

DINAMIKA INVERTORA SA ŠIRINSKO IMPULSNOM MODULACIJOM

Dejan Grubić
Izet Benca
Džafer Močević
ENERGOINVEST - OOUR ENERGETSKA ELEKTRONIKA

SAŽETAK

U članku je riječ o invertoru za besprekidno napajanje sa širinsko impulsnom modulacijom i konstantnim izlaznim naponom i frekvencom. Razmatrane su njegove dinamičke osobine i upoređene sa nekim drugim metodama formiranja izlaznog sinusnog napona.

PWM INVERTER DYNAMICS

This paper deals with PWM inverters with constant output voltage and frequency suitable for static UPS systems. Its dynamic behavior is analyzed and compared to some other output voltage waveform synthesizing techniques.

UVOD

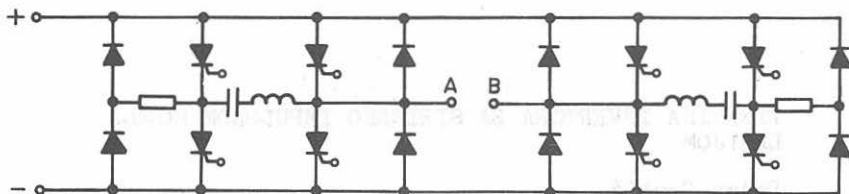
Sistem za besprekidno napajanje treba da zaštiti kritična opterećenja od nestanka mrežnog napajanja kao i od sve veće njegove "zagađenosti". Osim toga zahtjevi kritičnih tereta na napon napajanja postaju sve oštriji i to naročito u pogledu:

- tačnosti amplitode i frekvence napona napajanja,
- brzina odziva na prelazne pojave,
- sadržaja viših harmonika u izlaznom naponu.

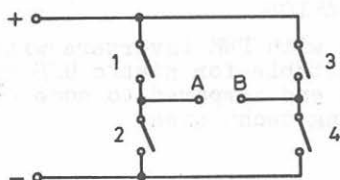
Ovo su u stvari zahtjevi koji se postavljaju na izlazni stepen sistema za besprekidno napajanje, odnosno na invertor. Zadovoljenje ovih, a naročito posljednja dva uslova je jako zavisno od načina na koji invertor formira izlazni izmjenični napon, jer ovaj direktno određuje sadržaj viših harmonika, odnosno potrebni filter, a filter dinamiku sistema.

INVERTORSKI KRUG

Sva mjerenja i ispitivanja izvršena su na monofaznom invertoru tipa modifikovanog Mc. Murray invertora u mosnom spoju prikazanog na slici 1, a koji se za potrebe analize izvršene u članku može dalje posmatrati bez krugova za komutaciju i sa tistorima predstavljenim pomoću idealnih prekidača kao na slici 2.



Sl. 1. Invertorski krug

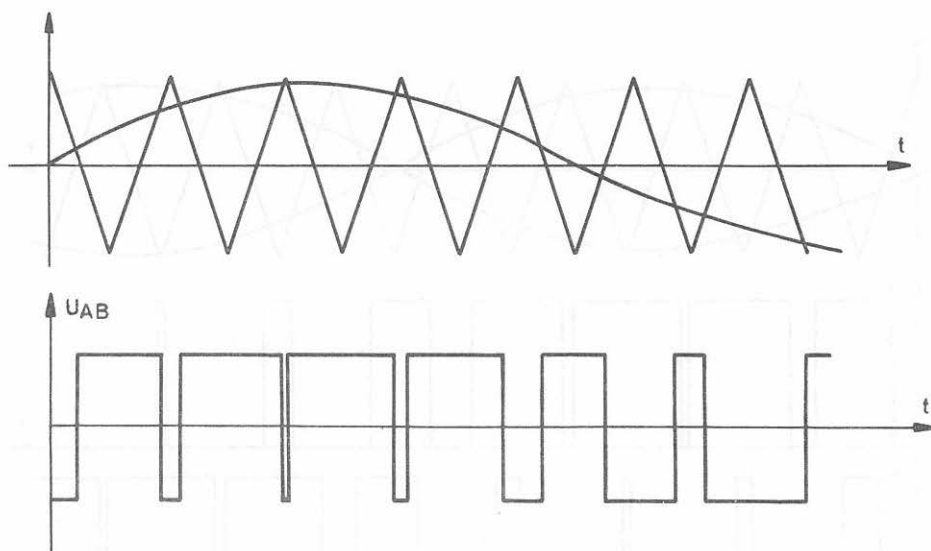


Sl. 2. Uprošteni invertorski krug

U zavisnosti od redosljeda uključivanja tiristora na izlaznim stezaljkama A i B, gdje se vezuje opterećenje, može se dobiti mnoštvo vrsta naponskih oblika sastavljenih od četvrtki, od kojih se filtriranjem dobija sinusni oblik. Oblici koji se mogu ostvariti ovakvim sklopom kreću se od napona u vidu pozitivnih i negativnih četvrtki izlazne frekvence, do četvrtki različite širine koje se javljaju sa povećanom frekvencom, a koje predstavljaju širinsko-impulsnu modulaciju sinusnog signala.

NAČIN FORMIRANJA IZLAZNOG VALNOG OBLIKA

Razlozi navedeni u uvodu, upućuju na korištenje širinsko-impulsne modulacije za sisteme besprekidnog napajanja. Uobičajen način dobivanja širinsko-impulsne modulacije sinusnog valnog oblika je prikazan na slici 3.

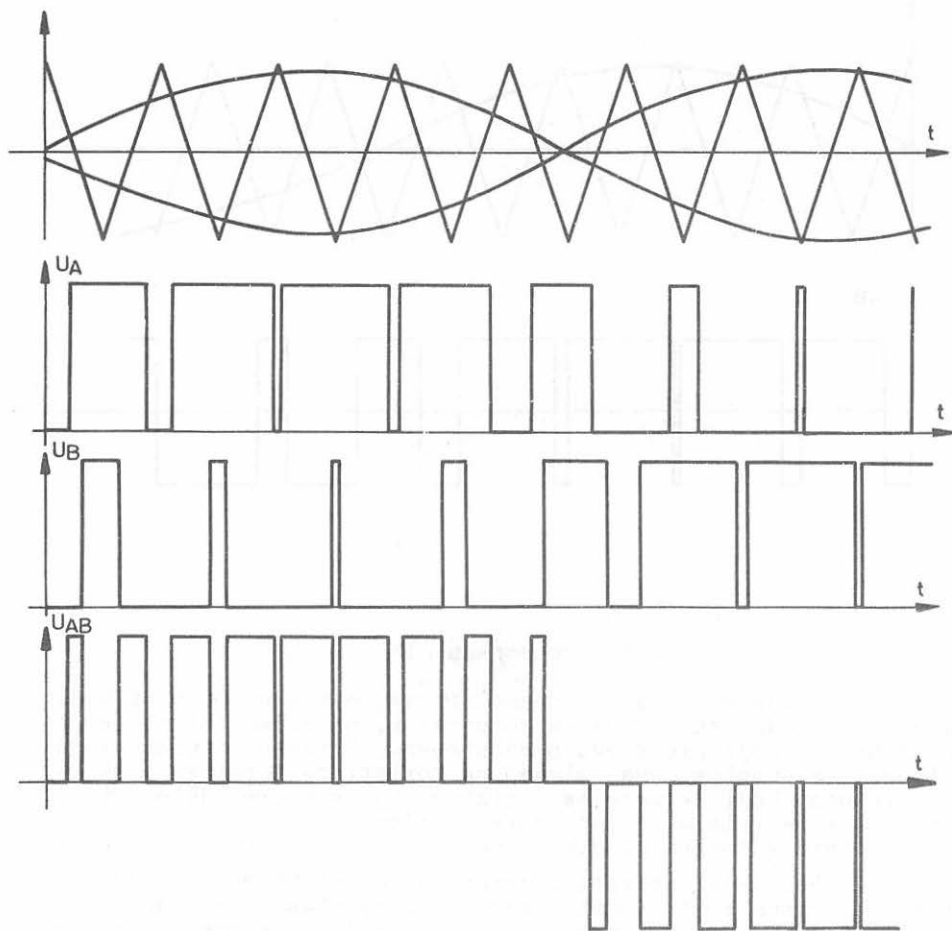


Sl. 3. Dvostepena ŠIM

Trouglasti napon noseće frekvence i sinusoidalni modulatorni signal se dovodi na komparator, na čijem izlazu se dobija signal koji predstavlja dvostepenu širinsko-impulsnu modulisaciju sinusoide. Ovaj signal se koristi za formiranje okidnih impulsa koji se vode na tiristore odnosno prekidače u mostu, tako da i na izlazu iz invertora dobijemo isti oblik napona nazmjeničnim vodenjem po dva dijagonalno postavljena prekidača.

Bez većih zahvata u upravljačkoj elektronici moguće je svaku od grana mosta voditi nezavisno, sa vlastitom modulatornom sinusoidom i u mnogome poboljšati harmonijski sadržaj izlaznog napona. Naime, ukoliko svaka grana kao modulatorni signal koristi svoju sinusoidu, a ove su samo međusobno pomjerene za 180° dobivamo oblik kao na slici 4.

Dobivena širinsko impulsna modulacija sinusa je trostepena, jer osim pozitivne i negativne poprima i nultu vrijednost, odnosno četvrtke su samo pozitivne kada formiraju pozitivnu poluperiodu modulatornog signala a samo negativne kada formiraju negativnu poluperiodu.



Sl. 4. Trostepena ŠIM

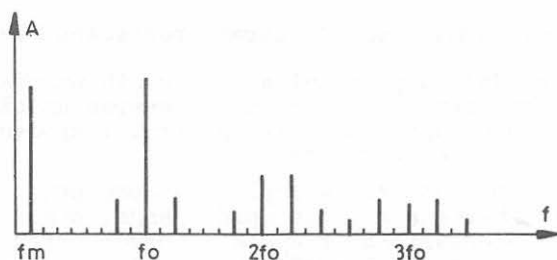
Ovo na nivou izvršnog organa (invertora, Sl. 2.) znači da se javljaju i intervali kada zajedno rade prekidači 1 i 3 odnosno 2 i 4, dajući na izlazu nulu napona. Pored prednosti koje donosi nejavljanje negativnog napona u pozitivnim poluperiodama osnovnog signala i obratno, može se primjetiti da je nezavisnim vođenjem svake od grana mosta postignut efekat sličan dupliranju noseće frekvencije. Treba imati na umu da je ovo postignuto istim brojem komutacija, što znači da je bez povećanja ukupnih gubitaka smanjen ukupni sadržaj viših harmonika.

SADRŽAJ VIŠIH HARMONIKA

Poredeći amplitudni harmonijski spektar trostepene širinsko impulsne modulacije sa dvostepenom ili sa šestostepenim naponom koji se dobija kod invertora sa regulacijom faznog pomaka, mogu se lako ocijeniti prednosti koje donosi ovakav način formiranja valnog oblika napona.

Naime, za šestostepeni napon poznato je da sadrži sve neparne harmonike modulacionog signala sa izuzetkom onih koji su cjelobrojni umnožak od tri. Njihova amplituda jednaka je $\frac{1}{n}$ osnovnog harmonika, gdje je n red višeg harmonika.

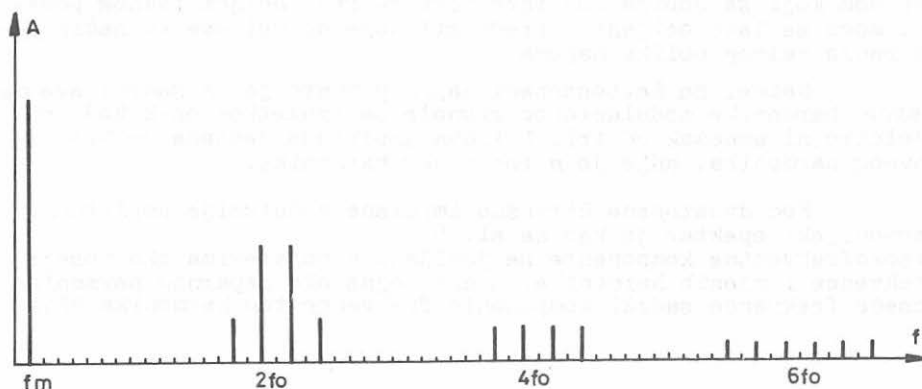
Kod dvostepene širinsko impulsne modulacije amplitudni harmonijski spektar je kao na sl. 5. Visokofrekventne komponente se javljaju u pojasevima oko noseće frekvence i njenih harmonika. Svaki pojas oko neparnog harmonika noseće frekvence sadrži komponentu frekvence tog harmonika plus



Sl. 5. Harmonijski dijagram dvostepene SIM

komponente pomjerene gore i dole za paran umnožak modulacione frekvence. Pojasevi oko parnog harmonika noseće frekvence nemaju komponenti na frekvenci tog harmonika nego samo komponente pomjerene za neparan umnožak modulacione frekvence.

Kod trostepene širinsko-impulsne modulacije amplitudni harmonijski spektar ima oblik kao na slici 6. Visoko frekventne



Sl. 6. Harmonijski dijagram trostepene ŠIM

komponente se javljaju u pojasevima oko parnih umnožaka noseće frekvence i to pomjerene gore i dole za neparan umnožak modulacione frekvence. Ovakav spektar potvrđuje ranije spomenuti efekat sličan povećanju noseće frekvence.

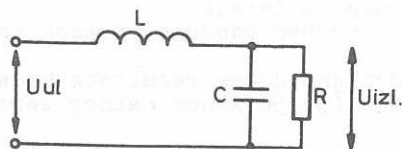
Treba napomenuti da je amplituda komponenti na spektrima sa slika 5. i 6. zavisna od ugla upravljanja, odnosno odnosa amplituda sinusnog modulacionog signala i nosećeg trouglastog signala i da su amplitude sa slika 5. i 6. dobivene mjerenjem kod ugla upravljanja 0.9.

IZLAZNI FILTER

Kako se iz prethodnog poglavlja može vidjeti da su kod trostepene širinsko-impulsne modulacije prvi značajni harmonici $2fo \pm fm$, a kod druge dvije pomenute metode $5fm$, odnosno $fo \pm 2fm$ to je očito da je kod trostepene širinsko-impulsne modulacije zahtjev na filtriranje značajno umanjen. Ovo ima za posljedicu osim

smanjenja težine i dimenzija i povećanja ulazne impedanse filtera (filter predstavlja manje opterećenje invertoru) i bolje dinamičke osobine invertora, odnosno sistema za besprekidno napajanje.

Naime, neka na izlazu imamo filter drugog reda prikazan na slici 7. Njegova prenosna funkcija



Sl. 7. Izlazni filter.

data je sa:

$$G(s) = \frac{U_{izl}}{U_{ul}} = \frac{1}{s^2 + s \frac{1}{CR} + \frac{1}{LC}} \quad (1)$$

odnosno:

$$G(j\omega) = \frac{1}{1 + j \frac{\omega}{\omega_R} \sqrt{\frac{L}{C}} \frac{1}{R} + \frac{\omega^2}{\omega_R^2}} \quad (2)$$

gdje je ω_R rezonantna frekvencija filtera.

Iz jednačine (2) se vidi da za manji odnos $\frac{\omega}{\omega_R}$,

$G(j\omega)$ manje zavisi od promjene R, odnosno promjene tereta izazivaju manje statičke promjene izlaznog napona invertora. Ovim je olakšan zadatak regulacionoj konturi invertora i ona je u mogućnosti da brže izreguliše smetnje sa strane tereta što daje bolje dinamičke osobine sistemu.

Da je $\frac{\omega}{\omega_R}$ kod trostepene širinsko-impulsne modulacije manji nego kod druge dvije pomenute metode jasno je iz činjeni-

ce da se prvi viši harmonik u izlaznom naponu ove modulacije javlja na mnogo višoj frekvenci. Ovo ima za posljedicu da se ista ukupna harmonijska distorzija na izlazu iz filtra može postići sa filterom veće rezonantne frekvence, odnosno manjim odnosom $\frac{\omega}{\omega_k}$

Također kao posljedica veće dozvoljene rezonantne frekvence filtera slijedi da je i serijsku prigušnicu izlaznog filtera moguće uzeti manju za isti filterski kapacitet. Ovo znači manje dinamičke promjene izlaznog napona (manje propade i preskoke) kod step promjena tereta, što je jasno ako se za određivanje propada odnosno preskoka koristi jednačina:

$$\Delta U = \sqrt{\frac{L}{C}} \Delta I \quad (3)$$

gdje je ΔI - step promjene tereta

ΔU - izazvani propad odnosno preskok napona.

Jednačina (3) daje dovoljno dobre rezultate kada step promjene tereta nije veći od oko (30-50)% nominalnog tereta.

Dakle, i kod ovakvih dinamičkih "provjera", kakve su česte u stvarnom radu sistema za besprekidna napajanja, sistem koji koristi trostepenu širinsko impulsnu modulaciju pokazuje dobre dinamičke osobine.

ZAKLJUČAK

Kada se kod sistema za besprekidno napajanje postavljaju strogi zahtjevi na njegove dinamičke osobine onda je opravdano za formiranje valnog oblika izlaznog napona koristiti trostepenu širinsko-impulsnu modulaciju. Ova je u svakom slučaju opravdanija od dvostepene, jer za isti broj komutacija ima znatno bolji dinamički odziv. Bolji dinamički odziv postignut je na račun nešto komplikovanije upravljačke elektronike, a u odnosu na sistem sa stepenastim naponom na račun većeg broja komutacija, a time i većih gubitaka komutacionih procesa. Također je i mogućnost davanje velike struje kratkog spoja nešto manja, što ima manje značaja kod sistema sa statičkom preklopkom.

LITERATURA

- (1) I. Pitel, S. Talukdar, P. Wood, Characterization of Programmed Waveform PWM, IEEE Conference Record of Annual Meeting of IAS, str.
- (2) R. Wlodyka, Power Characteristics of AC Traction Inverter systems, IEEE Conference Record of Annual Meeting of IAS, str. 355-369, 1979.
- (3) T. Grant, T. Barton, Control Strategies for PWM Drives, IEEE Conference Record of Annual Meeting of IAS, str. 780-785, 1979.
- (4) L. Penkowski, K. Pruzinsky, Fundamentals of a PWM Power Circuit, IEEE Conference Record of Fifth Annual Meeting of IGA str. 669-678, 1970.