

NAPREZANJE KONDENZATORSKE BATERIJE PRI KOMPENZACIJI REAKTIVNE SNAGE STRESS OF POWER FACTOR CAPACITOR BANKS DURING REACTIVE POWER COMPENSATION

Goran Vuković, *Elektrotehnički fakultet Istočno Sarajevo*
Vladimir Milojević, *Institut za metrologiju Bosne i Hercegovine*
Željko Đurišić, *Elektrotehnički fakultet Beograd*

Sadržaj - U radu je detaljno opisan postupak provjere naprežanja kondenzatorske baterije prilikom kompenzacije reaktivne snage potrošača. Izvršena je i praktična provjera naprežanja baterije prilikom kompenzacije reaktivne snage NN asinhronom motora. Provjera naprežanja kondenzatorske baterije izvršena je prema važećem standardu IEC 60831-1/2002 kojim su definisane granice dozvoljenog naprežanja.

Abstract - The paper describes the verification process of stresses the capacitor bank during compensation of reactive power consumer. Practical tests of the capacitor bank stress during reactive power compensation LV AC motors, have been performed. Checking of stress of capacitor bank is carried out according to the current IEC 60831-1/2002 which defines the allowable limits of stress.

Ključne reči – Naprežanje kondenzatorske baterije, udarna struja, viši harmonici.

Key words – Stress of power factor capacitor banks, inrush current, harmonic.

1. UVOD

Nelinearni potrošači kao i potrošači bazirani na prekidačkoj tehnici su u širokoj upotrebi unutar elektroenergetskog sistema. Zbog svoje nelinearne karakteristike svrstavaju se u glavne uzročnike nezadovoljavajućeg kvaliteta električne energije. Viši harmonici napona i struje prouzrokovani nelinearnim opterećenjem mogu negativno uticati na širok opseg opreme u elektroenergetskom sistemu, a najprimjetnije na kondenzatore, transformatore i motore izazivajući dodatne gubitke, pregrijavanja i preopterećenja. Problemi koji se tiču harmonika obično se prvo vide na baterijama kondenzatora. S obzirom da se kondenzatori vezuju očno, a impedansa im je obrnuto srazmerna frekvenciji, tako da što je harmonik viši, on vidi nižu impedansu. Zbog toga postoji mogućnost da kroz kondenzator teku visoke vrijednosti harmonika struje i da usled toga dođe do njihovog preopterećenja i oštećenja. Prema tome kod instalacije kondenzatora na već predviđeno mjesto u elektroenergetskom sistemu potrebno je mjerenjem izvršiti analizu harmonijskog spektra napona i struje kako bi se izbjegla naprežanja kondenzatorske baterije usljed postojećih harmonika, kao i mogućnost pojave rezonancije na određenoj frekvenciji. Postoje razne tehnike za rješavanje problema naprežanja kondenzatora usljed viših harmonika. Neke predlažu da se kondenzator isključi sa mreže kada nivo harmonika struje kroz njega postane visok. Ostale tehnike predlažu ugradnju pasivnih/aktivnih filtera kao i aktivnih zaštitnih uređaja. Važeći standardi [1] i [2] propisuju dozvoljeni nivo preopterećenja kondenzatorske baterije.

Prisutvo kondenzatora u mreži prouzrokuje određene režime, od kojih među najvažnije spada uključenje kondenzatora pošto je praćeno strujama uključanja koje su više desetina puta veće od njihove nominalne struje pa se moraju posebno proučavati i analizirati. Ovu struje uključanja karakteriše vrlo visoka amplituda, velika strmina porasta, velika frekvencija te kao takva izaziva znatno naprežanje kondenzatorske baterije. Standardom je

predviđeno da maksimalna struja uključanja bude $I_{max} \leq 100 I_{cn}$. Provjera ispunjenosti ovog uslova je nužna kako bi se utvrdila potreba za ugradnjom prigušnice na red sa kondenzatorom u cilju ograničenja ove struje na dozvoljeni nivo.

2. NAPREZANJE KONDENZATORSKE BATERIJE USLED VIŠIH HARMONIKA

Naznačena reaktivna snaga kondenzatorske baterije je definisana nominalnim kapacitetom C_n , nominalnim naponom U_{neff} i nominalnom frekvencijom f_n . Naznačena reaktivna snaga kondenzatorske baterije je određena za prostoperiodični režim rada tj. u uslovima gdje je napon na njenim krajevima prostoperiodičan sa frekvencijom 50 Hz. Kada napon na krajevima kondenzatorske baterije odstupa od prostoperiodičnog i frekvencija od svoje nominalne vrijednosti tj. u uslovima postojanja višeharmonijskih članova struje i napona, standardi [1] i [2] definišu dozvoljene granice za napon, struju i reaktivnu snagu u takvim radnim uslovima.

2.1 DOZVOLJENI NIVO NAPONSKOG NAPREZANJA

Standardi [1] i [2] definišu maksimalno dozvoljeni napon u zavisnosti od trajanja naponskog naprežanja (Tabela 1.)

Tabela 1. Dozvoljeno naponsko naprežanje

Dozvoljeni napon U_{max}	Trajanje T_{max}
$U \leq 1.0xU_n$	Trajno
$U \leq 1.1xU_n$	8 h/dan
$U \leq 1.15xU_n$	30 min/dan
$U \leq 1.2xU_n$	5 min/dan
$U \leq 1.3xU_n$	1 min/dan

Efektivna vrijednost napona u prisutvu viših harmonika $h=2, 3^*, 4, 5, 6, 7, 8, 9^*, \dots, 40$ je:

$$U_{\text{eff}} = \sqrt{U_1^2 + \sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} U_h^2} \quad (1)$$

Normlizacijom izraza (1) sa nominalnim napona kondenzatorske baterije te pri uslovima iz tabele 1. ima se:

$$\frac{U_{\text{eff}}}{U_{\text{neff}}} = \sqrt{\frac{U_1^2 + \sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} U_h^2}{U_{\text{neff}}^2}} \leq 1.10 \quad (2)$$

2.2 DOZVOLJENI NIVO STRUJNOG NAPREZANJA

Efektivna vrijednost struje kroz kondenzatorsku bateriju u prisustvu višeharmonijskih članova je:

$$I_{\text{eff}}^2 = I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots \quad (3)$$

Kako je struja kroz kondenzator proporcionalna naponu na njegovim krajevima tada je:

$$I_{\text{eff}}^2 = (\omega_1 C U_1)^2 + (2\omega_1 C U_1)^2 + (3\omega_1 C U_1)^2 + \dots \quad (4)$$

ili

$$I_{\text{eff}}^2 = \omega_1^2 C^2 U_{\text{eff}}^2 \left\{ 1 + \sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} (h^2 - 1) \left(\frac{U_h}{U_{\text{eff}}} \right)^2 \right\} \quad (5)$$

Standardom [1] je definisana maksimalno dozvoljena struja kondenzatora koja ne smije premašiti $1.3xI_n$ ili $1.5xI_n$ ako je tolerancija kapaciteta $1.15x C_n$. U skladu sa definisanom granicom ima se:

$$\frac{I_{\text{eff}}}{I_{\text{neff}}} = \frac{f_1}{f_n} \frac{U_{\text{eff}}}{U_{\text{neff}}} \sqrt{1 + \sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} (h^2 - 1) \left(\frac{U_h}{U_{\text{eff}}} \right)^2} \leq 1.30 \quad (6)$$

2.3 DOZVOLJENI NIVO NAPREZANJA USLED REAKTIVNE SNAGE

Kako struja kroz kondenzator i napon na njegovim krajevima sadrže više harmonike, reaktivna snaga će takođe sadržavati višeharmonijske članove. Svakako i nivo viših harmonika reaktivne snage treba biti ograničen. Standardom [1]-[2] je predviđen dozvoljeni nivo reaktivne snage koji ne smije premašiti $1.35xQ_n$. Reaktivna snaga uz prisustvo višeharmonijskih članova računa se:

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots = \omega_1 C U_1^2 + 2\omega_1 C U_1^2 + 3\omega_1 C U_1^2 + \dots \quad (7)$$

ili

$$Q = \omega_1 C \left(U_{\text{eff}}^2 + \sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} (h-1) U_h^2 \right) \quad (8)$$

Prema navedenom uslovu za reaktivnu snagu ima se:

$$\frac{Q}{Q_n} = \frac{f_1}{f_n} \frac{U_{\text{eff}}^2}{U_{\text{neff}}^2} \left(1 + \sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} (h-1) \frac{U_h^2}{U_{\text{eff}}^2} \right) \leq 1.35 \quad (9)$$

*Tripli harmonici za trofazne kondenzatorske baterije su zanemarljivi ili su jednaki nuli.

3. DOZVOLJENO RADNO PODRUČJE KONDEZATORSKE BATERIJE U PRISUSTVU VIŠIH HARMONIKA

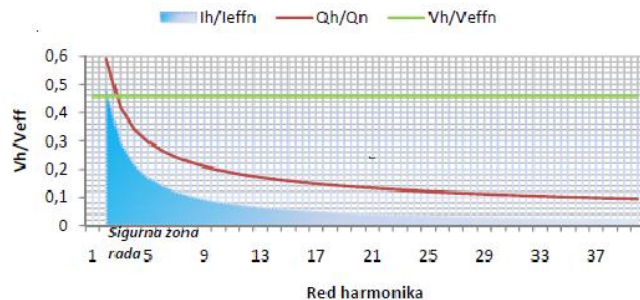
Na osnovu uslova (2), (6) i (9) i uz pretpostavku da je $f_1 = f_n$ i $U_1 \approx U_{\text{eff}} = U_{\text{neff}}$ dozvoljeni nivo naprežanja za napon, struju i reaktivnu snagu respektivno je:

$$\sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} \frac{U_h}{U_{\text{eff}}} = 0.458 \quad (10)$$

$$\sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} \frac{U_h}{U_{\text{eff}}} = \sqrt{\frac{0.69}{h^2 - 1}} \quad (11)$$

$$\sum_{h=2}^{h_{\text{max}}} \frac{U_h}{U_{\text{eff}}} = \sqrt{\frac{0.35}{h-1}} \quad (12)$$

Na osnovu (10), (11), (12) dozvoljeno radno područje kondenzatorske baterije u prisustvu višeharmonijskih članova struje i napona prikazano je na slici 1. Kako bi se sprovela analiza naprežanja kondenzatorske baterije uzrokovano višeharmonijskim članovima napona, struje i reaktivne snage potrebno je ispitati harmonijski spektar napona na mjestu gdje se predviđa ugradnja baterije.



Slika 1. Dozvoljeno radno područje kondenzatorske baterije u prisustvu višeharmonijskih članova struje i napona

Ako je gore navedena granica prekoračena potrebno je odabrati kondenzatorsku bateriju sa većim nazivnim naponom $U_{\text{neff}2}$, te snagu kondenzatorske baterije reaktivna snaga je:

$$Q_{n2} = Q_{n1} \left(\frac{U_{\text{neff}2}}{U_{\text{neff}1}} \right)^2 \quad (13)$$

4. GUBICI SNAGE U KONDEZATORU

Gubici snage u kondezatoru se dijele:

- Gubitke usljed proteklog naelektrisanja
- Dielektrične gubitke uzrokovane promjenljivom polarizacijom

Model kondenzatora uvažavajući navedene gubitke može se predstaviti serijskom vezom otpornika R_s i kondenzatora C .

Faktor gubitaka $\tan \delta$ za serisku vezu je :

$$\tan \delta = R_s \omega C \quad (13)$$

Faktor gubitaka za osnovni harmonik napona dat je od strane proizvođača i za niskonaponske kondenzatore kreće se u granicama $\tan \delta_1 = 0.25 \div 0.5$.

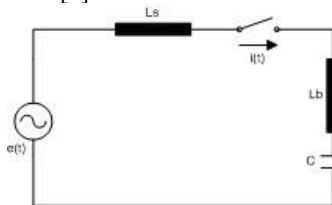
Ukupni gubici snage u kondenzatoru povećavaju se ukoliko napon na njegovim krajevima sadrži višeharmonijske članove. Ukupni gubici snage u kondenzatoru pri frekventno zavisnom faktoru gubitaka $\tan \delta_h = R_{sh} \omega_h C$ i uz prisustvo naponskih harmonika h_{max} je:

$$P_{Ctotal} = \sum_{h=1}^{h_{max}} C(\tan \delta_h) \omega_h U_h^2 \quad (14)$$

gdje je $R_{sh} = hR_{s1}$, $\omega_h = 2\pi f_h$ i U_h efektivna vrijednost napona h-tog harmonika.

5. NAPREZANJE KONDENZATORSKE BATERIJE KOD UKLJUČENJA NA MREŽU

Priključenje kondenzatorske baterije na napon uklapanjem sklopnog aparata uzrokuje uklopnu struju koja je funkcija mrežnog napona, kapaciteta i otpora kola, vrijednosti i mjesta induktiviteta u mreži, naboja baterije u trenutku kad se zatvori kolo, i posredno prigušenja prelazne pojave. Ta struja može doseći vrlo visoku amplitudu (reda veličine struje kratkog spoja), veliku strminu porasta i biti vrlo velike frekvencije, što sve izaziva znatna naprezanja sklopnih aparata i kondenzatora. Ekvivalentna šema za proračun struje uključivanja monofazne kondenzatorske baterije na mrežu je data na slici 2 [3].



Slika 2. Ekvivalentna šema za proračun struje uključivanja kondenzatora

$e(t)$ – fazni napon mreže,
 C – kapacitivnost kondenzatora po fazi,
 L – ukupna fazna induktivnost kola ($L = L_s + L_b$) po fazi,
 L_s – induktivnost mreže na koju se uključuje kondenzator,
 L_b – induktivnost u grani razmatranog kondenzatora

Kod uključivanja kondenzatora na mrežu razlikuju se dva karakteristična režima:

1. Uključenje kondenzatora kada u mreži nema drugih uključenih kondenzatora
2. Uključenje (paralelnih) baterija kada u mreži postoji jedna ili više uključenih baterija.

Udarne struje uključivanja kondenzatora, kao i frekvencije tih struja, su nekoliko desetina puta veće od nominalnih. Maksimalna strujna naprezanja kondenzatorskih baterija definisana je standardom [1] i [2] za kondenzatore, koji preporučuje da trenutna vršna vrijednost struje baterije (uklopne struje) ne bude veća od 100-struke efektivne vrijednosti nazivne struje baterije kako ne bi došlo do prevelikih naprezanja baterije zbog brzog porasta naboja.

Standardom [1] i [2] je definisano da kondenzatorska baterija pri uključivanju na mrežu mora da izdrži udarnu struju:

$$I_{ud,max} \leq 100 I_{Cn} \quad (15)$$

Provjera ispunjenosti uslova (15) je nužna kako bi se utvrdila potreba za ugradnjom prigušnice na red sa kondenzatorom u cilju ograničenja tih struja na vrijednosti ispod navedenog dozvoljenog nivoa.

Po uključivanju kondenzatora, trenutne vrednosti struje u vrijeme prelaznog procesa, s obzirom na ispunjenost uslova $\omega_0 \gg \omega$, menjaju se po zavisnosti:

$$i(t) = \omega C E \max(\sin \omega t + e^{-t/T_0} (\frac{\omega_0}{\omega}) \sin \omega_0 t) \quad (16)$$

pri čemu prvi sabirak odgovara struji kondenzatora koja se održava i u stacionarnom stanju dok drugi reprezentuje komponentu struje slobodnog stanja, koja u realnim uslovima mora da bude prigušena, odnosno pseudoperiodična (kada se uzme u obzir omska otpornost mreže). Kako je uticaj prvog člana relativno mali ($\omega_0/\omega \gg 1$), vrijednost struje uključivanja praktično je određena drugim članom, pa je:

$$i(t) = I_{ud,max} \sin \omega_0 t \quad (17)$$

Gdje je ω_0 i vrijednost struje uključivanja:

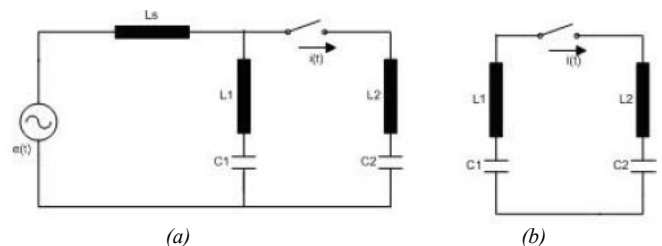
$$\omega_0 = 1/\sqrt{LC} = \omega \sqrt{X_C / X_L} = \omega \sqrt{S_{sc} / Q_C} \quad (18)$$

$$I_{ud,max} = I_{Cn} \sqrt{2} (\sqrt{X_C / X_L}) = I_{Cn} \sqrt{2} \sqrt{S_{sc} / Q_C} \quad (19)$$

S_{sc} , X_L – snaga kratkog spoja (K.S) i reaktansa na mjestu priključka kondenzatora

Q_C , X_C – snaga i reaktansa kondenzatora.

Kada se kondenzator uključuje paralelno na bateriju ili mrežu sa već uključenim kondenzatorima, vrijednosti maksimalne udarne struje uključivanja ($I_{ud,max}$) mogu premašiti 100-struke nominalne iznose (I_{Cn}). Obrazloženje leži u činjenici da se uključene (i napunjene) baterije u tom trenutku ponašaju kao izvori napona koji preko relativno malih induktivnosti napajaju kondenzator koji se uključuje.



Slika 3. Ekvivalentna šema (a) i uprošćena ekvivalentna šema (b) za proračun struje uključivanja kondenzatora na mrežu sa dvije uključene baterije

Kolo na sl. 3b je nastalo eliminisanjem izvora napajanja (e) koji, zbog relativno velike induktivnosti ($L_s \gg L_1$), stvara komponentu struje uključivanja, znatno niže vrednosti i niže sopstvene učestanosti u odnosu na onu koja potiče od susjednog kondenzatora C_1 , i koja se zbog toga može zanemariti pa je udarna struja:

$$I_{ud,max} = \sqrt{2} I_{Cn2} \frac{X_{C2}}{X_C} \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} = (30 - 200) I_{Cn2} \quad (20)$$

Gdje je :

$$\omega_0 = \omega \sqrt{\frac{X_C}{X_L}} = (30 - 200) \omega \quad (20a)$$

C_2 , X_{C2} - kapacitivnost i kapacitivna reaktansa kondenzatora koji se uključuje,

C , X_C - ukupna kapacitivnost i kapacitivna reaktansa kola sa sl.3b,

L , X_L - ukupna induktivnost i induktivna reaktansa kola sa sl.3b.

U praksi se često, zbog potrebe regulisanja reaktivne snage, kondenzatorske baterije izvedu iz više paralelnih sekcija koje se povremeno uključuju i isključuju. Kod centralne kompenzacije u transformatorskim stanicama je čest slučaj da su sve kapacitivnosti i sve induktivnosti pojedinih sekcija kondenzatora međusobno jednake, tj. $L_1=L_2... L_{n+1}$ i $C_1=C_2 ... C_n=C_{n+1}$. Udarne struja uključenja n+1-og kondenzatora je:

$$I_{ud,n+1} = \sqrt{2} I_{Cn,n+1} \frac{n}{n+1} \sqrt{\frac{X_{C,n+1}}{X_{L,n+1}}} \quad (21)$$

6. METODOLOGIJA MJERENJA

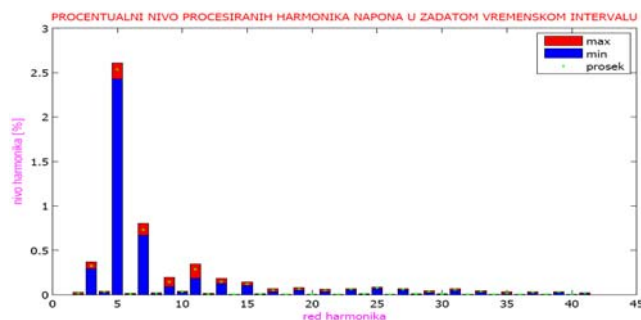
Praktični eksperiment pojedinačne kompenzacije reaktivne snage je izvršen na NN trofaznom asinhronom motoru nominalne snage $P_n=6 \text{ kW}$ proizvođača KONČAR u Laboratoriji za Električne mašine i pogone na ETF-u Istočno Sarajevo.

Kompenzacija je izvršena NN trofaznom kondenzatorskom baterijom tipa MODULO 10 nominalne snage $Q_n=5 \text{ kVar}$ i struje $I_{cn}=7.2 \text{ A}$ proizvođača DUCATI Energia-Italija [4]. Kao mjerno akvizicioni sistem korišten je sistem za analizu kvaliteta električne energije baziran na personalnom računaru razvijen na Elektrotehničkom fakultetu u Beogradu [5].

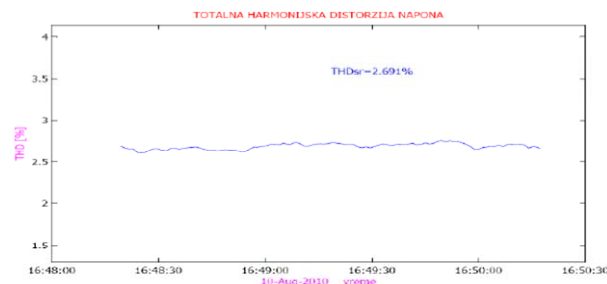
7. EKSPIRIMENTALNA ANALIZA NAPREZANJA KONDENZATORSKE BATERIJE KOD KOMPENZACIJE REAKTIVNESNAGE ASINHRONOG MOTORA

7.1 PROVJERA NAPREZANJA U PRISUSTVU VIŠIH HARMONIKA

Na slici 4. prikazan je harmonijski spektar faznog napona na kondenzatorskoj bateriji. Uočava se postojanje viših harmonika u faznom naponu na priključcima asinhronog motora i kondenzatorske baterije. Pošto je kondenzatorska baterija trofazna sa kapacitetima spojenim u trougao, napon na krajevima svakog kondenzatora je linijski. Na osnovu toga kod analize napreznja baterije postojeće vrijednosti harmonika treba pomnožiti sa $\sqrt{3}$, te u harmonijskom spektru ne treba uzimati u obzir tripli harmonike (tj. $h \neq 3, 9, 15, 21, \dots$) zato što su istofazni te se poništavaju. Na slikama 5. i 6. respektivno prikazan je THD faznog napona na mjestu priključenja kondenzatorske baterije i efektivna vrijednost osnovnog harmonika.



Slika 4. Harmonijski spektar faznog napona na kondenzatorskoj bateriji.



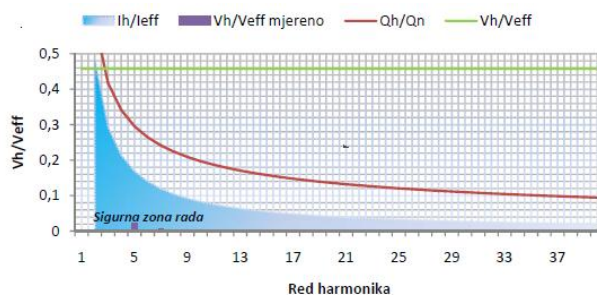
Slika 5. THD faznog napona na priključcima kondenzatorske baterije.



Slika 6. Efektivna vrijednost faznog napona osnovnog harmonika

Na osnovu izraza (10), (11), i (12) izvršena je provjera napreznja kondenzatorske baterije usljed postojećih višeharmonijskih članova.

Na slici 7. prikazan je harmonijski spektar napona na kondenzatoru u odnosu na dozvoljenu radnu zonu.

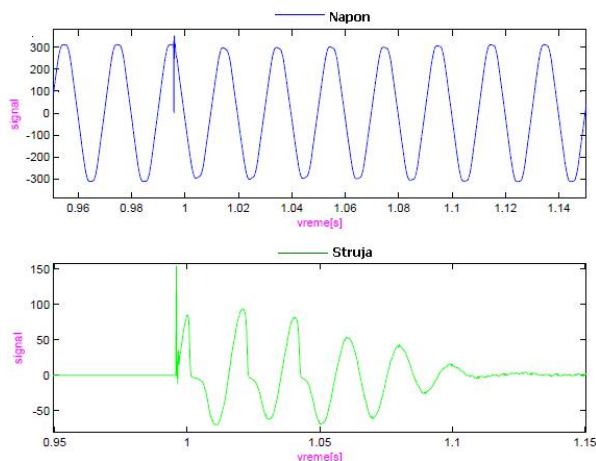


Slika 7. Provjera kondenzatorske baterije na napreznje usled viših harmonika

U konkretnom slučaju kompenzacije reaktivne snage asinhronog motora, očigledno je da kompenzaciona baterija radi u dozvoljenim granicama koje propisuju standardi [1] ta kao takva trpi neznatna napreznja.

7.2 PROVJERA NAPREZANJA PRI UKLJUČENJU NA MREŽU

Mjerenje udarne struje kondenzatorske baterije je izvedeno prilikom pojedinačne kompenzacije asinhronog motora. U takvim uslovima kondenzatorska baterija se uključuje na mrežu zajedno sa motorom. Cilj ovog razmatranja je da se provjer ispunjenost uslova (15) koje propisuju standardi [1]. Na slici 8 prikazan je talasni oblik udarne struje prilikom uključenja na mrežu i fazni napon na mjestu ugradnje kondenzatorske baterije



Slika 8 Talasni oblik mrežnog napona i udarne struje pri uključanju kondenzatorske baterije na mrežu

Sa slike 8 se vidi da u samom trenutku uključanja struja u napojnom vodu naglo poraste na vrijednost reda 150 A te se oscilatorno prigušuje uslijed postojeće otpornosti i reaktanse kola. Uzrok ovako velike struje je sporo uspostavljanja napona na kondenzatoru što se objašnjava kao da je u trenutku uključanja kondenzatorske baterije na mjestu ugradnje baterija nastao kratak spoj. Nakon tranzijenata uzrokovanih uključanjem kondenzatorske baterije uspostavlja se i prelazni proces uzrokovan zalijetanjem motora.

Analizom naponskog signala sa slike 8 uočava se pojava oscilatornog procesa koji je karakterisan naglim padom napona te nakon toga pojavom prenapona. Uzrok ovakvog stanja je sporo uspostavljanje napona na kondenzatoru, te takvo stanje uzrokuje nagli pad mrežnog napona koji je nakon toga praćen tranzijentnom komponentom napona koji je superponiran na sinusni oblik mrežnog napona. Tranzijent u mrežnom naponu uzrokovani uključanjem kondenzatorske baterije osciluju sa frekvencijom istom kao i uklopna struja.

Na osnovu uporedne analize talasnih oblika napona sa slike 8 imože se zaključiti da najveći prenapon nastaje u trenutku uključanja kondenzatorske baterije kada je mrežni napon u njegovom maksimumu.

U tabeli 2 su dati izmjereni karakteristični parametri signala napona i struje prilikom priključenja kondenzatorske baterije na mrežu.

Tabela 2. Parametri signala

	U_{max} (V)	U_{min} (V)	$I_{ud,max}$ (A)	U_{propad} (V)
Mjerenje 1.	352	1	$155 \approx 21.5 I_{cn}$	27.3 (8.3%)
Mjerenje 2.	294	-1.4	$155 \approx 21.5 I_{cn}$	27.3 (8.3%)

Na osnovu datih podataka u tabeli 2 zaključuje se da prenaponi uzrokovani uključanjem kondenzatorske baterije nisu znatno veliki (u ovom slučaju) te kao takvi bitno ne utiču na naprezanje opreme. Što se tiče udarnih struja one su u granicama dozvoljenih vrijednosti sa stanovišta kondenzatorske baterije (zadovoljen je uslov $I_{ud,max} \leq 100 I_{cn}$) međutim mogući negativan uticaj može biti rezultovan na računarsku opremu, opremu za upravljanje i komunikaciju.

Zbog sve većeg prisustva nelinearnih potrošača u mreži, kvalitet električne energije se postepeno narušava. Rezultat tako narušenog kvaliteta se manifestuje kroz postojanje višeharmonijskih članova u naponu i struji koji dodatno naprežu opremu u elektroenergetskom sistemu. Problemi koji se tiču harmonika obično se prvo vide na baterijama kondenzatora, zato se prilikom projektovanja kompenzacionog postrojenja mora voditi računa o postojećem stanju parametara napona i struje na mjestu gdje se predviđa njegova ugradnja.

Rad ima za cilj da uputi na standardom date zahtjeve koje je potrebno provesti prilikom projektovanja kondenzatorskih postrojenja za popravak faktora snage, kako bi se odabrala adekvatna oprema i time izbjeglo naprezanje iste.

LITERATURA

- [1] IEC 60831-1:2002 (Shunt power capacitors of the self-healing type for a.c. systems having a rated voltage up to and including 1kV)
- [2] IEC 60871-1:1997 (Shunt capacitors for a.c. power systems having a rated voltage above 1 000 V)
- [3] RO Institut za elektroenergetiku-IRCE Energoinvest "Neki aspekti problematike kompenzacije reaktivne snage" 1986.
- [4] DUCATI Energija "Low voltage power factor correction capacitors and equipment" katalog proizvođača 2010-2011.
- [5] Prof. dr Milenko Đurić, mr Željko Đurišić "Razvoj sistema za merenje i analizu parametara kvaliteta električne energije baziranom na personalnom računaru" završni elaborat, ETF Beograd 2007.