakše predodžbe(slika 4.31.). Pomoću te kartice se odabire način spajanja sheme, odnosno odlučuje koji će ventil biti upravljiv.



Slika 4.31. *Eksperimentalna kartica sa 6 MOSFET-a*

Na eksperimentalnoj kartici ovisno koji je ventil upravljiv zasvjetli LED dioda crvenom bojom. U prvoj topologiji se koristi upravljivi ventil V1 u gornjoj grani, pa se načinom spajanja za takav slučaj prikazan slikom 4.32., upalila gornja LED dioda i označila da je vodljiva gornja grana, odnosno upravljiv gornji MOSFET. U drugoj topologiji se koristi upravljivi ventil V2, pa je na kartici u donjoj grani zasvijetlila LED dioda i označila da je vodljiv baš taj MOSFET(slika 4.33.). Način spajanja upravljivih ventila prikazan je spajanjem crnih vodića na karticama na obje slike.



Slika 4.32. *Upravljivi MOSFET u gornjoj vodljivoj grani*



Slika 4.33.*, Upravljivi MOSFET u donjoj vodljivoj grani*

4.2.1. Utjecaj faktora vođenja na valne oblike istosmjernog pretvarača napona pri najmanjoj vremenskoj konstanti

U ovoj vježbi prikazati će se kako faktor vođenja utječe na valne oblike istosmjernog pretvarača pri vremenskoj konstanti $\tau_{d1}=\frac{L}{3R}$. Kako se obavljaju mjerenja, može se doći do zaključka da nema razlike u rezultatima, odnosno valnim oblicima kako se promjenila grana vođenja.

Parametri su i dalje jednaki kao u prošlom poglavlju:

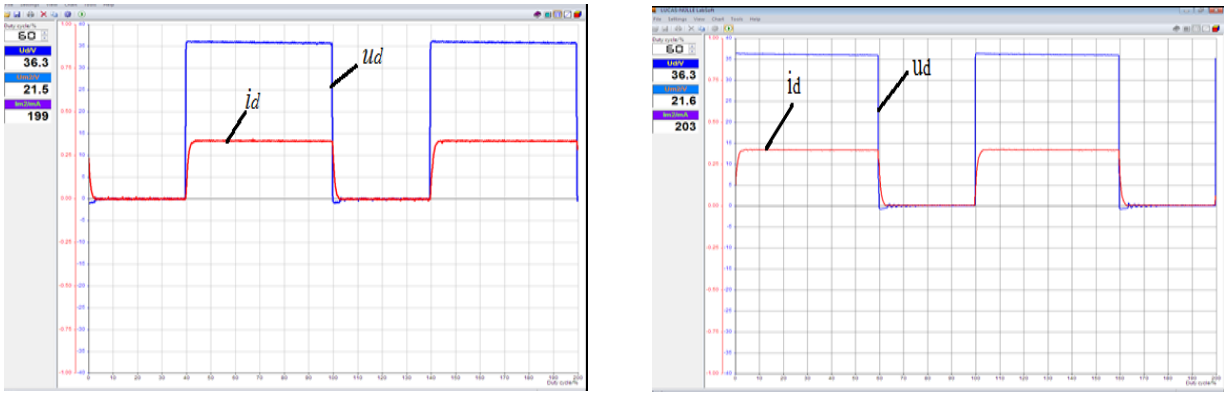
$$\tau_{d1} = \frac{L}{3R} = 61 \text{ us}$$

a) f_{sa} =244 Hz T_{sa}= 4 ms

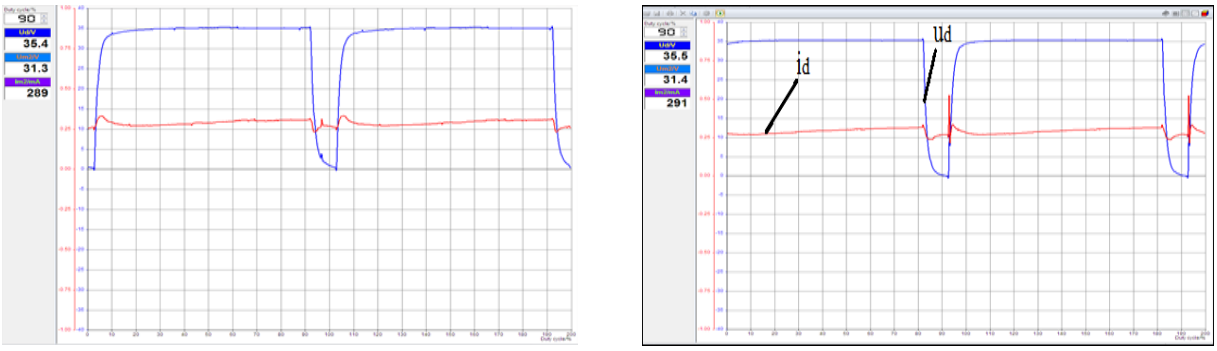
b) f_{sb} =1953 Hz T_{sb}= 512 us

c) f_{sc} =15625 Hz T_{sc}= 64 us

Kako je već spomenuto, nema nikakve razlike u valnim oblicima, što će se prikazati i dokazati slikama 4.35. i 4.36. Slika 4.35. prikazuje valne oblike struje i napona jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktor vođenja od 60% pri frekvenciji od 244 Hz, gdje se vidi diskontinuirani način rada istosmjernog pretvarača. Na desnoj strani slike se ubacio i slučaj sa slike 4.6.b) da se vidi kako nema razlike između topologija. Slika 4.36. prikazuje valne oblike struje i napona jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktor vođenja od 90 % pri frekvenciji od 15625 Hz, gdje se vidi kontinuirani način rada istosmjernog pretvarača. I kod ove slike se radi usporedbe ubacio slučaj sa slike 4.9.c).



Slika 4.35. *Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja* α =60% pri frekvenciji 244 Hz



Slika 4.36. *Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja* α=90% pri frekvenciji 15625 Hz

Iz prikazanih slika i vrijednosti na njima, može se zaključiti da su valni oblici jednaki u obje topologije, te da promjena vodljivog MOSFET-a ne utječe na njihov izgled.

4.2.2. Utjecaj faktora vođenja na valne oblike istosmjernog pretvarača napona pri najvećoj vremenskoj konstanti

U ovoj vježbi prikazati će se kako faktor vođenja utječe na valne oblike istosmjernog pretvarača pri vremenskoj konstanti $\tau_{d2} = \frac{3L}{R}$. Kako se obavljaju mjerenja, može se doći do zaključka da nema razlike u rezultatima, odnosno valnim oblicima kako se promjenila grana vođenja.

Parametri su i dalje jednaki kao u prošlom poglavlju.

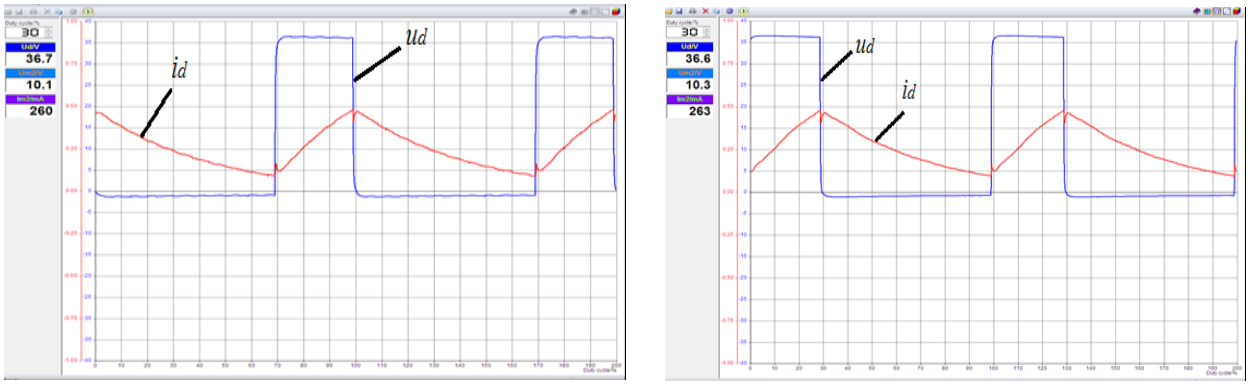
τ_{d2}= 550 us

a) f_{sa}=244 Hz T_{sa} = 4 ms

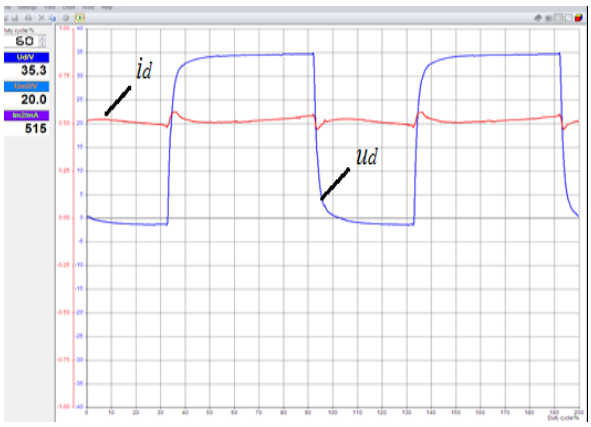
b) f_{sb}=1953 Hz T_{sb}= 512 us

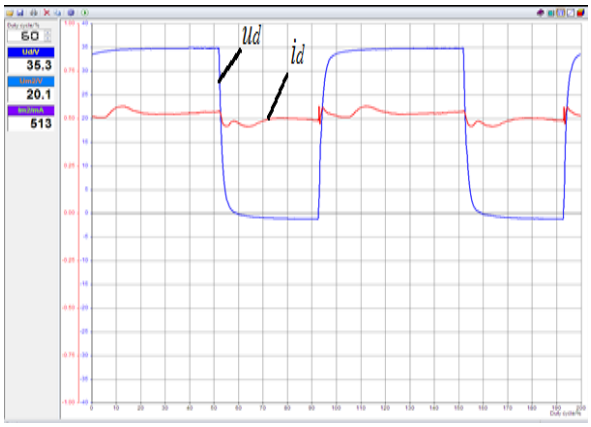
c) f_{sc}=15625 Hz T_{sc}= 64 us

Da nema nikakve razlike u valnim oblicima, prikazati će se i dokazati slikama 4.37. i 4.38. Slika 4.37. prikazuje valne oblike struje i napona jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktor vođenja od 30% pri frekvenciji od 1953 Hz, gdje se vidi kontinuirani način rada istosmjernog pretvarača. Na desnoj strani slike se ubacio i slučaj sa slike 4.5.b) da se vidi kako nema razlike između topologija Slika 4.38. prikazuje valne oblike struje i napona jednokvadrantnog istosmjernoga pretvarača za faktor vođenja od 60 % pri frekvenciji od 15625 Hz, gdje se također vidi kontinuirani način rada istosmjernog pretvarača. I kod druge slike je ubačen radi usporedbe slučaj sa slike 4.



Slika 4.37. *Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja* α =30% pri frekvenciji 1953 Hz





Slika 4.38. *Valni oblici struje i napona trošila za faktor vođenja* α=60% pri frekvenciji 15625 Hz

I u ovoj vježbi se iz prikazanih slika i vrijednosti na njima može zaključiti da su valni oblici jednaki u obje topologije, te da promjena vodljivog MOSFET-a ne utječe na njihov izgled.

5. ZAKLJUČAK

Lucas Nuelle je didaktičko-multimedijalna oprema za odrađivanje laboratorijskih vježbi iz područja elektrotehnike. Oprema pruža mogućnosti izvođenja laboratorijskih vježbi iz područja energetske elektronike uz računalnu podršku. Korištene pretvaračke komponente su dale rezultate koji se slažu sa teorijskim znanjima stečenim na predavanjima iz kolegija energetske elektronike.Vježbe su osmišljene na način da studenti samostalno prolaze kroz vježbu, spajajući zadanu shemu, te da pritom koriste pripadajuće mjerne instrumente. Uz zadatke koje moraju rješavati, postavljaju im se kroz vježbu pitanja na koja moraju dati odgovor, pa tako studenti, osim što spajaju vodiče s opremom, moraju razmišljati kako ta oprema funkcionira, kao i koji je smisao njihove vježbe.

Istosmjerni pretvarači su uređaji koji se ugrđuju između istosmjernog izvora i istosmjernog trošila da bi se srednja vrijednost napona kontinuirano mijenjala, odnosno da i izvor napajanja nekog trošila bude upravljiv. Može se nalaziti u dva režima rada: kontinuiranom i diskontinuiranom. Kroz rad je prikazano da režim rada ovisi o odnosu vremenske konstante $\tau_{d\,i}$ sklopne periode T_s. Odnosi za određivanje režima rada istosmjernog pretvarača:

$\tau_d >> T_S$ - kontinuirani režim rada istosmjernog pretvarača, struja male valovitosti

$\tau_d \approx T_S$ - istosmjerni pretvarač se može nalaziti u oba režima rada, a struja trošila nije valovita

$\tau_d << T_S$- diskontinurani režim rada istosmjernoga pretvarača, u ovisnosti o odnosu vremenske konstante i sklopne periode može se odrediti i granica između kontinuiranog i diskontinuiranog režima rada.

Kroz rad su prikazane dvije topologije,ovisne o tome u kojoj grani je MOSFET upravljiv. Odrađujući vježbe može se vidjeti i zaključiti kako su dobiveni valni oblici jednaki kroz obje topologije, te da promjena grane u kojoj je MOSFET upravljiv ne utječe na izgled valnih oblika mjenjajući parametre kao što su: frekvencija, sklopna perioda, faktor vođenja.

LITERATURA

[1] www.lucas-nuelle.com

[2] Ivan Flegar, *Elektronički i energetski pretvarači*, Zagreb, 2010.

SAŽETAK

U ovom diplomskom radu opisana je didaktičko-multimedijalna oprema Lucas Nuelle, koja se u laboratoriju koristi u svrhu odrađivanja vježbi iz energetske elektronike. Oprema proizvođača Lucas Nuelle se sastoji od sučelja UniTrain-I sa pripadajućim eksperimentatorima, seta eksperimentalnih kartica i računalnog programa LabSoft. U programu LabSoft objašnjeno je kako dobiti valne oblike struje i napona istosmjernog pretvarača. Nakon opisane opreme, opisana je analiza rada istosmjernog pretvarača. Istosmjerni pretvarač se može nalaziti u dva režima rada: kontinuiranom i diskontinuiranom. Jednokvadrantni silazni pretvarač se nalazi u kontinuiranom režimu rada ako struja kroz zavojnicu ne padne na nulu tokom periode. Ako struja kroz zavojnicu tokom periode padne na nulu, silazni pretvarač se nalazi u diskontinuiranom režimu rada. U kojem režimu rada se nalazi jednokvadrantni silazni pretvarač ovisi o odnosu između vremenske konstante τ_d i sklopne periode T_s. U prvom djelu vježbe se MOSFET nalazio u gornjoj vodljivoj grani. Prikazani su preko vremenskog dijagrama valni oblici struje i napona trošila, preko osciloskopa valni oblici napona zavojnice i napona otpornika, te preko digitalnog osciloskopa naponi na ventilima. Vježba se ponovila u drugom djelu, kada se MOSFET nalazio u donjoj vodljivoj grani.

Ključne riječi: istosmjerni pretvarač, jednokvadrantni silazni pretvarač, sklopna perioda, vremenska konstanta, frekvencija, faktor vođenja, LabSoft, Lucas Nuelle, kontinuirani režim rada, diskontinuirani režim rada.

ABSTRACT

In this graduate thesis are described a didactic and multimedia equipment Lucas Nuelle, which is used in laboratory for the purpose of doing practice in the field of energy electronics. Equipment of the manufacturer Lucas Nuelle is made of *UniTrain-I* interface with the belonging experimenters, a set of experimental cards and a *LabSoft* computer program. In the *LabSoft* computer program it is explained how to produce wave shaped current and voltage of the DC converter. After described equipment, the analysis of DC converter and buck converter is described. The buck converter can operate in two modes: continuous and discontinuous. A buck converter operates in continuous mode if the current through the inductor never falls to zero during the period. If the current through the inductor falls zo zero during the period, the buck converter operates in discontinuous mode. In which mode buck convertor will operate depends of the relation between time constant and switching period. In the first part of the exercise the MOSFET was in the high side of the scheme.The waveforms of current consumer and voltage consumer are shown through the time diagram, the waveforms of voltage inductor and waveform of voltage resistor are shown through osciloscope. The waveforms of voltage through MOSFETs are shown by digital osciloscope. The exercise was repeated in the second part when MOSFET was in the low side of the scheme.

TITLE: Charasteristics of the buck converter carried out by using Lucas Nuelle, didactic-multimedial equipment

key words: DC converter, buck converter, switching period, time constant, frequency, duty cycle, continuous mode, discontinuous mode

ŽIVOTOPIS

Tvrtko Cvetanić je rođen 05.10.1991. u Beničancima. Osnovnu školu upisao je 1998. godine koju je pohađao u područnoj školi u Beničancima, do četvrtog razreda, te ostatak osnovno školskog obrazovanja nastavlja u Magadenovcu. 2006 godine upisuje se u prvi razred srednje četverogodišnje škole Isidora Kršnjavoga u Našicama, smjer Tehničar za elektroniku. Godine 2009. završava četverogodišnje srednjoškolsko obrazovanje, te dobiva zvanje Tehničar za elektroniku. 2010. godine upisuje Stručni studij na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, smjer Elektroenergetika. Godine 2013 završava Stručni studij na Elektrotehničkom fakultetu u Osijeku, smjer Elektroenergetika. Iste godine nastavalja studij upisom na Razlikovnu godinu u svrhu upisivanja diplomskog studija na istoimenom fakultetu. Godine 2014 završava razlikovnu godinu na istoimenom fakultetu. Iste godine nastavlja studij upisom na Diplomski studij na istoimenom fakultetu.