

Prilagodnik napona za elektromotorne pogone

Turčinović, Marin

Undergraduate thesis / Završni rad

2023

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **Istrian University of applied sciences / Istarsko veleučilište - Università Istriana di scienze applicate**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:212:789081>

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

Download date / Datum preuzimanja: **2024-11-23**



image not found or type unknown

Repository / Repozitorij:

[Digital repository of Istrian University of applied sciences](#)



image not found or type unknown



Istarsko veleučilište
Università Istriana
di scienze applicate

Marin Turčinović

PRILAGODNIK NAPONA ZA ELEKTROMOTORNE POGONE

Završni rad

Pula, 2023.



Istarsko veleučilište
Università Istriana
di scienze applicate

Marin Turčinović

PRILAGODNIK NAPONA ZA ELEKTROMOTORNE POGONE

Završni rad

JMBAG: 0233008927, redoviti student

Studijski smjer: Preddiplomski stručni studij Mehatronike

Predmet: Elektromotorni pogoni

Mentor: Matej Kolarik, mag.ing.el, predavač

Pula, rujan 2023.

IZJAVA O SAMOSTALNOSTI IZRADE ZAVRŠNOG RADA

Ja Marin Turčinović, kandidat za prvostupnika Mehatronike izjavljujem da sam ovaj završni rad napisao samostalno, uz podršku mentora mag.ing.el, Mateja Kolarika, koristeći znanje stečeno tijekom studiranja te stručnu literaturu. Izjavljujem da niti jedan dio završnog rada nije napisan na nedozvoljen način; nije prepisan niti krši bilo čija autorska prava.

Student: *Marin Turčinović*

Potpis: _____

ZAHVALA

S puno poštovanja, zahvaljujem se svom mentoru mag.ing.el, Mateju Kolariku na pomoći kod odabira teme, stručnom vodstvu i podršci pri izradi ovog završnog rada. Zahvaljujem se također svim dosadašnjim predavačima te njihovim asistentima koji su mi prenijeli potrebno znanje i vještine bez kojih izrada ovog rada ne bi bila moguća. Zahvalnost iskazujem i cjelokupnom Istarskom veleučilištu te svim njihovim djelatnicima.

Naposlijetku, zahvaljujem se mojim roditeljima na vjeri u moj uspjeh i riječima ohrabrenja u ključnim trenucima.

SAŽETAK

Ovaj završni rad se bavi dizajnom i implementacijom prilagodnika napona temeljenog na DC/DC buck konverteru. Cilj istraživanja bio je prikazati mogućnost reguliranja brzine okretaja elektromotora promjenom napona napajanja. Uvodno, razmatra se važnost prilagodnika napona u elektrotehnici i potreba za takvim načinom upravljanja. Analizira se princip rada DC/DC buck konvertera koji predstavlja ključnu ulogu u izradi ovog završnog rada. Također, opisane su sve odabrane komponente koje odgovaraju potrebama rada s naglaskom na regulator napona (Integrated Circuit) kao i struktura upravljačkog sklopa. U nastavku predstavljen je postupak izrade buck (DC-DC/step-down) konvertera te provedba testova koji potvrđuju njegovu funkcionalnost. Konačni rezultati analiziraju se i utvrđuje se uspješnost prilagodnika napona u radu. Ovaj rad doprinosi razumijevanju primjene DC/DC pretvarača u kontekstu upravljanja elektromotorima te pruža temelj za daljnja istraživanja i unapređenje ovog tipa sustava.

ABSTRACT

This final thesis focuses on the design and implementation of a voltage regulator based on a DC/DC buck converter. The research's objective was to demonstrate the ability to control the speed of an electric motor by varying the supply voltage. It begins by discussing the importance of voltage regulators in electrical engineering and the need for such a control method. The operation principle of the DC/DC buck converter, which plays a pivotal role in the completion of this thesis, is analyzed. Furthermore, all selected components that meet the operational requirements are described, with a particular emphasis on the voltage regulator (Integrated Circuit) and the control circuit's structure. Subsequently, the process of constructing the buck (DC-DC/step-down) converter is presented, along with the execution of tests confirming its functionality. The final results are analyzed, and the success of the voltage regulator in operation is determined. This work contributes to understanding the application of DC/DC converters in the context of motor control and provides a foundation for further research and improvement of this type of system.

KLJUČNE RIJEČI

Prilagodnik napona; elektomotor; DC/DC buck konverter; napon; elektrotehnika.

KEYWORDS

Voltage regulator; electric motor; DC/DC buck converter; voltage; electrical engineering.

Popis korištenih kratica

DC - Istosmjerna struja (Direct Current)

AC - Izmjenična struja (Alternating Current)

DC motor - Motor za istosmjernu struju

AC motor - Motor za izmjenične struje

PWM - Pulsno-širinska modulacija (Pulse-Width Modulation)

IC - Integrirani krug (Integrated Circuit)

AC/DC - Izmjenična struja prema istosmjernoj struji

DC/DC - Istosmjerna struja prema istosmjernoj struji

V - Volt (jedinica za mjerenje napona)

A - Amper (jedinica za mjerenje struje)

Hz - Hertz (jedinica za mjerenje frekvencije)

W - Vat (jedinica za mjerenje snage)

MOSFET - Metal-Oxide-Semiconductor Field-Effect Transistor

SMPS - Izvor napajanja sa sklopkom (Switched-Mode Power Supply)

SADRŽAJ

1. UVOD.....	1
2. REGULATOR NAPONA.....	2
2.1. DC regulatori napona	3
2.1.1. Linearni regulatori	3
2.1.2. Regulatori sa sklopkom.....	4
2.1.3. Usporedba linearnih i regulatora sa sklopkom	5
3. DC-DC PRETVARAČ	6
3.1. Povijest razvoja pretvarača.....	6
3.2. Primjena pretvarača	6
3.3. Elektronička pretvorba	7
3.4. Step-down (buck) pretvarač	10
4. KOMPONENTE PRILAGODNIKA NAPONA	13
4.1. Kondenzator	13
4.1.1. Osnovni koncepti.....	13
4.1.2. Pohranjivanje i filtriranje	13
4.1.3. Proračun kondenzatora u buck prilagodniku	13
4.1.4. Ključna uloga kondenzatora	14
4.2. Zavojnica	15
4.2.1. Osnovne značajke i princip rada	15
4.2.2. Uloga zavojnice u buck pretvaračima	15
4.2.3. Proračun zavojnice u buck pretvaraču	15
4.3. Dioda	16
4.3.1. Osnovne značajke i princip rada	17
4.3.2. Uloga diode u električnim sklopovima.....	17
4.3.3. Proračun diode u električkim sklopovima.....	17
4.4. Lm2576 - regulator napona	18
4.4.1. Napredne značajke integriranog kruga LM2576.....	18
4.4.2. Tehnička složenost i princip rada.....	18
4.4.3. Raznovrsne primjene integriranog kruga LM2576.....	18
4.4.4. Praktična primjena i proračun	19
4.5. Potencijometar.....	20
4.5.1. Osnovne značajke i princip rada	21
4.5.2. Uloga potencijometra u buck prilagodnicima.....	21
4.5.3. Proračun s potencijometrom u buck prilagodnicima.....	21

4.6. Otpornik	22
4.6.1. Osnovni principi i raznolike primjene otpornika	22
4.6.2. Uloga otpornika u buck prilagodnicima	22
4.6.3. Proračun s otpornikom u buck prilagodnicima	23
4.7. SIEMENS SIMATIC S7 6ES7 307-1EA00-0AA0.....	23
5. IZRADA MODELA	25
5.1. Popis komponenti.....	25
5.1.1. DC MOTOR.....	25
5.1.2. Ventilator.....	25
5.1.2. LM2576T-ADJ - REGULATOR NAPONA.....	26
5.1.3. SIEMENS SIMATIC S7 6ES7 307-1EA00-0AA0.....	28
5.1.4. KONDENZATOR 1	28
5.1.5. KONDENZATOR 2	29
5.1.6. ZAVOJNICA	30
5.1.7. DIODA - 1N5822	30
5.1.8. POTENCIOMETAR	31
5.1.9. OTPORNIK.....	32
5.1.10. DIGITALNI VOLTMETAR I AMPERMETAR	32
5.1.11. PLOČICA BUŠENI VETRONIT 80x100	33
5.1.12. REDNE STEZALJKE 2 PINA.....	34
5.2. Shema spajanja.....	34
5.3. Odabir komponenti	35
5.4. Spajanje komponenti.....	36
6. REZULTATI	40
7. ZAKLJUČAK	47
LITERATURA.....	48
POPIS SLIKA	49
POPIS TABLICA.....	50

1. UVOD

U današnjem vremenu, gdje svjedočimo ubrzanom industrijskom i tehnološkom napretku, razvoj novih prilagodljivih sustava upravljanja postaje neophodan kako bismo iskoristili potencijal ovog napretka u punoj mjeri. U srcu mnogih uređaja i sustava elektromotori igraju ključnu ulogu omogućujući pretvorbu električne energije u mehanički rad. Oni su nezamjenjivi dio različitih industrija bilo da se radi o proizvodnji, transportu, robotici ili bilo kojoj drugoj sferi modernog života.

Kako bismo razumjeli ulogu prilagodljivih sustava upravljanja u suvremenim elektromotorima, prvo moramo razmotriti osnovne vrste elektromotora koje često susrećemo u različitim aplikacijama. Osnovno razlikovanje je između motora za istosmjernu struju (DC motori) i motora za izmjenične struje (AC motori). Svaka od ovih vrsta motora ima svoje specifične karakteristike i prednosti, ali i ograničenja.

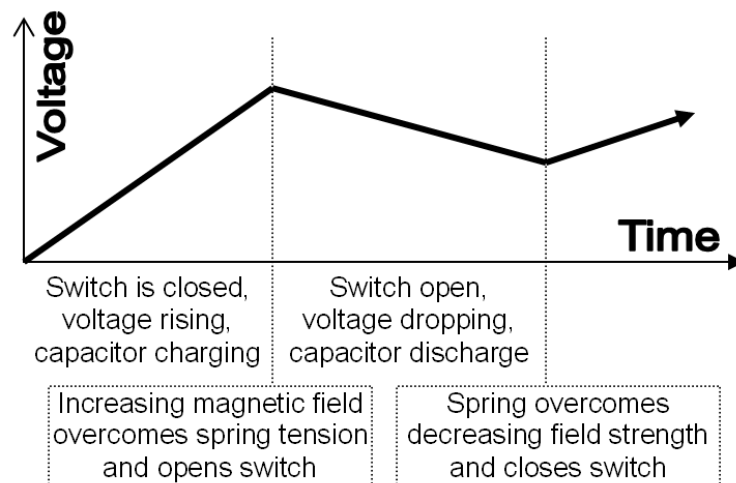
Bitno je napomenuti da upravljanje brzinom elektromotora igra ključnu ulogu u postizanju preciznosti procesa, osiguravanju optimalne funkcionalnosti određenih aplikacija i povećanju energetske učinkovitosti. U tom kontekstu, prilagodnici napona, ili DC/DC pretvarači, postaju nezamjenjiv alat. Njihova sposobnost prilagodbe napona omogućuje nam optimizaciju rada elektromotora u različitim uvjetima i za različite svrhe.

U ovom radu istražiti ćemo dublje ulogu prilagodnika napona u upravljanju elektromotorima i njihovu ključnu ulogu u postizanju željenih performansi. Razmotriti ćemo različite topologije i primjene DC/DC pretvarača u kontekstu elektromotora te istražiti kako ovi sustavi doprinose poboljšanju preciznosti, učinkovitosti i funkcionalnosti elektromotornih aplikacija.

2. REGULATOR NAPONA

Regulator napona je inovativan sustav dizajniran za održavanje konstantne razine napona. Funkcionalnost regulatora postiže se primjenom jednostavnog feed-forward pristupa ili integracijom negativne povratne informacije. Ovisno o dizajnu, regulacija se može temeljiti na elektromehaničkim principima ili se ostvaruje putem različitih elektroničkih komponenti. Regulatori napona imaju širok spektar primjena, uključujući regulaciju jednog ili više izmjeničnih (AC) ili istosmjernih (DC) napona.

U području elektronike, elektronički regulatori napona su ključni za stabilizaciju napona isporučenih procesoru i drugim komponentama u uređajima poput napajanja računalnih sustava. Također preuzimaju kontrolu nad izlaznom energijom u automobilskim alternatorima i generatorima centralnih elektrana. U kontekstu distribucije električne energije, regulatori napona mogu biti instalirani u trafostanicama ili duž distribucijskih vodova, osiguravajući konstantan napon za sve potrošače, bez obzira na varijacije u potrošnji energije.



Slika 1: Grafikon izlaznog napona na vremenskoj skali

https://en.wikipedia.org/wiki/Voltage_regulator#/media/File:Simple_electromechanical_regulation.PNG

G)

2.1. DC regulatori napona

Mnogi izvori istosmjerne (DC) energije reguliraju napon putem serijskih ili shunt regulatora. Većina koristi shunt regulatore kao što su Zenerova dioda ili cijevni regulator napona za referentni napon. Ovi uređaji počinju provoditi struju kad napon dosegne određenu vrijednost i ostaju uključeni kako bi održali svoj terminalni napon na toj vrijednosti. Višak struje preusmjerava se prema zemlji, često putem otpornika niže vrijednosti kako bi se raspršila dodatna energija. Napajanje je konstruirano za isporučivanje maksimalne struje unutar sigurnih radnih mogućnosti shunt regulatora.

U slučaju potrebe za većom snagom, izlaz shunt regulatora koristi se samo za pružanje standardne referentne vrijednosti napona za elektronički uređaj, koji je poznat kao regulator napona. Ovaj uređaj je sposoban isporučiti znatno veće struje kad je to potrebno.

Aktivni regulatori koriste najmanje jednu aktivnu komponentu poput tranzistora ili operacijskog pojačala. Shunt regulatori su često pasivni i jednostavni, ali nisu uvijek efikasni jer ispuštaju višak struje koji nije dostupan opterećenju. Za isporuku veće snage koriste se složeniji krugovi. Općenito, aktivni regulatori mogu se podijeliti u nekoliko razreda, uključujući linearne serijske regulatore, regulatore sa sklopkom i SCR regulatore.

2.1.1. Linearni regulatori

Linearni regulatori temelje se na uređajima koji djeluju unutar svog linearnog područja, za razliku od regulatora sa sklopkom koji se oslanjaju na uređaje prisiljene na rad kao sklopke uključeno/isključeno. Linearni regulatori su podijeljeni u dvije osnovne vrste: serijski regulatori i shunt regulatori. U prošlosti, varijabilni otpor u linearnim regulatorima često se postizao pomoću jedne ili više elektronskih cijevi. Moderni dizajn, međutim, preferira uporabu jednog ili više tranzistora često integriranih u jedinstveni krug. Linearni regulatori često su manje efikasni od regulatora sa sklopkom izvora napajanja i nisu sposobni povećati ili inverzno regulirati ulazni napon, kao što to čine regulatori sa sklopkom. Svi linearni regulatori zahtijevaju viši ulazni napon od izlaznog. Kada se ulazni napon približi željenom izlaznom naponu, regulator će se "isključiti". Razlika između ulaznog i izlaznog

napona pri kojoj se to događa poznata je kao pad napona regulatora. Regulatori sa niskim padom napona (LDO – Low-dropout regulator) dopuštaju znatno niži ulazni napon, čime se smanjuje potrošnja energije u usporedbi s konvencionalnim linearnim regulatorima.

2.1.2. Regulatori sa sklopkom

Regulatori sa sklopkom su uređaji koji brzo uključuju i isključuju serijski uređaj. Ciklus uključivanja sklopke određuje koliko se naboja prenosi na opterećenje. Ovo se kontrolira sličnim mehanizmom povratne informacije kao u linearnim regulatorima. Značajna prednost regulatora sa sklopkom je gotovo zanemariva potrošnja energije jer je serijski element ili potpuno provodljiv ili isključen. To doprinosi visokoj efikasnosti takvih dizajna. Također, regulatori sa sklopkom mogu generirati izlazne napone koji su viši od ulaznih ili čak suprotnih polariteta, što nije moguće postići linearnim dizajnom.

U regulatorima sa sklopkom, tranzistor za prolazak djeluje kao "kontrolni prekidač" i radi u režimu zasićenja ili odsijecanja. Snaga se prenosi kroz tranzistor u diskretnim impulsima umjesto kontinuiranog protoka struje, što dovodi do visoke efikasnosti. Kada je tranzistor u režimu odsijecanja, nema struje i nema gubitka energije. S druge strane, kad je tranzistor u režimu zasićenja, preko njega prolazi zanemarivo niska napetost, a rasipanje snage je minimalno, što omogućuje maksimalnu struju opterećenju. U oba slučaja gubitak snage u tranzistoru je minimalan, dok se većina snage prenosi na opterećenje, čime se postiže izuzetna efikasnost izvora napajanja, koja se kreće između 70% i 90%.

Regulatori sa sklopkom se oslanjaju na modulaciju širine impulsa (PWM – Pulse-width modulation) kako bi kontrolirali prosječnu vrijednost izlaznog napona. Prosječna vrijednost ponavljajućeg sekvencijalnog impulsnog vala ovisi o površini ispod vala. Promjenom radnog ciklusa PWM-a, moguće je proporcionalno mijenjati izlazni napon.

Slično kao i linearni regulatori, regulatori sa sklopkom dostupni su kao integrirani krugovi. No za razliku od linearnih regulatora, ovi obično zahtijevaju prisustvo zavojnice kao elementa za pohranu energije.

2.1.3. Usporedba linearnih i regulatora sa sklopkom

Istosmjerni (DC) izvori energije mogu se jednostavno stvarati pomoću ispravljača, ali suočavaju se s problemima pri promjenama na ulazu ili opterećenju. Ovo je potaknulo razvoj linearnih regulatora u obliku serijskih ili shunt krugova. Linearni regulatori održavaju stabilan napon putem prilagodbe otpora kako bi kompenzirali promjene ulaznog napona. No ova metoda ima nisku učinkovitost, a regulatori su često nespremni za različite primjene. Zbog toga je razvijen izvor napajanja sa sklopkom (SMPS – Switched-mode power supply).

SMPS koristi visokofrekventni sklop s promjenjivim radnim ciklusom kako bi održao izlazni napon. Varijacije izlaznog napona uzrokovane sklopkom filtriraju se pomoću LC filtra. Koncept izvora napajanja sa sklopkom potječe iz vremena kada su se koristili ventili ili vakumske cijevi za generiranje visokonaponskog napajanja u automobilskim radijima. Na primjer, radio bi zahtijevao 150 V DC, što bi se generiralo iz standardnih 12 V DC napajanja automobila. Danas se SMPS primjenjuju u većini elektronike.

Izvori napajanja sa sklopkom su osnovni pretvarači istosmjernog napona. Ako je ulazna struja izmjenična (AC), prvo se ispravlja u istosmjerni napon. Stoga, ovisno o ulaznom naponu, SMPS može imati dva (DC-AC, AC-DC) ili tri (AC-DC, DC-AC, AC-DC) stupnja.

Oba tipa regulatora imaju svoje prednosti:

- Linearni regulatori najbolji su kad je potrebna niska razina izlazne buke (RFI),
- Linearni regulatori brzo reagiraju na promjene ulaznog i izlaznog napona,
- Pri niskim razinama snage, linearni regulatori su ekonomičniji i zauzimaju manje prostora na tiskanoj ploči,
- Regulatori sa sklopkom su idealni kad je efikasnost snage ključna, kao što je slučaj kod prijenosnih računala,
- Regulatori sa sklopkom su nužni kada je jedini izvor napajanja istosmjerni napon i treba postići veći izlazni napon,
- Na snazi iznad nekoliko vata, regulatori sa sklopkom postaju ekonomičniji, što je posebno vidljivo u smanjenju troškova za uklanjanje topline koja se generira.

3. DC-DC PRETVARAČ

DC/DC pretvarač ili DC/DC konverter je uređaj koji pretvara izvor istosmjernog napona (DC) iz jedne razine napona u drugu. Ovaj uređaj pripada kategoriji elektroničkih pretvarača snage i koristi se u različitim primjenama, od malih baterija do visokonaponskih prijenosa električne energije.

3.1. Povijest razvoja pretvarača

Povijest ovog uređaja seže prije razvoja poluvodičkih energetske komponente. U situacijama gdje je bilo potrebno pretvoriti napon iz izvora istosmjernog napona u viši napon, posebice u niskim snagama, koristila se pretvorba u izmjeničnu struju (AC) putem uređaja poput vibratora. Kasnije se koristio step-up transformator kako bi se postigao željeni napon, a potom se koristio ispravljач. Za primjene s većom snagom često se koristila motor-generator jedinica. Ova jedinica sastojala se od električnog motora koji je pokretao generator za proizvodnju potrebnog napona.

Uvođenje poluvodičkih energetske komponente i integriranih krugova omogućilo je ekonomski izvediva rješenja primjenom navedenih tehnika. Na primjer, prvo je napajanje DC strujom pretvoreno u visokofrekventnu AC struju, koja se zatim koristila kao ulaz za transformator. To je omogućilo manji, lakši i jeftiniji uređaj zbog visoke frekvencije. Transformacija je potom promijenila napon koji se ponovno ispravio natrag u DC.

Iako je bilo moguće postići niži napon od višeg pomoću linearnih regulatora ili čak otpornika, ti postupci su uzrokovali rasipanje energije kao toplinu.

3.2. Primjena pretvarača

DC/DC pretvarači su ključne komponente u mnogim prijenosnim elektroničkim uređajima kao što su mobilni telefoni i prijenosna računala, koja se često napajaju iz baterija. Ovi uređaji obično imaju različite potkomponente, svaka s vlastitim specifičnim zahtjevima za razinom napona koji može biti različit od napona koji se isporučuje iz baterije ili vanjskog izvora. Također, baterijski napon opada kako se baterija troši. U takvim situacijama DC/DC pretvarači dolaze do izražaja jer omogućuju povećanje napona s djelomično ispražnjene baterije, čime se štedi prostor i eliminira potreba za više baterija, kako bi se postigao isti učinak.

Većina DC/DC pretvarača također uključuje regulaciju izlaznog napona kako bi osigurali stabilan izlaz. Postoje određeni izuzeci, kao što su visoko učinkoviti pretvarači za LED svjetla, koji reguliraju struju koja prolazi kroz LED-ove, te jednostavne pumpice za punjenje koje udvostručuju ili utrostručuju izlazni napon.

Posebno treba istaknuti DC/DC pretvarače dizajnirane za maksimalno iskorištavanje energije u fotonaponskim sustavima i vjetroelektranama, koji se nazivaju optimizatori snage.

Kada govorimo o transformatorima koji se tradicionalno koriste za promjenu napona na frekvencijama mrežnog napona od 50-60 Hz, ti transformatori moraju biti veliki i teški za snage veće od nekoliko vata. Ovo čini njihovu primjenu skupom i podložnom gubicima energije u namotima i zavojnicama jezgara. S druge strane, DC/DC tehnike koje koriste transformatorske komponente djeluju na mnogo višim frekvencijama, što znači da su potrebne puno manje, lakše i ekonomičnije komponente. Stoga se ove tehnike primjenjuju čak i tamo gdje bi inače bio potreban transformator za promjenu napona na mrežnom naponu. Na primjer, u kućanskim elektroničkim uređajima, preferira se ispravljanje mrežnog napona u DC, nakon čega se primjenjuju tehnike prebacivanja za pretvaranje u visokofrekventnu AC na željenom naponu, da bi se zatim ponovno ispravio u DC. Ovaj složeni sklop je ekonomičniji i učinkovitiji od jednostavnog sklopa s transformatorom za mrežni napon iste izlazne snage.

3.3. Elektronička pretvorba

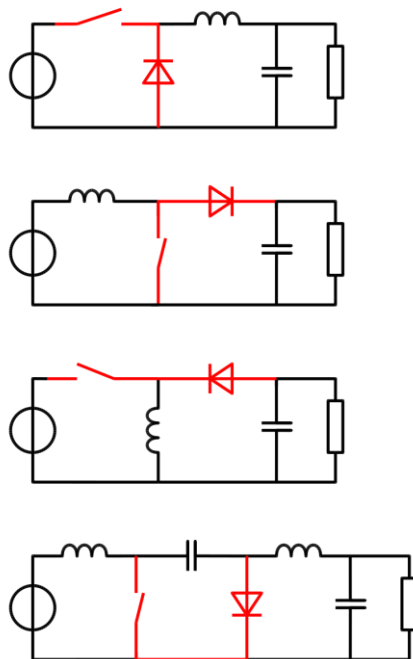
DC/DC pretvarači sa prebacivanjem predstavljaju ključnu komponentu u mnogim elektroničkim uređajima, posebno prijenosnim uređajima poput mobilnih telefona i prijenosnih računala, koja se često napajaju putem baterija. Ovi uređaji često zahtijevaju različite naponske razine koje se razlikuju od napona isporučenih iz baterija ili drugih izvora. Također, naponski nivo baterije opada s njezinim pražnjenjem. U tim situacijama, DC/DC pretvarači dolaze do izražaja jer privremeno pohranjuju ulaznu energiju i zatim je isporučuju na izlazu s drugom razinom napona, koja može biti viša ili niža. Ovo se postiže pomoću komponenata za pohranu magnetskog polja (zavojnice, transformatori) ili komponenata za pohranu električnog

polja (kondenzatori). Ovaj način pretvorbe omogućuje povećanje ili smanjenje napona, čime se postiže energetska učinkovitost (tipična učinkovitost je od 75% do 98%), za razliku od linearnog reguliranja napona koje gubi energiju kao toplinu.

Većina DC/DC pretvarača dizajnirana je za jednosmjerni prijenos energije od određenog ulaza do izlaza. Međutim, sve topologije preklopnih regulatora mogu se prilagoditi za dvosmjernu funkcionalnost i prijenos energije u oba smjera zamjenom svih dioda neovisno kontroliranim aktivnim ispravljanjem. Dvosmjerni pretvarači su korisni na primjer u aplikacijama koje zahtijevaju regenerativno kočenje vozila, gdje se energija isporučuje kotačima tijekom vožnje, ali se isporučuje iz kotača pri kočenju.

Mnogi DC/DC pretvarači dostupni su kao integrirani krugovi (IC-ovi) koji olakšavaju implementaciju u elektroničkim sklopovima. Ovi IC-ovi obično zahtijevaju minimalan broj dodatnih komponenata i nude stabilan izlazni napon neovisno o varijacijama ulaznog napona i opterećenju. Također su dostupni kompletni hibridni moduli DC/DC pretvarača koji su spremni za ugradnju u elektroničke sklopove. Ovi moduli često kombiniraju više komponenata u jednom pakiranju kako bi olakšali integraciju i smanjili potrebu za vanjskim komponentama.

Linearni regulatori obično se koriste za održavanje stabilnog izlaznog napona bez obzira na varijacije ulaznog napona i opterećenje. Iako se tehnički može opisati kao DC/DC pretvarač, to se obično ne koristi za taj izraz jer linearni regulatori efikasno rasipaju višak energije kao toplinu kako bi postigli stabilan izlazni napon. Obično su ograničeni u sposobnosti isporuke struje i često se koriste za male strujne primjene.



Slika 2: Različite topologije neizoliranih preklopnih DC/DC pretvarača (buck, boost, buck-boost i Ćuk) koriste se za različite namjene i omogućuju regulaciju izlaznog napona u odnosu na ulazni naponski izvor i opterećenje

(https://en.wikipedia.org/wiki/DC-to-DC_converter#/media/File:Commutation_cell_in_converters.svg)

Buck (Smanjenje):

Buck pretvarač smanjuje ulazni napon, čime se dobiva niži izlazni napon. Koristi se za opskrbu uređaja s nižim naponom od napona izvora, kao što su mobilni uređaji s litij-polimernim baterijama. Učinkovit je za smanjenje napona ali ne može povećati napon iznad ulaznog napona.

Boost (Povećanje):

Boost pretvarač povećava ulazni napon, čime se dobiva viši izlazni napon. Koristi se za napajanje uređaja s višim naponom od napona izvora, kao što su svjetlosne diode (LED) koje zahtijevaju viši napon od baterije. Povećava napon ali ne može smanjiti napon ispod ulaznog napona.

Buck-Boost (Smanjenje-Povećanje):

Buck-boost pretvarač može smanjiti ili povećati ulazni napon, ovisno o konfiguraciji, kako bi se postigao izlazni napon koji može biti niži ili viši od ulaznog napona. Koristi

se za uređaje s promjenjivim naponima, gdje izlazni napon prilagođava prema potrebi. Fleksibilniji u prilagodbi napona u usporedbi s čistim buck ili boost pretvaračem.

Ćuk:

Ćuk pretvarač je posebna topologija koja omogućuje promjenu izlaznog napona bez izolacije. Može smanjiti ili povećati napon ali također omogućuje inverziju polariteta napona. Koristi se u aplikacijama gdje je potrebna inverzija napona kao što su u sustavima za pohranu energije.

U ovim DC/DC pretvaračima, energija se periodično pohranjuje i oslobađa unutar magnetskog polja u zavojnicama ili transformatorima, obično u frekvencijskom rasponu od 300 kHz do 10 MHz. Prilagodbom radnog ciklusa napona punjenja (tj. omjera vremena uključenosti i isključenosti), količina energije koja se prenosi na opterećenje može se lako kontrolirati. Ova kontrola također se može primijeniti na ulaznu struju, izlaznu struju ili održavanje konstantne snage. Pretvarači koji se temelje na transformatorima omogućuju izolaciju između ulaza i izlaza. Općenito, izraz "DC/DC pretvarač" odnosi se na jedan od ovih preklopnih pretvarača. Ovi sklopovi čine srž preklopnog napajanja, a postoji mnogo različitih topologija dostupnih za njihovu implementaciju.

3.4. Step-down (buck) pretvarač

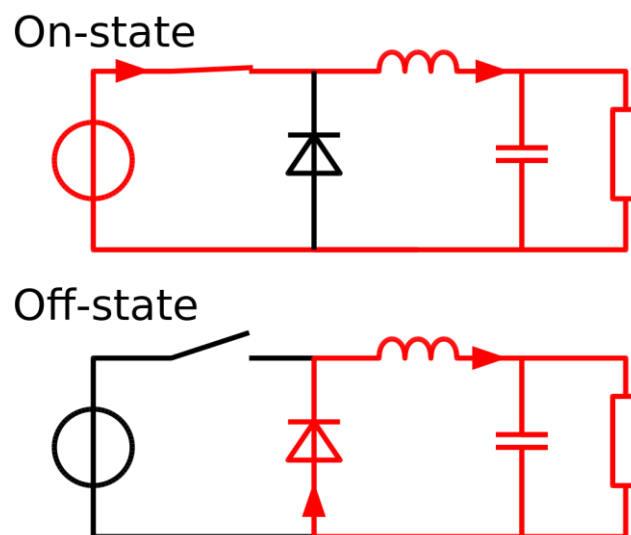
Buck pretvarač, poznat i kao pretvarač smanjenja napona, je tip DC/DC pretvarača koji smanjuje napon (dok istovremeno povećava struju) s ulaza (izvor) na izlaz (opterećenje). To je klasa napajanja sa sklopkom. Za razliku od linearnih regulatora, koji snižavaju napon trošeći energiju kao toplinu, pretvarači s prebacivanjem, kao što su buck pretvarači, pružaju znatno veću učinkovitost DC/DC pretvorbe.

Učinkovitost buck pretvarača može biti iznimno visoka, često preko 90%. Zbog toga su korisni za zadatke poput pretvaranja glavnog napona računala, obično 12 V, u niže napone potrebne za USB, DRAM i CPU, koji su obično 5 V, 3,3 V ili 1,8 V.

Buck pretvarači obično se sastoje od najmanje dva poluvodiča (dioda i tranzistora, iako se moderni buck pretvarači često oslanjaju na dva tranzistora za sinkrono ispravljanje) i najmanje jednog energetskog skladišnog elementa (kondenzatora, zavojnice ili njihove kombinacije). Da bi se smanjile oscilacije napona, filteri na bazi kondenzatora, često u kombinaciji sa zavojnicom dodaju se na izlaz i ulaz ovakvih pretvarača.

Ovi pretvarači obično rade u frekvencijskom rasponu prebacivanja od 100 kHz do nekoliko MHz. Veća frekvencija prebacivanja omogućuje upotrebu manjih zavojnica i kondenzatora, ali također povećava izgublenu učinkovitost zbog češćeg prebacivanja tranzistora.

Osnovno djelovanje buck pretvarača uključuje struju u zavojnici koju kontroliraju dva prekidača (kao što je prikazano na slici 3). Fizički, ovi prekidači se često ostvaruju pomoću tranzistora i dioda, ili u naprednijim implementacijama dvaju tranzistora, kako bi se izbjegli gubici povezani s padom napona na diodama.

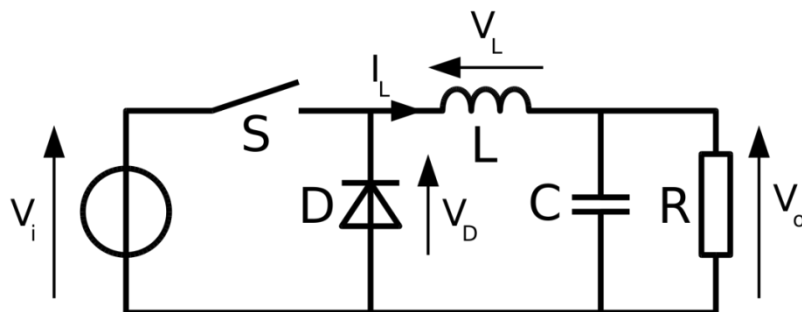


Slika 3: Dvije konfiguracije kruga buck pretvarača: uključeno stanje, kada je sklopka zatvorena; i isključeno stanje, kada je sklopka otvorena (strelice pokazuju smjer struje)
(https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter#/media/File:Buck_operating.svg)

Konceptualni model buck pretvarača najlakše se razumije kroz odnos između struje i napona u zavojnici. U trenutku kada je sklopka otvorena, struja u krugu je nula. Kad se sklopka prvi put zatvori (što označava uključeno stanje), struja počinje rasti, a zavojnica proizvodi suprotni napon preko svojih terminala kao odgovor na tu promjenjivu struju. Taj pad napona djeluje protiv napona izvora i stoga smanjuje ukupni napon na opterećenju. Tijekom vremena, stopa promjene struje se smanjuje, a napetost preko zavojnice također opada, što rezultira povećanjem napona na opterećenju. U ovom procesu, zavojnica pohranjuje energiju u obliku magnetskog polja.

Ako se sklopka otvori dok je struja još uvijek u promjeni, uvijek će postojati pad napona preko zavojnice, pa će ukupni napon na opterećenju uvijek biti manji od ulaznog napona izvora. Kad se sklopka ponovno otvori (isključeno stanje), izvor napona se izbacuje iz kruga, a struja počinje opadati. Ovaj pad struje uzrokuje pad napona preko zavojnice (suprotno od padanja u uključenom stanju), i zavojnica sada djeluje kao izvor struje. Pohranjena energija u magnetskom polju zavojnice podržava protok struje kroz opterećenje. Ta struja, koja teče dok je izvor ulaznog napona isključen, u kombinaciji s onom koja teče tijekom uključenog stanja, čini ukupnu struju većom od prosječne ulazne struje (koja je nula tijekom isključenog stanja).

Tijekom isključenog stanja, zavojnica oslobađa svoju pohranjenu energiju u preostali krug. Ako se sklopka ponovno zatvori prije nego što se zavojnica potpuno isprazni (uključeno stanje), napon na opterećenju uvijek će biti veći od nule.



Slika 4: Konvencije za imenovanje komponenata, napona i struje buck pretvarača (https://en.wikipedia.org/wiki/Buck_converter#/media/File:Buck_conventions.svg)

4. KOMPONENTE PRILAGODNIKA NAPONA

4.1. Kondenzator

Kondenzatori su ključni elementi u elektroničkim sklopovima i sustavima koji imaju široku primjenu u raznim industrijama. Ovi električni uređaji, sposobni za akumuliranje i otpuštanje električnog naboja, igraju značajnu ulogu u pohranjivanju energije, filtriranju signala i stabiliziranju napona. Njihova funkcionalnost i karakteristike bitno su prisutne u mnogim konfiguracijama, uključujući i buck pretvarače.

4.1.1. Osnovni koncepti

Kondenzator je pasivna električna komponenta s dvije električki provodljive ploče, poznate kao elektrode, koje su odvojene dielektričkim materijalom. Ova konstrukcija omogućava kondenzatoru pohranjivanje električnog naboja između elektroda. Kapacitet kondenzatora, izražen u faradima (F), označava koliko električnog naboja kondenzator može pohraniti pri određenom naponu. Osnovna jednadžba kondenzatora povezuje kapacitet, napon i pohranjenu električnu energiju.

4.1.2. Pohranjivanje i filtriranje

Tijekom faze isključenja, zavojnica pohranjuje energiju iz izvora, dok kondenzator oslobađa pohranjenu energiju kroz opterećenje tijekom faze uključenja. Ovo oslobađanje energije iz kondenzatora osigurava stabilan izlazni napon, filtrirajući promjene u naponu koje proizlaze iz prekidanja struje. Kondenzator također pomaže u održavanju niske razine šumova i oscilacija u izlaznom naponu.

4.1.3. Proračun kondenzatora u buck prilagodniku

Za odabir odgovarajućeg kondenzatora u buck pretvaraču, ključno je uzeti u obzir potrebnu kapacitivnost kako bi se osigurao stabilan izlazni napon. Proračun kapaciteta kondenzatora može se provesti koristeći osnovne jednadžbe kontinuiteta

struje i napona u fazi sklopke. Jednostavan proračun kapaciteta kondenzatora može se izvesti koristeći osnovne parametre pretvarača. Za filtriranje izlaznog napona u buck pretvaraču, kapacitet kondenzatora može se izračunati kao:

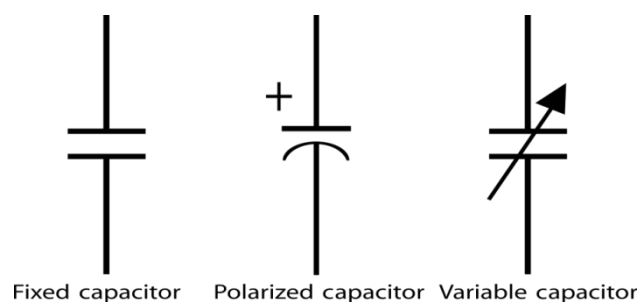
$$C = \frac{I_{out} \cdot (1 - D)}{f \cdot \Delta V}$$

gdje je:

- I_{out} izlazna struja prilagodnika
- D faktor radnog ciklusa (omjer vremena tijekom kojeg je prekidač zatvoren prema ukupnom vremenu ciklusa),
- f frekvencija prekidača
- ΔV dopuštena promjena napona na izlazu.

4.1.4. Ključna uloga kondenzatora

Kondenzator kao pohranjivač energije i filter ima ključnu ulogu u osiguravanju stabilnosti izlaznog napona u buck pretvaračima. Njegova sposobnost pohranjivanja i otpuštanja električne energije ključna je za održavanje kontinuiranog i stabilnog izlaznog napona, što je od velikog značaja za mnoge primjene, uključujući napajanje elektroničkih uređaja i sustava.



Slika 5: Elektronski simbol kondenzatora

(https://en.wikipedia.org/wiki/Capacitor#/media/File:Types_of_capacitor.svg)

4.2. Zavojnica

Zavojnica predstavlja ključnu komponentu u električnim sklopovima, čije karakteristike omogućuju transformaciju električnih signala i regulaciju struje. Njezina uloga u različitim aplikacijama čini je neizostavnom komponentom u elektronici, uključujući i buck prilagodnike.

4.2.1. Osnovne značajke i princip rada

Zavojnica je električna komponenta s namotanim vodičem oko jezgre. Kada struja prolazi kroz zavojnicu, generira se magnetno polje unutar nje, a time i inducira elektromotorna sila (EMF) prema Faradayevom zakonu elektromagnetne indukcije. Ova karakteristika omogućuje zavojnici da djeluje kao pohranjivač energije, otpuštajući je tijekom promjena struje.

4.2.2. Uloga zavojnice u buck pretvaračima

Buck pretvarači su ključni za transformaciju jednosmjernog napona na razini izvora u nižu razinu napona na izlazu. Zavojnica ima ključnu ulogu u ovom procesu, djelujući u kombinaciji sa sklopkom (često tranzistorom) i kondenzatorom. Tijekom faze uključivanja, zavojnica pohranjuje energiju iz izvora, a zatim ju otpušta kroz opterećenje tijekom faze prekida. To rezultira snižavanjem izlaznog napona.

4.2.3. Proračun zavojnice u buck pretvaraču

Prilikom projektiranja buck pretvarača, bitno je izračunati karakteristike zavojnice kako bi se postigao željeni izlazni napon i stabilnost. Primjerice, za izračun induktivnosti zavojnice, može se koristiti formula:

$$L = \frac{V_{in} \cdot (1 - D)}{f \cdot \Delta I_L}$$

gdje je:

- V_{in} ulazni napon
- D faktor radnog ciklusa (duty cycle)
- f frekvencija prekidača
- ΔI_L promjena struje kroz zavojnicu.

Zavojnica je ključna za stabilizaciju struje, filtriranje šuma i transformaciju signala u mnogim električnim sklopovima. Njezina uloga u buck prilagodnicima omogućava regulaciju napona na izlazu, te pretvaranje energije s visokog napona na niži. Stoga, razumijevanje principa rada zavojnice i pravilno projektiranje su od ključnog značaja za optimizaciju performansi električnih sustava.



Slika 6: Elektronski simbol zavojnice

(<https://pixabay.com/vectors/coil-circuit-symbol-electronics-146521/>)

4.3. Dioda

Dioda je jednostavna, ali ključna, elektronička komponenta koja ima važnu ulogu u kontroliranju struje u električnim sklopovima. Njezine karakteristike omogućuju prolazak struje samo u jednom smjeru, što ima različite primjene u ispravljanju struje, zaštiti sklopova i modulaciji signala.

4.3.1. Osnovne značajke i princip rada

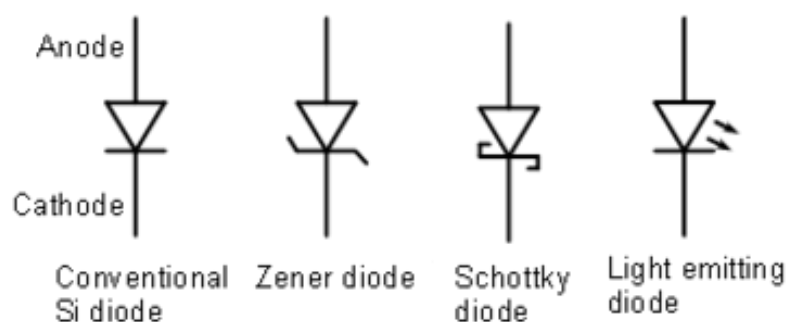
Dioda je poluvodički element s dva terminala, poznata kao katoda i anoda. Njena osnovna karakteristika je provodljivost struje u jednom smjeru, od anode prema katodi, dok blokira protok u suprotnom smjeru. To se postiže pomoću p-n spoja, spoja između dviju različitih vrsta poluvodiča. Kada je dioda polarizirana u provodnom smjeru, omogućava prolazak struje, dok u blokirajućem smjeru sprječava struju.

4.3.2. Uloga diode u električnim sklopovima

Diode se koriste u mnogim aplikacijama, uključujući ispravljanje izmjenične struje (AC) u istosmjernu struju (DC), zaštiti sklopova od obrnutih polariteta i modulaciji signala u elektroničkim uređajima. U ispravljačima, diode omogućuju prolazak struje samo u jednom smjeru, čime se ostvaruje pretvorba AC u DC. U zaštiti sklopova, diode sprječavaju obrnut polaritet koji može oštetiti osjetljive komponente.

4.3.3. Proračun diode u električkim sklopovima

Pri odabiru diode za specifičnu primjenu, bitno je uzeti u obzir njezinu maksimalnu dopuštenu struju (I_{max}), kao i pad napona (V_r). Na primjer, ako je potrebno ispraviti izmjenični napon određene frekvencije, treba odabrati diodu s dovoljno brzim odzivom i odgovarajućom maksimalnom dopuštenom strujom.



Slika 7: Elektronski simbol diode

(https://wiki.analog.com/media/university/courses/eps/eps_diode-curves-f1.png?cache)

4.4. Lm2576 - regulator napona

Integrirani krug LM2576 predstavlja iznimno koristan alat za inženjere koji se bave dizajnom i implementacijom električnih sklopova. Njegove napredne karakteristike, primjena u različitim situacijama te tehnička složenost koja se krije iza njegovog principa rada, sve to čini fascinantnim i ključnim elementom modernih elektroničkih sklopova.

4.4.1. Napredne značajke integriranog kruga LM2576

LM2576 se ističe kao linearni regulator s niskim padom napona (LDO), što znači da je u mogućnosti pružiti stabilan izlazni napon čak i kada je razlika između ulaznog i izlaznog napona relativno mala. Ova značajka je ključna kod aplikacija gdje se mora regulirati izlazni napon unatoč varijacijama ulaznog napona. Također, LM2576 ima ugrađene mehanizme zaštite od preopterećenja i pregrijavanja, čime se štiti sam krug, ali i ostatak sustava. Ova zaštita doprinosi povećanoj pouzdanosti i dugotrajnosti elektroničkog uređaja ili sistema u kojem se koristi.

4.4.2. Tehnička složenost i princip rada

Na prvi pogled, LM2576 može djelovati kao jednostavna komponenta, ali njegova tehnička dubina leži u razumijevanju principa rada. U suštini, ovaj integrirani krug koristi principe snižavanja napona (buck) kako bi postigao željeni izlazni napon. Integrirani sklop i zavojnica ključni su elementi koji omogućuju pohranu i otpuštanje energije tijekom svakog ciklusa. Tijekom faze uključivanja, energija se pohranjuje u zavojnicu, a tijekom faze isključenja ta se energija oslobađa kroz izlaz, čime se postiže regulacija izlaznog napona.

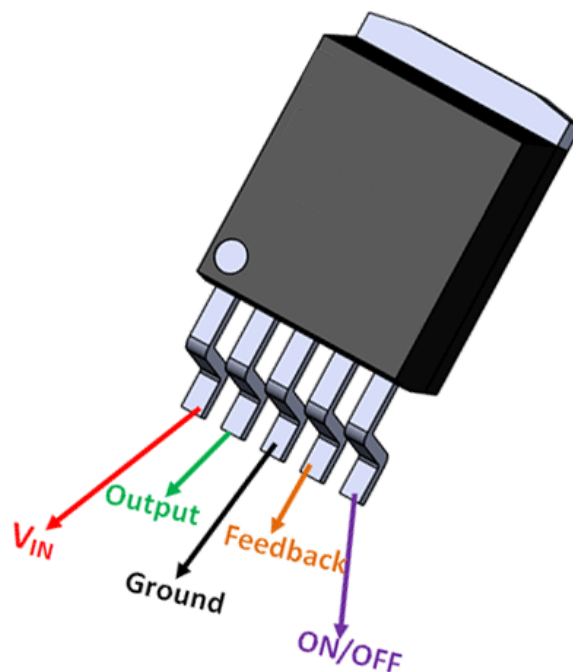
4.4.3. Raznovrsne primjene integriranog kruga LM2576

LM2576 nalazi primjenu u širokom spektru elektroničkih uređaja i sustava. Njegova sposobnost precizne regulacije izlaznog napona čini ga idealnim za napajanje

mikrokontrolera, senzora, logičkih sklopova i drugih komponenata koje zahtijevaju stabilan i precizan napon. Također, koristi se u izvorima napajanja za baterijske uređaje, solarnim sistemima, LED svjetlima i drugim primjenama gdje se zahtijeva konstantan i reguliran izlazni napon.

4.4.4. Praktična primjena i proračun

Prilikom projektiranja inženjeri trebaju uzeti u obzir parametre poput maksimalnog ulaznog napona, izlaznog napona, maksimalne struje opterećenja i radne frekvencije. Proračuni induktiviteta, kapaciteta i ostalih komponenata temelje se na osnovnim jednadžbama snižavanja napona i efikasnosti. Pravilan proračun osigurava stabilan rad sklopa i maksimalnu efikasnost.



Slika 8: Izgled i pinovi LM2576 regulatora

(https://components101.com/sites/default/files/component_pin/LM2576-Pinout.png)

Tablica 1: Opis pinova LM2576 regulatora

Pin		Opis
Broj	Ime	
1	V_{IN}	Povezuje se s izvorom napajanja i omogućuje unos napona koji se regulira.
2	OUTPUT	Predstavlja regulirani izlazni napon. Povezuje se s opterećenjem ili drugim sklopovima koji zahtijevaju stabilno napajanje.
3	GROUND	Povezuje se s uzemljenjem kako bi se stvorila referentna točka za sve ostale pinove i komponente.
4	FEEDBACK	Koristi se za postavljanje izlaznog napona regulatora. Povezuje se s djeliteljem povratne informacije ili s kondenzatorom na izlazu.
5	ON/OFF	Koristi se za kontrolu rada regulatora. Povezivanje s uzemljenjem omogućuje normalan rad, dok otvoreni pin isključuje regulator za smanjenje potrošnje energije.

Neke od specifikacija regulatora su:

- 3.3 V, 5 V, 12 V, 15 V i varijante s prilagodljivim izlaznim naponom,
- Prilagodljiva varijanta raspona izlaznog napona od 1.23 V do 37 V (57 V za verziju HV) $\pm 4\%$ maksimalno unutar granica linije i uvjeta opterećenja,
- Specificirana izlazna struja od 3 A,
- Širok raspon ulaznih napona: 40 V do 60 V za verziju HV,
- Zahtijeva samo četiri vanjske komponente,
- Interni oscilator s fiksnom frekvencijom od 52 kHz,
- Mogućnost isključivanja putem TTL signala, niskopotrošni način mirovanja,
- Visoka učinkovitost,
- Koristi lako dostupne standardne kondenzatore.

4.5. Potencijometar

Potencijometar je elektronička komponenta koja igra ključnu ulogu u prilagodnim napajanjima, kao što su buck prilagodnici. Njegova sposobnost promjene otpora

omogućuje precizno podešavanje izlaznog napona, čime se pruža fleksibilnost i prilagodljivost u različitim aplikacijama.

4.5.1. Osnovne značajke i princip rada

Potenciometar se sastoji od otpornog elementa s tri terminala: dva vanjska terminala i središnji terminal. Pomicanjem središnjeg terminala, mijenja se kontakt s otpornim elementom, što rezultira promjenom ukupnog otpora između vanjskih terminala. Ova promjena otpora koristi se za podešavanje struje ili napona u električnim sklopovima.

4.5.2. Uloga potenciometra u buck prilagodnicima

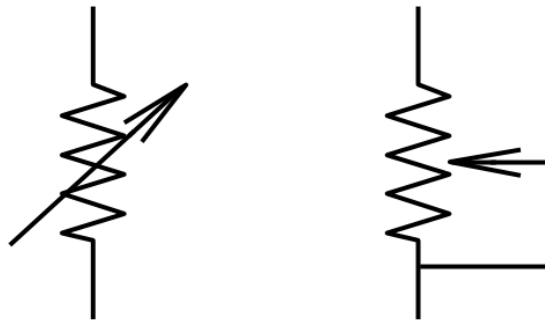
U buck prilagodnicima potenciometar ima ključnu ulogu u postizanju preciznog izlaznog napona. Jedan od čestih primjera je korištenje potenciometra kao dijela povratne petlje regulacije. Povezan u djelitelj napona-divider na povratnoj petlji, potenciometar omogućuje korisniku fino podešavanje izlaznog napona regulatora prema potrebama.

4.5.3. Proračun s potenciometrom u buck prilagodnicima

Primjer proračuna uključuje izračunavanje otpora potenciometra kako bi se postigao željeni izlazni napon. Ako je djelitelj napona-divider sastavljen od potenciometra i fiksnog otpornika, omjer između otpora potenciometra i ukupnog otpora određuje omjer izlaznog napona prema referentnom naponu.

Proračun: Ako je omjer između otpora potenciometra (R_{pot}) i ukupnog otpora djelitelja (R_{div}) poznat, omjer izlaznog napona (V_{out}) prema referentnom naponu (V_{ref}) može se izračunati kao:

$$\frac{V_{out}}{V_{ref}} = \frac{R_{pot}}{R_{div}} .$$



Slika 9: Elektronski simbol potenciometra

(https://cdn.sparkfun.com/assets/learn_tutorials/3/4/1/var-resistor-sym.png?_gl=1*1z13qv3*_ga*MTYxNTM4NzEwLjE2OTQ0NDU3MzY.*_ga_T369JS7J9N*MTY5NDQ0NTczNS4xLjAuMTY5NDQ0NTczNS42MC4wLjA)

4.6. Otpornik

Otpornik je osnovna elektronička komponenta koja ima ključnu ulogu u različitim elektroničkim sklopovima, uključujući i buck prilagodnike. Njegova funkcija promjene otpora omogućuje kontrolu struje i napona u sklopu, čime se postiže preciznost i prilagodljivost u raznim aplikacijama.

4.6.1. Osnovni principi i raznolike primjene otpornika

Otpornik je pasivna komponenta koja se koristi za ograničavanje protoka struje, stvaranje napona, dijeljenje napona ili podešavanje struje. Sastoji se od materijala s visokom specifičnom električnom otpornošću koji ograničava protok struje kroz njega. Njegova otpornost mjeri se u ohmima (Ω) i može varirati ovisno o njegovoj fizičkoj veličini, materijalu i geometriji.

4.6.2. Uloga otpornika u buck prilagodnicima

U buck prilagodnicima otpornik je neophodan kao dio djelitelja napona-divider, koji omogućuje precizno postavljanje izlaznog napona regulatora. Djelitelj napona-divider

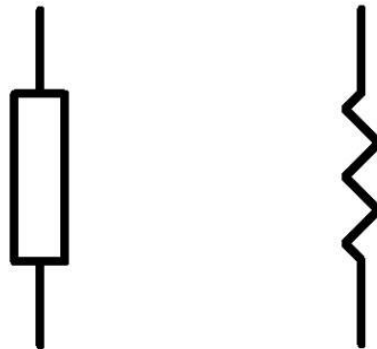
sastoji se od otpornika i potenciometra te se koristi kako bi se omogućilo fino podešavanje izlaznog napona regulatora prema referentnom naponu.

4.6.3. Proračun s otpornikom u buck prilagodnicima

Proračun s otpornikom uključuje izračunavanje otpora koji je potreban kako bi se postigao željeni omjer napona u djelitelju napona-divideru. Pretpostavimo da želimo postaviti omjer izlaznog napona V_{out} prema referentnom naponu V_{ref} . Otpor otpornika (R_{fix}) može se izračunati pomoću slijedeće jednadžbe:

$$R_{fix} = R_{pot} \cdot \frac{V_{out}}{V_{ref}} - R_{pot}$$

Ovaj proračun omogućuje postavljanje odgovarajućeg otpora otpornika kako bi se postigao željeni omjer napona.



Slika 10: Elektronski simbol otpornika

<https://res02.jakelectronics.com/res/article/20210621/202004241156255501.jpg>

4.7. SIEMENS SIMATIC S7 6ES7 307-1EA00-0AA0

Siemens Simatic S7 6ES7 307-1EA00-0AA0 je napajanje ili izvor električne energije koje se koristi u industrijskim sustavima automatske kontrole, posebno u okviru Siemens-ove obitelji proizvoda Simatic S7. Ovaj model napajanja isporučuje

određeni napon i struju kako bi napajao različite komponente i uređaje u industrijskim sustavima. Tehničke specifikacije ovog napajanja navode koje su točne vrijednosti napona i struje.

Siemens Simatic napajanja koriste se u širokom spektru industrijskih aplikacija. To uključuje automatizaciju procesa, kontrolu strojeva, sustave za upravljanje energijom i mnoge druge industrijske primjene. Ovo napajanje obično se montira na DIN šinu, što je standardna metoda za montažu u industrijskim okruženjima.

Siemens se brine o sigurnosti i pouzdanosti svojih napajanja, pa obično uključuju zaštitu od kratkih spojeva, preopterećenja i drugih električnih problema. Siemens Simatic napajanja su obično kompatibilna s drugim Siemens komponentama, što omogućuje jednostavnu integraciju u veće industrijske sustave. Siemens je poznat po svojoj pouzdanosti i visokokvalitetnim proizvodima, što znači da se njihova napajanja često koriste u kritičnim industrijskim okruženjima.

5. IZRADA MODELA

5.1. Popis komponenti

5.1.1. DC MOTOR

Radni napon: 6-14 VDC

Nominalni napon: 12 VDC

Struja bez opterećenja: 0,18 A

Brzina pri maksimalnoj učinkovitosti: 8.768 okretaja u minuti

Struja pri maksimalnoj učinkovitosti: 0,726 A

Izlazna snaga pri maksimalnoj učinkovitosti: 5,617 W

Maksimalna učinkovitost: 59,58%



Slika 11: DC MOTOR

<https://images.chipoteka.hr/image/cachewebp/catalog/products/31847-1063/motor-12-vdc-180ma-11500rpm-6-14vdc-COOHVOIOA-1155x1155.webp>

5.1.2. Ventilator

Vrsta ventilatora: DC

Napon: 12V

Dimenzije ventilatora: 60x60x25mm

Potrošnja energije: 1.56W

Struja: 0.122A

Razina buke: 27dBA

Brzina vrtnje: 4500 okretaja u minuti

Težina: 45g

Tolerancija struje i potrošnje energije: $\pm 15\%$

Materijal propelera: termoplastika

Materijal kućišta: termoplastika

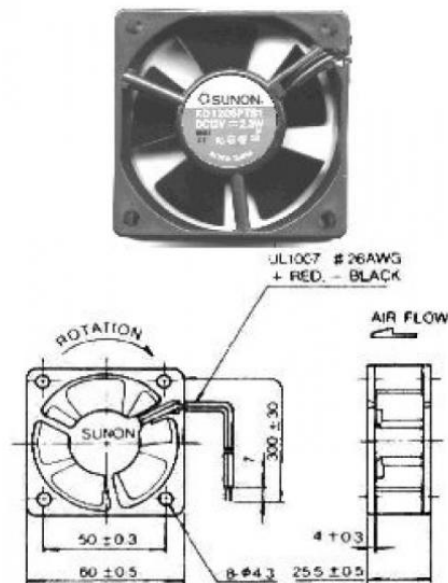
Vodiči: 2 vodiča

Radna temperatura: $-10...70^{\circ}\text{C}$

Duljina kabela: 290mm

Motor ventilatora: brushless DC motor (motor bez četkica)

Radni napon: 4.5 - 13.8V



Slika 12: Ventilator 12V

<https://images.chipoteka.hr/image/cachewebp/catalog/products/6250-1063/ventilator-12v-60x60x25-mm-sunon-ee60251s11000u999-ZKQZUK6IT-1155x1155.webp>

5.1.2. LM2576T-ADJ - REGULATOR NAPONA

Način montaže: Kroz rupu (Through Hole)

Radna temperatura: -40°C do $+125^{\circ}\text{C}$

Frekvencija prekidača: 52 kHz

Broj terminala: 5

Funkcija: Step-Down

Broj izlaza: 1

Učinkovitost: 77%

Ulazni napon (maksimalni): 40 V

Izlazni napon: 37 V

Vrsta izlaza: Prilagodljiv (Adjustable).

Maksimalna izlazna struja: 3 A

Ulazni napon (minimalni): 7 V

Nominalni ulazni napon: 12 V

Vrsta analognog IC-a: SWITCHING REGULATOR

Izlazni napon (minimalni/fiksni): 1.23 V

Topologija: Buck

Tehnika kontrole: MODULACIJA ŠIRINE PULSA (PULSE WIDTH MODULATION)

Visina: 9.27 mm

Dužina: 10.54 mm

Širina: 4.57 mm



Slika13: LM2576T-ADJ regulator napona

<https://i0.wp.com/ktechnics.com/wp-content/uploads/2022/11/LM2576-Voltage-Regulator.jpg?fit=500%2C480&ssl=1>

5.1.3. SIEMENS SIMATIC S7 6ES7 307-1EA00-0AA0

Napajanje PS307

Ulaz: 120/230 V/AC

Izlaz: 24V/DC 5A



Slika14: Siemens Simatic S7 6ES7 307-1EA00-0AA0

(<https://www.s7automation.com/wp-content/uploads/2014/06/SIMATIC-S7-300-PS307-power-supply-2.jpg>)

5.1.4. KONDENZATOR 1

Kapacitet: 100 μ F

Napon: 63V dc

Način montaže: Kroz rupu (Through Hole)

Dimenzije: 8 mm (promjer) x 11.5 mm (visina)

Radna temperatura: Od -55°C do +105°C

Razmak između terminala (Lead Pitch): 3.5 mm

Tolerancija: $\pm 20\%$ (dopušteni odstup od deklariranog kapaciteta)



Slika 15: Kondenzator 100uF/63V

https://res.cloudinary.com/rsc/image/upload/b_rgb:FFFFFF,c_pad,dpr_2.0,f_auto,h_300,q_auto,w_600/c_pad,h_300,w_600/F7395368-01.webp

5.1.5. KONDENZATOR 2

Raspon radne temperature: Od -40°C do $+85^{\circ}\text{C}$

Kapacitet: $1000\ \mu\text{F}$

Naponska ocjena: 50 V

Tolerancija: $\pm 10\%$ (dopušteni odstup od deklariranog kapaciteta)

Stil terminala: Radijalni (provodi se kroz rupu na površini tiskane ploče)



Slika 16: Kondenzator 1000uF/50V

https://www.twinschip.com/1000uF_50V_Capacitor

5.1.6. ZAVOJNICA

Induktivitet: 100 μ H

Maksimalna struja: 5 A

Otpor: 0,059 Ω

Promjer: 30 mm

Visina: 13 mm

Tolerancija: \pm 20%



Slika 17: Zavojnica 100uH/5A

(<https://m.media-amazon.com/images/I/41q7MFbIVGL. SY445 SX342 QL70 FMwebp .jpg>)

5.1.7. DIODA - 1N5822

Način montaže: Kroz rupu (Through Hole)

Maksimalna kontinuirana forward struja: 3 A

Maksimalna ponavljajuća obrnuta struja: 40 V

Tip ispravljača: Schottky ispravljač (Schottky Rectifier)

Tip diode: Schottky dioda (Schottky)

Broj pinova: 2

Promjer: 5,3 mm



Slika 18: Dioda - 1N5822

(<https://uk.rs-online.com/web/p/schottky-diodes-rectifiers/6870877>)

5.1.8. POTENCIOMETAR

Tip potencijometra: Aksijalni (axial)

Otpor: 50 k Ω

Snaga: 200 mW

Montaža: THT (Through Hole Technology) - Potencijometar se montira kroz rupu na tiskanoj pločici

Promjer osovine: 6 mm

Karakteristika: Linearna - Promjena otpora potencijometra proporcionalna je kutnoj promjeni

Materijal kućišta: Plastika

Maksimalni radni napon: 250 V DC



Slika 19: Potencijometar 50 k Ω

(<https://cebek.co.uk/media/ecom/prod/q/plastic-16mm-linear-potentiometer-plastic-shaft-various-values.jpg>)

5.1.9. OTPORNIK

Otpor: 1.2k Ω

Snaga: 0.25W

Tolerancija: 1%



Slika 20: Otpornik 1.2 k Ω

<https://www.ad-electronic.hr/images/stories/virtuemart/product/RES-4.jpg>

5.1.10. DIGITALNI VOLTMETAR I AMPERMETAR

Radni napon: 4,5-30VDC

Radna struja: ≤ 20 mA

Displej: 0,28 inch LED crveni i plavi

Mjerni opseg: 0-100VDC, 10A

Rezolucija napona: 0,1V

Rezolucija struje: 0,01A

Mogućnost pogreške: 1%

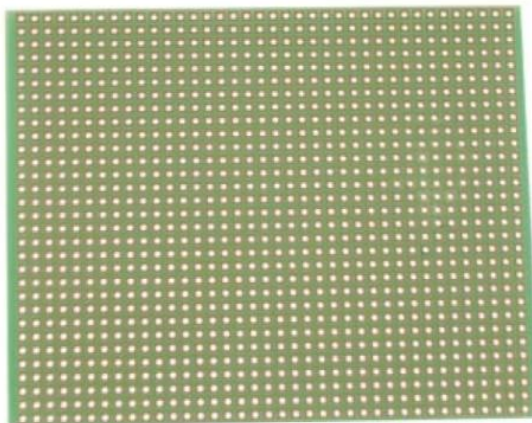
Dimenzija: 48 × 29 × 21mm



Slika 21: Digitalni ampermetar i voltmetar

(<https://www.ad-electronic.hr/images/stories/virtuemart/product/340322.png>)

5.1.11. PLOČICA BUŠENI VETRONIT 80x100



Slika 22: Pločica bušeni vetronit

(<https://images.chipoteka.hr/image/cachewebp/catalog/products/4522-1063/plocica-buseni-vetronit-sa-tockama-80x100-MMFB6ECHZ-1155x1155.webp>)

5.1.12. REDNE STEZALJKE 2 PINA

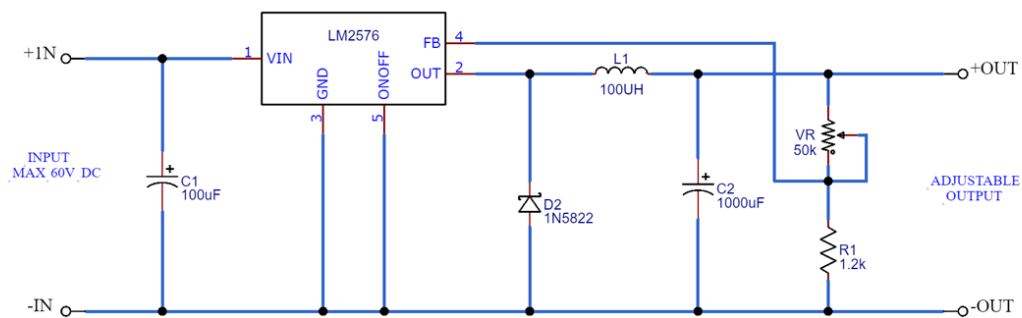


Slika 23: Redna stezaljka 2 pina

(https://electronic-center.hr/media/catalog/product/cache/1/image/9df78eab33525d08d6e5fb8d27136e95/r/e/redna-stezaljka-2-pina-5_08-raster.jpg)

5.2. Shema spajanja

Buck Converter Circuit



For Complete Details Visit :
www.Circuits-DIY.com

Slika 24: Shema buck prilagodnika napona preuzeta sa web stranice: <https://www.circuits-diy.com/high-current-buck-converter-circuit-dc-to-dc-converter/> (<https://www.circuits-diy.com/wp-content/uploads/2022/01/Buck-Converter-Circuit-Diagram-Schematic.png>)

Shema buck konvertera preuzeta je kao polazna točka, te je prilagođena i optimizirana za potrebe ovog istraživanja kako bi se postigla željena funkcionalnost.

5.3. Odabir komponenti

Odabrani regulator napona je LM2576T-ADJ, koji ima širok raspon ulaznih napona (7- 40 V) i pruža prilagodljiv izlazni napon (1.23 - 37 V). Odabir ovog regulatora temelji se na kompatibilnosti s rasponom napona koji je potreban za elektromotor (4.5-13.8V). Maksimalna izlazna struja ovog regulatora (3 A) također je u skladu s potrebama za upravljanjem elektromotora.

Zavojnica pohranjuje energiju tijekom dijela ciklusa i isporučuje je na izlaz tijekom drugog dijela ciklusa. Odabrana zavojnica ima induktivitet od 100 μH , što je važno za filtriranje izlaznog napona i minimiziranje oscilacija. Zavojnica može podnijeti maksimalnu struju od 5 A, što je bitno za osiguranje stabilnog izlaznog napona.

Također, kombinacija kondenzatora 100 μF (KONDENZATOR 1) i kondenzatora 1000 μF (KONDENZATOR 2) pružiti će stabilnost izlaznog napona i adekvatno filtriranje izlaznih oscilacija.

Kondenzator 1 (100 μF) pomaže u bržem odgovoru na brze promjene u izlaznom naponu i sprječava kratkotrajne oscilacije na izlazu. Njegova niža vrijednost kapaciteta omogućuje mu da reagira brže na promjene, ali nije dovoljan za dugotrajno filtriranje izlaznog napona.

Kondenzator 2 (1000 μF) ima veći kapacitet i koristi se za dugotrajniju stabilizaciju izlaznog napona. On pomaže u održavanju stabilnog izlaznog napona tijekom dužeg vremenskog razdoblja i filtriranju niskofrekventnih oscilacija. Kombinacija ova dva kondenzatora osigurava brzu reakciju na promjene izlaznog napona i dugotrajno filtriranje, što doprinosi stabilnosti izlaznog napona. To je uobičajena praksa u dizajnu napajanja i pomaže u postizanju željenih performansi prilagodnika.

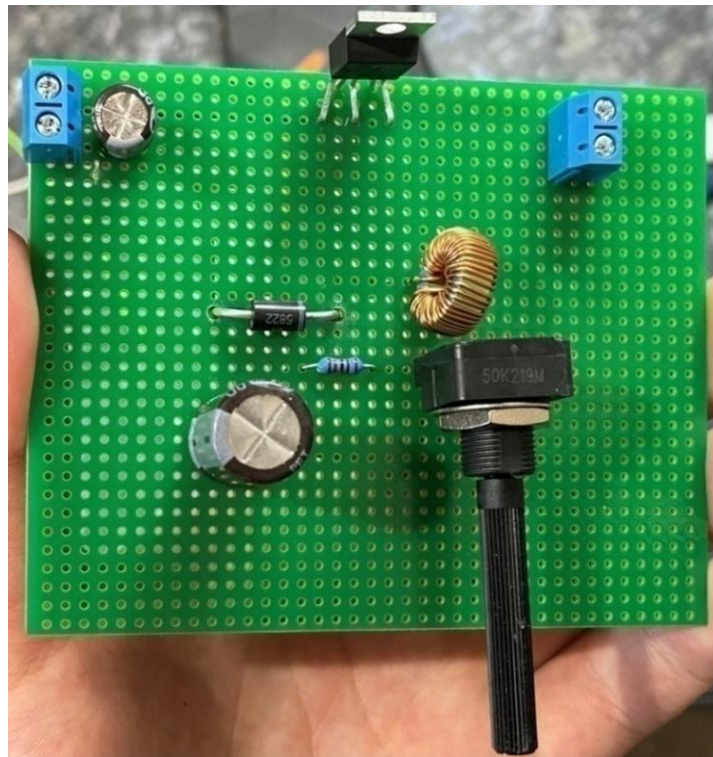
Dioda je ključna za ispravljanje izlaznog napona. Proračun za odabir diode obično uključuje procjenu maksimalne struje ($I_{\text{max}} = 3\text{A}$) i obrnutog napona ($V_r = 24\text{V}$). I_{max} je maksimalna struja koju dioda može podnijeti bez oštećenja (3 A). V_r je maksimalni obrnuti napon (40 V), gdje odabrana dioda zadovoljava zadane parametre.

Potenciometar se koristi za prilagodbu izlaznog napona regulatora. Proračun za odabir potenciometra ovisi o željenom rasponu napona koji želimo postići.

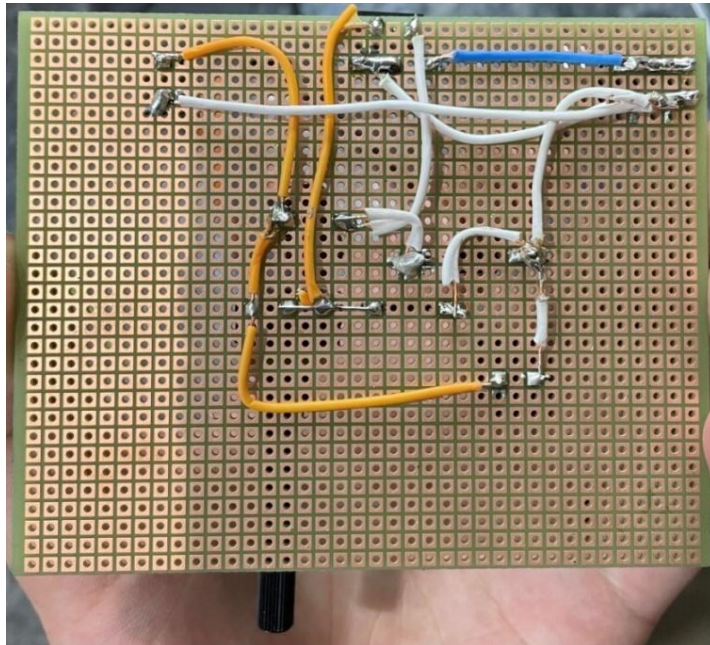
Otpornik se koristi u povratnoj petlji regulatora za postizanje željenog izlaznog napona. Proračun za odabir otpornika temelji se na omjeru između R1 i R2 u povratnoj petlji regulatora Otpor od 1.2 k Ω može biti odabran kako bi se postigao određeni omjer za postavljanje željenog izlaznog napona.

Digitalni voltmetar i ampermetar služi za mjerenje izlaznog napona i struje. Njihova primarna uloga je praćenje performansi sustava, ali ne zahtijevaju poseban proračun u vezi s ostalim komponentama.

5.4. Spajanje komponenti



Slika 25: Raspored komponenti na pločici



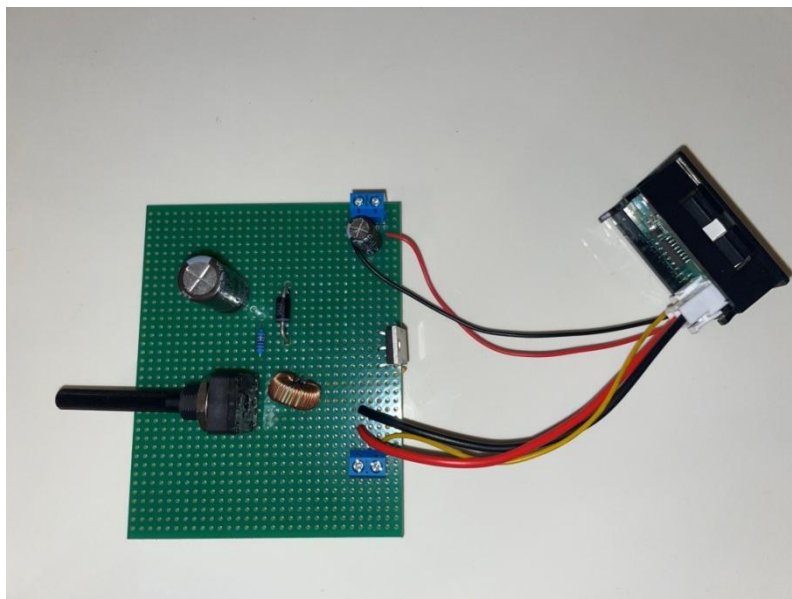
Slika 26: Spoj komponenti

Prvi i ključni korak bio je povezivanje regulatora napona, LM2576T-ADJ koji se nalazi na gornjem dijelu kruga. Prvo se spaja regulator na ulazni napon (V_{in}) putem ulaznih stezaljki. Izlaz regulatora (V_{out}) povezan je s izlaznim stezaljkama koje će ići prema opterećenju, u ovom slučaju, elektromotoru. Ovaj korak omogućava reguliranje izlaznog napona prema potrebama elektromotora.

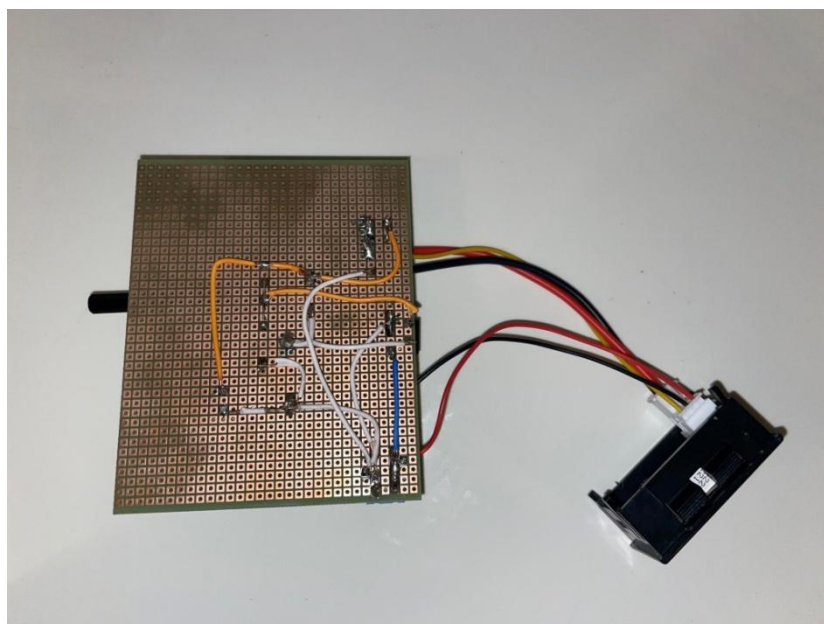
Jedna krajnja veza potencijometra spojena je na izlaz regulatora (V_{out}), dok je druga veza povezana s jednim od priključaka potencijometra. Drugi priključak potencijometra spojen je na jedan kraj otpornika, čime se stvara fiksni referentni napon. Drugi kraj otpornika spojen je na zajedničku zemlju (GND) regulatora. Ovaj otpornik ima ulogu postavljanja referentnog napona za potencijometar, omogućujući precizno podešavanje izlaznog napona. Kondenzatori su postavljeni paralelno s regulatorom kako bi pružili stabilnost izlaznog napona i filtriranje.

Jedna veza kondenzatora povezana je s izlazom regulatora (V_{out}), dok je druga veza povezana s zajedničkom zemljom (GND) regulatora. Dioda za ispravljanje izlaznog napona postavljena je tako da omogući da napon ide samo u jednom smjeru, sprječavajući obrnuti protok. Dioda je spojena između izlaznog napona (V_{out}) regulatora i zajedničke zemlje (GND). Zavojnica je postavljena kako bi dodatno

stabilizirala izlazni napon regulatora. Jedna veza zavojnice spojena je s izlazom regulatora (Vout), dok je druga veza spojena sa zajedničkom zemljom (GND).

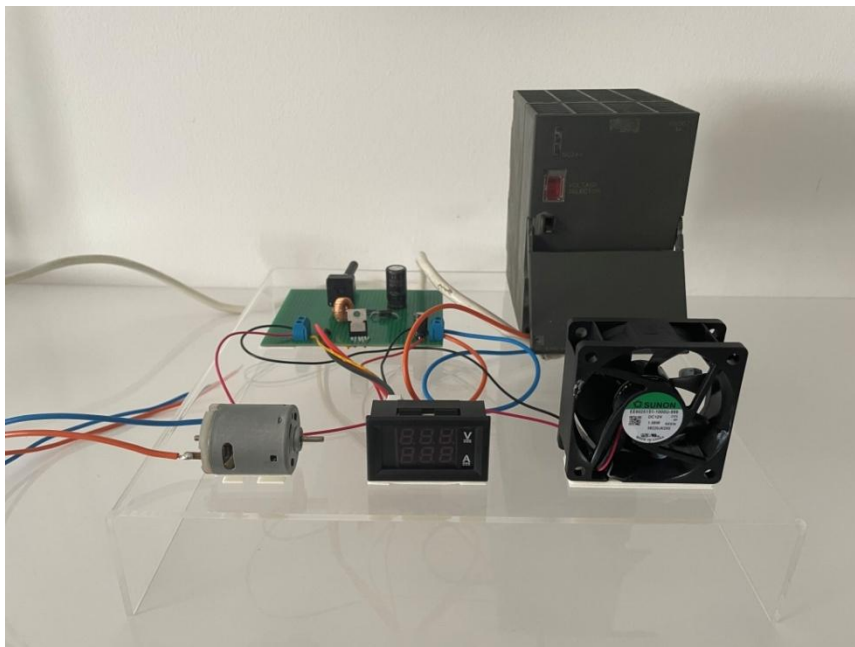


Slika 27: Spoj prilagodnika sa digitalnim voltmetrom i ampermetrom



Slika 28: Spoj prilagodnika sa digitalnim voltmetrom i ampermetrom 2

Voltmetar se spaja na izlazni napon (V_{out}) kako bi mjerio izlazni napon prilagodnika. Ampermetar se spaja u seriju s elektromotorom kako bi mogao mjeriti struju koja prolazi kroz elektromotor. Crna žica povezuje se na zajedničku zemlju, a crvena žica na odgovarajuće mjerno mjesto (voltmetar na V_{out} , ampermetar u seriju s elektromotorom).



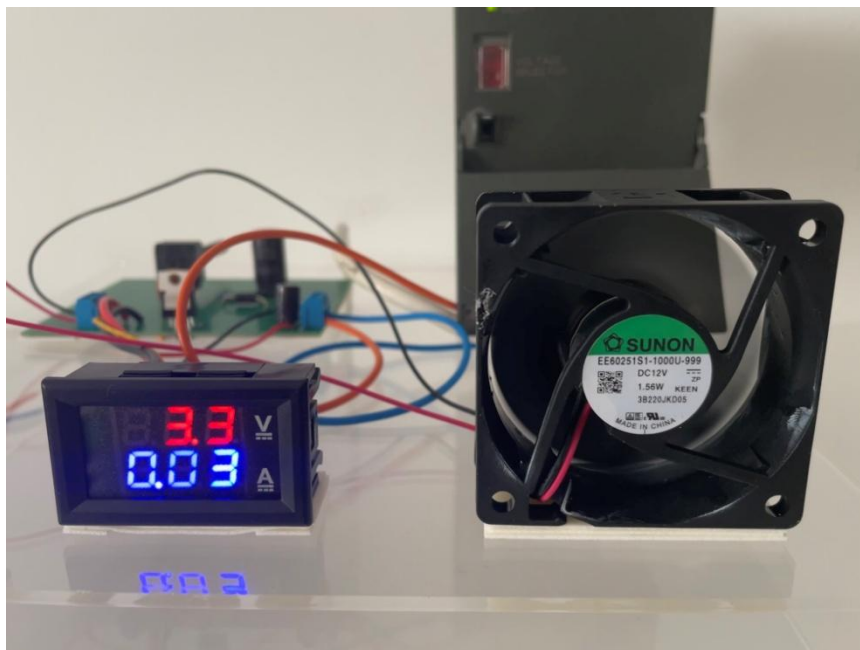
Slika 29: Izgled gotovog modela prilagodnika napona

6. REZULTATI

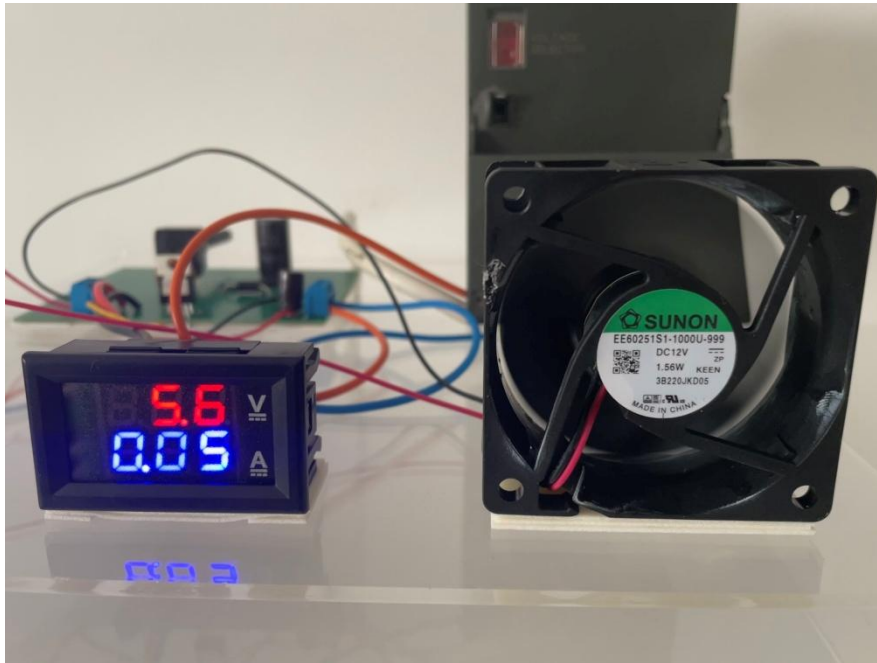
S obzirom na sve navedene informacije, može se potvrditi funkcionalnost modela prilagodnika napona (DC/DC buck konvertera). Kroz pažljiv odabir komponenata, testiranje i mjerenja, uspješno smo demonstrirali njegovu sposobnost prilagodbe napona i upravljanja brzinom elektromotora.

U eksperimentalnom okruženju, zabilježili smo rezultate koji potvrđuju da naš model pouzdano ostvaruje izlazne napone i struje u skladu s postavljenim specifikacijama. Tijekom testiranja sustav se pokazao stabilnim i pouzdanim, bez obzira na promjene opterećenja i napona. Dodatno, koristeći voltmetar i ampermetar, uspješno smo dokumentirali različite izlazne napone i struje u stvarnom vremenu. Ovi instrumenti omogućili su nam praćenje rada našeg prilagodnika napona i potvrdu da je sposoban za prilagodbu napona u rasponu od 1.23V do 23.3V, uz izlaznu struju do 3A.

Slike koje prikazuju oscilacije napona i struje na voltmetru i ampermetru tijekom promjene postavki potencijometra te graf ovisnosti, jasno ilustriraju funkcionalnost i prilagodljivost našeg modela. Ovi rezultati potvrđuju da je naš prilagodnik napona uspješno ispunio svoj glavni zadatak i da je spreman za primjenu u raznim industrijskim i kontrolnim sustavima.



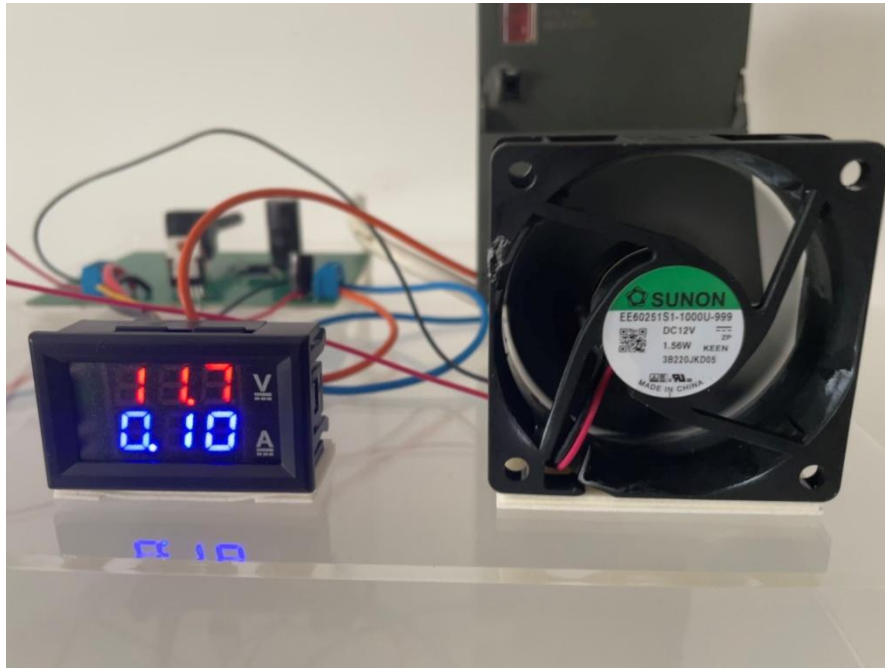
Slika 30: Izlazni napon i struja, mjerenje 1



Slika 31: Izlazni napon i struja, mjerenje 2



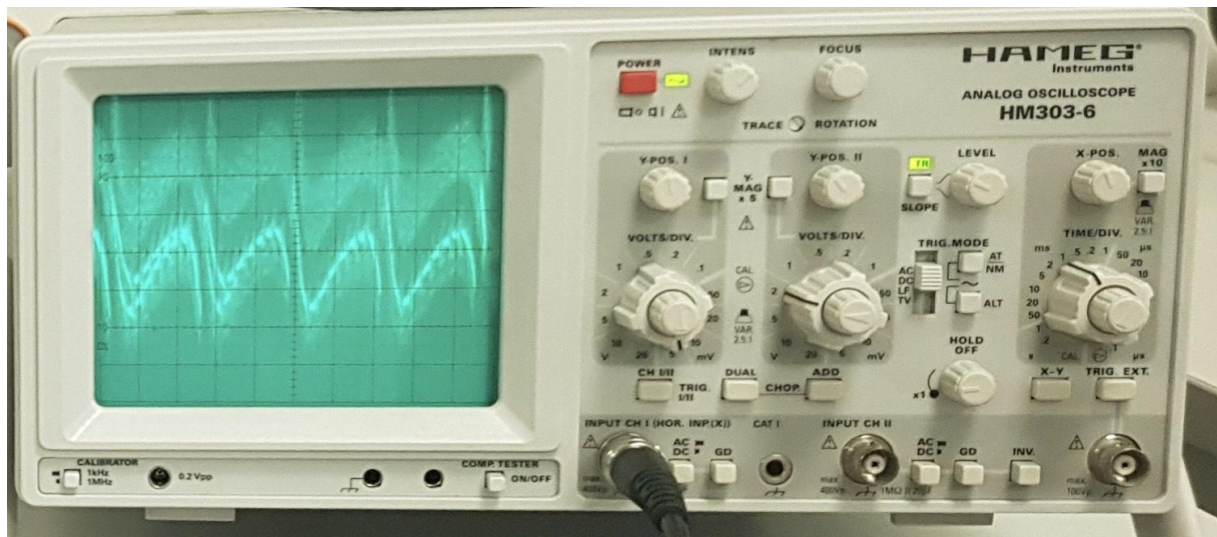
Slika 32: Izlazni napon i struja, mjerenje 3



Slika 33: Izlazni napon i struja, mjerenje 4



Slika 34: Izlazni napon i struja, mjerenje 5



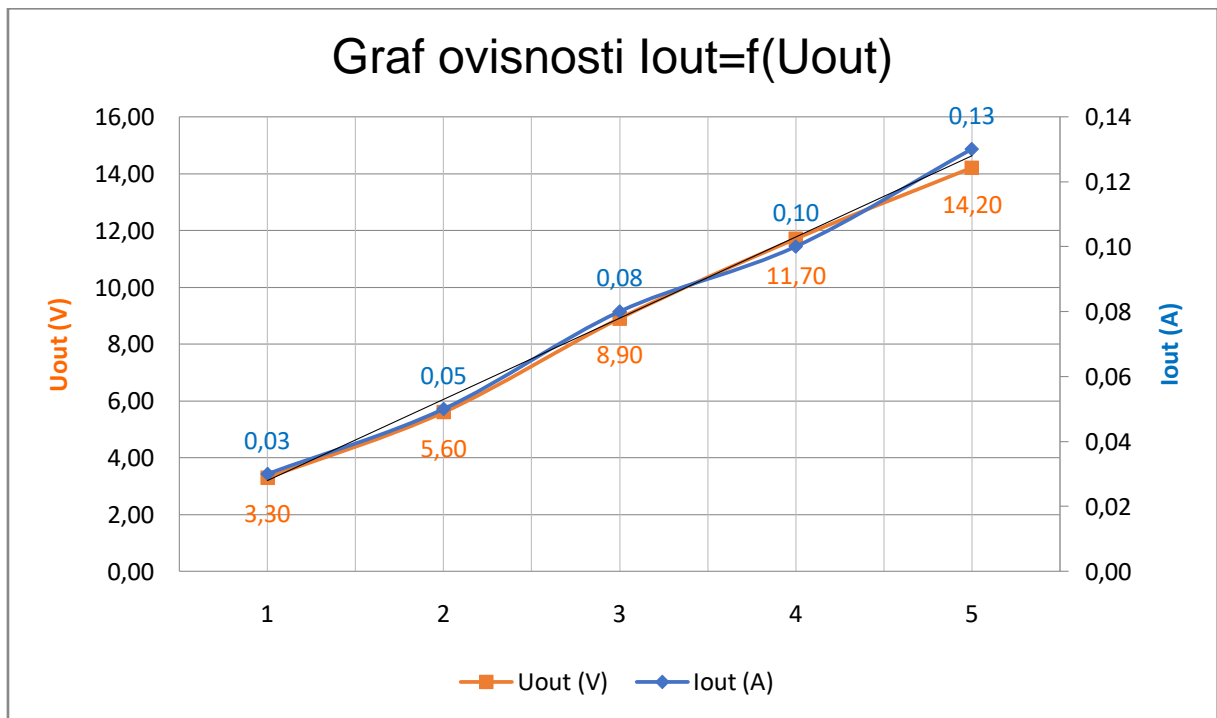
Slika 35: Valovitost izlaznog napona prilagodnika prikazana na osciloskopu, mjerenje 5

Pri izlaznom naponu od 14.2V primjećujemo odstupanje napona od približno 15mV. Valovitost napona kod DC buck konvertera, ili bilo kojeg DC/DC pretvarača, predstavlja oscilacije izlaznog napona tijekom vremena.

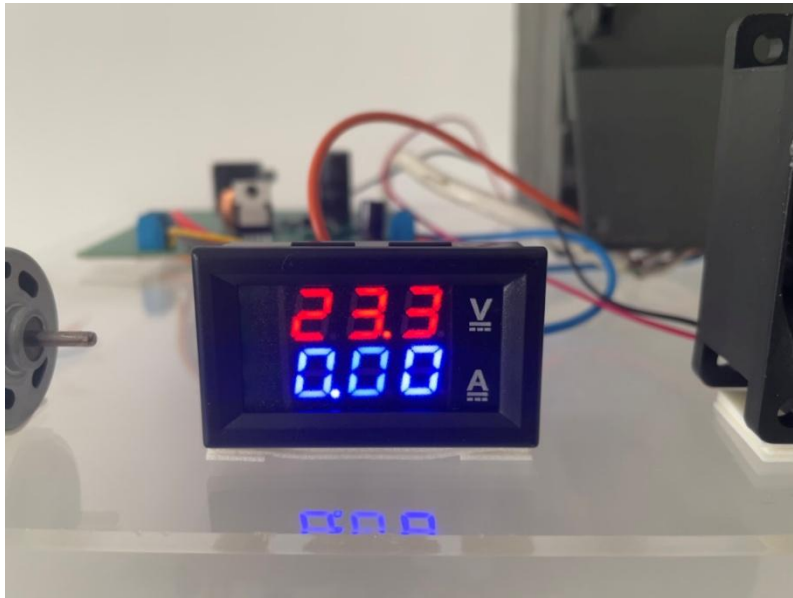
Uzmimo za primjer punjenje mobilnih uređaja. Mnogi mobilni uređaji koriste DC/DC konvertere za pretvaranje napona iz baterije u odgovarajući napon za punjenje. Ako je izlazni napon DC buck konvertera stabilan i blizu željene razine, punjenje će biti učinkovito i sigurno. Međutim, ako postoji velika valovitost napona, to može uzrokovati probleme tijekom punjenja. Prevelike varijacije napona mogu oštetiti elektroničke komponente u mobilnom uređaju. Nestabilni napon može usporiti brzinu punjenja ili čak prekinuti punjenje ako mobilni uređaj ne prepozna konstantan i prikladan izvor napajanja. Valovitost napona može smanjiti učinkovitost konvertera, što znači da će se više energije gubiti kao toplina umjesto da se prenosi na mobilni uređaj.

Da bi se poboljšala stabilnost izlaznog napona DC buck konvertera i smanjila valovitost, mogu se koristiti različite tehnike, uključujući bolju regulaciju napona, veće filtere za izravnavanje i pažljiviji dizajn komponenata.

Grafikon 1: $I_{out}=f(U_{out})$



Slika 36: Minimalni izlazni napon prilagodnika



Slika 37: Maksimalni izlazni napon prilagodnika

Za postizanje veće razlike u amperaži i dodatnog opterećenja buck pretvarača, proveden je eksperiment dodatkom matica na krilima ventilatora. Ovaj korak bio je inspiriran idejom da povećanje opterećenja na ventilatoru može rezultirati većim strujnim potrebama, što bi trebalo rezultirati značajnijom promjenom u izlaznoj struji buck pretvarača.

Sedam M5 matica, svaka pričvršćena na jedno krilo ventilatora, dodana je za povećanje mehaničkog opterećenja motora. Nažalost, rezultati ovog eksperimenta nisu bili u skladu s očekivanjima. Unatoč povećanju mehaničkog opterećenja, izlazna struja buck pretvarača nije značajno varirala. Ovaj eksperiment s maticama na ventilatoru ukazuje na složenost međusobnih utjecaja između mehaničkog i električnog opterećenja u sustavu. Također sugerira potrebu za daljnjim istraživanjem i preciznijim mjerenjima u svrhu boljeg razumjevanja promjena u mehaničkom opterećenju i njihovog utjecaja na električne karakteristike buck pretvarača.



Slika 38: Dodatak matica na ventilator

7. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu provedena su istraživanja procesa izrade i dizajna jednostavnog DC/DC buck konvertera s ciljem kontrole brzine elektromotora. Svrha rada bila je razviti funkcionalni model prilagodnika koji će omogućiti upravljanje brzinom elektromotora putem promjene ulaznih napona.

Prateći smjernice iz stručne literature i koristeći ostale dostupne resurse, uspješno su definirane komponente potrebne za izradu buck konvertera. Ključne komponente uključuju zavojnicu, regulator napona LM2576T-ADJ, diodu, kondenzatore, potenciometar i otpornik.

Osim toga, razmotren je odabir elektromotora. Rezultati testova potvrdili su da prilagodnik napona može postići maksimalni izlazni napon od 23.3V pri ulaznom naponu od 24V. Ova funkcionalnost omogućuje kontrolu brzine rotacije elektromotora putem potenciometra, što je bio glavni cilj ovog istraživanja.

Ovo istraživanje predstavlja važan korak prema razumijevanju i primjeni DC/DC buck konvertera u upravljanju elektromotorima, što je ključno područje elektrotehnike i automatizacije. U svijetu gdje se elektronički uređaji i sustavi neprestano razvijaju i postaju sve prisutniji, razumijevanje kako kontrolirati i prilagoditi napone igra ključnu ulogu u optimizaciji performansi različitih uređaja.

Svaka komponenta, od zavojnice do potenciometra, igra svoju ulogu u stvaranju stabilnog i pouzdanog izlaznog napona. To nas uči da svaki detalj u električnom krugu ima značajnu ulogu i treba ga pažljivo razmotriti prilikom dizajna.

Rezultati testiranja ukazuju na mogućnost postizanja visokih izlaznih napona i struja, pružajući potrebnu fleksibilnost i sposobnost prilagodbe za različite primjene elektromotora. Ova funkcionalnost otvara vrata za širok spektar aplikacija, uključujući industrijske procese, transportna sredstva i mnoge druge.

Napredak u ovom istraživanju nije samo tehnički već i tehnološki, jer omogućava daljnji razvoj električnih sustava i uređaja. Ovaj rad potiče na razmišljanje o inovacijama u elektrotehnici i pruža temelj za buduće istraživanje i unaprjeđenje tehnologija koje se oslanjaju na DC/DC konvertere.

LITERATURA

- [1] Mohan, N., Undeland, Tore M., Robbins, William P. (1995): „*Power electronics: converters, applications, and design - 2nd ed.*“, John Wiley & Sons, Inc.
- [2] Himmelstoss, F.A. i Ryvkin, S. (2013): „*DC/DC Converter for Motor Drive - Concept, Design, and Feed-Forward Control.*“ *Automatika*, 54 (3), 290-298.
<https://doi.org/10.7305/automatika.54-3.380>
- [3] Haubert, T., Mindl, P.M. i Cerovsky, Z. (2016): „*Design of Control and Switching Frequency Optimization of DC/DC Power Converter for Super-capacitor.*“ *Automatika*, 57 (1), 141-149. <https://doi.org/10.7305/automatika.2016.07.637>
- [4] Ravikumar, D. i Kumar Srinivasan, G. (2023): „*Implementation of higher order sliding mode control of DC–DC buck converter fed permanent magnet DC motor with improved performance.*“ *Automatika*, 64 (1), 162-177.
<https://doi.org/10.1080/00051144.2022.2119499>
- [5] HB206/D Rev. 4 (2002): „*Linear & Switching Voltage Regulator Handbook*“, ON Semiconductor.

Internetski izvori:

- [6] <https://www.youtube.com/watch?v=m8rK9gU30v4> (19.5.2023.)
- [7] <https://www.youtube.com/watch?v=W6NOV6b8kxs&t=533s> (19.5.2023.)
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=mQZurPxfqg> (20.5.2023.)
- [9] <https://www.youtube.com/watch?v=LwPJi3jyfw0> (20.5.2023.)
- [10] <https://www.youtube.com/watch?v=SM5qPrOrDrc> (5.8.2023.)
- [11] <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm2576.pdf> (10.8.2023.)
- [12] <https://www.ti.com/lit/an/slva477b/slva477b.pdf?ts=1691599354161> (18.5.2023.)
- [13] <https://www.circuits-diy.com/high-current-buck-converter-circuit-dc-to-dc-converter/> (19.5.2023.)

POPIS SLIKA

Slika 1: Grafikon izlaznog napona na vremenskoj skali	2
Slika 2: Različite topologije neizoliranih preklopnih DC/DC pretvarača (buck, boost, buck-boost i Ćuk) koriste se za različite namjene i omogućuju regulaciju izlaznog napona u odnosu na ulazni naponski izvor i opterećenje.....	9
Slika 3: Dvije konfiguracije kruga buck pretvarača: uključeno stanje, kada je sklopka zatvorena; i isključeno stanje, kada je sklopka otvorena (strelice pokazuju smjer struje).....	11
Slika 4: Konvencije za imenovanje komponenata, napona i struje buck pretvarača..	12
Slika 5: Elektronski simbol kondenzatora	14
Slika 6: Elektronski simbol zavojnice	16
Slika 7: Elektronski simbol diode	17
Slika 8: Izgled i pinovi LM2576 regulatora	19
Slika 9: Elektronski simbol potencijometra	22
Slika 10: Elektronski simbol otpornika	23
Slika 11: DC MOTOR	25
Slika 12: Ventilator 12V	26
Slika13: LM2576T-ADJ regulator napona.....	27
Slika14: Siemens Simatic S7 6ES7 307-1EA00-0AA0.....	28
Slika 15: Kondenzator 100uF/63V	29
Slika 16: Kondenzator 1000uF/50V	29
Slika 17: Zavojnica 100uH/5A	30
Slika 18: Dioda - 1N5822	31
Slika 19: Potencijometar 50 kΩ	31
Slika 20: Otpornik 1.2 kΩ.....	32
Slika 21: Digitalni ampermetar i voltmetar	33
Slika 22: Pločica bušeni vetronit	33
Slika 23: Redna stezaljka 2 pina	34
Slika 24: Shema buck konvertera preuzeta sa web stranice: https://www.circuits-diy.com/high-current-buck-converter-circuit-dc-to-dc-converter/	34
Slika 25: Raspored komponenti na pločici	36
Slika 26: Spoj komponenti	37
Slika 27: Spoj prilagodnika sa digitalnim voltmetrom i ampermetrom	38

Slika 28: Spoj prilagodnika sa digitalnim voltmetrom i ampermetrom 2	38
Slika 29: Izgled gotovog modela prilagodnika napona	39
Slika 30: Izlazni napon i struja, mjerenje 1	40
Slika 31: Izlazni napon i struja, mjerenje 2.....	41
Slika 32: Izlazni napon i struja, mjerenje 3.....	41
Slika 33: Izlazni napon i struja, mjerenje 4.....	42
Slika 34: Izlazni napon i struja, mjerenje 5.....	42
Slika 35: Valovitost izlaznog napona prilagodnika prikazana na osciloskopu, mjerenje 5.....	43
Slika 36: Minimalni izlazni napon prilagodnika.....	44
Slika 37: Maksimalni izlazni napon prilagodnika	45
Slika 38: Dodatak matica na ventilator	46

POPIS TABLICA

Tablica 1: Opis pinova LM2576 regulatora	20
--	----