

Efektivnost korekcije faze prilikom vrednovanja el.motora I el.motornih vozila visokih performansi

Hideharu Kondo, Chiaki Iamaura, Iukii Saito i Hiroki Kobaiashi u kompaniji HIOKI E.E.

U pozadini međunarodnih napora za sprečavanje globalnog zagrevanja, sve efikasniji pogonski sistemi koji se koriste u električnim vozilima i industrijskim aplikacijama privlače pažnju posljednjih godina. Od suštinskog značaja u proceni efikasnosti i gubitka pogonskih sistema motornih vozila, sposobnost merenja snage precizno zahtijeva čitav niz stručnosti.

Uvod

Ovaj članak se fokusira na karakteristike izlaznih oblika izlaznih invertora kako bi se definisali zahtevi za instrumente za merenje snage koji su potrebni za precizno merenje izlazne snage pretvarača. Takođe uvodi korekciju faze pomoću analizatora snage sa fokusom na trenutnu grešku senzora kako bi zadovoljila te zahtjeve. Konačno, ona izveštava o autentičnoj proveru efikasnosti trenutne korekcije faze senzora.

Karakteristike talasnih oblika izlaznih invertora

Glavne komponente izlazne snage pretvarača uključuju osnovnu frekvencijsku komponentu (do 2 kHz), njegove harmoničke komponente, frekvenciju prelaska (5 kHz do 100 kHz) i njegove harmoničke komponente. Od toga, dominantna je osnovna komponenta frekvencije. Slika 1 prikazuje talasni oblik linijskog napona izlaznog izlaza, talasni oblik linijskog strujanja i povezani rezultati FFT-a za tipični sistem pogona motora. Tabela 1 daje detaljne informacije o metodi mjerenja.

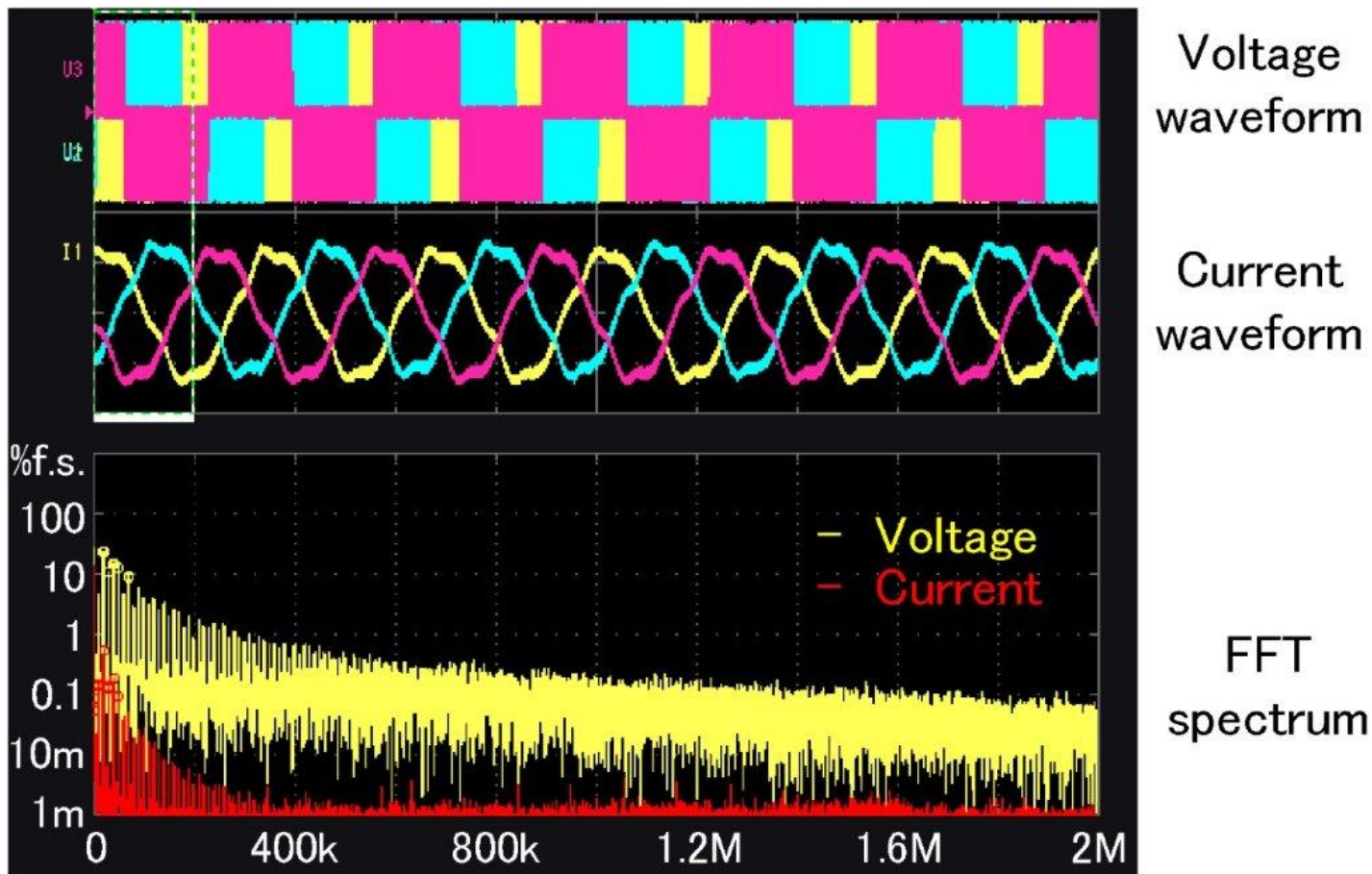
Posmatrajući naponske rezultate FFT-a, moguće je posmatrati osnovni talas koji predstavlja glavnu komponentu talasnog oblika PVM linijskog napona i njegove harmonike, zajedno sa

frekvencijom prekidanja i njegovim harmoničnim komponentama. Spektar od najmanje 0,1% f.s. postoji do približno 2 MHz.

Osnovni talas, njegove harmonike, frekvencija preklopa i njegove harmonične komponente takođe se mogu posmatrati za trenutni talasni oblik. Međutim, posmatran spektar na frekvencijama od 100 kHz i više padne ispod 0,1% fs, a trenutni nivo naglo pada kada se frekvencija povećava. Ovaj fenomen se može objasniti uzimajući u obzir ekvivalentno kolo motora koji je povezan sa pretvaračem kao opterećenje (Slika 2). Motorno namotavanje se može smatrati kao opterećenje R-L koje se sastoji od otpornosti i induktivnosti povezanih u nizu. Shodno tome, impedansa raste na visokim frekvencijama, što otežava struju.

Slično tome, ako pogledamo faktor snage ($\cos \theta$) za snagu opterećenja R-L, faktor snage približava vrednost 1 kada je frekvencija niskog, na primer za osnovni talas i njegove harmonike. Međutim, pošto induktivna reaktanca postaje dominantna na visokim frekvencijama, kao što su frekvencija prelaska i njene harmonike, struja pokazuje fazu zaostajanja, što dovodi do faktora niske snage.

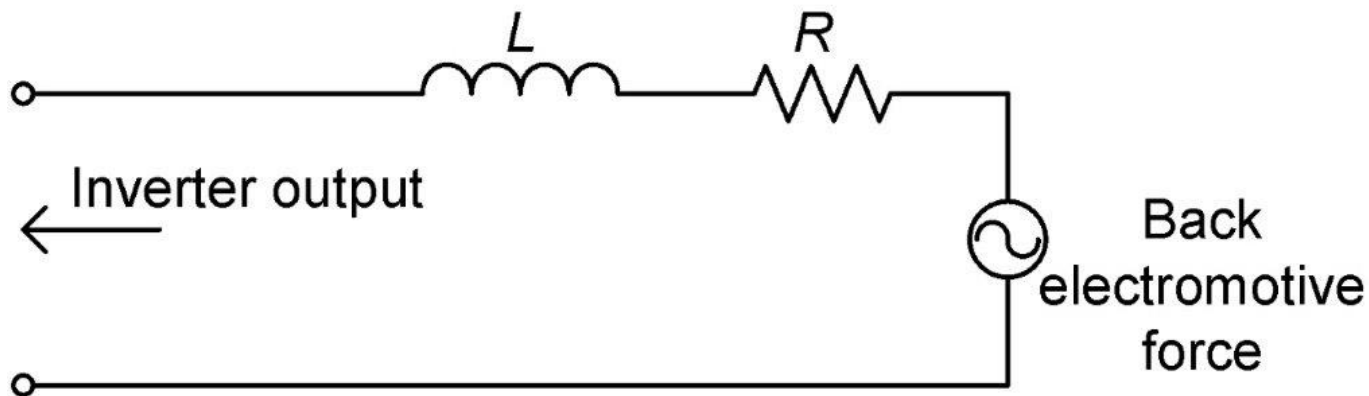
Donja polovina Slika 3 daje uvećani prikaz vremenske osi za izlazni napon pretvarača i talasne oblike struje do područja prebacivanja frekvencija. Struja talasnog napona je pravougaona, a trenutni talasni oblik je trougaoni. Očigledno je da njihova fazna veza karakteriše trenutna faza zaostajanja, kao što je opisano gore, što rezultira u niskom faktoru snage.



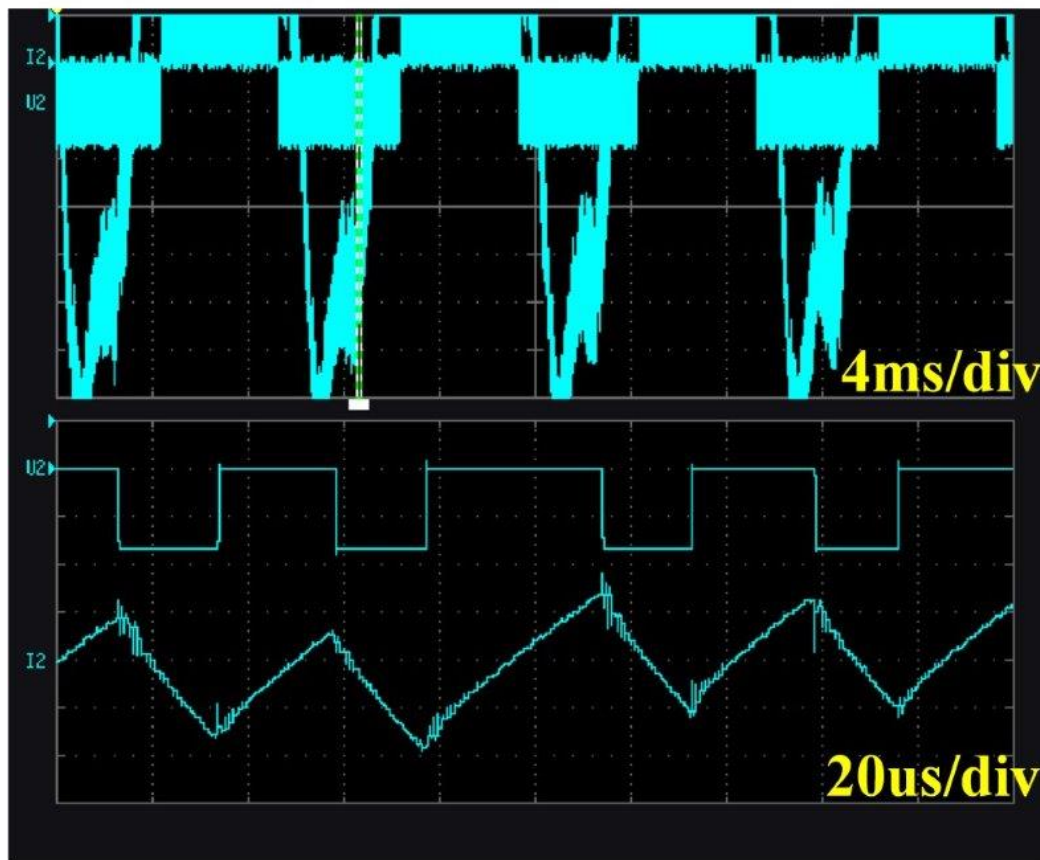
Slika 1: Oblik talasa i FFT rezultata za motor sa pogonom na inverteru (meren pomoću Hioki Power Analyzer PW6001)

Inverter		Motor		
Switching element	Switching frequency	Inductance	Resistance	Rated power output
SiC-MOSFET SCH2080KE (ROHM)	20 kHz	3.6 mH	0.9 Ω	120 W

: **Tabela 1:** Specifikacije cilja merenja



Slika 2: Ekvivalentno kolo motora (za 1 fazu)



Voltage waveform

Current waveform

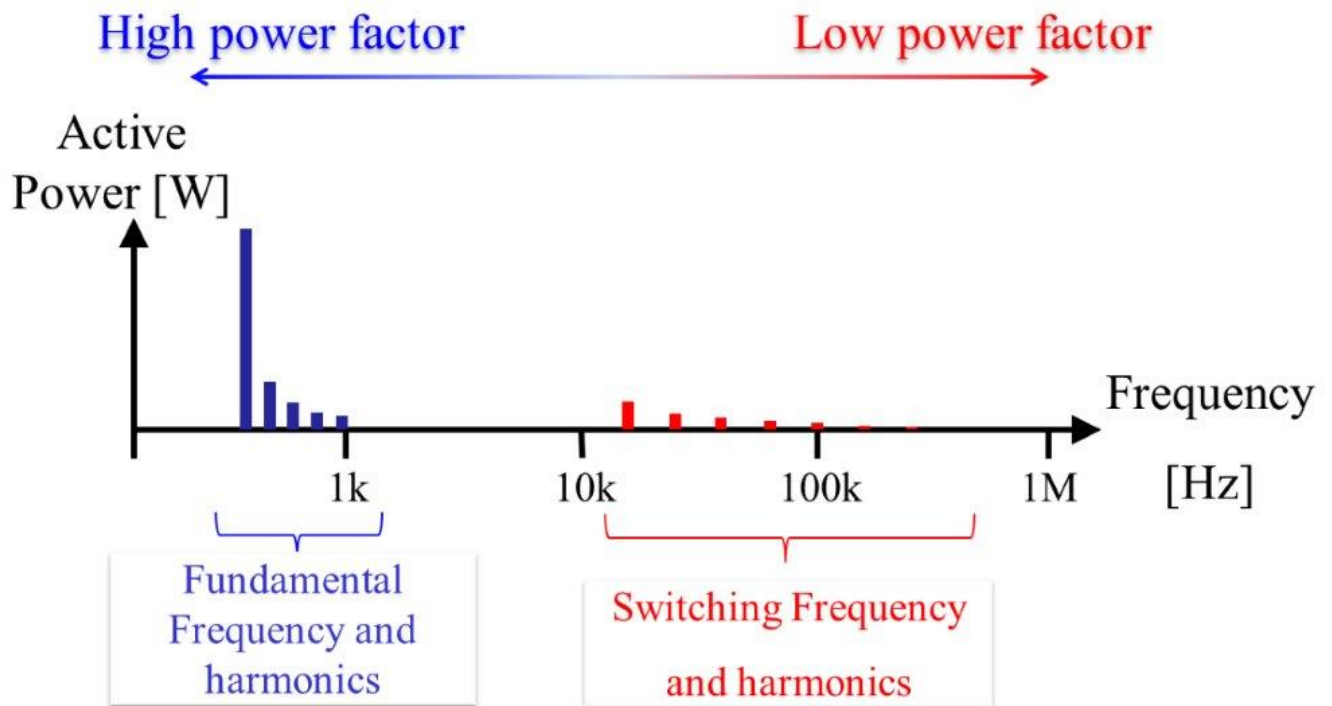
4ms/div

Voltage waveform

Current waveform

20us/div

Slika 3: Uvećani prikaz izlaznih talasa pretvarača



Slika 4: Glavne komponente izlazne snage aktivne snage i njihove karakteristike

Performanse potrebne za precizno merenje izlaza iz pretvarača
 Ovaj odeljak opisuje zahteve koje merni instrument za merenje mora zadovoljiti kako bi se precizno izmerila izlazna snaga pretvarača. Na osnovu gore opisanih karakteristika, važno je da takav instrument bude sposoban da mjeri aktivnu snagu ne samo za fundamentalni talas faktora visoke snage i njegove harmonike, već i za frekvenciju prebacivanja faktora niske snage i njegove harmonijske komponente .

Slika 5 ilustruje odnos između fazne greške i greške aktivne snage kod različitih faktora snage. Napon i trenutna greška u fazi merenja imaju veći uticaj na aktivnu snagu pri faktorima male snage nego na faktorima velike snage. Shodno tome, precizno merenje aktivne snage na frekvenciji uključivanja i njegovih harmoničkih komponenti zahtijeva i karakteristike ravne amplitude i karakteristike ravne faze u širokom opsegu frekvencija (što je posebno značajno). Za električne komponente koje se sastoje od napona pravougaonog talasa i trouglastog talasa kao što je prikazano na slici 3, frekvencijski opseg preko kojeg instrument mora pokazivati ravne

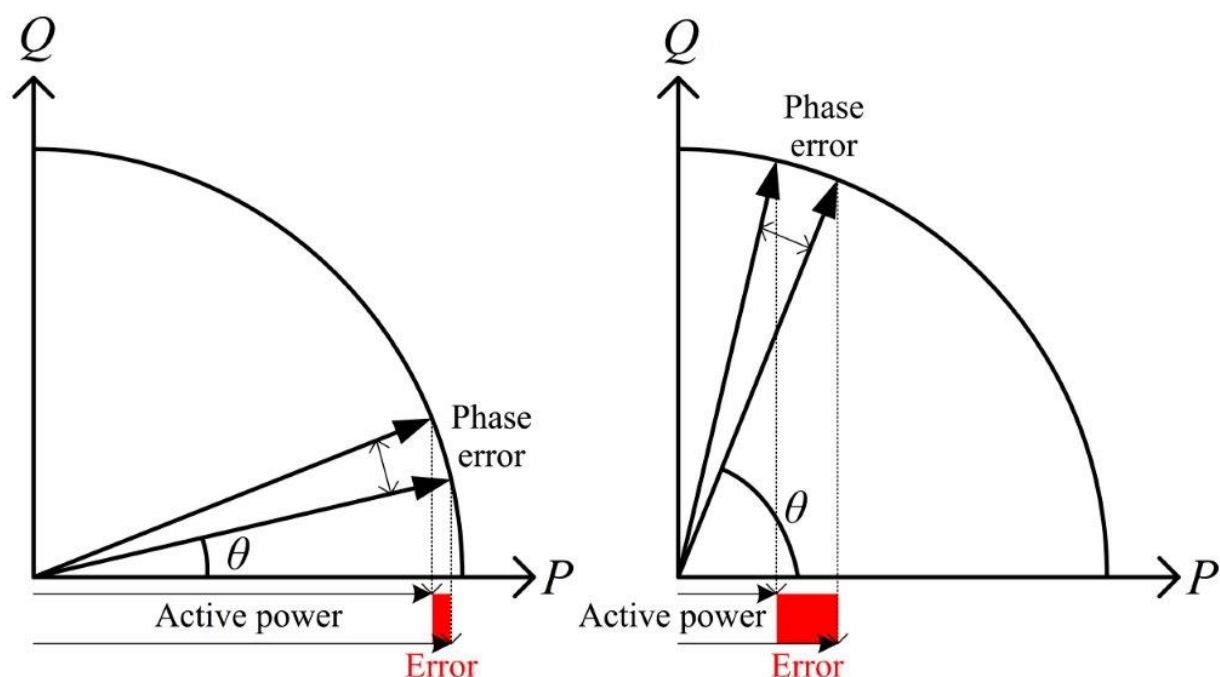
karakteristike amplitude i faze kako bi se mjerila efikasnost sa preciznošću od 0,1% verovatno je 5 do 7 puta prelazne frekvencije¹).

Aktivne karakteristike frekvencije snage pri faktoru snage nule pružaju merilo za merenje ravni amplitude i faze rada. Slika 6 prikazuje primjere aktivne frekvencije snage u faktoru snage nula za nekoliko modela Hioki Pover Analizer. Imajte na umu da ove karakteristike primera opisuju samostalnu performansu instrumenata.

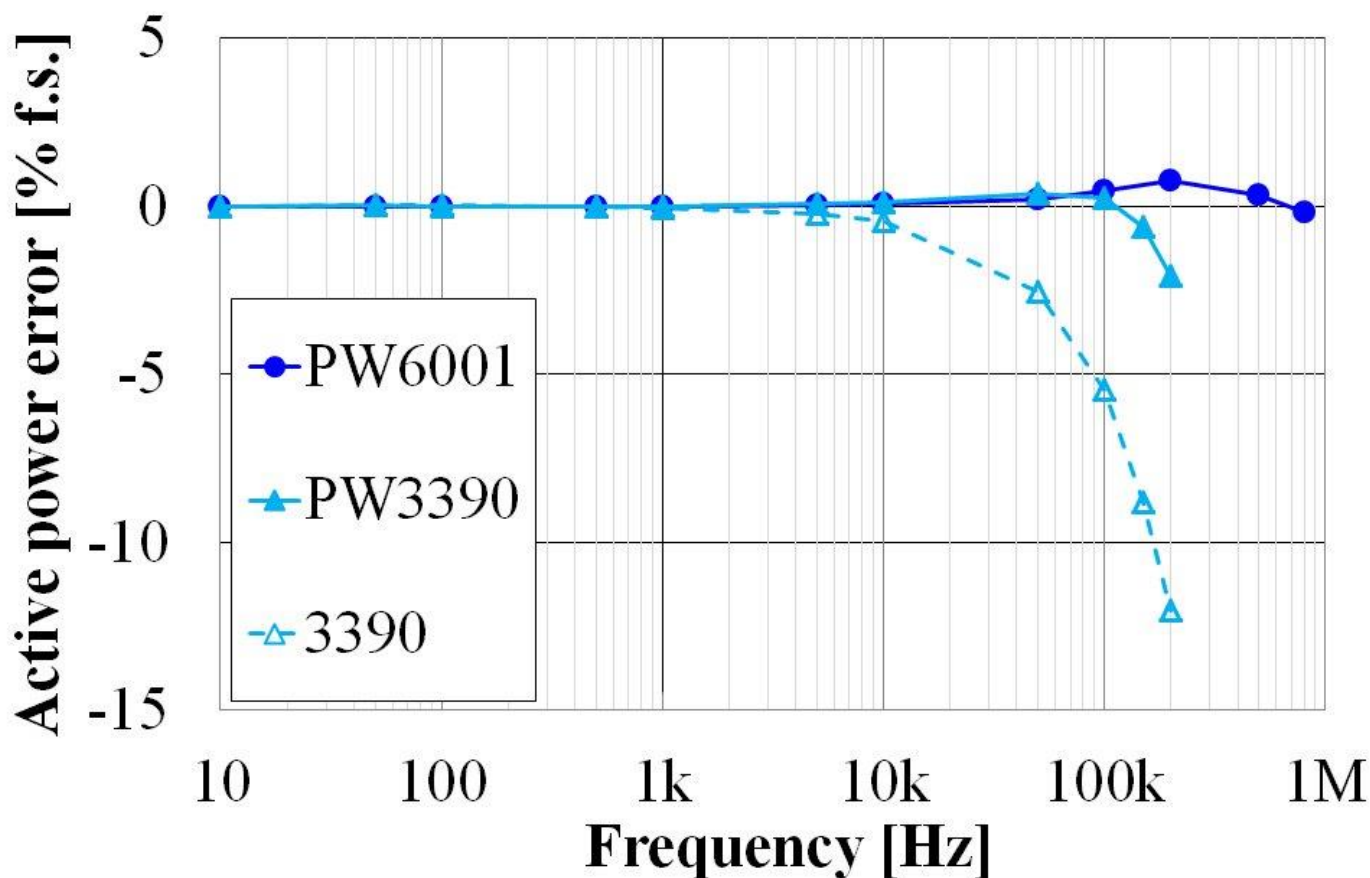
PV6001 isporučuje ravne karakteristike do 1 MHz, što odražava njegov primenjeni primjer mernih invertora koji koriste SiC prekidačke elemente. PV3390, koji je dizajniran za merenje invertora koji koriste IGBT prekidačke elemente, daje ravne karakteristike do 150 kHz. Instrument je dizajniran da prevaziđe performanse modela 3390, modela prethodne generacije, kako bi se olakšalo izuzetno precizno merenje izlaza iz pretvarača

Power factor ≈ 1

Power factor ≈ 0



Slika 5: Odnos fazne greške i greške aktivne snage kod različitih faktora snage

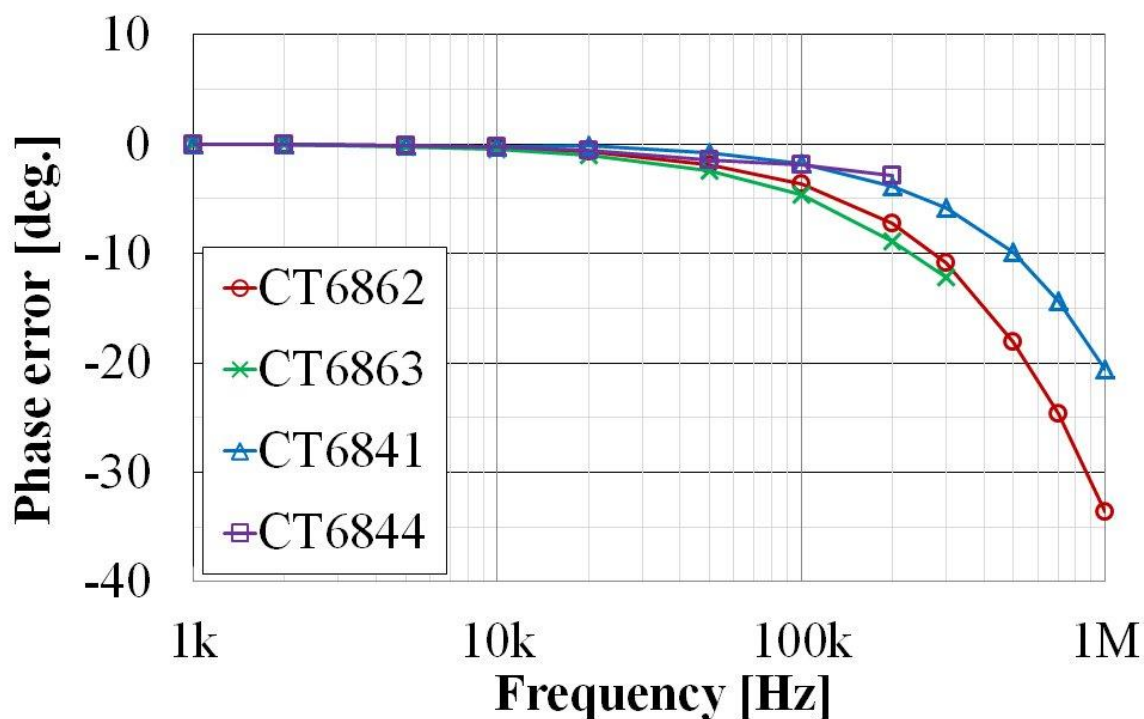


Slika 6: Primeri aktivnih karakteristika frekvencije snage pri faktoru snage od 0 za Hioki analizatore

Korekcija faze senzora

Kada se analizator snage koristi u uređaju za visoku preciznost, tipično se koristi za trenutni senzor merne struje preko 5 A²). Shodno tome, da bi se implementirao sistem merenja snage čije ćelijske amplitude i fazne karakteristike proširuju na visoke frekvencije, neophodno je ispuniti gore navedene zahteve performansi ne za analizator snage na samostalnoj osnovi, ali kada se analizator snage i senzor struje koriste u kombinaciji. Međutim, trenutni senzori obično pokazuju postepeno povećanje fazne greške u visokom frekventnom opsegu zbog senzora magnetnog jezgra i karakteristika šasije. Štaviše, razlike u dizajnu različitih modela senzora uzrokuju veliku razliku u ovoj grešci.

Slika 7 ilustruje karakteristike faze uzorkovanja za nekoliko senzora visoke preciznosti Hioki.



Slika 7: Faze-frekventne karakteristike senzora struje

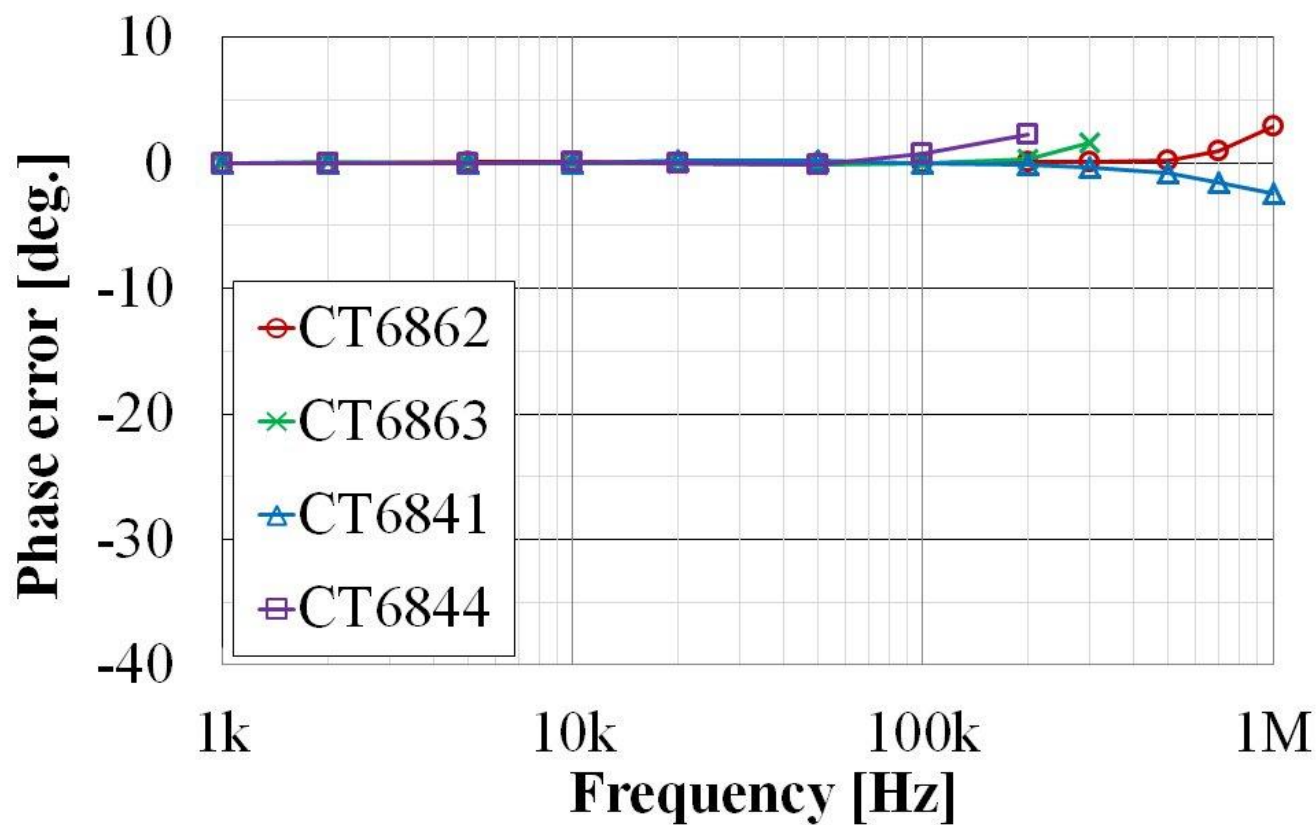
Za rešavanje ovog problema može se koristiti trenutna funkcija senzora faze senzora koju obezbeđuje Hioki Analizstor PW6001 i PW3390.

Korekcija faze koristi informacije o faznoj grešci specifičnoj senzoru za ispravljanje greške, čime se poboljšavaju karakteristike faza u području visokih frekvencija i smanjuju grešku u merenju snage.

Funkcija korekcije faze koristi virtuelnu tehnologiju preamplesanja radi realizacije vremenske obrade u obliku uzorka za uzorkovane talase pri rezoluciji visoke rezolucije ekvivalentnoj frekvenciji koja je 400 puta veća od stvarne frekvencije uzorkovanja. Korišćenjem odlaganja kašnjenja za talasne oblike koristeći koncept vremena, koristi za faznu korekciju mogu se produžiti preko punom frekvencijskom opsegu.

Hioki razvija visoke precizne strujne senzore u svojim fabrikama za razliku od vecine drugih proizvođača analizatora gde je utvrdio je fazne karakteristike svakog senzorskog modela optimizacijom dizajna i proizvodnih procesa i primenom stroge kontrole proizvodnje. Informacije o trenutnim karakteristikama faznih specifičnosti senzora koje se koriste u korekciji faze mogu se naći u korisničkom priručniku za svaki Hioki analizator napona.

Slika 8 prikazuje rezultat korekcije faze za trenutne senzore prikazane na slici 7 koristeći informacije o faznim karakteristikama. Pravilno izvođenje, korekcija faze daje znatno bolje fazne karakteristike u regionu visokih frekvencija.



Slika 8: Karakteristike fazne frekvencije nakon korekcije faze

Item		Model		
		PW6001	PW3390	3390
Input (DC)	Wiring	1P2W		
	Current Sensor	CT6862		
	Phase Adjust	OFF / ON (-10.96deg@300kHz)	N/A	
Output (PWM)	Wiring	3P3W3M		
	Current Sensor	CT6862×3		
	Phase Adjust	OFF / ON (-10.96deg@300kHz)	N/A	
	Fundamental Frequency	100Hz		
Power Analyzer Frequency Band		~2MHz	~200kHz	~150kHz

Upoređivanje stvarnih merenja efikasnosti invertora

Autori su izmerili efikasnost SiC pretvarača opisanog u Tabeli 1 gore koristeći tri Hioki modela analizatora i upoređivali rezultate.

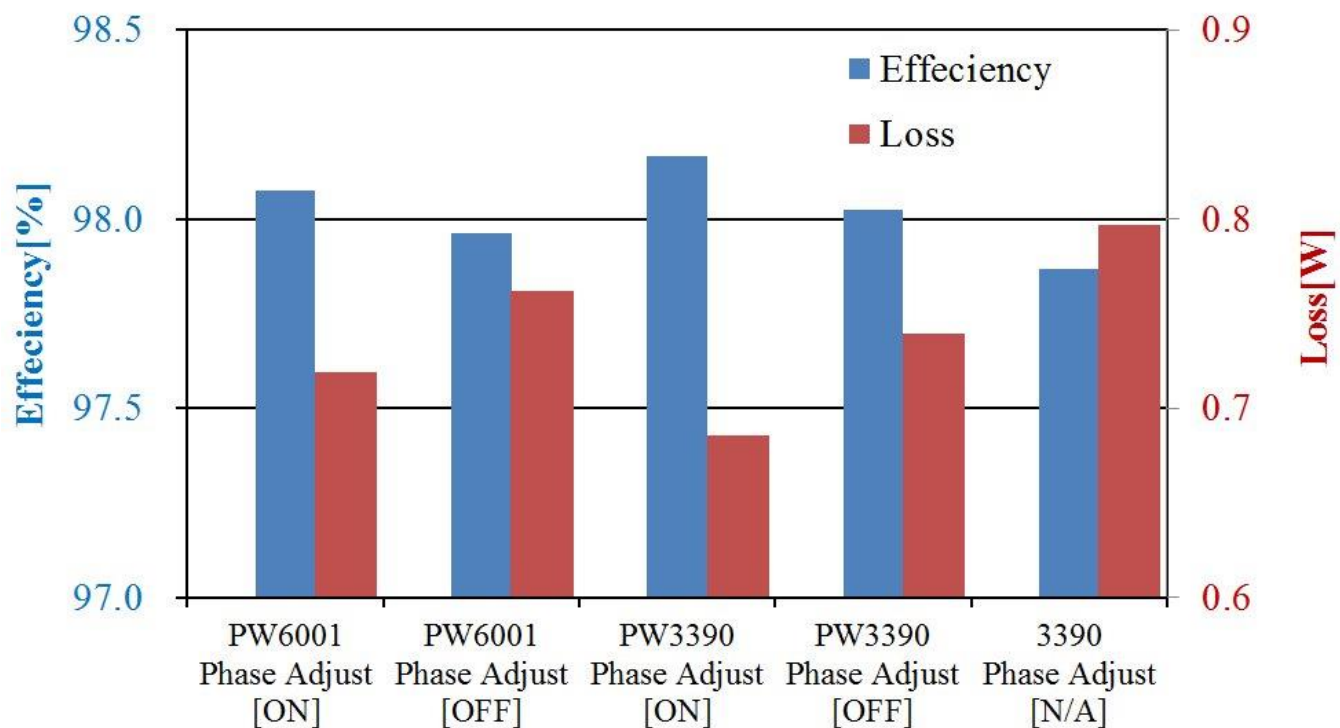
Tabela 2 sumira uslove merenja. Odvojena merenja pomoću PW6001 i PW3390 izvršena su sa omogućenim i onemogućenim korekcijom faze.

Slika 9 sumira rezultate merenja za efikasnost i gubitak. I PV6001 i PV3390 dali su vrednosti efikasnosti koje su bile 0,1% do 0,15% veće od 3390 sa onemogućenim faznim ispravkama. Razlika u vrednostima verovatno je bila posledica visokih karakteristika aktivne snage instrumenta na faktoru snage nule (**Slika 6**).

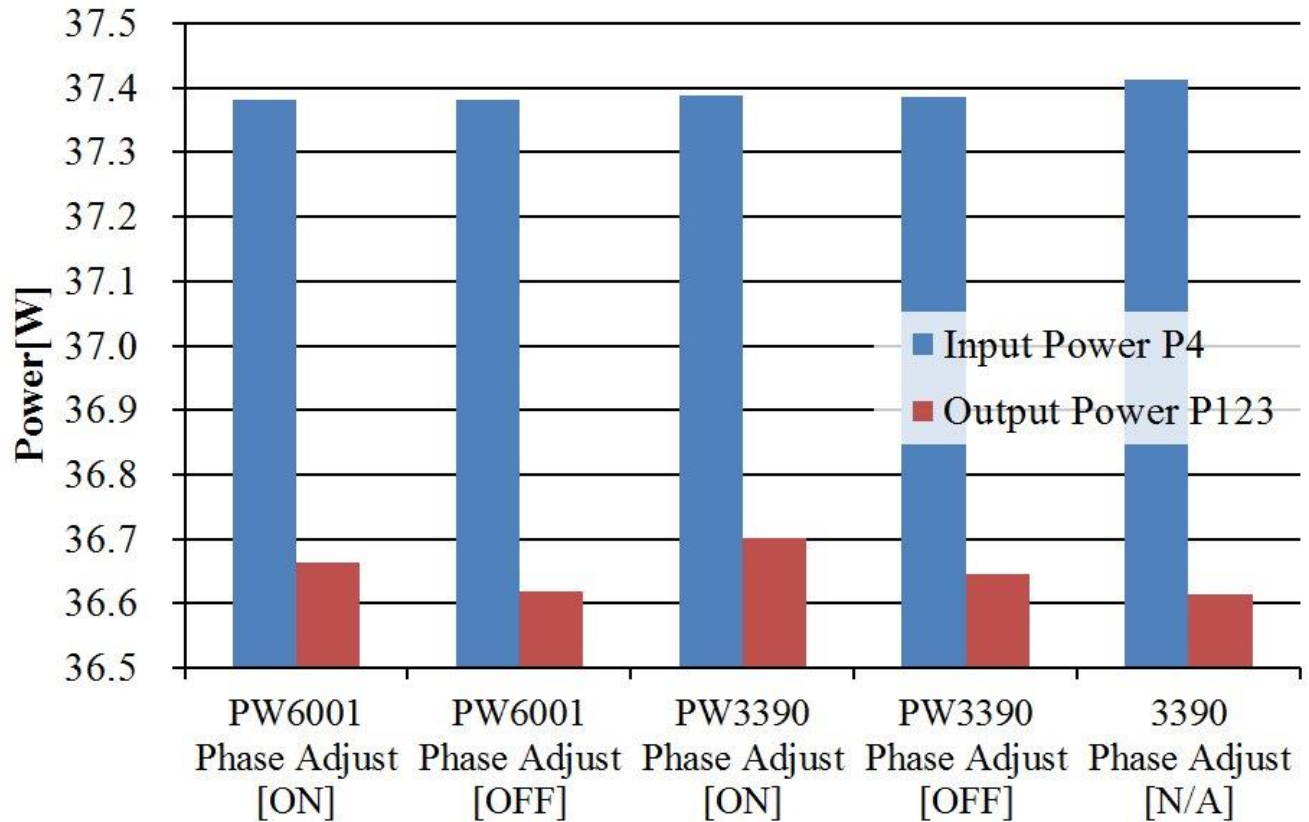
Vrednosti efikasnosti sa omogućenom faznom korekcijom bile su još 0,1% do 0,15% veće od onih dobijenih sa onemogućenom funkcijom. Na slici 10 prikazana je ulazna snaga DC P4 i izlazna snaga P123 PVM za merenja prikazana na slici 9. Dok su vrednosti P4 iz PW6001 i PW3390 ostale nepromenjene, bez obzira na to da li je korekcija faze omogućena ili onemogućena, vrednosti P123 bile su 0,1% do 0,15% veća kada je omogućena korekcija faze u poređenju sa time kada je onemogućena. Na

osnovu ovih rezultata, smanjenje greške faze zaostajanja senzora struje CT6862 (Slika 7 i Slika 8) je lako vidljivo u mernim vrednostima P123.

Tabela 2: Uslovi merenja



Slika 9: Upoređivanje efikasnosti invertera i gubitaka po modelu



Slika 10: Upoređivanje ulazne i izlazne snage pretvarača prema modelu

Konačno,

upoređivanje vrednosti gubitaka prikazanih na slici 9 pokazuje da su vrednosti gubitaka dobijene od PW6001 i PW3390 sa omogućenim korekcijom faze bile 0,1 V (ekvivalentno 12%) niže od vrednosti od 3390. Ovaj test je merio mali motor kao njegovo opterećenje, ali 12% razlika u gubitku za 10 kV, 95% efikasnog pretvarača bi bila ekvivalentna 60 W snage, razlika koja je dovoljno velika da utiče na termički dizajn. Da biste precizno procenili efikasnost do 0,1% nivoa i gubitka na 1 W nivo u sistemu visokih performansi motora, važno je osigurati da celi sistem merenja snage ima odgovarajuće karakteristike amplitude i faze. Rezultati merenja autora ilustruju efektivnost trenutne korekcije faze senzora.

Pošto izmereni pretvarač koristi frekvenciju prelaska od 20 kHz, i PW6001 i PW3390 su imali adekvatan frekventni opseg, i nije bilo značajnih razlika u rezultatima merenja iz dva instrumenta. Međutim, očekuju se razlike između dva modela ako se frekvencija prelaska povećava dalje.

Zaključak

Ovaj rad se fokusirao na izlaznu snagu pretvarača, opisujući zahteve za instrumente za merenje snage kako bi se olakšalo tačno merenje. Identifikovao je važnost trenutne

ekspertize za korekciju faze senzora u ispunjavanju tih zahteva i proverio efikasnost te tehnike upoređivanjem stvarnih merenja. U oblasti energetske elektronike postoje brojne mogućnosti za merenje snage na visokim frekvencijama i faktorima male snage³), osim sistema pogonskih motora, i stručnost za korekciju faze može se efikasno iskoristiti u tim aplikacijama.

Radujemo se pružanju korisnijih informacija o ovoj temi čitaocima u budućnosti.

Izvor informacija:

[1]

Hayashi, K, "High-Precision Power Measurement of SiC Inverters," Bodo's Power Systems, September 2016, pp.42-47.

[2]

Yoda, H, et al. "Current Measurement Methods that Deliver High Precision Power Analysis in the Field of Power Electronics" Bodo's Power System, April 2016, pp.38-42.

[3]

Hayashi, K, "Measurement of Loss in High-Frequency Reactors," Bodo's Power Systems, February 2017, pp.18-22.

Melco Buda d.o.o.

- kancelarija u Beogradu: Jurija Gararina 257/II sprat/12, 11070 Novi Beograd

tel: [011 /627-74-10](tel:011/627-74-10) __ mob [065 3119422](tel:0653119422), [+065 8003370 /0638003370](tel:+0658003370)

e mail: office-beograd@melcobuda.co.rs, budimir.melcobuda@gmail.com

www.melcobuda.co.rs, www.kyoritsu-instrumenti.com, www.termovizija.com

www.hioki-instrumenti.com

- kancelarija u Despotovcu: Saveza Boraca br.7, 35213 Despotovac, Srbija

„tel/fax: [035/61-33-19](tel:035613319), tel: [035/61-29-16](tel:035612916) mob. [065/800-33-70](tel:0658003370), [063/8003370](tel:0638003370)

e mail: office@kyoritsu-instrumenti.com, office@melcobuda.co.rs

- Germany address: Quer strasse 18 Offenbach