

Električna vozila

Školska godina 2012/2013

Seminarski radovi, uputstvo i zadaci

Prof. Slobodan N. Vukosavić, MS Nikola Popov, D. Živanović, dipl. Inž.

Ovaj dokument je namenjen studentima Energetskog odseka koji prate predmet Električna vozila (OG4EV) u školskoj 2012/2013 godini i koji žele da rade semestralni rad iz oblasti pretvarača u električnim vozilima.

Ideja semestralnog rada je da se studenti upoznaju sa jednim od osnovnih računarskih alata koji se koristi prilikom proračuna i simulacije rada električnih podsklopova u okviru vozila, kao i samih energetske pretvarača. U pitanju je PSPICE, *PC Simulation Program with Integrated Circuit Emphasis*, razvijen originalno na Univerzitetu Berkli, integrisan u okviru programskog paketa OrCAD.

Teme koje se obrađuju vezane su za gradivo koje se predaje u okviru predmeta *Električna Vozila*. Zadaci uključuju vučne čopere, regulaciju vučne sile, trofazne tranzistorske vučne pretvarače, diodne lokomotive i tiristorske lokomotive. Modeli uključuju IGBT tranzistore snage kao i snažne diode i tiristore koje se koriste u lokomotivama.

Lakši zadaci se mogu raditi pojedinačno, dok se složeniji problemi rade u grupi. U zadacima su dati neophodni opis, električne šeme i karakteristične vrednosti i parametri. Prilikom preuzimanja zadatka za semestralni rad predmetni nastavnik ili asistent mogu izmeniti vrednost nekih parametara i uslova.

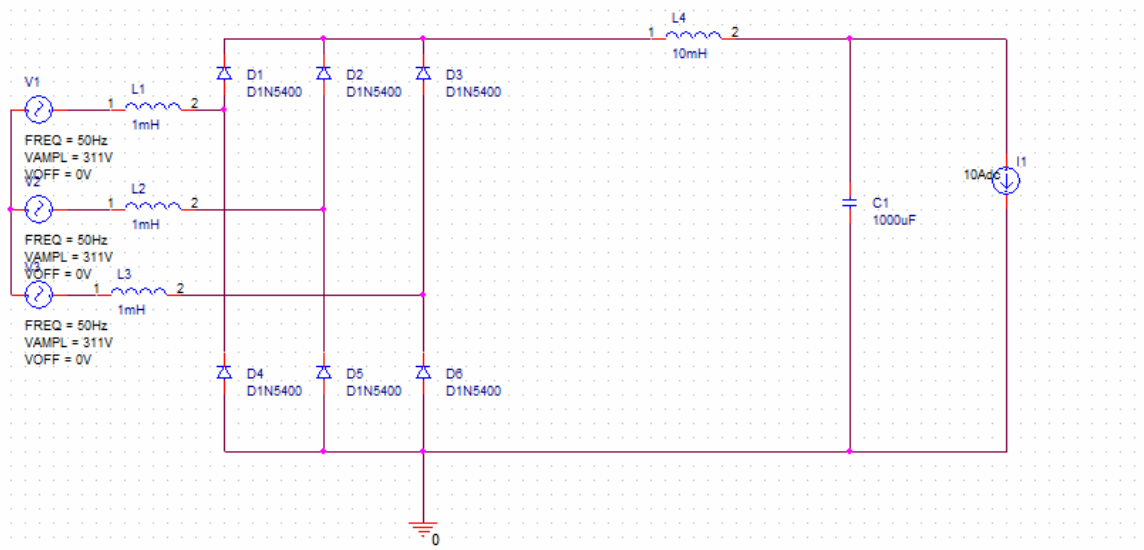
Za većinu zadataka postoje unapred načinjeni upotrebljivi modeli. Ovi modeli se koriste u radu sa manjim ili većim izmenama. U nekim zadacima možda će postojati potreba da se naprave određene izmene topologije i/ili parametara. Svaki od dostupnih modela se nalazi u arhivi skupa sa ovim uputstvom. U naslovu svakog zadatka postoji link za direktni pristup direktorijumu u kome se nalazi odgovarajući model.

Raspoložive teme za semestralni rad iz predmeta Električna vozila

1. Zadatak: Određivanje valovitosti napona kao i energije kondenzatora jednosmernog međukola

Na slici 1 je dat trofazni diodni ispravljač priključen na mrežu. Odrediti valovitost napona na kondenzatoru za vrednost induktivnosti $L4=10\text{ mH}$ i kapaciteta kondenzatora $C1=1000\text{ uF}$. Uporediti promenu napona na kondenzatoru i napona na izlazu diodnog ispravljača. Za vrednost $C1=1500\text{ uF}$ i 470 uF odrediti induktivnosti pri kojima se dobija približno ista valovitost napona na kondenzatoru kao za početni primer. Izračunati ukupnu energiju na kondenzatoru i prigušnici za sva tri primera. Koristiti program OrCad-Pspice.

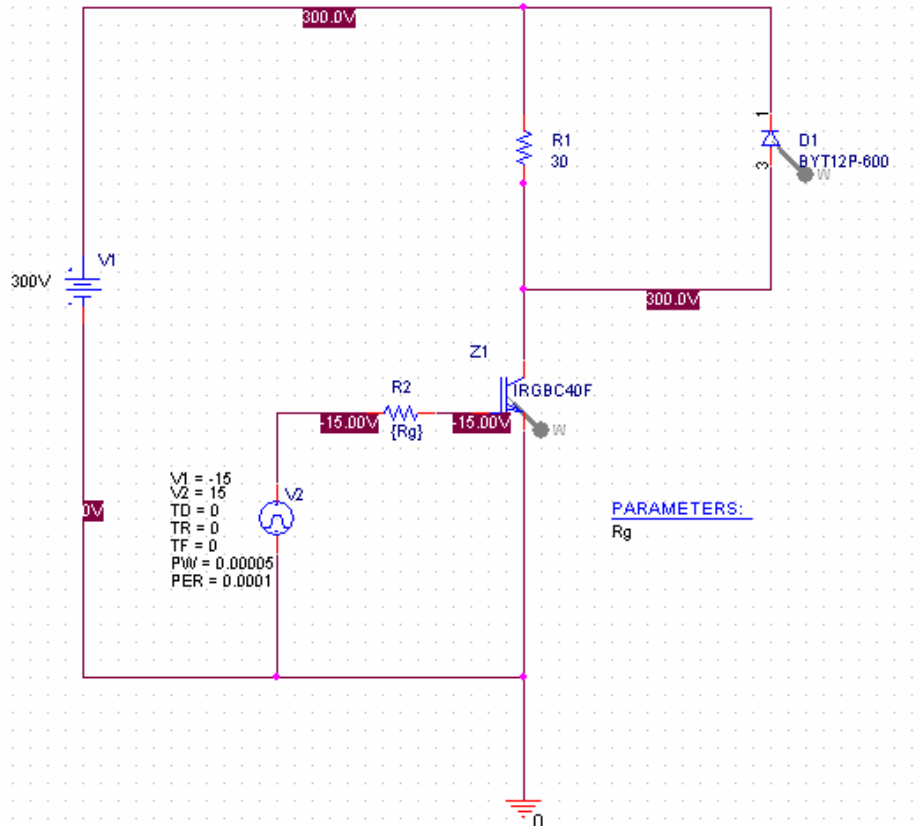
Šema u programu Pspice:



Slika 1 Zadatak 1

2. Zadatak: Određivanje snage gubitaka na diodi i tranzistoru varijacijom otpornika u gejtju tranzistora

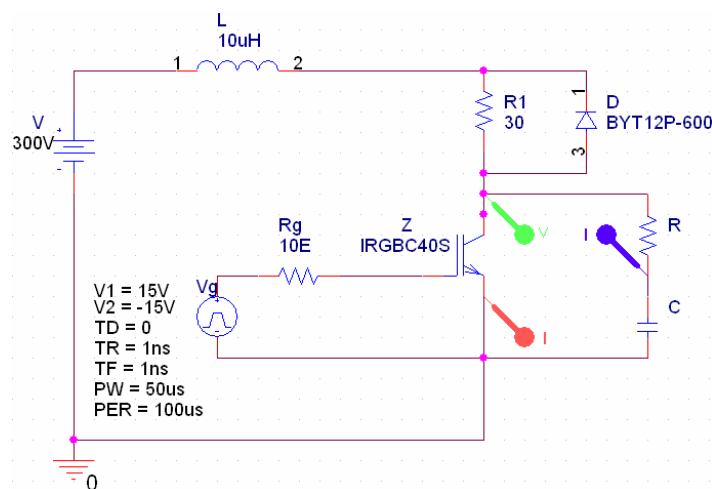
Za dato električno kolo na slici 2, odrediti otpornost u kolu gejtja pri kojoj zbir gubitaka u diodi i tranzistoru ima najmanju vrednost. Otpornost potražiti pomoću simulacija za nekoliko vrednosti u opsegu između 10Ω i 100Ω .



Slika 2 Zadatak 2

3. Zadatak: Projektovanje RC snubber-a (komutaciona zaštita)

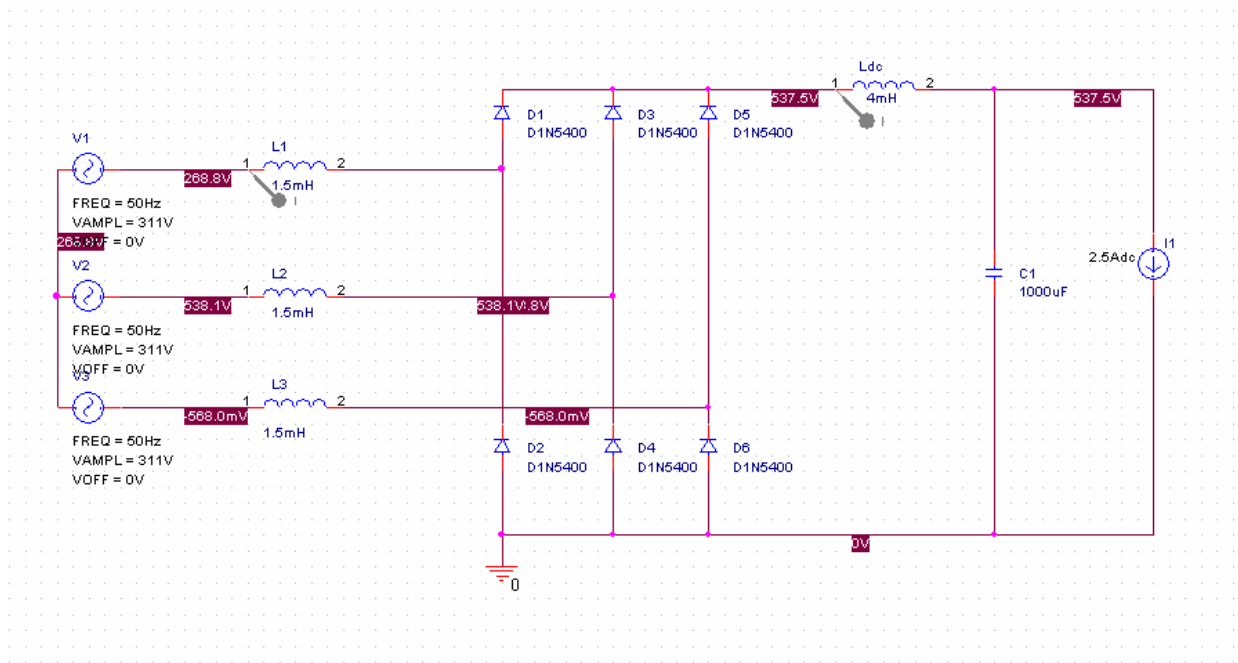
Projektovati RC zaštitu (odrediti R i C) koja će da obezbedi da prigušenje oscilacija napona tokom komutacija bude $\zeta > 0.5$, ali tako da kapacitivnost kondenzatora C bude što manja. Ciljane vrednosti potražiti korišćenjem sukcesivnih simulacija u programu PSPICE, za nekoliko planiranih vrednosti R i C.



Slika 3 Zadatak 3

5. Zadatak: Uticaj i odabir induktivnosti u jednosmernom međukolu i na ulazu u diodni ispravljač

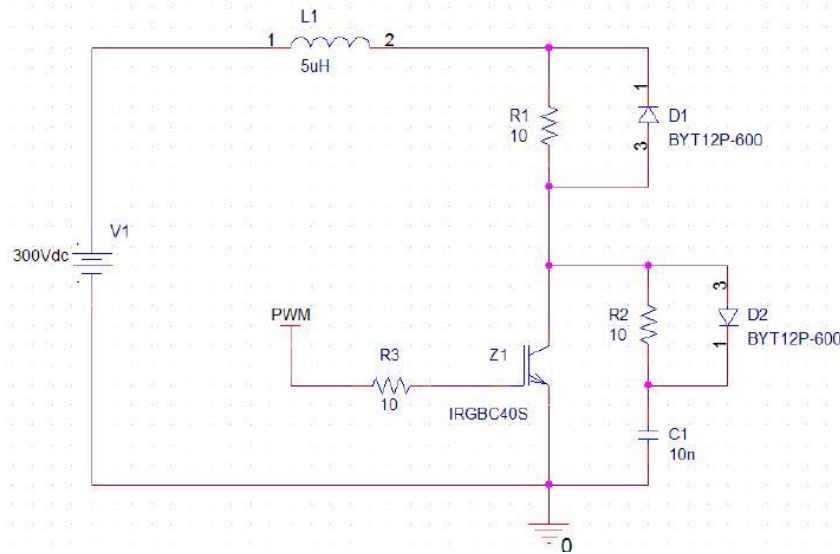
Analizirati rad trofaznog diodnog ispravljača i istražiti uticaj promene induktivnosti u jednosmernom međukolu kao i induktivnosti u naizmeničnom kolu. Diodni ispravljač je priključen na gradsku mrežu (220V, 50Hz). Pronaći optimalne vrednosti prigušnica koja obezbeđuju da vršna vrednost struje koja se uzima iz mreže bude minimalna, kao i da ukupna energija svih prigušnica (zbir $\frac{1}{2} L * I^2$) bude minimalna. Uslov koji mora biti zadovoljen je: $2L_{AC} + L_{DC} = const$ i jednak zbiru datih početnih vrednosti.



Slika 6

6. Zadatak: Projektovanje RC snubber-a (komutaciona zaštita)

Simulacijom ispitati R2-D2-C1 prenaponsku zaštitu na slici 7. Odrediti vrednosti R_2 i C_2 tako da prilikom isključenja tranzistora, odziv napona na kolektoru ima prigušenje $\zeta > 0.9$. Ciljane vrednosti potražiti korišćenjem sukcesivnih simulacija u programu PSPICE, za nekoliko planiranih vrednosti R i C. Od koristi je naći rešenje sa što manjim C2.



Slika 7

7. Zadatak:

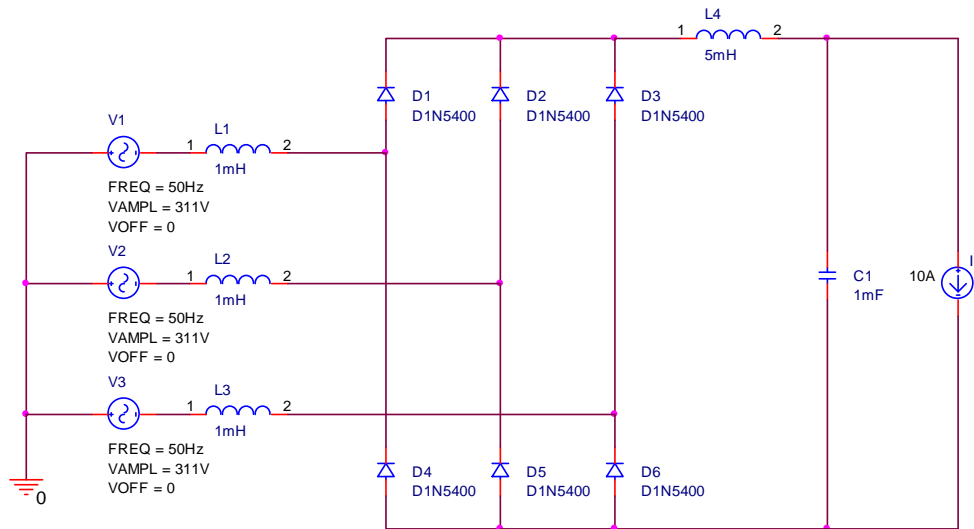
Formirati kolo trofaznog tranzistorskog invertora korišćenjem šema 4 i 5. Slika 5 opisuje takozvanu "regularnu" modulaciju sa sinusoidalnim nosiocem.

- (7A)^{***} Korišćenjem pomoćnih logičkih blokova i/ili skript-ova, načiniti blok koji generiše upravljačke impulse za space-vector širinsku modulaciju. Koraci u generisanju impulsa su (i) definisanje konstantne amplitude naponskog vektora (ii) Definisanje ugla napona koji raste i načini jedan pun krug tokom 20ms. (iii) Definirati "selektor" segmenta (1/6) i selektor dva aktivna naponska vektora. (iv) Izračunavanje vremena vođenja za svaki naponski vektor. (v) Određivanje nultog vektora tako da komutacioni gubici budu minimalni. (vi) Generisanje upravljačkih signala za gate-elektrode tranzistora uz uračunavanje mrtvog vremena. (vii) Simulacija i poređenje svih relevantnih napona i struja sa "regularnom" modulacijom.
- (7B) Modifikovati postojeću šemu za "regularnu" PWM modulaciju dodavanjem 16% trećeg harmonika tako da se ostvari uvećanje maksimalnog linijskog napona koji se može dobiti. Generisanje upravljačkih signala za gate-elektrode tranzistora uz uračunavanje mrtvog vremena je već prikazano na slici 5. Pokazati da je maksimalni napon zaista uvećan za 16%. Ispitivanjem pokazati da je optimalni iznos trećeg harmonika zaista 1/6. Simulacijom pokazati da je korisnost trećeg harmonika prisutna samo ako mu je faza korektno podešena.
- (7C) Modifikovati postojeću šemu za "regularnu" PWM modulaciju tako što se modulacioni signal za pojedine faze zameni *izmenjenim* signalom. Do analitičkog izraza za izmenjeni signal doći teorijskim razmatranjem i proučavanjem promene srednje vrednosti faznog napona kod space vector širinske modulacije. Kao rezultat, dobija se funkcija koja u jednom periodu od 20 ms im 6 različitih analitičkih izraza. Generisanje upravljačkih signala za gate-elektrode tranzistora uz uračunavanje mrtvog vremena je već

prikazano na slici 5. Pokazati da je maksimalni napon zaista uvećan za 16% i prikazati karakteristične oblike napona i struja.

8. Zadatak: Određivanje efektivne vrednosti struje u kondenzatoru i uticaj na 300Hz-nu komponentu dodavanjem prigučnice u jednosmerno međukolo

Odrediti efektivnu vrednost struje koja postoji u C1 (na DC strani trofaznog mostnog ispravljača sa slike 8). Odabrati induktivnosti prigušnica u DC kolu koje obezbeđuju da harmonijska komponenta struje C1 na 300Hz ne bude veća od 10% jačine struje opterećenja.

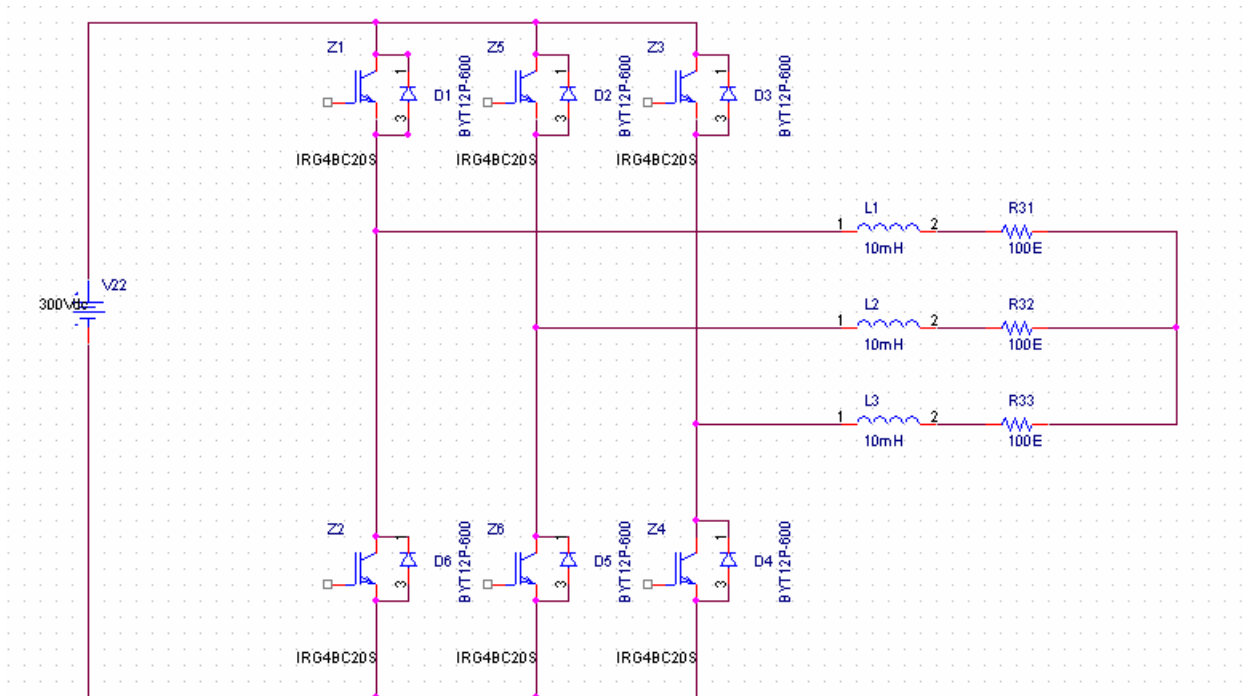


Slika 8 Zadatak 8

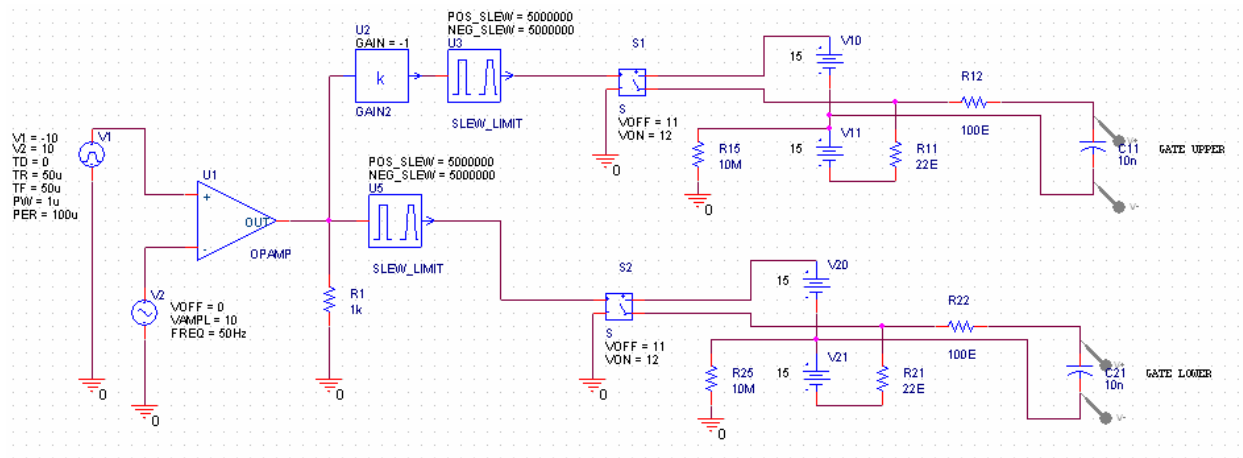
9. Zadatak:

Odrediti oblik napona na potrošaču i oblik struje izvora V22 u trofaznom tranzistorskom pretvaraču sa slike 4. Oblici se određuju u toku jednog perioda izlaznog napona, dakle tokom 20ms. Za konkretne modele tranzistora i dioda obratiti se predmetnom asistentu. U pogledu upravljačkog kola, koristiti priloženu šemu.

Odrediti efektivnu vrednost struje koja postoji u izvoru V22. Izdvojiti jednosmernu komponentu i odrediti potom efektivnu vrednost naizmenične komponente. Odrediti spektar i izdvojiti vrednosti za 5 harmonijskih komponenti sa najvećom amplitudom.



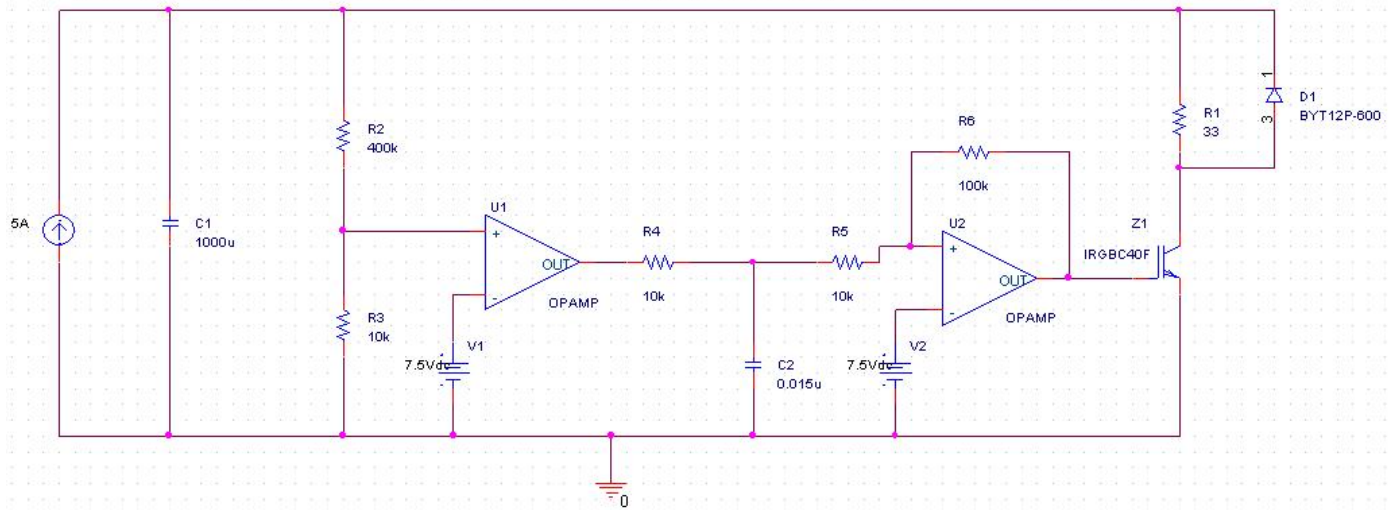
Slika 9 Zadatak 9



Slika 10 Zadatak9

10. Zadatak: Smanjivanje komutacione učestanosti tranzistora za kočenje

Projektovati RC član za filtriranje napona jednosmernog međukola u cilju smanjivanja komutacione učestanosti otpornika za kočenje na manje od 5kHz



11. Zadatak: Poređenje faznih i linijskih napona korišćenjem različitih tehnika modulacije

Formirati šemu za standardnu PWM modulaciju i šemu sa PWM modulacijom dodavanjem trećeg harmonika napona. Izvršiti poređenje dobijenih faznih i linijskih napona. Odrediti maksimalne vrednosti linijskih i faznih napona koje je moguće dobiti uz uslov da je napon jednosmernog međukola isti u oba slučaja. Za opterećenje izabrati trofazni RL teret (5Ω i 10mH).

12. Zadatak: Izvršiti poređenje rezultata simulacije dobijenih za analizu uključanja IGBT-a korišćenjem Matlab i PSPICE programskih paketa

Za šemu sa slike formirati simulaciju u Matlab i PSPICE paketima. Simulirati uključenje tranzistora za 3 različite vrednosti otpornika u gejtju R_g i izvršiti uporednu analizu rada programskih paketa.

13. Zadatak: Dvokvadrantni čoper, M-I karakteristika

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku rada dvokvadrantnog čopera i modelovanjem motora za jednosmernu struju kontra elektromotornom silom E , u 10 tačaka odrediti opseg promene indeksa modulacije u kome se ima neka zadata nominalna struja I_n i nacrtati M-I karakteristiku.

14. Zadatak: Dvokvadrantni čoper, stepen korisnog dejstva, komutacioni i kondukcioni gubici

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku rada dvokvadrantnog čopera i modelovanjem motora za jednosmernu struju kao kontra elektromotornu silu E , odrediti stepen korisnog dejstva i izdvojiti omutacione i kondukcione gubitke.

15. Zadatak: Dvokvadrantni čoper, srednja i efektivna struja izvora,

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku rada dvokvadrantnog čopera i modelovanjem motora za jednosmernu struju kao kontra elektromotornu silu E , u 10 tačaka za različite indekse modulacije odrediti valovitost struje, srednju i efektivnu vrednost struje izvora.

16. Zadatak: Četvorokvadrantni čoper, M-I karakteristika

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku rada dvokvadrantnog čopera i modelovanjem motora za jednosmernu struju kontra elektromotornom silom E , u 10 tačaka odrediti opseg promene indeksa modulacije u kome se ima neka zadata nominalna struja I_n i nacrtati M-I karakteristiku.

17. Zadatak: Dvokvadrantni čoper, stepen korisnog dejstva, komutacioni i kondukcioni gubici

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku rada dvokvadrantnog čopera i modelovanjem motora za jednosmernu struju kao kontra elektromotornu silu E , odrediti stepen korisnog dejstva i izdvojiti komutacione i kondukcione gubitke.

18. Zadatak: Dvokvadrantni čoper, srednja i efektivna struja izvora,

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku rada dvokvadrantnog čopera i modelovanjem motora za jednosmernu struju kao kontra elektromotornu silu E , u 10 tačaka za različite indekse modulacije odrediti valovitost struje, srednju i efektivnu vrednost struje izvora.

19. Zadatak: Tiristorska lokomotiva, određivanje ugla paljenja za nominalnu struju pri određenoj brzini

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku tiristorskih lokomotiva (u modelu su naponi napajanja i struje potrošača prikazane kao 10 puta manje) odrediti uglove paljenja za različite brzine lokomotive tako da lokomotiva razvija nominalni momenat. Za korišćenje modela dat je i kratak opis u okviru projekta (Tiristorska lokomotiva.docx).

20. Zadatak: Tiristorska lokomotiva, određivanje maksimalnog kočnog momenta u zavisnosti od brzine lokomotive

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku tiristorskih lokomotiva (u modelu su naponi napajanja i struje potrošača prikazane kao 10 puta manje) u zavisnosti od brzine lokomotive odrediti maksimalni kočioni momenat kojim se može ostvariti rekuperativno kočenje. Za korišćenje modela dat je i kratak opis u okviru projekta (Tiristorska lokomotiva.docx).

21. Zadatak: Tiristorska lokomotiva, određivanje reaktivne snage za različite režime rada lokomotive pri simetričnom i nesimetričnom okidanju tiristora

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku tiristorskih lokomotiva (u modelu su naponi napajanja i struje potrošača prikazane kao 10 puta manje) odrediti razliku reaktivnih snaga sa strane kontaktnog voda u slučaju kada se koristi simetrično i nesimetrično okidanje tiristora. Za korišćenje modela dat je i kratak opis u okviru projekta (Tiristorska lokomotiva.docx).

22. Zadatak: Tiristorska lokomotiva, poređenje P, S i Q na kontaktnom vodu za režim sa optimalnim i maksimalnim položajem graduatora.

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku tiristorskih lokomotiva (u modelu su naponi napajanja i struje potrošača prikazane kao 10 puta manje) odrediti razliku u P, Q i S sa strane kontaktnog voda u slučaju kada se koristi simetrično okidanje i (1) Optimalni odcep graduatora i (2) Maksimalni odcep graduatora.

23. Zadatak: Diodna lokomotiva, određivanje zavisnosti maksimalne brzine lokomotive i otcepa graduatora

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku diodnih lokomotiva (u modelu su naponi napajanja i struje potrošača prikazane kao 10 puta manje) nacrtati karakteristiku zavisnosti maksimalne brzine lokomotive od stepena otcepa graduatora. Za koeficijent $k_e \Phi \omega$ uzeti vrednost 9.55 Vs/rad. Za korišćenje modela dat je i kratak opis u okviru projekta (diodna lokomotiva.doc).

24. Zadatak: Diodna lokomotiva, određivanje raspodele struje između paralelno povezanih dioda.

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku diodnih lokomotiva (u modelu su naponi napajanja i struje potrošača prikazane kao 10 puta manje) i usvajajući $U_{AB} = 50\%$ i $I_{AB} = 50\%$, odrediti raspodelu struje između paralelno povezanih dioda u slučaju kada je razlika u temperaturi među njima 0, 25, 50 i 75 °C. Za korišćenje modela dat je i kratak opis u okviru projekta (diodna lokomotiva.doc).

25. Zadatak: Diodna lokomotiva, određivanje raspodele napona inverzne polarizacije struje između redno povezanih dioda.

Korišćenjem modela koji opisuje dinamiku diodnih lokomotiva (u modelu su naponi napajanja i struje potrošača prikazane kao 10 puta manje) i usvajajući $U_{AB} = 50\%$ i $I_{AB} = 50\%$, odrediti raspodelu napona između redno povezanih dioda u slučaju kada je razlika u temperaturi među njima 0, 25, 50 i 75 °C. Za korišćenje modela dat je i kratak opis u okviru projekta (diodna lokomotiva.doc).