

Testiranje močnostne elektronike s fantomsko obremenitvijo

Mitja Nemec

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Tržaška 25, 1000 Ljubljana, Slovenija

E-pošta: mitja.nemec@fe.uni-lj.si

Power electronics testing with phantom load

Abstract. This paper evaluates how is the phantom load comparable to ordinary load in power electronics, with focus on AC current load of input capacitance. Two cases are considered. The first one is DC/DC buck converter and second one is dual three-phase drive. Based on simulation results we can state that phantom load can be comparable to ordinary load with proper setup of operational parameters.

1 Uvod

Za povečevanje moči v napravah močnostne elektronike se je v preteklosti uporabljalo predvsem višanje obratovalne napetosti. V zadnjih letih pa se, kot posledica padajočih cen polprevodnikov, vse bolj pogosto uporablja paralelna vezava, ki ima poleg višanja moči tudi nekatere druge splošno poznane prednosti (redundanca, manjše pasivne komponente, ...)[1].

Vendar pa naraščajoča moč predstavlja tudi problem, ko pride do testiranja. Tako v času razvoja, kot tudi, ko je naprava v proizvodnji. Slednje postaja vedno bolj pomembno saj na določenih področjih (avtomobilska industrija, ...) naročniki zahtevajo, da se vsak kos v zadnjem koraku tudi polno preizkusi. Za testiranje treba zagotoviti tako vir kot tudi breme nazivne moči. Nezanemarljivo pa v tem primeru postane odvajanje energije iz bremena, ki je največkrat v obliki toplote saj so pasivna bremena bistveno cenejša od aktivnih bremen.

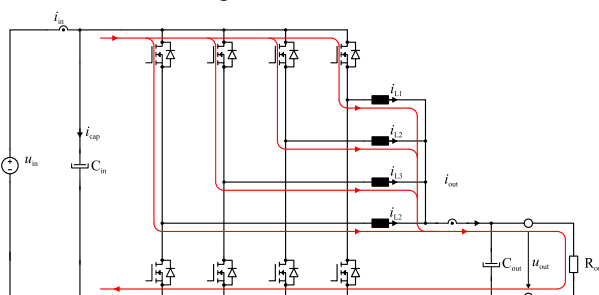
Pri določenih izvedbah naprav močnostne elektronike, ki se poslužujejo paralelizacije pa lahko za testiranje uporabimo tako imenovano fantomsko vezavo. V tem primeru z nekoliko spremenjenim krmiljenjem oz. regulacijo dosežemo krožni pretok moči v napravi, ki po iznosu dosega nazivno moč, sam napajalnik pa mora tako zagotoviti le moč za pokrivanje izgub. Poleg enostavnosti, ki ga tak način preizkušanja prinese, je tudi meritev izgub v sistemu bolj točna, saj v primeru fantomske vezave le-te direktno merimo. Pri normalnem obratovanju pa izgube določimo preko meritve vhodne in izhodne moči. Pri visokih izkoristkih, ki jih današnji stikalni pretvorniki dosegajo, je taka meritev tehnično zelo zahtevna.

V tem članku si bomo pogledali dva primera fantomske vezave in na podlagi simulacijskih rezultatov ovrednotili, kako verno se približata realni obremenitvi. Ker pri fantomski vezavi brez težav dosežemo enakovredno tokovno obremenitev, se bomo

osredotočili na obremenitev enosmernega kondenzatorskega bloka z izmeničnim tokom, ki se lahko razlikuje.

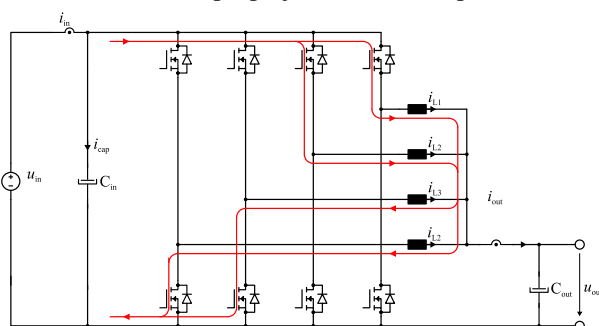
2 Večvejni pretvornik navzdol

Prvi primer uporabe paralelizacije predstavlja štiri-vejni pretvornik navzdol (Slika 1). V normalnem obratovalnem stanju so toki vse štirih vej enaki, tako da se moč enakomerno porazdeli.



Slika 1. Potek tokov pri pretvorniku navzdol

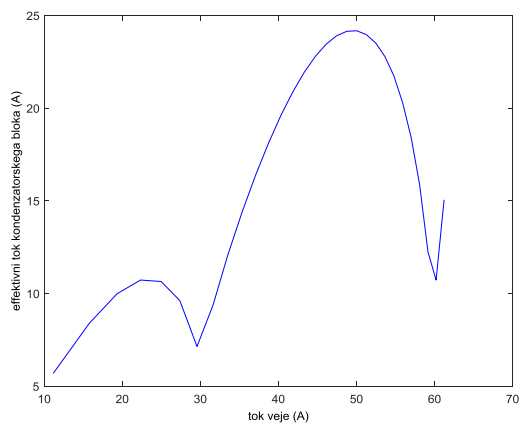
Pri fantomskem obratovanju pa breme ni priklopljeno. Čez vse štiri veje sicer teče nazivni tok, vendar čez dve veji v eno smer, čez drugi dve veji pa v drugo smer (slika 2). V tem primeru imamo na voljo dodatno prostostno stopnjo, saj se tako razporeditev tokov lahko doseže pri poljubni izhodni napetosti.



Slika 2. Potek tokov pri fantomskem obratovanju

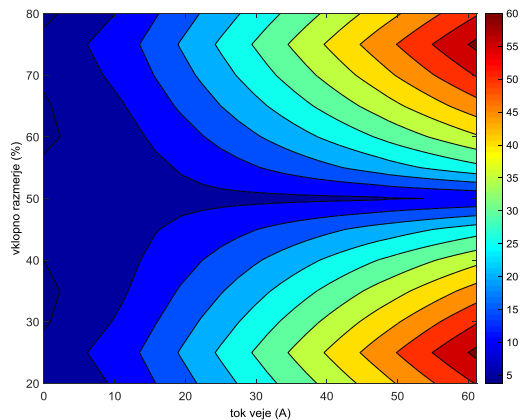
2.1 Simulacijski rezultati

Obremenitev vhodnega kondenzatorskega bloka z izmeničnim tokom pri večvejnem pretvorniku navzdol se spreminja z obremenitvijo. Za izbrani primer je efektivna vrednost izmeničnega toka prikazana na sliki 3. Dva lokalna minimuma nastopata v okolici točke, kjer je vklopno razmerje posamezne veje 25% oz 50%. V teh primerih se valovitosti posameznih vej skorajda izničijo.



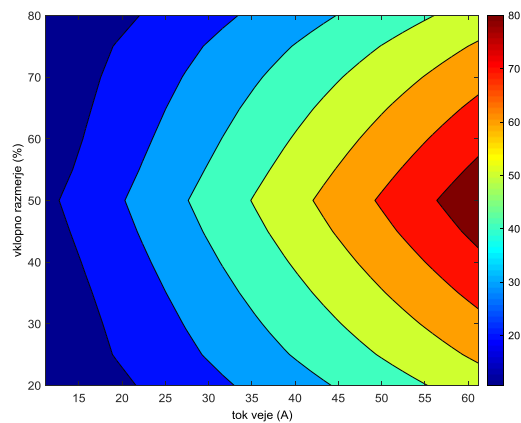
Slika 3. Efektivni tok kondenzatorskega bloka v odvisnosti od toka ene veje pri pretvorniku navzdol

Fantomska obremenitev pa se lahko realizira na dva različna načina. V normalnem načinu so fazne zamaknitve posameznih vej 0° , 180° , 90° in 270° . Tako oba para vej delujeta protifazno in posledično je obremenitev kondenzatorskega bloka, ko veje delujejo v okolici 50% vklopne razmerja (slika 4), bistveno nižja kot pri klasičnem pretvorniku navzdol. Tako je za primerljivost z realnim pretvornikom navzdol treba držati vklopno razmerje okoli 45% oziroma 55%.



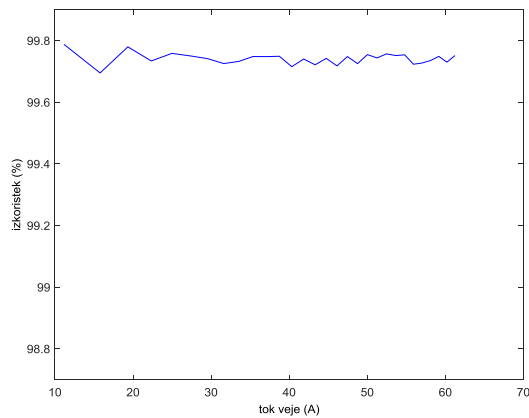
Slika 4. Efektivni tok kondenzatorskega bloka v odvisnosti od toka ene veje in faznega premika pri fantomskem obratovanju in normalni zamaknitvi proženja

V kolikor uporabimo alternativno zamaknitev proženja (0° , 90° , 180° in 270°) pa je obremenitev kondenzatorskega bloka bistveno večja kot pri normalnem delovanju pretvornika navzdol (slika 5). Tako je ta način testiranja neprimeren s stališča primerljivost s klasičnim pretvornikom navzdol.



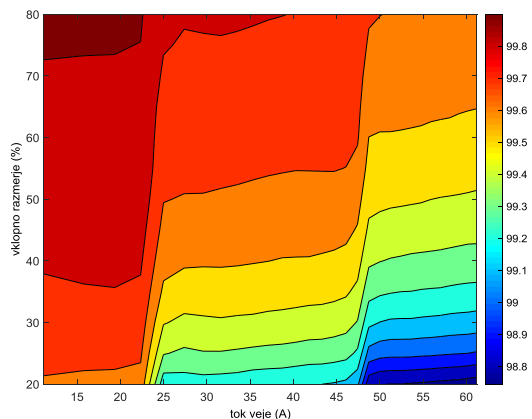
Slika 5. Efektivni tok kondenzatorskega bloka v odvisnosti od toka ene veje in faznega premika pri fantomskem obratovanju in alternativni zamaknitvi proženja

Čeprav je ovrednotenje izkoristka s simulacijami praktično nemogoče, nas v tem primeru niso zanimale absolutne vrednosti, temveč samo primerljivost fantomske vezave s klasičnim pretvornikom navzdol tudi s stališča izkoristka. V simulacijah smo v tem primeru upoštevali samo ohmsko upornost stikalnih elementov ter dušilk. Vidimo, da se izkoristek klasičnega pretvornika navzdol giblje okoli 99,7% (slika 6).

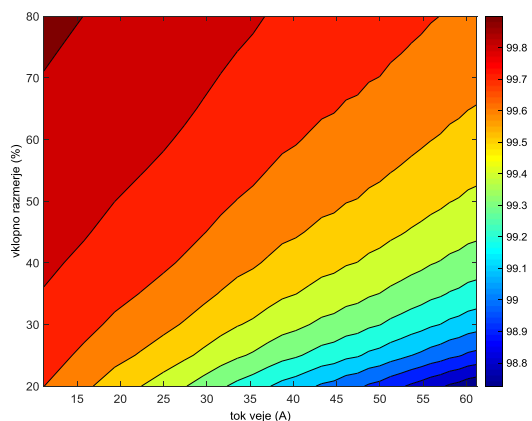


Slika 6. Izkoristek pretvornika navzdol v odvisnosti od toka ene veje

Pri fantomski obremenitvi pa so izkoristki nekoliko nižji tako pri normalni kot pri alternativni zamaknitvi (sliki 7 in 8).



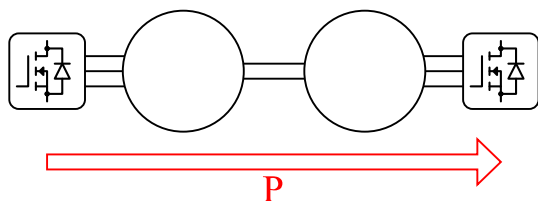
Slika 7. Izkoristek v odvisnosti od toka ene veje in faznega premika pri fantomskem obratovanju in originalni zamaknitvi proženja



Slika 8. Izkoristek v odvisnosti od toka ene veje in faznega premika pri fantomskem obratovanju in alternativni zamaknitvi proženja

3 Večsistemski pogon

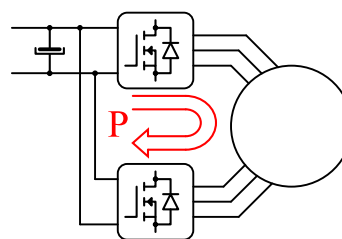
Preizkušanje električnih pogonov pa klasično poteka tako, da se pogon, ki ga preizkušamo, obremeni z električnim pogonom, ki je v generatorskem načinu delovanja (slika 9). Tako mora breme bodisi vračati energijo v omrežje, lahko pa jo vrne na enosmerni tokokrog [2]. V vsakem primeru pa pri testiranju pogonov nastopajo višje izgube, saj električni stroji ne dosegajo tako visokih izkoristkov kot pretvorniki močnostne elektronike. In v kolikor želimo testirati samo močnostno elektroniko pogona, je ta pristop nekoliko nepraktičen (rabimo dva vrteča se stroja) in tudi sprošča bistveno več toplote, kot je potrebno.



Slika 9. Klasično testiranje pogona

S fantomsko vezavo se lahko testiranje nekoliko poenostavi, vendar pa se lahko poslužimo fantomske vezave samo v izjemnih primerih [3]. Vezava se namreč lahko uporabi samo pri n-krat trifaznih pogonih pri katerih so posamezni sistemi v električnem stroju magnetno razklopljeni in električna nesimetrija med njimi ne povzroča magnetne nesimetrije.

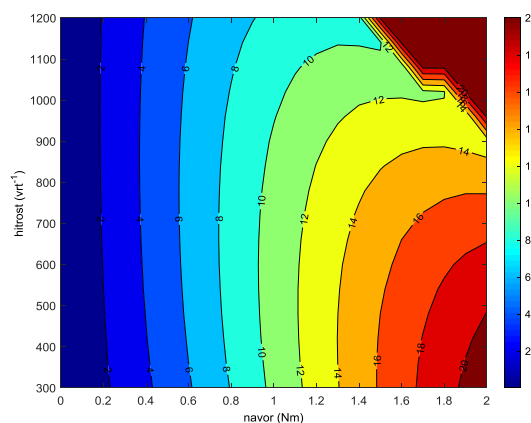
Pri tej vezavi, v primeru dvojnega trifaznega stroja, en šestvejni pretvornik, namenjen za normalno obratovanje, logično razdelimo na dva trifazna pretvornika (slika 10). Tako en trifazni pretvornik moč dovaja v stroj, drugi pa moč s stroja odvaja. V tem primeru so tako pretvornik, kot tudi navitja stroja lahko tokovno obremenjeni z nazivnim tokom. Očitna prednost te vezave je v tem, da ni potrebe po mehanski sklopitvi stroja ter da so izgube v sistemu zmanjšane na polovico.



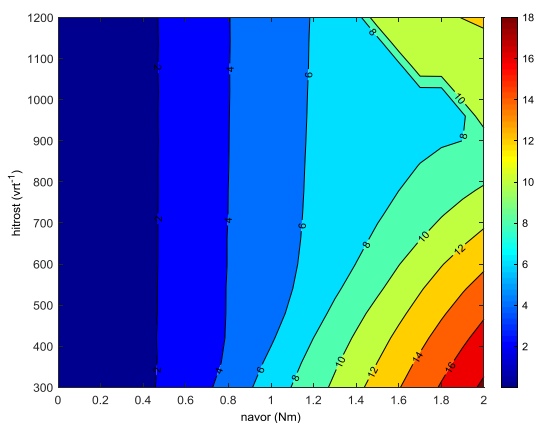
Slika 10. Testiranje dvojnega trifaznega stroja s fantomsko vezavo

3.1 Simulacijski rezultati

Rezultati simulacij kažejo, da fantomska vezava nekoliko manj obremeni kondenzatorski blok (sliki 11 in 12). Tako je za primerljivo obratovanje zanimivo predvsem področje nizkih vrtilnih hitrosti.

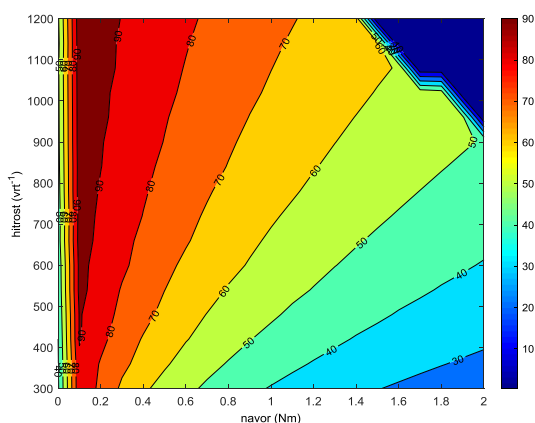


Slika 11. Efektivni tok kondenzatorskega bloka dvojnega trifaznega pogona pri normalni obremenitvi.

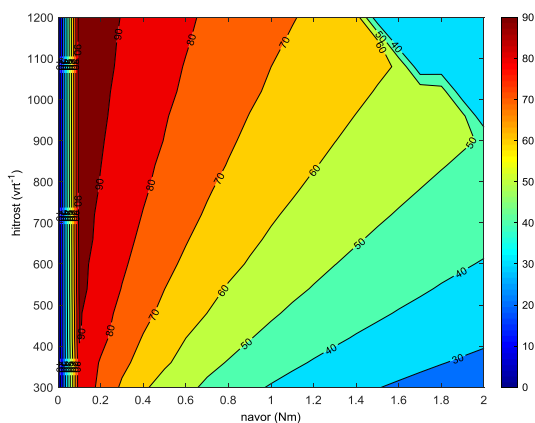


Slika 12. Efektivni tok kondenzatorskega bloka dvojnega trifaznega pogona pri fantomski obremenitvi.

Ker pri električnih pogonih večina izgub nastopa v električnem stroju, spremenjeno delovanje močnostne elektronike pri enakih faznih tokih rezultira v popolnoma primerljivi odvisnosti izkoristka od obratovalne točke (sliki 13 in 14). Le to dejstvo naredi fantomsko vezavo privlačno za termično testiranje električnega celotnega pogona.



Slika 13. Izkoristek trojnega trifaznega pogona pri normalni obremenitvi.



Slika 14. Izkoristek trojnega trifaznega pogona pri fantomski obremenitvi.

4 Zaključek

Pričujoči prispevek predstavlja začetno delo na področju raziskav primerljivosti uporabe fantomske vezave. V nadaljevanju bi vsekakor morali upoštevati tako preklopne izgube v močnostnih stikalih kot tudi vse ostale izgube (v kondenzatorjih, magnetne izgube v dušilkah oz v statorskem železu, ...), da bi lahko bolj natančno ovrednotili primerljivost z običajnim preizkušanjem. Za dokončno potrditev primerljivosti pa bodo potrebne eksperimentalne meritve.

Dodatek A - podatki pretvornika navzdol

Vhodna napetost	48 V
Upornost bremena	0,1 Ω
Induktivnost v posamezni veji	10 μH
Upornost dušilke	1 m Ω
Upornost stikalnega elementa	1 m Ω
Preklopna frekvenca	40 kHz

Dodatek B – podatki električnega pogona

Tabela 1. Podatki električnega pogona

Statorska upornost	0,1134 Ω
Statorska induktivnost	136 μH
Nazivni navor	1.5 Nm
Nazivna hitrost	900 min^{-1}
Napetost enosmernega tokokroga	10 V
Preklopna frekvenca	20 kHz

Literatura

- [1] M. Nemeč, "Tok enosmernega tokokroga pri večfaznih pogonih," *ERK 2018*, 2018, p. str. 205-208.
- [2] H. Lavrič, L. Košir, K. Drobnič, and R. Fišer, "Možnosti testiranja električnih pogonskih sklopov na preizkuševališču z rekuperacijo energije," *ERK 2014*, 2014, p. str. 201-204.
- [3] M. Zabaleta, E. Levi, and M. Jones, "A Novel Synthetic Loading Method for Multiple Three-Phase Winding Electric Machines," *IEEE Trans. Energy Convers.*, vol. 34, no. 1, pp. 70–78, Mar. 2019.