

Pulzno gostotna modulacija za razsmerniške sisteme

Lucijan Korošec, Tine Konjedic, Mitja Truntič, Miran Rodič, Miro Milanovič

Univerza v Mariboru
Fakulteta za elektrotehniko, računalništvo in informatiko
Smetanova ulica 17, SI-2000 Maribor
E-pošta: lucijan.korosec@um.si

Pulse-density modulation for inverter systems

The paper describes a pulse-density modulation technique for inverter systems. The proposed inverter topology consists of two galvanically isolated stages with HFAC link. The topology does not contain any high voltage dc-link capacitor. The operating principle of converter is described and tested with simulation and experiments.

1 Uvod

V zadnjem desetletju je razvoj fotonapetostnih sistemov dosegel velik napredek. Hkrati s fotovoltaiiko se razvijajo tudi pretvorniški sistemi, med katerimi ločimo razsmernike večjih moči za nize serijsko povezanih PV modulov (string inverterji) in razsmernike za posamezen modul oz. mikroinverterje. Prednosti slednjega so predvsem v večji neodvisnosti delovanja celotnega fotonapetostnega sistema.

Med znanimi rešitvami mikroinverterjev najdemo različne topologije, ki v večini primerov delujejo na pulzno širinski modulaciji, so eno- ali večstopenjske in z ali brez galvanske ločitve [1]. Hkrati mikroinverterje delimo glede na položaj »decoupling« kondenzatorja, ki je najpogosteje postavljen kot DC-link kondenzator, redkeje na vhod z »pseudo« DC-linkom, še redkeje na izhod s t.i. HFAC linkom [2]. Pulzno gostotna modulacija je uveljavljena pri nekaterih AC-AC motorskih pogonih [3, 4] in talilnih ter varilnih aplikacijah [5]. Različne načine delovanja pulzno gostotne modulacije opisuje [6].

Članek opisuje galvansko ločen dvostopenjski mikroinverter z uporabo pulzno-gostotne modulacije in visokofrekvenčnega pulznega linka (HFAC), katerega prednost je predvsem v tem, da se izognemo uporabi visokonapetostnega »bulk« kondenzatorja (DC-link kondenzator).

2 Princip delovanja

Pretvornik je sestavljen iz dveh stopenj, ki sta med seboj galvansko ločeni s transformatorjem (Slika 1). V prvi stopnji se generirajo pulzi visoke frekvence s pomočjo pretvorbe navzgor. Pulzi se nato preko VF transformatorja prenesejo na drugo stopnjo, kjer se najprej usmerijo. S tem dobimo takoimenovani visokofrekvenčni pulzni link (HFAC-link), katerega izhodna stopnja razmeri v sinusno modulirano izhodno napetost in tok, filtrirano s pasivnim filtrom.

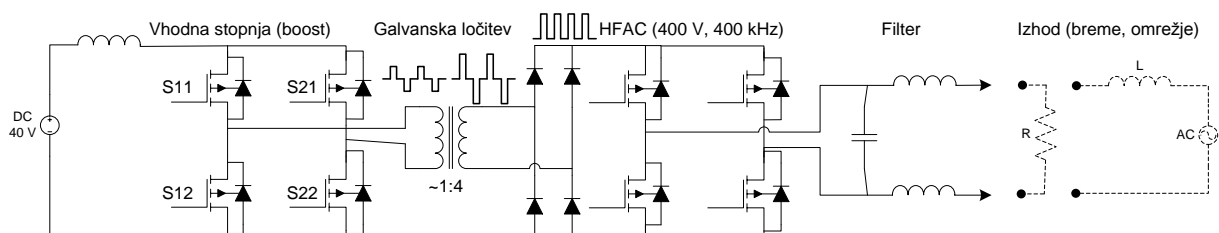
2.1 Vhodna stopnja (boost stage)

Vhodno stopnjo sestavljajo boost dušilka in H-mostično vezje. Z diagonalnimi pari stikal mostiča generiramo energijske pulze, ki jih nato preko visokofrekvenčnega transformatorja preneseemo na usmerjeni HFAC link.

Amplituda pulzov HFAC linka \hat{u}_{HFAC} je odvisna od časa hkratnega prevajanja vseh stikal vhodnega mostiča, ko energijo vira shranjujemo v vhodno dušilko in od razmerja števila ovojev primarnega in sekundarnega navitja transformatorja (1).

$$\hat{u}_{HFAC} = u_{in} \frac{1}{1 - (d - 0.25)} n, \quad d \geq 0.5 \quad (1)$$

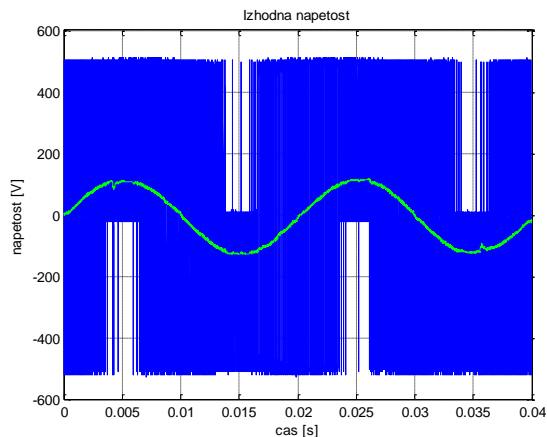
u_{in} predstavlja vhodno napetost, d prevajalno razmerje tranzistorja in n razmerje števila ovojev transformatorja. Ker je izhod vhodne stopnje izmenična pulzna oblika, se vklapljanje diagonalnih parov stikal izvaja z zamikom polovice periode. Prevajalno razmerje tako ne sme biti nikoli manjše od 0.5, da dosežemo prekrivanje, kar predstavlja pogoj za delovanje pretvornika v boost režimu, znotraj katerega je tok zvezen (Slika 2).



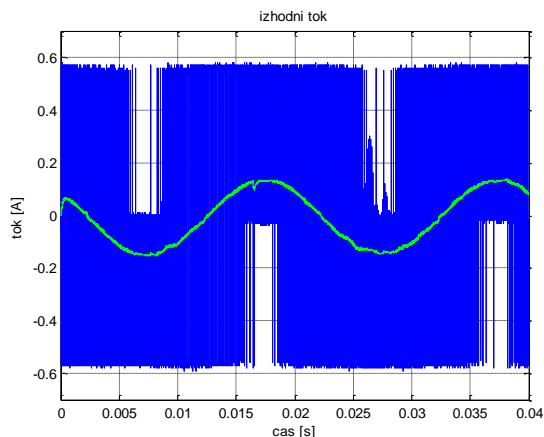
Slika 1: Pretvornik z visokofrekvenčnim pulznim linkom

4 Eksperimentalni rezultati

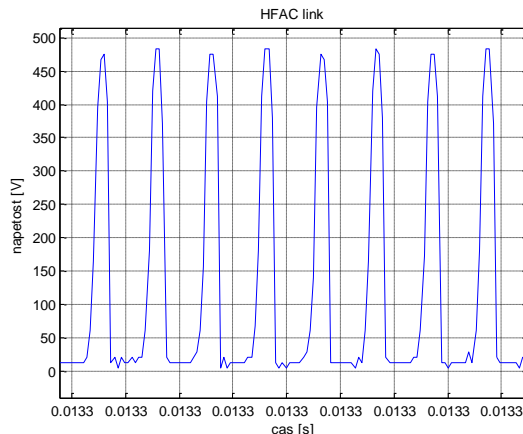
Delovanje pretvornika smo preizkusili tudi na laboratorijskem prototipu, pri čemer pa smo preizkusili le delovanje modulacije brez uporabe pasivnega filtra na izhodu. K rezultatom izhodnih veličin je tako priložena matematično filtrirana vrednost. Sliki 6 in 7 prikazujeta sinusno modulirano napetost in tok pretvornika na izhodu. Zaradi ohmske obremenitve je bil vsak pulz HFAC linka (Slika 7) obremenjen enako, kar se kot konstanten odjem kaže v vhodnem toku – Slika 8.



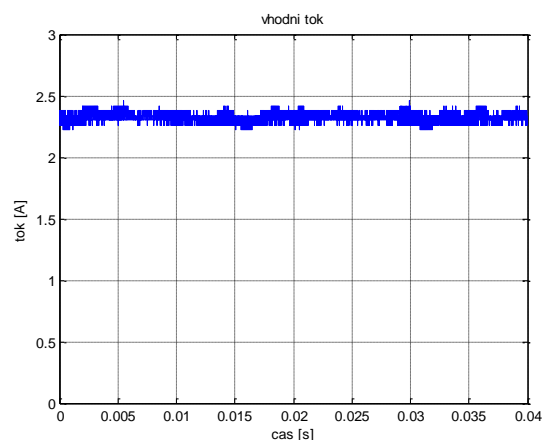
Slika 6: Izhodna napetost pretvornika in ekvivalentna filtrirana vrednost



Slika 7: Izhodni tok pretvornika z dodano filtrirano vrednostjo

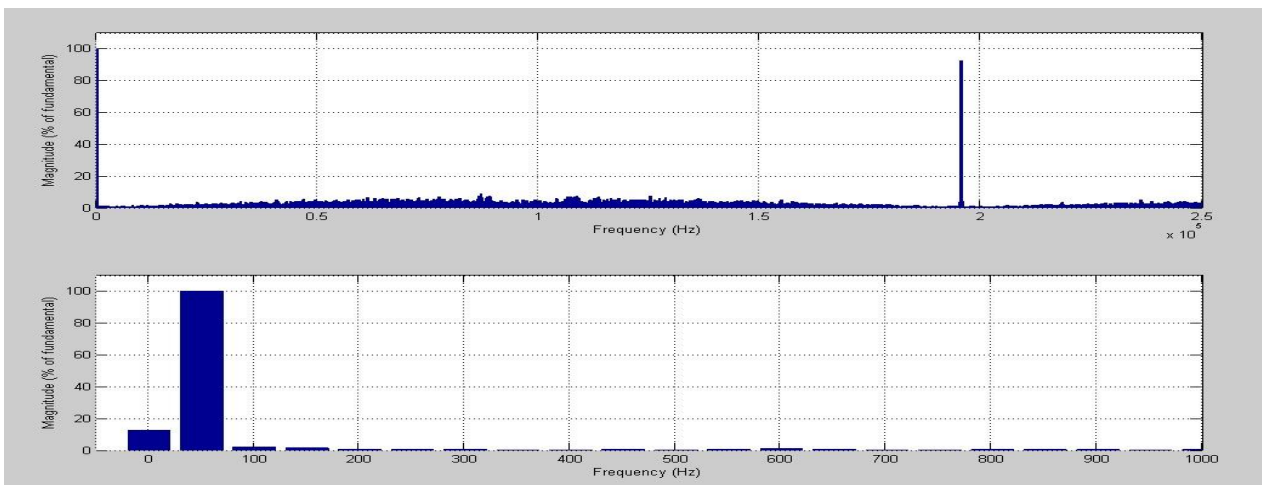


Slika 7: Meritev napetosti HFAC linka pretvornika



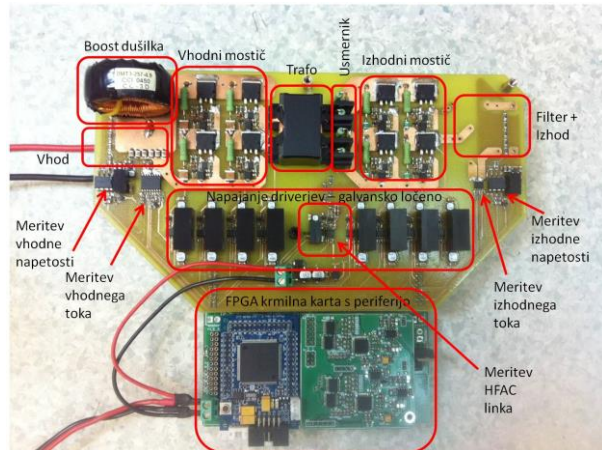
Slika 8: Meritev vhodnega toka pretvornika

Iz grafa spektralne analize je razvidno, da je poleg osnovne harmonske komponente (50 Hz) izrazito izražena le komponenta frekvence delovanja vhodne stopnje pretvornika, ki pa je konstantna (cca. 200 kHz) – Slika 9.



Slika 9: Spektralna analiza izhodne napetosti/toka pretvornika

Programska koda je realizirana na FPGA krmilni karti, ki omogoča hitro izvajanje algoritma in možnosti implementacije regulacijskih algoritmov pri visokih stikalnih frekvencah. Laboratorijski prototip pretvornika z FPGA krmilno karto, merilniki, zaščitnimi vezji in napajalniki gonilnikov stikal prikazuje Slika 10.



Slika 10: Laboratorijski prototip pretvornika

5 Zaključek

Članek opisuje princip delovanja pulzno gostotne modulacije na mikroinverterskem sistemu z visokofrekvenčnim HFAC linkom. Podana je razlaga delovanja posameznega sklopa pretvornika, simulacijski rezultati in eksperimentalni rezultati prototipne izvedbe pretvornika. Z opisanim pristopom PDM modulacije je možna izvedba preklapljanja stikal izhodne stopnje v breznapetostnem stanju, kar vodi v izboljšanje izkoristka pretvornika. Zaradi konstantne frekvence in konstantnega prevajalnega razmerja stikal vhodne stopnje dosežemo ugodnejšo razporeditev višjih harmonskih komponent, kar vpliva na izbiro izhodnega filtra pretvornika.

V nadaljnjem delu želimo pretvorniku dodati ustrezen filter, izmeriti izkoristek pretvornika in ga priklopiti na omrežje kot vir električne energije.

Literatura

- [1] Micro-Inverters in Small Scale PV Systems: A Review and Future Directions, 2005
- [2] Haibing Hu, "A review of power decoupling techniques for microinverters with three different decoupling capacitor locations in PV systems", in IEEE transactions on power electronics, vol. 28, no. 6, 2013
- [3] Burak Ozpineci, Joao O. P. Pinto, Leon M. Tolbert, "Pulse-width optimization in a pulse density modulated high frequency ac-ac converter using genetic algorithms", Proceedings of the 2001 IEEE Systems, Man and Cybernetics Conference, 2001

[4] Li Hui, "A soft-switched High frequency non-resonant link integral pulse modulated DC-AC converter for ac motor drive", in IEEE, 1998

[5] Hideaki Fujita, "Pulse-Density-Modulated Power Control of a 4 kW, 450 kHz Voltage-Source Inverter for Induction Melting Applications", in IEEE Transactions on Industry Applications, vol. 32, No. 2, 1996

[6] Abdelhalim Sandali, Ahmed Cheriti, Pierre Sicard, "Comparison of the various pdm control modes", in IEEE International conference on industrial technology, 2004