

Aleksandar Milković
Institut za elektroprivredu i energetiku d.d., Zagreb
aleksandar.milkovic@ie-zagreb.hr

Tomislav Capuder
Fakultet elektrotehnike i računarstva, Zagreb
tomislav.capuder@fer.hr

UTJECAJ SINKRONOG STROJA KAO DISTRIBUIRANOG IZVORA NA NEKE ASPEKTE KVALITETE ELEKTRIČNE ENERGIJE

SAŽETAK

U članku se prikazuje tehnološko-zakonodavni okvir kvalitete električne energije kojeg se strogo mora držati distribuirani izvor električne energije da bi dobio dopuštenje priključka na mrežu.

Daje se kratki presjek vlastite proizvodnje viših harmonika i flikera sinkronog stroja.

Članak daje pregled stvarnog utjecaja jednog sinkronog stroja na porast/smanjenje veličine harmonika s obzirom na stanje prije priključka. Također se razmatra propagacija tonfrekventnog signala kroz mrežu, te njegov porast nakon pojave sinkronog generatora u mreži.

Glavne riječi: distribuirani izvor, flikeri, sinkroni generator, viši harmonici

IMPACT OF SYNCHRONOUS MACHINE AS DISTRIBUTED GENERATION UNIT ON SOME ASPECTS OF POWER QUALITY

SUMMARY

This article gives a techno-legislative framework which every distributed source must strictly follow in order to obtain a grid connection permit.

Furthermore it is given a short overview on own production of flickers and harmonics in synchronous machines.

Article provides an overview of the actual impact of one synchronous machine on increase / decrease of size of harmonics with respect to the situation prior to connection. It also discusses the propagation of ripple control signal through the network, and its increase after the appearance of synchronous generators in the network.

Key words: distributed source, flickers, synchronous machine, higher harmonics

1. UVOD

Makar većina sinkronih generatora ne proizvodi značajno harmoničko zagađenje oni mogu biti uključeni u probleme vezane uz propagaciju viših harmonika kroz distributivnu mrežu. Najveći utjecaj se primjećuje prilikom otključavanja generatora s obzirom da njegova impedancija je značajnije viša (i do pet puta) od impedancije EES-a. Ako u formiranom otoku ostane i neki veliki proizvođač viših harmonika to će uzrokovati pogoršanje kvalitete električne energije u otoku. Također dovodi se u pitanje i utjecaj sinkronog stroja na prigušenje tonfrekventnog signala i to u ne samo blizini električkoj okolini generatora.

2. OSNOVNI ZAHTJEVI NA PRIKLJUČAK DISTRIBUIRANOG PROIZVOĐAČA

Priključak na mrežu podliježe tehničkim ograničenjima koja osiguravaju usklađenost postrojenja distribuiranog proizvođača s mrežom na koje se to postrojenje priključuje i razinu utjecaja postrojenja na druge korisnike mreže. Značajan skup utjecaja na mrežu svakako je kvaliteta električne energije na mjestu razgraničenja proizvođača s operatorom mreže.

Propisi koji daju tehnička ograničenja na priključak proizvođača u Hrvatskoj su „Mrežna pravila Elektroenergetskog sustava“ [1] i „Tehnički uvjeti za priključak malih elektrana na Elektroenergetski sustav Hrvatske Elektroprivrede“ [2]. Također ovo područje uređuje više međunarodnih preporuka i normi kao što su grupa normi za elektromagnetsku kompatibilnost (EN 61000-x-x) i norma EN 50160 „Naponske karakteristike električne energije koju osigurava javna distributivna mreža“.

Postoje neke razlike između norme EN 50160, EN 61000-x-x i Biltena 66. Prvenstveno te razlike proistječu iz činjenice da se EN 61000-x-x bavi sa karakteristikama napona na samom priključnom mjestu nekog uređaja, dok EN 50160 daje parametre napona i granice u kojima se ti parametri mogu kretati na mjestu susreta, tj. na mjestu spajanja potrošača i distributera na javnim srednje i niskonaponskim mrežama prilikom normalnih pogonskih uvjeta. Razlika u parametrima napona je zbog pada napona u internoj mreži, pojavi poremećaja iz internoj mreže te iz drugih uređaja koji se napajaju iz iste internoj mreže. Bilten 66 uz određivanje tehničkih uvjeta priključka malih elektrana na EE sustav propisuje neka ograničenja povratnog djelovanja elektrane u paralelnom pogonu s distribucijskom mrežom većinom kroz proizvodnju struje viših harmonika i proizvodnju flikera.

EN 50160 daje samo osnovne granice koje distributer može ekonomski i tehnički održavati u javnim distribucijskim mrežama. Kada potrošač zahtjeva strože uvjete (bolju kvalitetu električne energije) tad se mora sklopiti poseban ugovor s distributerom. Također preporuka EN 50160 se ne primjenjuje u slučajevima izvanrednih uvjeta koji uključuju:

- a) uvjeti koji proizlaze iz kvarova ili privremenih uvjeta rada distribucije
- b) kvarovi na instalacijama potrošača ili uređaji potrošača koji ne zadovoljavaju tehničke uvjete za spajanje na javnu mrežu
- c) uvjeti koji proizlaze iz kvara generatorskih instalacija koji ne zadovoljavaju relevantne standarde ili tehničke uvjete spajanja sa prijenosnom ili distribucijskom mrežom
- d) izvanredni uvjeti izvan kontrole distributera električne energije kao što su: (vremenski uvjeti i druge prirodne katastrofe, utjecaji treće strane, zakonska regulativa, veliki potrošači, rat, nedostatak energije uzrokovan vanjskim utjecajem).

Usporedba standarda EN 61000, preporuke EN 50160 i Biltena 66 dana je u Dodatku, napominje se da norma EN 50160 propisuje kvalitetu električne energije na NN i SN razinama dok norma EN 61000-x-x propisuje parametre samo za NN razinu. Pošto norma EN 50160 postavlja distributeru male zahtjeve i veliki broj iznimaka kada se norma ne treba provoditi, mnogi distributeri je tumače kao informativnu preporuku. Na taj način ne prihvaćaju odgovornost uslijed probijanja granica koje je norma postavila.

Potrošači i proizvođači granice navedene u normi smatraju kao obvezu koju distributer mora ispoštovati i za nju garantirati. Problem nastaje pošto neki potrošač ili proizvođač i sa ispunjenom preporukom nemaj zadovoljavajući nivo kvalitete električne energije. Kao što je već napomenuto u tom se slučaju mora sklopiti dodatni ugovor između takvog potrošača ili proizvođača i distributera.

3. NEKE KARAKTERISTIKE SINKRONIH STROJEVA

Sinkroni stroj je jedan od glavnih dijelova elektroenergetskog sustava koji u većini slučajeva služi kao mjesto pretvorbe mehaničke u električnu energiju koje je u sinkronizmu s ostatkom električnog sustava. Karakteristike proizvedene električne energije odstupaju od savršenstva ne samo zbog vanjskih utjecaja koji dolaze iz mreže (nesimetrični i nelinearni tereti u vanjskoj mreži itd.) već i zbog nesavršene konstrukcije sinkronog stroja (pojava zasićenja u magnetskom krugu/željeznoj jezgri, statički i dinamički ekscentricitet rotora, puzajuće struje, magnetsko polje osovine, naprezanje izolacije, termički efekti na mehaničke i električne parametre stroja itd.) i momenta pogonskog stroja koji daje potrebnu mehaničku energiju sinkronom generatoru (mehaničke vibracije kroz osovinu rotora, pojava mehaničkih harmoničkih momenata itd.). Pojave međudjelovanja vanjske mreže i sinkronog stroja, te utjecaj sinkronog stroja na vanjsku mrežu se najčešće zanemaruje.

3.1. Pojava harmonika u sinkronom stroju

Najvažniji izvori harmonika u sinkronom stroju je: pojava izvora viših harmonika zbog nesimetrične konstrukcije stroja, frekvencijska konverzija i zasićenje u magnetskim krugovima.

Nesimetrična konstrukcija sinkronog stroja dovodi do nejednolike raspodjele magnetskog toka u magnetoaktivnim dijelovima stroja (ovo se posebno odnosi na strojeve s istaknutim polovima). Može se uzeti da stroj s $2p$ polova ima $2hp$ harmoničke polove koji proizvode napon h -tog harmonika. Amplituda ovih napona uvelike ovisi o magnetskom toku i konstrukciji namota te se ovaj utjecaj u osnovi smanjuje pravilnim odabirom zonskog i tetivnog faktora namota. Najpoznatija konstrukcija nesimetričnog sinkronog stroja je jednofazni stroj koji koristi veliki prigušni namot (kako bi se smanjili visoki harmonici u samom stroju) rezultirajući vrlo velikim strojem.

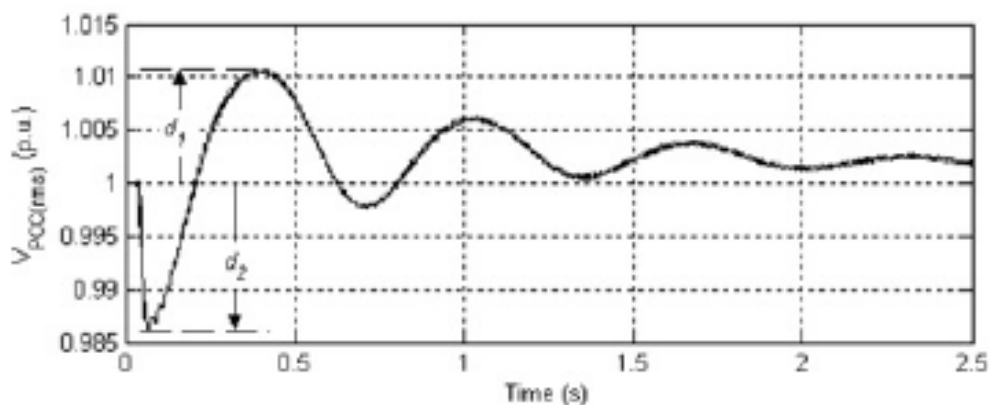
Nesimetrija uzrokuje također pojavu „frekvencijske konverzije“ u sinkronom stroju koja u slučaju pojave:

- h -tog harmonika napona u direktnom sustavu na stezaljkama sinkronog stroja generira struju h -tog harmonika u direktnom sustavu i $(h-2)$ -ti harmonik napona u inverznom sustavu,
- h -tog harmonika napona u inverznom sustavu (pojava nesimetričnosti u mreži, što je vrlo često u distribucijskim mrežama) na stezaljkama sinkronog stroja generira struju h -tog harmonika u inverznom sustavu i $(h+2)$ -ti harmonik napona u direktnom sustavu,
- h -tog harmonika napona u nultom sustavu na stezaljkama sinkronog stroja generira struju h -tog harmonika u nultom sustavu.

Pojava zasićenja u magnetskom krugu željezne jezgre (statora i rotora) zbog nelinearne karakteristike magnetiziranja uzrokuje pojavu harmoničkih struja te promjenu u faznom kutu postojećih struja viših harmonika u stroju.

3.2. Pojava flikera u sinkronom stroju

Proizvodnja flikera sinkronim strojem je povezana s promjenama napona uslijed sklopnih operacija (posebno se to odnosi na trenutak sinkronizacije stroja na mrežu) kao na slici 1.



V_{PCC} (rms) - efektivna vrijednost napona u točki priključka sinkronog stroja na mrežu [p.u.]

d_1 – maksimalna porast napona [p.u.]

d_2 – maksimalna pad napona [p.u.]

Slika 1. Efektivna vrijednost napona u točki priključka sinkronog stroja na mrežu nakon sinkronizacije (trenutak sinkronizacije u 0^+ [s])

Maksimalna promjena napona d_{max} ($d_{max} = d_1 + d_2$ ili $d_{max} = \{d_1, d_2\}$) tijekom sinkronizacije ovisi o uvjetima sinkronizacije, tj. o razlici kutova, frekvencija i amplitude napona generatora i mreže tik prije sinkronizacije (u 0^- [s]) te o karakteristici generatora i mreže na mjestu priključka. Norma IEC 61400-21 daje jednostavan izraz za izračun maksimalne promjene napona koja se može očekivati tijekom sklopne operacije.

$$d_{max}[\%] = 100 \frac{d_1 + d_2}{U} = \frac{100 k_U(\psi_k) S_N}{S_{sk}} \quad (1)$$

gdje je: S_N – nazivna prividna snaga generatora [MVA]

S_{sk} - trofazna struja kratkog spoja na mjestu razgraničenja proizvođača s operatorom mreže [MVA]

ψ_k – kut mrežne impedancije na mjestu razgraničenja proizvođača s operatorom mreže

$k_f(\psi_k)$ - faktor tvorbe flikera, svojstven svakom tipu generatora (postrojenja)

Faktor tvorbe flikera ujedinjuje u sebi najgore uvjete sinkronizacije specifičnog generatora na neku mrežu te ovisi o karakteristikama mreže (opisane kroz njen kut impedancije).

3.3. Utjecaj na tonfrekventni signal

Tonfrekventni signali se superponiraju na valni oblik osnovnog harmonika napona/struje kao kratka sekvencija impulsa kako bi stvorili kodiranu poruku/naredbu. Tako se omogućuju daljinske sklopne operacije na nekim teretima, promjena tarifa itd. Kako bi ovaj sustav mogao raditi moraju biti ispunjeni slijedeći uvjeti:

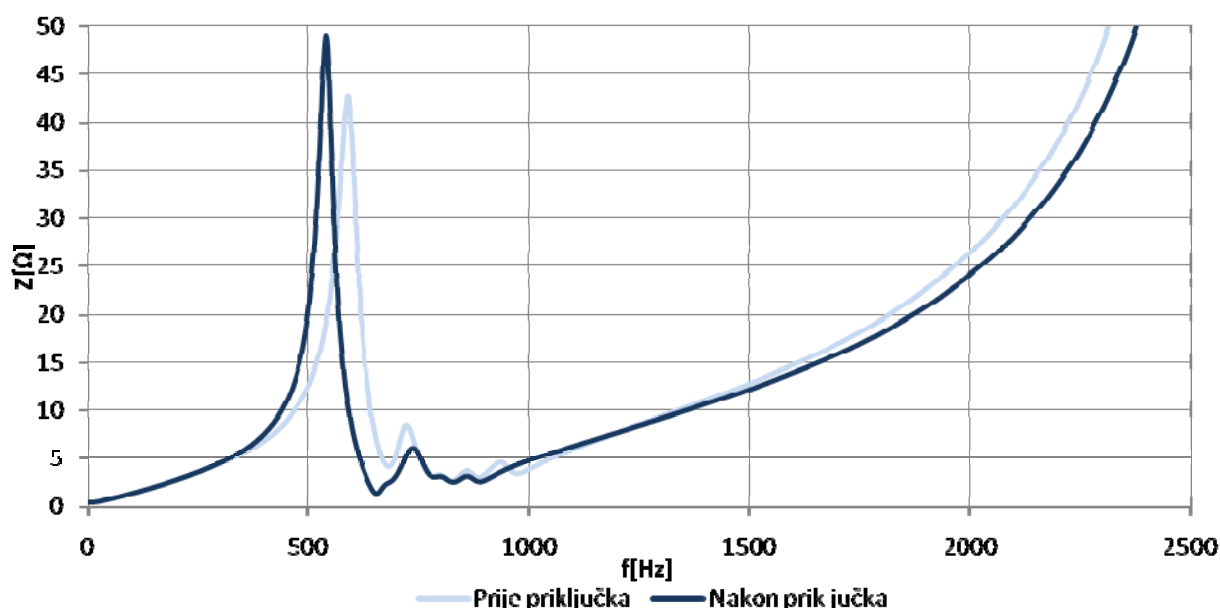
- a) Tonfrekventni signal na udaljenom mjestu (na nekom uređaju koji mora biti pobuđen signalom) mora imati vrijednost koja se nalazi u zoni osjetljivosti prijemnika,
- b) Uređaji u mreži ne smiju uzrokovati značajan pad vrijednosti signala niti proizvesti signale koji mogu uzrokovati distorziju tonfrekventnog signala,
- c) Teret uređaja na mreži ne smije prekoračiti snagu izvora tonfrekventnog signala.

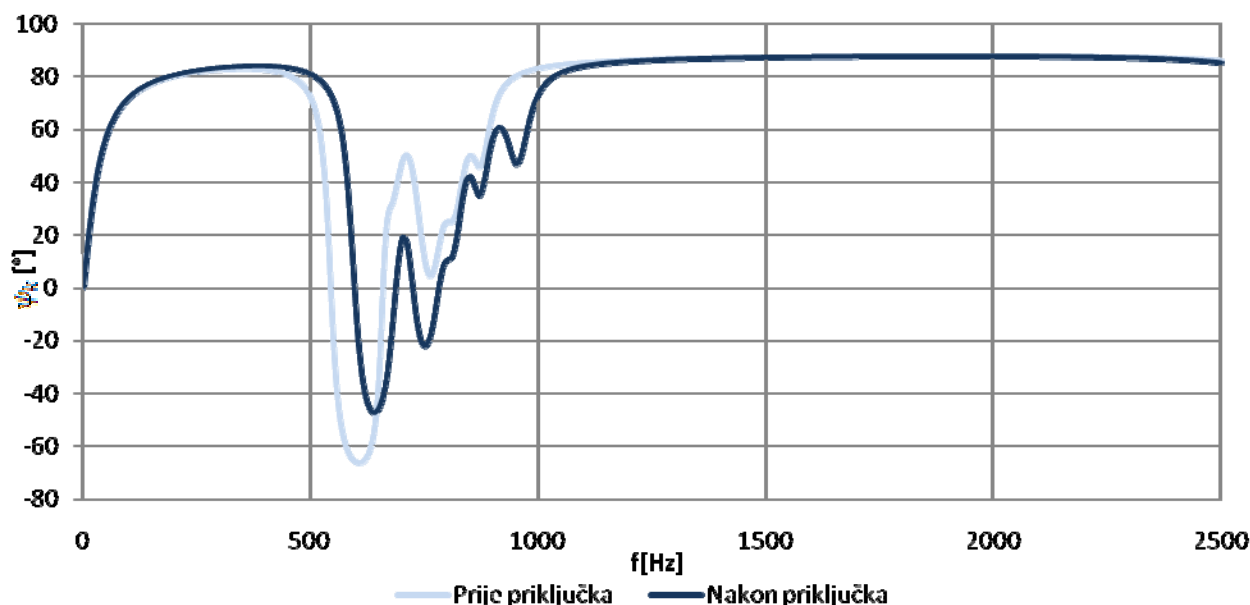
4. UTJECAJ KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA „UNIVERZAL“ NA MREŽU

Kao primjer utjecaja jednog sinkronog generatora na distribucijsku mrežu uzeto je buduće kogeneracijsko postrojenje „Univerzal“ na području grada Varaždina. Stroj je snage 3.4 MVA, četveropolni turbogenerator koji je spojen na 10 kV lokalnu mrežu (izvod Kožara), udaljen električki od TS 110/35/20/10 kV Varaždin ~2 km. U svrhu razmatranja modelirana je mreža cijelog izvoda s modelom vodova, transformatora, kompenzacije, tereta i generatora koji uzima u obzir frekvencijsku ovisnost realnih i imaginarnih dijelova impedancije pojedinih elemenata mreže. Posebno je modelirana sama elektrana s pripadajućim pomoćnim pogonima (uzeta je u obzir kompenzacija u mreži i kompenzacija pomoćnih postrojenja elektrane). Mjesto susreta postrojenja s operatorom mreže je na 10 kV sabirnicama transformatorske stanice Energana. Snaga trolnog kratkog spoja u točki susreta je $S_{sk} = 144.7$ MVA pod kutom od $\psi_k = 57.3^\circ$.

Proračun je izvršen pomoću programskog paketa „NEPLAN“ koji osim podrške u izračunima tokova snaga i kratkog spoja za osnovni harmonik pruža mogućnosti proračuna tokova snaga i na drugim frekvencijama.

Izvršen je proračun frekvencijskog odziva impedancije mreže na mjestu susreta prije i nakon priključka generatora (slika 2).





Slika 2. Frekvencijska karakteristika točke susreta (modul i kut impedancije)

Pri pogledu na frekvencijsku karakteristiku zbog utjecaja transformatorskih kompenzacija, te zbog strukture mreže postoji više karakterističnih frekvencija mreže prije priključka koje su:

- Frekvencija serijske rezonancije: 590, 720, 780, 850 i 930 [Hz]
- Frekvencija paralelne rezonancije: 670, 770, 820, 870 i 970 [Hz]

Nakon priključka elektrane i njenih pogona frekvencijska karakteristika se mijenja (najveći udio u promjeni ima prisustvo nove kompenzacije):

- Frekvencija serijske rezonancije: 540, 730, 800 i 850 [Hz]
- Frekvencija paralelne rezonancije: 640, 770, 820 i 880 [Hz]

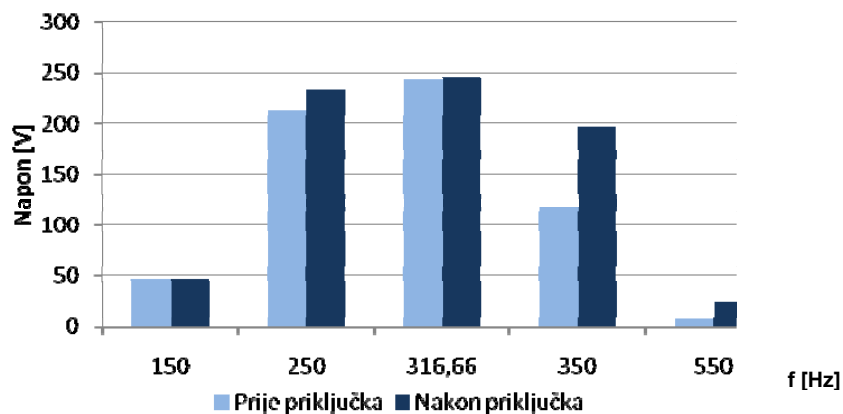
Tj. porast iznosa THD_U se može pojaviti u rasponu od 11. do 18. harmonika pošto frekventna karakteristika mreže predviđa rezonanciju za te harmonike.

Utjecaj elektrane na harmonike se modelirao stvaranjem imaginarnog harmoničkog naponskog izvora na 10 kV sabirnicama TS Varaždin s harmoničkim spektrom koji korespondira s izvršenim mjerenjima harmonika napona na mjestu buduće Elektrane.

Tablica 2. Podaci o modeliranom harmoničnom naponskom izvoru na 10 kV sabirnicama TS Varaždin

Frekvencija naponskog izvora [Hz]	Napon [V]
150 (3. harmonik)	48
250 (5. harmonik)	218
316.66 (tonfrekventni signal)	245
350 (7. harmonik)	117
550 (11. harmonik)	7

Rezultati modela (Slika 3) pokazuju da su utjecaji elektrane na lokalnu mrežu mali. Također je primijećeno da veći utjecaj na mrežu ima pojava nove kompenzacije koja je promijenila frekvencijsku karakteristiku mreže od pojave sinkronog stroja.



Slika 3. Iznos napona viših harmonika na mjestu priključka elektrane (10 kV)

Prema [2] utjecaj novog postrojenja koje se priključuje na distribucijsku mrežu testira se prema:

$$\left(\frac{k_U(\psi_k) S_{NT}}{S_{gk}} \right) \leq 0.1 \quad \left(\frac{k_U(\psi_k) S_{NT}}{S_{gk}} \right) \leq 0.1 \quad (2)$$

gdje je: $k_U(\psi_k)$ - faktor tvorbe flikera (karakteristično za svako postrojenje)

S_{NT} - nazivna snaga postrojenja koje se priključuje [kVA]

S_{gk} - snaga k.s. na mjestu predaje prije priključka novog postrojenja [kVA]

Vrijednost faktora tvorbe flikera $k_U(\psi_k)$ iz [3] za kabelske mreže se uzima u rasponu od 0.7 do 1. Ako se uzme konzervativna vrijednost $c = 1$ te uvrsti u (1) dobiva se:

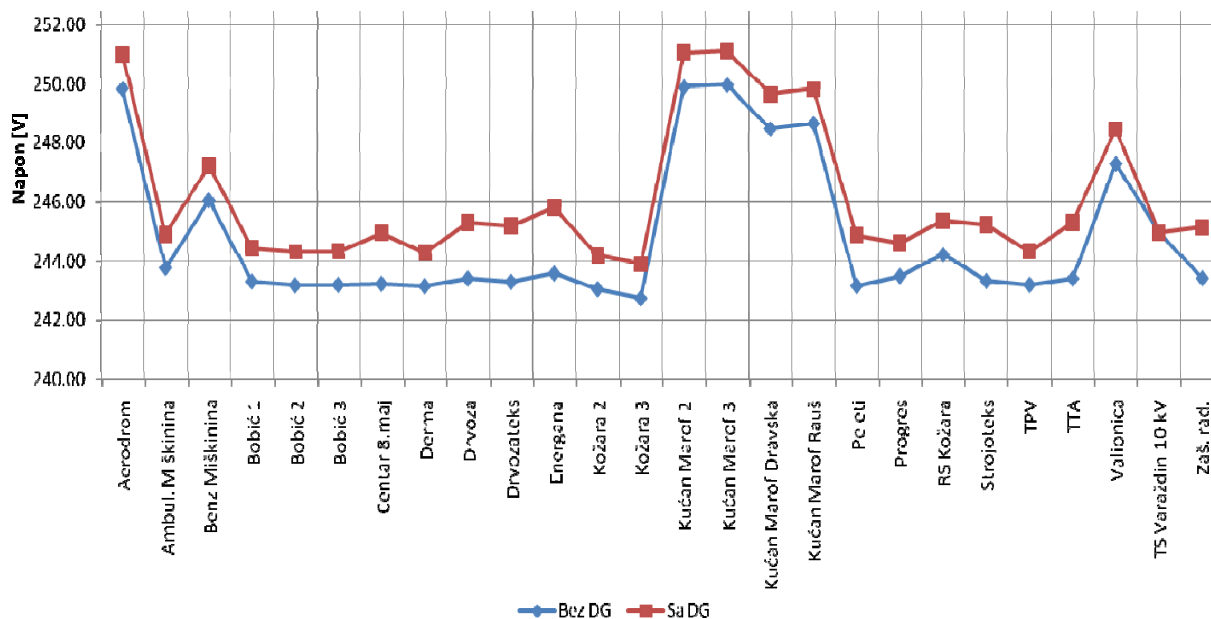
$$\left(\frac{k_U(\psi_k) S_{NT}}{S_{gk}} \right) = 1 \frac{3423}{144695} = 0.0237 \leq 0.1$$

$$Z = Z_m + \frac{Z_T}{2} = 0.07964 + 1.2962j \Omega \quad (3)$$

gdje je: $k_U(\psi_k)$ - faktor tvorbe flikera (karakteristično za svako postrojenje) = 1

S_{NT} - nazivna snaga postrojenja koje se priključuje [kVA] = 3 423 kVA

S_{gk} - snaga k.s. na mjestu predaje prije priključka novog postrojenja [kVA] = 144 695 kVA



Slika 4. Propagacija tonfrekventnog signala kroz mrežu

Primjećuje se da utjecaj elektrane na tvorbu flikera je minimalan kao i utjecaj na tonfrekventni signal (Slika 4).

5. ZAKLJUČAK

Utjecaj sinkronog stroja upogonjenog klasičnim pogonskim strojevima (hidro i termo turbine) na pojavu viših harmonika na mjestu priključka korisnika mreže na jaku distribucijsku mrežu u normalnim uvjetima je mali te uvelike ovisi o pojavi međudjelovanja vanjske mreže na sinkroni stroj te utjecaj sinkronog stroja na vanjsku mrežu.

Pravilnim sinkroniziranjem sinkronog stroja na mrežu, što većim smanjenjem razlike kutova, frekvencija i amplitude napona generatora i mreže tik prije sinkronizacije, može se izbjeći utjecaj sklopnih operacija na povećanu razinu flikera u mreži.

Također određen rast razine tonfrekventnog signala (u razini od 1%, tj. u razini greške mjerenja) koji uzrokuje sinkroni stroj u mreži se može zanemariti u jakim mrežama.

Utjecaj sinkronog stroja na mrežu danas ne ovisi o samom sinkronom stroju već o mreži na koju se stroj priključuje. Ako je mreža „slaba“ ili ima teret s visokom razinom viših harmonika ili je nesimetrično opterećena unošenje velike komponente (obično sinkroni stroj je značajni potrošač/proizvođač u nekoj distribucijskoj mreži) može dovesti do degradacije nekih parametara kvalitete električne energije. To ne znači kako treba imati ograde prema proizvodnji električne energije iz sinkronih strojeva već samo da treba biti obazriv prema mreži na koju se proizvođač priključuje.

LITERATURA

- [1] NN 177/04 Mrežna pravila Elektroenergetskog sustava
- [2] Bilten 66 Tehnički uvjeti za priključak malih elektrana na Elektroenergetski sustav Hrvatske Elektroprivrede, siječanj 1998
- [3] N.A. Kamas, S.A. Papathanassiou, "Evaluation of the voltage change factor $\frac{\Delta V}{V}$ for DG equipped with synchronous generators", IET Renewable power generation, IET, 2008.

DODATAK

Tablica I. Usporedba karakteristike napona napajanja, dio I

Naziv parametara	Karakteristike napona napajanja prema EN 50160	Karakteristike niskog napona prema EN 61000		Karakteristike napona napajanja prema Biltenu 66	Karakteristike napona napajanja prema Mrežnim pravilima
		EN 61000–2-2	Drugi dijelovi standarda		
Pogonska frekvencija	Sustavi sinkronizirani s EES – om: NN, SN: $\pm 1\%$ (49.5 – 50.5 Hz) tijekom 99.5% tjedna - 6% / + 4% (47 – 52 Hz) tijekom 100% tjedna Sustavi u otočnom radu: NN, SN: $\pm 2\%$ (49 – 50 Hz) tijekom 95% tjedna $\pm 15\%$ (42.5 – 57.5 Hz) tijekom 100% tjedna Srednja vrijednost osnovnog harmonika tijekom 10 s	2%			Sustavi sinkronizirani s EES – om: U normalnim pogonskim uvjetima: $\pm 0.1\%$ (49.95 – 50.05 Hz) Sustavi u otočnom radu: U normalnim pogonskim uvjetima: $\pm 1\%$ (49.5 – 50.5 Hz) U poremećenim pogonskim uvjetima: $\pm 3\%$ (47.5 – 51.5 Hz)
Varijacije veličine napona	NN (tijekom prijelaznog razdoblja): + 6% / -10% NN (nakon prijelaznog razdoblja) i SN: $\pm 10\%$ tijekom 95% tjedna, Srednja efektivna vrijednost tijekom 10 minuta		$\pm 10\%$ tijekom 15 minuta	NN (tijekom prijelaznog razdoblja): + 6% / -10% NN (nakon prijelaznog razdoblja): $\pm 10\%$, SN: $\pm 10\%$	NN (tijekom prijelaznog razdoblja): + 6% / -10% tijekom 95% tjedna NN (nakon prijelaznog razdoblja) i SN: $\pm 10\%$ tijekom 95% tjedna, Srednja efektivna vrijednost tijekom 10 minuta
Brze promjene napona	NN: 5% normalno 10% povremeno SN: 4% normalno 6% povremeno	3% normalno 8% povremeno $P_{st} \leq 1.0$ $P_{lt} \leq 0.8$	3% normalno 4% povremeno $P_{st} \leq 1.0$ $P_{lt} \leq 0.65$ (EN 61000–3–3) 3% (EN 61000–6–2)		
Propad napona napajanja	Globalni: trajanje < 1 s, dubina < 60% Lokalni uzrokovani uključivanjem tereta: NN, SN: 10 – 15%	Urbane zone: 1 – 4 mjeseca	Do 30% za 10 ms Do 60% za 100 ms (EN 61000–6–1, 6–2) Do 60% za 1000 ms (EN 61000–6–2)		
Kratki prekid napona napajanja	NN, SN: (do 3 minute) Nekoliko desetaka – stotina na godinu Trajanje 70% od njih < 1 s		95% prekida kraći od 5 s (EN 61000–6–1, 6–2)		

Tablica I. Usporedba karakteristike napona napajanja, dio II

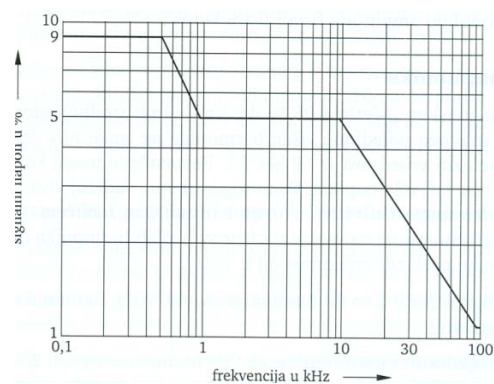
Naziv parametara	Karakteristike napona napajanja prema EN 50160	Karakteristike niskog napona prema EN 61000		Karakteristike napona napajanja prema Biltenu 66	Karakteristike napona napajanja prema Mrežnim pravilima
		EN 61000–2-2	Drugi dijelovi standarda		
Dugi prekid napona napajanja	NN, SN: (duže od 3 minute) < 10 – 50 na godinu				Dugi prekid napona napajanja
Povremeni prenaponi pogonske frekvencije	NN: < 1.5 kV efektivno SN: 1.7 U _c (kruto ili polukruto uzemljenje) 2.0 U _c (neuzemljeno zvjezdište ili kompenzacijski zemljospoj)				Povremeni prenaponi pogonske frekvencije
Tranzijentni prenaponi	NN: općenito < 6 kV, povremeno više; vrijeme rasta: ms – μs. SN: nedefinirano		±2 kV faza – zemlja ±1 kV faza – faza 1.2/50 (8/20) Tr/Th μs (EN 61000–6–1, 6–2)		
Naponska nesimetrija	NN, SN: do 2% tijekom 95% tjedna, srednja efektivna vrijednost tijekom 10 minuta, do 3% na nekim lokacijama	2%	2% (IEC 61000–2–12)		NN, SN: do 1.3% tijekom 95% tjedna, srednja efektivna vrijednost tijekom 10 minuta
Napon viših harmonika	NN, SN: vidjeti tablicu 1, dio III THD < 8%	6% peti 5% sedmi 3.5% jedanaesti 3% trinaesti THD < 8%	(EN 61000–3–2) 5% treći 6% peti 5% sedmi 1.5% deveti 3.5% jedanaesti 3% trinaesti 0.3% petnaesti 2% sedamnaesti	0.2% treći 0.2% peti 0.1% iznad petog	NN: THD < 2.5% tijekom 95% tjedna 10 i 20 kV: THD < 2.0% tijekom 95% tjedna 30 i 35 kV: THD < 2.5% tijekom 95% tjedna Srednja efektivna vrijednost tijekom 10 minuta

Tablica I. Usporedba karakteristike napona napajanja, dio III

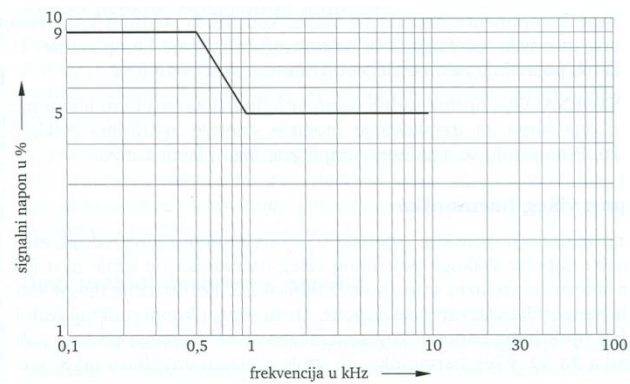
Neparni harmonici				Parni harmonici	
Koji nisu višekratnici broja 3		Višekratnici broja 3			
Red harmonika	Granica [%]	Red harmonika	Granica [%]	Red harmonika	Granica [%]
5	6	3	5	2	2
7	5	9	1.5	4	1
11	3.5	15	0.5	6 ... 24	0.5
13	3	21	0.5		
17	2				
19	1.5				
23	1.5				
25	1.5				

Tablica I. Usporedba karakteristike napona napajanja, dio IV

Naziv parametara	Karakteristike napona napajanja prema EN 50160	Karakteristike niskog napona prema EN 61000		Karakteristike napona napajanja prema Biltenu 66	Karakteristike napona napajanja prema Mrežnim pravilima
		EN 61000-2-2	Drugi dijelovi standarda		
Naponi međuharmonika	NN, SN: razmatra se	0.2%			
Dugotrajno treperenje napona	NN, SN: $P_{lt} \leq 1$ tijekom 100% tjedna			$\left(k_{UT}(\psi_k) \frac{S_{nT}}{S_{sk}} \right) \leq 0,1$ $k_{UT}(\psi_k)$ - faktor tvorbe flikera (kar. za svako postrojenje) S_{nT} - nazivna snaga postrojenja S_{sk} - snaga k.s. na mjestu predaje	NN, SN: $P_{st} \leq 0.7$ tijekom 100% tjedna $P_{lt} \leq 0.5$ tijekom 100% tjedna
Struja viših harmonika				peti $\leq 0.7 \cdot S_{sk}$ [A] sedmi $\leq 0.4 \cdot S_{sk}$ [A] jedanaesti $\leq 0.3 \cdot S_{sk}$ [A] trinaesti $\leq 0.3 \cdot S_{sk}$ [A] sedamnaesti $\leq 0.3 \cdot S_{sk}$ [A] devetnaesti $\leq 0.3 \cdot S_{sk}$ [A] dvadeset i treći $\leq 0.2 \cdot S_{sk}$ [A] dvadeset i peti $\leq 0.2 \cdot S_{sk}$ [A] S_{sk} - snaga k.s. na mjestu predaje [MVA]	
Dugotrajno treperenje napona	NN, SN: $P_{lt} \leq 1$ tijekom 100% tjedna			$\left(k_{UT}(\psi_k) \frac{S_{nT}}{S_{sk}} \right) \leq 0,1$ $k_{UT}(\psi_k)$ - faktor tvorbe flikera (kar. za svako postrojenje) S_{nT} - nazivna snaga postrojenja S_{sk} - snaga k.s. na mjestu predaje	NN, SN: $P_{st} \leq 0.7$ tijekom 100% tjedna $P_{lt} \leq 0.5$ tijekom 100% tjedna
Signalni naponi superponirani opskrbnom naponu	NN: vidjeti sliku 5a. SN: vidjeti sliku 5b			Smetnje $\leq 0.1\% U_c$ na frekvenciji MTU signala na mjestu predaje, Smetnje $\leq 0.3\% U_c$ na frekvencijama ± 100 Hz od frekvencije MTU signala na mjestu predaje	



a) NN granice



b) SN granice

Slika 5. Dozvoljeni signalni naponi u SN i NN javnim mrežama u postotku dogovorenog opskrbnog napona U_c