DC/DC pretvarači za brzo punjenje baterija električnih vozila

Sivec, Filip

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University North / Sveučilište Sjever**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:122:240393

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

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

Repository / Repozitorij:

University North Digital Repository



Završni rad br. 469/EL/2020

DC/DC pretvarači za brzo punjenje baterija električnih vozila

Filip Sivec, 2028/336

Varaždin, rujan, 2020. godine

Sveučilište Sjever
Sveučilišni centar Varaždin
104. brigade 3, HR–42000 Varaždin

Prijava završnog rada

Definiranje teme završnog rada i povjerenstva

ODJEL Odjel za elektrotehniku

STUDIJ preddiplomski stručni studij Elektrotehnika

PRISTUPNIK Filip Sivec | MATIČNI BROJ 2028/336

DATUM 03.09.2020 | KOLEGIJ Uređaji energetske elektronike

NASLOV RADA DC/DC pretvarači za brzo punjenje baterija električnih vozila

NASLOV RADA NA ENGL. JEZIKU DC/DC converters for EV batery fast charging

MENTOR mr.sc. Ivan Šumiga dipl.ing.el. | ZVANJE viši predavač

ČLANOVI POVJERENSTVA

1. doc.dr.sc. Dunja Srpak dipl.ing.el.
2. Miroslav Horvatić dipl.ing.el., predavač
3. mr.sc. Ivan Šumiga dipl.ing.el., viši predavač
4. Josip Srpak dipl.ing.el., predavač, rezervni član
5.

Zadatak završnog rada

BROJ 469/EL/2020

OPIS

Za masovnu primjenu električnih vozila ključna je tehnologija brzog punjenja baterije. Ako se baterija napuni do 80% svog kapaciteta u vremenu od 20 do 40 minuta, punjenje se smatra brzim. Kvalitetni punjači trebaju imati što manji volumen i težinu, visoku učinkovitost i pouzdanost u radu. Električna energija se od izvora (energetske mreže ili samostalnog obnovljivog izvora) prenosi u bateriju električnog vozila kroz dvije faze pretvorbe: prva je AC/DC pretvorba s korekcijom faktora snage, a druga DC/DC pretvorba koja treba osigurati potrebni napon za optimalno punjenje baterije električnog vozila.

U radu je potrebno:

- opisati i usporediti energetske elektroničke elemente koji se koriste u DC/DC pretvaračima brzih DC punionica
- opisati i analizirati različite sklopove DC/DC pretvarača koji se koriste u brzim DC punionicama automobila
- izdvojiti konfiguraciju pretvarača s optimalnim karakteristikama.

ZADATAK URUČEN

POTPIS MENTORA

REPUBLIKA HRVATSKA
SVEUČILIŠTE SJEVER



Odjel za elektrotehniku

Završni rad br. 469/EL/2020

DC/DC pretvarači za brzo punjenje baterija električnih vozila

Student

Filip Sivec, 2028/336

Mentor

Mr.sc. Ivan Šumiga dipl.ing.el.

Predgovor

Prije obrade odabrane teme htio bih zahvaliti mr.sc. Ivanu Šumigi za predloženu temu i konstantnu pomoć prije i tokom izrade završnog rada.

Također zahvaljujem se svojim roditeljima koji su mi omogućili studiranje , te bili stalna podrška.

Zahvaljujem se Sveučilištu Sjever na stečenom znanju i svim profesorima na koji su uvijek bili dostupni i spremni pomoći.

Sažetak

U svojem radu sam obrađivao tematiku električnih punionica za električna vozila, pošto je električna punionica veoma širok pojam ja ću se bazirati na električnim pretvaračima, te kako ih poboljšati. Skoro svaka električna punionica ima AC/DC i DC/DC pretvarač. Najprije moramo izmjeničnu struju pretvoriti u istosmjernu , te kasnije istosmjernu „pojačati“ kako bi punjenje bilo što brže.

KLJUČNE RIJEČI: AC/DC , DC/DC , brzi punjač, Silicij karbid, SiC MOSFET-i , SMPS, LLC , baterija, električno vozilo

Summary

In my graduation thesis I was working on electric chargers for electric vehicles , electric charger is very large theme , I will stay on electrict converters and how to improve them. Almost every electric charger have AC/DC and DC/DC converter. At first place we need to convert AC current in DC current , later we need to boost DC current , to make charging faster.

KEY WORDS: AC/DC, DC/DC, fast charger, Silicon carbide, SiC MOSFET, SMPS, LLC**,** battery, electric vehicle

Popis korištenih kratica

AC/DC	Izmjenična/Istosmjerna
DC/DC	Istosmjerna/Istosmjerna
EV	Električno vozilo
V	Volt
W	Vat
PFC	Power Factor Correction (Korekcija faktora snage)
PHEV	Priključno hibridno električno vozilo
A	Amper
SMPS	Switched Mode Power Supply
Uout	Izlazni napon
Uin	Ulazni napon
I	Struja
SiC	Silicijev karbid
MOSFET	Metal–oxide–semiconductor field-effect transistor
C	Kapacitet
L	Induktivitet

Sadržaj

1.Uvod 1

2. Silicij Karbid i njegova upotreba u elektroničkim elementima 3

2.1. Dosadašnji sustavi u usporedbi s SiC sustavima 5

3. Pretvarači u brzim DC/DC punionicama 11

3.1. Tipovi DC/DC pretvarača 11

3.2. AC/DC pretvorba 13

3.3. DC/DC pretvorba 15

3.4. Modulirani dizajn DC/DC pretvarača 17

4. Silicij Karbid MOSFET-i u brzim punjačima DC razine 3 23

4.1 Osnovna razmatranja dizajna 23

5. Zaključak 27

6.Literatura 29

Dodatno 30

Popis slika 31

Popis tablica 31

1.Uvod

Nestabilnost cijene sirove nafte i klimatske promjene su glavni problemi današnjeg globalnog društva. Velika ovisnost gospodarstva o naftnim resursima i iscrpljivanje zaliha u bliskoj budućnosti dovode do sve većeg ulaganja u alternativne i čistije izvore energije. Posljednjih godina automobilska je industrija pobudila poseban interes za razvoj električnih vozila (EV), uglavnom zbog veće učinkovitosti elektromotora, jeftinijih cijena električne energije i smanjenja emisija stakleničkih plinova koje automobili izravno proizvode. Danas su priključni hibridni električni automobili (PHEV) pristup koji su usvojili mnogi proizvođači automobila. Postojeći PHEV-i dizajnirani su s ciljem postizanja potpuno električnog dometa kompatibilnog sa dnevnim zahtjevima za redovnu vožnju. Imaju baterije malog kapaciteta, obično 5kWh, a obično se mogu potpuno napuniti u razdoblju od 1,5 sati pomoću uobičajene električne utičnice od 230V / 16A. Ovakva vozila su idealna za korisnike kojima nije potreban veliki domet. Izazov, međutim, predstavlja trenutna generacija EV-a, koja svoju autonomiju u potpunosti oslanja na kapacitet baterije. Za povećani prodor na tržište glavna briga koju treba prevladati je doseg. Novi Nissan Leaf, model 2020. napravio je iskorak integrirajući bateriju od 62 kWh nudeći autonomiju od 385 km. Međutim, vrhunska tehnologija baterija i dalje predstavlja velika ograničenja u njihovoj gustoći snage, struji punjenja, broju ciklusa punjenja i u konačnici njihovim troškovima. Litij-ionske baterije koje se trenutno koriste u kombinaciji s punjačem velike snage (pod stalnom kontrolom struje) omogućuju postizanje 80% maksimalnog kapaciteta baterije vozila poput Nissan Leafa za manje od 30 minuta (što još uvijek ograničava upotrebu EV-a dulje putovanja na daljinu). Dok se ne postigne daljnji napredak u području istraživanja baterija, infrastruktura punjenja mora biti široko dostupna. Sustavi za punjenje mogu se klasificirati prema razini snage, a time i prema vremenu punjenja. S obzirom na sustave veće snage, poznate kao DC sustavi za brzo punjenje, predstavljene su njihove specifikacije:

Tablica 1.Razine brzine punjenja EV

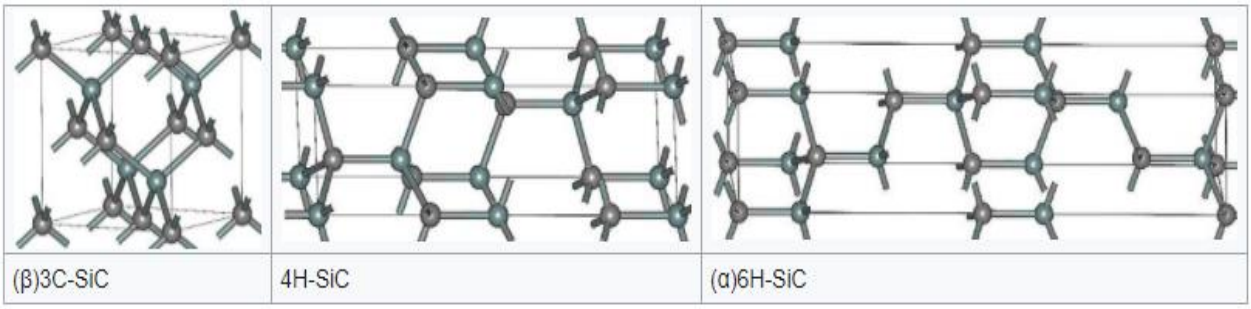
RAZINE	**AC**	DC
RAZINA1	1-faza,120Vac,16A,1.92kW	200-450VDC,80A,36kW
RAZINA2	Podijeljene faze, 240Vac, 80A,19.2kW	200-450VDC,200A,90kW
RAZINA 3	Trofazni sustavi	200-600VDC,400A,240kW

Što se tiče vremena, razina 1 je najsporija. Auto se puni iz klasične utičnice kod kuće, uglavnom je to punjenje preko noći. Razina 2 često se naziva "odredišnim punjačem" (npr. Idete u trgovački centar gdje se nalazi punjač, priključite vozilo i puštate da se puni dok provodite nekoliko sati u kupnji). Na razinu 3 može se gledati kao na punjač benzinske crpke, gdje želite u što manjem vremenu napuniti za veliki domet. Na nekim punjačima razine 3 je bateriju moguće napuniti za 20 minuta (ovisno o kapacitetu baterije i snazi punjača).

2. Silicij Karbid i njegova upotreba u elektroničkim elementima

Silicijev karbid (SiC) je poluvodić koji sadrži silicij i ugljik. U prirodi se javlja kao izuzetno rijedak mineral. Sintetički SiC prah se masovno proizvodi od 1893. Zrna silicijevog karbida mogu se međusobno povezati. Elektroničke primjene silicijevog karbida poput LED diode i detektora na starim radio prijemnicima, prvi put su prikazane 1907. SiC se koristi u poluvodičkim elektroničkim uređajima koji rade na visokim temperaturama ili visokim naponima, ili oboje. Edward Goodrich Acheson je prvi patentirao metodu za izrazu SiC praha 1893. Također je i kasnije razvio električnu peć, kakvom se i danas izrađuje SiC prah. U početku se je SiC koristio kao abraziv, upotreba u elektroničke svrhe je nastupila kasnije. SiC je u prirodnom obliku vrlo rijedak, stoga je većina Silicijevog karbida sintetička. Najjednostavniju način za proizvodnju je kombiniranjem pijeska Silicijevog dioksida i ugljika na vrlo visokoj temperaturi (između 1600°C i 2500°C). SiC postoji u 250 strukturnih oblika.

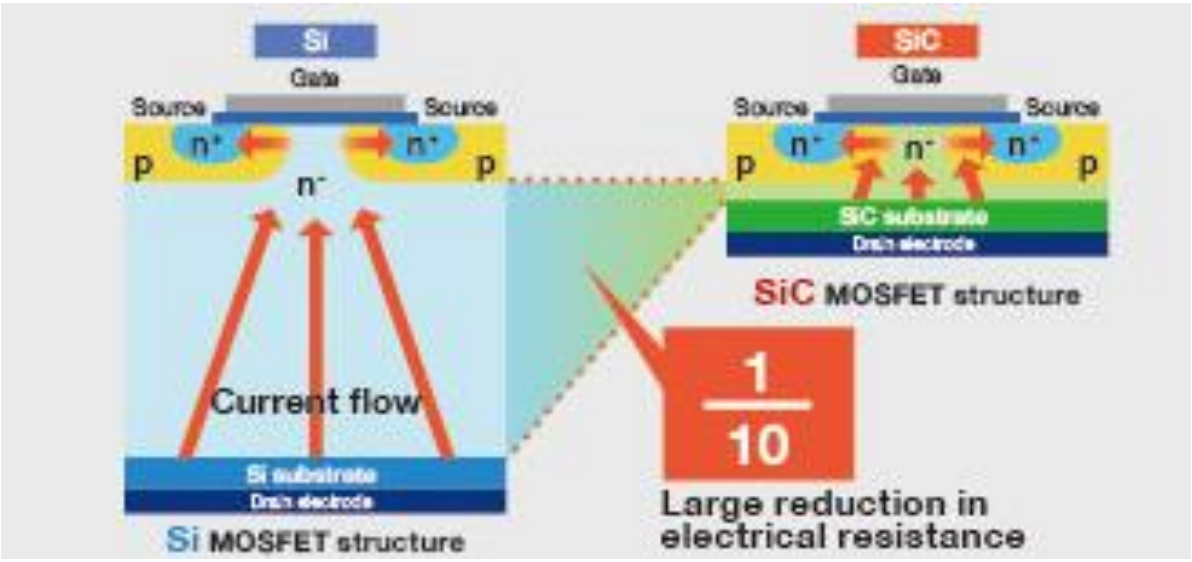
Slika 2. 1. Strukture SiC-a [3]



SiC je poluvodič, metalna vodljivost se postiže dodavanjem bora, aluminija ili dušika. Koristi se u komponentama koje moraju podnositi visoki napon i visoku temperaturu. Prvi dostupni elementi su bile Schottky diode, nakon čega su se počeli razvijati FET-ovi i MOSFET-ovi za prijenos velikih snaga. Sic elektronički elementi mogu imati veću gustoću snage od silicijskih uređaja i mogu se nositi s puno višim temperaturama koje prelaze silicijevu granicu od 150° C. MOSFET (engl. Metal–Oxide–Semiconductor Field-Effect Transistor)je jedna od najbitnijih komponenti u DC/DC pretvaračima. MOSFET na sebi ima najmanje 3 nožice (može ih imati i više), uvod(source), odvod(drain), vrata(gate). Uvod i odvod su elektrode izvedene iz slojeva poluvodiča koje se povezuju kroz kanal. Upravljačkom elektrodom upravljamo protokom struje na tom

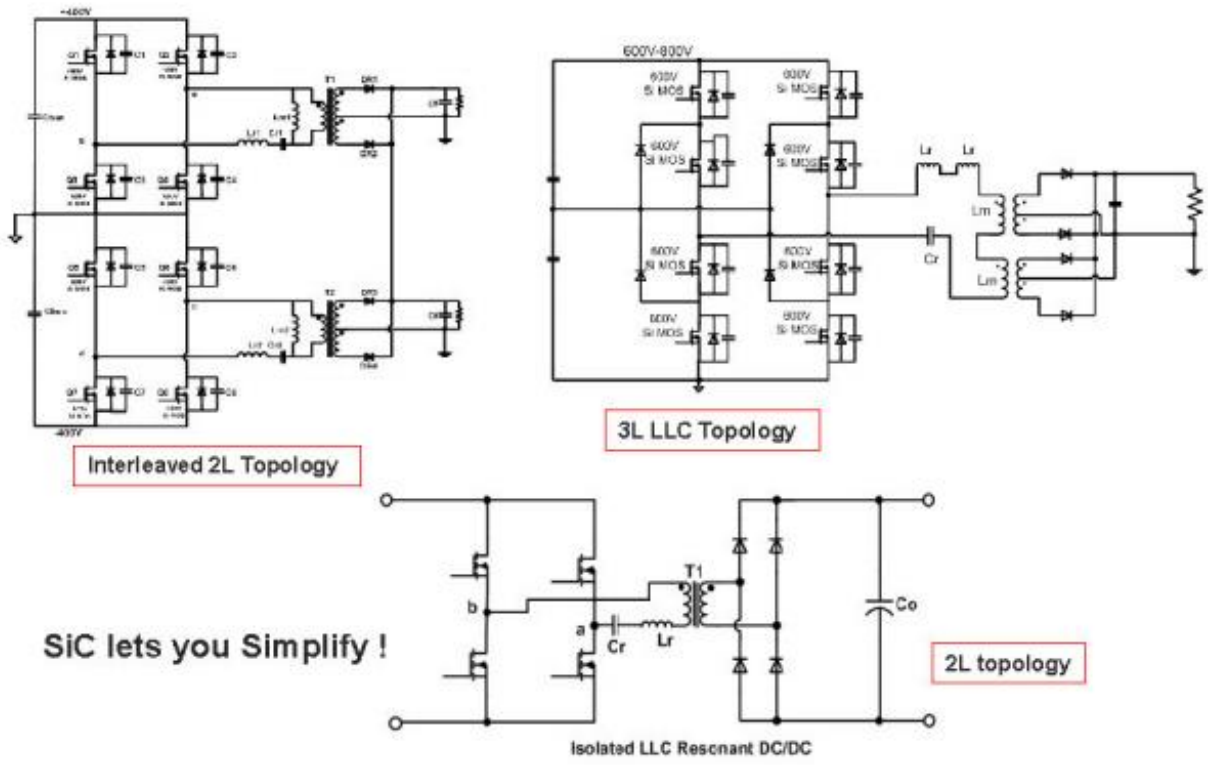
kanalu. Glavna značajka MOSFET tranzistora je to što za razliku od bipolarnih tranzistora koji su strujno upravljivi, MOSFET je naponski upravljiv. To znači da je protok struje (između uvodne i odvodne elektrode) kontroliran pomoću određene količine napona koji je doveden na upravljačku elektrodu MOSFET-a. To je omogućeno dodavanjem posebnog tankog sloja oksidnog materijala, silicijevog dioksida ili silicijevog karbida oko upravljačke elektrode kojim je ona električki izolirana od kanala. Rad MOSFET-a može se promatrati i kao promjenjivi otpornik gdje razlikom napona između uvodne i upravljačke elektrode možemo kontrolirati otpor između uvodne i odvodne elektrode. Kada nema napona između uvodne i upravljačke elektrode, otpor između uvodne i odvodne nožice jako je visok (može dostići vrijednosti i do MΩ), a to se zapravo može gledati kao da je strujni krug otvoren tj. da struja ne protječe strujnim krugom. No dovođenjem određenog napona između upravljačke i uvodne elektrode, smanjuje se navedeni otpor i time se omogućuje protok struje tj. možemo reći da je strujni krug zatvoren. Pojava statičkih naboja može lako oštetiti izolirajući oksidni sloj. Budući da oksidni sloj djeluje kao vrlo tanki dielektrik kondenzatora, mali statički naboj može stvoriti dovoljno veliki naboj koji probija sloj i oštećuje tranzistor. Uporaba zahtjeva pažljivo rukovanje radi sprječavanja uništenja tranzistora statičkim elektricitetom. Zbog toga su puno bolji MOSFET-i koji za izolirajući sloj koriste silicijev karbid. Također vidljivo je na slici 2.2. da su SiC MOSFET-i deset puta manji od Si MOSFET-a

Slika 2. 2. Usporedba veličine Si i SiC MOSFET-a [2]



2.1. Dosadašnji sustavi u usporedbi s SiC sustavima

Slika 2. 3. Primjena SiC tehnologije na LLC topologiji[8]

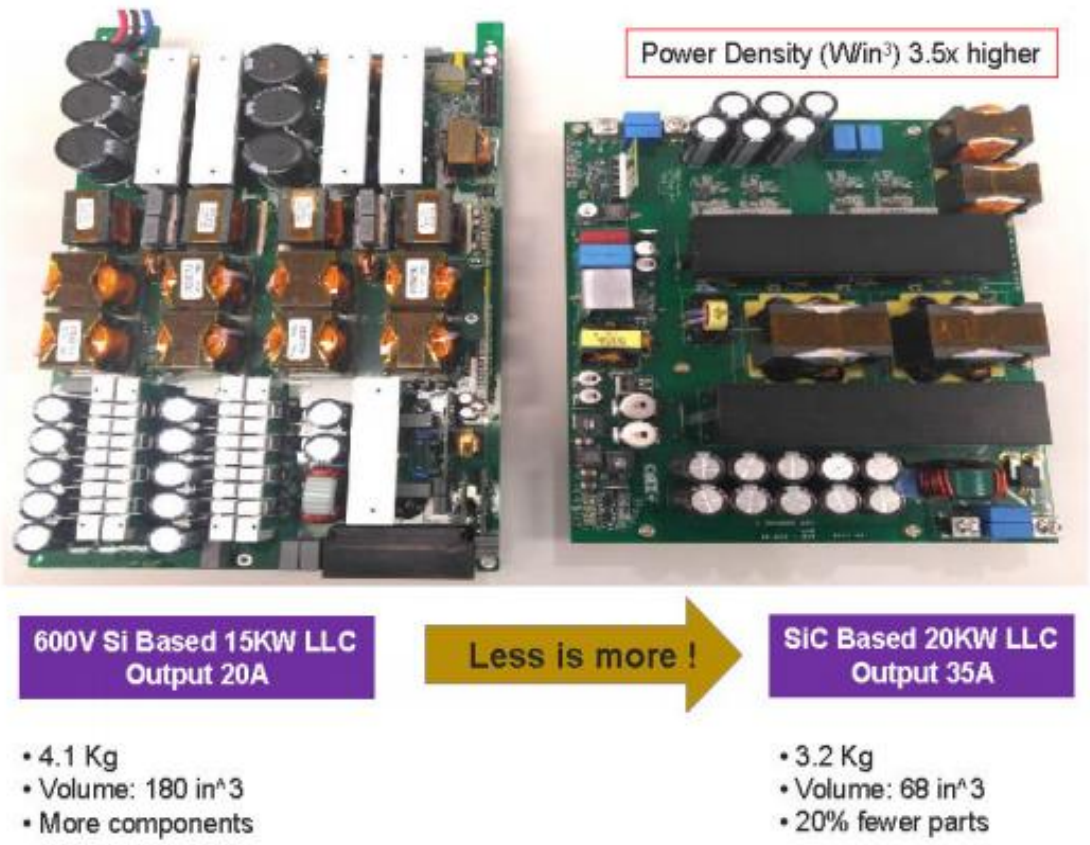


Sposobnost silicij karbida da poboljša učinkovitost, smanji prekidačke gubitke i nosi se s visokim temperaturama relativno je dobro poznata. Jedna od prednosti koja se može previdjeti je sposobnost pojednostavljivanja postojeće topologije ili sustava.

Da bi se postigli visoki naponi i održale dobre performanse, trenutni projekti obično koriste višerazinske topologije, kao i kaskadne ili isprepletene topologije na dvije razine. Zapravo su ovi višerazinski i kaskadni dizajni izvorno razvijeni kako bi se prevladala neka ograničenja visokonaponskih silicijskih uređaja omogućavajući nam upotrebu niže-naponskih silicijskih uređaja koji imaju niže sklopne gubitke. Silicijev karbid omogućuje velike performanse prebacivanja pri visokim naponima. Stoga omogućuje dizajnerima da se vrate jednostavnom dizajnu na dvije razine - pojednostavljujući sam dizajn, smanjujući broj komponenata i poboljšavajući pouzdanost proizvoda bez žrtvovanja performansi.

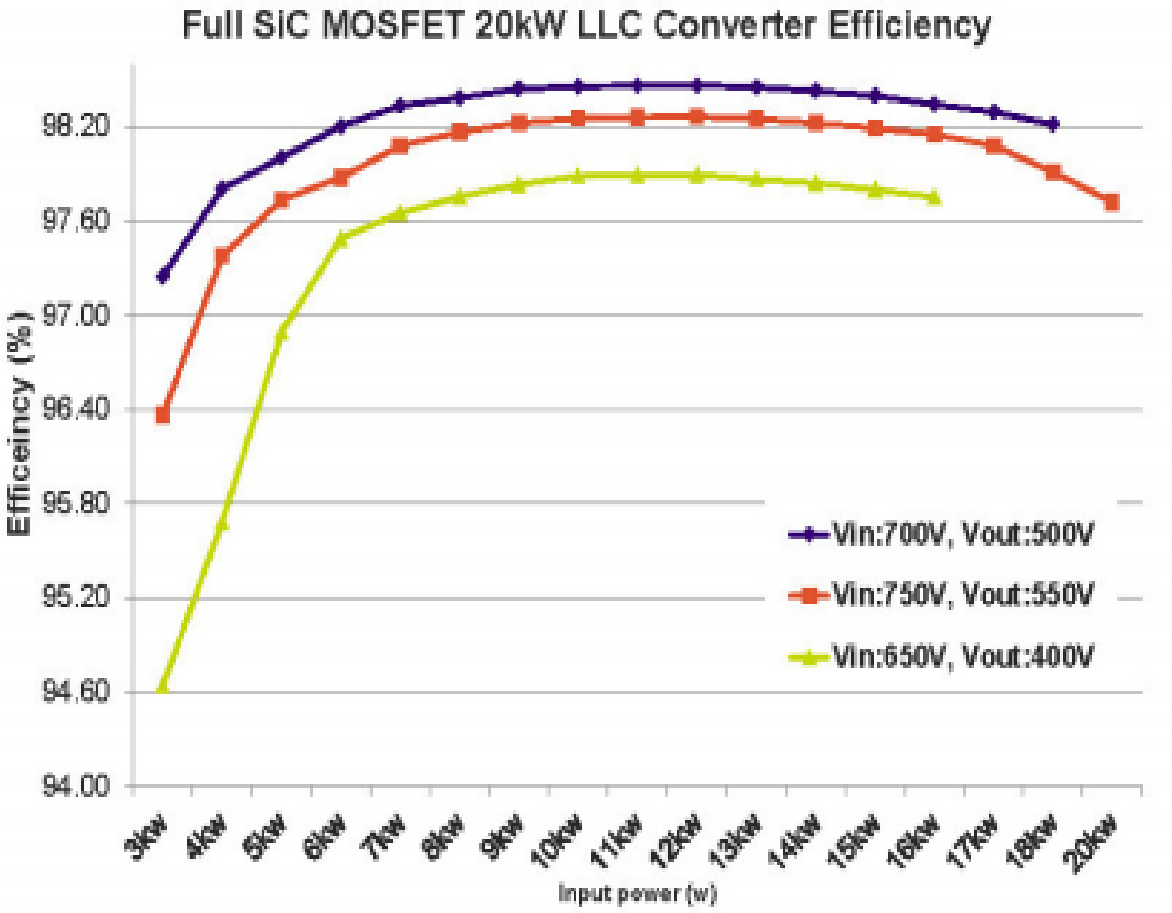
Slika 2.4. dolje, uspoređuje gotove proizvode s više nivoa od 15 kW (lijevo) s dizajnom silicijevog karbida od 20kW (desno). Prvo što treba primijetiti je smanjenje veličine. Budući da SiC dizajn pojednostavljuje topologiju i zahtijeva manje komponenata, ploča je manja i teži manje, a ima i znatno manji volumen. Istodobno, snaga se znatno povećala - s 15 kW na 20 kW. To rezultira 3,5 puta većom gustoćom snage sa silicijevim karbidom.

Slika 2. 4 Usporedba Si 15 kW LLC (20A) vs SiC 20kW LLC (35A) [8]



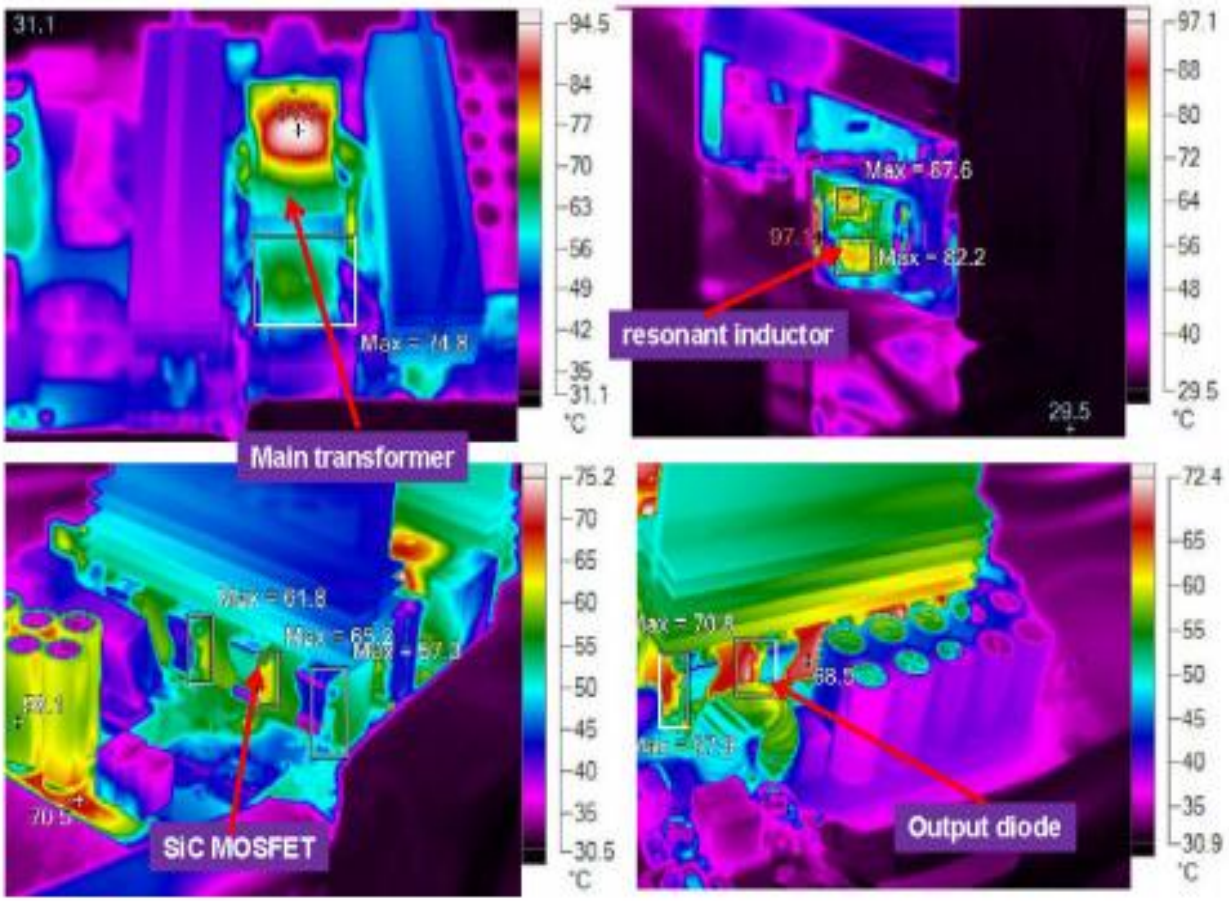
Slika 2.5. dolje, prikazuje krivulju učinkovitosti, koja uključuje pomoćne gubitke snage, kao funkciju ulazne snage. Može se vidjeti da učinkovitost ostaje visoka u cijelom rasponu utovara. Krivulja najveće učinkovitosti je na rezonantnoj frekvenciji i postiže onu vršnu frekvenciju od oko 98,2%. Ispod toga, crvena krivulja prikazuje preklopnu frekvenciju nižu od rezonantne frekvencije (180 kHz), a zelena krivulja pokazuje što se događa s učinkovitošću kada je preklopna frekvencija iznad rezonantne frekvencije (260 kHz). Može se primijetiti dramatičniji pad učinkovitosti u ovom načinu rada zbog teškog prebacivanja

Slika 2. 5. Krivulja učinkovitosti SiC MOSFET-a 20kw [8]



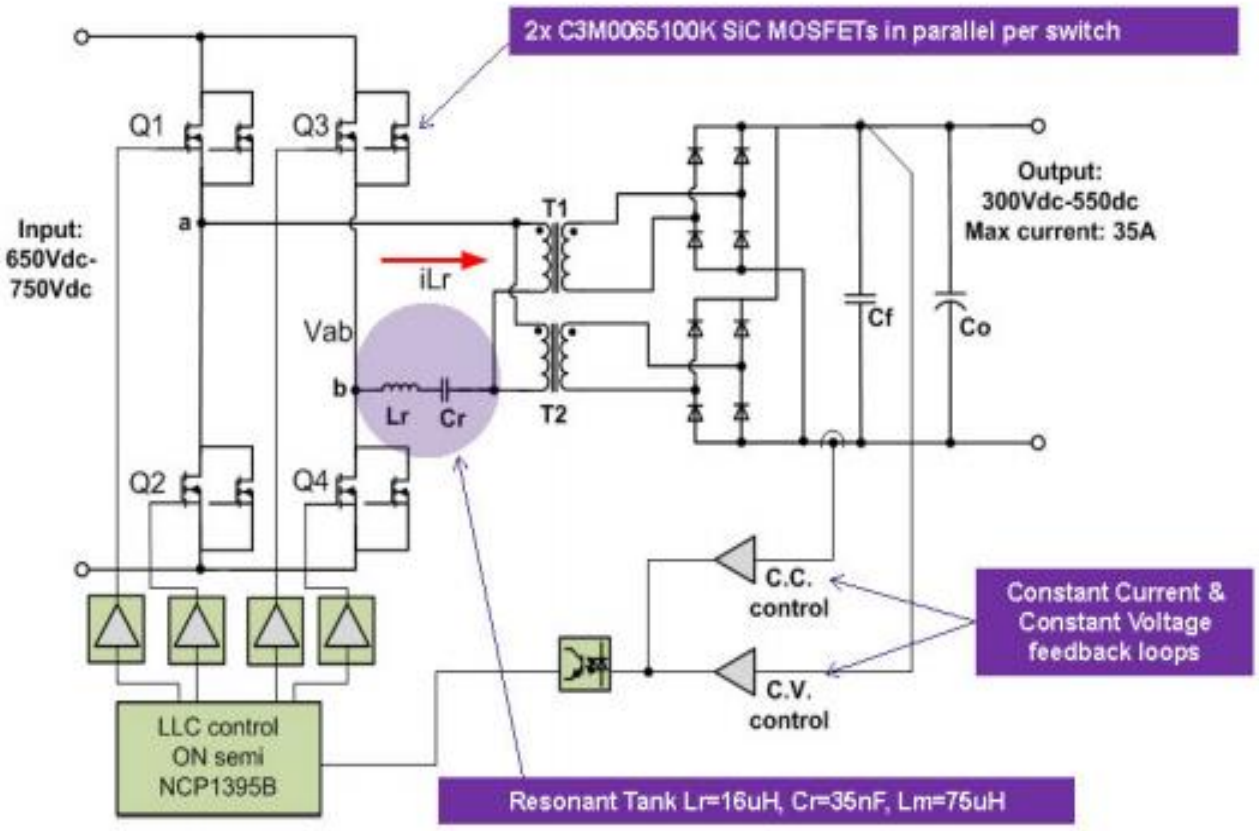
Slika 2.6. dolje, prikazuje termičke podatke dok pretvarač radi punom snagom, na sobnoj temperaturi. Gornji lijevi grafikon prikazuje glavne temperature transformatora. Jedan od transformatora radi na malo većoj temperaturi od drugog - to je zbog postavljanja ventilatora. U gornjem desnom kutu prikazane su rezonantne prigušnice, za koje se pokazuje da su prilično vruće - oko 97 ° C. Donji lijevi grafikon prikazuje SiC MOSFET. Najveću temperaturu imaju izlazne diode, kao što je prikazano dolje desno.

Slika 2. 6 Toplinske performanse (Ulaz:700V , Izlaz:500V,35A)[8]



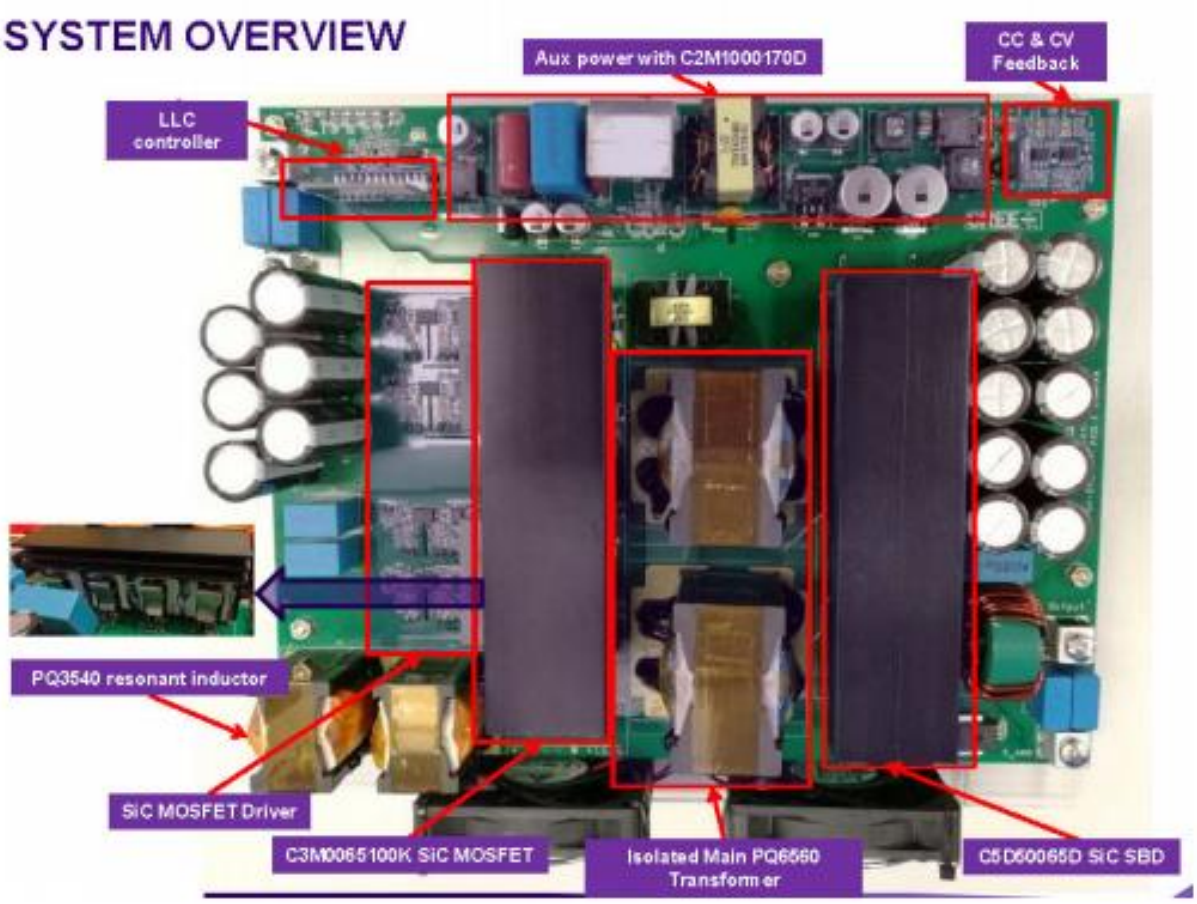
Slika 2.7. dolje, prikazuje osnovni blok dijagram za referentni dizajn. Koristi gotov kontroler za modulaciju frekvencije prebacivanja. Može se podesiti da radi u režimu konstantne struje ili u režimu konstantnog napona. Prikazane vrijednosti rezonantnih spremnika pomažu u održavanju fizičke veličine tog kruga spremnika prilično malim. Stavljena su dva paralelna MOSFET-a 65mΩ kako bi se napravio jedan prekidač na primarnoj strani, izlaz na sekundarnoj strani je također u paraleli.

Slika 2. 7.[8]



Slika 2.8. Na slici je prikazan modul s SiC MOSFET-ima. Uključuje dva prilagođena transformatora od 10 kVA na sredini ploče, dvije rezonantne prigušnice prema lijevom donjem kutu, hladnjake s obje strane transformatora, sekundarne bočne diode i primarne bočne MOSFET-e , a na vrhu i pomoćno povratno napajanje snage oko 50 W za napajanje svih ugrađenih sustava. Sve što je potrebno za upotrebu modula je spajanje istosmjernog napajanja, tada imate izlazno opterećenje i priključite prekidač za njegovo uključivanje i isključivanje.

Slika 2. 8. Pregled modula fizički [8]

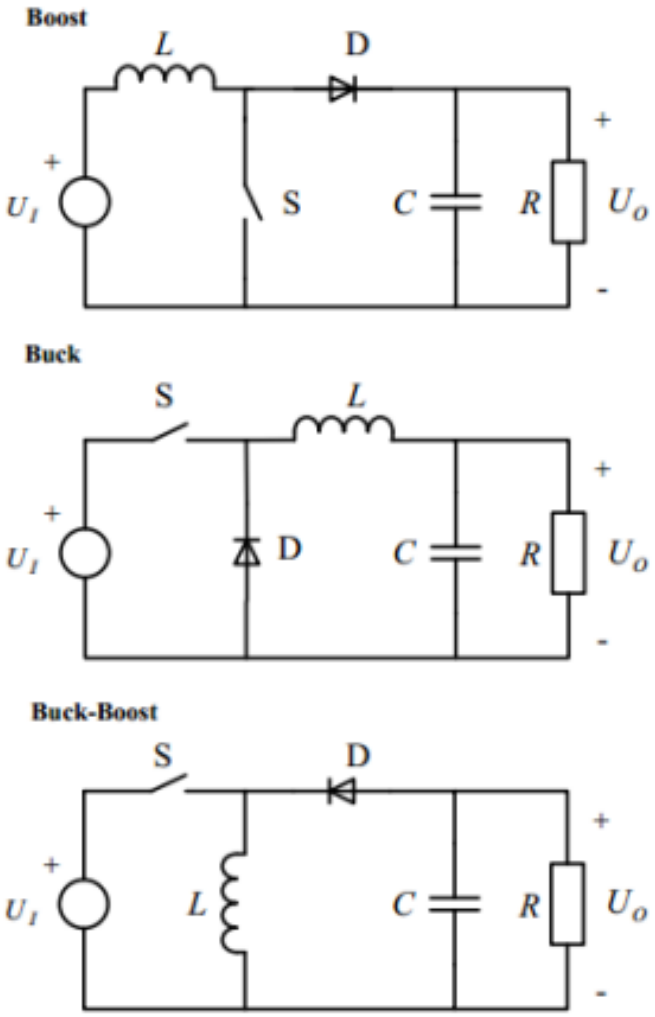


3. Pretvarači u brzim DC/DC punionicama

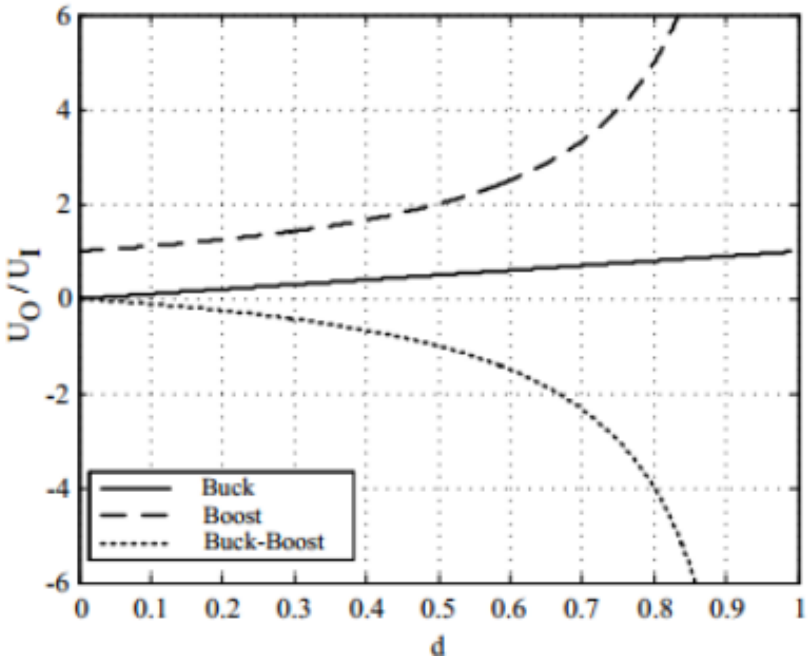
3.1. Tipovi DC/DC pretvarača

Osnovne konfiguracije jednokvadrantnih istosmjernih pretvarača (uzlazni, silazni i silazno-uzlazni) su prikazane na slici 3.1. uz odgovarajuće prijenosne karakteristike na slici 3.2.. Odnos između ulaznog i izlaznog napona određen je konfiguracijom pretvarača i iznosom faktora vođenja d, prema izrazima danim u tablici 2. Faktor vođenja definiran je kao omjer između vremena vođenja Ton i ukupnog perioda preklapanja T sklopke S. Može se primijetiti kako uzlazni i uzlazno-silazni pretvarači imaju nelinearnu karakteristiku.

Slika 3. 1. DC/DC pretvarači (Boost, Buck, Buck-boost)



Slika 3. 2. Prijenosne karakteristike DC/DC pretvarača



Tablica 2. Prijenosne karakteristike DC/DC pretvarača

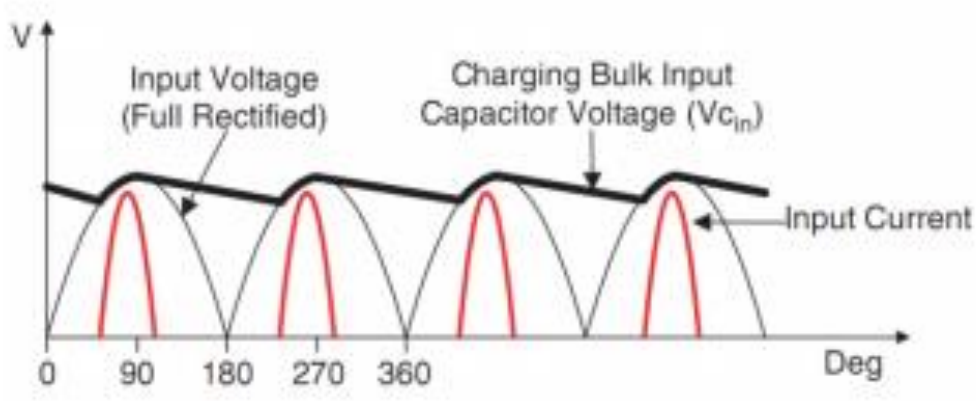
Pretvarač	U_0/U_1
Silazni (Buck)	d
Uzlazni (Boost)	$\frac{1}{1-d}$
Silazno-uzlazni (Buck-boost)	$\frac{-d}{1-d}$

Općenito, izlazni napon pretvarača raste s porastom faktora vođenja u sve tri konfiguracije. Pritom je izlazni napon pretvarača: uvijek manji od napona izvora za silazni pretvarač, uvijek veći od napona izvora za uzlazni pretvarač, suprotnog polariteta od ulaznog napona za uzlazno-silazni pretvarač (moguće je ostvariti izlazne napone veće ili manje od ulaznih).

3.2. AC/DC pretvorba

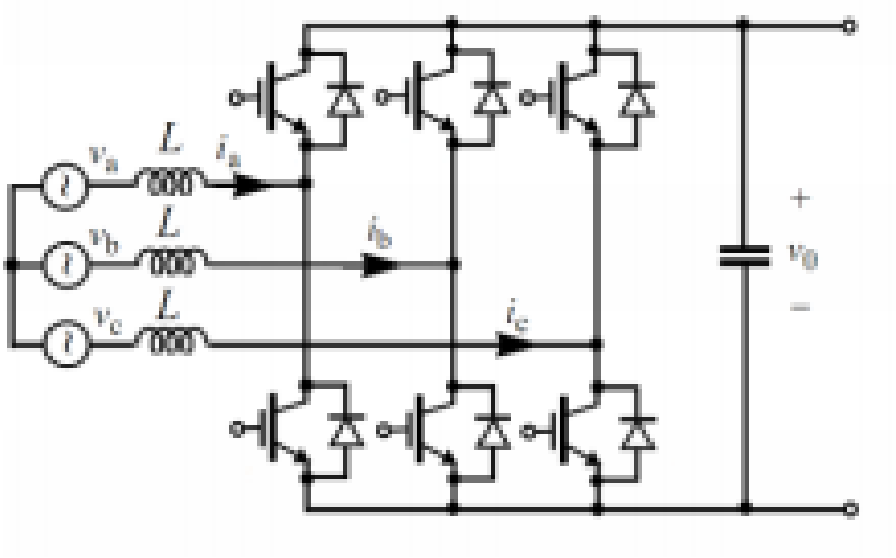
Ulazna faza AC/DC pretvarača ključna je komponenta za dobre performanse sustava kojim se puni baterija. Pretvorba koja se radi mora udovoljavati regularnim zahtjevima koji se odnose na ograničenja ukupnog harmonijskog izobličenja i ispravljanje faktora snage. Najjednostavnije topologije ispravljača izmjeničnog u istosmjernio koje se obično izvode diodnim mostom i kondenzatorom, iz mreže crpe nesinusoidne struje, što ozbiljno pogoršava kvalitetu električne energije u distribucijskoj mreži. Slika 3.3. je dobar prikaz problema koji se analizira. U jednofaznom sustavu, ispravljač izmjeničnog i istosmjernog napona bez korekcije faktora snage iz mreže izvlači valni oblik sa šiljastom strujom, koji se javlja samo kada napon kondenzatora padne ispod vrijednosti mrežnog napona.

Slika 3. 3. Valni oblici napona i struje u jednostavnom ispravljačkom krugu[7]



Ova implementacija donosi ozbiljne probleme robusnosti sustava. U sadašnjem scenariju, dijelovi duž energetskog puta moraju imati značajno smanjene specifikacije kako bi podnijeli velike impulsne struje nekoliko puta veće od očekivanih nominalnih vrijednosti. Poboljšanje faktora snage pristup je koji se mora slijediti kako bi se izvršilo ispravljanje mrežnog napona, zaglađujući ovu veliku vršnu struju i puneći kondenzator. U punionicama veće snage, veće od 10kW, poželjne su topologije zasnovane na trofaznom pojačanju sa šest prekidača. Primjer takvog pristupa prikazan je na slici 3.4. U ovom se sustavu korekcija faktora snage dobiva upravljanjem s tri sinkrone ispravljačke grane tako da se ulazna struja svake faze oblikuje prema odgovarajućem faznom naponu, vodeći na taj način struju za praćenje naponske faze.

Slika 3. 4. Korekcija faktora snage trofaznim pojačavanjem s šest prekidača[7]



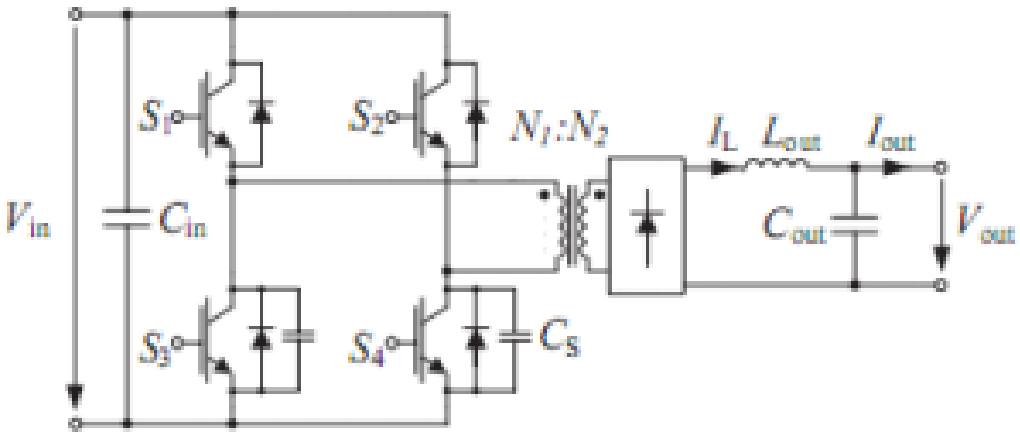
Međutim, unatoč blagodatima koje daju „boost“ pretvarači temeljeni su na tome da potaknu parametre kvalitete mreže, njihovo načelo rada neizbježno podrazumijeva da napon istosmjerne sabirnice bude na znatno višoj vrijednosti od tipičnog vršnog napona od 400 V europske trofazne mreže. Česti su ispravljački sustavi s izlaznim naponima većim od 700V, koji daleko nadmašuju maksimalni napon trenutno korištenih baterijskih sustava. Stoga je, kao što će biti prikazano u sljedećem odjeljku, nakon ispravljanja potrebna DC/DC pretvorba kako bi se izlazni napon prilagodio bateriji koju puni.

3.3. DC/DC pretvorba

Pretvarač istosmjerne u istosmjernu struju je elektronički sklop ili elektromehanički uređaj koji pretvara izvor istosmjerne struje (DC) s jedne naponske razine na drugu. To je vrsta pretvarača električne energije. DC/DC pretvarač pretvara napon iz izvora istosmjerne struje u napon za napajanje druge naponske razine istosmjerne struje. DC/DC pretvarači koriste se za povećanje ili smanjenje naponske razine. Preniski napon možda neće pokrenuti uređaj dok previsok napon može uništiti uređaj. Pretvarač mijenja napon akumulatora smanjujući ili povećavajući naponsku razinu. Razine snage kreću se od vrlo niskih (male baterije) do vrlo visokih (visokonaponski prijenos snage-brzo punjenje EV-a). Prije razvoja poluvodičkih komponenti i srodnih tehnologija, jedan od načina za pretvaranje na viši napon (za primjene male snage) bio je pretvaranje u izmjeničnu pomoću vibratora, nakon čega je slijedilo pojačavanje transformatorom i ispravljanje. Uvođenje poluvodičkih komponenti i integriranih sklopova učinilo je ekonomski isplativom upotrebu tehnika pretvaranja i ispravljanja. Energetski učinkovita pretvorba postala je moguća samo s poluvodičkim sklopovima. Budući da su razine napona koje daje izlazni stupanj korekcije faktora snage (AC-DC pretvorba) obično veće od 700 V, smanjenje njegove vrijednosti postaje neophodno kako bi se udovoljilo specifikacijama baterije električnog vozila. Ovim se zadatkom obično bave Switched Mode napajanja (SMPS) na temelju Buckove topologije. Ovaj pretvarač DC/DC struje sadrži završnu fazu sustava brzog punjenja, tako da može biti izložen nepredviđenim vanjskim događajima koji mogu prouzročiti nekoliko situacija s kvarom. Stoga je važno da se odabrani dizajn pridržava strogih sigurnosnih propisa kako bi se zaštitio sam hardver i krajnji korisnik. Glavni nedostatak Buckove topologije je odsutnost galvanske izolacije između njezinog ulaza i izlaza. Budući da ovaj stupanj ne pruža ovu značajku, sustav punjenja mora koristiti linijski transformator frekvencije, postavljen prije AC-DC pretvorbe, ili visokofrekventni transformator, smješten na stupnju AC-DC (obično Boost SMPS koji provodi ispravljanje i korekcija faktora snage. Budući da drugo rješenje nije obično dostupno, usvajanje prvoga značajno povećava konačni trošak sustava budući da dizajn niskofrekventnog transformatora za velike snage ima veće troškove za magnetske materijale. Tako je i kad je potrebna velika gustoća snage ,galvanska izolacija provodi se u stupnju visoke frekvencije, obično pri pretvorbi DC-DC.

Arhitektura koja sadrži navedeni zahtjev je pretvarač SMPS prema naprijed, kao što je prikazano na slici 3.5. Ovaj se sustav može promatrati kao izolirani pretvarač s naponom, gdje je transformator jednostavno element pojačanja napona. Korištenje punog mosta za kontrolu protoka struje kroz primarni namot optimizira prijenos energije na njegovu sekundarnu stranu, omogućujući upotrebu radnih ciklusa većih od 50%.

Slika 3. 5 DC/DC Pretvarač prema naprijed s visokofrekventnom izolacijom[7]



Kako napon istosmjerne sabirnice između AC/DC pretvarača i DC/DC pretvarača uvelike nadmašuje specifikacije većine baterijskih sustava, izbor namota transformatora (omjer N 1: N 2) je od najveće važnosti za prilagodbu izlaznog napona. O tome ovisi maksimalni izlazni napon i ravnomjerna raspodjela protoka energije kroz elemente sustava tijekom razdoblja uključivanja kako bi se izbjegao preveliki napon na startu. Ovisnost izlaznog napona i duty cycle-a(D [%]) o potonjem parametru vidljiva je na prijenosnoj funkciji upravljačko-izlaznog sustava, prikazanoj u jednadžbi (1)

$$\frac{Vout}{D} = \frac{Vin*N1/N2}{CoutLout*s^2+\frac{Lout}{Rload}*s+1} \quad (1)$$

Kako bi se razvio sustav punjenja sposoban održati takvu situaciju, mogu se slijediti dva pristupa. Prva se sastoji od projektiranja jednog stupnja snage, gdje preklopni elementi, izolacijski transformator, prigušnica i kondenzatori moraju biti prilagođeni za veću vršnu snagu od nominalne, tako da mogu izdržati prenapone uzrokovane napajanjem nazivnih snaga u malim radnim ciklusima. Ovaj pristup može zahtijevati upotrebu velikog broja paralelnih sklopnih elemenata, kako bi se smanjili gubici, upotrebljavaju se posebne prigušnice, s visokim vrijednostima indukcije i struje zasićenja i veliki kondenzatori na izlazu koji mogu minimalizirati izlazni napon i „poravnati“ struju. Zbog toga je ovo skuplje i ekonomski manje prihvatljivo rješenje. Alternativni način rada i to najpovoljniji, oslanja se na upotrebu nekoliko ćelija mini pretvarača koje rade sve zajedno kako bi se postigli ukupni zahtjevi sustava. Takav pristup bit će predstavljen u sljedećim pododjeljcima.

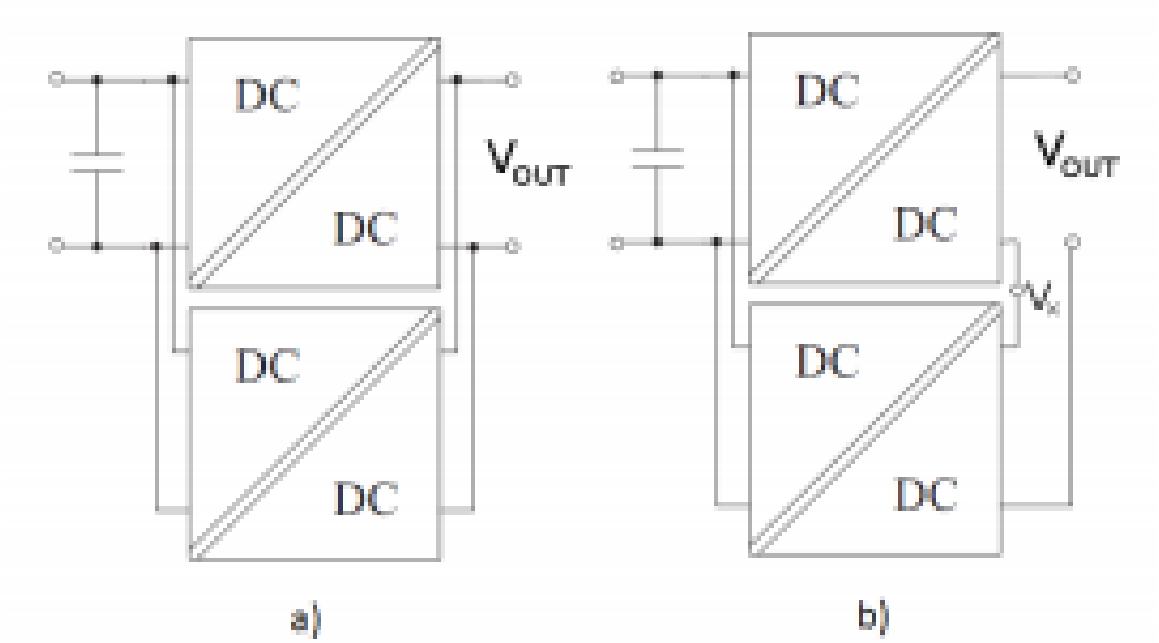
3.4. Modulirani dizajn DC/DC pretvarača

„Podijeli pa vladaj“ je često korištena metoda za rješavanje problema visoke složenosti. Rastavljanjem glavnog problema na nekoliko manjih mogu se pronaći jednostavnija i učinkovitija djelomična ili cjelovita rješenja za svaki od dio manjeg problema i time riješiti početni problem. Kada se razmatra prijedlog predstavljena u ovom radu, modularni i presloženi sustav sastavljen od nekoliko SMPS-a obećavajući je pristup razvoju efikasnog sustava punjenja koji može raditi pod nominalnom snagom u širokom rasponu opterećenja. Ovisno o vrsti baterije koja se puni, od SMPS-a može se zatražiti da daje svoju nominalnu snagu pod uvjetima koji zahtijevaju kombinacije velike struje / nižeg napona ili visokog napona / niže struje. Kako bi se razvio SMPS sposoban istovremeno udovoljavati takvim zahtjevima, specifikacija sustava može se razgraditi u dvije faze:

- Razviti jedan optimizirani pod modul koji pruža djelić izlaznog napona / struje cjelokupnog sustava punjenja.
- Povezati izlaz nekoliko pod modula, bilo u seriji ili paralelno, kako bi se postigla maksimalna snaga sustava.

Paralelna konfiguracija nekoliko modula pogoduje dizajnu za visoke struje (dijeli isti izlazni napon). Serijska konfiguracija povećava izlazni napon sustava za punjenje (dijeli istu izlaznu struju). Slika 3.6. prikazuje potencijalne konfiguracije (s obzirom na postojanje dva SMPS), gdje je svaki modul razvijen prema topologiji prosljeđivanja koja je prethodno predstavljena na slici 3.5. U stvarnom sustavu bismo trebali koristiti puno više modula da bi dobili veću ukupnu izlaznu snagu.

Slika 3. 6. Dvostupanjski pretvarači[7]



a) Paralelni izlaz – za velika strujna opterećenja

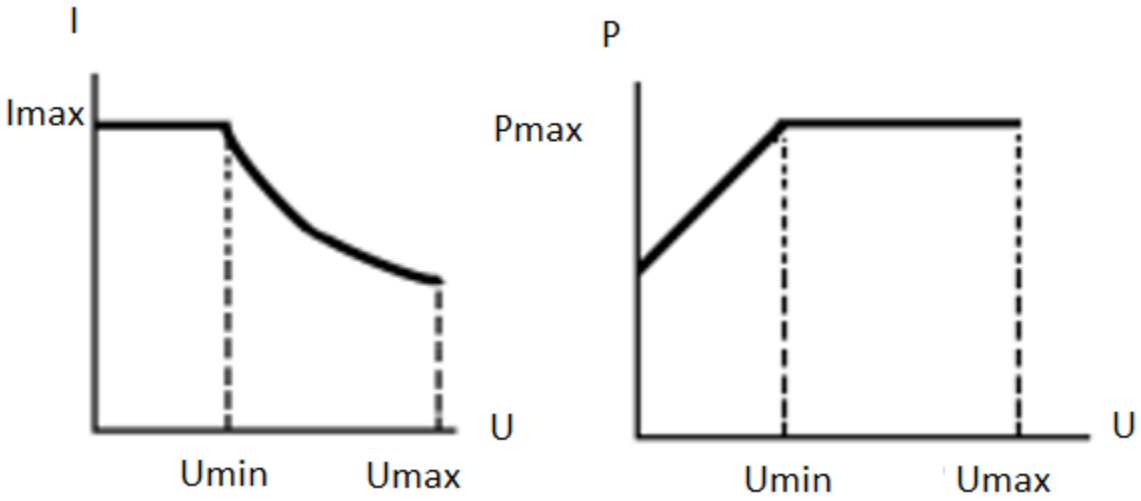
b) Serijski izlaz – za zahtjevna visokonaponska opterećenja

Kako bi se povećala globalna učinkovitost sustava u širokom rasponu radnih uvjeta, s obzirom na to da DC/DC pretvarači moraju raditi zajedno, a svaki dizajn mora biti optimiziran uzimajući u obzir sljedeća ograničenja:

- Maksimalni izlazni napon (U maks.) je ograničen brojem serijski povezanih modula prilikom napajanja maksimalnog izlaznog napona sustava za punjenje. Stoga je maksimalni napon koji svaki modul mora napajati dan omjerom (2)
- $$\frac{Uoutmax}{broj\ modula\ n} \quad (2)$$
- Maksimalna izlazna struja (I maks.) je ograničen brojem paralelno povezanih modula, a minimalni izlazni napon (U min) je onaj koji SMPS isporuči . Stoga se maksimalna struja koju može isporučiti svaki modul daje omjerom (3).
- $$\frac{Pmax}{n*Umin} \quad (3)$$
- Ukupna izlazna snaga sustava mora biti ravnomjerno raspoređena po svakom broju modula

Navedeni parametri prikazani su na grafovima I/U, P/U (za pojedinačni modul), predstavljenim na slici 3.7.

Slika 3. 7.Očekivane krivulje za pojedinačni modul

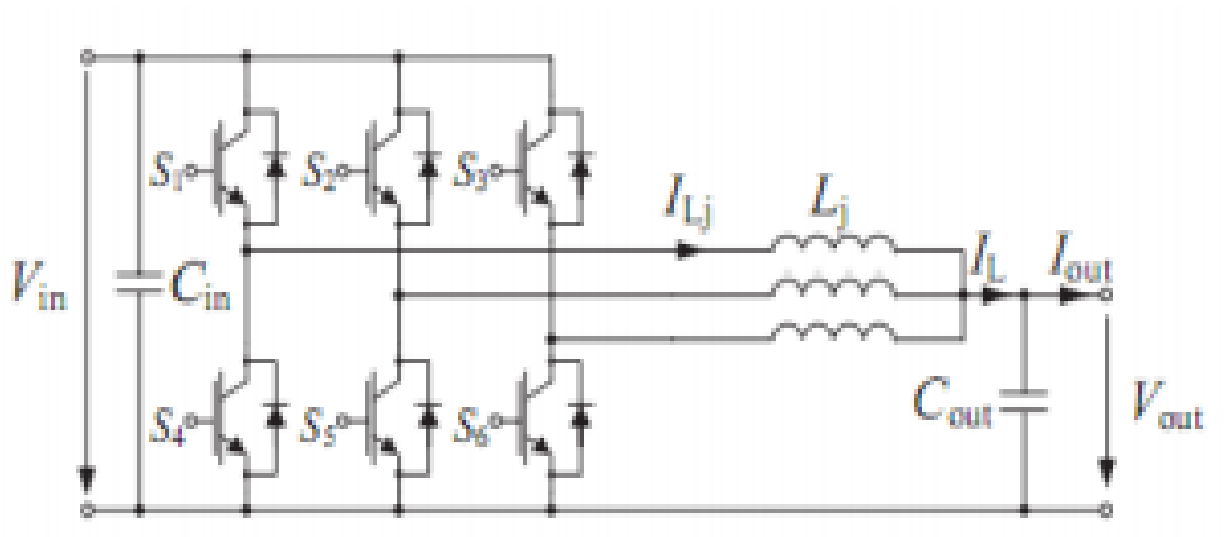


Unatoč sposobnosti sustava da održi maksimalnu struju punjenja I maks na minimalnom naponu U, za veće napone punjenja ta se vrijednost postupno smanjuje kako bi se smanjio „stres“ na sklopnim uređajima i diodama tijekom prijelaznih promjena s jakim prebacivanjem i time postigao robusniji i dugotrajniji rad sustava. U sljedećim pododjeljcima dalje će se prikazati prednosti modularnog dizajna sustava uzimajući u obzir dvije moguće konfiguracije.

a) Povećavanje maksimalne izlazne struje sustava

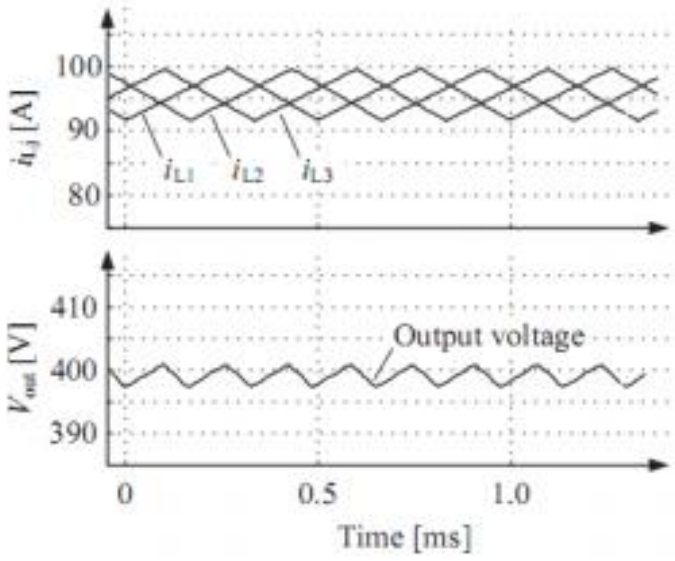
Kada se zahtjeva velika propusnost struje, uobičajeni pristup je razdvajanje stupnja izlazne snage na nekoliko paralelnih SMPS-a. Kao neposredna posljedica, specifikacija snage svakog podsustava može se značajno smanjiti zbog prekidačkih i provodnih naprezanja koja podnose preklopni i filtrirajući elementi. Nadalje, čak i u situacijama punjenja koje zahtijevaju niži radni ciklus, stres koji stvara udarna struja smanjuje se jer je snaga koju svaki uređaj mora isporučiti manja u usporedbi s jednim dizajnom sustava. Takav sustav je prikazan na slici 3.8.

Slika 3. 8. Isprepleteni Buck-ov pretvarač[7]



Isti princip konfiguracije nalazi se i u SMPS-u koji se temelji na pretvaraču prema naprijed ,gledajući trenutnu propusnost DC/DC pretvarača zadržavajući sposobnost galvanske izolacije. Paralelno s nekoliko modula, osim poboljšanja ocjene snage, dovodi do poboljšane regulacije izlazne struje i napona tijekom razdoblja punjenja konstantne struje i konstantnog napona. To je od posebne važnosti u razmatranom scenariju primjene, jer je valovitosti visoke struje / napona odgovorno za ubrzanu degradaciju vremena trajanja baterije uslijed pregrijavanja njezinih ćelija (uzrokovanih mehanizmima gubitka visoke frekvencije). Uvođenjem faznog kašnjenja u kontrolu svakog paralelnog pretvarača, njihov rad postaje isprepleten i trenutno izbacivanje valovitosti može se dobiti na izlazu sustava. To olakšava stupanj filtriranja (prigušnica i kondenzatora). Slični rezultati regulacije izlaza mogli bi se dobiti jednostavnim povećanjem frekvencije uključivanja DC/DC pretvarača za broj isprepletenih krugova. Međutim, uzimajući u obzir očekivane razine snage njegove primjene, izbor specifikacija preklopnih elemenata, poput vremena porasta/pada, vremena povratnog oporavka i otpora vođenja prema naprijed, može postati kritičan za ispravni rad pretvarača i minimiziranje preklopnih gubitaka i gubitaka vođenja. Slika 3.9. prikazuje određeni scenarij, gdje se tri međusobno preusmjerena pretvarača pomiče za 120 ° jedan od drugog, pa se postiže maksimalno poništavanje valovitosti. Ovaj rezultat je pomalo isprepleten, pa se povećanjem broja paralelnih pod modula i podešavanjem njihove relativne faze upravljanja, trenutna propusnost sustava i njegovo maksimalno mreškanje mogu dodatno poboljšati.

Slika 3. 9.Slika pretvarača daju izlaznu struju valnih oblika, čiji se rad isprepliće , pa se smanjuje ukupna isprepletenost izlaznog napona[7]



b) Povećanje maksimalnog izlaznog napona sustava

Kada se traženi napon punjenja ne može napajati jednim DC-DC pretvaračem, modularni dizajn sustava može se iskoristiti spajanjem u seriju nekoliko modula i jednako podijeliti dovedeni napon među njima. Svestranost sustava zahtijeva strogu kontrolu svakog izlaza pretvarača kako bi se raspoloživa snaga ravnomjerno raspodijelila po dostupnim podsustavima. Tolerancije komponenata pokreću neravnoteže. Vremenske pogreške su među mogućim smetnjama koje mogu rezultirati neravnomjernom raspodjelom snage i posljedično odbaciti sustav od njegove optimalne radne točke. Ovaj je problem posebno važan u fazi punjenja s konstantnom strujom. Stoga, kako bi se izbjegle takve neravnoteže, upravljački sustav svakog pretvarača zahtijeva mjerenja u pogledu vlastitog napona i strujnog izlaza, ali i ukupnog izlaza sustava, pa se odgovarajuće kontrolne vrijednosti određuju s obzirom na traženi udio opskrbljene snage.

Iako se otkrivanje sistemskih neravnoteža u načinu neprekidnog punjenja čini trivijalnim pri odabiru paralelnog rada modula, budući da akumulator nameće isti napon na izlaz svakog pretvarača i moguće je neovisno izmjeriti napajanu struju svakog, ali kada je nekoliko modula spojeno u seriju isto se ne može reći. Uzimajući u obzir primjer prikazan na slici 3.1.1-b , jasno je da je u načinu punjenja konstantnom strujom ravnomjerna raspodjela prenesene snage među dostupnim DC/DC pretvaračima energije zajamčena samo ako je Ux polovica izlaznog napona (Uout) . U generičkom slučaju kada imamo n pretvarača spojenih u seriju, svaka međusobna veza mora predstavljati napon koji je dio izlaznog napona (Uout) . Kako bi se osiguralo navedeno stanje, s proizvoljnim brojem serijski povezanih modula, samo jedan DC/DC pretvarač može raditi u načinu konstantne struje, koji će sam po sebi postaviti struju koju pruža svaki drugi uređaj u nizu. Preostali pretvarači moraju raditi pod konstantnim izlaznim naponom, održavajući diferencijalni napon (U out/n pretvarača) preko njihovog izlaza , jamčeći na taj način da svaki modul daje jednaku snagu. Tijekom postupka punjenja napon akumulatora postepeno raste što podrazumijeva stalni nadzor zadane vrijednosti modula.

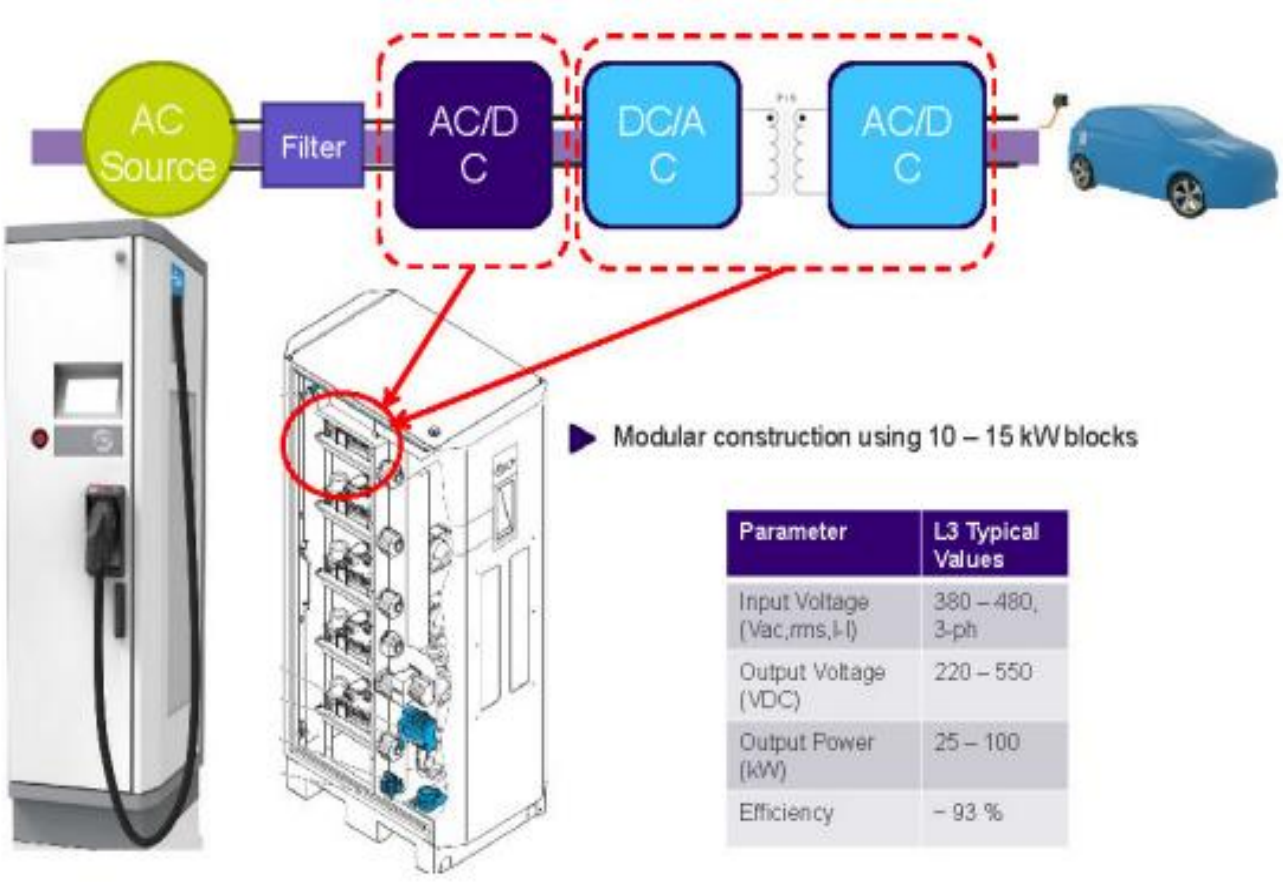
4. Silicij Karbid MOSFET-i u brzim punjačima DC razine 3

U ovom je dijelu ispitano tržište brzih punjača istosmjerne struje i proizvoda koji se trenutno koriste na tom tržištu. Obuhvatit će osnovna razmatranja dizajna za brze DC punjače, kao i pomnije ispitivanje zašto su najnoviji SiC MOSFET-i idealni za ovu primjenu - kako poboljšavaju učinkovitost sustava i gustoću snage, a istovremeno pojednostavljuju dizajn sustava i time povećavaju pouzdanost. Dostupnost brzih punjača istosmjerne struje razine 3 znatno se povećao posljednjih godina. U svijetu je 2012. bilo dostupno približno 1.800 brzih punjača razine 3. Pretpostavke pokazuju da bi do kraja 2020. u svijetu moglo biti približno 200 000 brzih istosmjernih punjača razine 3.

4.1 Osnovna razmatranja dizajna

Slika 4.1. prikazuje primjer istosmjernog brzog punjača. Kao što se vidi sam proizvod (krajnje lijevo) izgleda poput hladnjaka ili pumpe benzinske crpke. Preko vrha slike može se vidjeti osnovni blok dijagram onoga što se nalazi unutar istosmjernog brzog punjača. Izvor napajanja izmjeničnim naponom (obično 3-fazni), komponente za filtriranje, AC/DC pretvarač, pa izolirani DC/DC pretvarač. Pogled na isječak punjača pokazuje njegovu modularnu konstrukciju. Moduli su tipično u rasponu od 10–12 kW i paralelni su kako bi se postigla željena izlazna snaga. Ovaj se rad usredotočuje na te modularne sklopove i na to kako silicijev karbid može donijeti vrijednost njihovom dizajnu. Mala tablica na slici 4.1.1. prikazuje tipične specifikacije ovih DC punjača.

Slika 4. 1. Primjer DC/DC brzog punjača[8]



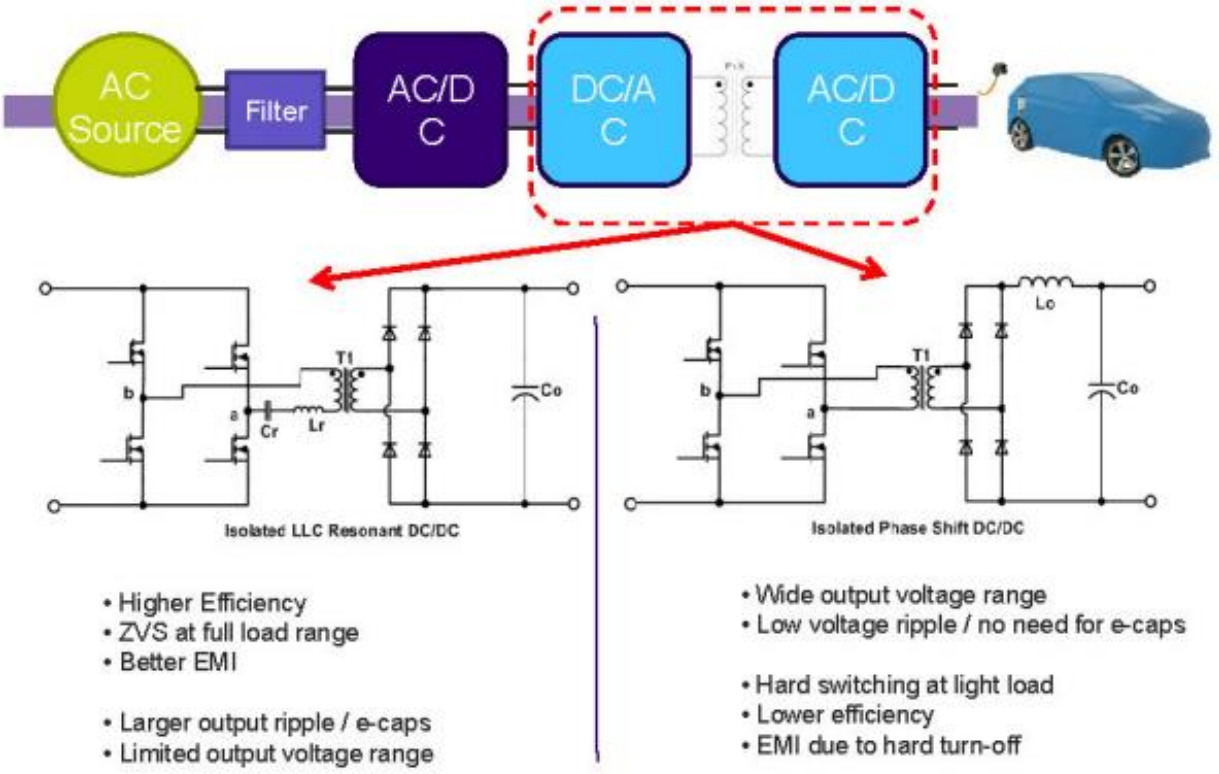
Sad će se pobliže razmotriti dvije faze pretvorbe kako su prikazane na blok dijagramu na slici 4.1.1., počevši od nekoliko točaka o pretvorbi AC/DC napona. Trenutna tehnologija koja se često koristi su niskonaponski silicijski MOSFET-i - obično se koristi bečki ispravljač ili modificirana verzija bečkog ispravljača. Prihvatljiv je i jednosmjerni dizajn protoka snage koji donosi dobre performanse po cijeni.

Trenutačni trendovi punjača razine 3 uključuju:

- Poboljšanja i modularna izgradnja će se nastaviti
- Potreba za sklopovima veće snage (trenutno na 10–12 kW; porast će na 15 kW ili čak 20 kW), što znači dizajn veće gustoće snage bez povećanja ukupne veličine
- Veći ulazni napon koji može smanjiti veličinu kabela i odvođenje topline za kabel kojim rukuje potrošač.
- Potreba za većom učinkovitošću i boljom korekcijom faktora snage na ulazu
- Moraju biti manji kako bi omogućili privlačniji industrijski dizajn

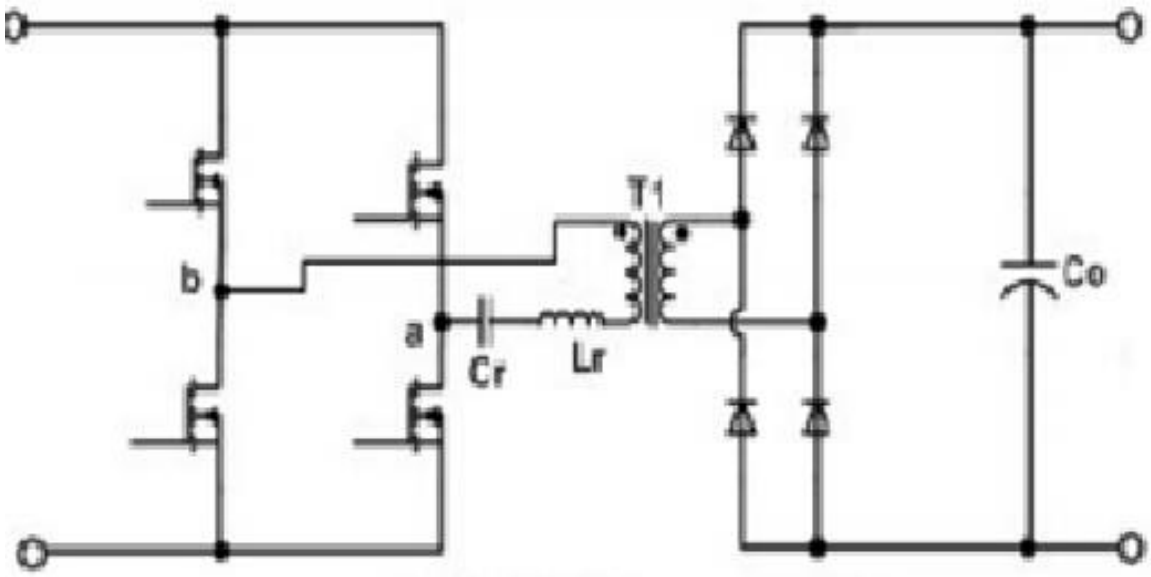
Silicijev karbid je veoma koristan visokofrekventnom DC/DC pretvaraču. U ovom dijelu će veći dio biti fokusiran na to. Slika 4.2. prikazuje prošireni prikaz ove faze u blok dijagramu, zajedno s dvije najpopularnije topologije za ovu fazu.

Slika 4. 2. DC/DC pretvorba[8]



S lijeve strane je izolirana rezonantna DC / DC topologija punog mosta LLC, a s desne je izolirana DC/DC topologija faznog pomaknutog punog mosta. Iako izgledaju prilično slično, svaka ima svoje prednosti i nedostatke. Za LLC dizajn, najveća prednost je veća učinkovitost. Jedan od mogućih nedostataka LLC-a je taj što je isprepletanje izlaznog napona obično veliko, što zahtijeva elektrolitske kondenzatore za filtriranje. To u osnovi nije problematično, ali neke tvrtke ih ne žele koristiti zbog manje pouzdanosti. Sljedeći je nedostatak ograničen raspon izlaznog napona koji je obično moguć s LLC dizajnom. Međutim, na tržištu postoje neke nove kontrolne tehnike koje uključuju moduliranje frekvencije kako bi LLC dizajn imao širi raspon izlaznog napona. Najveća prednost topologije faznog pomaka je širok raspon izlaznog napona koji postiže. Ima poprilično ravan napon na izlazu, što eliminira potrebu za elektrolitskim kondenzatorima i omogućuje upotrebu malih filmskih ili keramičkih kondenzatora na izlazu. Za sad je LLC topologija u kombinaciji s Silicij karbidom(slika 4.3.) najoptimalnije rješenje, zauzima puno manje mjesta i daje veću snagu.

Slika 4. 3. Izolirani DC/DC rezonantni SiC LLC pretvarač [8]



5. Zaključak

Ovaj rad je analizirano neke od glavnih problema pri razvoju sustava za punjenje velike snage i predložio sustav koji se lako može prilagoditi širokoj raznolikosti specifikacija nadolazećih generacija električnih vozila. Čini se da je modularnost ključ uspjeha cjelokupnog sustava, jer omogućuje upotrebu uređaja srednje snage (koji su već dobro proučeni u literaturi) za primjenu učinkovitih sustava s većim energetskim sposobnostima i, u konačnici, smanjenje vremena punjenja baterija. U radu je prikazano kako MOSFET-i od silicij-karbida mogu pojednostaviti dizajn LLC kruga s punim mostom u istosmjernom brzom punjaču. Silicij karbid MOSFET-i i diode ne samo da poboljšavaju učinkovitost i gustoću snage, oni također pojednostavljuju sklop i na taj način povećavaju pouzdanost cjelokupnog sustava.

U Varaždinu,_____ _____

Sveučilište
Sjever

SVEUČILIŠTE
SJEVER

IZJAVA O AUTORSTVU
I
SUGLASNOST ZA JAVNU OBJAVU

Završni/diplomski rad isključivo je autorsko djelo studenta koji je isti izradio te student odgovara za istinitost, izvornost i ispravnost teksta rada. U radu se ne smiju koristiti dijelovi tuđih radova (knjiga, članaka, doktorskih disertacija, magistarskih radova, izvora s interneta, i drugih izvora) bez navođenja izvora i autora navedenih radova. Svi dijelovi tuđih radova moraju biti pravilno navedeni i citirani. Dijelovi tuđih radova koji nisu pravilno citirani, smatraju se plagijatom, odnosno nezakonitim prisvajanjem tuđeg znanstvenog ili stručnoga rada. Sukladno navedenom studenti su dužni potpisati izjavu o autorstvu rada.

Ja, FILIP SIVEC *(ime i prezime)* pod punom moralnom, materijalnom i kaznenom odgovornošću, izjavljujem da sam isključivi autor/ica završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom DC/DC PRETVARAČI ZA BRZO PUNJENJE BATERIJA EL. VOZILA *(upisati naslov)* te da u navedenom radu nisu na nedozvoljeni način (bez pravilnog citiranja) korišteni dijelovi tuđih radova.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

_____
(vlastoručni potpis)

Sukladno Zakonu o znanstvenoj djelatnost i visokom obrazovanju završne/diplomske radove sveučilišta su dužna trajno objaviti na javnoj internetskoj bazi sveučilišne knjižnice u sastavu sveučilišta te kopirati u javnu internetsku bazu završnih/diplomskih radova Nacionalne i sveučilišne knjižnice. Završni radovi istovrsnih umjetničkih studija koji se realiziraju kroz umjetnička ostvarenja objavljuju se na odgovarajući način.

Ja, FILIP SIVEC *(ime i prezime)* neopozivo izjavljujem da sam suglasan/na s javnom objavom završnog/diplomskog (*obrisati nepotrebno*) rada pod naslovom DC/DC PRETVARAČI ZA BRZO PUNJENJE BATERIJA EL. VOZILA *(upisati naslov)* čiji sam autor/ica.

Student/ica:
(upisati ime i prezime)

_____
(vlastoručni potpis)

6.Literatura

[1] http://cotevos.eu/wp-content/uploads/2014/08/D1.1-Report-on-the-needs-for-interoperability-between-EVs-and-electrical-power-system.pdf - dostupno 29.07.2020.

[2] https://www.mitsubishielectric.com/en/index.html - dostupno 06.08.2020.

[3] https://en.wikipedia.org/wiki/Silicon_carbide -dostupno 06.08.2020.

[4] http://kener.elektr.polsl.pl/ipes/ipes/e_index.html -dostupno 06.08.2020.

[5] O. Onar D. Erb i A. Khaligh, "Topologije dvosmjernog punjenja za priključna hibridna vozila", IEEE Bucharest Power Tech Conference, 2009

[6] H. Zelaya-De La Parra A. Coccia N. Butcher D. Aggeler, F. canales and O. Apeldoorn, "Ultra-Fast DC-Charge Infrastructure for EV-Mobility and Future Smart Grids", Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe

[7] https://www.researchgate.net/publication/236212655_Modular_Design_of_DC-DC_Converters_for_EV_Battery_Fast-Charging – dostupno 07.08.2020.

[8] https://www.wolfspeed.com/power/products/sic-power-modules - dostupno 03.09.2020.

Dodatno

Za vrijeme izrade ovog rada posjetio sam jednu brzu punionicu za EV u Ivancu. Dotična punionica je vrlo modernog dizajna. Punionica je opremljena s priključkom za AC punjenje snage 25 KW i dvije „šuko utičnice“ na kojima se mogu puniti električni bicikli, romobili, motori i bilo koji drugi uređaj s električnim pogonom. Tu su i dva DC priključka jedan snage 65kW(130A) , a drugi 100kW(250A), na kojima se istovremeno mogu „puniti“ dva automobila, budući da punionica ima mogućnost dislociranja izlazne snage prema oba DC punjača. Punionica koja se postavlja u Ivancu, je jedna od najjačih punionica u Hrvatskoj s kojom punjenje automobila maksimalnom snagom 90 KW , ovisno o istrošenosti baterije, može potrajati od 25 minuta do pola sata, a najduže, ako se istovremeno pune dva automobila, punjenje će potrajati manje od sata. Vrijednost ove punionice procjenjuje se na oko 30 000 eura.



Popis slika

Slika 2. 1. Strukture SiC-a [3] 3
Slika 2. 2. Usporedba veličine Si i SiC MOSFET-a [2] 4
Slika 2. 3. Primjena SiC tehnologije na LLC topologiji[8] 5
Slika 2. 4 Usporedba Si 15 kW LLC (20A) vs SiC 20kW LLC (35A) [8] 6
Slika 2. 5. Krivulja učinkovitosti SiC MOSFET-a 20kw [8] 7
Slika 2. 6 Toplinske performanse (Ulaz:700V , Izlaz:500V,35A)[8] 8
Slika 2. 7.[8] 9
Slika 2. 8. Pregled modula fizički [8] 10
Slika 3. 1. DC/DC pretvarači (Boost, Buck, Buck-boost) 11
Slika 3. 2. Prijenosne karakteristike DC/DC pretvarača 12
Slika 3. 3. Valni oblici napona i struje u jednostavnom ispravljačkom krugu[7] 13
Slika 3. 4. Korekcija faktora snage trofaznim pojačavanjem s šest prekidača[7] 14
Slika 3. 5 DC/DC Pretvarač prema naprijed s visokofrekventnom izolacijom[7] 16
Slika 3. 6. Dvostupanjski pretvarači[7] 18
Slika 3. 7.Očekivane krivulje za pojedinačni modul 19
Slika 3. 8. Isprepleteni Buck-ov pretvarač[7] 20
Slika 3. 9.Slika pretvarača daju izlaznu struju valnih oblika, čiji se rad ispripliće , pa se smanjuje ukupna isprepletenost izlaznog napona[7] 21
Slika 4. 1. Primjer DC/DC brzog punjača[8] 24
Slika 4. 2. DC/DC pretvorba[8] 25
Slika 4. 3. Izolirani DC/DC rezonantni SiC LLC pretvarač [8] 26

Popis tablica

Tablica 1.Razine brzine punjenja EV 1
Tablica 2. Prijenosne karakteristike DC/DC pretvarača 12