

UTICAJ GRUPISANJA NELINEARNIH POTROŠAČA MALIH SNAGA NA REDUKOVANJE HARMONIJSKOG SPEKTRA GENERISANE STRUJE

*Saša Mujović**, *Vladimir Katić***, *Jadranka Radović****

Ključne riječi: nelinearni potrošači, harmonici, attenuation factor, diversity factor

Sažetak: Nelinearni potrošači malih snaga, široko rasprostranjeni u strukturi elektrodistributivnog konzuma, predstavljaju značajne izvore viših harmonika. Pri jednovremenom radu ovih potrošača dolazi do međusobnog poništenja faznih uglova pojedinih harmonika, što rezultira da se njihov nivo u rezultatnoj struji osjetno smanji. Pomenuta redukcija u harmonijskom spektru, koja se kvantifikuje faktorima "attenuation" i "diversity", je predmet interesovanja ovog rada. Ignorisanje uticaja faktora "attenuation" i "diversity" dovodi do precjenjivanja problema vezanog za kvalitet električne energije, odnosno pogrešne percepcije o nivou generisanih harmonika. Nepravilna procjena je naročito loša sa ekonomskog aspekta, jer može rezultirati nepotrebnim materijalnim ulaganjima, kroz sprovođenje aktivnosti u cilju eliminisanja viših harmonika.

1. UVOD

Neprekidno napajanje potrošača električnom energijom adekvatnog kvaliteta je osnovni zadatak koji se nameće distributerima električne energije. Ne tako davno, sigurnost i pouzdanost su predstavljali mjeru kvalitetnog napajanja. U strukturi priključenog opterećenja dominirali su potrošači linearnog karaktera, koji napajani naponom sinusnog oblika (pri učestanosti 50 Hz) generišu sinusnu struju i kao takvi ne utiču na degradaciju naponskih prilika u mreži. S tim u vezi, naponske prilike u sistemu su bile zadovoljavajuće. Atmosferski prenaponi, ili pojave koje su i danas neizbježne: kratki spojevi, zemljospojevi i

* Doc. dr Saša Mujović, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Džordža Vašingtona b.b. 81000 Podgorica.

** Prof. dr Vladimir Katić, Fakultet tehničkih nauka Novi Sad, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad, Srbija.

*** Prof. dr Jadranka Radović, Elektrotehnički fakultet Podgorica, Džordža Vašingtona b.b. 81000 Podgorica.

komutacione aktivnosti u sistemu su predstavljali potencijalne uzročnike narušene sigurnosti i pouzdanosti napajanja [1], [2].

U novim deregulisanim uslovima rada elektroenergetskog sistema sa sve većim udjelom distribuiranih izvora, jedan od ključnih faktora postaje kvalitet električne energije, koji u užem smislu podrazumijeva kvalitet mrežnog, odnosno isporučenog napona. Jedna od osnovnih odlika kvaliteta napona je stepen izobličenja njegovog talasnog oblika ili prisustvo viših harmonika [3].

Na kvalitet mrežnog napona značajan uticaj ima grupa nelinearnih potrošača priključenih na niskom naponu. Oni su opremljeni energetskim elektronskim pretvaračima, koji konzumiraju nesinusoidalne talasne oblike struje iz mreže, a čija upotreba je posebno raširena kod elektronskih, mikroelektronskih i računarskih uređaja i druge opreme malih snaga ($I_n < 16A$). Kao posljedica njihovog masovnog korišćenja, a naročito u zonama kolektivnog stanovanja, poslovnim zgradama, poslovno-trgovačkim zonama i univerzitetskim kompleksima, nivo viših harmonika u naponu mrežnog napajanja se značajno povećao. Pomenuti nelinearni potrošači (računari, štampači, fluorescentne svjetiljke, TV, video i audio uređaji) su izvori viših harmonika, ali i uređaji na koje izobličenja u talasnom obliku napona napajanja mogu imati izrazito negativan uticaj [4], [5].

Stalni trend porasta upotrebe nelinearnih potrošača malih snaga i njihov naglašeni potencijal u smislu generisanja mrežnog zaprljanja djeluje zabrinjavajuće sa aspekta analize kvaliteta električne energije i može dovesti do pesimističkih prognoza vezanih za budućnost elektroenergetskog sistema. Ovakva predviđanja bi imala puno utemeljenje ukoliko bi se harmonijski spektar struje grupa nelinearnih potrošača priključenih na zajedničke sabirnice dobijao algebarskim sabiranjem nivoa harmonika generisanih od strane pojedinačnih potrošača. Ipak, u stvarnosti je situacija drugačija.

Svaki harmonik je definisan amplitudom i faznim stavom. Usljed različitih faznih stavova pojedinih harmonika pojedinačnih potrošača koji čine grupno opterećenje, odnosno njihovog međusobnog poništavanja pri sabiranju, harmonijski spektar zajedničke struje je znatno manje opterećen prisustvom viših harmonika. Efekat poništenja je posebno izražen kod struja: jedanaestog, trinaestog, petnaestog i sedamnaestog harmonika. Takođe, homogenost, odnosno nehomogenost priključenog nelinearnog opterećenja utiče na nivo generisanih harmonika u zajedničkoj struji. Fenomeni kojima se opisuju pojave redukcije harmonijskog spektra struje grupnog nelinearnog opterećenja nazivaju se "*attenuation*" i "*diversity*", a faktori kojima se kvantifikuje ova redukcija "*attenuation factor*" (*AF*) i "*diversity factor*" (*DF*).

Kolika je važnost uzimanja u razmatranje djelovanja pomenutih faktora najbolje svjedoče rezultati predstavljeni u [5] i [6]. Naime, u [6] je razvijen simulacioni model grupe računara, u cilju percepcije njihovog uticaja na naponske prilike priključnih sabirnica Računarskog centra Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu i nije uvažen "uticaj" faktora *AF* i *DF*. Korišćenjem ovog modela došlo se do zaključka da bi jednovremeni rad grupe od 109 računara izazvao naponsku distorziju od 15%, što je trostruko više od limita prema IEEE 519 Standardu [7]. Znatno realniji model, kojim je uvaženo djelovanje faktora *AF* i *DF*, predstavljen je u [5]. Sprovedenim simulacijama je utvrđeno da stepen naponske distorzije za slučaju simultanog rada grupe od 163 računara iznosi oko 5%, što se u potpunosti podudara sa rezultatima mjerenja.

Navedene nepreciznosti, tj. zanemarivanje faktora AF i DF pri utvrđivanju uticaja grupisanih nelinearnih potrošača malih snaga na kvalitet naponskih prilika u mreži, su posebno neprihvatljive sa ekonomskog stanovišta. Značajno prisustvo viših harmonika u sistemu može uzorokovati brojne probleme, kao što su: ispadi osigurača, pregrijavanje kablova, visoka vrijednost struje neutrala, ispade transformatora, pa su vrlo često neizbježne korektivne mjere, u cilju eliminacije viših harmonika. Treba imati u vidu da su korektivne mjere (npr. ugradnja filtera) povezane sa materijalnim ulaganjima. Neuvažavanjem efekata "*attenuation*" i "*diversity*" problem prisustva viših harmonika postaje prenaplašen i nerealan, pa su i ulaganja nepotrebno velika i u neskladu sa stvarnim potrebama.

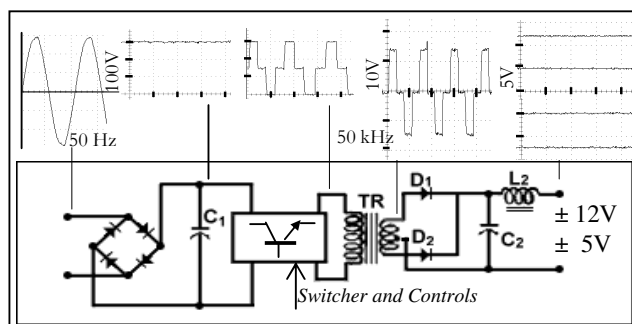
Ovim radom je analiziran uticaj grupisanja nelinearnih potrošača ($I_n < 16A$) na nivo generisanih harmonika u zajedničkoj struji. Definisan je nivo redukcije koji kod pojedinih struja harmonika nastaje usljed grupisanja potrošača. Takođe, razmatrani su uticaji strukture priključenog nelinearnog opterećenja i krutosti mreže na pojavu poništenja faznih uglova harmonika (faktore AF i DF).

2. NELINEARNI POTROŠAČI MALIH SNAGA KAO IZVORI VIŠIH HARMONIKA

U uvodnom dijelu je apostrofirani harmonijski potencijal razmatrane kategorije nelinearnih potrošača. S tim u vezi, slijedi pregled vremenskih oblika i strukture harmonijskog spektra generisane struje za najzastupljenije nelinearne potrošače malih snaga: računare, TV aparate, fluorescentne svetiljke i klima uređaje. Takođe, date su i vrijednosti faktora ukupne harmonijske distorzije struje (THD_I), kojima se kvantifikuje nivo prisustva viših harmonika. Snimanje vremenskih oblika, kao i harmonijska analiza prikazanih strujnih signala sprovedeni su u Laboratoriji za elektroenergetske sisteme Elektrotehničkog fakulteta u Podgorici.

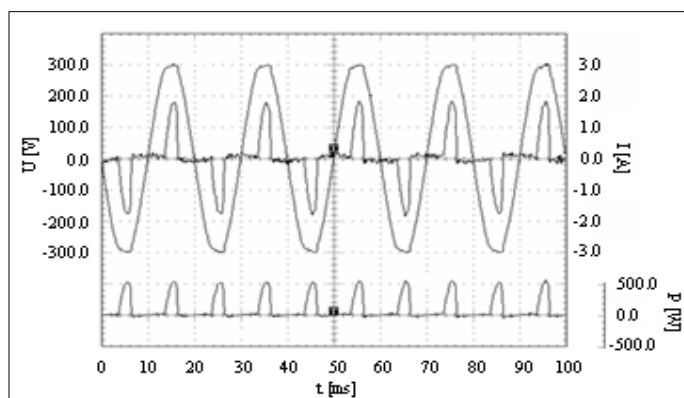
2.1 PERSONALNI RAČUNARI

Iz ugla problematike kvaliteta električne energije, jedinica za napajanje računara je nesumljivo najznačajnija komponenta računara. Pored toga što obezbjeđuje stabilne jednosmjerne napone: $\pm 12V$, $\pm 5V$ i $+3.3V$, za nesmetano funkcionisanje komponenti računara, njen prekidački karakter utiče da talasni oblik generisane struje računara značajno odstupa od sinusnog oblika. Na slici 1 je prikazana šema jedinice za napajanje (tipa MX) računara i oscilogrami karakterističnih napona na izlazu iz pojedinih komponenti jedinice za napajanje [8], [9].



Slika 1. Šema jedinice za napajanje računara.

Vremenski oblici napona napajanja, struje i snage računara (karakteristika: procesor Pentium IV, CPU 1.8 GHz, MX Power Supply, CRT monitor) u "stand by" režimu (osnovni, pripravn radni režim) prikazani su na slici 2.



Slika 2. Vremenski oblik napona napajanja, struje i snage računara u režimu "stand-by".

Uočljiv je visok stepen izobličenja struje računara, kao i impulsni karakter njegove aktivne snage. Ovakav vremenski oblik struje (snage) računara eksplicitno upućuje na značajno prisustvo viših harmonika u harmonijskom spektru struje i nisku vrijednost faktora snage.

Struktura harmonijskog spektra struje računara u "stand by" režimu, kao i vrijednost faktora THD_I , predstavljene su u tabeli 1. Sa "n" je označen red harmonika [8], [9].

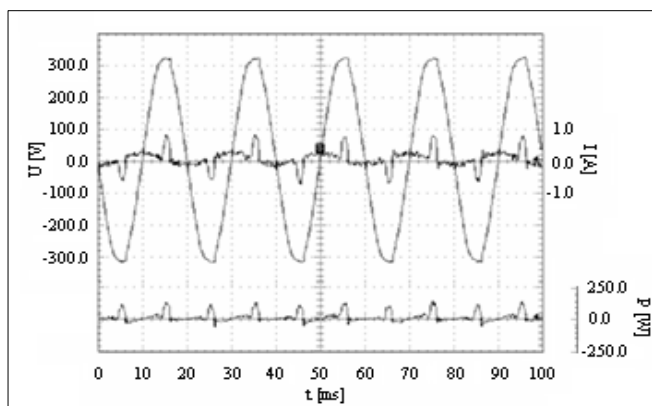
Tabela 1. Struktura harmonijskog spektra struje računara u "stand-by" režimu.

n	3.	5.	7.	9.	11.	13.	15.	17.	19.	21.	THD _I
[%]	87.3	68.1	45.6	21.9	14.4	11.8	10.3	8.3	3.6	1.8	122.0

Treći harmonik je dominantan u harmonijskom spektru struje računara, a izraženi su i ostali neparni harmonici: peti, sedmi, deveti, jedanaesti i petnaesti. Učešće parnih harmonika je zanemarljivo, pa su kao takvi izostavljeni iz tabele 1. Usljed izraženog prisustva viših harmonika javlja se visoka vrijednost faktora THD_I . Treba napomenuti da se u literaturi mogu susresti različite vrijednosti pomenutog faktora, u opsegu od 79% do 140% [10], [11].

2.2 TV APARATI

Zbog prekidačkog režima rada TV aparati su slični personalnim računarima i imaju izraženu mogućnost generisanja viših harmonika. Vremenski oblici napona napajanja, struje i snage kućnog TV aparate (sa katodnom cijevi, snage 140 W) prikazani su na slici 3.



Slika 3. Vremenski oblik napon napajanja, struje i angažovane snage TV aparata.

Struktura harmonijskog spektra struje TV aparata i vrijednost faktora THD_I su dati tabelom 2.

Tabela 2. Struktura harmonijskog spektra struje TV aparata.

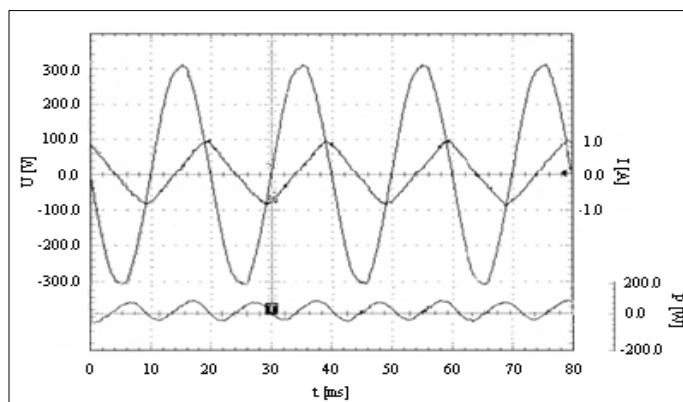
n	3.	5.	7.	9.	11.	13.	15.	17.	19.	21.	THD _I
[%]	80.0	49.2	21.0	6.7	5.9	4.0	3.6	3.4	2.7	2.2	99.6

Harmonijski spektar struje TV aparata je izuzetno bogat višim (neparnim) harmonicima, što rezultira visokom vrijednošću faktora THD_I (oko 100%).

2.3 FLUORESCENTNE SVETILJKE

Fluorescentne svetiljke (fluo cijevi) predstavljaju svjetlosni izvor u kojem se vidljiva svjetlost dobija na fluorescentnom sloju pobuđenom ultraljubičastim zracima nastalim električnim pražnjenjem u smjesi živine pare i plemenitih gasova. Prilikom tog električnog pražnjenja formira se električni luk u gasu, koji negativno utiče na kvalitet napona. Takođe, sastavne komponente fluorescentne svetiljke: cijev i balast su izrazito nelinearnog karaktera. Nelinarni karakter fluorescentnih svetiljki i njihova masovna upotrebe, eksplicitno navode na zaključak da je ova vrsta potrošača male snage veoma interesantne sa stanovišta uticaja na kvalitet napona napajanja [12].

Razlikuju se fluorescentne svetiljke sa magnetskim balastom i savremene fluorescentne svetiljke sa elektronskim balastom. Na slici 4 su prikazani vremenski oblici napona napajanja, struje i snage fluo cijevi sa magnetskim balastom, koje su trenutno dominantno u upotrebi.



Slika 4. Vremenski oblici napona napajanja, struje i snage fluo cijevi sa magnetskim balastom.

Magnetski balast predstavlja prigušnicu koja ne mijenja učestanost struje u cijevi (zadržava nazivnu učestanost sistema), pa su fluorescentne svetiljke, sa aspekta uticaja na kvalitet mrežnog napona, gotovo identične sijalicama sa užarenim vlaknom. Ovu konstataciju potvrđuje vremenski oblik struje, koji je veoma blizak sinusnom.

Učešće viših harmonika u strukturi harmonijskog spektra struje kompaktne fluorescentne svetiljke sa magnetskim balastom je gotovo zanemarljivo (tabela 3). Vrijednost faktora ukupne harmonijske distorzije struje ovog tipa svetiljke iznosi $THD_I = 13.5\%$. Poseban tip kompaktnih fluorescentnih svetiljki sa magnetskim balastom, koja nosi oznaku HPF (*High Power Factor*), ima nešto bogatiji harmonijski spektar struje u kojem dominira treći harmonik (oko 30%). U tom slučaju vrijednost faktora THD_I iznosi oko 35%.

Tabela 3. Struktura harmonijskog spektra struje fluo svetiljke sa magnetskim balastom.

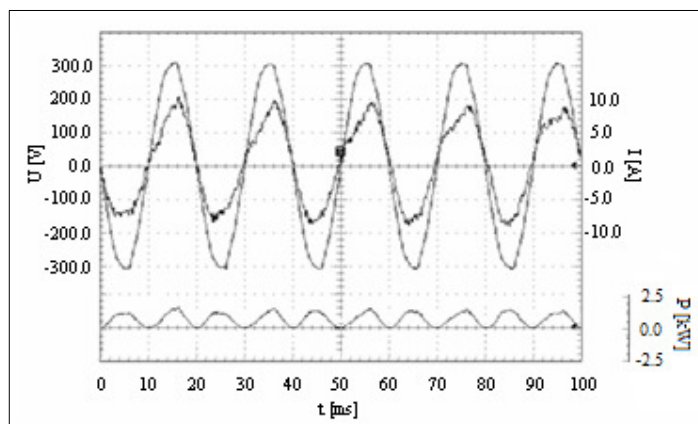
n	3.	5.	7.	9.	11.	13.	15.	17.	19.	21.	THD _I
[%]	8.3	3.1	2.5	1.2	1.2	0.8	0.4	0.3	0.1	0.1	13.5

Fluorescentne svetiljke sa elektronskim balastom imaju harmonijski spektar struje sličan računarima i vrlo visoku vrijednost faktora THD_I (oko 100%).

2.4 KLIMA UREĐAJI

Sa aspekta električne mreže klima uređaji predstavljaju intermitentan kompresorski pogon sa monofaznim asinhronim motorom. Uključenje motora je kontrolisano i kod savremenih izvedbi klima uređaja sprovodi se pomoću elektronskih komponenti (što je važno imajući u vidu njihovu mogućnost generisanja struje trećeg harmonika).

Talasi oblici napona napajanja, struje i snage klima uređaja, korištenog u domaćinstvu ("Midea", aktivne snage oko 1.2 kW), dati su na slici 5.



Slika 5. Vremenski oblici napona napajanja, struje i snage klima uređaja.

Talasi oblik struje klima uređaja je izobličen. Ipak, stepen odstupanja u odnosu na idealnu sinusoidu nije izražen i značajno je manji u poređenju sa računarom i TV aparatom.

U tabeli 4 je predstavljena struktura harmonijskog spektara struja razmatranog klima uređaja.

Tabela 4. Struktura harmonijskog spektra struje klima uređaja.

n	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	THD _I
[%]	15.0	4.5	1.9	18.5	1.2	3.0	1.1	2.1	0.5	0.3	32.0

Uočljivo je da se pri analizi harmonijskog spektra struje klima uređaja mora uzeti u obzir i učešće parnih harmonika, gdje je prisustvo drugog harmonika naročito izraženo. Drugi

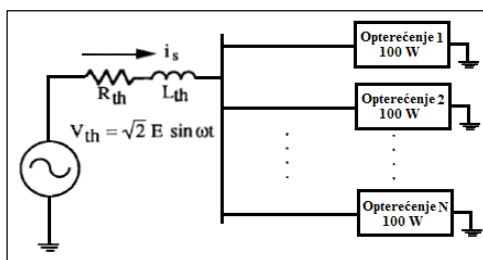
harmonik je isključivo posljedica asimetričnog momenta opterećenja monofaznog asinhronog motora koji pokreće kompresor klima uređaja [13].

3. FAKTORI REDUKCIJE NIVOVA HARMONIKA PRI JEDNOVREMENOM RADU GRUPE NELINEARNIH POTROŠAČA MALIH SNAGA

Nivo varijacije, odnosno stepena poništenja faznih uglova viših harmonika zavisi od: krutosti mreže, strukture priključenog nelinearnog opterećenja, nivoa opterećenja, vrijednosti impedanse voda koji napaja potrošače priključene na sabirnice i odnosa X/R impedanse voda. Navedeni uticajni fenomeni se kvantifikuju faktorima AF i DF .

3.1 AF FAKTOR

Redukcija nivoa harmonika u harmonijskom spektru ukupne struje priključenog nelinearnog opterećenja javlja se u slučaju kada se sa zajedničkih sabirnica napajaju nelinearni potrošači približno istih snaga [14]. Opisani fenomen se kvantifikuje faktorom AF . Na slici 6 je prikazano N nelinearnih potrošača tipa: računara ili TV aparata, snage 100 W, napajanih iz izvora preko ekvivalentne sistemske impedanse.



Slika 6. " N " identičnih potrošača priključenih na zajedničku sistemska impedansu.

"Uticaj" AF faktora na redukciju nivoa pojedinačnih harmonika, odnosno ukupne strujne distorzije razmatrane grupe N nelinearnih potrošača se izražava sljedećim relacijama:

$$HDI_h^N = AF_h \cdot HDI_h^1, \quad (1)$$

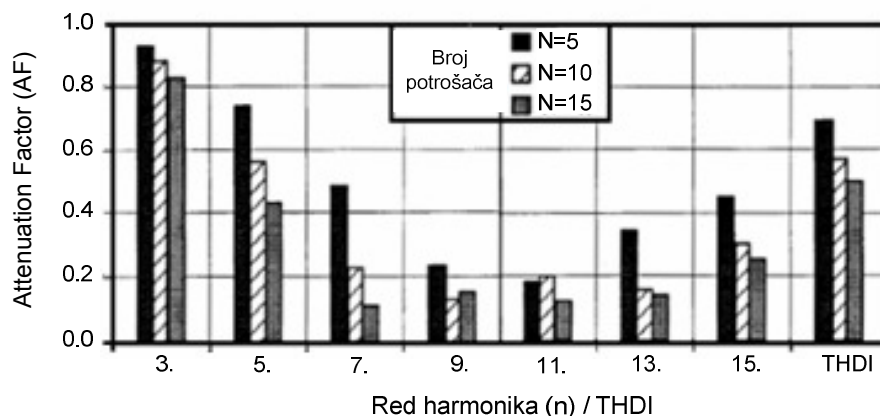
$$THDI_h^N = AF_h \cdot THDI_h^1. \quad (2)$$

Faktor AF je definisan izrazom:

$$AF_h = \frac{|I_h^N|}{N \cdot |I_h^1|}. \quad (3)$$

pri čemu je N - broj potrošača, HDI^N_h , $THDI^N_h$, I_h^N - individualna harmonijska distorzija, ukupna harmonijska distorzija, odnosno struja h -tog harmonika za N paralelnih potrošača, a HDI^1_h , $THDI^1_h$, I_h^1 - individualna harmonijska distorzije, ukupna harmonijska distorzija, odnosno struja h -tog harmonika za $N = 1$.

Sa porastom broja priključenih nelinearnih potrošača opada vrijednost faktora AF . Slika 7 prikazuje vrijednosti faktora AF za neparne harmonike (od trećeg do petnaestog), kada je na zajedničkim sabirnicama priključeno 5, 10 i 15 nelinearnih potrošača. Takođe, na slici je prikazana i promjena (opadanje) faktora THD_I u funkciji broja priključenih nelinearnih potrošača [14]. Opadajući karakter faktora THD_I je potvrđen istraživanjima predstavljenim u [10].



Slika 7. Vrijednosti AF faktora u funkciji broja priključenih nelinearnih potrošača.

Uočava se da vrijednost faktora AF za treći harmonik, u slučaju priključka 5, 10 i 15 nelinearnih potrošača, iznosi 0.97, 0.91 i 0.84, respektivno. Za harmonike većeg reda, npr. petnaesti harmonik, vrijednosti AF faktora su: 0.45, 0.30 i 0.25. Ipak, treba naglasiti da postoje i blaga odstupanja od utvrđenog zaključka o opadajućem karakteru faktora AF sa porastom broja priključenih nelinearnih potrošača. Ona se odnose na deveti i jedanaesti harmonik (npr., za deveti harmonik je vrijednost AF faktora u slučaju priključka 15 potrošača veća nego za slučaj priključenja 10 nelinearnih potrošača).

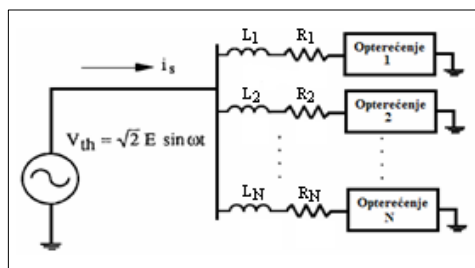
U tabeli 5 su date vrijednosti AF faktora za pojedine harmonike grupnog opterećenja kojeg čine 5 računara u istom radnom režimu [15].

Tabela 5. AF faktor grupe od 5 računara.

n	3.	5.	7.	9.	11.	13.	15.
AF	0.98	0.85	0.68	0.46	0.20	0.16	0.12

3.2 DF FAKTOR

Redukcija nivoa harmonika u harmonijskom spektru struje priključenog nelinearnog opterećenja nastaje i u slučaju kada se sa zajedničkih sabirnica napajaju nelinearni potrošači različitih snaga, a usljed promjena: nivoa opterećenja, veličine impedanse voda koji napaja potrošače priključene na sabirnice i odnosa X/R impedanse voda (slika 8) [14]. Redukcija nastala na ovaj način se opisuje DF faktorom.



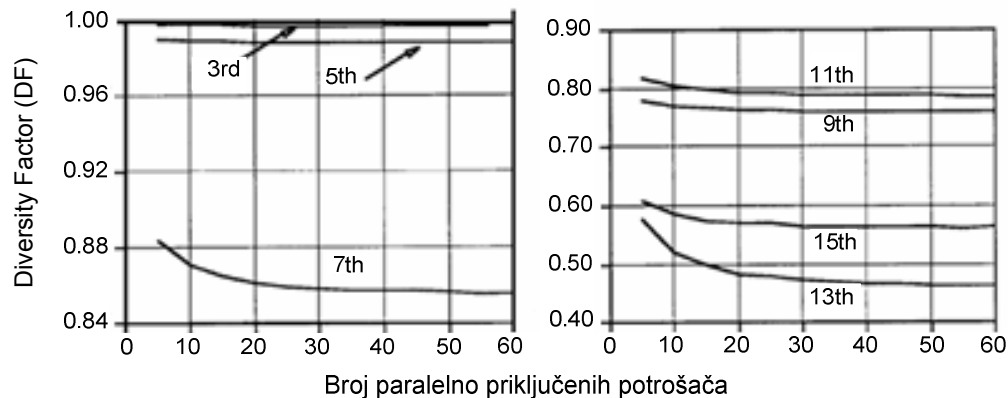
Slika 8. "N" potrošača različitih snaga priključenih na "krutu" mrežu.

Vrijednost DF faktora grupe koju čine N paralelno priključenih potrošača različitih snaga, se izračunava na osnovu relacije:

$$DF_h = \frac{\left| \sum_{i=1}^n I_h^i \right|}{\sum_{i=1}^n |I_h^i|} \quad (4)$$

gdje je I_h^i - struja h -tog harmonika injektirana od strane i -tog potrošača.

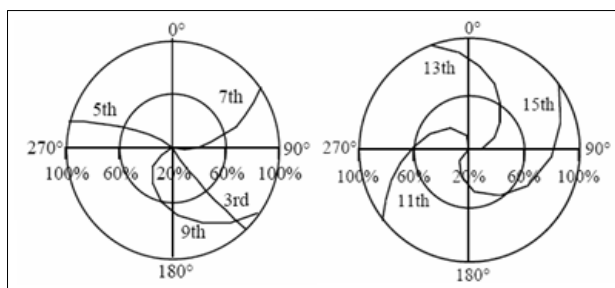
Sa slike 9 je uočljivo da DF faktor intenzivno djeluje na harmonike viših redova, slično faktoru AF i slabi njihov uticaj, odnosno nivo prisustva u strukturi harmonijskog spektra struje [14].



Slika 9. Vrijednosti DF faktora za pojedine harmonike.

Za razliku od AF faktora, vrijednost DF faktora je gotovo konstantna sa promjen broja priključenih potrošača, naročito za treći i peti harmonik. Opadajući karakter faktora DF sa povećanjem broja priključenih nelinearnih potrošača je izraženije kod harmonika većeg reda: trinaestog i petnaestog. Ovakva spoznaja eksplicitno upućuje na izraženiji uticaj AF faktora na redukciju harmonijskog spektra struje grupe nelinearnih potrošača, u poređenju sa DF faktorom.

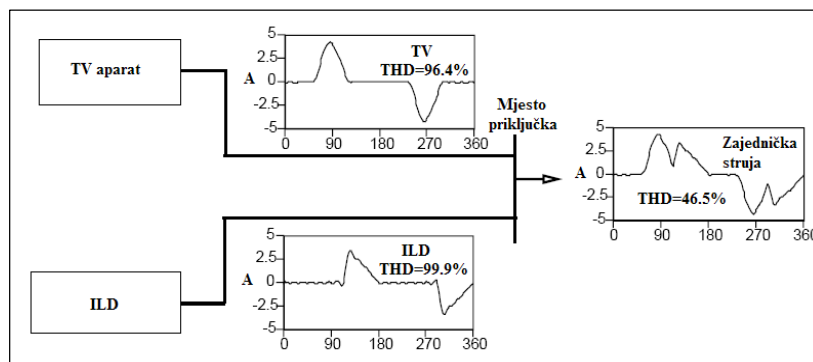
Na slici 10 su prikazane varijacije faznih uglova struja harmonika, od trećeg do petnaestog, pri promjeni nivoa opterećenja u opsegu od 20 do 100% [15].



Slika 10. Varijacije faznih uglova struja harmonika pri promjeni opterećenja.

Očigledno je da su varijacije najizraženije kod jedanaestog, trinaestog i petnaestog harmonika. Usljed uticaja faktora DF , redukcija nivoa viših harmonika (sedmog i harmonika viših redova) može biti preko 50%.

Pojava poništenja faznih uglova struja viših harmonika, odnosno djelovanja DF faktora, predstavljena je na slici 11, kroz primjer jednovremenog rada TV aparata i sijalice sa užarenim vlaknom koja ima mogućnost elektronske regulacije osvjetljenja (*Incandescent Light Dimmer – ILD*) [15].



Slika 11. Vremenski oblici struje TV aparata, ILD-a i grupnog opterećenja.

Harmonijski spektri struje, dati u tabeli 6, pokazuju da je stepen distorzija "zajedničke" struje TV aparata i ILD-a ($THD_I = 46.5\%$) znatno niži od pojedinačnih distorzija struje TV aparata ($THD_I = 96.4\%$) i struje ILD-a ($THD_I = 99.9\%$). Značajan nivo redukcije se naročito opaže kod trećeg i petog harmonika ukupne struje (TV+ILD), a usljed poništenja faznih uglova pomenutih harmonika.

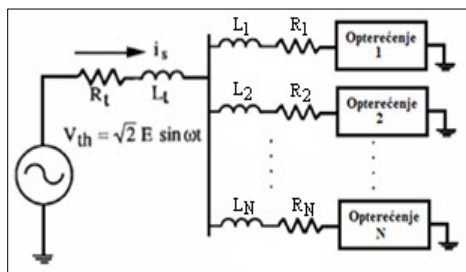
Tabela 6. Harmonijski spektar struje za TV aparat i ILD.

n	TV aparat		ILD		TV+ILD	
	Amplituda [%]	Fazni stav [°]	Amplituda [%]	Fazni stav [°]	Amplituda [%]	Fazni stav [°]
1.	100.0	1.0	100.0	-50.0	100.0	-20.3
3.	79.8	-173.0	76.6	31.0	23.3	148.0
5.	49.2	12.0	42.3	122.0	30.9	49.0
7.	20.5	-159.0	21.1	-111.0	21.0	-138.0
9.	4.0	81.0	21.2	20.0	11.4	31.3
11.	5.5	-13.0	17.7	128.0	6.0	106.0
13.	3.1	175.0	12.2	-108.0	6.2	-121.0
15.	0.8	-138.0	11.7	20.0	5.0	17.0

3.3 JEDNOVREMENI "UTICAJ" AF I DF FAKTORA

U cilju predstavljanja jednovremenog "uticaja" faktora AF i DF na redukciju harmonijskog spektra struje priključenog nelinearnog opterećenja, posmatran je model dat na slici 12. Grupa od N računara je priključena na zajedničke sabirnice preko vodova otpornosti R_B i induktivnosti L_B [16]. Sabirnice su povezane sa izvorom preko sistemske impedanse (parametara R_t i L_t). Ovakvom strukturom kola uzimaju se u obzir oba faktora: AF faktor, čije je izolovano djelovanje razmatrano konfiguracijom predstavljenoj na slici 6, gdje se grupa od N potrošača napaja preko sistemske impedanse vodovima čije su impedanse zanemarene i DF faktor čije je izolovano djelovanje razmatrano

konfiguracijom datoj na slici 8, gdje je grupa od N potrošača priključena na "krutu" mrežu preko vodova određene impedanse.

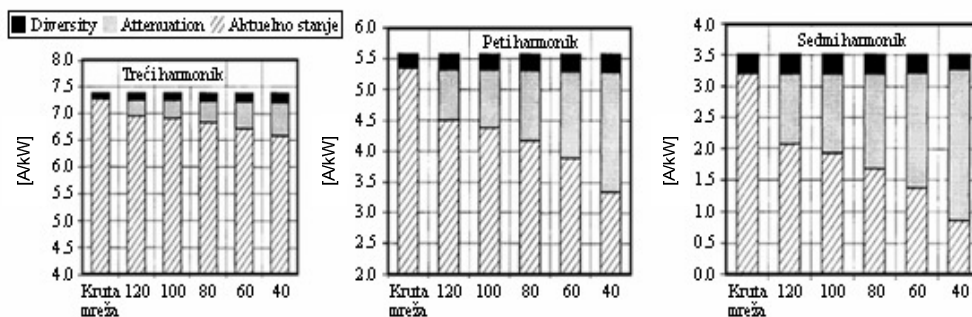


Slika 12. "N" računara priključenih na izvor napajanja.

Varijacije u parametrima vodova i veličini priključenog opterećenja izaziva poništenje struja viših harmonika - efekat prouzrokovan dejstvom DF faktora, pa je kao posljedica toga nivo prisustva viših harmonika u harmonijskom spektru ukupne struje (i_s) redukovan [16]. Struja i_s stvara pad napona na impedansi transformatora, što znači da napon na priključnim sabirnicama odstupa od idealne sinusoide. Izobličeni napon će negativno djelovati na struje grana (vodova) preko kojih se napajaju potrošači. Ovakav uticaj mreže na naponske prilike na priključnim sabirnicama se kvantitativno izražava AF faktorom.

Smanjenje struja: trećeg, petog i sedmog harmonika, kao posljedica zajedničkog djelovanja pomenutih faktora, a pri različitim nivoima opterećenja, je prikazano na slici 13. Dati pravougaonici se odnose na:

- aktuelno stanje, tj. stvarni nivo harmonika (redukovanog pod uticajem oba faktora: AF i DF);
- *attenuation* - predstavlja "doprinos" AF faktora u redukciji nivoa harmonika;
- *diversity* - predstavlja "doprinos" DF faktora u redukciji nivoa harmonika.



Slika 13. "Uticaj" faktora AF i DF na vrijednosti struja: trećeg, petog i sedmog harmonika.

Slika 13 predstavlja potvrdu da je faktor DF praktično konstantan sa promjenom nivoa opterećenja, dok vrijednost faktor AF opada sa povećanjem broja priključenih nelinearnih potrošača.

4. ZAKLJUČAK

U radu je analiziran uticaj grupisanja nelinearnih potrošača malih snaga na nivo generisanih harmonika prisutnih u zajedničkoj struji. Pojedinačno posmatrano, računari, TV aparati, fluorescentne svjetiljke i klima uređaji imaju izražen potencijal u smislu generisanja viših harmonika. Ipak, kao rezultat varijacija faznih uglova harmonika i njihovog međusobnog poništavanja, nivo viših harmonika u zajedničkoj struji je značajno manji. Pomenuti fenomen se kvantifikuje faktorima: AF i DF . Faktorom AF se kvantifikuje redukcija nastala u slučaju napajanja grupisanih nelinearnih potrošača iste snage, pri čemu se uticaj mreže (promjena stepena distorzije napona koji napaja priključne sabirnice ili promjena parametara sistemske impedanse) uzima u razmatranje.

Djelovanje faktora DF se odnosi na situacije kada postoje varijacije u nivoima opterećenja ili impedansama vodova povezanih na zajedničke sabirnice. Predpostavlja se da su sabirnice "kruta" mreža, tj. da se uticaj mreže može relativizovati. Za razliku od AF faktora, čija vrijednost opada sa povećanjem broja priključenih nelinearnih potrošača, vrijednost DF faktora je gotovo konstantna sa promjenom broja priključenih potrošača, naročito za dominantne harmonika - treći i peti. Zanemarivanje faktora AF i DF pri utvrđivanju uticaja grupisanih nelinearnih potrošača malih snaga na kvalitet naponskih prilika u mreži je posebno neprihvatljivo sa ekonomskog aspekta i može rezultirati nepotrebnim finansijskim izdacima (kao posljedica nedekvatne procjene prisustva viših harmonika).

LITERATURA

- [1] V. Katić, "Kvalitet električne energije - viši harmonici", Edicija: Monografije, Br.6, *Fakultet tehničkih nauka*, Novi Sad, 2002.
- [2] J. Arrillaga, N. R. Watson, S. Chen, "Power System Quality Assessment", *John Wiley*, Chichester, U.K., 2000.
- [3] V. Katić: "Istraživanje viših harmonika u distributivnoj mreži – kratak pregled i iskustva", *Elektroprivreda*, God.54, Br.3, Jul-Sep.2001, pp.72-79.
- [4] V. Katić, "Energetski elektronski pretvarači kao izvori viših harmonika u distributivnoj mreži – I-III deo", *Studija za EPS - JP Elektrovojvodina*, Novi Sad, 1991 - 1999.
- [5] S.Mujović, V.A.Katić, Z.Čorba, J.Radović, "Mjerenje i analiza uticaja rada računarskog centra na nivo viših harmonika u mreži", *Elektroprivreda*, Br. 4, Oktobar-Decembar 2009, pp.
- [6] V. Katić, B. Dumnić, S. Mujović, J.Radović, "Effects of Low Power Electronics & Computer Equipment on Power Quality at Distribution Grid – Measurements and Forecast", *In Proceedings of IEEE International Conference on Industrial Technology-ICIT*, Hammamet, Tunis, Vol. 2, 8-10 December, 2004, pp. 585-589.

- [7] IEEE Standard 519-1992: "IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electric Power Systems", *IEEE Press*, New York, 1993.
- [8] J. Radović, S. Mujović, "Karakteristike opterećenja računara sa aspekta uticaja na kvalitet električne energije", *XII Međunarodni simpozijum Energetske elektronike – Ee 2003*, Novi Sad, Srbija i Crna Gora, 5-7 Novembar, 2003.
- [9] J. Radović, V. Katić, S. Mujović, V. Radulović, "Uticaj malih nelinearnih potrošača na kvalitet naponskih prilika u mreži", *I Savjetovanje CG KO CIGRE*, Budva, Crna Gora, 12-16. Oktobar, 2009.
- [10] S. Mujović, V.A. Katić and J. Radović, Improved Analytical Expression for Calculating Total Harmonic Distortion of PC Clusters, *Electric Power System Research*, 2011, Accepted for publication.
- [11] V. A. Katić, S. V. Mujović, V. M. Radulović and J. S. Radović, The Impact of the Load Side Parameters on PC Cluster's Harmonics Emission, *Advances in Electrical and Computer Engineering*, 11 (1) (2011), pp. 103-110.
- [12] G. W. Chang, "Characterizing Harmonic Currents Generated by Fluorescent Lamps in Harmonic Domain", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol.18, No. 4, October 2003, pp. 1583-1585.
- [13] Ž. Đurišić, M. Đurić, M. Novaković, V. Ristić, "Električne karakteristike napajanja monofaznih klima uređaja tipa split sistem", *Elektroprivreda*, Broj 2, 2008, pp. 32-38.2008.
- [14] A.Mansoor, W.M.Grady, A.H.Chowdury, and M.J.Samotyj, "An Investigation of Harmonics Attenuation and Diversity Among Distributed Single-phase Power Electronic Loads", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 10, No. 4, October 1995, pp. 467-473.
- [15] W. M. Grady, A. Mansoor, E. F. Fuchs, P. Verde, and M. Doyle, "Estimating the Net Harmonic Currents Produced by Selected Distributed Single-Phase Loads: Computers, Televisions, and Incandescent Light Dimmers", *Power Engineering Society Winter Meeting, 2002*, New York, Vol. 2, pp. 1090-1094.
- [16] A. Mansoor, W. M. Grady, P. T. Staats, R. S. Thallam, M. T. Doyle, and M. J. Samotyj, "Predicting the Net Harmonic Currents Produced by Large Numbers of Distributed Single-phase Computer Loads", *IEEE Transaction on Power Delivery*, Vol. 10, No. 4, October 1995, pp. 2001-2006.