

PREGLED STANDARDA I PREPORUKA ZA KONTROLU VIŠIH HARMONIKA U ELEKTRIČNIM MREŽAMA

Žarko S. Janda

Elektrotehnički institut "Nikola Tesla", Beograd

Sadržaj: U radu je prikazan pregled trenutno važećih standarda i preporuka koji tretiraju ograničenja prisustva viših harmonika napona i struje u prenosnoj i distributivnoj mreži. Prikaz obuhvata industrijski najrazvijenije zemlje kao i međunarodne preporuke. Ograničavanje prisustva viših harmonika u distributivnim i mrežama pomoću odgovarajućih standarda i preporuka neophodno je radi: ograničenja nivoa izobličenja talasnih oblika struje i napona na vrednosti koje sistem i njegovi elementi mogu da tolerišu, da prisustvo viših harmonika ne utiče na dalje širenje upotrebe energetskih pretvarača i drugih uređaja koji unose nelinearnost u distributivnu mrežu, da se ograniči ometanje drugih uređaja i sistema od strane distributivne mreže. Da bi se postigao taj cilj, potrebno je uvažiti nekoliko specifičnih faktora, kao što su: amplitude viših harmonika napona i/ili struje, harmonijsko izobličenje napona ili struje, naponski nivo mreže i snagu kratkog spoja mreže na mestu priključenja nelinearnih potrošača. Iz pregleda nacionalnih standarda i preporuka se vidi da većina njih određuje granične vrednosti ukupnog harmonijskog izobličenja THD, koje se razlikuju na pojedinim naponskim nivoima. U većini zemalja se ovaj faktor usvaja da bude za niski napon THD <5%, za srednji napon THD je između 3 i 5%, a za visoki 1-1,5%. U nekim standardima se ograničava snaga potrošača koji se može priključiti na mrežu. To je pogodno, jer se brzim i jednostavnim proračunom može utvrditi da li taj potrošač predstavlja izvor harmonika i u kojoj meri doprinosi zagađenju napojne mreže višim harmonicima. Sve evropske zemlje imaju ograničenja za izobličenje napona, ali je jedino u Ujedinjenom Kraljevstvu u važnosti standard koji ograničava i nivo ubrizganih viših harmonika struje u napojnu mrežu.

Ključne reči: kvalitet električne energije, izobličenje napona, izobličenje struje, harmonici, prenosni sistem

1. UVOD

Prisustvo velikog broja nelinearnih potrošača u distributivnim mrežama dovodi do niza negativnih efekata koji se odražavaju kako na samu mrežu tako i na ostale priključene potrošače. Zajednički interes potrošača i proizvođača električne energije je poslednjih godina doveo u žižu interesovanja probleme vezane za kvalitet električne energije, odnosno sadržaj harmonika u distributivnoj mreži i druge aspekte kvaliteta električne energije (neprekidnost napajanja, prisustvo kratkotrajnih fluktuacija i distorzija,...). Danas je u svetu pred proizvođače i projektante uređaja energetske elektronike postavljen čitav niz standarda i preporuka iz oblasti kvaliteta električne energije. Tradicionalno se smatralo da je kvalitet električne energije u stvari pouzdanost, odnosno nepostojanje trajnih prekida u snabdevanju električnom energijom, dok moderno shvatanje kvaliteta električne energije podrazumeva i sigurno (neprekidno)

napajanje i fizički kvalitet napona. Problemi neprekidnosti napajanja se uglavnom rešavaju u toku postupka planiranja i izgradnje mreže, dok je problem fizičkog kvaliteta napona usko vezan za eksploataciju. Dominantan uticaj na fizički kvalitet napona imaju nelinearni potrošači (uređaji energetske elektronike, zasićene električne mašine, elektrolučne peći, itd...), tranzijentne pojave usled komutacija u sistemu (rad prekidača), rad elektroenergetskog sistema na granicama mogućnosti, itd... Narušavanje kvaliteta električne energije podrazumeva narušavanje osnovnih parametara napona u ustaljenim ili prelaznim režimima i deformaciju talasnih oblika. Osnovni parametri napona su njegova efektivna vrednost, frekvencija i simetrija faznih napona.

Dalje će biti razmatrani standardi vezani za sadržaj viših harmonika kako napojnog napona tako i struje koju potrošač uzima, dok se drugi aspekti kvaliteta električne energije se neće razmatrati.

Ograničavanje viših harmonika u distributivnim mrežama pomoću odgovarajućih standarda i preporuka neophodno je iz više razloga:

- da se ograniči nivo izobličenja talasnih oblika struje i napona na vrednosti koje sistem i njegovi elementi mogu da tolerišu i time omoguću kvalitetnu isporuku električne energije potrošačima;
- da ne utiču na dalje širenje upotrebe energetske pretvarača i drugih uređaja koji unose nelinearnost u distributivnu mrežu;
- da se ograniči ometanje drugih uređaja i sistema od strane distributivne mreže (telefonske mreže i sl.)

Da bi se postigao taj cilj, potrebno je uvažiti nekoliko specifičnih faktora, a to su:

- amplitude viših harmonika napona i/ili struje;
- harmonijsko izobličenje napona ili struje;
- naponski nivo mreže;
- snagu kratkog spoja mreže na mestu priključenja nelinearnih potrošača;
- metode merenja;
- vrste nelinearnih potrošača;
- moguće efekte na telekomunikacione sisteme;

Osnovu za donošenje standarda predstavljaju rezultati merenja sadržaja viših harmonika na velikom broju različitih tačaka u različitim distributivnim mrežama i evaluacija njihovog štetnog uticaja na napajane potrošače.

Pojava viših harmonika i njeni efekti na distributivnu mrežu uslovlili su grupisanje svih potrošača u tri velike grupe, prema tome kako deluju na izobličenje mrežnog napona [1]:

Prvu grupu potrošača čine aparati koji se primenjuju u domaćinstvu ili slični uređaji masovne primene. To su uređaji male snage i relativno malo generišu više harmonike, ali postoji velika verovatnoća istovremenog priključivanja velikog broja takvih uređaja na distributivnu mrežu (na primer TV aparati u večernjim časovima, fluorescentne sijalice, itd.).

Druga grupa potrošača se nalazi u okviru industrijskih pogona ili je direktno vezana za prenosnu mrežu. U prvom slučaju (industrijskih pogona) potrebno je voditi računa da se ne izobliču suviše naponi i struje u distributivnoj mreži i da pojava viših harmonika napona u napojnom sistemu unutar pogona ne stvara probleme u radu instalisanih mašina i druge opreme. U drugom slučaju (direktnog priključenja na prenosnu mrežu) se radi o pretvaračima velikih snaga koji stvaraju više harmonike struje koji mogu ozbiljno ugroziti rad elektroenergetskog sistema (uticaj viših harmonika struje na sinhronu mašine – pregrevanje površine polova rotora).

Treću grupu potrošača čine energetski pretvarači velikih industrijskih postrojenja ili pretvarači koji se koriste u domenu prenosa električne energije (invertorsko-ispravljačke stanice prenosa jednosmernim naponom).

Problem izobličenja distributivne (i retko prenosne) mreže višim harmonicima struje je razmatran u većini zemalja i donete su odgovarajuće preporuke i standardi koji predstavljaju odgovor ili kompromis između distributivnih preduzeća i potrošača u situacijama koje su karakteristične za svaku zemlju.

2. PREGLED NACIONALNIH I MEĐUNARODNIH STANDARDI I PREPORUKA

U Velikoj Britaniji je objavljena preporuka G5/3 [1], 1976. godine. Cilj preporuke je da se svi potrošači zaštite od negativnih efekata viših harmonika, pa je shodno tome izvršena podela nelinearnih potrošača u tri grupe, i za svaku grupu su određene granične vrednosti viših harmonika koje se u tački priključenja na distributivnu mrežu ne smeju preći.

U prvu grupu se svrstavaju potrošači manjih snaga, kao i monofazni potrošači naznačene snage manje od 5 kVA na naponskom nivou 240 V, odnosno 7,5 kVA na naponskom nivou 415/480 V, koji se mogu priključiti na distributivnu mrežu bez posebne dozvole. U tabeli 1 prikazane su maksimalne snage potrošača koji se mogu priključiti na distributivnu mrežu u zavisnosti od vrste potrošača i mesta priključenja.

Tabela 1. Maksimalno dozvoljene snage potrošača prve grupe, standard G5/3

Napon Napajanja u tački priključenja (kV)	Trofazni pretvarači			Trofazni naizmjenični regulatori	
	q=3 (kVA)	q=6 (kVA)	q=12 (kVA)	6 tiristora (kVA)	3 tiristora 3 diode (kVA)
0,415	8	12	----	14	10
6,6 i 11	85	130	250*	150	100

* Ograničenje važi za 12-toimpulsne ispravljače kao i za kombinaciju 6-toimpulsnih ispravljača koji uvek rade kao 12-toimpulsni ispravljači pri čemu se koristi dobro izvedeno upravljanje uglom paljenja tako da se minimizuju nekarakteristični harmonici, na primer 3., 5. i 7. harmonik.

U drugu grupu spadaju potrošači srednjih snaga. Priključenje ovih potrošača je dozvoljeno ako izmerene vrednosti viših harmonika napona i struje u tački priključenja ne prelaze 75% vrednosti prikazanih u tabelama 2a, 2b i 3a. U tabelama 2a i 2b prikazane su granične vrednosti harmonika struje I_h izražene u amperima dok su u tabeli 3a date granične vrednosti harmonika napona V_h izražene procentualno u odnosu na nazivni napon osnovne frekvencije.

Tabela 2a. Granične vrednosti harmonika struje potrošača druge grupe za neparne harmonike, standard G5/3

Napon mreže u tački priključenja [kV]	Red harmonika i efektivna vrednost struje I_h [A]								
	3	5	7	9	11	13	15	17	19
0,415	34	56	40	8	19	16	5	6	6
6,6 i 11	8	10	8	3	7	6	2	2	1
33	7	9	6	2	6	5	1	2	1
132	4	4	3	1	3	3	1	1	1

Tabela 2b. Granične vrednosti harmonika struje potrošača druge grupe za parne harmonike, standard G5/3

Napon mreže u tački priključenja [kV]	Red harmonika i efektivna vrednost struje I_h [A]								
	2	4	6	8	10	12	14	16	18
0,415	48	22	11	9	7	6	5	5	4
6,6 i 11	13	6	4	3	3	2	2	2	1
33	11	5	4	3	2	2	2	1	1
132	5	3	2	1	1	1	1	1	

Treću grupu čine potrošači velikih snaga koji unose u napojnu mrežu više harmonike struje čije vrednosti prelaze granične vrednosti prikazane u tabelama 2a, 2b i 3a. Za određivanje uslova priključenja ovih potrošača moraju se posebno sprovesti detaljne analize, odnosno ovlašćena institucija treba da izvrši računarsku simulaciju priključenja potrošača i da odredi da li postignuto izobličenje napona smeta drugim potrošačima priključenim na istom mestu, odnosno da li treba preduzeti neke dodatne mere radi njegovog smanjenja.

Novi standard G5/4 predstavlja inovirani stari standard i on je implementiran od 1.1.2001. Ostaje u upotrebi prethodno definisana trostepena procedura, ali su nivoi za planiranje izobličenja podignuti i primenjuje se metodologija opisana u standardu standardima IEC 61000-3-6 za razmatranje uticaja potrošača iz treće grupe na napojnu mrežu. Takođe se razmatraju harmonici do 50. umesto do 19., kao što je to ranije bio slučaj. Ove promene su donete pod pretpostavkom da su snage kratkog spoja, pri odgovarajućim nazivnim naponima, jednake prikazanim u tabeli 3b

Tabela 3a. Granične vrednosti harmonika napona pri priključenju druge grupe potrošača, standard G5/3

Napon mreže u tački priključenja [kV]	Ukupno harmonijsko izobličenje V_t (%)	Pojedinačno harmonijsko izobličenje V_h (%)	
		Neparni harmonici	Parni harmonici
0,415	5	4	2
6,6 i 11	4	3	1,75
33 i 66	3	2	1
132	1,5	1	0,5

Tabela 3b. Snaga kratkog spoja pri nazivnim naponima mreže

Nazivni napon mreže [kV]	Snaga kratkog spoja [MVA]
0,4	10
6,6	60
11	100

Odgovarajući nivoi izobličenja relevantni za planiranje priključenja novih potrošača su prikazani u Tabeli 3v.

Tabela 3v. Granične vrednosti sadržaja harmonika za planiranje, standard G5/4

Nazivni napon mreže [kV]	Sadržaj 5. harmonika [%]	Ukupno harmonijsko izobličenje [%]
0,4	4	5
6,6 i 11	3	4
22 i 33	2	3
66 i 132	2	3
275 i 400	2	

Standardom G5/4 je predviđena sledeća procedura evaluacije uticaja pri priključenju najvećih potrošača:

meri se postojeći nivo harmonijskog izobličenja (totalnog i sadržaj pojedinih harmonika),

izračunava se izobličenje koje će biti izazvano priključenjem novog nelinearnog potrošača (pretpostavlja se impedansa sistema u tački priključenja),

vrši se predikcija uticaja novopriključenog nelinearnog potrošača na postojeće stanje, i to tako da se harmonici do 5. sabiraju po apsolutnim vrednostima (aritmetički), a za više harmonike se računa efektivna vrednost, da bi se dobio rezultujući sadržaj harmonika.

U Francuskoj su prema preporuci Regulations Concerning the Installation of Power Convertors Taking into Account the Characteristics of the Supply Network [1], definisane sledeće granične vrednosti viših harmonika harmonijskog izobličenja, kada je samo jedan potrošač vezan za tačku priključenja na mrežu, i iznose:

- a) za parne harmonike 0,6% fundamentalna napona (osnovnog harmonika napona),
- b) za neparne harmonike 1% fundamentalna napona,
- c) ukupno harmonijsko izobličenje napona u tački priključenja 1,6%

Ove granice su izabrane tako da se osigura nivo od oko 5% THD napona u tački priključenja ne bude premašen kada su svi potrošači priključeni.

Određivanje veličine pretvarača (ispravljača) se temelji na harmonijskoj impedansi određenoj sledećom jednačinom:

$$Z_h = \alpha \cdot h \cdot Z_{cc} \quad (1)$$

gde su: Z_h — harmonijska impedansa mreže u tački priključenja, $Z_{cc} = U^2 n / S_c$ — impedansa kratkog spoja mreže u tački priključenja, U_n — efektivna vrednost fundamentalna linijskog napona, S_c — snaga trofaznog kratkog spoja mreže u tački priključenja, h — red harmonika i α — koeficijent koji zavisi od naponskog nivoa napojne mreže (2 za visokonaponske sisteme, 3 za sisteme srednjeg napona i 1 za niskonaponske sisteme). Rezultujuće vrednosti za 6-toimpulsne i 12-toimpulsne ispravljače su dati u tabeli 4, izražene preko odnosa S_c / S_n (gde je S_n naznačena snaga ispravljača):

Tabela 4. Snage ispravljača koje se mogu vezati na napojnu mrežu u [kVA], Francuski standard

Napon mreže	Snaga 6-toimpulsnog ispravljača [kVA]	Snaga 12-toimpulsnog ispravljača [kVA]
Visoki napon	240	150
Srednji napon	360	225
Niski napon	120	75

U Saveznoj republici Nemačkoj standard DIN 57160 (VDE 0160/11.81) određuje dozvoljene nazivne vrednosti uređaja koji generišu više harmonike, koje nisu veće od 1% vrednosti snage kratkog spoja. Pojedinačni nivoi harmonika, do 15-tog harmonika iznose 5% fundamentalna napona; dozvoljeni nivo harmonika opada do 1% fundamentalna napona za 100-ti harmonik, prema definisanoj krivoj liniji. Ukupno harmonijsko izobličenje napona u tački priključenja ne sme da pređe 10%.

Kratkotrajni propadi talasnog oblika napojnog napona su takođe definisani u standardu i dubina kratkotrajnog propada (na primer zbog komutacije u mrežom komutovanim ispravljačima) je ograničena na 20% amplitude fundamentalna napona. Oscilacije na početku i na kraju kratkotrajnog propada napona su ograničene da budu manje od daljih 20% amplitude fundamentalna napona. Trajanje kratkotrajnog propada napona ne sme da bude duže od 0,77 milisekundi.

Švedska [1] probleme viših harmonika opisuje u posebnoj preporuci i definiše zahteve kojima se ograničava priključenje potrošača u zavisnosti od mesta priključenja, vrste potrošača i ukupnog harmonijskog izobličenja. U tabeli 5 su prikazane dozvoljene snage ispravljača koji se mogu priključiti na distributivnu mrežu nazivnog napona do 24 kV u zavisnosti od mesta priključenja i vrste pretvarača.

Tabela 5. Dozvoljena snaga pretvarača u procentima snage kratkog spoja, u zavisnosti od vrste potrošača i snage kratkog spoja, napon do 24 kV u Švedskoj

Vrsta pretvarača, q – broj impulsa	S_n / S_c [%]
q<6	0,5
q=6	1,0
q=12	2,0
q>12	3,0

U tabeli 6 su prikazane vrednosti ukupnog dozvoljenog harmonijskog izobličenja napona u zavisnosti od nazivnog napona napojne mreže.

Tabela 6. Ukupno dozvoljeno harmonijsko izobličenje u Švedskoj

Napon mreže	Ukupno harmonijsko izobličenje [%]
430/250 V	4,0
3,3 kV do 24 kV	3,0
do 84 kV	1,0

Istorijski gledano, prvi kompletan standard koji razmatra probleme viših harmonika u distributivnim i prenosnim mrežama je izdat u Australiji (Standard AS 2279-1991) [2]. Standard se sastoji iz četiri dela:

- prvi deo razmatra i definiše dozvoljene vrednosti viših harmonika prouzrokovanih priključenjem aparata za domaćinstvo i sličnih uređaja;
- drugi deo razmatra i definiše dozvoljene vrednosti viših harmonika prouzrokovanih priključenjem industrijskih postrojenja;
- treći i četvrti deo se odnose na dozvoljene fluktuacije napona prouzrokovane priključenjem aparata za domaćinstvo i sličnih uređaja i industrijskih postrojenja.

Prvi deo standarda se primenjuje na aparate za domaćinstvo i slične uređaje naznačene snage manje od 4,8 kVA priključene na distributivnu niskonaponsku mrežu nazivnog napona 240 V monofaznog sistema i 240/415 V trofaznog sistema. U ovom delu standarda se određuju:

- dozvoljene vrednosti viših harmonika struje koje mogu u distributivnu mrežu unositi pomenuti uređaji;
- referentna impedansa mreže;
- praktične metode merenja viših harmonika.

Amplituda napona izobličenog višim harmonicima koji potiču od rada priključenih uređaja direktno zavisi od karakteristika i impedanse distributivne mreže kao i od uslova priključenja uređaja. Kako su ovi faktori vrlo različiti, usvaja se referentna impedansa mreže i u odnosu na nju se definišu dozvoljene vrednosti viših harmonika napona i struje koje pomenuti uređaji mogu uneti u mrežu. Referentna impedansa mreže iznosi:

- za monofazna opterećenja priključena na napojni napon 240 V, 50 Hz,

$$\underline{Z} = (0,4 + j 0,25)\Omega \quad (2)$$

- za sva ostala opterećenja priključena na napon frekvencije 50 Hz, po fazi,

$$\underline{Z} = (0,24 + j 0,15)\Omega \quad (3)$$

Za monofazne uređaje naznačenog napona 240 V, kao i za trofazne uređaje naznačenog napona 415 V, primenjuju se granične vrednosti harmonika struje I_h , i napona V_h prema tabelama 7 i 8.

U drugom delu standarda date su maksimalno dozvoljene vrednosti viših harmonika koje u distributivnu mrežu unosi industrijska oprema napajana sa srednjeg i visokog napona, naznačene snage veće od 4,8 kVA. Kako je pomenuta oprema raznovrsna, izvršena je njena podela u tri velike grupe:

- Prvu grupu čine uređaji koji se mogu priključiti bez posebne dozvole na distributivnu mrežu, a čija naznačena snaga je manja od 0,3% snage trofaznog kratkog spoja u tački priključenja.

a) Pri tome je nazivna snaga uređaja manja od 75 kVA, za priključenje na sekundarnu mrežu, odnosno 500 kVA za primarnu distributivnu mrežu (napon mreže od 415 V do 33 kV). Pri tome snaga kratkog spoja mora biti najmanje 5 MVA za sekundarnu mrežu (415/240 V), odnosno 50 MVA za primarnu distributivnu mrežu (6,6; 11 i 24 kV).

b) U slučaju priključenja više manjih pretvarača suma njihovih snaga ne sme da pređe granicu od 75 kVA;

v) Pri monofaznom priključenju naznačena snaga pretvarača nije veća od 5 kVA pri naponu 240 V, odnosno 7,5 kVA pri naponu 415 V.

- Druga grupa potrošača obuhvata uređaje koji se mogu priključiti na distributivnu mrežu ako postojeće ukupno harmonijsko izobličenje u tački priključenja nije veće od 75% vrednosti harmonika napona prikazanih u tabeli 9 pre priključenja.

Tabela 7. Granične vrednosti harmonika struje prema Australijskom standardu AS 2279-1991

<i>Red harmonika (h)</i>	<i>Maksimalna struja harmonika [A]</i>
3	2,4
5	1,19
7	0,80
9	0,42
11	0,35
13	0,22
15	0,16
15 <h< 40	0,15 x 15/h
2	1,13
4	0,44
6	0,31
8 <h< 40	0,23 x 8/h

Tabela 8. Granične vrednosti harmonika napona prema Australijskom standardu AS 2279-1991

Red harmonika (h)	V_h (%)
3	0,85
5	0,65
7	0,60
9	0,40
11	0,40
13	0,30
15 <h< 39	0,25
2	0,30
4 <h< 40	0,20

Tabela 9. Granične vrednosti harmonika napona u distributivnim mrežama prema Australijskom standardu AS 2279-1991

Napon mreže u tački priključenja (kV)	Ukupno harmonijsko izobličenje napona V_t (%)	Pojedinačno harmonijsko izobličenje (%) V_h (%)	
		Neparni harmonici	Parni harmonici
do 33	5	4	2
do 66	3	2	1
preko 110	1,5	1	0,5

- U treću grupu spadaju uređaji velikih snaga i za njih su potrebna posebna merenja i studije. Priključenje se dozvoljava ako izobličenja ne premaše vrednosti date u tabeli 9. Problemom viših harmonika se bavi više radnih grupa Međunarodne elektrotehničke komisije (IEC). Prvi standard se pojavio 1982. godine, (IEC 555) koji se sastoji iz tri dela: IEC 555-1 Definicije, IEC 555-2 Harmonici, IEC 555-3 Fluktuacije napona. Ovaj standard je preveden i primenjuje se u Srbiji i Crnoj Gori od 1989-godine, (JUS N.A6.101, JUS N.A6.102, JUS N.A6.103).

Dalji rad IEC komiteta TC 77 rezultovao je nizom standarda kojima se ograničavaju struje i naponi viših harmonika na vrednosti za koje se smatra da električna mreža može da ih toleriše. Tu se posebno izdvajaju standardi iz grupe IEC 61000 [3], u kojima je obrađena problematika viših harmonika (osnovne definicije, merenja, proračuni i dozvoljene granične vrednosti).

U standardu IEC 61000-3-6 [3], definišu se osnovni zahtevi koje treba da ispune nelinearni potrošači da bi se priključili na distributivnu mrežu. Granične vrednosti viših harmonika su tako određene da se održi zadovoljavajući kvalitet napona i to kako u tački priključenja nelinearnog potrošača na distributivnu mrežu tako i prema ostalim potrošačima. Ovim standardom se definišu granične vrednosti viših harmonika na dva nivoa:

- na nivou elektromagnetske kompatibilnosti,
- na nivou planiranja.

Granične vrednosti viših harmonika napona u srednjenaponskoj i niskonaponskoj mreži na nivou elektromagnetne kompatibilnosti su prikazane u tabeli 10.

Na nivou planiranja granične vrednosti viših harmonika se primenjuju (za potrebe prognoze viših harmonika u distributivnoj mreži) i specificiraju se od strane distributivnih kompanija i moraju biti manje od graničnih vrednosti prikazanih u tabeli 10. Granične vrednosti viših harmonika na nivou planiranja su prikazane u tabeli 11.

U standardu se definišu:

— osnovne metode za procenu ubrizgavanja viših harmonika u distributivnu mrežu,

— metode za određivanje referentne impedanse distributivne mreže za više harmonike,

— metode za određivanje procene ubrizgavanja struja i napona viših harmonika koji potiču od nelinearnih potrošača na niskom (NN – do 1 kV), srednjem (SN – od 1 kV do 35 kV) i visokom (VN od 35 kV do 230 kV) i vrlo visokom (VVN iznad 230 kV) naponu.

Tabela 10. Granične vrednosti harmonika napona na nivou elektromagnetne kompatibilnosti prema standardu IEC 61000-2-2

Neparni harmonici koji nisu umnožak broja 3		Neparni harmonici koji su umnožak broja 3		Parni harmonici	
h	V_h (%)	h	V_h (%)		V_h (%)
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1,5	4	1
11	3,5	15	0,3	6	0,5
13	3	21	0,2	8	0,5
17	2	>21	0,2	10	0,5
19	1,5			12	0,2
23	1,5			>12	0,2
25	1,5				
>25	$0,2+1,3(25/h)$				
$V_t = 8\%$					

Na osnovu ove procedure može se proceniti da li će amplitude unetih viših harmonika u distributivnu mrežu zadovoljiti planirani nivo, odnosno nivo elektromagnetne kompatibilnosti. Ukoliko potrošači zadovolje navedene granične vrednosti sadržaja viših harmonika, dozvoljava se priključenje, a u protivnom se priključenje uslovljava odgovarajućim metodom za eliminaciju viših harmonika. Takođe, ovim standardom se definiše da za pojavu viših harmonika u havarijskim radnim režimima odgovornost snosi isporučilac električne energije a ne potrošač.

Za priključenje malih potrošača koji ne unose značajna harmonijska izobličenja struje i napona ne mora se tražiti posebna dozvola. Priključenja ovih potrošača na niskom naponu su regulisana standardima IEC 61000-3-2 i IEC 61000-3-4 [3].

U Sjedinjenim Američkim Državama prvi standard je publikovan 1981. god. (IEEE Std.519). Kasnije je izvršena revizija ovog standarda i objavljen je standard (IEEE Std.519-1992.god.) [4].

Tabela 11. Granične vrednosti harmonika napona na nivou planiranja prema standardu IEC 61000-2-2

Neparni harmonici koji nisu umnožak broja 3		Neparni harmonici koji su umnožak broja 3		Parni harmonici	
h	V_h (%)	h	V_h (%)	h	V_h (%)
	SN VVN-VN		SN VVN-VN		SN VVN-VN
5	5 2	3	4 2	2	1,6 1,5
7	4 2	9	1,2 1	4	1,0 1,0
11	3 1,5	15	0,3 0,3	6	0,5 0,5
13	2,5 1,5	21	0,2 0,2	8	0,4 0,4
17	1,6 1	>21	0,2 0,2	10	0,4 0,4
19	1,2 1			12	0,2 0,2
23	1,2 0,7			>12	0,2 0,2
25	1,2 0,7				
>25	$0,2+0,5(25/h)$				
SN: $V_i=6,5\%$ VN: $V_i=3\%$					

Potrošači koji se priključuju na distributivnu napojnu mrežu se podvrgavaju sledećim proverama:

- provera intenziteta harmonika struje i napona u tački priključenja i poređenje sa graničnim vrednostima;
- provera mogućnosti pojave rezonanse i prenapregnutosti kondenzatora za popravku faktora snage;
- provera uticaja na druge sisteme (telefonske mreže).

Uvođenje graničnih vrednosti viših harmonika je neophodno iz razloga obezbeđenja kvaliteta električne energije i održavanja totalnog harmonijskog izobličenja napona u propisanim granicama.

U zavisnosti od veličine struje nelinearnog potrošača i tačke priključenja ne napojnu mrežu određene su dozvoljene vrednosti harmonika napona i prikazane u tabeli 12. U tabelama 13, 14, 15 i 16 date su granične vrednosti harmonika struje u zavisnosti od mesta priključenja i struje potrošača.

Tabela 12. Granične vrednosti harmonika napona prema IEEE Std. No. 519-1992

SCR=Isc/IL	THD (%)	Napomena
10	2,5-3,0	privatni sistem
20	2,0-2,5	1-2 pretvarača velike snage
50	1,0-1,5	nekoliko velikih potrošača
100	0,5-1,0	5-20 potrošača srednje snage
1000	0,5-0,10	mного malih potrošača

Tabela 13. Granične relativne vrednosti harmonika struje za sisteme 120 V-69 kV IEEE Std. No. 519-1992,

SCR=Isc/IL	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	THD (%)
<20*	4,0	2,0	1,5	0,6	0,3	5,0
20-50	7,0	3,5	2,5	1,0	0,5	8,0
50-100	10,0	4,5	4,0	1,5	0,7	12,0
100-1000	12,0	5,5	5,0	2,0	1,0	15,0
>1000	15,0	7,0	6,0	2,5	1,4	20,0

Tabela 14. Granične relativne vrednosti harmonika struje za sisteme 69 kV -161 kV IEEE Std. No. 519-1992

SCR=Isc/IL	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	THD (%)
<20*	2,0	1,0	0,75	0,3	0,15	2,5
20-50	3,5	1,75	1,25	0,5	0,25	4,0
50-100	5,0	2,25	2,0	0,75	0,35	6,0
100-1000	6,0	2,75	2,5	1,0	0,5	7,5
>1000	7,5	3,5	3,0	1,25	0,7	10,0

Tabela 15. Granične relativne vrednosti harmonika struje za sisteme >161 kV IEEE Std. No. 519-1992

SCR=Isc/IL	$h < 11$	$11 < h < 17$	$17 < h < 23$	$23 < h < 35$	$35 < h$	THD(%)
<50	2,0	1,0	0,75	0,3	0,15	2,5
>50	3,0	1,5	1,15	0,45	0,22	3,75

*Svi generatori su ograničeni na ove vrednosti, bez obzira na stvarnu vrednost $SCR=I_{sc}/I_L$, gde je I_{sc} maksimalna struja kratkog spoja u tački priključenja a I_L maksimalna struja potrošača

Tabela 16. Granične vrednosti harmonika napona prema IEEE Std. No. 519-1992

Napon mreže	V_h (%) maksimalna pojedinačna harmonijska komponenta	V_i (%) maksimalno harmonijsko izobličenje
< 69 kV	3,0	5,0
Od 69 kV do 161 kV	1-5	2,5
> 161 kV	1,0	1,5

Na nacionalnom nivou u Srbiji i Crnoj Gori se razmatra pojava viših harmonika u elektroenergetskom sistemu, ali su do sada usvojeni samo standardi JUS N.A6.101, JUS N.A6.102 i JUS N.A6.103, koji se odnose na priključenje aparata za domaćinstvo.

3. ZAKLJUČAK

Nacionalni standardi ili preporuke elektroprivrednih organizacija predstavljaju rešenja koja odgovaraju pojedinim zemljama i koja su diktirana konfiguracijom mreže, rasporedom najvećih potrošača i sličnim faktorima. Zbog toga postoji raznolikost rešenja, odnosno interesa pa je teško naći osnovu za međunarodni standard, a u nekim zemljama čak i za nacionalni.

Iz pregleda nacionalnih standarda i preporuka se vidi da većina njih određuje granične vrednosti ukupnog harmonijskog izobličenja THD, koje se razlikuju na pojedinim naponskim nivoima. U većini zemalja se ovaj faktor usvaja da bude za niski napon THD <5%, za srednji napon THD je između 3 i 5%, a za visoki 1-1,5%. U nekim standardima se ograničava snaga potrošača koji se može priključiti na mrežu. To je pogodno, jer se brzim i jednostavnim proračunom može utvrditi da li taj potrošač predstavlja izvor harmonika i u kojoj meri doprinosi zagađenju napojne mreže višim harmonicima.

Neophodno je što pre u Srbiji i Crnoj Gori doneti standarde koji u potpunosti određuju dozvoljene vrednosti i preporuke za ograničavanje viših harmonika u elektroenergetskoj prenosnoj i distributivnoj mreži. Sve evropske zemlje imaju ograničenja za izobličenje napona, ali je jedino u Ujedinjenom Kraljevstvu u važnosti standard koji ograničava i nivo ubrzanosti viših harmonika struje u napojnu mrežu.”

LITERATURA

- [1] J.Arrilaga, D. Bradley, P. Bodger, *Power System Harmonics*, John Willey&Sons, inc. 1985, New York
- [2] AS 2279.2-1991 "Disturbances in mains supply networks Part 2: Limitation of harmonics caused by industrial equipment", *Standards Australia*, 1991
- [3] Standardi iz grupe IEC 61000
- [4] *IEEE Std. 519-1992*, "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems"

Abstract: An overview of standards and recommendations regarding limitations of power harmonics existence in transmission and distribution power network. is presented in this paper. The presented overview includes the most developed industrial countries as well as the international recommendations. The limitation of power harmonics is important in order to scale the voltage and current distortions down to acceptable levels for other consumer equipment. It is also necessary to define these limits to ease the proliferation of the power electronic equipment and to achieve the necessary electromagnetic compatibility level. To achieve that goal it is very important to encounter some factors, as amplitude of injected harmonics, voltage level of network under consideration and the short circuit power at the point of common coupling.

In most countries the voltage THD factor is THD <5% for low voltage, between 3 and 5% for medium voltage and between 1 and 1,5% for high voltage. Some standards limit the power of the nonlinear consumer. All European countries have voltage distortion limits, but only UK has enabled the injected harmonic currents limits.

Keywords: *power quality, voltage distortion, current distortion, harmonics, power system*

AN OVERVIEW OF STANDARDS AND RECOMMENDATIONS FOR HARMONIC CONTROL IN ELECTRICAL POWER SYSTEMS

Žarko S. Janda