

MOGUĆNOSTI PRIMJENE NISKONAPONSKE DISTRIBUCIJE SA JEDNOSMJERNIM NAPONOM

POSSIBILITIES OF APPLYING LVDC (LOW-VOLTAGE DIRECT CURRENT) DISTRIBUTION

Radenko Ostojić, *Elektrotehnički Fakultet Istočno Sarajevo*
e-mail:radenko_ostojic@yahoo.com

Kratak sadržaj - U radu su navedeni problemi današnjeg distributivnog sistema, zatim je ukazano na prednosti i nedostatke niskonaponske distribucije jednosmjernim naponom, dati su rezultati urađene tehničke analize razmatrane niskonaponske distribucije jednosmjernim naponom, predloženi mogući načini povezivanja današnjih potrošača na takav distributivni sistem i potrebni naponski nivoi u sistemu, i na kraju navedene njegove moguće primjene.

Abstract - The paper listed the problems of today's distribution system, then points out the advantages and disadvantages of LVDC distribution, given the results made the analysis discussed LVDC distribution, suggested possible ways of connecting today's consumers in such a distribution system and the necessary voltage levels in the system, and finally listed its possible implementation.

1. UVOD

Potražnja za (kvalitetnom) električnom energijom u svijetu neprekidno raste. Zbog sve većih problema sa kvalitetom električne energije, izazvanih klimatskim promjenama, prisustvom nelinearnih opterećenja i sl., javlja se potreba za pronalazanjem pouzdanijih distributivnih rješenja od tradicionalnih trofaznih AC sistema (20/0.4 kV, 10/0.4 kV). [2].

Neki od važnijih poremećaja u današnjem distributivnom sistemu, prema standardu IEEE 1159 su: prenaponi, prekidi, propadi i viši harmonici. Po negativnim posledicama za potrošače najvažniji su propadi i harmonici, s tim što ovi drugi izazivaju sve veće probleme i u distributivnom sistemu. Izvori strujnih harmonika su nelinearna opterećenja (opterećenja koja napajana sinusnim naponom vuku struju koja nije sinusna). Najveći izvor strujnih harmonika su uređaji energetske elektronike. Problemi koji u distributivnom sistemu nastaju zbog prisustva viših harmonika su brojni i ovde će biti navedeni samo neki.

Manje iskoristive snage. Mrežni krugovi su dimenzionisani i osigurani na osnovu struje koju mogu sigurno isporučiti. Pošto mali faktor snage (*Power Factor*-PF) povećava *prividnu* struju izvora, iznos korisne snage na opterećenju može biti značajno smanjen. Na primjer, uobičajene utičnice u kućama i kancelarijama kod nas dimenzionisane su na 230 V, 16 A. Ako je ukupna efikasnost sistema za konverziju energije 80%, a struja je iz sigurnosnih razloga 20% manja od nominalne, tada je raspoloživa snaga, pri PF=1 (najbolji slučaj):

$$P_{\text{omax}} = 230 \times (16 \times 0.80) \times 0.80 = 2355,2 \text{ W.}$$

Ako je PF=0.59 dobijemo:

$$P_{\text{omax}} = 230 \times (16 \times 0.80) \times 0.80 \times 0.59 = 1389.5 \text{ W.}$$

Enormno smanjenje raspoložive snage izazvano je ili faznim pomakom ili harmonijskim izobličenjem (distorzijom).

Troškovi distribucije. Ako postoji mnoštvo opterećenja sa malim faktorom snage, postavljaju se zahtjevi za dodatnim proizvodnim i distributivnim kapacitetima. Troškovi, u prvoj aproksimaciji, rastu proporcionalno sa inverznom vrijednošću faktora snage. Gubici u disipativnim elementima (žice i namotaji transformatora) proporcionalni su kvadratu *prividne* struje pa su troškovi za obezbjeđenje disipirane snage takođe u inverznoj vezi sa faktorom snage. Brojila električne energije registrovaće samo aktivnu snagu pa korisnici ne plaćaju direktno penale zbog reaktivne snage.

Distorzija napona. Impedanse realnih izvora su konačne. Provodnici su sve tanji prema krajnjim potrošačima električne energije. Mali presjeci provodnika u uređajima i velika strujna izobličenja utiču na oblik napona i on postaje nesinusoidaln, što izaziva probleme u radu napojnih jedinica i drugih obližnjih uređaja spojenih na isti izvor.

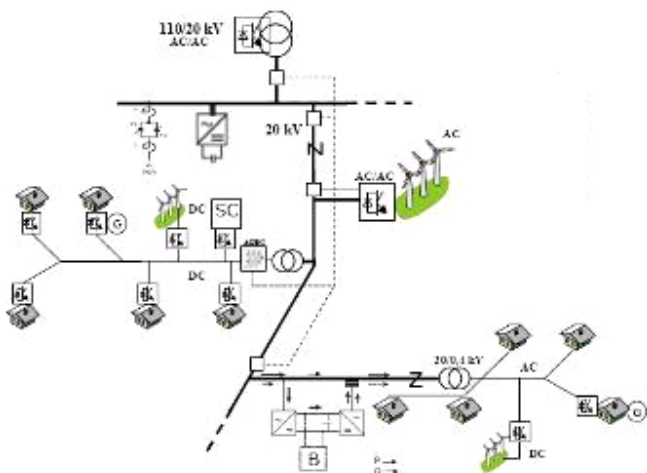
Trofazni sistemi. Neizbalansirano opterećenje izaziva neželjene struje u neutralnom vodiču. Ali, čak i kod potpuno izbalansiranog nelinearnog opterećenja, u neutralnom vodiču će se pojaviti više harmonijske komponente struje (tzv. harmonici trećeg reda, 3-ći, 6-ti, 9-ti itd.). Ako, na primjer, tri opterećenja sadrže samo treći harmonik u iznosu 15% osnovnog, neutralni vodič osjeti struju trećeg harmonika koja je 45% osnovnog, što može izazvati značajne probleme.

Ovi problemi navode na razmišljanje o isplativijim i pouzdanijim distributivnim sistemima nego što su današnji. Slično kao u AC niskonaponskim sistemima, niskonaponske direktive EU (LVD-72/23/EEC) definišu granice napona koji se koristi u niskonaponskim DC sistemima. Prema direktivi, bilo koja električna oprema dizajnirana za napajanje jednosmjernim naponom od 75V do 1500V je niskonaponski instrument. Ovo uključuje i distributivne sisteme [1]. Danas se u distributivnim sistemima masovno koristi AC naponski opseg, dok je DC napon je još uvijek neiskorišćen. Prvi elektrodistributivni

sistemi su bili zasnovani na DC tehnologiji, ali su ubrzo zamjenjeni AC sistemima zbog niza prednosti. Tehnički i ekonomski razvoj tokom posljednje decenije stvorio je mogućnost za izgradnju novih DC distributivnih sistema zasnovanih na savremenoj tehnologiji energetske elektronike. Cijena snažnih poluprovodničkih komponenata stalno opada omogućavajući korišćenje uređaja energetske elektronike u velikom broju primjena. Sa tehnološke tačke gledišta primjena DC sistema zasnovanih na uređajima energetske elektronike predstavlja novu ideju u električnoj distribuciji.

2. LVDC DISTRIBUTIVNI SISTEMI

LVDC distributivni sistem se sastoji od uređaja energetske elektronike i DC veza između njih. Napajanje DC sistema vrši se sa LVAC (*low-voltage alternating current*) mreže, preko odgovarajućih MV/LV (*medium voltage/low voltage*) transformatora. AC napon se ispravlja na DC odmah iza transformatora, ispravljačima sa izlaznim naponom maksimalno 1500 V. Za napajanje AC potrošača koriste se jednofazni ili trofazni DC/AC pretvarači (invertori). Integracija LVDC u distributivnu mrežu je prikazana na slici 1.



Slika 1. – LVDC u distributivnom sistemu (lijeva grana)

2.1 Prednosti i nedostaci LVDC

LVDC distribucija omogućava poboljšanje kvaliteta električne energije sa nižim troškovima u poređenju sa AC sistemom. Primjenom DC niskonaponskog sistema dužina i broj grananja u sredjenaponskoj mreži (10...30 kV) može biti smanjena i cijela sredjenaponska mreža skraćena. Na taj način broj kvarova u MV (*medium voltage*) mreži, koji utiču na stotine potrošača, može biti smanjen, a kvalitet distribucije povećan. Kako je LVDC distributivni sistem nezavisan, kvarovi nastali u njegovoj zoni neće uticati na ostale potrošače [1]. Veoma je važno da su u LVDC distributivnom sistemu eliminisani problemi koje izazivaju viši harmonici.

LVD 72/23/EEC dozvoljava korišćenje višeg naponskog nivoa u DC sistemu (1500 V) nego u AC sistemu (1000 V), pa je prenosni kapacitet niskonaponskog DC sistema veći. Ako se

LVDC distributivni sistem koristi za napajanje više odvojenih grupa potrošača, broj LV (*low voltage*) transformatora se smanjuje, pošto DC sistem zahtjeva samo jedan MV/LV transformator (slika 1.). Korišćenjem DC napona mogu biti smanjeni i ostali gubici. Tako induktivitet prenosnog voda nema uticaja u ustaljenom režimu rada, pa je pad napona na vodu smanjen. Uz to, ne postoji skin efekat, što smanjuje otpor prenosnog voda i pad napona na njemu. Zbog većih prenosnih mogućnosti u LVDC distributivnom sistemu mogu biti korišćeni kablovi manjeg poprečnog presjeka nego u tradicionalnom 400 V AC sistemu, čime se ukupna cijena sistema smanjuje.

Sa DC prenosom je moguće potrošaču isporučiti kvalitetniju energiju. Zbog naponskog nivoa DC voda, koji je značajno veći od nivoa potrebnog za rad invertora (minimum je 325 V za jednofazni i 565 V za trofazni sistem), propadi i varijacije napona koji dolaze iz različitih dijelova mreže mogu biti eliminisani aktivnom kontrolom.

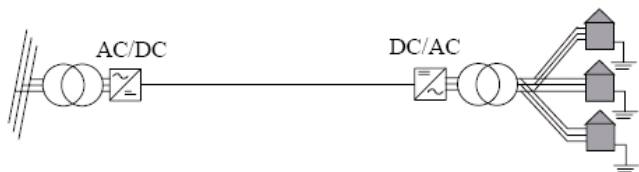
U slučaju potrebe za snabdijevanje energijom tokom dugih ili kratkih prekida u sredjenaponskoj mreži, kada DC mreža nije povezana sa DG (*distributed generation*), na DC vod se mogu povezati akumulatorske baterije i kondenzatori. Niskonaponski DC sistem omogućava idealno povezivanje sa DG malih snaga (solarni paneli, vjetroturbine). Na primer, vjetroturbine sa AC generatorom se danas povezuju na AC mrežu preko AC/DC/AC frekventnog pretvarača. U slučaju DC distribucije drugi AC nivo nije potreban na svakom generatoru, dok se energija troši lokalno od strane opterećenja DC mreže ili se prenosi u MV mrežu preko centralizovanog AC/DC posrednika [3].

Kako primjena predloženog DC sistema povećava broj mrežnih komponenata, zbog povećanog broja uređaja energetske elektronike, i takođe miješa AC i DC distribuciju, distributivni sistem u ukupnom postaje složeniji od tradicionalnog, pa su i mogućnosti za nastajanje sistemskih kvarova veće. Osnovni nedostaci DC sistema posledica su primjene uređaja energetske elektronike, čiji je životni vijek kraći u odnosu na tradicionalne mrežne komponente. Tu su i problemi održavanja i servisiranja pretvarača. Primjena pretvarača energetske elektronike može uzrokovati prekidačke kvarove i otežati djelovanje zaštitnih uređaja.

2.2 Topologije LVDC distributivnih sistema

Postoji nekoliko topologija LVDC distributivnog sistema, sa više varijacija. Zajedničko im je da je AC/DC konverzija uvijek smješтана u blizini sredjenaponskog voda, dok DC/AC pretvarači mogu biti na različitim lokacijama. U zavisnosti od primjene LVDC sistema može urađen samo kao veza između MV/LV transformatora i potrošača smještenih na užem području (slika 2.) ili slično današnjoj AC distributivnoj mreži. Prvi sistem sadrži jedan inverter koji napaja kratku AC mrežu, dok u drugom rješenju postoje posebni invertori za svakog potrošača pojedinačno. U prvom rješenju, LVDC sistem mora biti povezan sa potrošačkom AC mrežom preko transformatora

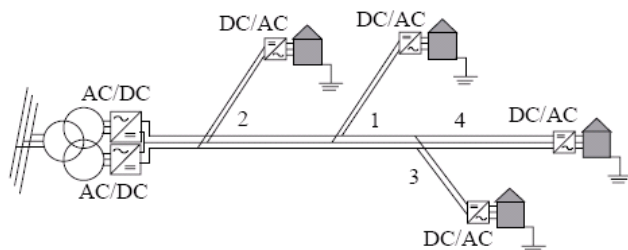
kako bi se obezbijedila usklađenost sa postojećim AC sistemom.



Slika 2. – Primjer LVDC veze distributivnog sistema

2.3 Tipovi LVDC sistema

LVDC distributivni sistem može biti urađen kao jednopolni ili dvopolni. Razlika je u broju naponskih nivoa. Jednopolni sistem ima jedan naponski nivo putem koga se prenosi energija svim potrošačima. U dvopolnom sistemu dva jednopolna sistema su vezana u seriju i potrošači se mogu povezati između naponskih nivoa na više načina. Moguće veze su: 1. između pozitivnog pola i neutralnog provodnika, 2. između negativnog pola i neutralnog provodnika, 3. između pozitivnog i negativnog pola, 4. između pozitivnog i negativnog pola sa neutralnom vezom. Dvopolni LVDC sistem sa mogućim vezama je prikazan na slici 3.



Slika 3. – Primjer dvopolnog LVDC distributivnog sistema sa različitim mogućnostima povezivanja potrošača

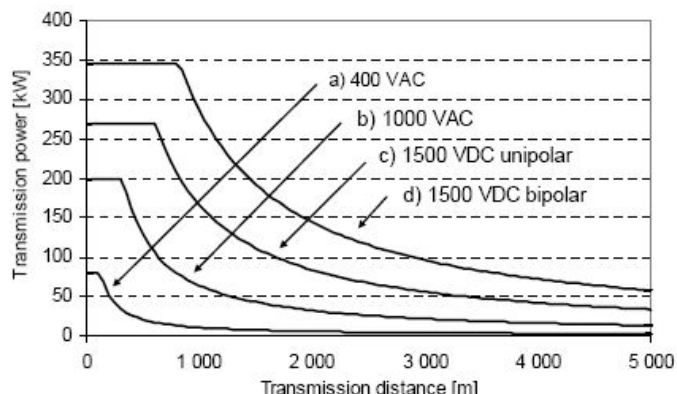
U dvopolnom rješenju mogu nastati problemi ako potrošači nisu identični, pa sistem ispada iz ravnoteže. Veze potrošača 1 i 2 (slika 3.) mogu dovesti do situacija nesimetričnog opterećenja među DC polovima u sistemu. U ovom slučaju će struja teći kroz nulti provodnik. Jednopolni sistem je jeftiniji, ali smanjuje prenosni kapacitet sistema i zahtijeva upotrebu invertora za formiranje nultog potencijala [2].

3. TEHNIČKA ANALIZA

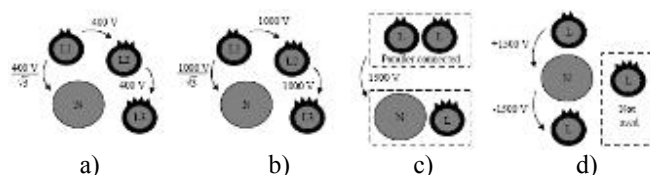
3.1 Kablovi

U DC distributivnom sistemu, u principu, moguće je korišćenje istih kablova kao u AC sistemu, ako to standardi dozvoljavaju. Niskonaponski AC podzemni kablovi mogu biti korišćeni u DC sistemu ako napon između dva provodnika nije veći od 1.5 kV, a između zemlje i provodnika nije veći od 0.9 kV[2][4]. Koefficient prenosa snage između AC i DC sistema sa različitim spojevima kablova mogu biti određeni osnovnim proračunima, pri čemu se uzimaju u obzir toplotna ograničenja i padovi napona na kابلu, u zavisnosti od snage koja se prenosi

i dužine voda. Proračuni pokazuju da se više energije može prenijeti sa DC distributivnim sistemom. Za dozvoljeni pad napona, sa jednopolnim DC distributivnim sistemom može se prenijeti 16 puta veća snaga nego sa tradicionalnim 400 V distributivnim sistemom [1]. Koefficient prenosa snage pri ograničenju toplotnih napreznja kablova je manji nego pri dozvoljenim padovima napona. Razlika između maksimuma u AC i DC sistemu je rezultat korišćene DC veze, DC napona i spoja kablova. Snaga prenosa kao funkcija dužine prenosa prikazana je na slici 4. Korišćeni spojevi kablova za ovo poređenje su prikazani na slici 5.



Slika 4. – Snaga prenosa za kabal $3 \times 35 + 50 \text{ mm}^2$ u AC i DC distributivnim sistemima. Maksimalni pad napona je 6%. [1]



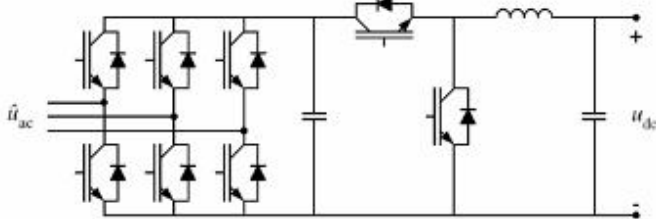
Slika 5. – Korišćeni spojevi kablova za: a) tradicionalni 400 V_{AC} , b) 1000 V_{AC} , c) jednopolni 1500 V_{DC} i d) dvopolni 1500 V_{DC} [1]

3.2 Povezivanje AC i DC sistema

Veza između AC i DC sistema ima veliki značaj za rad DC sistema. Ona treba da omogući da budući DC distributivni sistem ima upravljiv napon DC voda, visok kvalitet energije, dvosmjerni protok energije, visoke prelazne performanse tokom kvarova i poremećaja i da ispunjava standarde vezane za strujne harmonike koje vraća u mrežu (harmonijsko izobličenje (THD) < 5% [2]). Šta više, on mora da ima male gubitke i niske troškove. Mogućnost dvosmjernog protoka energije je neophodna da bi bilo moguće prenositi energiju iz DC sistema u AC sistem u uslovima niskog opterećenja i visoke proizvodnje u DC sistemu [5].

Većinu ovih zahtjeva ispunjava kombinacija PWM naponskog pretvarača i dvosmjernog spuštača-podizača (*buck-boost*) (slika 6.). Mosni sklop PWM pretvarača, koji je identičan konvencionalnom invertorskom mostu, konstruisan je od šest kontrolisanih snažnih prekidača (najčešće IGBT) i

njima antiparalelno povezanih dioda. Koristi se za pretvaranje DC napona u AC napon sa promjenjivom amplitudom, frekvencijom i fazom ili AC napona u DC napon promjenjive vrijednosti. PWM pretvarač radi na visokoj prekidačkoj frekvenciji, pa je potrebno filtrirati struju mreže. Za to se koristi L ili LCL filter između pretvarača i mreže. Prigušnica L u isto vrijeme djeluje kao skladište energije za podizač napona. U ispravljačkom režimu PWM pretvarač daje izlazni napon koji je veći od maksimuma ulaznog mrežnog napona. Njegove osnovne karakteristike su: približno sinusoidalna ulazna struja sa jediničnim faktorom snage, dvosmjerni tok snage, upravljiv DC napon, upravljanje reaktivnom snagom, neosjetljivost na varijacije mrežnog napona zbog kontrole DC napona. Spuštač-podizač, pri prenosu snage od AC mreže prema DC sistemu, radi kao spuštač da bi snizio DC napon na izlazu PWM pretvarača na potrebni napon DC voda. Pri suprotnom smjeru prenosa snage, ovaj pretvarač radi u podizačkom režimu, kako bi podigao DC napon na nivo potreban PWM pretvaraču da proizvede odgovarajući trofazni sistem napona.



Slika 6. – Predloženi AC/DC interfejs

Serijska veza dva pretvarača daje mogućnost povećane kontrole izlaznog napona DC voda. DC napon između PWM pretvarača i spuštača može da varira u širem opsegu, jer je izlazni napon DC voda kontroliše spuštač. U slučaju kvara u AC sistemu, PWM pretvarač nije sposoban održati napon DC voda na referentnoj vrijednosti. Korišćenjem dva pretvarača za povezivanje DC i AC sistema povećava se ta mogućnost. Međutim, ova konfiguracija koristi osam prekidača umjesto šest, što dovodi do povećavanja gubitke [5].

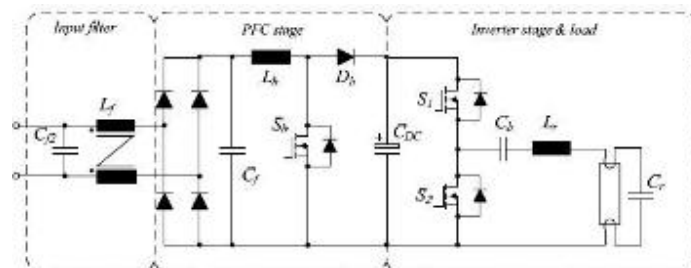
3.3 Mogućnosti priključenja potrošača na LVDC distributivnu mrežu

Priključenje preko pretvarača. Ako se u LVDC distribuciji koriste veći DC naponski nivoi (npr. 750 V, 1500 V), onda bi se današnji potrošači mogli priključiti na mrežu jedino preko pretvarača energetske elektronike (invertora). Većina potrošača u domaćinstvu je jednofazna. Napajanje ovakvih potrošača sa trofaznim invertorom, zahtjeva inverter sa neutralnom tačkom. Takođe, on mora biti dizajniran za rad sa nesimetričnim opterećenjem, pošto simetrično opterećenje ne može biti garantovano u svakom trenutku rada. Zbog toga jednofazni inverter treba koristiti za napajanje jednofaznih i nesimetričnih trofaznih opterećenja, a trofazni samo za trofazna opterećenja bez neutralne tačke (npr. AC motori) [6].

Mogućnost direktnog povezivanja potrošača na DC sistem. Pošto tehnno-ekonomski potencijal cijele DC distributivne mreže zavisi u velikoj mjeri od efikasnosti i cijene

uređaja energetske elektronike, treba razmotriti mogućnosti LVDC distribucije sa nižim naponima od maksimalnih ($\pm 750V, 1500V$), s ciljem direktnog priključenja potrošača na LVDC distributivni sistem i izbjegavanja uređaja energetske elektronike. Naponski nivo DC distributivnog sistema treba da bude prilagođen potrošačima koji su najzastupljeniji u ukupnoj potrošnji električne energije. Donja granica naponskog nivoa je određena zahtjevom da kapacitet prenosa LVDC distribucije mora biti veći u odnosu na odgovarajuću LVAC distribuciju.

Procentualno učešće važnijih potrošača u ukupnoj potrošnji električne energije je približno: motori 55%, osvjetljenje 21%, računari 4% [8]. U elektromotornim pogonima promjenjive brzine najzastupljeniji su indukcioni motori sa kaveznim rotorom, pa se napajanje invertora za upravljanje motorom vrši preko diodnih ili tiristorskih ispravljača. Takođe, napojne jedinice računara na ulazu sadrže diodni ispravljač. U komercijalnim gradskim centrima većina potrošača su jednofazni elektronski potrošači, fluorescentne lampe (40-60%) i ASD (naročito u sistemima za klimatizaciju) [7]. Pomenuti potrošači su nelinearna opterećenja, i izvor su strujnih harmonika koji smanjuju faktor snage i stvaraju velike probleme distributivnom sistemu i ostalim potrošačima. Sve industrijske zemlje imaju standarde vezane za PF i harmonijska izobličenja. Zbog toga se koristi sve više napojnih uređaja sa aktivnim PFC-om (*Power Factor Correction*). Dodavanje PFC uređaja ima i negativne uticaje na sistem, i to: dodatna cijena i usložnjavanje pretvarača, smanjena pouzdanost, manja efikasnost. Zbog jednostavnosti i malog EMI (*electromagnetic interference*) filtra, podizač napona sa jednim prekidačem u režimu neprekidne struje prigušnice je najčešća PFC topologija koja se ugrađuje u gore pomenute potrošače [7]. To je pokazano na primjeru elektronskog balasta za fluorescentna osvjetljenja, koja se sve više koriste (slika 7).



Slika 7. – Balast za fluorescentna osvjetljenja

Veličina izlaznog napona korektora faktora snage mora biti veća od maksimalne vrijednosti mrežnog napona. Pri određivanju maksimalnog ulaznog napona u obzir se mora uzeti dozvoljeno povećanje mrežnog napona od 10%. Najčešće je vrijednost izlaznog jednosmernog napona korektora faktora snage za jednofazne potrošače oko 400 V, pa je ovaj naponski nivo radni napon kondenzatora na izlazu PFC-a. PWM inverteru za upravljanje elektromotorom je u idelnom slučaju na ulazu potrebno najmanje 565 V jednosmjernog napona za dobijanje 3x400 V naizmjeničnog napona na izlazu,

pa se zahtjeva veći napon. U ovom slučaju, najčešće je izlazni napon kondenzatora na izlazu PFC-a 800 V [7]. Za povezivanje ovakvih potrošača na DC mrežu nisu potrebni diodni ispravljač i PFC stepen, ali je potrebno da u DC sistemu postoji naponski nivo koji se poklapa sa radnim naponom kondenzatora na izlazu PFC-a. To znači da proizvođači elektronske opreme mogu pri proizvodnji izostaviti sve pretvaračke stepene u napojnim jedinicama do kondenzatora na izlazu PFC-a, a inverter za upravljanje motorom se može direktno napajati sa DC mreže. Time se eliminišu svi gore navedeni problemi koje donosi ugradnja PFC stepena. Uz to, povećana je efikasnost direktno povezanih modifikovanih potrošača u DC distributivnom sistemu u odnosu na efikasnost potrošača sa PFC-om u AC distributivnom sistemu i u odnosu na efikasnost pri povezivanju preko pretvarača (gdje postoje tri pretvaračka stepena više: inverter, ispravljač, PFC).

Povećanje efikasnosti je naročito važno za elektromotorne pogone. Potencijalne uštede energije su zapanjujuće. Preko 40 miliona elektromotora se koristi u proizvodnim operacijama samo u SAD-u. Elektromotori uzimaju 65-70% u potrošnji električne energije i industriji i približno 55% u ukupnoj potrošnji u svijetu. Ušteda od samo nekoliko procenata od procjenjenih 16.000 TWh godišnje potrošnje u svijetu iznosi nekoliko stotina milijardi Wh godišnje [8]. Ušteda energije se još povećava ako se ima u vidu da elektromotor u režimu kočenja može vraćati energiju u DC mrežu, što je nemoguće pri napajanju motora preko diodnog ispravljača.

Na osnovu izloženog, može se zaključiti da su za direktno priključenje potrošača sa izostavljenim ispravljačem i PFC stepenom u DC distributivnom sistemu potrebni jednosmjerni naponski nivoi 400 V i 800 V, pa DC distributivni sistem treba izvesti kao ± 400 V DC dvopolni sistem. Naponski nivo od 800 V opravdan je i iz razloga većeg prenosnog kapaciteta takvog DC sistema u odnosu na AC distributivni sistem, usled razlike napona ($800 \text{ V} > \sqrt{3} \cdot 400 \text{ V}$). Ovi naponski nivoi su dovoljni za jednofazni i trofazni inverter, za koje su potrebni minimalni naponi 325 V i 565 V, respektivno. Nedostatak je nemogućnost direktnog priključenja bitnih potrošača u domaćinstvu: veš mašina, bojler, električni šporet, frižider itd. Prema tome, u domaćinstvima je neizbježna upotreba invertora, dok je predloženi način direktnog povezivanja mnogo bliži primjeni u komercijalnim i industrijskim centrima. DC sistem sa naponskim nivoom 800V nije pogodan za zamjenu sredjenaponskih grana (10, 20 kV) koje prelaze njegov kapacitet, a koji se može dostići DC sistemom sa punim naponskim nivoom od 1500 V.

4. ZAKLJUČAK

Prednosti LVDC distributivnog sistema omogućavaju raznoliku primjenu, u seoskim i u gradskim mrežama. Pogodan je za novu izgradnju i renoviranje postojećih mreža.

U seoskim mrežama DC distributivni sistem može biti korišćen kao zamjena za sredjenaponsku (MV) granu pri prenosu karakterističnih snaga (50-300 kW) [2][3]. U zavisnosti od korišćenog LVDC sistema LVAC mreža iza MV grane takođe može biti zamjenjena sa DC mrežom. LVDC sistem odgovara slučajevima kada je MV vod skuplji ili je LVAC kapacitet prenosa ograničen. U seoskim mrežama ovi slučajevi se mogu javiti na primer u podvodnim vodovima [2].

U gradu LVDC može biti primjenjen za prenosne vodove između internih mreža velikih zgrada, javna osvjetljenja ili elektrifikaciju novogradnje. U gradovima LVDC može biti dobro rješenje za renoviranje LVAC dijelova čiji je prenos snage dostigao svoje granice. U ovim slučajevima kapacitet prenosa može biti povećan zamjenom AC sistema sa LVDC sistemom, koristeći postojeće prenosne vodove, bez skupih iskopavanja. Ovaj sistem može biti korišćen u elektrifikaciji brodova i industrijskim mrežama. LVDC sistem može poboljšati energetske efikasnost distributivnog sistema, iako je AC/DC konverzija smanjuje. On predstavlja ekonomičniju (u karakterističnim slučajevima) i pouzdaniju mrežu nego što su današnje, što je jedan od budućih ciljeva u distribuciji električne energije [4].

LITERATURA

- [1] Tero Kaipia, Pasi Salonen, Jukka Lassila, Jarmo Partanen: *POSSIBILITIES OF THE LOW VOLTAGE DC DISTRIBUTION SYSTEMS*, Lappeenranta University of Technology.
- [2] Pasi Salonen, Tero Kaipia, Pasi Nuutinen, Pasi Peltoniemi and Jarmo Partanen: *An LVDC Distribution System Concept*.
- [3] Tero KAIPIA, Jukka LASSILA, Pasi SALONEN, Jarmo PARTANEN: *DISTRIBUTED GENERATION IN DC DISTRIBUTION SYSTEM*, Lappeenranta University Politecnico di Milano – Italy SIEL SpA – Italy of Technology – Finland.
- [4] prof. Jarmo Partanen: *LVDC distribution potential and challenges*.
- [5] DANIEL NILSSON: *DC Distribution Systems*, CHALMERS UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, Göteborg, Sweden 2005.
- [6] Pasi Nuutinen, Pasi Salonen, Pasi Peltoniemi, Pertti Silventoinen: *Customer-End Inverter in an LVDC Distribution Network*.
- [7] Francisco Canales: *Power Factor Correction*, Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, Virginia, 2003.
- [8] *Motor Efficiency Depends Upon Power Factor*, Actel Corporation, June 2009.